

مقایسه مراحل تحولی توده راش - ممرز با استفاده از شاخص‌های غیرمکانی ساختار توده

روجا امینی^۱، رامین رحمانی^{۲*} و پژمان پرهیزکار^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
پست الکترونیک: rahmani@gau.ac.ir
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۴

چکیده

تحول ساختار توده‌های جنگلی در طی زمان رخ می‌دهد. بررسی تحول ساختار توده بر اساس مراحل تحولی انجام می‌شود که عبارتند از جوانی، اوج و تخریب. هدف از این پژوهش، ارزیابی قابلیت شاخص‌های غیرمکانی ساختار برای تفکیک مراحل تحولی توده راش- ممرز در سری یک طرح جنگل‌داری حاجی‌کلا- تیرانکلی ساری بود. سه قطعه‌نمونه یک هکتاری به روش انتخابی در سه مرحله تحولی و در مجموع نه قطعه‌نمونه انتخاب شدند. در تمام قطعه‌نمونه‌ها با استفاده از آماربرداری صددرصد، مشخصات نوع گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان با قطر برابر سینه مساوی و بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، شاخص‌های رویه زمینی، حجم سرپای توده، تراکم، تراکم درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر، انحراف معیار قطر و ارتفاع درختان توده، قطر و ارتفاع درختان آشکوب بالا، شاخص سطح برگ، شدت نور نسبی، نسبت رویه زمینی درختان خیلی قطور به قطور و شاخص تغییر یافته Frelich-Lorimer، در بین مراحل تحولی اختلاف معنی‌داری داشتند. شاخص‌های قطر برابر سینه، تراکم درختان قطورتر از ۱۰۰ سانتی‌متر، قطر خشک‌دار، تعداد خشک‌دار، ضریب جینی، دولیوکورت، پیچیدگی ساختاری، غنای گونه‌های آشکوب بالا و کاکس، مراحل تحولی را از یکدیگر تفکیک نکردند. با استفاده از مثلث ساختار و شاخص Frelich-Lorimer به‌خوبی مرحله تحولی توده تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تحول ساختار، شاخص‌های تحولی، شاخص Frelich-Lorimer، مازندران، مثلث ساختار.

مقدمه

ساختار توده در دوره‌های زمانی به‌نسبت طولانی امکان‌پذیر است، بنابراین بررسی تحول ساختار توده بر اساس مراحل تحولی انجام می‌شود. مراحل تحول ساختار توده شامل جوانی، اوج و تخریب است (Korpel, 1982) که با توجه به تفاوت در زادآوری، رشد، رقابت، توالی و مرگ از یکدیگر

تحول ساختاری توده‌های جنگلی طبیعی در طی زمان انجام می‌شود (Delfan Abazari & Sagheb-Talebi, 2007) که تحت تأثیر تغییراتی با منشا طبیعی و انسانی است (Donato et al., 2012). مشاهده و ارزیابی روند تحول

ساختاری استفاده کردند. تا کنون در داخل کشور، مقایسه مراحل تحولی با استفاده از شاخص‌های غیرمکانی انجام نشده است.

پیشینه شیوه‌های پرورش جنگل در جنگل‌های هیرکانی (به‌طور معمول شیوه تدریجی- پناهی) و بررسی نتایج به‌دست آمده از بیشتر طرح‌های جنگل‌داری نشان دادند که پرورش جنگل با استفاده از یک روش عمومی نمی‌تواند مفید و مؤثر باشد (Parhizkar *et al.*, 2011). به‌دلیل ساختار ناهمسال و ناهمگن جنگل‌ها، شیوه‌های پرورش جنگل در ساختارها و مراحل تحولی مختلف، متفاوت خواهند بود (Amini, 2014). با توجه به موارد فوق، هدف پژوهش پیش‌رو، ارزیابی قابلیت شاخص‌های ساختاری غیرمکانی برای تفکیک مراحل تحولی توده‌های راش- ممرز در طرح جنگل‌داری حاجی‌کلا- تیرانکلی، استان مازندران، بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پس از جنگل‌گردشی‌های اولیه، بخشی از طرح جنگل‌داری حاجی‌کلا- تیرانکلی شامل پارسل‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۳ برای این پژوهش در نظر گرفته شد که مشخصات عمومی آن‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. در پارسل‌های مورد مطالعه سهم راش بیشتر از ۵۰ درصد حجم بود و ممرز به‌عنوان گونه همراه حضور داشت. سری یک طرح حاجی‌کلا- تیرانکلی در فاصله ۳۶/۷ کیلومتری جنوب شهرستان ساری در مختصات جغرافیایی بین ۲۵° ۲۱' ۳۶" و ۳۲° ۲۳' ۳۲" عرض شمالی و ۵۳° ۱۷' ۱۵" و ۵۳° ۲۳' ۵۵" طول شرقی قرار دارد. بر اساس روش آمبرژه، اقلیم آن نیمه‌مرطوب معتدل و سرد و میانگین دمای سالانه ۱۴/۷ درجه سانتیگراد است. بیشترین میانگین دما در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۲۹/۲ درجه سانتیگراد و در سردترین ماه سال (دی) صفر درجه سانتیگراد است. میانگین بارش سالانه نیز ۶۱۹ میلی‌متر است (Anonymous, 2010). با توجه به اینکه تیپ غالب این جنگل، مشابه بیشتر توده‌های میان‌بند

تفکیک می‌شوند (del Río *et al.*, 2016). ساختار هر یک از مراحل تحولی در بخشی از توده که ویژگی‌های اختصاصی آن مرحله را دارد، بررسی می‌شود (Lorimer & Halpin, 2014). شناسایی و ارزیابی شاخص‌های مناسب برای بررسی تحولات ساختاری توده جنگل لازم است (Seyd *et al.*, 2014). در توصیف جنگل‌های طبیعی باید مجموعه‌ای از ویژگی‌های ساختاری که کارکردهای مطلوب را فراهم می‌آورند (مثل زیست‌بوم و تنوع زیستی مراحل پایانی توالی) و نیز فرآیندهای تحولی که در شکل‌گیری این ساختارها مؤثر هستند، بررسی شوند.

در مطالعه del Río و همکاران (۲۰۱۶) برای بررسی ساختار و پویایی توده‌های آمیخته، مجموعه‌ای از شاخص‌های توده مانند تراکم، ترکیب گونه‌ای، توزیع قطری و ترکیب سنی بیان شد. یافته‌های پژوهش Zenner و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که شاخص‌های تراکم درختان سرپا، رویه‌زمینی، انحراف معیار قطر، تعداد درختان قطر (بیشتر از ۵۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی‌قطر (بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر) قابلیت تفکیک سه مرحله تحولی را از یکدیگر ندارند. Burrascano و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با استفاده از شاخص‌های ساختاری رویه‌زمینی، تراکم توده، تراکم درختان قطر، زی‌توده کف جنگل و میانگین قطر، تمایز ساختاری بین مراحل تحولی اوج و تخریب در جنگل‌های معتدل مرطوب امکان‌پذیر است. Lisa و Faber-Langendoen (۲۰۰۷) برای بررسی آشفتنگی‌های طبیعی در جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ- تسوگا در میشیگان آمریکا از شاخص ساختاری سیلوا (Silvah) و شاخص Frelich-Lormier استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که شاخص Frelich-Lormier توانایی بیشتری برای تمایز توده‌ها در مرحله تحولی تخریب دارد. به همین دلیل، این شاخص برای تعیین مراحل ساختاری توده‌های پهن‌برگ شمالی، نوئل قرمز- نراد و پهن‌برگ- تسوگا به‌کار برده شد. Staudhammer و Lemay (۲۰۰۱) از شاخص‌های غنای گونه‌ای، قطر برابر سینه، ارتفاع، توزیع رویه‌زمینی در هکتار و شاخص تنوع شانون برای بررسی تغییرات تحول

جنگل‌های هیرکانی، راش - ممرز است و مطالعات پیشین بر راشستان‌ها متمرکز بوده‌اند، بنابراین نتایج این پژوهش را می‌توان به رویشگاه‌های مشابه تعمیم داد.

جدول ۱- مشخصات پارسل‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۳ (طرح جنگل‌داری حاجی‌کلا- تیرانکلی)

| شماره پارسل | | ویژگی |
|--|--|--|
| ۳۳ | ۲۹ | ۲۸ |
| ۳۶/۴ | ۶۵ | ۴۳ |
| ۹۶۰ | ۸۰۰ | ۹۸۰ |
| ۳۵۸ | ۳۴۱/۹ | ۳۶۷ |
| ۲ | ۳ و ۲ | ۳ و ۲ |
| ۲۱۳/۸ | ۲۳۹/۴ | ۲۱۱/۵ |
| ۸۰ | ۵۰-۸۵ | ۷۵ |
| قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک | قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک | قهوه‌ای شسته‌شده با افق کلسیک |
| راش به‌همراه ممرز، توسکا، افرا، شیردار | راش به‌همراه ممرز و تک‌پایه‌های توسکا، افرا، ملیج، نمدار | راش - ممرز به‌همراه توسکا، افرا و تک‌پایه‌های انجیلی |
| | | تیب خاک |
| | | گونه‌های درختی |

روش پژوهش

بر اساس تعریف Korpel (۱۹۸۲)، به روش انتخابی سه قطعه‌نمونه یک هکتاری (Sagheb-Talebi, 2002) در هر یک از مراحل تحولی به‌منظور کاهش خطای آماری انتخاب شد (در مجموع نه قطعه‌نمونه). تشخیص مراحل تحولی با استفاده از اطلاعاتی که Korpel (۱۹۸۲) در جنگل‌های بکر و طبیعی ارائه کرد و همچنین مطالعات Mataji و Sagheb-Talebi (۲۰۰۷) انجام شد. در تمام قطعه نمونه‌ها، آماربرداری صددرصد انجام شد و گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان با قطر برابر سینه ۷/۵ سانتی‌متر و بیشتر اندازه‌گیری و ثبت شد.

شاخص‌های ساختاری

در این پژوهش از قطر برابر سینه، رویه زمینی (del Río et al., 2016) حجم سرپای توده (del Río et al., 2016)، تراکم (Bachofen & Zingg, 2001; del Río et al., 2016) تراکم درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر (del Río et al., 2016)

تراکم درختان قطورتر از ۱۰۰ سانتی‌متر (Spies & Franklin, 1991)، انحراف معیار قطر و ارتفاع درختان توده (del Río et al., 1991; Spies & Franklin, 1991)، قطر و حجم خشک‌دار (Spies & Franklin, 2016)، تعداد خشک‌دار (Bachofen & Zingg, 2001; Zingg, 2001)، قطر و ارتفاع درختان آشکوب بالایی، شاخص سطح برگ (O'Hara et al., 2016; del Río et al., 2001) ضریب جینی (رابطه ۱) (Zenner et al., 2015)، شاخص دولیوکورت، شاخص پیچیدگی ساختاری (رابطه ۲) (Neumann & Starlinger, 2001)، شاخص کاکس (رابطه ۳) (Fisher et al., 1922)، غنای گونه‌های آشکوب بالا، رویه زمینی درختان خیلی قطور به‌طور (Lisa & Faber-Langendoen, 2007) و شاخص تغییریافته Frelich-Lormier (۱۹۹۱) به‌عنوان شاخص‌های غیرمکانی استفاده شد.

الگویی که در ادامه توضیح داده می‌شود، اولین بخش شاخص ساختاری تعیین شد:

$$\text{GI} = \frac{\sum_{i=1}^n (2j-n-1)ba_j}{\sum_{i=1}^n ba_j(n-1)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۱- توده جوان (Sapling stand): حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی در طبقه کم قطر و میان قطر قرار دارد، در حالی که سهم رویه زمینی طبقه کم قطر بیشتر است.

که در آن: GI ضریب جینی، n تعداد درختان در قطعه نمونه، j عدد طبقه بندی صعودی قطر برابر سینه و ba_j رویه زمینی مربوط به هر درخت یا طبقه قطری است.

۲- توده تیر (Pole stand): حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی در طبقه کم قطر و میان قطر قرار دارد، در حالی که سهم رویه زمینی طبقه میان قطر بیشتر است یا اینکه حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی در طبقه میان قطر و قطور است، به شرط اینکه سهم رویه زمینی طبقه میان قطر بیشتر باشد.

$$\text{HC} = \text{H.BA.n.N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳- توده میان قطر (Mature): حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی در طبقه میان قطر و قطور است، به شرط اینکه سهم رویه زمینی طبقه بیشتر باشد یا اینکه حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی در طبقه قطور و خیلی قطور است، به شرط اینکه سهم رویه زمینی طبقه قطور بیشتر باشد.

که در آن: HC شاخص پیچیدگی ساختاری، H ارتفاع درختان آشکوب بالا در قطعه نمونه، BA رویه زمینی درختان در قطعه نمونه، n تعداد درختان در قطعه نمونه و N تعداد گونه‌ها در قطعه نمونه است.

۴- توده مسن (Old-growth): حداقل ۶۷ درصد رویه زمینی متعلق به طبقه قطور و خیلی قطور است، به شرط اینکه سهم رویه زمینی طبقه خیلی قطور بیشتر باشد.

۵- موزاییک قطر و نهال: توده هیچ کدام از ویژگی‌های ذکر شده در بالا را ندارد.

$$\text{CI} = \frac{S_x^2}{\bar{x}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن: CI شاخص کاکس، S_x^2 واریانس تعداد درختان در قطعه نمونه و \bar{x} : میانگین تعداد درختان در قطعه نمونه است.

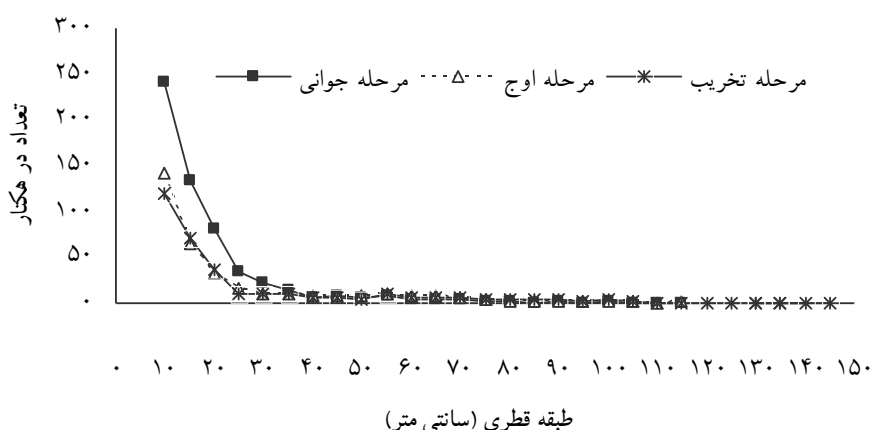
بخش دوم شاخص تغییر یافته Frelich-Lormier نسبت رویه زمینی درختان طبقه خیلی قطور (Large) به قطور (Mature) است. Frelich و Lorimer (۱۹۹۱) ذکر کردند که استفاده از این نسبت، روشی مفید برای تمایز مرحله تحولی مسن از مراحل دیگر است. درختان با قطر بیشتر از ۷۲/۵ سانتی متر به عنوان خیلی قطور و درختان با قطر ۵۲/۵ تا ۷۲/۵ سانتی متر به عنوان قطور معرفی شدند. سپس، جمع درصد رویه زمینی درختان خیلی قطور به جمع درصد رویه زمینی درختان قطور تقسیم شد. با استفاده از نتایج مرحله اولیه و نسبت رویه زمینی خیلی قطور به قطور (L:M) مراحل ساختاری بر اساس الگویی که در ادامه ذکر می‌شود، تعیین شد:

به منظور تحلیل ساختار توده و محاسبه شاخص Frelich-Lormier از طبقه بندی قطری شامل طبقه کم قطر (کمتر از ۳۰ سانتی متر)، میان قطر (۳۵ تا ۵۰ سانتی متر)، قطور (۵۵ تا ۷۰ سانتی متر) و خیلی قطور (بیشتر از ۷۵ سانتی متر) استفاده شد (Mataji & Sagheb-Talebi, 2007). محاسبات شاخص Frelich-Lormier در دو بخش انجام شد. در بخش اول، درصد رویه زمینی چهار طبقه قطری ذکر شده در قطعه نمونه‌های هر مرحله تحولی محاسبه شد. روش کار به این ترتیب بود که هر درخت به یکی از طبقه‌های قطری ذکر شده اختصاص داده شد. محاسبه رویه زمینی هر درخت در هر طبقه قطری انجام شد. پس از آن، مجموع رویه زمینی همه درختان در هر طبقه قطری و درصد رویه زمینی هر طبقه محاسبه شد. سپس، با استفاده از

دوربین Canon مدل DS مجهز به عدسی چشم ماهی در ارتفاع ۱/۳ متری در شرایط آسمان نیمه‌ابری و آغاز صبح برداشت شد. مشخصات نور شامل شدت نور نسبی، شدت نور مستقیم و شاخص سطح برگ قطعه‌نمونه با استفاده از نرم‌افزار Gap Light Analyzer (GLA) پردازش و برآورد شد (Frazer et al., 1999). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، تجزیه واریانس به روش Anova و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

شکل ۱ توزیع فراوانی طبقه‌های قطری را در مرحله‌های تحولی نشان می‌دهد. نمودار توزیع فراوانی در طبقه‌های قطری در هر سه مرحله تحولی مشابه جنگل‌های ناهمسال و به شکل کاهنده بود. بیشترین فراوانی در اولین طبقه قطری مربوط به مرحله جوانی بود. در هر سه مرحله تحولی، فراوانی تعداد درختان در هکتار در طبقه‌های قطری بعدی کاهش یافت، تا حدی که کمترین فراوانی در آخرین طبقه‌های قطری مرحله تخریب مشاهده شد. در مرحله تحولی تخریب، درختانی با قطر ۱۳۵ سانتی‌متر و بیشتر مشاهده شدند، در حالی‌که در مرحله جوانی، قطورترین درختان ۱۱۴ سانتی‌متر قطر داشتند.



شکل ۱- توزیع فراوانی طبقه‌های قطری در مرحله‌های مختلف تحولی راش-ممرز در طرح حاجی کلا-تیرانکلی

۱- مرحله ساختاری تخریب (Old-growth): نسبت رویه‌زمینی طبقه خیلی قطور به قطور بیشتر از ۱/۵ بوده و توده در مرحله مسن باشد.

۲- انتقال به مرحله ساختاری تخریب: الف) ۱/۵ L:M و توده در مرحله قطور یا خیلی قطور باشد. ب) ۱/۵ L:M و توده در مرحله قطور یا موزاییک باشد.

۳- مرحله ساختاری میان‌سال (Mature): الف) ۰/۷۵ L:M < و توده در مرحله قطور باشد. ب) ۱/۵ L:M < و توده در مرحله موزاییک باشد.

۴- مرحله ساختاری تیر: الف) مرحله تحولی توده، تیر است. ب) ۰/۷۵ L:M < و توده در مرحله موزاییک باشد.

۵- مرحله ساختاری نهال: توده در مرحله تحولی نهال است (Lisa & Faber-Langendoen, 2007).

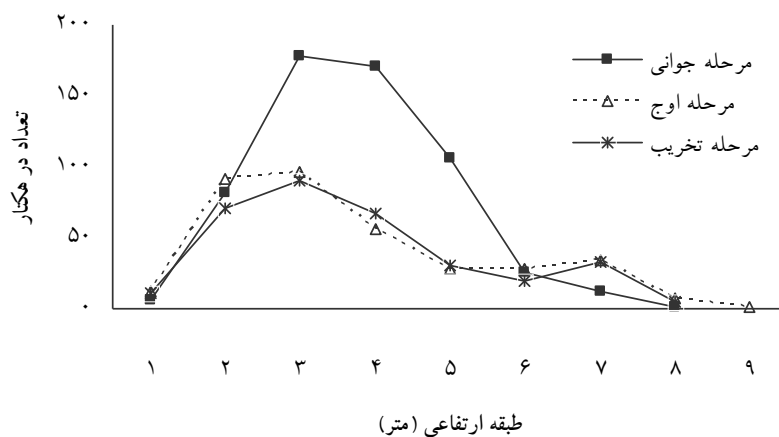
برای ارزیابی ساختار با استفاده از مثلث ساختار، رویه زمینی در طبقه‌های قطری کم‌قطر، میان‌قطر و قطور محاسبه شد (Donoso & Nyland, 2005). آشکوب‌بندی توده با استفاده از روش ارتفاع غالب (Marvie Mohadjer, 2013) انجام شد. مشخصات خشک‌دارها شامل گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع آن‌ها نیز ثبت شد.

به‌منظور برآورد قابل قبول وضعیت نور و شاخص سطح برگ توده در مراحل تحولی مختلف، در محل تقاطع قطرهای هر قطعه‌نمونه، تصاویر نیم‌کروی با استفاده از

همچنین، در مرحله اوج، نمودار با شیب کمتری کاهش یافت. در این مرحله، درختانی با ارتفاع بیشتر در مقایسه با مراحل جوانی و تخریب مشاهده شد.

جدول ۲ مقدار و درصد رویه زمینی توده راش-ممرز را در مراحل تحولی برای تشکیل مثلث ساختار نشان می‌دهد.

شکل ۲ توزیع فراوانی درختان در طبقه‌های ارتفاعی در مرحله‌های تحولی را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی در طبقه‌های ارتفاعی ۱۵ تا ۲۰ متر و در مرحله جوانی مشاهده شد، در حالی که در مراحل تحولی اوج و تخریب، درختان در طبقه‌های ارتفاعی ۱۰ تا ۱۵ متر بیشترین تعداد را داشتند که البته نسبت به مرحله جوانی، تعداد به نصف کاهش یافت.



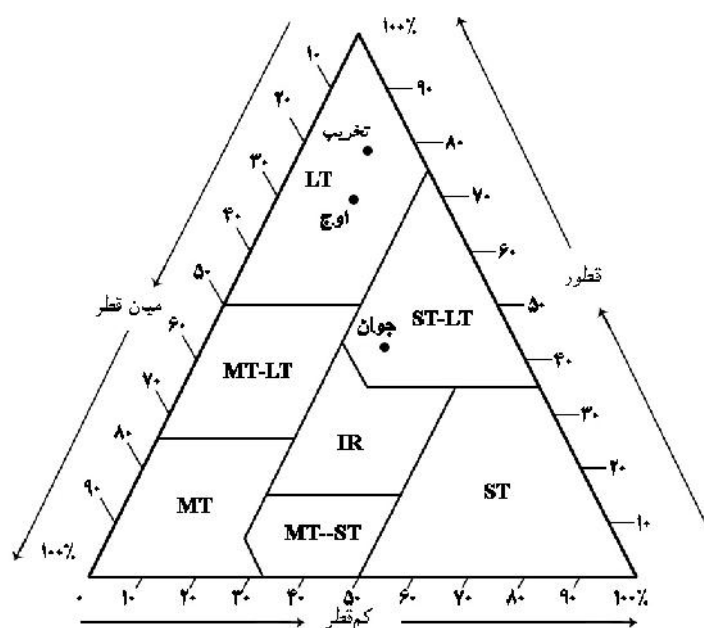
شکل ۲- توزیع تعداد در طبقه‌های ارتفاعی در مراحل مختلف تحولی راش-ممرز در طرح حاجی کلا- تیرانکلی

جدول ۲- رویه زمینی در مراحل مختلف تحولی توده راش-ممرز در طرح حاجی کلا- تیرانکلی

| مرحله تحولی | | | | | | طبقه قطری (سانتی متر) |
|-------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|-----------------------|
| تخریب | | اوج | | جوانی | | |
| (درصد) | رویه زمینی (متر مربع در هکتار) | (درصد) | رویه زمینی (متر مربع در هکتار) | (درصد) | رویه زمینی (متر مربع در هکتار) | |
| ۴/۴۶ | ۱۳/۴ | ۱۴/۲۷ | ۴/۶۳ | ۳۶/۸۴ | ۱۰ | کم قطر (<۳۰) |
| ۳/۰۸ | ۱۵/۷۲ | ۱۶/۱۲ | ۵/۲۴ | ۱۷/۶۶ | ۴/۷۹ | میان قطر (۳۰-۵۰) |
| ۲۶/۱۱ | ۸۴/۸۳ | ۶۹/۵۹ | ۲۲/۶۱ | ۴۵/۵ | ۱۲/۳۵ | قطر (>۵۰) |

قرار گرفت که هم شامل درختان کم قطر بود و هم درختان قطور، اما مراحل اوج و تخریب در منطقه‌ای قرار گرفتند که فراوانی درختان قطور بیشتر بود.

شکل ۳ موقعیت توده‌ها را در مثلث ساختار نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ساختار توده در مراحل تحولی مختلف، متفاوت بود. موقعیت مرحله جوانی در منطقه‌ای



شکل ۳- مثلث ساختار (Donoso & Nyland, 2005) و موقعیت مراحل تحولی توده‌های مورد مطالعه

(T: درخت، S: کم قطر، M: میان قطر، L: قطر، IR: نامنظم)

جینی، شاخص دولیوکورت، شاخص کاکس، تعداد (غنا) درختان آشکوب بالا، تعداد خشکه‌دارها و قطر برابر سینه درختان بین مراحل تحولی اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد مشاهده نشد.

سه مرحله تحولی از نظر شاخص سطح برگ و شدت نور نسبی اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد داشتند. همچنین، با استفاده از شاخص تغییر یافته Frelich-Lormier و بر اساس الگوی ارائه‌شده در پژوهش Lisa و Faber-Langedoen (۲۰۰۷)، سه مرحله تحولی از یکدیگر تفکیک شدند. بر این اساس، برای مرحله تحولی جوانی، مرحله ساختاری Mature، برای مرحله اوج، مرحله ساختاری انتقال به مسن (Transition Old) و برای مرحله تخریب، مرحله مسن (Old growth) تعیین شد.

نتایج مقایسه سه مرحله تحولی توده با استفاده از شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر این اساس، بین مرحله‌های تحولی از نظر شاخص‌های رویه زمینی، حجم سرپا، انحراف معیار قطر درختان، انحراف معیار ارتفاع درختان، میانگین قطر درختان آشکوب بالا، میانگین ارتفاع درختان آشکوب بالا، تراکم تراکم درختان با قطر بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر، قطر و حجم خشکه‌دار، شاخص سطح برگ، شدت نور نسبی، شاخص L:M (نسبت رویه زمینی درختان خیلی قطور به قطور) و شاخص تغییر یافته Frelich-Lormier، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت. از سوی دیگر، بر اساس نتایج تجزیه واریانس، بین مرحله‌های تحولی از نظر شاخص پیچیدگی ساختاری، تراکم درختان با قطر بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر، ضریب

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های تفکیک در مراحل مختلف تحولی راش- ممرز در طرح حاجی‌کلا- تیرانکلی

| معنی‌داری | مرحله تحولی | | | شاخص |
|-----------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------|
| | تخریب | اوج | جوانی | |
| ۰/۰۰۵** | ۳۶/۱ ^a | ۳۲/۵ ^a | ۲۷/۱۴ ^b | رویه زمینی (متر مربع در هکتار) |
| ۰/۰۰۱** | ۵۴۸/۰۵ ^a | ۴۸۶/۳ ^a | ۳۴۹/۷۵ ^b | حجم سرپا (سیلو در هکتار) |
| ۰/۰۰۶** | ۲۵/۸۶ ^a | ۲۲/۹۴ ^a | ۱۴/۹۸ ^b | انحراف معیار قطر درختان |
| ۰/۰۳۵* | ۸/۷۲ ^a | ۸/۶ ^a | ۵/۷۴ ^b | انحراف معیار ارتفاع درختان |
| ۰/۰۲* | ۶۲/۴۹ ^a | ۵۷/۷۴ ^a | ۴۰/۹۹ ^b | میانگین قطر درختان آشکوب بالا |
| ۰/۰۰۴** | ۳۱/۴۵ ^a | ۳۱/۲۹ ^a | ۲۷/۱۷ ^b | میانگین ارتفاع درختان آشکوب بالا |
| ۰/۰۴۹* | ۳۲۸/۳ ^b | ۳۵۴ ^b | ۵۸۱/۳ ^a | تراکم (تعداد در هکتار) |
| ۰/۰۰۷** | ۸۱ ^a | ۵۰ ^b | ۲۶ ^b | تراکم درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر |
| ۰/۰۲* | ۴۶/۸۷ ^a | ۱۹/۸۷ ^b | ۱۴/۴۵ ^b | قطر خشک‌دار (سانتی‌متر) |
| ۰/۰۲* | ۲۹/۷۸ ^a | ۳/۰۸ ^b | ۶/۱۳ ^b | حجم خشک‌دار (متر مکعب در هکتار) |
| ۰/۰۰۳** | ۲/۵ ^c | ۴/۵ ^a | ۳/۵ ^b | شاخص سطح برگ |
| ۰/۰۰۱** | ۱۸/۷۹ ^a | ۱۱/۸۷ ^b | ۵/۴ ^c | شدت نور نسبی |
| ۰/۰۶* | ۲/۵ ^a | ۱/۳۳ ^b | ۰/۹۴ ^b | شاخص L:M |

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

حروف انگلیسی متفاوت در سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

بحث

(Kral *et al.*, 2010). تشخیص و تشریح فازهای تحولی در توده اهمیت دارد، زیرا ویژگی‌های ساختاری توده در فازهای تحولی مختلف متفاوت است (Mataji & Sagheb-Talebi, 2007). اینکه توده در چه مقطع زمانی بررسی شود و بسته به اینکه در چه فاز تحولی قرار دارد، می‌تواند نتایج متفاوتی را از نظر تراکم، رویه زمینی و حجم بین مراحل تحولی نشان دهد (Sefidi *et al.*, 2014). Parhizkar و همکاران (۲۰۱۱) و Mataji و همکاران (۲۰۱۴) به نتایج مشابهی دست یافتند. انحراف معیار قطر و ارتفاع درختان مرحله تحولی جوان به‌طور معنی‌داری کمتر از دو مرحله تحولی دیگر بود که نشان‌دهنده همگنی بیشتر قطر و ارتفاع درختان در این مرحله نسبت به دو مرحله تحولی اوج و تخریب بود. میانگین قطر و ارتفاع درختان آشکوب بالا در دو مرحله تحولی اوج و تخریب بیشتر از مرحله تحولی

براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، با استفاده از شاخص‌های رویه‌زمینی، حجم سرپا، انحراف معیار قطر و ارتفاع، میانگین قطر و ارتفاع درختان آشکوب بالا و تراکم، مرحله تحولی جوانی از مراحل تحولی اوج و تخریب تفکیک شد. شاخص‌های ذکرشده در مرحله تحولی اوج و مرحله تخریب به یکدیگر نزدیک بودند و در نتیجه، بر اساس نتایج آزمون‌های آماری، اختلاف معنی‌داری نداشتند. تفسیر این یافته می‌تواند به این صورت باشد که بر اساس پژوهش Delfan Abazari و Sagheb-Talebi (۲۰۰۷) طول دوره تحول راشستان خالص در جنگل‌های کلاردشت ۲۰۰ تا ۲۳۰ سال است، بنابراین هر مرحله تحولی، مدت زمان به‌نسبت طولانی را طی می‌کند تا به مرحله بعدی برسد. هر مرحله تحولی به فازهای تحولی تقسیم می‌شود

سطح برگ از مرحله جوانی به اوج، موجب کاهش تعداد یا وسعت ریشه‌ها می‌شود، بنابراین نور مستقیمی که به کف جنگل می‌رسد، کاهش می‌یابد. همچنین، مقدار بیشتری از نور رسیده به تاج پوشش به وسیله برگ‌ها جذب می‌شود و در نتیجه، توان تولیدی توده در مرحله اوج افزایش می‌یابد. این نتایج با مطالعه Parhizkar و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بر اساس تعاریف Korpel (۱۹۹۵) (به نقل از Král و همکاران، ۲۰۱۰) در مرحله اوج، توده نزدیک به حالت تک‌آشکوبه و منظم است. به همین دلیل، مقدار نور پخش شده (شدت نور نسبی) نیز در زیر تاج پوشش کاهش می‌یابد. برعکس این حالت در مرحله تخریب اتفاق می‌افتد. بر اساس شاخص تغییر یافته Frelich-Lormier، سه مرحله ساختاری متفاوت برای سه مرحله تحولی تعیین شد. با توجه به اینکه این شاخص بر مبنای رویه زمینی درختان طراحی شده است، نتیجه به دست آمده دارای اهمیت است. شاخص رویه زمینی درختان خیلی قطور به قطور (L:M) که در ساختار شاخص تغییر یافته Frelich-Lormier هم استفاده شده است، خود به عنوان شاخصی مستقل و ساده نیز کاربرد دارد. با استفاده از این شاخص با دقت مناسبی مرحله تحولی تخریب از دو مرحله تحولی دیگر تفکیک شد.

در مثلث ساختار، مرحله تحولی جوانی در بخش کم‌قطر - قطور قرار گرفت (شکل ۳)، زیرا در مرحله تحولی جوانی، تعدادی از درختان قطور مربوط به مرحله تحولی تخریب هنوز باقی مانده‌اند که با تعریف Korpel (۱۹۹۵) (به نقل از Král و همکاران، ۲۰۱۰) از مرحله جوانی هم خوانی دارد. دیگر یافته‌ها نشان داد که مرحله تحولی اوج و تخریب در بخش قطور قرار گرفتند که با نتایج شاخص‌های رویه زمینی، تراکم و حجم موجود در جدول ۳ مطابقت دارد. در مطالعه Mataji و همکاران (۲۰۱۴) و جوانمیری‌پور و همکاران (۲۰۱۷)، مثلث ساختار بر مبنای تراکم درختان تشکیل شد که قطعه نمونه‌های مرحله تحولی جوان و اوج در بخش کم‌قطر و قطعه نمونه مرحله تحولی تخریب در بخش نامنظم قرار گرفتند. در بررسی Sagheb-Talebi (۲۰۱۴)

جوان بود که دلیل آن، اهمیت این درختان در مراحل تحولی اوج و تخریب است، اما عدم تفکیک این دو مرحله از یکدیگر به دلیل شباهت فازی ذکر شده است.

شاخص تراکم درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر در مرحله تحولی تخریب اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با دو مرحله تحولی دیگر داشت. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در مرحله‌های اوج و تخریب، نمودارهای توزیع فراوانی در طبقه‌های قطری، ضمن کاهش بودن، شیب به نسبت کمتری در مقایسه با مرحله جوانی داشتند که نشان‌دهنده تعداد بیشتر درختان قطور در طبقه‌های قطری زیادتر است (Delfan Abazari et al., 2004)، به طوری که حضور درختان قطور تا طبقه قطری ۱۴۵ سانتی‌متر در مرحله تحولی تخریب موجب تمایز مرحله تحولی تخریب با استفاده از شاخص درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر شد.

با استفاده از شاخص‌های قطر و حجم خشکه‌دار، مرحله تحولی تخریب از مراحل جوانی و اوج تفکیک شد، زیرا در مرحله تخریب، خشکه‌دارها قطور و رسیده هستند و بیشتر درختان کهن‌سال در اثر پایان دیرزیستی به خشکه‌دار افتاده تبدیل می‌شوند. در حالی که بیشتر خشکه‌دارهای مرحله تحولی جوانی، درختان جوان هستند، بنابراین باید درختان معیوب و بدفرم به نفع پایه‌های کم‌قطر مناسب، حذف شوند و درختان قطور که تعداد کمتری دارند تا زمان رسیدن پایه‌های کم‌قطر به ارتفاع مناسب، حفظ شوند. به این ترتیب، آشکوب‌های مختلف به وسیله درختان جوانی که در حال ورود به آشکوب‌های بالاتر هستند، ایجاد می‌شوند (Mataji et al., 2014). این یافته‌ها با نتایج پژوهش Parhizkar و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

شاخص سطح برگ و شدت نور نسبی، اختلاف معنی‌داری بین سه مرحله تحولی داشتند، زیرا درختان تشکیل‌دهنده تاج پوشش و فضای تاج آن‌ها در هر یک از مرحله‌های تحولی متفاوت هستند که موجب تفاوت در نور ورودی به کف جنگل و تفاوت در کیفیت و کمیت زادآوری و رقابت درختان خواهد شد. در واقع، افزایش شاخص

- project. Final Report of National Research Project, Research Institute of Forests and Rangelands, 77p (In Persian).
- Anonymous, 2010. Forest Management Plan of Haji-Kola- Tirankoli. Department of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran Province, Sari, 117p (In Persian).
 - Bachofen, H. and Zingg, A., 2001. Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 145(1-2): 137-149.
 - Burrascano, S., Keeton, W.S., Sabatini, F.M. and Blasi, C., 2013. Commonality and variability in the structural attributes of moist temperate old-growth forests: A global review. *Forest Ecology and Management*, 291: 458-479.
 - Delfan Abazari, B. and Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Diameter and height increment process of oriental beech (*Fagus orientalis*) in natural Caspian forests; Kelardasht region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 320-328 (In Persian).
 - Delfan 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): 307-326 (In Persian).
 - del Río, M., Pretzsch, H., Alberdi, I., Bielak, K., Bravo, F., Brunner, A., Condés, S., Ducey, M.J, Fonseca, T., von Lüpke, N., Pach, M., Peric, S., Perot, T., Souidi, Z., Spathelf, P., Steba, H., Tijardovic, M., Tomé, Margarida., Vallet, P. and Bravo-Oviedo, A., 2016. Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives. *European Journal of Forest Research*, 135(1): 23-49.
 - Donato, D.C., Campbell, J.L. and Franklin, J.F., 2012. Multiple successional pathways and precocity in forest development: can some forests be born complex?. *Journal of Vegetation Science*, 23(3): 576-584.
 - Donoso, P.J. and Nyland, R.D., 2005. Seedling density according to structure, dominance and understory cover in old-growth forest stands of the evergreen forest type in the coastal range of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 51-63.
 - Frazer, G., Canham, C. and Lertzman, K., 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-Colour Fisheye Photographs. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Millbrook, New York, USA, 36p.
- در مثلث ساختار، قطعه نمونه‌ها بر اساس حجم در بخش قطور قرار گرفتند. در مطالعه Zenner و همکاران (۲۰۱۵) میان سه مرحله تحولی از نظر شاخص‌های میانگین قطر برابر سینه درختان و پیچیدگی ساختار تفاوت معنی داری وجود داشت، اما در پژوهش پیش‌رو با توجه به اینکه ضریب جینی بین سه مرحله تحولی اختلاف معنی داری نشان نداد، بنابراین قطر برابر سینه درختان در سه مرحله تحولی، توزیع یکنواختی داشتند. در نتیجه، شاخص پیچیدگی ساختاری که در محاسبه آن از قطر برابر سینه استفاده می‌شود، اختلاف معنی داری را بین مراحل تحولی نشان نداد.
- در اجرای شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی و گروه‌گزینی، تداوم مرحله‌های تحولی توده‌ها باید در نظر گرفته شود. چرخه مرحله‌های تحولی به نسبت طولانی است، بنابراین تصمیم‌گیری‌های نادرست در مدیریت این توده‌ها می‌تواند موجب وارد آمدن خسارت‌های جبران‌ناپذیری به پایداری این توده‌های طبیعی شود. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده با دقت مناسبی مرحله تحولی جوانی را تفکیک کردند. با استفاده از مثلث ساختار و شاخص Frelich-Lormier نیز به خوبی مرحله تحولی توده تعیین شد. با توجه به اینکه این مشخصه‌ها با استفاده از داده‌های آماربرداری‌های معمول در توده‌ها قابل محاسبه و بررسی هستند، از نظر سهولت دستیابی اهمیت دارند. پیشنهاد می‌شود که مرحله‌های تحولی در قطعه‌های بررسی دایمی پایش شوند و طول مدت مراحل تحولی با توجه به تیپ توده تعیین شود. همچنین، زمان دخالت‌های جنگل‌شناسی با هدف برداشت از توده و حفظ پویایی آن مشخص شود.

References

- 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 (In Persian).
- Amini, M., 2014. Monitoring the forest dynamic in permanent sample plot in Neka-Zalem Rud forest

- O'Hara, K.L., Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. and Saksa, T., 2001. Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged, mixed-conifer forests in southern Finland. *Forestry*, 74(2): 171-185.
- Parhizkar, P., Sagheb-Talebi, Kh., Mattaji, A., Namiranian, M., Hasani, M. and Mortazavi, M., 2011. Tree and regeneration conditions within development stages in Kelardasht beech forest (Case study: reserve area-Langa). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(1): 141-153 (In Persian).
- Sagheb Talebi, Kh., 2014. Appropriate characteristics of beech stands for application of close to nature silviculture (selection system). Final Report of National Research Project, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 123p (In Persian).
- Sagheb-Talebi, Kh. and Schütz, J.P., 2002. The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 75(4): 465-472.
- Seyd, S.Z., Moayeri, M.H. and Mohammadi, J., 2014. Introducing the criteria and indicators of measuring stand structure in sustainable forest management. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 2(2): 25-38 (In Persian).
- Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V. and Mosandl, R., 2014. Late successional stage dynamics in natural Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in northern Iran (Case study: Gorazbon district of Kheiroud-Kenar experimental forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2): 270-283 (In Persian).
- Spies, T.A. and Franklin, J.F., 1991. The structure of natural young, mature, and old-growth Douglas-Fir forests in Oregon and Washington: 91-109. In: Ruggiero, L.F., Aubry, K.B., Carey, A.B. and Huff, M.H. (Eds.). *Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-Fir Forests*. USDA Forest Service General technical Report PNW-GTR, Pacific Northwest Research Station, Portland, 533p.
- Staudhammer, C.L. and LeMay, V.M., 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(7): 1105-1115.
- Zenner, E.K., Sagheb-Talebi, Kh., Akhavan, R. and Peck, J.E., 2015. Integration of small-scale canopy dynamics smoothes live-tree structural complexity across development stages in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests at the multi-gap scale. *Forest Ecology and Management*, 335: 26-36.
- Frelich, L.E. and Lorimer, C.G., 1991. Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper Great Lakes region. *Ecological Monographs*, 61(2): 145-164.
- Fisher, R.A., Thornton, H.G. and Mackenzie, W.A., 1922. The accuracy of the plating method for estimating the density of bacterial populations with particular reference to the use of Thorenton's agar medium with soil samples. *Annals of Applied Biology*, 9: 325-359.
- Javanmiri Pour, M., Marvie Mohadjer, M.R., Zobeiri, M., Etemad, V. and Jourgholami, M., 2017. Quantitative changes of forest stand structure through full caliper method (Case study: Gorazbon district, Kheyroud forest, Noshahr). *Iranian Journal of Forest*, 8(4): 493-505 (In Persian).
- Korpel, S., 1982. Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia [Czechoslovakia]. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 24: 9-31.
- Král, K., Vrška, T., Hort, L., Adam, D. and 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.
- Lisa, G. and Faber-Langendoen, D., 2007. Development of stand structural stage indices to characterize forest condition in Upstate New York. *Forest Ecology and Management*, 249(3): 158-170.
- Lorimer, C.G. and Halpin, C.R., 2014. Classification and dynamics of developmental stages in late-successional temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 334: 344-357.
- Marvie Mohadjer, M.R., 2013. *Silviculture*. 4th edition, University of Tehran Press, Tehran, 418p (In Persian).
- Mataji, A. and Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Development stages and dynamic of two oriental beech (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheyroudkenar-Noshahr. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 398-416 (In Persian).
- Mataji, A., Sagheb-Talebi, Kh. and Eshaghi-Rad, J., 2014. Deadwood assessment in different developmental stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Caspian forest ecosystems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5):1215-1222.
- Neumann, M. and Starlinger, F., 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 145(1-2): 91-106.

Comparison of developmental stages in Beech-Hornbeam stands using non-spatial indices of stand structure

R. Amini ¹, R. Rahmani ^{2*} and P. Parhizkar ³

1- Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rahmani@gau.ac.ir

3- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 15.08.2017

Accepted: 22.1.2017

Abstract

Forest stand structural development occurs over time and is commonly studied based on initial, optimal and decay developmental stages. The purpose of this study was to evaluate the capability of non-spatial indices for differentiating among developmental stages of beech-hornbeam stand in Haji-Kola- Tirankoli forest of Sari in Mazandaran province. Three sample plots were selected in each developmental stage (totally 9 sample plots). The characteristics of trees with a diameter > 7.5 cm were measured in each plot, including species, diameter at breast height and total height. The results of analysis of variance revealed significant differences amongst the developmental stages for basal area, volume, density, density of large trees, standard deviation of diameter and height, diameter and height of overstory, leaf area index, relative light intensity, species richness of over story, basal area of large to mature trees, modified Frelich-Lorimer index. Nevertheless, other attributes including DBH, density of trees > 100 cm, deadwood diameter, and number of dead wood, Gini coefficient, Doliucort index, Structural Complexity index, and Cox index did not differentiate among the developmental stages. The structure triangle and the Frelich-Lorimer index were shown to properly determine the stage of stand development.

Keywords: Developmental indices, Frelich-Lorimer index, Mazandaran, structure development, structure triangle.