

Estimation of Structural Diversity of *Acer campestre* Stands by using of Complexity Structural Diversity Index in Arasbaran Forest

Roya Abedi

Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran

Abstract

Measuring the forest structural diversity is a useful and important way to predict the growth and the future development activities of the forest stands. Calculating structural indices are the most common methods for estimating the forest structure. These indices provide a quantitative estimation of the situation of stands variations. The aim of this study was to investigate the structural diversity of *Acer campestre* L. stands as one of the most important species in Arasbaran forests in order to identify the condition of this species and improve its structural diversity. The structural diversity index (S-index) was calculated by using summing three indices consist of uniform angle index, mingling index and diameter differentiation index in distance method. The results showed that the uniform angle index ($W_t=0.36$) indicated a uniform -random distribution. The diameter differentiation index ($D_t=0.16$) showed a low diameter differentiation among the reference trees and the neighbor trees species and mingling index ($M_t=0.57$) showed the high amount of species mixture in the study area. Finally, the structural diversity index showed high structural variation (0.479) in the study area. This study can be considered as the basic information for improving the conditions, recognizing the ecological relationships between tree species and a pattern for restoration activities.

Keywords: Structure, Diameter differentiation index, Forest structure, Uniform angle index

* Corresponding Author: royaabedi@tabrizu.ac.ir

برآورد تنوع ساختاری توده‌های گونه کرب (*Acer campestre* L.) با استفاده از شاخص تنوع ساختار ترکیبی در جنگل‌های ارسباران

رویا عابدی

گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران

چکیده

یکی از متداول‌ترین روش‌های بررسی ساختار جنگل، استفاده از انواع شاخص‌های ساختاری است؛ این شاخص‌ها برآوردی کمی از وضعیت توده ارائه می‌دهند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تنوع ساختاری توده‌های گونه کرب (*Acer campestre* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های جنگل‌های ارسباران و به‌منظور شناسایی وضعیت موجود این گونه در راستای بهبود و حفاظت از تنوع ساختاری آن انجام شد. شاخص تنوع ساختاری ترکیبی از مجموع سه شاخص زاویه یکنواخت، آمیختگی گونه‌ای و تمایز قطری است که هر سه مورد از طریق آماربرداری فاصله‌ای محاسبه شدند. نتایج نشان دادند شاخص زاویه یکنواخت با مقدار ۰/۳۶ نشان‌دهنده پراکنش تصادفی متمایل به یکنواخت این گونه در منطقه است. شاخص تمایز قطری با مقدار ۰/۱۶ نشان‌دهنده تمایز قطری کم درختان بود و شاخص آمیختگی گونه با مقدار ۰/۵۷ تنوع زیاد گونه‌ای در منطقه را نشان داد. در نهایت، شاخص تنوع ساختاری ترکیبی مقدار زیاد تنوع ساختاری (۰/۴۷۹) را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. مطالعه حاضر با ارائه اطلاعات پایه می‌تواند برای بهبود وضعیت موجود استفاده شود؛ همچنین شناخت روابط بوم‌شناختی بین گونه‌های درختی، الگویی برای احیا در نظر گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ساختار، شاخص آمیختگی گونه، شاخص تمایز قطری، شاخص زاویه یکنواخت

مقدمه

ساختار جنگل تحت تأثیر فرایندهایی مانند رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای، شرایط رویشگاهی، رژیم‌های نوری گیاه (سایه پسنندی و نورپسنندی) و تخریب است و ارتباط تنگاتنگی با شرایط خاک آلی، زادآوری و تیپ توده دارد؛ همچنین اطلاعات بسیاری را دربارهٔ ویژگی‌های تنوع زیستی جنگل در اختیار قرار می‌دهد. تنوع ساختاری تأثیر بسزایی در ناهمگنی ساختار سیمای منظر توده دارد؛ این مفهوم، نقطهٔ مقابل تخریب و جایگزینی توده است (Martin *et al.*, 2018). در جنگل‌داری نوین، مطالعه‌های ساختار جنگل با اهداف گوناگونی انجام می‌شوند که حفاظت از ساختار و تنوع ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی یکی از مهم‌ترین آنهاست؛ از این رو، کسب اطلاعات در زمینهٔ ساختار جنگل برای اطلاع از وضعیت فعلی ساختار، تکامل طبیعی آن و تغییرات ناشی از مدیریت جنگل روی این مشخصه ضروری است (Farhadi *et al.*, 2017). نخستین گام در مدیریت مناسب جنگل‌ها، داشتن اطلاعات دربارهٔ شیوهٔ رشد، تکامل و چگونگی ساختار طبیعی است؛ زیرا بدون آگاهی از این عوامل و درجهٔ حساسیت آنها، خطر برهم خوردن تعادل جنگل در اثر دخالت‌ها وجود دارد؛ از این رو مهم‌ترین ابزارهای مدیریت جنگل، کمی‌سازی ساختار برای شناخت ساختار طبیعی و روش رسیدن به ساختار مطلوب متنوع است تا با استفاده از عملیات مدیریتی مناسب و شبیه‌سازی ساختار طبیعی در تودهٔ تحت مدیریت بتوان به حفظ تنوع زیستی، پویایی و پایایی جنگل رسید (Modaberi and Mirzaei, 2017). شناخت

تنوع ساختار جنگل به شناسایی تنوع درختان، ترکیب پوشش گیاهی، گونه‌های گیاهان بومی و در معرض خطر منجر می‌شود که در طرح‌های حفاظت مدنظر قرار می‌گیرند تا این گونه‌ها و خدمات اکوسیستمی آنها حفاظت شوند و به این ترتیب، از تخریب گونه‌های جنگلی و کاهش تنوع زیستی سیمای منظر جلوگیری شود (Harper *et al.*, 2005). (Hernández-Ruedas, 2014)؛ بنابراین تنوع، انعطاف‌پذیری و ظرفیت سازگاری اکوسیستم جنگلی را با محیط اطراف تضمین می‌کند و حفاظت از آن موجب مدیریت پایدار جنگل می‌شود؛ از این رو برای دست‌یافتن به مدیریت پایدار در جنگل، فعالیت‌های جنگل‌داری موفق باید در راستای مسائل تنوع گیاهی باشند (Esmailzadeh *et al.*, 2012). تنوع، نقشی کلیدی در همهٔ سطوح خدمات اکوسیستم ایفا می‌کند؛ به طوری که اکوسیستم متنوع ضامن بقای گونه‌ها در جهان است. در حال حاضر، سیستم‌های دارای تنوع زیستی طبیعی در معرض خطر تخریب قرار دارند و به همین علت، حفاظت و پایش تنوع جنگل‌ها به عنوان اکوسیستم طبیعی، متنوع و در معرض خطر به وظیفه‌ای در سطح محلی، ملی و جهانی تبدیل شده است (Gao *et al.*, 2014). مدیریت تنوع زیستی می‌تواند به شکل هم‌زمان با مدیریت ساختار توده انجام شود. اندازه‌گیری تنوع ساختاری جنگل برای پیش‌بینی رویش و توسعهٔ اکوسیستم جنگل اهمیت بسیاری دارد (Lemay and Staudhammer, 2005). از جمله ابزارهای مهم پایش تنوع ساختاری به عنوان یکی از عناصر تنوع زیستی، شاخص‌های تنوع ساختار هستند.

و مدل‌های ساختاری متفاوتی را برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی پیشنهاد کرده‌اند؛ همچنین Barbeito و همکاران (۲۰۱۰) از انواع شاخص‌های ساختاری در توده‌های کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) در ارتفاع‌های مختلف اسپانیا استفاده و توده‌های دارای بیشترین تنوع ساختاری را در ارتفاعات بالا و در مرز اختلاط درختان با درختچه‌ها و کمترین میزان تنوع ساختاری را در ارتفاعات پایین و در اختلاط با درختان بلوط پیرنه شناسایی و معرفی کرده‌اند. در جنگل‌های ارسباران و به‌ویژه در توده‌های گونه کرب (یکی از گونه‌های مهم در این جنگل‌ها)، گزارش مکتوبی ارائه نشده است. از آنجا که توده مورد مطالعه دارای گونه‌های آمیخته است و موضوع الگوی پراکنش گونه کرب در کشور بررسی نشده است، این گونه در مطالعه حاضر به‌عنوان گونه مرجع و سایر گونه‌ها به‌عنوان گونه‌های همسایه انتخاب شدند. کرب با نام علمی *Acer campestre* L. یکی از گونه‌های جنگل ارسباران با دامنه پراکنش از عرض جغرافیایی ۳۸ تا ۵۵ درجه شمالی است. این گونه اغلب در ارتفاعات بالا ظاهر می‌شود؛ به‌طوری که در اروپا در ارتفاع ۸۰۰ متر، در سوئیس در ارتفاع ۱۴۰۰ متر و در حوزه قفقاز در ارتفاع ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا پراکنش دارد. اغلب این گونه همراه با بلوط مشاهده می‌شود و در مناطق مرطوب گسترش دارد (Nagy and Ducci, 2004). مطالعه حاضر اطلاعات ارزشمندی را در زمینه ویژگی‌های تنوع ساختاری با استفاده از شاخص ساختاری ترکیبی در اختیار قرار می‌دهد تا با محاسبه این شاخص‌ها و شناسایی وضعیت موجود این گونه و مقایسه با توده‌های سایر

شاخص‌های تنوع از متداول‌ترین روش‌های بررسی ساختار جنگل و اغلب مستلزم اجرای روش‌های آماربرداری خاص در جنگل هستند (Barbeito *et al.*, 2010) و برآوردی کمی از وضعیت تنوع زیستی توده ارائه می‌دهند (Kasawani *et al.*, 2007)؛ تنوع ساختاری زیاد نشان‌دهنده حضور درختان از گونه‌های مختلف و با ابعاد متفاوت است (Lemay and Staudhammer, 2005; Gao *et al.*, 2014). شاخص‌های ساختاری، اطلاعات کاملی از درختان سرپا در توده در اختیار قرار می‌دهند و شاخص ساختاری ترکیبی، ارزش چندین شاخص ساختاری و آثار آنها را با یک ارزش عددی می‌سند؛ به این ترتیب شاخص‌های ترکیبی، شاخص‌هایی با اطمینان زیاد شناخته می‌شوند (Mauro *et al.*, 2017).

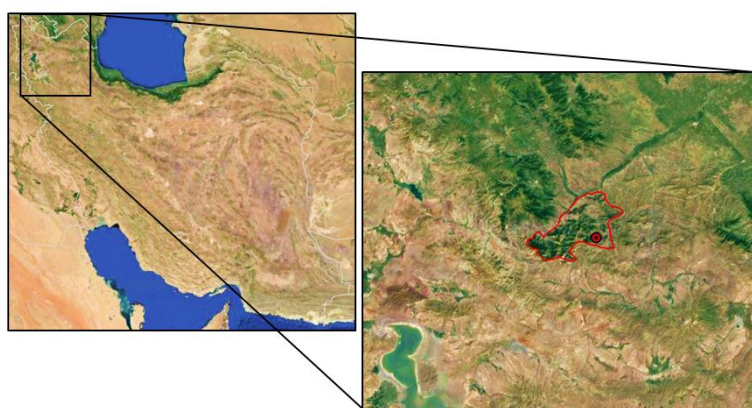
پژوهشگران بسیاری در داخل کشور و خارج از آن به بررسی و گزارش ساختار توده‌های جنگلی کشور پرداخته‌اند که از جمله آنها عبارتند از: مطالعه Daneshvar و همکاران (۲۰۰۷) روی تنوع ساختاری راشستان‌های آمیخته در جنگل شصت کلاته گرگان، مطالعه Sefidi (۲۰۱۷) روی تنوع ساختاری توده‌های گونه انجیلی با استفاده از شاخص‌های ساختاری و مطالعه Farhadi و همکاران (۲۰۱۷) در راستای ارزیابی ساختار و سطح تنوع زیستی درختی جنگل‌های تپ راش - ممرز در استان گیلان با استفاده از شاخص‌های ساختاری. در خارج از کشور نیز Gao و همکاران (۲۰۱۴) از انواع شاخص‌های تنوع زیستی و ساختاری به منظور بررسی نقش ساختار توده به‌عنوان شاخصی از تنوع در جنگل‌های کشور سوئد استفاده

شرقی و در ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و در بخشی از منطقهٔ رویشی ارسباران در شمال غرب کشور و شمال استان آذربایجان شرقی قرار دارد (شکل ۱). رویشگاه ارسباران با حدود ۱۶۰۰۰۰ هکتار مساحت، یکی از رویشگاه‌های نیمه‌مرطوب بخش شمال غرب کشور است (Sagheb Talebi *et al.*, 2013).

گونه‌ها در راستای اصلاح یا حفاظت تنوع ساختاری جنگل‌های ارسباران به سوی وضعیت ایده‌آل گام برداشته شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مورد مطالعه در رویشگاه‌های گونهٔ کرب در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 50' 25''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 59' 59''$ طول



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

نزدیک‌ترین درختان همسایه به آن مشخص و قطر، آزمون و فاصلهٔ آنها نسبت به درخت مرجع اندازه‌گیری شد (Pommerening, 2006; Pommerening and Stoyan, 2008).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: شاخص تنوع ساختاری ترکیبی از مجموع سه شاخص زاویهٔ یکنواخت، آمیختگی گونه‌ای و تمایز قطری به نسبت‌های مختلف بود که با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه و سپس با مقادیر مرجع (جدول ۱) مقایسه شد (Pommerening, 2006; Pommerening and Stoyan, 2008; Mauro *et al.*, 2017) (رابطهٔ ۱):

$$SI = (D_t \times w_1) + (M_t \times w_2) + (W_t \times w_3) \quad \text{رابطهٔ ۱}$$

در این رابطه، SI شاخص تنوع ساختار ترکیبی

روش جمع‌آوری داده از عرصه: شش هکتار از مناطق پراکنش گونهٔ کرب (*Acer campestre* L.) انتخاب شد. در هر هکتار به منظور پراکنش مناسب، ده نقطه تصادفی - سیستماتیک انتخاب و نمونه‌برداری‌ها به روش فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد انجام شدند. آماربرداری شامل اندازه‌گیری قطر برابر سینهٔ درختان دارای قطر بیشتر از $7/5$ سانتی‌متر با استفاده از نوار قطر سنج، اندازه‌گیری آزمون بین درختان با استفاده از قطب‌نمای سونتو و اندازه‌گیری فاصلهٔ درختان با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری انجام شد. در روش فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایه، ابتدا نزدیک‌ترین درخت مرجع کرب به مرکز نقطهٔ نمونه‌برداری تعیین و سپس سه درخت از

$$M_t = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (V_j) \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، M_t شاخص آمیختگی گونه، $=0$ اگر V_j اگر درخت مرجع و همسایه از یک گونه باشند، $V_j = 1$ اگر هر دو از یک گونه نباشند و n تعداد درختان همسایه است.

شاخص زاویه یکنواخت (رابطه ۴) به بررسی درجه منظم بودن موقعیت مکانی درختان توده در کنار یکدیگر و شیوه چیدمان یا الگوی پراکنش درختان در توده می‌پردازد. اساس این شاخص بر اندازه گیری زاویه بین درخت مرجع تا همسایه نسبت به زاویه استاندارد (α_0) (رابطه ۵) قرار دارد و دارای مقادیر بین صفر و یک است. در ترسیم این شاخص، چنانچه درصد فراوانی پراکنش این شاخص در دو سمت نمودار مشابه باشد، الگو تصادفی است، چنانچه فراوانی سمت چپ نمودار بیشتر از سمت راست باشد، الگو پراکنده است و برعکس این حالت، الگو کپه‌ای خواهد بود (Safari & Sohrabi, 2014; Etemad *et al.*, 2017; Modaberi and Mirzaei, 2017).

$$W_t = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (V_j) \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، W_t شاخص زاویه یکنواخت، $=1$ اگر V_j اگر زاویه بین درخت مرجع و هر درخت همسایه کمتر از زاویه استاندارد باشد، $V_j = 0$ اگر زاویه بین درخت مرجع و هر درخت همسایه بیشتر یا مساوی زاویه استاندارد باشد و n تعداد درختان همسایه است.

$$\alpha_0 = \frac{360}{n} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه، α_0 زاویه استاندارد و n تعداد درختان همسایه است.

$$(S\text{-index}), W_1=0/2 \text{ و } W_2=0/5 \text{ و } W_3=0/3$$

ضرایب وزن دهی، D_t شاخص تمایز قطری، M_t شاخص آمیختگی گونه و W_t شاخص زاویه یکنواخت است.

شاخص‌های تمایز قطری، آمیختگی گونه‌ای و زاویه یکنواخت برای درخت مرجع i و درخت همسایه j به ترتیب زیر محاسبه شدند:

شاخص تمایز قطری (رابطه ۲) میزان رقابت بین درختان مرجع و همسایه در توده را بر اساس قطر نشان می‌دهد و همچنین نشان‌دهنده مقدار همگنی یا ناهمگنی درختان است. زمانی که درختان همسایه اختلاف قطری کمی داشته باشند، این شاخص به سمت صفر میل می‌کند که نشان‌دهنده تشابه کامل بین درختان از نظر قطر است؛ درحالی‌که اگر ناهمگنی زیادی میان درختان مشاهده شود، ارزش این شاخص به سمت یک می‌رود (Etemad *et al.*, 2017; Farhadi *et al.*, 2017).

$$D_t = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(1 - \left(\frac{\min(\text{dbh}_i, \text{dbh}_j)}{\max(\text{dbh}_i, \text{dbh}_j)} \right) \right) \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، D_t شاخص تمایز قطری، $\min(\text{dbh}_i, \text{dbh}_j)$ قطر برابر سینه کوچک‌تر در درخت همسایه j و مرجع i $\max(\text{dbh}_i, \text{dbh}_j)$ قطر برابر سینه بزرگ‌تر در درخت همسایه j و مرجع i و n تعداد درختان همسایه است.

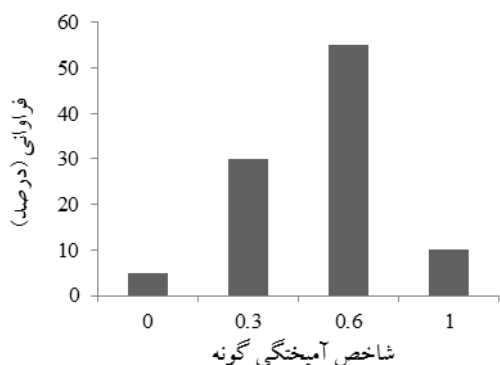
شاخص آمیختگی گونه (رابطه ۳)، درجه آمیختگی گونه‌های درختی را در جنگل توصیف می‌کند، شیوه چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر را نشان می‌دهد و ارزشی بین صفر و یک دارد؛ هرچه از مقدار صفر دور و به یک نزدیک شود، به این مفهوم است که آمیختگی گونه‌ای در توده افزایش یافته است (Farhadi *et al.*, 2017).

جدول ۱- مقادیر مرجع شاخص‌های ساختاری (Mauro et al., 2017)

طبقه‌بندی شاخص			شاخص ساختاری
> ۰/۵	۰/۳-۰/۵	< ۰/۳	
زیاد	متوسط	کم	تمایز قطری
تنوع گونه‌ای زیاد	تنوع گونه‌ای متوسط	تنوع گونه‌ای کم	آمیختگی گونه
الگوی پراکنش کپه‌ای	الگوی پراکنش تصادفی	الگوی پراکنش یکنواخت	زاویهٔ یکنواخت
> ۰/۴	۰/۳-۰/۴	< ۰/۳	تنوع ساختار ترکیبی
تنوع زیاد	تنوع متوسط	تنوع کم	

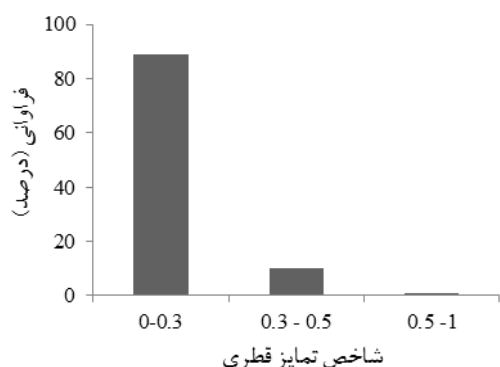
نتایج

نتایج محاسبهٔ شاخص‌های تشکیل‌دهندهٔ شاخص تنوع ساختار نشان می‌دهند مقدار میانگین شاخص زاویهٔ یکنواخت در توده‌های مورد مطالعه برابر با ۰/۳۶ و مقدار درصد فراوانی نسبی این شاخص در طبقهٔ ۰/۳ دارای بیشترین مقدار است. شکل ۲ توزیع فراوانی درختان در طبقه‌های مختلف شاخص زاویهٔ یکنواخت را نشان می‌دهد. محاسبهٔ شاخص آمیختگی گونه در توده‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد مقدار متوسط این شاخص در منطقه ۰/۵۷ است. شکل ۳ پراکنش مقدار فراوانی نسبی این شاخص در طبقه‌های مختلف آن را نشان می‌دهد و طبقهٔ ۰/۶ بیشترین فراوانی را دارد.

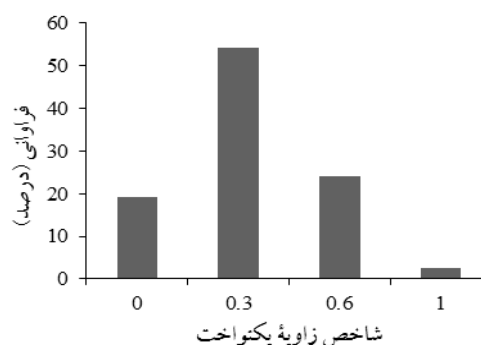


شکل ۳- مقدار شاخص آمیختگی گونهٔ توده‌های کرب در جنگل ارسباران

شاخص تمایز قطری نیز نشان می‌دهد مقدار متوسط تمایز قطری بین درختان ۰/۱۶ است. شکل ۴ نشان می‌دهد طبقهٔ ۰-۰/۳ دارای بیشترین مقدار درصد فراوانی نسبی این شاخص در منطقه است.



شکل ۴- مقدار شاخص تمایز قطری در توده‌های کرب جنگل ارسباران



شکل ۲- مقدار شاخص زاویهٔ یکنواخت توده‌های کرب در جنگل ارسباران

نشان از تمایل به سمت جدایی و تفکیک دارد. این شاخص برآوردی در زمینه میزان پراکنش بین درختان مرجع و سایر گونه‌ها ارائه می‌دهد؛ به طوری که مقدار زیاد این شاخص در توده جنگلی نشان‌دهنده اختلاط بیشتر گونه‌های مختلف در توده و مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده تمایل گونه‌ها به سمت کپه‌ای و جدایی گونه‌هاست. شاخص آمیختگی، رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای درختان را نیز به خوبی نشان می‌دهد و در ارتباط با چیدمان درختان است که آمیختگی کم، الگوی کپه‌ای و آمیختگی زیاد، الگوی تصادفی را نشان می‌دهد؛ این موضوع با نتایج شاخص زاویه یکنواخت در مطالعه حاضر همخوانی دارد. آمیختگی بیشتر نشان‌دهنده ناخالص بودن توده است که این وضعیت در توده‌های طبیعی قابل انتظار است (Farhadi et al., 2017). مقدار زیاد شاخص آمیختگی در سطح ۰/۶ در مطالعه حاضر نشان‌دهنده تمایل زیاد گونه کرب به اختلاط با سایر گونه‌ها و آمیختگی گونه‌ای در سطح بالا در توده مورد مطالعه است. پژوهشگران این شاخص را برای گونه‌های مختلف بررسی کرده‌اند؛ به طوری که که پلت گونه‌ای با تمایل به آمیختگی زیاد (۱-۰/۷۵) را Alijani و همکاران (۲۰۱۲) معرفی کردند؛ همچنین برای گونه انجیلی ۰/۳ (Sefidi, 2017)، برای گونه‌های راش و ممرز صفر، برای توسکای بیلاقی، نمدرار، بلندمازو، خرمندی و ملج ۱ (Alijani et al., 2012) و برای جامعه راش - ممرزستان در طبقه متوسط (۰/۲۵ و ۰/۴۵) گزارش شده است (Farhadi et al., 2017)؛ بنابراین، شاخص آمیختگی گونه دارای توانایی زیاد در بررسی روابط بین گونه‌های درختی است.

در نهایت، شاخص تنوع ساختاری بنا بر حاصل ضرب ضرایب وزنی و مجموع شاخص‌های یادشده برابر با ۰/۴۷۹ است (رابطه ۶).

$$\text{SI} = (0.163 \times 0.2) + (0.567 \times 0.5) + (0.544 \times 0.3) = 0.479$$

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی در توده‌های مورد مطالعه با مقدار بیشتر از ۰/۴ در طبقه سوم قرار دارد و تنوع گونه‌ای زیادی دارد. Farhadi و همکاران (۲۰۱۷) مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی را برای تیپ راش - ممرز در جنگل‌های استان گیلان برابر ۰/۴۷۵ و تیپ مورد مطالعه را دارای سطح بالای تنوع ساختاری گزارش کرده‌اند؛ همچنین بیان کرده‌اند با پایش مقدار تنوع ساختار توده‌های جنگلی در راستای اقدامات حفاظتی می‌توان از آثار منفی عوامل تخریب طبیعی و انسانی کاست.

به نظر می‌رسد یکی دیگر از کارکردهای مطلوب شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، استفاده از شاخص‌های تشکیل‌دهنده آن به طور جداگانه در تفسیر وضعیت ساختار توده‌های مورد مطالعه است؛ به این ترتیب که هر یک از شاخص‌های آمیختگی گونه، تمایز قطری و زاویه یکنواخت نماینده‌ای از ویژگی‌های توده مورد مطالعه هستند تا درک درستی از وضعیت ساختار در اختیار قرار دهند؛ به این منظور، شاخص آمیختگی در طبقه سوم یا ۰/۶ محاسبه شد که فراوانی زیاد این شاخص در مطالعه حاضر نشان‌دهنده حضور گونه‌های متنوع در توده و آمیختگی زیاد آن است. نتایج پژوهش Mauro و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند مقادیر کم این شاخص

آمد که نشان‌دهندهٔ همگن بودن قطری بین گونه‌های منطقهٔ مورد مطالعه است؛ همچنین به اثر عامل تراکم روی این شاخص اشاره شده است؛ به طوری که در توده‌های متراکم، مقدار این شاخص کم و در توده‌های دارای فضای کافی بین درختان، مقدار این شاخص بیشتر و توده ناهمگن‌تر و دارای تمایز قطری بیشتر خواهد بود (Pastorella and Paletto, 2013) که این موضوع با تراکم زیاد درختان در توده‌های منطقهٔ مورد مطالعه همخوانی دارد. تمایز قطری زیاد نشان‌دهندهٔ مدیریت در عرصهٔ جنگل است؛ به طوری که اگر پایه‌های قطور یا کم‌قطر به نفع دیگری برداشت شوند، بر ناهمگنی توده افزوده می‌شود (Alijani *et al.*, 2012). منطقهٔ مورد مطالعه حفاظت شده است و بهره‌برداری با هدف مدیریت توده در آن انجام نمی‌شود؛ این موضوع سبب ایجاد همگنی در توده شده است. شاخص تمایز قطری در کنار نمودار پراکنش قطری گونه‌ها به عنوان شاخصی قدرتمندتر در تشریح و تفسیر وضعیت قطری درختان توده عمل می‌کند و اطلاعات تکمیلی زیادی را در تفسیر قطر توده به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آماری توده‌های جنگلی در اختیار قرار می‌دهد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود این موضوع در منطقه بررسی شود.

در مطالعهٔ حاضر، شاخص زاویهٔ یکنواخت به روش محاسبه‌ای در طبقهٔ ۰/۳ دارای بیشترین مقدار و به روش ترسیم نمودار نشان‌دهندهٔ پراکنش یکنواخت متمایل به تصادفی این گونه در منطقه بود. این شاخص یکی از شاخص‌های مهم ساختاری توده و نشان‌دهندهٔ رقابت درون‌گونه‌ای و برون‌گونه‌ای است. شاخص زاویهٔ یکنواخت، میزان نظم مکانی درختان در توده را محاسبه می‌کند

شاخص تمایز قطری نشان‌دهندهٔ تفاوت درختان از نظر قطر است. بر اساس نتایج مطالعهٔ حاضر، فراوانی بیشتر در طبقهٔ ۰/۳-۰ به معنای تفاوت کم درختان از نظر قطر برابر سینه و به این مفهوم است که درختان با قطر کم، بیشتر از ۷۰ درصد قطر درختان همسایه را تشکیل داده است (Pommerening, 2006). این شاخص همچنین نشان‌دهندهٔ همگنی یا ناهمگنی درختان توده از نظر قطر برابر سینه است (Mauro *et al.*, 2017). Farhadi و همکاران (۲۰۱۷) استدلال کردند تمایز قطری کم و متوسط نشان‌دهندهٔ ناهم‌سالی توده است و از آنجا که تحلیلی از اندازهٔ درختان در اختیار قرار می‌دهد، از آن با نام تمایز مکانی درختان از نظر اندازه نیز نام برده می‌شود و شاخص مفیدی برای مقایسهٔ ساختار افقی توده، تیپ‌های مختلف درختی، جنگل‌های طبیعی، مدیریت شده و بهره‌برداری شده است (Szymt, 2014)؛ به بیان دیگر، نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های قطری بین درختان مرجع و همسایه است. این شاخص ساختار توده را از نظر ابعاد بررسی می‌کند (Pummerineng and Stoyan, 2008)؛ زیرا ابعاد درختان، نوع گونه‌ها و موقعیت مکانی آنها مهم‌ترین مفاهیم مربوط به ساختار جنگل هستند (Beckschafer *et al.*, 2013). مقدار این شاخص در مطالعهٔ Balanda (۲۰۱۲) در طبقهٔ ۰/۵-۰/۳، در مطالعهٔ Alijani و همکاران (۲۰۱۲) برای گونهٔ پلت در طبقهٔ ۱ با تمایز قطری زیاد محاسبه شده بود و در مطالعهٔ گونهٔ انجیلی در طبقهٔ ۰/۵-۰/۳ (Sefidi, 2017) برای توسکایی ییلاقی، راش و ممرز در طبقهٔ ۱، برای نمدار و بلند مازو ۰/۷۵، برای خرمنندی ۰/۲۵ و برای ملج صفر (Alijani *et al.*, 2012) به دست آمده بود. در مطالعهٔ حاضر نیز ۰/۳-۰ به دست

کمی کردن تنوع ساختاری، اطلاعات مهمی را در زمینه شناخت وضعیت موجود گونه‌ها، پایش، مدیریت و حفاظت از زیستگاه ارائه می‌دهد. روش فاصله‌ای مورد استفاده در مطالعه حاضر علاوه بر کارایی مناسب به علت سرعت در برداشت حجم کمتری از داده در عرصه و نیز در محاسبه شاخص‌ها، امکان پایش در مطالعه‌های زمانی و مکانی را فراهم می‌کند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مقدار شاخص ساختاری ترکیبی برای سایر گونه‌های مهم این منطقه محاسبه شود تا اقدامات مدیریتی در هر توده با داشتن اطلاعات علمی کافی از توده‌ها همراه باشد و به این ترتیب با اطمینان بیشتری عملیاتی شود.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان گفت شاخص‌های مورد بررسی شامل شاخص زاویه یکنواخت در تعیین الگوی پراکنش مکانی، شاخص آمیختگی در تعیین درجه آمیختگی گونه‌ها و تمایز قطری در تشخیص مقدار همگنی درختان از نظر قطر برابر سینه قابلیت مناسب و قابل قبولی در عرصه مورد مطالعه دارند و آنچه محاسبه شد با مشاهده‌های میدانی در عرصه جنگل مطابقت دارد. این نوع مطالعه‌ها علاوه بر شناخت وضعیت حاضر، برای آینده توده نیز بسیار کاربردی خواهند بود؛ زیرا با ایجاد هر نوع آشوب و تغییر در منطقه طی زمان می‌توان اطلاعات حاصل از این نوع مطالعه‌ها را به عنوان اطلاعات پایه برای بهبود وضعیت استفاده کرد و با شناخت روابط بوم‌شناختی بین گونه‌های درختی، الگویی برای احیا به دست آورد. شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر علاوه بر بررسی تنوع ساختاری به بررسی سایر مشخصه‌های ساختاری توده پرداختند؛ بنابراین می‌توان گفت شاخص S-index به طور مطلوبی در منطقه عمل کرد.

(Szmyt, 2014). شیوه چیدمان گونه‌ها تحت تأثیر سرشت اکولوژیک گونه از جمله سایه‌پسندی در مراحل مختلف رویشی، نوع بذر و زادآوری و همچنین نوع مدیریت جنگل بر شیوه پراکنش گونه‌ها و ساختار توده قرار دارد؛ به طوری که با استناد به نتایج Alijani و همکاران (۲۰۱۲)، توده‌های مدیریت شده تمایل به پراکنش منظم دارند. کاربرد شاخص زاویه یکنواخت علاوه بر نشان دادن شیوه چیدمان درختان توده، دقت زیادی دارد (Farhadi *et al.*, 2017). پژوهشگران بسیاری برای تعیین پراکنش مکانی و شیوه چیدمان گونه‌های جنگلی مختلف از این شاخص استفاده کرده‌اند؛ به طوری که این شاخص برای گونه‌های راش، توسکا ییلاقی، ممرز، نمدار، بلندمازو، افراپلت و ملج برابر با ۰/۵، برای گونه خرمنندی برابر با ۰/۷۵ (Alijani *et al.*, 2012) و برای جامعه راش - ممرزستان برابر با ۰/۵ (Farhadi *et al.*, 2017) به دست آمده است. مقدار این شاخص در مطالعه حاضر برابر با ۰/۳۶ محاسبه شد که بیان‌کننده چیدمان الگوی مکانی یکنواخت متمایل به تصادفی در منطقه است. دلایل متعددی شامل آشفتگی‌های محیطی، روابط متقابل رقابتی و حضور گونه‌های مهاجم و شیوه مدیریت (مثلاً حذف پایه‌های کم قطر یا گونه‌ای خاص به نفع درختان قطور یا گونه‌ای دیگر)، دخالت‌ها و تخریب‌های انسانی، آثار شکل زمین و شیوه انتشار بذرها و زنده‌مانی آنها در ایجاد انواع الگوهای پراکنش برای گونه‌های مختلف مؤثر هستند (Farhadi *et al.*, 2017)؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود پس از شناخت نوع الگو، اقدام به شناسایی عامل ایجاد الگوهای پراکنش در منطقه شود.

References

- Alijani, V., Fegghi, J. and Marvi Mohadjer, M. R. (2012) Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheirud forest). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 19(3): 175-188.
- Balanda, M. (2012) Spatio-temporal structure of natural forest: A structural index approach. *Beskydy* 5(2): 163-172.
- Barbeito, I., Montes, F. and Cañellas, I. (2010) Stand structure diversity in *Pinus sylvestris* L. woodlands in the central mountain range (Spain). *Revista Ciencia e Investigación Forestal (CIFOR)* 16(2): 139-146.
- Beckschafer, Ph., Mundhenk, Ph., Kleinn, Ch., Ji, Y., Yu, D. W. and Harrison, R. D. (2013) Enhanced structural complexity index: An improved index for describing forest structural complexity. *Journal of Forestry* 3(1): 23-29.
- Daneshvar, A., Rahmani, R. and Habashi, H. (2007) The heterogeneity of structure in mixed beech forest (Case study: Shastkalateh, Gorgan). *Journal of Agriculture Science and Natural Resources* 14(4): 20-31.
- Esmailzadeh, O., Hosseini, S. M., Asadi, H., Ghadiripour, P. and Ahmadi, A. (2012) Plant biodiversity in relation to physiographical factors in Afratakhteh Yew (*Taxus bacata* L.) habitat, NE Iran. *Journal of Plant Biology* 4(12): 1-12.
- Etemad, V., Moridi, M. and Sefidi, K. (2017) Quantification of beech stands structure in the stem exclusion phase. *Journal of Forest and Wood Products* 69(4): 647-656.
- Farhadi, P., Soosani, J. and Erfanifard, S. Y. (2017) 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* 25(3): 495-505.
- Gao, T., Hedblom, M., Emilsson, T. and Nielsen, A. B. (2014) The role of forest stand structure as biodiversity indicator. *Forest Ecology and Management* 330: 82-93.
- Harper, K. A., Macdonald, S. E., Burton, P. J., Chen, J., Brosofske, K. D., Saunders, S. C., Euskirchen, E. S., Roberts, D., Jaiteh, M. S. and Esseen, P. (2005) Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19(3): 768-782.
- Hernández-Ruedas, M. A., Arroyo-Rodríguez, V., Meave, J. A., Martínez-Ramos, M., Ibarra-Manríquez, G., Martínez, E., Jamangapé, G., Melo, F. P. L. and Santos, B. A. (2014) Conserving tropical tree diversity and forest structure: the value of small rainforest patches in moderately-managed landscapes. *PLoS One* 9(6): e98931.
- Kasawani, I., Kamaruzaman, J. and Nurun-Nadhirah, M. I. (2007) A study of forest structure, diversity index and above-ground biomass at Tok Bali Mangrove Forest, Kelantan, Malaysia. 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, Canary Islands, Tenerife, Spain.
- LeMay, V. and Staudhammer, C. (2005) Indices of stand structural diversity: Mixing discrete, continuous, and spatial variables. In: *Proceedings of the IUFRO Sustainable Forestry in Theory and Practice: Recent Advances in Inventory & Monitoring, Statistics, Information & Knowledge Management, and Policy Science Conference* (p. 4), 1-22. Edinburgh, UK.
- Martin, M., Fenton, N. and Morin, H. (2018) Structural diversity and dynamics of boreal old-growth forests case study in Eastern Canada Maxence. *Forest Ecology and Management* 422: 125-136.
- Mauro, F., Haxtema, Z. and Temesgen, H. (2017) Comparison of sampling methods for estimation of nearest-neighbor index values. *Canadian Journal of Forest Research* 47(6): 703-715.

- Modaberi, A. and Mirzaei, J. (2017) Study of decline effect on structure of central Zagros forests. *Journal of Forest Research and Development* 2(4): 325-336.
- Nagy, L. and Ducci, F. (2004) EUFORGEN technical guidelines for genetic conservation and use for field maple (*Acer campestre*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- 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. (2006) Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
- Pommerening, A. and Stoyan, D. (2008) Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbor summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1110-1122.
- Safari, A. and Sohrabi, H. (2014) Implementation of uniform angle index in determination of trees spatial pattern in a forest reserve of Hyrcanian zone. *Journal of Forest Sustainable Development* 1(1): 46-56.
- Sagheb Talebi, K., Sajedi, T. and Pourhashemi, M. (2014) *Forests of Iran (A treasure from the past, a hope for the future)*. Springer, Dordrecht Heidelberg New York, London.
- Sefidi, K. (2017) Structural diversity as component of biodiversity in forest ecosystems, case study from population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C. A. Meyer) in the north Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 29(4): 805-818.
- Szmyt, J. (2014) Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica* 48(1): 1-31.