Archive of SID

مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال یازدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸
ص ۳۴۷-۳۶۱

مقاله پژوهشی

مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های اوری در ارسباران (مطالعهٔ موردی: حاتم مشه‌سی، مشگین‌شهر)

کیومرث سفیدی[1*] و سید محمدمعین صادقی[2]

[1] دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
[2] دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۲)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های ساختاری اوری در جنگل‌های طبیعی ارسباران در حاتم مشه‌سی مشگین‌شهر انجام گرفت. برای این منظور، سه قطعه نمونهٔ یک‌هکتاری انتخاب و مشخصه‌های ساختاری توده براساس برداشت کامل همهٔ پایه‌های درختی و درختچه‌ای و روش فاصله‌ای (مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه) اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی تراکم درختان از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها، برای بررسی تنوع الگوی مکانی از دو شاخص زاویهٔ یکنواخت و کلارک و اوانز، برای بررسی آمیختگی گونه‌ای از شاخص‌های مینگلینگ و شانون-وینر، برای اندازه‌گیری اختلاف ابعاد درختان از شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی درختان و برای محاسبهٔ تنوع درختی از شاخص ترکیبی تنوع ساختاری بهره گرفته شد. نتایج نشان داد اوری در رویشگاه اصلی خود دارای ساختار به‌نسبت همگن بوده و میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها ۲/۵۹ متر است. نتایج حاصل از شاخص زاویه یکنواخت و شاخص کلارک و اوانز نشان‌دهندهٔ الگوی یکنواخت درختان اوری بود. براساس دو شاخص مینگلینگ و شانون- وینر، توده‌های تحت بررسی از آمیختگی اندکی برخوردارند و غالب درختان، اوری هستند. نتایج شاخص تمایز قطری و ارتفاعی درختان نشان داد که ابعاد درختان دارای اختلاف اندک بود. براساس شاخص ترکیبی تنوع ساختار، تنوع درختان در قطعه‌های نمونه بررسی‌شده در سطح متوسط حاصل شد. بر این اساس می‌توان گفت جوامع درختی اوری در منطقه دارای ساختاری همگن با آمیختگی کم و یک‌اشکوبه است. اطلاعات به‌دست‌آمده امکان پایش تغییرات آتی جوامع درختی اوری در منطقه را فراهم می‌آورد. همچنین به‌منظور افزایش پایداری اکوسیستمی، برنامه‌ریزی برای ایجاد ناهمگنی در ساختار توده و حمایت از دیگر گونه‌های درختی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، ساختار جنگل، شاخص زاویهٔ یکنواخت، شاخص نزدیک‌ترین همسایه.

مقدمه

جنگل‌های ارسباران در شمال غرب ایران، ویژگی‌های مختلف اکولوژیکی و مشخصه‌های ممتازی دارند؛ همچون پناهگاه بودن برای حیات وحش، بکر بودن و گردشگرپسندی و در بر گرفتن گونه‌های چندمنظوره (مانند زغال‌اخته، قره‌قات و بنه). این منطقه در سال ۱۳۵۵ خورشیدی در پی شکل‌گیری مفهوم شبکهٔ ذخیره‌گاه‌های زیست‌کرهٔ جهان همراه با

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۷۲۶۴۰۶۶
ایمیل: kiomarssefidi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

هشت منطقهٔ دیگر کشور از سوی سازمان جهانی یونسکو به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کرهٔ ایران ثبت شد. فعالیت‌های شدید انسانی در چند قرن گذشته، سیمای ظاهری، ترکیب و ساختار جنگل‌های ارسباران را به‌شدت تغییر داده است. قطع یکسرهٔ جنگل در گذشته (در چارچوب طرح‌های زغال‌گیری) و نیز قطع‌های غیرمجاز درختان جنگلی، با هدف تهیهٔ چوب سوخت و دیگر مصارف روستایی، به‌همراه چرای بیش از حد دام و فشردگی خاک موجب شده که این جنگل‌ها بیشتر به‌صورت دانه و شاخه‌زاد با فراوانی شاخه‌زاد درآیند (Alijanpour et al., 2009). ازآنجا که برای مدیریت پایدار جنگل‌ها، نیاز به بررسی ساختار فعلی آن و پایش تغییرات آن در طی زمان است، بررسی مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های ارسباران امری ضروری برای مدیریت بهتر آنها و نیز فراهم کردن امکان پایش تغییرات آتی به شمار می‌آید.

بررسی ساختار توده‌های جنگلی، از مهم‌ترین اجزای مدیریت جنگل به‌شمار می‌رود و امروزه از ارکان رسیدن به جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت شمرده می‌شود (Sefidi et al., 2014a). در حال حاضر موضوع ساختار جنگل، به یکی از اصلی‌ترین بحث‌های اکولوژیکی در علوم جنگل تبدیل شده است و درک درست ساختار از اساسی‌ترین راه‌های مدیریت پایدار به‌حساب می‌آید. برای درک درست و تصمیم‌گیری صحیح‌تر در فعالیت‌های مدیریتی جنگل مانند برش‌های پرورشی و شناخت آیندهٔ جنگل، بررسی ساختار جنگل ضروری است (Waters et al., 2018). از مهم‌ترین دلایل اهمیت بررسی مشخصه‌های ساختاری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ارتباط مستقیم و غیرمستقیم ساختار جنگل با رویشگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی، مدل‌سازی و بازسازی جنگل بر اساس تشریح مشخصه‌های ساختاری آن و اینکه ساختار جنگل منبع اطلاعاتی مهمی دربارهٔ پویایی جنگل و تولید چوب است (Sterba et al., 2018).

ساختار توده‌های جنگلی را می‌توان با استفاده از شاخص‌های ریاضی کارا و مؤثر ارزیابی کرد که به‌طور خلاصه شامل اثرهای دو یا چند مشخصهٔ ساختاری هستند (Nguyen et al., 2018). پژوهش‌های اخیر، مشخصه‌های ساختاری توده را با توجه به ارتباط بین گروه‌های درختی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه براساس شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت، آمیختگی و تمایز قطر برابرسینه بررسی کرده‌اند (Nguyen et al., 2018)؛ بنابراین استفاده از شاخص‌های عددی برای کمّی کردن مشخصه‌های ساختاری روش مطمئنی برای بررسی پیچیدگی‌های موجود در جنگل است.

تاکنون پژوهش‌های مختلفی دربارهٔ کمّی‌سازی ساختار توده‌های جنگل در داخل کشور در ناحیهٔ رویشی هیرکانی (Sefidi et al., 2014b)، ایران- تورانی (Sadeghi et al., 2016)، خلیج- عمانی (Basiri et al., 2014) و زاگرس (Alipour & Erfanifard, 2018) انجام گرفته است. مرور منابع دربارهٔ بررسی ساختار جنگل‌های ارسباران نشان می‌دهد که پژوهش‌های انگشت‌شماری در این منطقه انجام گرفته است. Amirghasemi et al. (2001) به بررسی ساختار تجدید حیات طبیعی جنگل‌های ارسباران در حوزهٔ مطالعاتی ستن‌چای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ساختار غالب توده‌های جوان (تجدید حیات) در جنگل‌های ارسباران، دانه و شاخه‌زاد با فراوانی شاخه‌زادهاست. Ghanbari et al. (2018) مشخصه‌های کمّی و ساختار گونه‌های درختی در دو وضعیت متفاوت حفاظتی در جنگل‌های ارسباران را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که به‌تقریب همهٔ گونه‌ها در توده‌های تحت مطالعه، پراکنش کپه‌ای داشتند. از این‌رو با توجه به کمبود مطالعات در مباحث مربوط به مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگل‌های ارسباران و لزوم تحقیق برای شناخت و مدیریت صحیح این جنگل‌ها، پژوهش حاضر انجام گرفته است، زیرا توصیف کمّی ساختار جنگل می‌تواند به‌عنوان کاربردی‌ترین ابزار در مدیریت پیشرفته

www.SID.ir

Archive of SID

جنگل در نظر گرفته شود. از جمله گونه‌های اصلی در جنگل‌های ارسباران می‌توان به اوری (بلوط سیاه، *Quercus macranthera*) اشاره کرد که اطلاعات اندکی دربارهٔ جنگل‌های اوری وجود دارد (Rostamikia & Sagheb-Talebi, 2012) و این گونه پراکنش وسیعی در جنگل‌های هیرکانی و ارسباران داشته و در طبقهٔ حفاظتی آسیب‌پذیر قرار دارد (Panahi & Jamzad, 2017)؛ دربارهٔ ساختار جنگل‌های اوری، تنها یک مطالعه انجام گرفته است که Mahdiani et al. (2012) به بررسی ساختار توده‌های این گونه در سه رویشگاه مختلف در جنگل‌های استان گلستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وضعیت زادآوری در بیشتر قسمت‌ها بسیار ضعیف بود و نمودارهای توزیع تعداد در طبقات قطری توده‌ها نشان‌دهندهٔ توده‌های ناهمسال منظم بود. این پژوهش با هدف بررسی مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های اوری واقع در مشگین‌شهر (منطقهٔ حاتم مشه‌سی) به‌منظور فراهم آوردن اطلاعات پایهٔ لازم در تدوین طرح‌های پژوهشی و نیز امکان پایش آتی تغییرات ساختار در منطقه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در منطقهٔ حاتم مشه‌سی در استان اردبیل و در مجاورت مشگین‌شهر و در انتهای شرقی جنگل‌های ارسباران صورت پذیرفت. محدودهٔ اجرای طرح مربوط به سامان عرفی قینرجه است که در حوزهٔ مشگین غربی واقع شده است که در عرض شمالی ´۲۰ °۳۸ و طول شرقی ´۲۵ °۴۷ قرار دارد. دامنهٔ ارتفاع از سطح دریا در این سامان عرفی ۱۳۱۰ تا ۲۰۳۰ متر است. در این سامان بیش از ۱۱/۷ درصد از عرصه از پوشش به‌نسبت متراکم جنگلی پوشیده شده است. این سامان ۹۵/۵ هکتار جنگل و ۱۱۰ هکتار مرتع را در خود جای داده است. همهٔ مناطق از نظر مالکیت جزء اراضی حفاظت‌شده است و تحت نظر سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور اداره می‌شود. از لحاظ اقلیم‌شناسی اقلیم این ناحیه سرد و نیمه‌خشک است و مقدار بارش سالانه ۳۹۸ میلی‌متر برآورد می‌شود (Anonymous, 2006). در شکل ۱، نمای کلی از جنگل تحت مطالعه نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایی از تیپ خالص اوری در جنگل‌های ارسباران

www.SID.ir

Archive of SID

روش پژوهش

به‌منظور اجرای این پژوهش و اندازه‌گیری مشخصه‌های ساختاری توده‌های اوری، سه قطعه نمونهٔ یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) در منطقه‌ای با کمترین دست‌خوردگی و دست‌کم با فاصلهٔ ۲۰۰ متر از حاشیه جنگل انتخاب شد. تعیین محدودهٔ یک هکتاری با استفاده از متر لیزری و ژالون صورت گرفت و همچنین از آزیموت برای زاویهٔ قائمه استفاده شد. پس از مشخص کردن محدودهٔ قطعه‌های نمونهٔ یک‌هکتاری، برداشت کامل همهٔ پایه‌های درختی و درختچه‌ای صورت گرفت و مشخصاتی همچون قطر برابرسینه (گونه‌هایی با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر)، ارتفاع و تعداد در هکتار گونه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت دامنه در هر سه قطعه نمونهٔ جنوبی و میانگین درصد شیب در قطعات نمونهٔ ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۱۶، ۲۲ و ۱۸ درصد بود. کمّی‌سازی ساختار توده‌های اوری با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه‌ها، شاخص مبتنی بر یک همسایهٔ درخت (شاخص کلارک و اوانز) و مستقل از فاصله (شاخص شانون- وینر) انجام گرفت که سه جنبهٔ تنوع الگوی مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد تاج‌پوشش درختان بررسی شد. به‌منظور بررسی تراکم درختان از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها (D_i)، برای بررسی تنوع الگوی مکانی از دو شاخص زاویهٔ یکنواخت (W_i) و کلارک و اوانز (CE)، برای بررسی آمیختگی گونه‌ای از شاخص‌های مینگلینگ (M_i) و شانون- وینر (H')، اختلاف ابعاد درختان از شاخص‌های تمایز قطری (TD_i) و ارتفاعی درختان (TH_i) و برای محاسبهٔ تنوع درختی و درختچه‌ها از شاخص ترکیبی تنوع ساختاری (S) بهره گرفته شد (جدول ۱). به‌منظور انتخاب تصادفی محل‌های نمونه‌برداری برای درختان مرجع، شبکه‌ای با ابعاد ۲۵×۲۵ متر در داخل هر یک از قطعه‌های نمونه ایجاد شد (Sefidi et al., 2018). بر این اساس، نزدیک‌ترین درخت اوری به مرکز اضلاع تقاطع شبکه به‌عنوان درخت مرجع انتخاب شد. مشخصه‌های سه اصله از نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان مرجع انتخاب و قطر برابرسینه، ارتفاع، فاصله و زاویهٔ بین پایه‌های برای هر درخت مرجع و درختان همسایه در هر قطعه نمونه اندازه‌گیری شد. همهٔ محاسبات در نرم‌افزار اکسل (نسخهٔ ۲۰۱۳) انجام گرفت.

با میانگین گرفتن شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها (D_i) از ارزش‌های این شاخص برای همهٔ گروه‌های ساختاری می‌توان مقدار میانگین این شاخص را برای کل جنگل تحت مطالعه به‌دست آورد (Ruprecht et al., 2010). شایان ذکر است که هر گروه ساختاری متشکل از یک درخت مرجع و سه همسایهٔ آن است. این شاخص به‌منظور برطرف کردن معایب شاخص‌های ساختاری نزدیک‌ترین همسایه که در نظر نگرفتن تراکم توده‌های جنگلی است، استفاده شد. بدون محاسبهٔ این شاخص، هنگام مقایسهٔ دو جنگل با چیدمان مشابه اما تراکم‌های متفاوت، اختلافات به‌خوبی نشان داده نمی‌شود. به همین دلیل، شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها به‌طور مکمل با شاخص‌های دیگر در کمّی‌سازی ساختار جنگل استفاده می‌شود (Ruprecht et al., 2010).

شاخص زاویهٔ یکنواخت (W_i) به بررسی درجهٔ منظم بودن موقعیت مکانی درختان در گروه‌های ساختاری می‌پردازد (Szmyt, 2014) که این شاخص را می‌توان هم براساس روش محاسباتی (جدول ۱) و هم روش ترسیمی به‌دست آورد و بهتر است این دو روش به‌صورت مکمل هم استفاده شوند. در روش محاسباتی، با مقایسهٔ زاویهٔ بین درختان همسایه (α_j) نسبت به زاویهٔ استاندارد (α_0) به بررسی چیدمان درختان همسایه در اطراف درخت مرجع پرداخته می‌شود. مقدار زاویهٔ استاندارد با توجه به تعداد درخت همسایه و براساس رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$\alpha_0 = \frac{360}{Number\ of\ neighbour + 1} \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- تشریح شاخص‌های استفاده‌شده به‌منظور کمّی‌سازی ویژگی‌های ساختاری جنگل

ویژگی	نام شاخص	رابطه	اجزای رابطه	منبع
تراکم درختان	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها	$D_i = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} s_{ij}$	D_i: شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها S_{ij}: فاصلهٔ بین درخت مرجع تا jاُمین همسایهٔ آن	Ruprecht et al. (2010)
الگوی مکانی	زاویهٔ یکنواخت	$W_i = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow \alpha_j \geq \alpha_0 \end{bmatrix}$	W_i: شاخص زاویهٔ یکنواخت α_j: زاویهٔ بین درختان همسایه α_0: زاویهٔ استاندارد	Szmyt & Dobrowolska (2016)
	کلارک و اوانز	$CE = \frac{r_A}{r_E}$	CE: شاخص کلارک و اوانز r_A: میانگین فاصلهٔ یک درخت و نزدیک‌ترین همسایه‌ها r_E: میانگین مورد انتظار	Ehbrecht et al. (2017)
آمیختگی گونه‌ای	مینگلینگ	$M_i = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow sp_j \neq sp_i \\ 0 \rightarrow sp_j = spi \end{bmatrix}$	M_i: شاخص آمیختگی	Pommerening & Uria-Diez (2017)
	شانون- وینر	$H' = -\sum_{i=1}^{n} P_i ln P_i$	H': شاخص شانون n: تعداد گونه‌های موجود در هر منطقه P_i: نسبت فراوانی افراد یک گونه نسبت به کل درختان	Shannon & Weaver (1949)
اختلاف ابعاد درختان	تمایز قطری	$TD_i = 1 - \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij} = \frac{\min(sp_i, sp_j)}{\max(sp_i, sp_j)}$	TD_i: شاخص تمایز قطری	Kint et al. (2000)
	تمایز ارتفاعی	$TH_i = 1 - \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij} = \frac{\min(sp_i, sp_j)}{\max(sp_i, sp_j)}$	TD_i: شاخص تمایز ارتفاعی	
سطح تنوع درختی	تنوع ساختاری ترکیبی	$S = (T_i \times w_1) + (M_i \times w_2) + (W_i \times w_3)$	S: شاخص تنوع درختی	Pastorella & Paletto (2013)

مقدار میانگین شاخص زاویهٔ یکنواخت (W_i) در توده‌های با پراکنش گونه‌ای یکنواخت (منظم) بین صفر تا ۰/۵، در توده‌های با پراکنش گونه‌ای تصادفی بین ۰/۵ تا ۰/۶ و در توده‌های با پراکنش گونه‌ای کپه‌ای (خوشه‌ای) بین ۰/۶ تا ۱ است (Szmyt & Dobrowolska, 2016). در روش ترسیمی بررسی شاخص زاویهٔ یکنواخت، اساس کار بر درصد فراوانی مقادیر زاویهٔ یکنواخت (W_i) است. در صورت همسانی فراوانی پراکنش مقادیر زاویهٔ یکنواخت در دو طرف نمودار، الگوی مکانی درختان تصادفی خواهد بود، در صورت بیشتر بودن فراوانی در سمت چپ نمودار از سمت راست، الگو یکنواخت خواهد بود و در حالت عکس نیز الگو کپه‌ای خواهد بود.

شاخص کلارک و اوانز (CE) می‌تواند نحوهٔ توزیع

www.SID.ir

Archive of SID

افقی جمعیت‌های تحت مطالعه را براساس فاصلهٔ بین نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان مرجع در هر توده بررسی کند. این شاخص براساس مقایسهٔ میانگین فاصلهٔ بین درختان در تودهٔ مورد نظر به میانگین فاصلهٔ مورد انتظار بین آنها در صورت توزیع تصادفی (توزیع آماری پواسون) است (Ehbrecht et al., 2017). در این شاخص، میانگین فاصلهٔ بین یک درخت مرجع و نزدیک‌ترین همسایهٔ آن (r_A) با میانگین مورد انتظار در صورتی که الگوی درختان به‌طور تصادفی پراکنده شده باشند (r_E)، مقایسه می‌شود. ارزش‌های $CE > 1$ نشان‌دهندهٔ الگوی یکنواخت، ارزش‌های $CE < 1$ نشان‌دهندهٔ الگوی کپه‌ای و ارزش‌های $CE \sim 1$ نشان‌دهندهٔ الگوی تصادفی هستند (Ehbrecht et al., 2017).

شاخص مینگلینگ (M_i)، درجهٔ آمیختگی گونه‌های درختی در جنگل را توصیف می‌کند و به‌صورت کسری از nامین نزدیک‌ترین همسایه که دارای گونه‌های متفاوتی از گونه مرجع هستند، بیان می‌شود (Pommerening & Uria-Diez, 2017). این شاخص دارای ارزشی بین صفر تا ۱ است؛ مقادیر زیاد این شاخص نشان‌دهندهٔ آمیختگی زیاد و مقادیر کم این شاخص نشان‌دهندهٔ آمیختگی کم توده است (Ruprecht et al., 2010). ازآنجا که در این پژوهش سه همسایه در پیرامون هر درخت مرجع بررسی شده است، مقادیر صفر این شاخص نشان می‌دهد که همهٔ همسایه‌ها مشابه درخت مرجع هستند. مقادیر ۰/۳۳ و ۰/۶۷ نشان می‌دهد که به‌ترتیب یک و دو همسایه متفاوت با درخت مرجع هستند و مقدار ۱ بیانگر این است که هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه گونهٔ مرجع نیستند (Pommerening & Uria-Diez, 2017).

شاخص شانون- وینر (H') نمونه‌ای از یک شاخص مستقل از فاصله است که در این پژوهش به‌صورت مکمل با شاخص مینگلینگ به‌کار رفته است (Zeller & Pretzsch, 2019). ارزش این شاخص بین صفر تا ۵ متغیر است و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، آمیختگی توده بیشتر است (Luo et al., 2017).

در این پژوهش برای تعیین اختلاف ابعاد درختان از شاخص‌های تمایز قطری (TD_i) و تمایز ارتفاعی درختان (TH_i) بهره گرفته شد که نشان‌دهندهٔ میزان اختلاف ابعاد درختان مرجع با درختان همسایه است. نتایج این شاخص به سه طبقهٔ اختلاف کم (۰/۴-۰)، اختلاف متوسط (۰/۶-۰/۴) و اختلاف خیلی زیاد (۱-۰/۶) تقسیم می‌شود (Szmyt & Dobrowolska, 2016).

شاخص‌های ترکیبی تنوع ساختار برپایهٔ جنبه‌های مختلف ریاضی استوارند که به‌طور خلاصه اثرهای دو یا چند ویژگی ساختاری را با مقدار یک شاخص می‌سنجند (Pastorella & Paletto, 2013) که در این پژوهش از شاخص ترکیبی تنوع ساختار (S) استفاده شد. این شاخص ترکیبی از سه شاخص زاویهٔ یکنواخت (وزن ۰/۳)، آمیختگی مینگلینگ (وزن ۰/۵) و تمایز قطری درختان (وزن ۰/۲) است. مقادیر کمتر از ۰/۳ این شاخص، نشان‌دهندهٔ سطح تنوع درختی کم، مقادیر بین ۰/۳ تا ۰/۴ بیانگر سطح متوسط و مقادیر بیشتر از ۰/۴ بیانگر سطح تنوع درختی زیاد است (Szmyt & Dobrowolska, 2016).

بررسی پراکنش درختان در طبقه‌های قطری و ارتفاعی در هر منطقه نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری توده در این تحقیق تحلیل شد (Mahdiani et al., 2012; Khai et al., 2016).

نتایج

مقدار متوسط برخی از مشخصه‌های کمّی قطعه‌های نمونهٔ تحت مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. به‌طور متوسط ۴۸۳ درخت در این سه قطعه نمونه ثبت شد که قطعه نمونهٔ ۲، بیشترین تراکم را دارا بود (جدول ۲). میانگین مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع درختان در قطعه نمونهٔ ۲ بیشتر از دو قطعه نمونهٔ دیگر بود (جدول ۲). میانگین سطح مقطع درختان در قطعه نمونهٔ ۲ بیشتر از دو قطعه نمونهٔ دیگر بود (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مشخصه‌های کمّی قطعه‌های نمونهٔ یک‌هکتاری

مشخصه	شمارهٔ قطعه نمونه			میانگین قطعه‌های نمونه (± خطای معیار)	ضریب تغییرات (درصد)
	یک	دو	سه		
تعداد درختان (پایه در هکتار)	۴۰۹	۵۸۹	۴۵۲	۴۸۳ (± ۵۴)	۱۹/۴
میانگین قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۱۸/۴	۲۰/۲	۱۹/۵	۱۹/۳ (± ۰/۱)	۲۷/۹
میانگین ارتفاع درختان (متر)	۸/۳۰	۸/۴۷	۸/۳۵	۸/۳۷ (± ۰/۰۵)	۲۴/۲
میانگین سطح مقطع درختان (مترمربع در هکتار)	۱۳/۸۵	۲۴/۰۲	۱۷/۱۹	۱۸/۳۵ (± ۲/۹۹)	۴۹/۴

از نظر ترکیب گونه‌ای در سه قطعه نمونهٔ تحت بررسی گونه‌های اوری، زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*)، زالزالک (*Crataegus orientalis*)، بلوط سفید/پترا (*Q. petraea* subsp. *iberica*)، هفت‌کول (*Viburnum lantana*)، افرا کرب (*Acer campestre*)، ممرز (*Carpinus betulus*) و نسترن (*Rosa cannia*) حضور داشتند. در قطعه نمونهٔ ۱، ۸۸/۸ درصد گونه‌ها را اوری و ۳ درصد را زبان‌گنجشک؛ در قطعه نمونهٔ ۲، ۹۲/۹ درصد را اوری و ۲/۷ درصد را زالزالک و در قطعه نمونهٔ ۳، ۹۲/۲ درصد را اوری و ۳/۷ درصد را زبان‌گنجشک در بر گرفته است. بنابراین به‌طور متوسط، ۹۱ درصد از سهم گونه‌ها در قطعه‌های نمونهٔ تحت بررسی را اوری در بر گرفته و زبان‌گنجشک با ۲/۳ درصد سهم، رتبه دوم را به خود اختصاص داده است.

نتایج حاصل از شاخص‌های فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه، کلارک و اوانز، زاویهٔ یکنواخت، مینگلینگ، شانون، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی و تنوع ساختاری ترکیبی در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین مقدار شاخص‌های فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه، زاویهٔ یکنواخت، کلارک و اوانز، مینگلینگ، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی و ترکیبی تنوع ساختار در قطعه نمونهٔ ۱ مشاهده شد و تنها شاخص شانون در قطعه نمونهٔ ۲ بیشتر بود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین شاخص‌های کمّی ساختار در قطعه‌های نمونه بررسی‌شده

شمارهٔ قطعه	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (متر)	زاویهٔ یکنواخت	کلارک و اوانز	مینگلینگ	شانون-وینر	تمایز قطری	تمایز ارتفاعی	ترکیبی تنوع ساختار
یک	۳/۰۵	۰/۷۳	۱/۵۰	۰/۱۳	۱/۲۷	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۳۸
دو	۲/۰۰	۰/۴۷	۰/۸۵	۰/۰۷	۱/۳۸	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۷
سه	۲/۷۳	۰/۲۰	۱/۱۲	۰/۱۰	۱/۳۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۳۳
میانگین	**۲/۵۹**	**۰/۴۷**	**۱/۳۱**	**۰/۱۰**	**۱/۳۳**	**۰/۱۶**	**۰/۱۹**	**۰/۳۳**

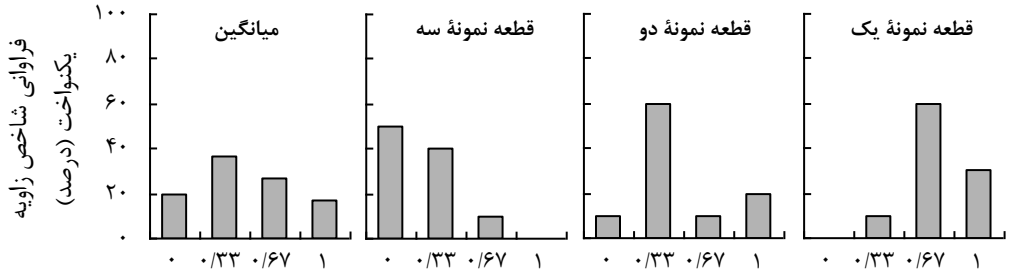
شاخص زاویهٔ یکنواخت با میانگین مقدار محاسباتی ۰/۴۷ نشان‌دهندهٔ چیدمان یکنواخت گونهٔ اوری نسبت به درختان همسایهٔ خود است (جدول ۳). براساس شکل ۲ که روش ترسیمی برای به‌دست آوردن زاویهٔ یکنواخت است، فراوانی در سمت چپ نمودار بیشتر از سمت راست است که بیانگر چیدمان یکنواخت است و یافته‌های حاصل از مقدار عددی این شاخص را تأیید می‌کند (جدول ۳).

نتایج حاصل از شاخص کلارک و اوانز نشان می‌دهد که الگوی پراکنش درختان در دو قطعه نمونهٔ

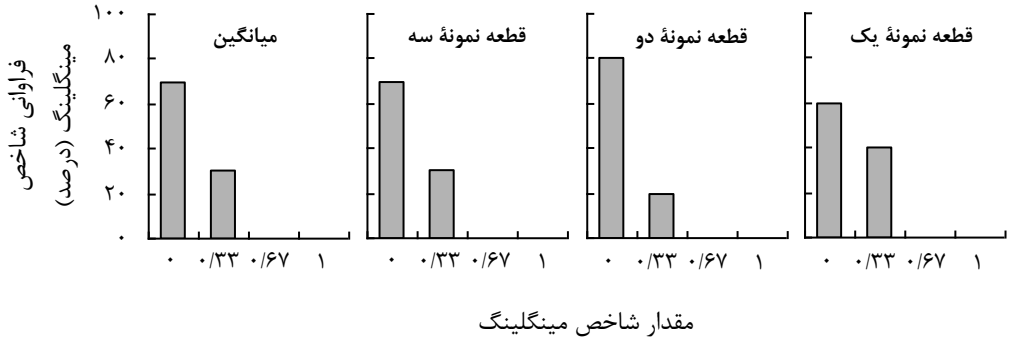
www.SID.ir

Archive of SID

۱ و ۳، یکنواخت و در قطعه نمونهٔ ۲، کپه‌ای است و به‌طور متوسط، الگوی پراکنش درختان در این پژوهش یکنواخت حاصل شد (جدول ۳). براساس دو شاخص مینگلینگ و شانون-وینر، توده‌های تحت بررسی از آمیختگی اندکی برخوردارند و غالب درختان را اوری تشکیل می‌دهد (جدول ۳). به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر، نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص مینگلینگ در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- درصد فراوانی مقادیر زاویهٔ یکنواخت (W_i) محاسبه‌شده در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده



شکل ۳- درصد فراوانی مقادیر شاخص مینگلینگ (M_i) محاسبه‌شده در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده

به‌منظور بررسی همگنی یا ناهمگنی درختان مرجع با درختان همسایه از ابعاد درختان بهره‌گیری شد که بدین منظور شاخص‌های تمایز قطری در شکل ۴ و تمایز ارتفاعی در شکل ۵ ارائه شده‌اند. میانگین شاخص تمایز قطری و ارتفاعی درختان در سه قطعه نمونه به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۹ حاصل شد.

بر اساس جدول ۳، متوسط شاخص ترکیبی تنوع ساختار ۰/۳۳ حاصل شد که بیانگر سطح متوسط تنوع درختان در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده است.

بیشترین فراوانی درختان در منطقه در طبقه‌های قطری میانی حاصل شد که بر این اساس طبقهٔ قطری ۲۰ سانتی‌متری، با داشتن میانگین ۴۸ درصد از کل فراوانی درختان، بیشترین فراوانی اوری را به خود اختصاص داد (شکل ۶). در ارتباط با گونه‌های دیگر، دو طبقهٔ قطری ۵ و ۱۰ سانتی‌متری، بیشترین تعداد را به خود اختصاص دادند (شکل ۶). همچنین طبقهٔ قطری ۳۵ سانتی‌متری با داشتن تنها ۱/۲ درصد از کل فراوانی درختان کمترین مقدار فراوانی درختان را داشتند (شکل ۶). بررسی توزیع درختان در طبقه‌های ارتفاعی در سه قطعه نمونه نشان می‌دهد که در طبقهٔ

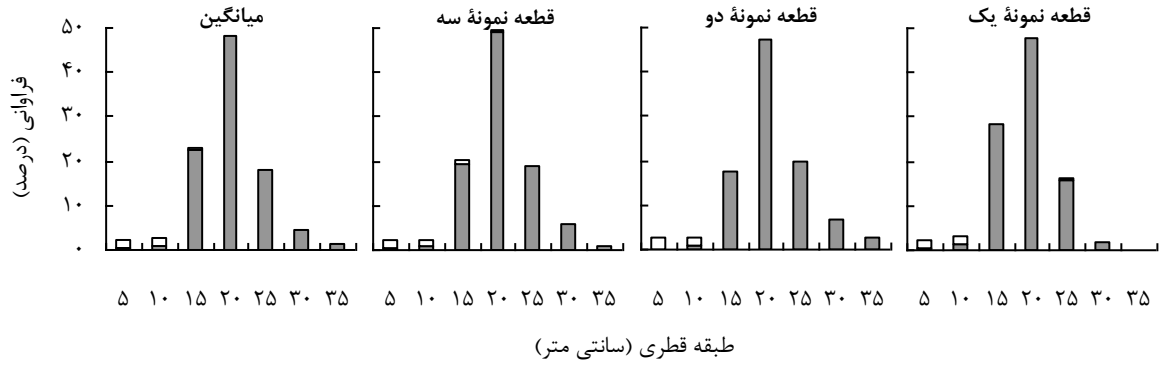
www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاعی کمتر از ۵ متر به‌طور متوسط ۶۵/۶ درصد از درختان به گونه‌های غیر از اوری تعلق دارند، درحالی‌که در اشکوب میانی و بالایی، این گونه بیش از ۹۵ درصد از فراوانی درختان در این طبقات ارتفاعی را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۷).

شکل ۴- درصد فراوانی مقادیر تمایز قطری (TD_i) محاسبه‌شده در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده

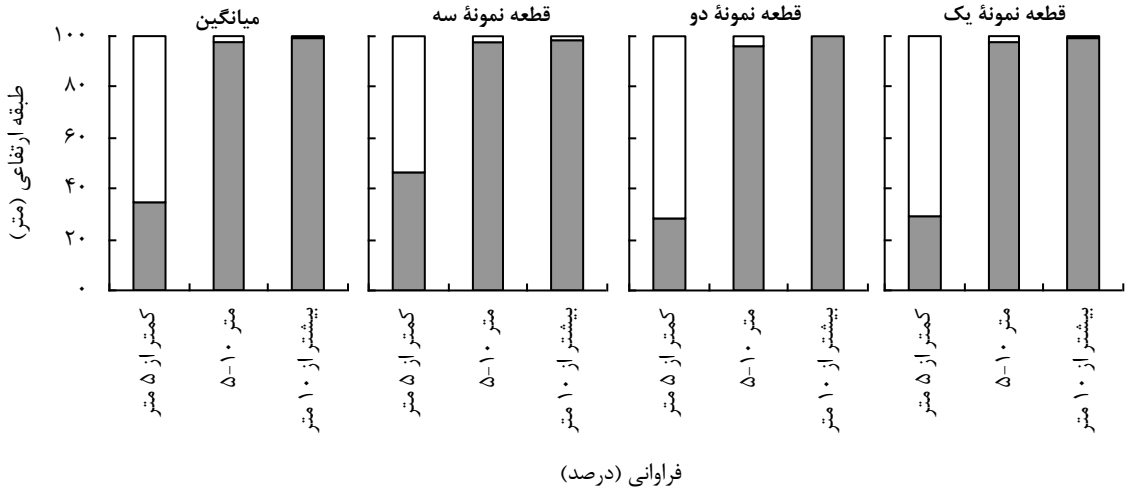
شکل ۵- درصد فراوانی مقادیر تمایز ارتفاعی (TH_i) محاسبه‌شده در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده



شکل ۶- پراکنش درختان اوری (ستون طوسی) و گونه‌های دیگر (ستون سفید)
در طبقه‌های قطری در جنگل‌های حاتم مشه‌سی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- پراکنش درختان اوری (ستون طوسی) و گونه‌های دیگر (ستون سفید) در طبقه‌های ارتفاعی در جنگل‌های حاتم مشه‌سی

بحث

مقدار شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده ۲/۵۹ متر به‌دست آمد (جدول ۳). این شاخص نشان‌دهندهٔ مقدار تراکم توده‌های جنگلی یا به‌عبارتی تعداد پایه‌های درختی در هر واحد سطح است و می‌تواند نشان‌دهندهٔ فشار رقابتی بین درختان در توده‌ها باشد (Sadeghi et al., 2016). با افزایش فاصلهٔ بین درختان، مقدار این شاخص افزایش یافته و در نتیجه تراکم تودهٔ جنگلی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی هرچه توده جوان‌تر و در مراحل آغازین تحولی باشد، مقدار این شاخص کمتر است و با افزایش سن توده، تعدادی از پایه‌های درختی در اثر رقابت حذف می‌شوند و مقدار این شاخص افزایش می‌یابد. از جمله دلایل احتمالی کم بودن مقدار این شاخص در قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده می‌توان به جوان بودن توده اشاره کرد، زیرا متوسط قطر برابرسینهٔ درختان ۱۹ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد جنگل در مرحلهٔ آغازین تحولی باشد و با گذشت زمان مقدار عددی این شاخص افزایش یابد.

شایان ذکر است که از مهم‌ترین دلایل تغییر در مقدار شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها، نوع الگوی مکانی است. برای مثال با فرض برابر بودن تعداد در هکتار درختان، در صورت بروز الگوی مکانی کپه‌ای انتظار می‌رود شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها مقدار کمتری داشته باشد و در الگوی یکنواخت انتظار ارزش بیشتر از این شاخص وجود دارد.

نتایج میانگین سه قطعه نمونه از شاخص زاویهٔ یکنواخت (محاسباتی و ترسیمی) نشان‌دهندهٔ چیدمان یکنواخت درختان اوری نسبت به درختان همسایه است، به‌علاوه به‌منظور بررسی بیشتر الگوی پراکنش مکانی درختان در این پژوهش از شاخص کلارک و اوانز بهره گرفته شد که میانگین مقادیر این شاخص در سه قطعه نمونه نشان داد که الگوی مکانی درختان یکنواخت بود. البته براساس جدول ۳، بین یافته‌های دو شاخص زاویهٔ یکنواخت و کلارک و اوانز در تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان تفاوت وجود دارد. دلیل چنین اختلافی این است که مقدار شاخص زاویهٔ یکنواخت براساس سه تا از نزدیک‌ترین درختان همسایه به درخت مرجع محاسبه می‌شود، حال آنکه شاخص کلارک و اوانز براساس یک درخت که نزدیک‌ترین فاصله را به درخت مرجع دارد، محاسبه

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. بنابراین تفاوت در این یافته‌ها توجیه‌پذیر است. الگوی یکنواخت به‌دلیل رقابت شدید برای منابع محدود (مانند آب و خاک) مشاهده می‌شود (Reyburn, 2011; Karimi et al., 2012). ازآنجا که این توده جوان بوده و رقابت در مراحل آغازین توالی شدید است، منظم بودن الگوی مکانی درختان توجیه‌پذیر است. نحوهٔ پراکنش بذر درختان نیز می‌تواند در انتشار مکانی پایه‌های درختی مؤثر باشد. اغلب بذر سنگین درختان بلوط در محدودهٔ معینی انتشار می‌یابد و موجب آرایش کپه‌ای می‌شود. به نظر می‌رسد آشفتگی‌هایی مانند حضور جوندگان و نیز آتش‌سوزی سبب تغییر الگوی مکانی درختان شده است. از سوی دیگر، الگوی پراکنش مکانی یکنواخت زمانی ایجاد می‌شود که رقابت درون‌گونه‌ای شدید باشد و در نتیجه سبب افزایش مرگ‌ومیر در درون گونه‌ها شود (Gray & He, 2009). با توجه به اینکه نتایج حاصل از دو شاخص مینگلینگ و شانون- وینر که نشان‌دهندهٔ آمیختگی توده‌اند، حاکی از آمیختگی کم قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده است (جدول ۳) و به‌طور متوسط ۹۱ درصد سهم گونه‌ای را اوری به خود اختصاص داده، بیشترین سهم رقابت را رقابت درون‌گونه‌ای دارد. Oliver & Larson (1996) و نیز Getzin et al. (2006) به این نتیجه رسیدند که خالص بودن یک جنگل و در نتیجه افزایش رقابت درون‌گونه‌ای سبب می‌شود که الگوی پراکنش درختان یکنواخت شود. همچنین جوان بودن توده نیز دیگر دلیل یکنواخت شدن الگوی مکانی درختان است (Larson et al., 2015). در واقع در جنگل‌های جوان، خودتنکی درختان سبب می‌شود که الگوی پراکنش درختان از حالت کپه‌ای به‌سوی منظم شدن پیش برود (Whenkel et al., 2015). افزون‌بر این شرایط اقلیمی سخت منطقه امکان حضور بسیاری از گونه‌های دیگر را محدود می‌کند. گونه‌هایی با نیازهای اکولوژیک زیاد در این منطقه به‌ندرت مشاهده می‌شوند و در شیب‌های تند و دره‌ها، گونه‌های افراکرب و زبان‌گنجشک به چشم می‌خورد.

اختلاف ابعاد درختان در این پژوهش که براساس یافته‌های دو شاخص تمایز قطری و تمایز ارتفاعی حاصل شد، نشان‌دهندهٔ تمایز کم در قطر و ارتفاع درختان بود. بر این اساس می‌توان بیان کرد که قطعه‌های نمونهٔ بررسی‌شده جوان هستند. در مراحل ابتدایی تحول توده‌های جنگلی، توده دارای ساختار قطری و سنی به‌نسبت همگنی است و با حذف تدریجی برخی از پایه‌های درختی در سیر تحولی توده‌ها و نیز تأثیر تدریجی آشفتگی‌های طبیعی انتظار می‌رود شاهد افزایش پیچیدگی و نیز ناهمگنی در ساختار باشیم (Sefidi et al., 2014a). گفت‌وگو با مردم محلی دربارهٔ دلایل احتمالی کم‌قطر بودن درختان در این منطقه نشان داد که در زمان قبل از ملی شدن جنگل‌ها، حاتم‌خان به‌عنوان خان این جنگل‌ها، پس از آتش‌سوزی اجازهٔ قطع درختان را در این منطقه داد. از سوی دیگر، شرایط دمایی برای رشد کافی درختان و کوتاه بودن دورهٔ رویش در مقایسه با جنگل‌های هیرکانی نامساعد است، زیرا به‌طور متوسط، ۱۳۰ روز در سال دمای هوا کمتر از صفر درجهٔ سانتی‌گراد (یخبندان) است. هرچند که باید گفت جوان بودن توده به‌معنای جوان بودن جنگل نیست، بلکه توده‌های جنگلی در مرحلهٔ میانی تحول قرار گرفته‌اند.

شاخص ترکیبی تنوع ساختار استفاده‌شده در این پژوهش با در نظر گرفتن سه جنبهٔ مختلف ساختار (تنوع الگوی مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد) با مقدار ۰/۳۳ بیان می‌کند که تودهٔ بررسی‌شده دارای سطح تنوع درختی متوسطی است. به‌دلیل یکنواخت بودن الگوی مکانی پراکنش درختان اوری در این جنگل، مقدار عددی تنوع مکانی درختان اندک است و در مجموع با توجه به کم بودن شاخص مینگلینگ و اندک بودن مقادیر تنوع مکانی و تنوع ابعاد (جدول ۳)، انتظار می‌رود که مقدار شاخص ترکیبی تنوع ساختار نیز کم باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار فراوانی در طبقه‌های قطری نشان از پیروی توزیع درختان از تابع نرمال و شکل زنگوله‌ای آن دارد. چنین شکلی در توزیع درختان در طبقه‌های قطری اغلب مختص جنگل‌های همسال است. در این منطقه منحنی در طبقات میانی به اوج می‌رسد و در طبقات ابتدایی و انتهایی کمترین حد را نشان می‌دهد. نتایج مشابهی در بررسی جنگل‌های اوری در منطقهٔ کلیبرچای توسط Safari et al. (2018) گزارش شده است، با این تفاوت که در پژوهش فعلی طبقهٔ قطری ۲۰ سانتی‌متری بیشترین فراوانی را دارد؛ درحالی‌که در کلیبرچای طبقهٔ ۱۵ سانتی‌متری بیشترین حضور اوری را نشان می‌داد. به نظر می‌رسد جنگل‌های این نقطه نسبت به کلیبرچای شرایط رویشگاهی بهتری داشته و در مرحلهٔ تحولی متفاوتی قرار دارند. نمودار فراوانی در طبقه‌های ارتفاعی تأیید کرد که گونهٔ اوری نورپسند بوده و در اشکوب فوقانی جنگل‌های ارسباران حاضر است که با یافته‌های Abaslou (2000) دال بر نورپسند بودن این گونه همسوست. قرار گرفتن درختان در طبقات ارتفاعی مختلف افزون‌بر توان رشد و سرشت گونه‌ها به‌شدت تحت تأثیر تحول توده است. در جنگل‌های با میزان توسعه‌یافتگی زیاد، شاهد تعداد چشمگیر درختان در اشکوب‌های متعدد هستیم. در این منطقه براساس نتایج، گونهٔ اوری به‌عنوان گونهٔ مرحلهٔ انتهایی توالی این جنگل‌ها، اشکوب بالایی جنگل را به خود اختصاص داده است؛ درحالی‌که در زیراشکوب فراوانی این گونه تا حد نصف کاهش می‌یابد و فضای رشد با گونه‌های دیگر مانند هفت‌کول و سیاه ولیک به اشتراک گذاشته می‌شود. با این‌حال در اشکوب بالایی به‌ویژه در قطعه‌های نمونهٔ ۲ و ۳، حضور گونه‌های درختی ون و کرب موجب آمیختگی گونه‌ای در اشکوب بالا شده است. اگرچه اوری به‌عنوان گونهٔ غالب بیشترین فراوانی و غلبه را در اشکوب بالایی دارد.

با توجه به روند تخریب فزایندهٔ جنگل‌های ناحیهٔ ارسباران به دلایل مختلف، ممکن است این جنگل‌های باارزش نیز در آینده‌ای نه‌چندان دور به سرنوشت دیگر اکوسیستم‌های تخریب‌یافته دچار شوند. از این‌رو، تحقیق دربارهٔ ویژگی‌های ساختاری این توده‌ها می‌تواند شرایط مناسبی را برای پایش آتی تغییرات احتمالی در ساختار توده‌های جنگلی فراهم آورد. همچنین هر گونه برنامه‌ریزی در منطقه با هدف حفاظت از این جنگل‌ها مستلزم داشتن اطلاعات کمّی از ویژگی‌های ساختاری توده در وضعیت کنونی است. بی‌گمان تکرار پژوهش در دیگر مناطق ارسباران، اطلاعات دربارهٔ ساختار این جنگل‌ها را کامل‌تر می‌کند و در حال حاضر اطلاعات ساختاری اندکی دربارهٔ این جنگل‌ها وجود دارد. با توجه به انتخاب قطعه‌های نمونهٔ تحت بررسی از جنگل‌های طبیعی اوری در ارسباران، می‌توان از اطلاعات به‌دست‌آمده به‌عنوان نمونه‌ای از جنگل‌های طبیعی اوری در پژوهش‌های دیگر استفاده کرد و نتایج این نوع تحقیقات می‌تواند در معرفی الگویی برای حفظ، احیا و توسعهٔ جنگل‌های ارسباران بسیار راهگشا باشد. در واقع شناخت ساختار و وضعیت این جنگل‌ها به‌عنوان اکوسیستمی در ارتفاعات بالایی (فوقانی) جنگل که شرایط اقلیمی سخت است و خاک این مناطق در معرض شست‌وشو و فرسایش قرار دارد و با توجه به عوامل تهدیدکنندهٔ طبیعی و انسانی و روند تخریب در آنها ضرورتی انکارناپذیر است. هرچند این جنگل‌ها جایگاهی از نظر تولید چوب صنعتی ندارند، به‌دلیل تأثیر مهم در تنظیم آب، خاک و تعادل اکولوژیک منطقه، باید مورد توجه و ارزیابی دقیق کیفی و اکولوژی به‌ویژه در مناطق کمتردست‌خورده قرار گیرند، چراکه با تخریب بیشتر این مناطق و تحول شرایط طبیعی، بازسازی آنها میسر نخواهد بود. در پایان پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده در هنگام بررسی شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، به برداشت چهار و پنج درخت همسایه در اطراف درخت مرجع (به‌جای سه درخت همسایه) اقدام شده و نتایج آن با سه درخت همسایه مقایسه شود. همچنین برداشت تعداد بیشتری از گروه‌های ساختاری سبب دقت زیاد در استفاده از روش‌های مبتنی بدون قاب است.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Abaslou, A. (2000). Investigation of site demand and quantitative and qualitative charactrestics of oak and hornbeam species in Setan-Chay of Arasbaran. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran.

Anonymous (2006). *Forestry Plan of Hatam Mashe Si*. Engineering Advisory Company: Tehran.

Alijanpour, A., Eshaghi Rad, J., & Banej Shafiei, A. (2009). Comparison of woody plants diversity in protected and non-protected areas of Arasbaran forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17*(1), 125-133.

Alipour, A., & Erfanifard, S. Y. (2018). Spatial pattern analysis of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) on steep slopes in Zagros (Case study: Firoozabad, Fars province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25*(4), 574-584.

Amirghasemi, F., Saghebtalebi, K., & Dargahi, D. (2001). The study of natural regeneration structure in Arasbaran forest (Sotanchi region). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 6*(1), 1-62.

Basiri, R., Riazi, A., Taleshi, H., & Pourrezaei, J. (2014). The structure and composition of riparian forests of Maron River, Behbahan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *22*(2), 307-321.

Ehbrecht, M., Schall, P., Ammer, C., & Seidel, D. (2017). Quantifying stand structural complexity and its relationship with forest management, tree species diversity and microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology, 242*, 1-9.

Getzin, S., Dean, C., He, F., Trofymow, J., Wiegand, K., & Wiegend, T. (2006). Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography, 29*, 671-682.

Ghanbari, S., Moradi, G., & Nasiri, V. (2018). Quantitative characteristics and structure of tree species in two different conservation situations in Arasbaran Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *26*(3), 355-367.

Gray, L., & He, F. (2009). Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta. *Forest Ecology and Management, 259*, 98-106.

Karimi, M., Pormajidian, M. R., Jalilvand, H., & Safari, A. (2012). Preliminary study for application of O-ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). *Iranian Journal Forest and Poplar Research, 20*, 608-621.

Khai, T. C., Mizoue, N., Kajisa, T., Ota, T., & Yoshida, S. (2016). Stand structure, composition and illegal logging in selectively logged production forests of Myanmar: Comparison of two compartments subject to different cutting frequency. *Global Ecology and Conservation, 7*, 132-140

Kint, V., Lust, N., Ferris, R., & Olsthoorn, A.F.M. (2000). Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Forest Systems*, *1*, 147-163.

Larson, A. J., Lutz, J. A., Donato, D. C., Freund, J. A., Swanson, M. E., HilleRisLambers, J., Sprugel, D. G., & Franklin, J. F. (2015). Spatial aspects of tree mortality strongly differ between young and old-growth forests. *Ecology*, *96*(11), 2855-2861.

Luo, M., Zheng, X. X., Wang, W., & Du, Y. (2017). Structural characteristics of typical water conservation forests in mountainous areas of Beijing. *Journal of Sustainable Forestry, 36*(3), 213-229.

Mahdiani, A.R., Heydari, H., Rahmani, R., & Azadfar, D. (2012).Structure of oak (*Quercus macranthera*) forest stands in the Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19*(2), 23-42.

Nguyen, H., Erfanifard, Y., & Petritan, I. (2018). Nearest neighborhood characteristics of a tropical mixed broadleaved forest stand. *Forests, 9*(1), 33.

www.SID.ir

Archive of SID

Panahi, P., & Jamzad, Z. (2017). The conservation status of oak species of Iran. *Journal of Iran Nature*, *2*(1), 82-91.

Pastorella, F., & 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., & Uria-Diez, J. (2017). Do large forest trees tend towards high species mingling?. *Ecological Informatics*, *42*, 139-147.

Reyburn, A. P. (2011). Causes and Consequences of Plant Spatial Patterns in Natural and Experimental Great Basin (USA) Plant Communities. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Ecology, Utah State University, USA.

Rostamikia, Y., & Sagheb-Talebi, K. (2012). Quantitative and qualitative characteristics of Persian oak (*Quercus macranthera*) and oriental hornbeam (*Carpinus orientalis)* on various land forms in Andabil forest, Khalkhal region. *Iranian Journal of Forest*, *3*(4), 341-353.

Ruprecht, H. A., Dhar, B., Aigner, G., Oitzinger, K., Raphael, K., & Vacik, H. (2010). Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, *129*, 189-198.

Sadeghi, S. M. M., Alijani, V., Namiranian, M., & Mohamadizadeh, M. (2016). Structural characteristics of *Juniperus excelsa* in the mountainous forests of Alborz south facing slope (Case study: Atashgah, Karaj). *Iranian Journal of Forest*, *8*(1), 35-49.

Safari, M., Sefidi, K., Alijanpour, A., & Elahian, M. R. (2018). Assessment of plot-less sampling to estimate spatial structure of *Quercus macranthera* in Arasbaran Forest. *Journal of Forest Research and Development* (Accepted).

Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M. R., Etemad, V., & Mosandl, R. (2014a). Late successional stage dynamics in natural Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in northern Iran (Case study: Gorazbon district of Kheiroud-Kenar experimental forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *22*(2), 270-283.

Sefidi, K., Copenheaver, C. A., Kakavand, M., & Behjou, F. K. (2014b). Structural diversity within mature forests in northern Iran: a case study from a relic population of Persian ironwood (*Parrotia persica* CA Meyer). *Forest Science*, *61*(2), 258-265.

Sefidi, K., Firouzi, Y., Sharari, M., Behjou, F.K., & Rostamikia, Y. (2018). Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest*, *10*(1), 207-220.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, IL, USA.

Sterba, H., Dirnberger, G., & Ritter, T. (2018). The contribution of forest structure to complementarity in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) and European larch (*Larix decidua* Mill.). *Forests*, *9*(7), 410.

Szmyt, J. 2014. Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, *38*, 1-31.

Szmyt, J., & Dobrowolska, D. (2016). Spatial diversity of forest regeneration after catastrophic wind in northeastern Poland. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *9*(3), 414.

Waters, C. M., Gonsalves, L., Law, B., Melville, G., Toole, I., Brassil, T., & Tap, P. (2018). The effect of thinning on structural attributes of a low rainfall forest in eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, *409*, 571-583.

Zeller, L., & Pretzsch, H. (2019). Effect of forest structure on stand productivity in Central European forests depends on developmental stage and tree species diversity. *Forest Ecology and Management*, *434*, 193-204.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Forest
Vol. 11, No. 3, Autumn 2019
pp. 347-361

Research Article

Structural characteristics of *Quercus macranthera* forests in Arasbaran region, North west of Iran (Hatam Mashe Si, Meshgin-Shahr)

K. Sefidi[1*], and S.M.M. Sadeghi[2]

[1]Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran
[2]PhD of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 10 March 2019, Accepted: 12 June 2019)

Abstract

This study aimed to evaluate the structural characteristics of *Quercus macranthera* forests in the Arasbaran region, Hatam Mashe Si, Meshgin-Shahr. To achieve this, all trees and shrubs were full calipered in three one-hectare plots. Additionally, the structural characteristics were measured using the nearest neighbor's method. To measure intensity of trees, several indices like nearest neighbor distance index (density of trees), uniform angle index and Clark and Evans index (variety of location), Mingling index and Shannon-Wiener index (tree diversity in diameter classes), diameter and height differentiation indices (dimensional differences of trees), and complex structural diversity index (tree diversity) were used. The results showed that *Q. macranthera* represented a relatively homogeneous structure in its main site, and the mean of distance to the neighbors was 2.59 m. The results of uniform angle and Clark and Evans indices showed that the spatial pattern of trees was regular. Mingling and Shannon-Wiener indices showed a low tendency of *Q. macranthera* to mix with other tree species so that the majority of trees were *Q. macranthera*. The height and diameter differentiation indices illustrated that the dimensions of the trees had a slight difference. According to complex structural diversity index, tree diversity was at the medium level. It can be concluded that the *Q. macranthera* communities have a homogeneous structure in a study region with a low mixture and single canopy layer. The information can provide the opportunity to monitor future changes in *Q. macranthera* communities in this region. To promote ecosystem stability, it is suggested to create heterogeneity of stand structure and support other tree species in this area.

Keywords: Forest structure, Nearest neighbors index, Uniform angle index, Spatial pattern.

∗Corresponding author Tel: +989127264066 Email: kiomarssefidi@gmail.com

www.SID.ir