فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۳، صفحه ۵۰۵-۴۹۵، (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2017.112883

ارزیابی سطح تنوع درختی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی (مطالعه موردی: تیپ راش- ممرز، ناو اسالم گیلان)

پیمان فرهادی [۱]، جواد سوسنی [۲*] و سیدیوسف عرفانی‌فرد [۳]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. پست الکترونیک: soosani.j@lu.ac.ir
۳- دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۳

چکیده

ساختار توده و تنوع گونه‌ای دو ویژگی مفید برای اندازه‌گیری ترکیبی تنوع زیستی جنگل هستند و اطلاعات مهمی برای تصمیم‌گیری، مدیریت و انتخاب شیوه‌های مناسب جنگل‌شناسی فراهم می‌کنند. برای اجرای پژوهش پیش‌رو، ابتدا در واحدهای اکولوژیک همگن موجود در تیپ راش- ممرز ناو اسالم گیلان، پنج قطعه‌نمونه یک هکتاری به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. برای تعیین شاخص تنوع ساختاری ترکیبی (SI) تیپ، شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و تمایز قطر برابر سینه محاسبه شدند. همچنین، به‌منظور تعیین تراکم درختان در این تیپ از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها استفاده شد. با توجه به نتایج، میانگین شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها برای تیپ مورد بررسی ۵/۵۸ متر به‌دست آمد. همچنین، میانگین شاخص زاویه یکنواخت ۰/۵۲ محاسبه شد که بیانگر توزیع کپه‌ای درختان بود. شاخص آمیختگی با میانگین ۰/۴۵ نشان‌دهنده سطح متوسط آمیختگی تیپ بود. شاخص تمایز قطر برابر سینه نیز ۰/۴۷ محاسبه شد که بیانگر اختلاف متوسط بین درختان از نظر قطر برابر سینه بود. شاخص تنوع ساختاری ترکیبی که بیانگر سه جنبه مختلف ساختار (تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد قطر برابر سینه) است، با ارزش ۰/۴۷۵ نشان داد که تیپ مورد مطالعه دارای سطح تنوع درختی زیادی است. نتایج این مطالعه اطلاعات کلیدی برای مدیریت و حفظ سطح تنوع درختی در تیپ راش- ممرز را با استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی فراهم می‌کند. همچنین، با پایش و مدیریت سطح تنوع درختی توده‌های جنگلی می‌توان از اثرات منفی فاکتورهای طبیعی و انسانی کاست.

واژه‌های کلیدی: تراکم درختی، تنوع درختی، جنگل‌های هیرکانی، شاخص زاویه یکنواخت.

مقدمه

ارزیابی تنوع گونه‌ای و ساختار توده می‌توانند به‌عنوان مشخصه‌های مرتبط با تنوع زیستی در راستای مدیریت بهینه جنگل مورد توجه قرار گیرند (Pastorella & Paletto, 2013). زادآوری طبیعی و رشد درختان تحت تأثیر ساختار جنگل، فرآیندهای بوم‌شناختی و واکنش‌های متقابل گونه‌ای انجام می‌شود (Pommerening, 2006). ساختار جنگل، نظم مکانی افقی و عمودی تک درختان در بازه‌ای از زمان است که تمامیت و ثبات جنگل را تا حد زیادی تعیین می‌کند. ساختار نه‌تنها بر پویایی، رشد و محصول‌دهی توده اثر می‌گذارد، بلکه بر طیف گسترده‌ای از عملکردهای جنگل از جمله جنبه‌های حفاظتی و تفرجی تأثیرگذار است

(Pretzsch, 2009). در نتیجه، می‌توان ساختار را به‌عنوان یک شاخص جامع تنوع زیستی و مناسب برای زیستگاه‌ها مورد استفاده قرار داد (Staudhammer & Lemay, 2001).

تنوع زیستی در ارتباط با توده‌های جنگلی به‌صورت ترکیبی از گونه‌های درختی مختلف، اندازه‌های قطر و ارتفاع و پراکنش مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساختار توده می‌تواند توزیع افقی، موقعیت متقابل گونه‌ها و تمایزات قطری و ارتفاعی درختان را در یک اکوسیستم جنگلی مورد بررسی قرار دهد. با توجه به این تعریف، ساختار جنگل سه جنبه مهم تنوع موقعیت مکانی درختان (الگوی مکانی)، تنوع گونه‌ای درختان و تنوع ابعاد درختان را ارزیابی می‌کند (Pommerening, 2002; Aguirre *et al.,* 2003). ساختار توده می‌تواند با استفاده از شاخص‌های ریاضی کارا و مؤثر که به‌طور خلاصه شامل اثرات دو یا چند ویژگی ساختاری هستند، مورد ارزیابی قرار گیرد (McElhinny, 2002). مطالعات اخیر، مشخصه‌های مختلف ساختاری توده را با توجه به ارتباط بین گروه‌های درختی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه بر اساس شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و تمایز قطر برابر سینه مورد بررسی قرار داده‌اند (Szmyt, 2014; Wang *et al.,* 2016). این شاخص‌ها به‌ترتیب الگوی پراکنش درختان، کمیت و درجه پراکندگی گونه‌های مختلف درختی و وضعیت ابعاد درختان را مورد بررسی قرار می‌دهند و با میانگین‌گیری از آن‌ها در سطح توده‌های جنگلی می‌توان به توصیف جنبه‌های مختلف ساختاری پرداخت (Wang *et al.,* 2016). این شاخص‌ها به‌علت دارا بودن ویژگی‌هایی از جمله آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد مورد توجه پژوهشگران خارجی قرار گرفته‌اند (Kint *et al.,* 2000; Pommerening, 2006; Ruprecht *et al.,* 2010; Szmyt, 2014; Wang *et al.,* 2016). همچنین در ایران نیز در برخی پژوهش‌ها این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Alijani & Feghhi, 2012; Alijani *et al.,* 2012; Sefidi *et al.,* 2014; Erfanifard *et al.,* 2014; Farhadi *et al.,* 2014b; Moridi *et al.,* 2015). Hui و Gadow (۲۰۰۲) به این نتیجه رسیدند که در استفاده از گروه‌های درختی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، چهار درخت همسایه در مجاورت درخت مرجع به‌سادگی قابل تعیین است و دارای دقت زیادی در برآورد الگوی پراکنش مکانی درختان، آمیختگی گونه‌ای و ابعاد درختان می‌باشد. همچنین در اکثر مطالعات انجام شده از چهار درخت همسایه در اطراف درخت مرجع برای تجزیه و تحلیل‌های ساختاری استفاده شده است (Corral *et al.*, 2010; Szmyt, 2014). امروزه بعضی از پژوهشگران نیاز به توسعه شاخص‌های تنوع زیستی را با استفاده از سیستم‌های نمره‌دهی بر اساس ترکیبی از شاخص‌های ساختاری کلیدی تنوع زیستی تشخیص داده‌اند (Pastorella & Paletto, 2013). این شاخص‌ها وزن‌دهی شده و به‌صورت خلاصه دارای مقادیر نسبی هستند. شاخص تنوع ساختاری ترکیبی (Complex structural diversity index/SI) که نمونه‌ای از شاخص‌های ترکیبی توده محسوب می‌شود، به‌منظور تشریح ساختار توده‌های جنگلی و عملکرد آن‌ها مفید است. این شاخص ترکیبی از سه شاخص مختلف تمایز قطر برابر سینه (Diametric differentiation index/TM)، آمیختگی (Mingling index/M) و زاویه یکنواخت (Contagion index/W) است. هدف اصلی شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، ارزیابی سطح تنوع زیستی در ارتباط با گونه‌های درختی در اکوسیستم‌های جنگلی است (Pastorella & Paletto, 2013).

با توجه به ویژگی‌های شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه از جمله آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد (Alijani *et al.*, 2013) و مزایای منحصر به‌فردی که در تعیین نحوه مدیریت ساختار توده و شبیه‌سازی ساختار دارند (Wang *et al.,* 2016)، رسیدن به یک الگوی مدیریت و شیوه جنگل‌شناسی مناسب در جنگل‌های هیرکانی و همچنین تعیین ساختار و برنامه‌ریزی بر اساس وضع موجود با استفاده از این شاخص‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین، به‌منظور آگاهی از فرآیندهای طبیعی در اکوسیستم‌های جنگلی لازم است ساختار توده‌های دست‌نخورده بررسی شود و مقادیر آن به‌عنوان مرجعی برای مدیریت هماهنگ و

درخور جنگل‌ها مورد استفاده قرار گیرد تا بتوان هرچه بیشتر به مدیریت پایدار و هم‌گام با طبیعت نزدیک شد.

در جنگل‌های هیرکانی یکی از گونه‌های مهم همراه راش، ممرز است. با توجه به اهمیت اقتصادی و اکولوژیک راش و همچنین فراوانی توده‌های آمیخته راش- ممرز، ضروریست به‌منظور مدیریت صحیح این جنگل‌ها اطلاعات کافی در رابطه با ساختار و سطح تنوع درختی تیپ راش- ممرز و گونه‌های موجود در آن جمع‌آوری و در اختیار مدیران جنگل قرار گیرد که در پژوهش پیش‌رو مورد توجه قرار گرفت. همچنین، در این پژوهش سعی شد علاوه‌بر بررسی وضعیت ساختاری تیپ راش- ممرز در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، سطح تنوع درختی تیپ راش- ممرز بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سری شماره سه ناو اسالم که یکی از سری‌های حوضه هفت ناو در استان گیلان و شهرستان تالش به‌شمار می‌آید، بین عرض جغرافیایی ″۲۸ ′۳۶ °۳۷ تا ″۲۲ ′۴۱ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ″۲۲ ′۴۰ °۴۸ تا ″۰۴ ′۴۸ °۴۸ شرقی واقع شده است. این سری در حدود ارتفاعی ۴۵۰ تا ۲۱۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. جنگل‌های این منطقه از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی و از نظر خاکشناسی، تیپ خاک هوموسی واریزی و نوع سنگ مادری آن شیست است. متوسط بارش سالانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲/۴ درجه سانتیگراد است و نوع اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، از نوع مرطوب سرد می‌باشد (Falahchay *et al.*, 2012).

با توجه به این‌که بررسی روابط بوم‌شناختی بین درختان باید در محدوده‌ای همگن انجام شود، با استفاده از نقشه‌های ویژگی‌های فیزیوگرافیک منطقه و پس از انجام جنگل‌گردشی‌های متعدد و شناخت وضعیت جنگل‌های منطقه، محدوده واحدهای همگن اکولوژیک مشخص شد. پنج قطعه‌نمونه یک هکتاری در واحدهای همگن تیپ راش- ممرز به‌صورت تصادفی پیاده و آماربرداری شد. در چنین شرایطی تنها عامل تأثیرگذار بر وضعیت ساختاری درختان، روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر است. با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری (Trupulse 360) (محصول شرکت لیزر فناوری آمریکا)، فاصله و آزیموت کلیه پایه‌های درختی موجود در قطعات نمونه با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به یک نقطه مشخص یادداشت و گونه و قطر برابر سینه آن‌ها نیز ثبت شد.

شاخص‌های مورد استفاده

به‌منظور ارزیابی سطح تنوع درختی جنگل‌های مورد مطالعه لازم بود که شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و تمایز قطر برابر سینه به‌صورت مجزا محاسبه شود و در نهایت با استفاده از مقادیر هر یک از شاخص‌های نامبرده، شاخص تنوع ساختاری ترکیبی محاسبه و سطح تنوع درختی مشخص شود. همچنین، برای بررسی تراکم درختان از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها استفاده شد. در جدول ۱ شاخص‌های به‌کار رفته به‌طور مختصر تشریح شده‌اند.

شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها به‌منظور برطرف کردن معایب شاخص‌های ساختاری نزدیک‌ترین همسایه که درنظر نگرفتن تراکم توده‌های جنگلی است، مورد استفاده قرار گرفت. بدون محاسبه مقدار این شاخص، هنگام مقایسه دو جنگل با چیدمان مشابه اما تراکم‌های متفاوت، اختلافات به‌خوبی نشان داده نمی‌شوند. به همین منظور، شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها به‌طور مکمل با شاخص‌های دیگر در کمی‌سازی ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ruprecht *et al.*, 2010).

شاخص زاویه یکنواخت با مقایسه زاویه بین درختان همسایه (α_j) و زاویه استاندارد (α_0) (رابطه ۱) به بررسی منظم بودن موقعیت مکانی درخت مرجع نسبت به درختان همسایه خود می‌پردازد.

جدول ۱- تشریح شاخص‌های مورد استفاده به‌منظور کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری جنگل

ویژگی	شاخص	رابطه	تشریح	منبع
تراکم درختان	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها	$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} S_{ij}$	S_{ij} = فاصله درخت مرجع تا همسایه‌ها	Ruprecht *et al*., 2010
موقعیت مکانی	زاویه یکنواخت	$W_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij}$	$v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow & \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow & \alpha_j \geq \alpha_0 \end{bmatrix}$	Corral *et al*., 2010; Szmyt & Korzeniewicz, 2014
آمیختگی	آمیختگی	$M_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij}$	$v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow j \text{ گونه} & \neq i \text{ گونه} \\ 0 \rightarrow j \text{ گونه} & = i \text{ گونه} \end{bmatrix}$	Pastorella & Paletto, 2013;
ابعاد درختان	تمایز قطری درختان	$T_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} \left(1 - r_{ij}\right)$	$r_{ij} = \frac{\min(X_i, X_j)}{\max(X_i, X_j)}$	Ruprecht *et al*., 2010; Szmyt & Korzeniewicz, 2014
سطح تنوع درختی	تنوع ساختاری ترکیبی	$SI = (T_i \times w_1) + (M_i \times w_2) + (W_i \times w_3)$	T_i = شاخص اختلاف ابعاد M_i = شاخص مینگلینگ W_i = شاخص زاویه یکنواخت	Pastorella & Paletto, 2013 Szmyt & Dobrowolska, 2016

رابطه (۱) $$\propto_0 = \frac{360}{\text{number of neighbour}+1}$$

مقدار شاخص زاویه یکنواخت هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از ارزش‌های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و یک به‌دست می‌آید (Corral *et al*., 2010; Szmyt, 2014). ارزش‌های کمتر از ۰/۳ الگوی یکنواخت، ۰/۳ تا ۰/۴ الگوی تصادفی و بیشتر از ۰/۴ الگوی کپه‌ای را نشان می‌دهند (Pastorella & Paletto, 2013). از آن‌جایی‌که مقدار این شاخص تنها به‌صورت یک میانگین عددی است، با ترسیم توزیع ارزش‌های این شاخص می‌توان به جزئیات دقیق‌تری از وضعیت موقعیت مکانی توده‌های جنگلی مورد بررسی دست یافت (Pommerening, 2002; Szmyt, 2014).

شاخص آمیختگی، درجه آمیختگی گونه‌های درختی را در جنگل توصیف می‌کند و به‌صورت کسری از n امین نزدیک‌ترین همسایه که دارای گونه‌های متفاوتی از گونه مرجع هستند، بیان می‌شود (Pommerening, 2002; Szmyt, 2012). این شاخص دارای ارزشی بین صفر تا یک است. مقادیر کمتر از ۰/۳ بیانگر آمیختگی (تنوع گونه‌ای) کم، مقادیر بین ۰/۳ تا ۰/۵ بیانگر آمیختگی متوسط و مقادیر بیشتر از ۰/۵ بیانگر آمیختگی زیاد است (Pastorella & Paletto, 2013). به‌عبارت دیگر، با افزایش مقدار این شاخص، آمیختگی در توده مورد بررسی افزایش می‌یابد.

شاخص تمایز قطر برابر سینه مقدار همگنی یا ناهمگنی درختان را از نظر اندازه قطر برابر سینه بررسی می‌کند. مقدار این شاخص بین صفر (بدون اختلاف و همه درختان از نظر ابعاد کاملاً مشابه یکدیگرند) تا یک (ناهمگنی زیاد در میان درختان همسایه) نوسان می‌کند (Szmyt & Ceitel, 2011). به‌منظور تفسیر بهتر، نتایج این شاخص به سه طبقه اختلاف قطری کم (مقادیر کمتر از ۰/۳)، اختلاف قطری متوسط (مقادیر بین ۰/۳ تا ۰/۵) و اختلاف قطری زیاد (مقادیر بیشتر از ۰/۵) تقسیم‌بندی می‌شود (Pastorella & Paletto, 2013).

شاخص‌های ساختاری ترکیبی بر پایه جنبه‌های مختلف ریاضی استوار هستند که به‌طور خلاصه اثرات دو یا چند ویژگی ساختاری را با یک ارزش توسط یک شاخص می‌سنجند (McElhinny *et al.*, 2005). شاخص‌های

ترکیبی به‌عنوان شاخص‌هایی با سطح اطمینان زیاد برای بررسی سطح تنوع زیستی توده مورد استفاده قرار می‌گیرند و با درنظر گرفتن درجه اهمیت ویژگی‌های مختلف توده و وزن‌دهی آن‌ها، سهم بالقوه آن‌ها را در تنوع زیستی تعیین می‌کنند (Parkes *et al.*, 2003). به‌منظور طراحی یک شاخص ترکیبی ساختاری، سه مرحله کلیدی لازم است: ۱- انتخاب تعداد و نوع ویژگی‌های مورد استفاده در شاخص، ۲- ایجاد چارچوب ریاضی برای ویژگی‌های ترکیب شده در یک ارزش شاخص منفرد و ۳- اختصاص نمره یا وزن به هر ویژگی در شاخص (McElhinny *et al.*, 2005). پژوهشگران تمایل دارند با توجه به نیازهای پژوهشی، اطلاعات موجود و نوع جنگل، شاخص‌های متفاوتی طراحی کنند. تعداد زیادی از شاخص‌های ساختاری ترکیبی مهم در مطالعات McElhinny و همکاران (۲۰۰۵) مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. شاخص تنوع ساختاری ترکیبی با توصیف سه جنبه موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و اختلاف ابعاد درختان و با درنظر گرفتن وزن‌های مختلف برای هر سه شاخص به‌صورت یکجا به بررسی وضعیت تنوع ساختاری می‌پردازد (Pastorella & Paletto, 2013; Szmyt & Dobrowolska, 2016). این شاخص ترکیبی از شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی (مینگلینگ) و اختلاف ابعاد است و با توجه به اهمیت نسبی سه جنبه مختلف ساختاری، هر یک از این سه شاخص وزن‌دهی شدند (w_1 = ۰/۲ و w_2 = ۰/۵، w_3 = ۰/۳) (Pastorella & Paletto, 2013). مقادیر کمتر از ۰/۳ این شاخص، بیانگر سطح تنوع درختی کم، مقدار ۰/۳ تا ۰/۴ بیانگر سطح تنوع درختی متوسط و مقدار بیشتر از ۰/۴ بیانگر سطح تنوع درختی زیاد است (Szmyt & Dobrowolska, 2016). در این پژوهش، هر گروه ساختاری متشکل از یک درخت مرجع و چهار همسایه اطراف آن بود و همه درختان یک‌بار به‌عنوان درخت مرجع انتخاب و وضعیت ساختاری آن‌ها نسبت به همسایگان خود بررسی شد. همچنین، در این پژوهش محاسبات مربوط به شاخص‌های ساختاری با استفاده از مجموعه نرم‌افزاری Crancod انجام شد و به‌منظور تصحیح اثرات حاشیه‌ای، روش نزدیک‌ترین همسایه به‌کار گرفته شد (Pommerening, 2006).

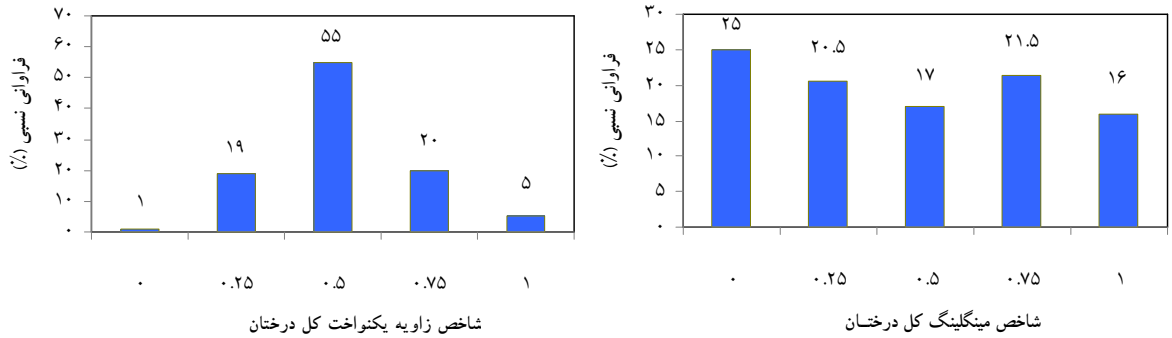
نتایج

پس از انجام آماربرداری در تیپ راش- ممرز مورد مطالعه، در حدود ۲۰۲ اصله در هکتار (کل تعداد پایه‌ها برابر با ۱۰۱۲ اصله بود) از گونه‌های راش، ممرز، پلت، توسکای ییلاقی، شیردار، گیلاس وحشی، ملج و ون ثبت شد. ویژگی‌های کمی گونه‌های موجود در تیپ راش- ممرز در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- خصوصیات کمی گونه‌های درختی در پنج قطعه‌نمونه یک هکتاری تیپ راش- ممرز

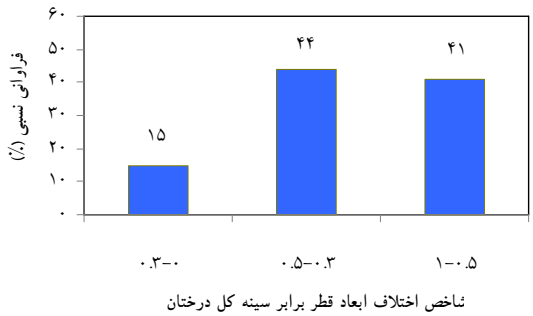
گونه	تعداد در هکتار	میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ضریب تغییرات قطر برابر سینه (٪)
راش	۱۱۶/۴	۵۳	۹۰
ممرز	۴۹	۳۵	۸۸
پلت	۱۳/۲	۴۴	۶۸
توسکای ییلاقی	۴/۶	۶۰	۶۱
شیردار	۱۱/۲	۲۱	۶۶
گیلاس وحشی	۱	۲۳	۴۰
ملج	۱/۶	۵۰	۸۴
ون	۳/۲	۴۸	۶۴

به‌منظور بررسی ساختار تیپ راش- ممرز، ۱۰۱۲ گروه ساختاری بررسی شد که ۴۶۱ گروه به‌علت نزدیکی به مرز توده و بر اثر تصحیح حاشیه‌ای حذف شدند. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها نشان داد که درخت مرجع، ۳/۲۵ متر تا اولین همسایه، ۵/۰۵ متر تا دومین همسایه، ۶/۴۸ متر تا سومین همسایه و ۷/۵۴ متر تا چهارمین همسایه فاصله داشت. میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای کل درختان و صرف‌نظر از نوع گونه درخت مرجع، ۰/۵۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای برای درختان موجود در منطقه مورد مطالعه بود. در شکل ۱ طبقات مختلف توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای درختان منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین فراوانی مربوط به طبقه سوم بود. این مقدار مربوط به زمانی است که درختان همسایه به‌صورت کپه‌ای در اطراف درختان مرجع پراکنده شده باشند. میانگین شاخص آمیختگی برای کل منطقه مورد مطالعه ۰/۴۵ محاسبه شد که نشان‌دهنده آمیختگی متوسط برای گونه‌های تشکیل دهنده بود. در شکل ۱ نمودار توزیع ارزش‌های شاخص آمیختگی برای درختان منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است.



شکل ۱- درصد فراوانی مقادیر شاخص‌های مینگلینگ (آمیختگی) و زاویه یکنواخت کل درختان در تیپ راش- ممرز

میانگین شاخص تمایز قطر برابر سینه برای کل درختان موجود در تیپ راش- ممرز ۰/۴۷ محاسبه شد. در شکل ۲ طبقات فراوانی نسبی ارزش‌های این شاخص نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین فراوانی مربوط به طبقه دوم (ارزش ۰/۵-۰/۳) بود. این طبقه بیانگر اختلاف متوسط درخت شاهد نسبت به سایر همسایگان خود است. در نهایت، مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی به‌منظور تعیین سطح تنوع درختی تیپ مورد بررسی، ۰/۴۷۵ محاسبه شد که بیانگر تنوع درختی زیاد تیپ مورد مطالعه بود.



شکل ۲- درصد فراوانی مقادیر شاخص اختلاف ابعاد قطر برابر سینه کل درختان در تیپ راش- ممرز

بحث

در جنگل‌داری نوین، کمی‌سازی ساختار جنگل با یک دامنه وسیعی از اهداف انجام می‌شود (Ruprecht *et al.*, 2010) که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، حفظ ساختار و تنوع زیستی اکوسیستم‌های جنگلی است. به این منظور، به شاخص‌هایی نیاز است که بتوانند با صرف کمترین زمان و هزینه بیشترین اطلاعات را در رابطه با وضعیت فعلی ساختار جنگل، تکامل طبیعی و تغییرات ناشی از مدیریت جنگل ارایه دهند (Alijani *et al.*, 2013). شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه‌ها می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و شاخص پیچیده‌تر تنوع ساختاری ترکیبی را به‌منظور ارزیابی تنوع زیستی موجود در سطح توده (تنوع درختی) ایجاد کنند. در این تحقیق سعی شد با استفاده از پنج قطعه‌نمونه یک هکتاری و به‌کارگیری شاخص‌های ساختاری مرتبط با شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، علاوه‌بر تعیین ساختار تیپ جنگلی راش- ممرزستان، سطح تنوع درختی در این تیپ بررسی شود.

در این پژوهش از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها به‌منظور بررسی تراکم درختان استفاده شد. Ruprecht و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که میانگین این شاخص به چیدمان درختان و همچنین تراکم جنگل مورد مطالعه بستگی دارد و به‌سادگی امکان محاسبه میانگین فاصله بین درختان در یک گروه ساختاری و مقایسه آن با سایر مناطق را ممکن می‌سازد. همچنین، Farhadi و همکاران (۲۰۱۴a) با استفاده از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها، کاهش تراکم درختان موجود در جنگل‌های زاگرس را بر اثر تخریب جوامع محلی، با مقایسه تراکم درختان در دو وضعیت پیش و پس از تخریب (شرایط فعلی) نشان دادند. یکی از ویژگی‌های مهم بوم‌شناختی جوامع جنگلی، الگوی مکانی درختان است که بررسی دقیق آن درک صحیح از بوم‌سازگان جنگل را ممکن می‌سازد (Basiri *et al.*, 2006). شاخص زاویه یکنواخت با بررسی زاویه بین درختان به بررسی نحوه چیدمان آن‌ها نسبت به یکدیگر می‌پردازد. در پژوهشی که Hui و همکاران (۲۰۰۷) انجام دادند، مشخص شد که شاخص زاویه یکنواخت به‌منظور بررسی الگوی مکانی درختان دارای توانایی زیادی است. میانگین این شاخص در تیپ راش- ممرز مورد مطالعه نشان‌دهنده کپه‌ای بودن چیدمان درختان نسبت به یکدیگر بود. به‌طور کلی، در جوامع جنگلی الگوی پراکنش بسیاری از گونه‌ها به‌صورت کپه‌ای است که دلیل آن روابط متقابل درختان با سایر عامل‌های محیطی است. نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج Alijani و همکاران (۲۰۱۲) که با استفاده از شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت الگوی پراکنش گونه‌های درختی بخش گرازبن جنگل خیرود را مابین تصادفی و کپه‌ای معرفی کردند، همخوانی دارد. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص با نتایج Haji Mirza Aghayee و همکاران (۲۰۱۰)، Habashi و همکاران (۲۰۰۷) و Nouri و همکاران (۲۰۱۳) که همگی الگوی مکانی راش را در ناحیه رویشی هیرکانی کپه‌ای معرفی کردند، همخوانی دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل پراکنش کپه‌ای راش در خصوصیات بوم‌شناختی آن از جمله بذرهای سنگین، سایه‌پسندی و داشتن زادآوری لکه‌ای نهفته است (Habashi *et al.*, 2007; Akhavan & Sagheb Talebi, 2012). با توجه به نحوه تجدید حیات راش و ریزش بذرها به زیر درختان در اثر وزن آن‌ها از یک‌سو و دست نخورده بودن منطقه مورد مطالعه از سوی دیگر، انتظار ایجاد الگوی کپه‌ای وجود داشت که نتایج این مطالعه این موضوع را تأیید کرد.

شاخص آمیختگی به‌خوبی بیانگر نحوه چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر است. این شاخص نشان‌دهنده آمیختگی متوسط تیپ راش- ممرز در جنگل‌های ناو اسالم بود. نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص با تحقیقات Alijani و همکاران (۲۰۱۳) که با بررسی ساختار تیپ‌های مختلف جنگلی در جنگل خیرود، مقدار آمیختگی در تیپ راش- ممرز را به‌نسبت کم گزارش کردند، تفاوت داشت. از دلایل این تفاوت می‌توان به نوع و میزان آمیختگی و همچنین نحوه مدیریت اشاره کرد. همچنین، Alijani و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که شاخص آمیختگی اطلاعات مناسبی را در

رابطه با رقابت درون‌گونه‌ای و بین گونه‌ای درختان ارایه می‌دهد. Pommerening (۲۰۰۲) بیان کرد که آمیختگی گونه‌ای تحت تأثیر موقعیت مکانی درختان قرار دارد و گونه‌هایی با الگوی کپه‌ای، به‌طور معمول دارای آمیختگی کمی هستند. همچنین، مدیریت توده بر ترکیب گونه‌ای بدون تأثیر نیست، به گونه‌ای که در جنگل‌های مورد مطالعه Commarmot و همکاران (۲۰۰۵)، مدیریت توده‌های راش سبب افزایش تنوع گونه‌های درختی نسبت به جنگل بکر شده بود. با توجه به اینکه در تیپ مورد مطالعه راش از نظر تعداد در هکتار درصد زیادی از گونه‌های درختی را به‌خود اختصاص داده بود، تمایل این گونه به داشتن الگوی مکانی کپه‌ای باعث شده بود که بیشتر درختان مجاور این گونه را پایه‌هایی از همان گونه تشکیل دهند.

شاخص تمایز قطر برابر سینه با میانگین ۰/۴۷ بیانگر اختلاف متوسط از نظر قطر برابر سینه تیپ راش- ممرز بود که می‌تواند ناشی از ناهمسال بودن تیپ مورد مطالعه باشد. همچنین، ممکن است این تیپ، یک تیپ بینابینی بوده و هنوز به مرحله انتهایی توالی خود که راشستان خالص است، نرسیده باشد، اما تشکیل کپه‌هایی از راش نشان‌دهنده حرکت به سمت خالص شدن راش بود. دخالت‌های انجام شده در گذشته و نیز سیر تحولی توده، از جمله عامل‌های اصلی اثرگذار بر مقادیر شاخص تمایز قطر برابر سینه است (Pommerening, 2002). Kint و همکاران (۲۰۰۰) در توده بلوط مورد بررسی خود، برداشت پایه‌های قطور گیلاس وحشی در مجاورت بلوط را از دلایل افزایش اختلاف قطری عنوان کردند. همچنین، Akhavan و Sagheb Talebi (۲۰۱۲) رابطه بین قطر درختان و رقابت در توده‌های راش را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که سرشت سایه‌پسندی راش و رقابت درون‌گونه‌ای آن در طول زمان تغییر می‌کند و سبب ایجاد الگوهای پراکنش مختلف و اجتماع‌پذیری‌های متفاوت بین طبقه‌های قطری مختلف می‌شود.

با وجود اینکه میانگین شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، اطلاعات مناسبی را ارایه می‌دهند، اما Aguirre و همکاران (۲۰۰۳) پیشنهاد کردند که به‌منظور درک بهتر ساختار درختان از نمودارهای توزیع مقادیر شاخص‌های مذکور در طبقات مختلف استفاده شود (شکل‌های ۱ و ۲). در این پژوهش، از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی برای تعیین سطح تنوع درختی تیپ راش- ممرز استفاده شد. Pastorella و Paletto (۲۰۱۳) با استفاده از این شاخص، سطح تنوع درختی تیپ‌های مختلف جنگل‌های ترنتینو ایتالیا را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند و بر کارایی و دقت این شاخص تأکید کردند. همچنین، Szmyt و Dobrowolska (۲۰۱۶) با استفاده از این شاخص به بررسی شدت اختلال ایجاد شده در قسمت‌های مختلف جنگل‌های شمال شرقی لهستان پرداختند. در پژوهش پیش رو، شاخص تنوع ساختاری ترکیبی با درنظر گرفتن سه جنبه مختلف ساختار (تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد) نشان داد که تیپ مورد مطالعه دارای تنوع درختی زیادی بود. از جمله دلایل زیاد بودن تنوع درختی این تیپ می‌توان به طبیعی بودن و دست‌نخوردگی این تیپ اشاره کرد. همچنین، با توجه به کپه‌ای بودن الگوی مکانی تیپ راش- ممرز مورد مطالعه، مقدار عددی الگوی مکانی درختان با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت زیاد محاسبه شد و با توجه به مقدار متوسط تنوع گونه‌ای مینگلینگ و تنوع ابعاد قطر برابر سینه، زیاد بودن مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی دور از انتظار نبود.

چنین اطلاعاتی می‌تواند به‌عنوان یک کلید راهنما در راستای تعیین سطح تنوع درختی در تیپ‌های مختلف اکوسیستم‌های جنگلی طبیعی و دست‌نخورده مورد استفاده قرار گیرد و زمینه مناسبی را برای مدیریت بهتر در راستای حفظ و بازسازی تنوع زیستی توده‌های مختلف و همچنین در توسعه ثبات و پایداری توده‌های جنگلی فراهم کند. نتایج این مطالعه، استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی را در بررسی سطح تنوع درختی تیپ راش- ممرز نشان داد. این شاخص می‌تواند در تیپ‌های مختلف جنگلی طبیعی (کمتر دست‌خورده) شمال کشور مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور تعیین وضعیت تنوع

درختی تیپ‌های مختلف جنگلی از این شاخص استفاده شود. همچنین، می‌توان مطالعاتی مشابه مطالعه پیش‌رو در تیپ‌های راش- ممرز دخالت شده انجام داد تا با اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب بتوان این تیپ را به وضعیت ساختاری و تنوع درختی طبیعی خود نزدیک کرد. در انتها، لازم به‌ذکر است که پایش درازمدت چنین تیپ‌هایی به‌عنوان قطعات ثابت و دایمی در مناطق طبیعی و دست‌نخورده جنگل‌های هیرکانی از بدو حیات تا دیرزیستی ضروریست تا بتوان به درک کامل‌تری از پویایی جنگل دست یافت.

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. and 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 (In Persian).
- Alijani, V. and Feghhi, J., 2012. Investigation on the elm (*Ulmus glabra* Hudson) spatial structure to applying for sustainable management (Case study: Gorazbon district, Kheyrud Forest). Journal of Environmental Studies, 37(60): 35-44 (In Persian).
- Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Marvi Mohajer, M.R., 2012. Quantifying the spatial structure in Hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon district of Kheyrud forest- Noushahr- Iran). Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources), 65(1): 111-125 (In Persian).
- Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Marvi Mohajer, M.R., 2013. Investigation of different forest type's structure with applying nearest neighbor indices (Case study: Gorazon district, Kheyrud forest). Iranian Journal of Applied Ecology, 2(3): 13-24 (In Persian).
- Basiri, R., Sohrabi, H. and Mozayen, M., 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Ghamisheleh Marivan region, Iran. Journal of Iranian Natural Resources, 59(2): 579-588 (In Persian).
- Commarmot, B., Bachofen, H., Bundziak, Y., Bürgi, A., Ramp, B., Shparyk, Y., Sukhariuk, D., Viter, R. and Zingg, A., 2005. Structures of virgin and 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.
- Erfanifard, S.Y., Zare, L. and Feghhi, J., 2014. Application of nearest neighbor indices in Persian oak (*Quercus brantii* var. *persica*) coppice stands of Zagros forests. Iranian Journal of Applied Ecology, 2(5): 15-25 (In Persian).
- Falahchay, M.M., Kalantaricherode, K. and Payam, H., 2012. Compare quantitative profile Natural forest stands in both protected and non-protected area. Iranian Journal of Biological Sciences, 5(4): 113-121 (In Persian).
- Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K. and Alijani, V., 2014a. Investigation of positioning and species diversity changes caused by local communities in Zagros forests (Case study: Ghalehgol forest, Zagros, Iran). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20(4): 61-80 (In Persian).
- Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K. and Alijani, V., 2014b. Analysis of Zagros forest structure using neighborhood-based indices (Case study: Ghalehgol forest, Khorramabad). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(2): 294-306 (In Persian).
- Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. and Rahmani, R., 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forest of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(1): 55-64 (In Persian).
- Haji Mirza Aghayee, S., Jalilvand, H., Kooch, Y. and Pormajidian, M.R., 2010. Analysis of important value and spatial pattern of woody species in ecological units (Case study: Sardabrood forests). Iranian Journal of Forest, 2(1): 51-60 (In Persian).
- Hui, G.Y. and Gadow, K.V., 2002. Das Winkelmass-Herleitung des optimalen Standardwinkels. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 173(10): 173-177.

- Hui, G., Li, L., Zhonghua, Z. and Puxing, D., 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. Acta Ecologica Sinica, 27(11): 4717-4728.
- Kint, V., Lust, N., Ferris, R. and Olsthoom, A.F.M., 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 1: 147-163.
- McElhinny, C., 2002. Forest and woodland structure as an index of biodiversity: a review. Published by Department of Forestry, Australian National University, Canberra, 80p.
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C. and Bauhus J., 2005. Forest and woodland stand structural complexity: its definition and measurement. Forest Ecology and Management, 218: 1-24.
- Moridi, M., Sefidi, K. and Etemad, V., 2015. Stand characteristics of mixed Oriental beech (*Fagus orientali*s Lipsky) stands in the stem exclusion phase, Northen Iran. European Journal of Forest Research, 134(4): 693-703.
- Nouri, Z., Zobeiri, M., Feghhi, J. and Marvie Mohajer, M.R., 2013. The pattern of spatial distribution of natural beech trees and structures in northern Iran. Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources), 66(1): 113-125 (In Persian).
- Parkes, D., Newell, G. and Cheal, D., 2003. Assessing the quality of native vegetation: the 'habitat hectares' approach. Ecological Management and Restoration, 4(1): 29-38.
- Pastorella, F. and Paletto, A., 2013. Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). Journal of Forest Science, 59(4): 159-168.
- 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.
- Pretzsch, H., 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer-Verlag, Heidelberg, 664p.
- Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K. and Vacik, H., 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. European Journal of Forest Research, 129: 189-198.
- Sefidi, K., Coopenheaver, C.A., Keivan Behjou, F. and Kakavand, M., 2014. Structural diversity within mature forests in Northern Iran: a case study from a relic population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C. A. Mey.). Forest Science, 16(2): 258-265.
- Staudhammer, C.L. and Lemay, V.M., 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. Canadian Journal of Forest Research, 31: 1105-1115.
- Szmyt, J., 2012. Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. Dendrobiology, 68: 69-76.
- Szmyt, J., 2014. Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. Silva Fennica, 38: 1-31.
- Szmyt, J. and Ceitel, J., 2011. Zróżnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym [Spatial and size diversity of trees in untended pine stands of different initial density]. Sylwan, 155: 749-759.
- Szmyt, J. and Dobrowolska, D., 2016. Spatial diversity of forest regeneration after catastrophic wind in northeastern Poland. iForest, 9: 414-421.
- Szmyt, J. and Korzeniewicz, R., 2014. Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands? Journal of Forest Research, 75(2): 171-179.
- Wang, H., Zhang, G., Hui, G., Li, Y., Hu, Y. and Zhao, Zh., 2016. The influence of sampling unit size and spatial arrangement pattern on neighborhood-based spatial structure analyses of forest stands. Forest Systems, 25(1): 1-9.

Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Gilan)

P. Farhadi [1], J. Soosani [2*] and S.Y. Erfanifard [3]

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

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran. E-mail: soosani.j@lu.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 07.01.2017 Accepted: 11.02.2017

Abstract

Stand structure and species diversity are two useful parameters for complex assessment of forest biodiversity, and provide important information for management and decision making for appropriate silvicultural system. For this purpose, five one ha plots were selected randomly in homogeneous ecological units of beech-hornbeam type in Nav-e Asalem, Gilan province. In order to determine complex structural diversity index (SI) in the studied forest type, uniform angle, mingling and DBH dimensions difference indicators were calculated. Also in order to determine density of trees, the nearest neighbors distance index was used. According to the results, the average value of nearest neighbors distance index was calculated to 5.58 meter. Mean uniform angle index was 0.52, which indicates clumped distribution of trees. Mean mingling index (0.45) indicates moderate mixture of the studied mixed stand. The amount of DBH dimensions difference index was 0.47, indicates moderate difference between trees diameter at breast height. The complex structural diversity index which presents three dimensions of structure, including diversity of spatial pattern, species diversity, and diversity of DBH dimensions) was calculated to 0.475. This value confirms a high level of tree diversity. The results of this study provide key information for management and maintaining of tree diversity in the studied mixed beech-hornbeam stand. Also with monitoring and management of tree diversity level we can reduce the negative impact of natural and human factors.

Keywords: Hyrcanian forests, tree density, tree diversity, uniform angle index.