

## تأثیر گونه‌های نادر بر شاخص پیچیدگی ساختار (SCI) در جنگل‌های راش هیرکانی

کیومرث سفیدی\*

- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (kiomarssefidi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴

### چکیده

یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت اکولوژیک جنگل‌ها افزایش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی است. همچنین با وجود توصیه به افزایش آمیختگی تاکنون تأثیر حضور گونه‌های نادر بر کارکرد بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌خوبی بررسی نشده است. این پژوهش برای تحلیل حضور و فراوانی حضور و فراوانی گونه‌های نادر درختی بر مقدار شاخص پیچیدگی ساختار در توده‌های راش انجام شد. تعداد ۱۲ قطعه یک‌هکتاری با حضور گونه‌های نادر درختی انتخاب و پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های ساختاری، شاخص چند متغیره پیچیدگی در هر یک از قطعات تعیین شد. برای برآورد این شاخص از ۱۰ متغیر منفرد شامل تعداد درختان در واحد سطح، میانگین قطر، ضریب تغییرات قطر، ضریب جینی قطر، تعداد درختان قطورتر از ۱۰۰ سانتی‌متر، نسبت تعداد درختان در اشکوب‌ها، نسبت روشنه، تعداد وحجم خشک‌دارها و تغییرات اندازه‌ای درختان استفاده شد. مقایسه مقدار همبستگی ارزش نسبی گونه‌های راش، پلت و گونه‌های نادر با شاخص پیچیدگی ساختار نشان‌دهنده تفاوت در تغییرات پیچیدگی با افزایش فراوانی گونه‌های درختی است. بر این اساس گونه‌های راش و ممرز به‌عنوان دو گونه درختی غالب و دارای بیشترین ارزش نسبی همبستگی کمتری را با این شاخص نشان دادند. درحالی‌که گونه پلت و دیگر گونه‌های نادر شامل توسکا، نمدار و ملج رابطه مثبتی را با افزایش پیچیدگی در ساختار نشان می‌دهند. از این‌رو با توجه تأثیر مثبت حضور گونه‌های درختی نادر بر افزایش پیچیدگی ساختار توصیه می‌شود در حین اجرای عملیات پرورشی برای تنظیم آمیختگی توده‌های طبیعی گونه‌های نادر در توده حفظ شوند.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع اندازه‌ای درختان، حفاظت از طبیعت، گونه‌های نادر، مدیریت اکولوژیک جنگل، همگام با طبیعت

## مقدمه

این درختان کارکرد مجموعه بوم‌سازگان جنگلی مختل نخواهد شد اما در خصوص برخی از گونه‌های منحصربه‌فرد در جنگل‌های هیرکانی مانند گیلاس وحشی و بارانک حذف این درختان جمعیت پرندگان را تحت تأثیر قرار خواهد داد. علاوه بر این نبایستی از تأثیر غیرمستقیم این درختان در نتیجه ارتباطات متقابل با گونه‌های غالب در توده‌های جنگلی غافل شد (Dee et al., 2019).

این درحالی است که در رویکرد مدیریت اکولوژیک جنگل‌ها که می‌تواند تضمینی برای حفظ تمامی کارکردهای بوم‌سازگان جنگل باشد، علاوه بر حفظ آمیختگی در توده‌ها افزایش پیچیدگی در ساختار نیز مدنظر است. افزایش پیچیدگی می‌تواند یکی از مهم‌ترین اهداف طرح‌های مدیریت جنگل در مواجهه با بحران‌های پیش‌روی بشر مانند تغییرات اقلیمی باشد. شاخص پیچیدگی ساختار توده‌های جنگلی (Forest stand structural complexity index) به‌عنوان یک شاخص چندمتغیره است که بر مبنای اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در مقیاس توده محاسبه می‌شود و بر این اساس می‌تواند شاخص مناسبی برای قیاس بین جنگل‌ها باشد.

در سال‌های اخیر پرورش جنگل‌های با پیچیدگی بالا و افزایش مقدار پیچیدگی در ساختار جنگل‌های تحت مدیریت از مهم‌ترین اهداف مدیریت جنگل در جنگل‌های راش اروپا بوده است (Brang et al., 2014). چرا که جنگل‌های با مقدار بالای پیچیدگی در ساختار، اغلب تاب‌آوری مناسبی در مواجهه به آشفتگی‌های محیطی مانند تغییرات اقلیمی دارند. همچنین پیچیدگی در ساختار تأثیر مثبتی بر اغلب کارکردهای بوم‌سازگان جنگل (Gadow et al., 2012)، نگهداشت تنوع زیستی در بوم‌سازگان جنگل (Gustafsson et al., 2012)، چرخه عناصر تغذیه‌ای (Ellison et al., 2005)،

اگرچه امروزه افزایش آمیختگی در توده‌های جنگلی از مهم‌ترین توصیه‌ها در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت است، اما این توصیه یک رویکرد به نسبت قدیمی است که توسط کارل گایر در سال ۱۸۸۶ بیان شد. این درحالی است که توده‌های راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی با کاهش حضور و فراوانی دیگر گونه‌های درختی، به سمت خالص‌شدن می‌روند. پژوهش‌های زیادی به کاهش فراوانی دیگر گونه‌های درختی در جنگل‌های راش شرقی به‌ویژه در مناطق غربی گسترشگاه جنگل‌های هیرکانی اشاره دارد (Alijani et al., 2013; Farhadi et al., 2017). بر اساس این پژوهش‌ها، شاخص آمیختگی در این مناطق اغلب کمتر از ۰/۵ گزارش شد، که تمایل بسیار کم گونه راش شرقی به آمیختگی با دیگر گونه‌ها را نشان می‌دهد. این درحالی است که در جنگل‌های هیرکانی گونه‌های درختی نادر با انتشار انفرادی مانند نمدار، ملج، آلوکک و در مواردی بارانک منجر به افزایش آمیختگی در توده‌ها می‌شوند. گونه‌های نادر اگرچه از نظر فراوانی و حضور مقدار عددی کمتری را در پژوهش‌ها نشان می‌دهند و با توجه به فراوانی اندک و سهم ناچیز این درختان در حجم سرپای جنگل اغلب در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل توجه کافی به این گونه‌ها نمی‌شود، اما از نظر اهمیت و کارکرد اکولوژیک دارای اهمیت هستند. نادر بودن گونه‌ها در رویشگاه جنگلی اغلب بر اساس فراوانی و حضور کم یک گونه گیاهی (درختی) در قیاس با دیگر گونه‌ها تعریف می‌شود در حالی که گونه نادر می‌تواند از جنبه‌های مختلفی مانند انتشار محدود در یک ناحیه جغرافیایی تعریف شود (Violle et al., 2017). بسیاری از گونه‌های نادر در جنگل‌ها در معرض انقراض هستند (Burner et al., 2022). بیشتر به‌علت فراوانی و زی‌توده اندک گونه‌های نادر این تصور وجود دارد که با حذف

گونه‌های شاخص چوبی هستند که حذف آن‌ها تأثیری بر تحلیل مولفه‌های اصلی پوشش گیاهی ایجاد نمی‌کند (Eshaghi Rad et al., 2016).

در جنگل‌های شمال کشور پژوهش‌های متعددی در ارتباط با کمی‌سازی ساختار و ترکیب توده‌های جنگلی انجام شده است. با این حال پژوهش‌های انگشت‌شماری در خصوص برآورد شاخص‌های پیچیدگی و نقش گونه‌های نادر انجام شده است. بیان کمی اثرهای حضور و نگهداشت گونه‌های نادر بر پیچیدگی ساختار توده در جنگل‌های کمتر دست‌خورده طبیعی می‌تواند پایه و اساس برنامه‌های پرورشی و بازسازی رویشگاه‌های دست‌خورده در مناطق مختلف و همچنین تدوین برنامه‌های پرورشی نزدیک به طبیعت در این جنگل‌ها باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد، اگرچه ساختار توده‌های جنگلی در سال‌های اخیر در جنگل‌های هیرکانی به‌خوبی بررسی شده است، اما برآورد شاخص پیچیدگی به‌عنوان یک شاخص چندمتغیره و اثرپذیری آن از ویژگی‌های توده کمتر انجام شده است. نتایج این بررسی می‌تواند اطلاعات مناسبی از اثرهای گونه‌های با فراوانی کم بر شاخص پیچیدگی ساختار در جنگل‌های هیرکانی ارائه کند. بر این اساس تحقیق پیش‌رو با هدف برآورد این شاخص و آشکارسازی تأثیر گونه‌های نادر بر شاخص پیچیدگی جنگل انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

این پژوهش بر اساس تحلیل داده‌های بانک اطلاعاتی موجود بر اساس آمابرداری در پارسل ۳۱۸ بخش گرازبن از جنگل خیرود انجام شد. رویشگاه‌های مورد بررسی در جنگل خیرود واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر و در غرب استان مازندران بین ۲۷° ۳۶' و ۴۰'

ناهمگنی در رویشگاه و زیستگاه‌ها (Franklin and Van Pelt, 2004) و حتی افزایش محصول‌دهی و رویش سالیانه (Dănescu et al., 2016) دارد. با این وجود ابهامات زیادی در خصوص ایفای نقش زیستی و کارکرد بوم‌سازگان‌های جنگلی این گونه‌ها وجود دارد (Harnik et al., 2012) و پژوهش‌های اندکی در خصوص گونه‌های نادر وجود دارد (Burner et al., 2022; Zhang et al., 2022). بر اساس پژوهش انجام شده توسط Zhang et al., (2022) در جنگل مناطق استوایی نقش گونه‌های نادر متفاوت و مستقل از گونه‌های معمول و غالب در جنگل‌ها است. در عین حال پایداری و ارتجاع بوم‌سازگان‌های جنگلی در این نواحی می‌تواند متأثر از حضور گونه‌های نادر باشد. در پژوهش دیگری با بررسی ۱۲۶ قطعه‌نمونه دائمی در جنوب آلمان به این نتیجه رسیدند که شاخص پیچیدگی ساختار جنگل می‌تواند به شدت متأثر از تنوع گونه‌های چوبی باشد (Ehbrecht Rad et al., 2017). آمیختگی توده‌های جنگلی علاوه بر تأثیر تنوع زیستی در جنگل‌ها با تأثیر بر مقدار پیچیدگی می‌تواند حاصلخیزی رویشگاه‌های جنگلی را تحت تأثیر قرار دهند. نتیجه پژوهشی در جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کشور هلند نشان داد که افزایش آمیختگی در جنگل‌ها می‌تواند به شکل معنی‌داری محصول‌دهی و حاصلخیزی رویشگاه‌های جنگلی را متأثر سازند (Lu et al., 2018). همچنین در پژوهش دیگری از گونه‌های نادر به‌عنوان گونه‌هایی با توان رقابت پایین نام برده شده که اغلب در مناطق دچار آشفستگی‌های انسانی فراوانی بیشتری دارند (Ngo and Hölscher, 2014). در ایران نیز پژوهش‌های اندکی در این ارتباط انجام شده است. در پژوهشی در بخشی از جنگل‌های هیرکانی واقع در سری جمند نوشهر، تعداد نه گونه نادر ثبت شد، که در این بین آلوجه، گیلاس وحشی و زبان گنجشگ از

۳۳° عرض شمال و بین ۵۱° ۳۲' و ۵۱° ۴۳' طول شرقی است. مساحت کل جنگل خیرود حدود ۸۰۰۰ هکتار است. این جنگل از شمال به نوار ساحلی و روستای خیرودکنار و از جنوب به بیلاقات و روستای کلیک محدود می‌شود. رویشگاه‌های مورد بررسی با توجه به سابقه مدیریتی و عدم انجام نشانه‌گذاری و بهره‌برداری صنعتی، تشابه تیپ و شرایط رویشگاهی از بخش گرازین این جنگل انتخاب شد. در این بخش از جنگل خیرود حجم متوسط درختان بر اساس آمار برداری صد در صد، ۳۳۸ سیلو گزارش شد (Moridi et al., 2015).

#### جمع‌آوری داده‌ها

بر اساس داده‌های موجود و مبنای بررسی سیر تحولی توده‌های راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی (Sefidi et al., 2013) و دستاوردهای پژوهش‌های قطعات دائمی در مناطق مختلف از جنگل‌های هیرکانی (Sagheb-Talebi, 2013) و جنگل‌های راش و نراد در اروپا (Korpel, 1982) ۱۲ قطعه یک هکتاری انتخاب و مشخصه‌های کمی ساختار توده برای برآورد مقدار کمی شاخص پیچیدگی در جنگل اندازه‌گیری شد. بر این اساس در قطعات یک‌هکتاری قطر برابر سینه همه درختان با قطر بیش از ۷/۵ سانتی‌متر با خط‌کش دوبازو اندازه‌گیری و تعداد پایه‌های درختان با قطر کمتر شمارش و ثبت شد.

#### تحلیل داده‌ها

در این بررسی گونه‌های با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد در قطعات به‌عنوان گونه‌های نادر دسته‌بندی شدند (Violle et al., 2017). شاخص اهمیت نسبی (Relative importance value) با محاسبه میانگین غلبه و فراوانی نسبی گونه‌های درختی به شکل درصد به‌دست آمد. شاخص غلبه نسبی گونه بر اساس سطح مقطع برابر سینه هر گونه در جنگل تعیین شد (Rubino and McCarthy, 2003). برای کمی‌سازی

مقدار عددی شاخص پیچیدگی ساختار از مجموعه‌ای از متغیرهای منفرد مرتبط با مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی استفاده شد. تعیین شاخص پیچیدگی ساختار توده‌های جنگلی بر اساس روش معرفی شده توسط McElhinny et al., (2005) انجام شد. بر این اساس انتخاب شاخص‌های منفرد و محاسبه شاخص چندمتغیره پیچیدگی در چهار مرحله انجام شد (Sefidi, 2023). در مرحله اول تعدادی از متغیرهای معمول در اندازه‌گیری‌های ساختار در جنگل‌ها بر اساس منابع و پژوهش‌های پیشین در ارتباط با کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی در توده‌های با شرایط رویشگاهی مشابه (Sagheb-Talebi et al., 2013, Javanmiri pour et al., 2019, McElhinny et al., 2005) شامل بیش از ۳۵ شاخص تعیین شد. علاوه بر این در جنگل‌های هیرکانی پژوهش‌های (Amini et al., 2018) و در جنگل‌های راش اروپا (Seidel et al., 2013) گروهی از متغیرهای مرتبط با ساختار توده را به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها در تعیین مراحل تحولی معرفی کردند که در این مرحله مورد توجه قرار گرفت. در مرحله دوم شاخص‌های مرتبط در گروه‌های مشخص به‌عنوان منابع ایجاد تنوع در ساختار جنگل‌های کهن‌رس دست‌بندی شدند. بر این اساس متغیرها می‌توانند در چند گروه شامل متغیرهای مرتبط با (۱) ساختار عمودی جنگل (مانند تعداد اشکوب‌ها و ارتفاع هر اشکوب)، (۲) ویژگی‌های ابعادی درختان (قطر، ارتفاع و متغیرهای وابسته به آن‌ها)، (۳) پوشش تاجی (میانگین مساحت روشن یا نسبت روشن به سطح جنگل)، (۴) ویژگی‌های توده (تراکم، سطح رویه زمینی و نسبت درختان قطور در توده) و یا (۵) خشک‌دارها و درختان زیستگاهی (فراوانی، حجم یا قطر آن‌ها) باشند. در مرحله سوم پس از تعیین متغیرهای مؤثر بر پیچیدگی، مهم‌ترین متغیرها بر اساس داده‌های در

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $H'$  شاخص تنوع اندازه‌ای درختان،  $S$  تعداد طبقه‌های قطر،  $P_i$  نسبت تعداد درختان در طبقه قطری  $i$  به تعداد کل درختان است. همچنین برای تعیین ناهمگنی در پراکنش درختان در کلاسه‌های قطری از شاخص ضریب جینی قطر درختان استفاده شد.

$$GC = \frac{\sum_{j=1}^n (2j-1-n)ba_j}{\sum_{j=1}^n ba_j(n-1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

با توجه به نقش مؤثر شکل‌گیری روشن‌ها و حضور خشک‌دارها در افزایش پیچیدگی در محاسبه پیچیدگی این دو متغیر نیز استفاده شد. از این رو روشن‌ها به شکل بازشدگی در پوشش تاجی با حداقل مساحت ۱۵ مترمربع با منشأ طبیعی تعریف شدند، چنانچه ارتفاع نهال‌های پرکننده روشن‌ها به نصف ارتفاع درختان جانبی رسیده باشد، روشن‌ها بسته فرض شده و ثبت نشدند (Nasiri et al., 2018)، برای برداشت مساحت واقعی روشن‌ها از روش رانکل استفاده شد، بر این اساس دو قطر بزرگ با تعریف بزرگ‌ترین قطر روشن و نیز قطر کوچک با تعریف کوچک‌ترین قطر عمود بر قطر بزرگ در هر روشن با استفاده از متر نواری برداشت و با استفاده از فرمول ریاضی بیضی به‌عنوان شکل غالب در روشن‌ها مساحت هر یک از روشن‌ها اندازه‌گیری شد (Mohammadi et al., 2020). همچنین برای خشک‌دارها با قطر بیش از ۱۰ سانتی‌متر گونه، نوع (افتاده، سرپا و یا کنده)، درجه پوسیدگی، طول یا ارتفاع و قطر در سه نقطه ابتدایی، میانی و انتهایی از تنه اندازه‌گیری شد. در این بررسی برای اندازه‌گیری حجم

دسترس، سهولت در اندازه‌گیری (به‌عنوان نمونه ارجحیت و انتخاب قطر در برابر ارتفاع) و نیز حذف داده‌های با همبستگی بالا با یکدیگر (انتخاب میانگین قطر در برابر سطح مقطع برابر سینه) از بین متغیرهای منفرد انتخاب شدند. در انتخاب متغیرهای با همبستگی بالا اولویت با متغیرهای دارای سهولت در اندازه‌گیری بود. در نهایت در مرحله چهارم از ترکیب ۱۰ متغیر منتخب در مرحله قبل (جدول یک)، شاخص ترکیبی پیچیدگی ساختار برای هر یک از قطعات نمونه محاسبه شد که به شکل درصد نمایش داده می‌شود. در این مرحله برای تعیین ارزش متغیرها بین صفر تا ۱۰ از رگرسیون خطی ساده استفاده شد. به این منظور مقادیر عددی ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ متناظر با مقادیر میانه چارک‌های ۱۲/۵، ۳۷/۵، ۶۲/۵ و ۸۷/۵ در نظر گرفته شد (McElhinny et al., 2006; Sabatini et al., 2015) و با انجام مدل‌سازی بر اساس رگرسیون خطی ساده برای هر متغیر مقدار متناظر آن بین صفر تا ۱۰ تعیین شد. در نهایت با جمع هر یک از متغیرهای شاخص پیچیدگی ساختار بین صفر و ۱۰۰ تعیین شد. مطابق انتظار مقدار عددی شاخص در توده‌های جنگلی با بیشترین مقدار پیچیدگی نزدیک به ۱۰۰ و در توده‌های با کمترین مقدار از پیچیدگی در ساختار مقدار عددی نزدیک به صفر خواهد بود (Sefidi et al., 2022). برای تعیین شاخص پیچیدگی علاوه بر تراکم درختان در توده شاخص‌های متعدد مرتبط با ساختار برای تعیین این شاخص مورد استفاده قرار گرفت. قطر درختان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ابعادی درختان است که می‌تواند بر پیچیدگی ساختار در جنگل‌ها اثرگذار باشد بر این اساس علاوه بر میانگین قطر درختان و شاخص تنوع اندازه‌ای درختان (Tree size diversity index) بر اساس شاخص شانون به‌عنوان شاخص‌های معرف تغییرات اندازه‌ای درختان مورد استفاده قرار گرفت.

(complexity) و مقادیر بیش از ۷۵ توده با پیچیدگی بالا (High level of complexity) طبقه‌بندی شدند (Sefidi et al., 2022).

در این بررسی مقادیر فراوانی نسبی، غلبه نسبی و اهمیت نسبی گونه‌های درختی در هر یک از قطعات محاسبه شد. در ادامه از آزمون همبستگی پیرسون برای تحلیل وجود رابطه معنی‌دار بین شاخص پیچیدگی ساختار و هر یک از متغیرهای فراوانی نسبی، غلبه نسبی و اهمیت نسبی گونه‌ها استفاده شد. همچنین در مرحله انتخاب متغیرهای مرتبط برای استفاده در شاخص ترکیبی نیز از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کلموگرافوف-اسمیرنوف و برابری واریانس با آزمون لون انجام شد و در صورت نیاز، نرمال‌سازی داده‌ها و تصحیح چولگی بالا در توزیع داده‌ها از طریق تصحیح لگاریتمی انجام شد. از بسته ggplot2 برای نمایش داده‌ها به شکل نمودار و از بسته corr برای تحلیل همبستگی استفاده شد. تمامی آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و در محیط نرم‌افزاری R نسخه ۳.۵.۳ انجام شد.

خشک‌داری‌های افتاده از رابطه نیوتن به شکل زیر استفاده شد (Sefidi et al., 2013).

$$V = \frac{L(A_b + 4A_m + A_t)}{6} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن  $V$  حجم به مترمکعب،  $L$  طول به متر،  $A_b$ ،  $A_m$  و  $A_t$  به ترتیب قطر ابتدا، میانه و انتهای خشک‌دار به سانتی‌متر است. برای محاسبه حجم خشک‌داری‌های سرپا و کنده‌ها فرمول زیر استفاده شد:

$$V = A_m \times L \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن  $V$  حجم کنده به مترمکعب،  $L$  طول به متر و  $A_m$  قطر میانه کنده خشک‌دار است. همچنین فراوانی نهال‌های با قطر برابر سینه کوچک‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر که ارتفاع آن‌ها برابر یا بیشتر از ۱۳۰ سانتی‌متر بود به عنوان تعداد درختان زیر اشکوب در این بررسی ثبت شد. همچنین برای تحلیل مناسب از وضعیت پیچیدگی در توده‌های جنگلی، توده‌های با مقدار عددی شاخص پیچیدگی کمتر از ۲۵، به عنوان توده‌های فاقد پیچیدگی (Non-complex structure)، ۲۵ تا ۵۰ توده‌های با پیچیدگی نسبی (Fairly complex structure) و توده‌هایی با مقدار عددی بین ۵۰ تا ۷۵ توده‌های با پیچیدگی متوسط (Medium level of structure) در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- رابطه رگرسیونی استفاده شده برای تعیین مقدار متناظر هر یک از متغیرها در مقیاس صفر تا ۱۰

Table 1. Regression equations used to assign a score to the quantitative values of indices on a scale of 0-10.

متغیرها Variables	رابطه رگرسیونی Regression equation	ضریب $R^2$	ضریب بتا $\beta$
تعداد درختان در هر هکتار Stem per hectare	Score = -1.452 + X · 0.045	0.95	0.97
میانگین قطر درختان Mean of DBH	Score = -5.854 + X · 0.326	0.95	0.96
ضریب جینی قطر درختان Gini coefficient	Score = -1.432 + X · 30.751	0.98	0.98
تعداد درختان قطورتر از ۱۰۰ سانتی‌متر Number of large trees (DBH > 100 cm)	Score = 1.725 + X · 0.761	0.95	0.97
نسبت سطح روشن‌جنگل Gap fraction	Score = 0.652 + X · 1.431	0.99	0.99

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

ضریب بتا $\beta$	ضریب $R^2$	رابطه رگرسیونی Regression equation	متغیرها Variables
0.98	0.98	Score = -2.023 + X · 0.362	تعداد خشک دار در هر هکتار Dead wood Number
0.96	0.92	Score = 2.757 + X · 0.134	حجم خشک دار در هر هکتار Dead wood Volume
0.94	0.89	Score = -12.567 + X · 22.369	تنوع اندازه‌های درختان (شاخص شانون) Tree size variation index (Shanon)
0.88	0.78	Score = -3.799 + X · 4.313	شاخص یکنواختی اندازه‌های درختان Tree size variation index (Pielou)
0.88	0.78	Score = 3.702 + X · 1.963	نسبت فراوانی زیر اشکوب به اشکوب بالا Canopy to understory layer density

## نتایج

مطابق انتظار، گونه راش شرقی (*Fagus orientalis*) به‌عنوان گونه غالب به‌طور میانگین ۷۲/۲ درصد از فراوانی نسبی کل و پس از آن گونه ممرز (*Carpinus betulus* L) حدود ۲۱/۱ درصد از فراوانی را به‌خود اختصاص داد. در بین گونه‌های با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد، افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss) با داشتن ۳/۱ درصد بیشترین فراوانی را به‌خود اختصاص داد. در بین گونه‌های نادر با فراوانی کمتر گونه‌هایی مانند شیردار (*Acer cappadocicum* Gled)، نمدار (*Tilia platyphyllos* Scop) توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata* C.E. Mey) بلندمازو و ملج (*Ulmus glabra* Huds) ثبت شد.

در این بررسی در مجموع ۲۰۷۷ اصله درخت در ۱۲ قطعه ۱ هکتاری بررسی شد. در قطعات مورد بررسی میانگین شاخص پیچیدگی ساختار  $4/2 \pm 65/2$  به‌دست آمد که دامنه‌ای بین دو مقدار ۴۹/۶ و ۸۴/۷ را نشان می‌دهد. بر این اساس بیشترین فراوانی (۵۸/۳۳ درصد) در قطعات مورد بررسی در توده‌هایی با پیچیدگی متوسط مشاهده می‌شود و توده‌هایی با پیچیدگی بالا در ۲۵ درصد از قطعات مشاهده شد.

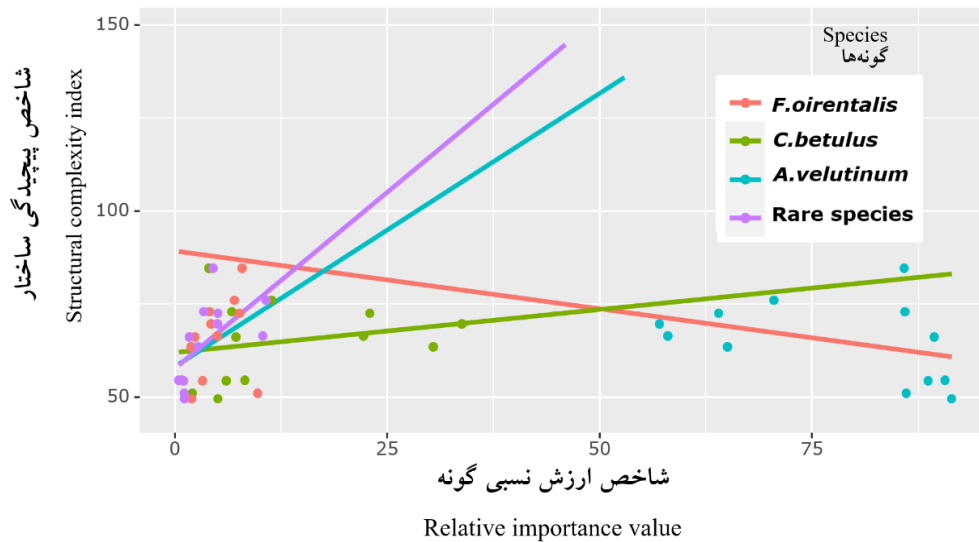
جدول ۲- مقایسه مقدار عددی متغیرهای مرتبط با ترکیب توده در جنگل‌های راش

Table2. Comparison of values of variables related to stand composition in beech forests

گونه‌های نادر Rare species	پلت <i>A. velutinum</i>	ممرز <i>C. betulus</i>	راش شرقی <i>F. orientalis</i>	مشخصه Characteristics
3.95	3.28	21.04	72.26	فراوانی نسبی (درصد) Relative frequency (%)
4.84	5.98	6.12	83.11	غلبه نسبی (درصد) Relative dominancy (%)
2.87	4.61	13.17	77.52	شاخص اهمیت نسبی (RIV) Relative importance value

و دارای بیشترین ارزش نسبی در جنگل‌های منطقه همبستگی کمتری را با این شاخص نشان می‌دهند. در حالی که گونه پلت و دیگر گونه‌های نادر شامل توسکا، نمدار و ملج رابطه مثبتی را با افزایش پیچیدگی در ساختار نشان می‌دهند.

مقایسه همبستگی شاخص پیچیدگی ساختار با ارزش نسبی گونه راش، پلت و گونه‌های نادر نشان دهنده تفاوت‌هایی در تغییرات پیچیدگی با افزایش فراوانی گونه‌های درختی است (شکل ۱). بر این اساس گونه‌های راش و ممرز به‌عنوان دو گونه درختی غالب



شکل ۱- مقایسه همبستگی شاخص پیچیدگی ساختار با ارزش نسبی گونه راش، پلت و گونه‌های نادر

Figure 1. Comparison of Structural complexity index correlation with the relative importance value of maple, beech and rare tree species.

توده‌های جنگلی رابطه مثبت و معنی‌دار با شاخص پیچیدگی ساختار دارد. در عین حال پلت در حالی که کمتر از ۵ درصد از فراوانی نسبی توده را دارد، تأثیری در حد متوسط و معنی‌دار بر این شاخص دارد. این در حالی است که هیچکدام از مشخصه‌های گونه راش رابطه معنی‌داری را با شاخص پیچیدگی ساختار نشان نمی‌دهد.

بر اساس نتایج آزمون همبستگی رابطه معنی‌داری بین فراوانی نسبی، غلبه و اهمیت نسبی گونه‌های راش و ممرز مشاهده نشد (جدول ۳) این در حالی است که گونه پلت با میانگین فراوانی کمتر از ۱۰ درصد و همچنین دیگرگونه‌های نادر و با فراوانی اندک تأثیر معنی‌داری بر شاخص پیچیدگی داشتند (جدول ۳). بر این اساس فراوانی و ارزش نسبی گونه‌های نادر در

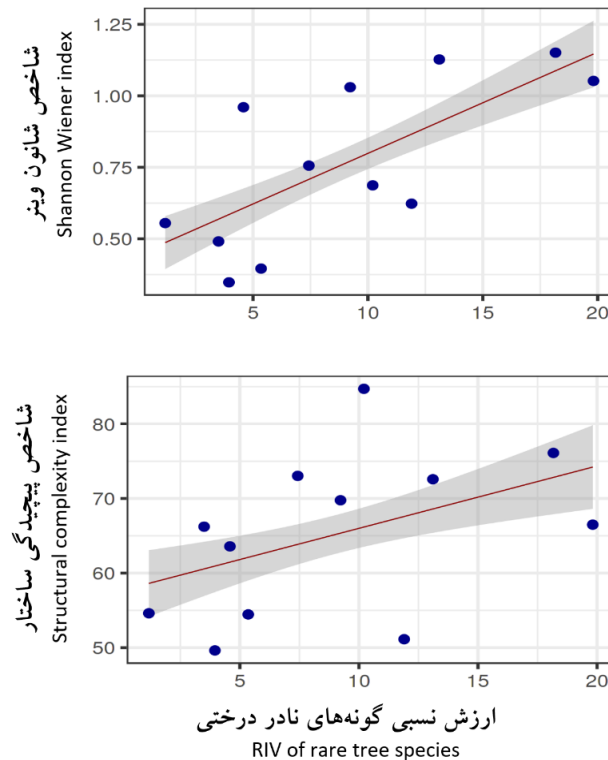


جدول ۳- تحلیل همبستگی شاخص پیچیدگی ساختار با فراوانی، غلبه و ارزش نسبی گونه‌های درختی در جنگل‌های راش  
Table 3. Structural complexity index correlation with the tree species density, basal area and relative importance value

شاخص اهمیت نسبی (RIV)		غلبه نسبی (درصد)		فراوانی نسبی (درصد)		گونه درختی
Relative importance value	Relative Dominancy (%)	Relative Frequency (%)				Tree species
sig	r	sig	r	sig	r	
0.215	-0.386	0.305	-0.323	0.236	-0.371	راش شرقی Oriental beech
0.468	0.232	0.623	0.158	0.438	0.247	ممرز European hornbeam
0.209	0.391	0.420	0.257	0.040	<b>0.598</b>	پلت Velvet maple
0.036	<b>0.608</b>	0.130	0.462	0.003	<b>0.769</b>	دیگر گونه‌های نادر* Rare (minor) tree species

\* شامل توسکا، ملج، نمدار، خرمنندی و آلوکک است.

\* Rare tree species is including alder, elm, lime, Caucasian persimmon and wild cherry.



شکل ۲- همبستگی شاخص ارزش نسبی گونه‌های نادر درختی با شاخص تنوع و غنای شانون (بالا) و مقدار عددی شاخص پیچیدگی (پایین)

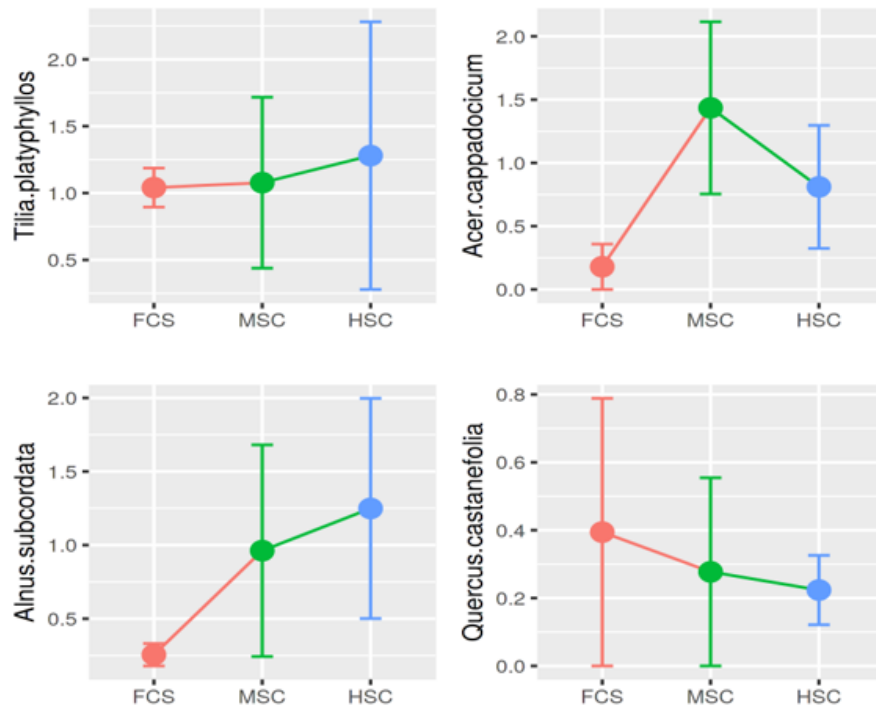
Figure 2. Correlation of relative importance value of rare tree species and Shannon diversity and richness index (top) and structural complexity index (down)

این‌رو با افزایش شاخص ارزش نسبی گونه برای گونه‌های نادر تنوع گونه‌ای در توده افزایش می‌یابد و در عین حال بررسی رابطه بین شاخص پیچیدگی

همچنین بر اساس نتایج، مقدار عددی شاخص شانون و وینر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تنوع دارای حساسیت مطلوب نسبت به مقدار عددی شاخص ارزش نسبی گونه‌های نادر است. از

متوسط و زیاد نیز تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد (شکل ۳). بر اساس گونه‌هایی مانند توسکای بیلاقی و نم‌دار تفاوت آشکاری را در سه گروه از توده‌ها با مقدار متفاوت از پیچیدگی نشان می‌دهد.

ساختار و ارزش نسبی گونه‌های نادر نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد (شکل ۲). مقایسه دامنه تغییرات شاخص ارزش نسبی گونه در ۳ گروه از جنگل‌های با پیچیدگی ساختاری کم،



شکل ۳- مقایسه دامنه شاخص ارزش نسبی گونه (منحنی کاتریپلار) در توده‌های با مقدار متفاوت از پیچیدگی. HSC، MSC و LCS به ترتیب نشانگر جنگل با پیچیدگی بالا، متوسط و کم است.

Figure 3. Comparison of the relative importance value range in stands with the different value of stand structural complexity index, HSC, MSC and LFC demonstrates high, middle and Low complexity in structure.

جنگل‌ها بدون توجه به حفظ آمیختگی و پیچیدگی ساختار جنگل‌ها می‌تواند منجر به تغییر در ساختار طبیعی جنگل و دور شدن آن از مسیر تحول طبیعی توده شود. در عین حال هرگونه دخالت در ساختار جنگل و انجام عملیات پرورشی با اهداف زیستی یا اقتصادی، مستلزم در نظر گرفتن موقعیت توده در مراحل تحولی به‌عنوان راهنمای مسیر توسعه توده‌های جنگلی است (Sagheb-Talebi et al., 2014). با این حال با وجود تأکید فراوان بر حفاظت از گونه‌های درختی نادر مانند

## بحث

تغییر در نگرش مدیران و کنشگران بخش حفاظت از طبیعت منجر به تغییر در سیاست‌گذاری‌های کلان بخش جنگل شد. امروزه در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل‌ها برخلاف رویکرد کلاسیک مدیریت جنگل، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Sefidi, 2023) و از سوی دیگر در راستای حفظ تنوع گونه‌ای و بهره‌مندی از مزایای آن حفظ آمیختگی توده‌های جنگلی همواره توصیه شده است. مدیریت

آمیختگی توده‌های جنگلی و حضور گونه‌های درختی متفاوت منجر به تغییر در مقدار عددی شاخص پیچیدگی ساختار می‌شود (Juchheim et al., 2020). این موضوع می‌تواند با نحوه رشد و استقرار گونه‌های مختلف درختی و حتی معماری متفاوت تاج در بین گونه‌های درختی مختلف مرتبط باشد (Seidl et al., 2013). به‌ویژه در خصوص گونه‌های درختی مانند توسکا و یا گیلاس وحشی که به‌دلیل معماری متفاوت تاج و واقع شدن در اشکوب میانی منجر به افزایش تنوع در ساختار عمودی جنگل می‌شوند. علاوه بر این حضور گونه‌های نادر منجر به تنوع زمانی در استقرار نهال‌ها و ایجاد تنوع در شکل و نحوه استقرار زیر اشکوب در جنگل‌ها می‌شود. در این بین گونه راش شرقی به‌دلیل حضور ثابت و معین در تمامی قطعات اثر معنی‌داری بر شاخص پیچیدگی ندارد، اما گونه‌های نادر به‌دلیل مکانیسم متفاوت در زادآوری، معماری متفاوت تاج و به‌ویژه تفاوت در آشیان اکولوژیک منجر به افزایش ناهمگنی می‌شوند. نکته قابل توجه دیگر تفاوت ابعاد و اندازه درختانی مانند نمدار و توسکای ییلاقی است که منجر به تنوع در ابعاد و اندازه درختان در جنگل‌ها می‌شود. همچنین به‌نظر می‌رسد نرخ پوسیدگی متفاوت در بین گونه‌های درختی، منجر به ماندگاری متفاوت درختان خشک در کف جنگل شده و منجر به ایجاد ناهمگنی بیشتر در جنگل شوند. بر همین اساس در جنگل‌های واقع در اتحادیه اروپا تلاش می‌شود تا در سطح سیاست‌گذاری‌ها و تصمیمات کلان در اداره جنگل‌ها افزایش پیچیدگی ساختاری از طریق ایجاد جنگل‌های آمیخته انجام شود (Puettmann et al., 2015). علاوه بر این حضور گونه‌های مختلف درختی منجر به تغییر در شرایط رقابتی بین پایه‌های درختی و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای می‌شود. بر این اساس با حضور درختان با آشیان اکولوژیک متفاوت امکان ایجاد

آلوکک، تا کنون نقش آن‌ها در تنظیم کارکردهای توده‌های جنگلی بررسی نشده است. در این بررسی با این پیش‌فرض اولیه که شکل‌گیری پیچیدگی در ساختار جنگل در نتیجه برهم‌کنش تعدادی از عوامل مرتبط با درختان منفرد است، نوع گونه‌های درختی به‌ویژه گونه‌های نادر می‌تواند پیچیدگی در ساختار را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس نتایج در قطعات مورد بررسی میانگین شاخص پیچیدگی ساختار  $4/2 \pm 65/2$  به‌دست آمد و بیشترین فراوانی در قطعات مورد بررسی در توده‌هایی با پیچیدگی متوسط مشاهده شد. با توجه به کاهش نرخ رشد درختان قطور در توده‌های جنگلی توسعه‌یافته و همگنی در اندازه و ابعاد درختان در مرحله نهایی از تحول توده‌های راش کاهش می‌یابد و به‌نظر می‌رسد روند افزایشی در طی روند تحول توده مشاهده نمی‌شود. همچنین بایستی متذکر شد که توده‌های راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی با کاهش حضور و فراوانی دیگر گونه‌های درختی، جنگل‌ها به‌سمت خالص شدن می‌روند. پژوهش‌های متعددی به کاهش فراوانی دیگر گونه‌های درختی در جنگل‌های راش شرقی به‌ویژه در مناطق غربی گسترش‌گاه جنگل‌های هیرکانی را بیان کرده‌اند (Alijani et al, 2013; Farhadi 2017; Sefidi et al., 2018). علاوه بر این تمایل کم گونه راش به آمیختگی با دیگر گونه‌ها در فاز کهن‌رست گزارش شده است که منجر به همگنی در ساختار توده‌ها می‌شود (Nobahar et al., 2018). بررسی همبستگی شاخص پیچیدگی ساختار با ارزش نسبی گونه‌های راش، پلت و گونه‌های نادر نشان‌دهنده تفاوت‌هایی در تغییرات پیچیدگی با افزایش فراوانی گونه‌های درختی است. براساس پژوهش‌های پیشین گونه راش شرقی اجتماع‌پذیری متفاوتی در مراحل تحولی جنگل نشان می‌دهد (Kazempour Larsary et al., 2017)، همچنین بر اساس پژوهش دیگری

شاخص غنای گونه‌ای شانون با افزایش حضور گونه‌های نادر است. به نظر می‌رسد در توده‌های جنگلی راش توسعه یافته حضور درختانی مانند نمدار، ملیح و یا آلوکک می‌تواند منجر به افزایش تنوع، آمیختگی و در نهایت پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی شود. این موضوع اهمیت دو چندان نگهداشت درختان نادر در توده‌های جنگلی را تأیید می‌کند.

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان کرد که گونه‌های نادر علاوه بر نقش کلیدی در حفاظت تنوع گونه‌های جانوری مانند پرندگان در جنگل‌ها نقش مؤثری در افزایش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی دارند. بر این اساس توصیه می‌شود ضمن برنامه‌ریزی در راستای افزایش حضور گونه‌های نادر درختی از قطع این گونه‌های درختی اکیداً خودداری شود. علاوه بر این نقش اکولوژیک متعددی برای گونه‌های نادر درختی می‌توان متصور شد که تاکنون بررسی نشده‌اند. در اجرای طرح‌های مبتنی بر مدیریت اکولوژیک جنگل این موضوع بسیار دارای اهمیت است و برای حفظ همه کارکردهای بوم‌سازگان‌های جنگلی، علاوه بر حفاظت از تنوع زیستی و برای افزایش پیچیدگی ساختار توده‌های جنگلی پرورش گونه‌های درختی نادر در توده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف طرح‌های مدیریت جنگل بایستی مدنظر قرار گیرد.

## References

Alijani, V.; Fegghi, J.; Zobeiri, M.; Marvi Mohadjer, M., Investigation of different forest type's structure with applying nearest neighbor indices (Case study: Gorazon district, Kheyroud forest). *Iranian Journal of Applied Ecology* **2013**, 2 (3), 13-24. (In Persian)

Amini, R.; Rahmani, R.; Parhizkar, P., Comparison of developmental stages in Beech-Hornbeam stands using non-spatial indices of stand structure. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2018**, 26 (2), 156-167. (In Persian)

تنوع مکانی و زمانی (شروع و پایان فرآیندهای فنولوژیک) در توده فراهم می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل شود. در شرایط رقابت درون‌گونه‌ای شدید بین پایه‌های درختی امکان بهره‌مندی کامل از فضای رشد و منابع موجود فراهم نمی‌شود و ساختار توده به سمت افزایش همگنی سوق پیدا می‌کند. بر این اساس می‌توان عنوان کرد حضور گونه‌هایی غیر از راش و ممرز در این توده شرایط استقرار درختان در اشکوب‌های مختلف فراهم می‌آورد. بایستی در نظر داشت که شاخص پیچیدگی ساختار یک شاخص مرکب از برآیند گروهی از عوامل منفرد است. نوع متغیرهای به‌کاررفته در این شاخص می‌تواند مقدار عددی شاخص را دگرگون سازد. بر این اساس حجم و تعداد درختان در اشکوب‌های درختی، تعداد در هکتار درختان زنده و خشک و میانگین قطر درختان توده می‌تواند از فراوانی گونه‌های متفاوت درختی اثر پذیرد. به‌عنوان مثال حضور گونه پلت در توده‌های راش آمیخته تا اندازه زیادی منجر به پیچیدگی در قیاس با توده‌های خالص راش شده است. این گونه اگرچه کمتر از پنج درصد فراوانی توده را دارد اما به دلیل رشد مناسب قطری سبب تنوع اندازه‌ای درختان به‌ویژه در توده‌های جنگلی واقع در مراحل میانی از تحول توده می‌شوند. نکته دیگر افزایش معنی‌دار مقدار عددی

Brang, P.; Spathelf, P.; Larsen, J. B.; Bauhus, J.; Boncćina, A.; Chauvin, C.; Drössler, L.; García-Güemes, C.; Heiri, C.; Kerr, G.; Lexer, M.J.; Mason, B.; Mohren, F.; Mühlethaler, U.; Nocentini, S.; Svoboda, M., Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2014**, 87 (4), 492-503.

Burner, R. C.; Drag, L.; Stephan, J. G.; Birkemoe, T.; Wetherbee, R.; Muller, J.; Siitonen, J.; Snäll, T.; Skarpaas, O.; Potterf, M.; Doerfler, I.; Gossner, M.M.; Schall, P.;

- Weisser, W.W.; Sverdrup-Thygeson, A., Functional structure of European forest beetle communities is enhanced by rare species. *Biological Conservation* **2022**, *267*, 109491.
- Dănescu, A.; Albrecht, A. T.; Bauhus, J., Structural diversity promotes productivity of mixed, uneven-aged forests in southwestern Germany. *Oecologia* **2016**, *182* (2), 319-333.
- Dee, L. E.; Cowles, J.; Isbell, F.; Pau, S.; Gaines, S. D.; Reich, P. B., When do ecosystem services depend on rare species? *Trends in Ecology & Evolution* **2019**, *34* (8), 746-758.
- Ehbrecht, M.; Schall, P.; Ammer, C.; Seidel, D., Quantifying stand structural complexity and its relationship with forest management, tree species diversity and microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology* **2017**, *242*, 1-9.
- Ellison, A. M.; Bank, M. S.; Clinton, B. D.; Colburn, E. A.; Elliott, K.; Ford, C. R.; Foster, D. R.; Kloeppel, B. D.; Knoepp, J. D.; Lovett, G. M.; Mohan, J.; Orwig, D.A.; Rodenhouse, N.L.; Sobczak, W.V.; Stinson, K.A.; Stone, J.K.; Swan, C.M.; Thompson, J.; Von Holle, B.; Webster, J.B., Loss of foundation species: consequences for the structure and dynamics of forested ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* **2005**, *3* (9), 479-486.
- Eshaghi-Rad, J.; Pak Gohar, N.; Banj Shafiei, A.; Alavi, S. J., The Elimination's effect of rare species on principle component Analysis (Case Study: Jamand district, Nowshahr). *Forest Research and Development* **2016**, *1* (3), 257-269. (In Persian)
- Farhadi, P.; Soosani, J.; Erfanifard, S. Y., Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Gilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2017**, *25* (3), 495-505. (In Persian)
- Franklin, J. F.; Van Pelt, R., Spatial aspects of structural complexity in old-growth forests. *Journal of Forestry* **2004**, *102* (3), 22-28.
- Gadow, K. v.; Zhang, C. Y.; Wehenkel, C.; Pommerening, A.; Corral-Rivas, J.; Korol, M.; Myklush, S.; Hui, G. Y.; Kiviste, A.; Zhao, X. H., Forest structure and diversity. *Continuous cover forestry* **2012**, 29-83.
- Gustafsson, L.; Baker, S. C.; Bauhus, J.; Beese, W. J.; Brodie, A.; Kouki, J.; Lindenmayer, D. B.; Löhmus, A.; Pastur, G. M.; Messier, C.; Neyland, M.; Palik, B.; Sverdrup-Thygeson, A.; Volney, W.J.A.; Wayne, A.; Franklin, J.F., Retention forestry to maintain multifunctional forests: a world perspective. *BioScience* **2012**, *62* (7), 633-645.
- Harnik, P. G.; Simpson, C.; Payne, J. L., Long-term differences in extinction risk among the seven forms of rarity. Presented at the Royal Society B: Biological Sciences, 2012.
- Juchheim, J.; Ehbrecht, M.; Schall, P.; Ammer, C.; Seidel, D., Effect of tree species mixing on stand structural complexity. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2020**, *93* (1), 75-83.
- Kazempour Larsary, M., Spatial patterns, competition and spatial association of trees from different development stages in mixed beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *Journal of Forest and Wood Products* **2017**, *70* (2), 303-314. (In Persian).
- Korpel, S., Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. *Acta Fac For Zvolen* **1982**, *24*, 9-30.
- Lu, H.; Mohren, G. M.; Del Río, M.; Schelhaas, M.-J.; Bouwman, M.; Sterck, F. J., Species mixing effects on forest productivity: A case study at stand-, species-and tree-level in the Netherlands. *Forests* **2018**, *9* (11), 713.
- McElhinny, C.; Gibbons, P.; Brack, C.; Bauhus, J., Forest and woodland stand structural complexity: its definition and measurement. *Forest Ecology and Management* **2005**, *218* (1-3), 1-24.
- Mohammadi, L.; Mohadjer, M. R.; Etemad, V.; Sefidi, K.; Nasiri, N., Natural regeneration within natural and man-made canopy gaps in Caspian natural beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest, Northern Iran. *Journal of Sustainable Forestry* **2020**, *39* (1), 61-75.
- Moridi, M.; Sefidi, K.; Etemad, V., Stand characteristics of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the stem exclusion phase, northern Iran. *European journal of forest research* **2015**, *134*, 693-703.
- Nasiri, N.; Marvie Mohadjer, M. R.; Etemad, V.; Sefidi, K.; Mohammadi, L.; Gharehaghaji, M., Natural regeneration of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees in canopy gaps and under closed canopy in a forest in northern Iran. *Journal of Forestry Research* **2018**, *29*, 1075-1081.
- Ngo, T. L.; Hölscher, D., The fate of five rare tree species after logging in a tropical limestone forest (Xuan Son National Park,

- northern Vietnam). *Tropical Conservation Science* **2014**, 7 (2), 326-341.
- Nobahar, S.; Sefidi, K.; Sagheb Talebi, K., Quantifying the structure of beech stands at old growth phase (Case study: Asalem forests, northern Iran). *Forest research and development* **2018**, 4 (1), 85-96.
- Pour, M. J.; Marvi Mohajer, M. R.; Etemad, V.; Jourgholami, M., Determining structural variation in a managed mixed stand in an old-growth forest, northern Iran. *Journal of Forestry Research* **2019**, 30, 1859-1871.
- Puettmann, K. J.; Wilson, S. M.; Baker, S. C.; Donoso, P. J.; Drössler, L.; Amente, G.; Harvey, B. D.; Knoke, T.; Lu, Y.; Nocentini, S.; Putz, F.E.; Yoshida, T.; Bauhus, J., Silvicultural alternatives to conventional even-aged forest management-what limits global adoption? *Forest Ecosystems* **2015**, 2 (1), 1-16.
- Rubino, D. L.; McCarthy, B. C., Evaluation of coarse woody debris and forest vegetation across topographic gradients in a southern Ohio forest. *Forest Ecology and Management* **2003**, 183 (1-3), 221-238.
- Sabatini, F. M.; Burrascano, S.; Lombardi, F.; Chirici, G.; Blasi, C., An index of structural complexity for Apennine beech forests. *iForest-Biogeosciences and Forestry* **2015**, 8 (3), 314.
- Sagheb-Talebi, Kh. Appropriate characteristics of beech stands for application of close to nature silviculture (selection system). Annual Report of Research Project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands: Tehran, Iran, 2013. (In Persian).
- Sefidi, K.; Copenheaver, C. A.; Sadeghi, S. M. M., Anthropogenic pressures decrease structural complexity in Caucasian forests of Iran. *Écoscience* **2022**, 29 (3), 199-209.
- Sefidi, K.; Mohadjer, M. R. M.; Mosandl, R.; Copenheaver, C. A., Coarse and fine woody debris in mature Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests of northern Iran. *Natural Areas Journal* **2013**, 33 (3), 248-255.
- Sefidi, K., Closer to Nature Silviculture, Concepts to ecological management of forest ecosystems, University of Mohaghegh Ardabili Press: Ardabil, Iran, 2023.
- Seidel, D.; Leuschner, C.; Scherber, C.; Beyer, F.; Wommelsdorf, T.; Cashman, M. J.; Fehrmann, L., The relationship between tree species richness, canopy space exploration and productivity in a temperate broad-leaf mixed forest. *Forest Ecology and Management* **2013**, 310, 366-374.
- Violle, C.; Thuiller, W.; Mouquet, N.; Munoz, F.; Kraft, N. J.; Cadotte, M. W.; Livingstone, S. W.; Mouillot, D., Functional rarity: the ecology of outliers. *Trends in Ecology & Evolution* **2017**, 32 (5), 356-367.
- Zhang, S.; Zang, R.; Sheil, D., Rare and common species contribute disproportionately to the functional variation within tropical forests. *Journal of Environmental Management* **2022**, 304, 114332.

## Rare species impacts on structural complexity index (SCI) in the Hyrcanian beech forests

K. Sefidi\*

- Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran. (kiomarssefidi@gmail.com)

Received: 07.01.2023      Accepted: 03.02.2023

### Abstract

One of the most important goals of the ecological management of forests is to enhance the complexity of the structure of the forest stands. Also, despite the recommendation to increase mixing, the consequence of the presence of rare tree species on the forest ecosystem functions has not been well clarified. This research was conducted to analyze the presence and abundance of rare tree species on the structural complexity index in beech stands. The number of 12 one-hectare study areas with the presence of rare tree species was selected and after measuring the structural features, the multivariate complexity index was determined in each of the plots. We employed ten variables including stem per hectare, mean diameter at breast height, coefficient of variation of dbh, diameter Gini coefficient, number of trees with a diameter larger than 100 cm at breast height, the ratio of the number of trees in different stories, the fraction of canopy gaps, amount and volume of dead woods and tree size variation to the calculation of this index. Comparing the correlation between the relative importance value of beech, Maple, and other rare tree species with the structural complexity index revealed the differences in complexity variation toward the rising in the abundance of tree species. Accordingly, beech and hornbeam, as the two dominant tree species with the highest relative value, are weakly correlated with this index. While the maple and other rare tree species including alder, elm, and lime positively correlated with increasing complexity in the structure. According to the positive effect of the presence of rare tree species on the complexity of the structure of forest stands, it is recommended to the retention of rare tree species in stands to increase the complexity of the forest stands structure.

**Keywords:** Tree size variations, nature conservation, rare tree species, ecological forest management, Closer to nature Silviculture.

---

\* Corresponding author

Tel: +98912726406