



تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر الگوی مکانی توده‌های اوری (*Quercus macranthera*) در جنگل‌های ارسباران

کیومرث سفیدی^{۱*} و سید محمد معین صادقی^۲

^۱ دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
^۲ دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، اداره فنی جنگلداری و جنگلکاری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰)

چکیده

آگاهی از تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر الگوی پراکنش طبیعی درختان می‌تواند اطلاعات مناسبی از پاسخ طبیعت به دخالت‌های انسانی فراهم آورد. این پژوهش به منظور آشکارسازی تأثیر دخالت‌های انسانی بر الگوی پراکنش مکانی درختان در توده‌های اوری در جنگل‌های حاتم مشه‌سی واقع در مشگین‌شهر در ناحیه ریشی ارسباران انجام گرفت. به منظور توزیع مناسب محل‌های نمونه‌برداری سه منطقه با شدت‌های متفاوت از آشفته‌گی انتخاب و با روش منظم و تصادفی نزدیک‌ترین درخت به خط‌نمونه (درخت شاهد) همراه با چهار درخت از نزدیک‌ترین همسایه‌ها انتخاب و اندازه‌گیری شدند. برای تحلیل الگوی مکانی درختان، از دو گروه شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه شامل شاخص‌های محاسباتی برپایه اندازه‌گیری فاصله (فاصله از نزدیک‌ترین همسایه، کلارک-ایوانز و پیلو) و اندازه‌گیری زاویه (میانگین زاویه، میانگین جهت و زاویه یکنواختی) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین فاصله تا همسایگی در مناطق با شدت زیاد از آشفته‌گی به شکل معنی‌داری بیش از دو منطقه دیگر است. با افزایش شاخص آشفته‌گی، فاصله بین درختان و مقدار عددی شاخص‌های کلارک-ایوانز و پیلو افزایش می‌یابد. شاخص میانگین زاویه، رابطه متوسط و مثبت و شاخص زاویه یکنواخت رابطه منفی با شاخص آشفته‌گی انسانی نشان داد و شاخص میانگین جهت رابطه‌ای با شاخص آشفته‌گی انسانی (مانند قطع یا برش درختان، چرای دام و آتش‌سوزی) در بلندمدت سبب تغییر الگوی مکانی درختان و شکل‌گیری پراکنش به نسبت منظم چیدمان درختان شده است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت به حداقل رساندن تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی در جنگل‌ها می‌تواند تا حدودی حفظ ناهمگنی در ساختار را در پی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت، شاخص پیلو، شاخص کلارک-ایوانز، نزدیک‌ترین همسایه.

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی هستند (Newman, 2019). آشفته‌گی‌های انسانی به دلیل داشتن شدت و سطح بزرگ عملکرد، تأثیرات بیشتری بر ساختار یک پوشش گیاهی دارند. از مهم‌ترین آشفته‌گی‌های انسانی می‌توان به برش درختان به شکل انتخاب تک‌درخت یا سطحی

آشفته‌گی‌ها رویدادهایی با منشأ طبیعی یا انسانی هستند که رشد، تکثیر یا انتشار گیاه یا بخشی از پوشش گیاهی را متأثر می‌سازند و در اغلب موارد، عامل ایجاد تحول و توالی بوم‌شناختی در

ایجاد آشفته‌گی جنگل در مقیاس‌های کوچک تا بزرگ می‌شود. از آنجا که بسیاری از کارکردهای بوم‌سازگان جنگلی از هر دو دیدگاه حفاظت و نیز تولید منابع سلولزی، به‌شدت وابسته به ساختار جنگل‌هاست، دخالت‌های منجر به تغییر در ساختار سبب تغییر در تولیدات و نیز کارکردهای حفاظتی ویژه جنگل‌ها خواهد شد. از سوی دیگر، اگرچه ساختار جنگل‌های فعلی نتیجه دخالت‌های گذشته است، اما تغییرات فعلی آنها ممکن است نقطه آغاز تحولات بعدی و تغییرات آتی در ساختار جنگل‌ها باشد.

تحقیقات متعددی تأثیر منفی آشفته‌گی‌های انسانی را بر ساختار پوشش گیاهی بیان کرده‌اند. برای نمونه، در پژوهشی در جنوب شیلی، تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر ساختار و پیچیدگی ساختار بررسی شد که نتایج آن نشان داد بیشترین مقدار عددی از شاخص پیچیدگی ساختار، در جنگل‌های با شدت کم از آشفته‌گی‌های انسانی و کمترین مقدار این شاخص در جنگل با رخداد دائم آشفته‌گی‌ها ثبت شد (Caviedes & Ibarra, 2017). همچنین تحقیقات متعدد، تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی را بر کاهش تراکم و سطح مقطع درختان توده در جنگل‌ها بیان کرده‌اند. برای نمونه، پژوهشگران در هندوستان نشان دادند که در مناطق کم‌تر دست‌خورده، درصد تاج پوشش و تراکم درختان به‌صورت معنی‌داری بیشتر از جنگل‌های دست‌خورده بود (Mishra et al., 2004). Liira et al. (2007) در جنگل‌های معتدله استونی به این نتیجه رسیدند که آشفته‌گی‌های انسانی سبب کاهش شدید تراکم درختان زیراشکوب شده است. همچنین در تحقیق دیگری به‌منظور تعیین تأثیر آشفته‌گی بر زادآوری درختان، مشخص شد که آشفته‌گی‌های شدید انسانی سبب کاهش معنی‌دار تنوع گونه‌ای و در نتیجه ایجاد همگنی فلوربستیکی در توده‌های جنگلی می‌شود (Zamorano-Elgueta et al., 2014). پژوهش Feng et al. (2014) در جنگل‌های نیمه‌استوایی چین نشان می‌دهد که آشفته‌گی‌های شدید انسانی ممکن

مشخص، چرای دام، کاشت درختان و حفاظت از جنگل در مقابل عوامل طبیعی اشاره کرد؛ همچنین نباید از تأثیر غیرمستقیم انسان بر تغییرات اقلیمی چشم‌پوشی کرد. امروزه تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی با توجه به توسعه ابزارها و شدت زیاد دخالت‌های انسانی اهمیت بسیاری است (Haq et al., 2019). تداوم دخالت‌های انسانی در بلندمدت ممکن است به ایجاد بوم‌سازگان‌های جدید به‌جای بوم‌سازگان‌های طبیعی منجر شود که در بیشتر موارد، بوم‌سازگان‌های جدید دارای ویژگی‌های ساختاری متفاوتی با بوم‌سازگان‌های طبیعی هستند. در جنگل‌های اروپای مرکزی، دخالت‌های انسانی در قرن هجدهم میلادی سبب تغییر در چیدمان مکانی درختان و نیز حذف برخی از ویژگی‌های ساختاری مانند کاهش حضور درختان قطور یا کاهش فراوانی و تغییر در نوع خرده‌زیستگاه‌ها شده است (Kraus & Krumm, 2013). بادافتادگی و قطع درختان در کنار چرای دام از جمله مهم‌ترین آشفته‌گی‌های انسانی در جنگل‌های شمال کشور به شمار می‌روند که سبب تغییر در ساختار و ترکیب توده‌های جنگلی می‌شوند.

منظور از ساختار توده‌های جنگلی، چیدمان مکانی درختان در فضای توده جنگلی است که در نتیجه فرایندهای طبیعی و آشفته‌گی‌های انسانی با گذشت زمان شکل می‌گیرد (Ruprecht et al., 2010). از مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر در شکل‌گیری ساختار توده می‌توان به سرشت و قابلیت‌های ژنتیکی رشد درختان، تجدید حیات و ورود درختان به طبقه‌های سنی و قطری بالاتر در نتیجه رویش سالانه، مرگومیر درختان در نتیجه دیرزیستی و نیز آشفته‌گی‌های طبیعی (مانند آتش‌سوزی طبیعی، باد، خسارت‌های ناشی از رویدادهای شدید مانند کاهش شدید دما یا خسارت‌های برف) اشاره کرد. از سوی دیگر، دخالت‌های انسان در قالب طرح‌های مدیریتی یا حفاظتی از جنگل، سبب تغییر الگوی مکانی و چیدمان درختان در بوم‌سازگان‌های جنگلی و در نتیجه سبب

آشفته‌گی‌ها بر چیدمان و الگوی مکانی درختان اوری (بلوط سیاه، *Quercus macranthera*) براساس شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله و نیز زاویه بین درختان در جنگل‌های حاتم مشه‌سی ارسباران است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه حاتم مشه‌سی در تقسیمات کشوری در محدوده استان اردبیل و در حد فاصل شهرهای مشگین‌شهر و اهر قرار دارد. جنگل‌های حاتم مشه‌سی در محل تلاقی سه رشته‌کوه البرز، زاگرس و قفقاز قرار دارد. محدوده تحقیق و اجرای طرح پژوهشی مربوط به سامان عرفی قینرجه است که در حوزه مشکین غربی واقع شده است که در عرض $38^{\circ}31'18''$ شمالی و طول $41^{\circ}39'47''$ شرقی قرار دارد. بیشینه ارتفاع از سطح آب‌های آزاد در این سامان عرفی 2030 متر و کمینه آن 1310 متر است. این جنگل‌ها به لحاظ برخورداری از جریان‌ات اقلیمی هیرکانی از شرق، رطوبت مدیترانه‌ای از غرب و توده‌های کم‌فشار سیبری از شمال، ویژگی‌های منحصر به فردی از نظر ژئوبوتانیکی و قابلیت‌های حفاظت از آب و خاک دارند. از لحاظ اقلیم‌شناسی، اقلیم این ناحیه سرد و نیمه‌خشک است و مقدار بارش سالانه آن 398 میلی‌متر برآورد می‌شود (Rostamikia & Pourhashemi, 2020). مهم‌ترین گونه‌های درختی در این منطقه بلوط اوری (سیاه) گونه غالب و اصلی است. گونه‌های دیگر شامل بلوط سفید، کیکم، ون، هفت‌کول و زالزالک نیز مشاهده می‌شود (Sefidi & Sadeghi, 2019).

شیوه اجرای پژوهش

- جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور اجرای این پژوهش و مطالعه تأثیر آشفته‌گی انسانی در ابتدا برای ایجاد توزیع مناسب بین محل‌های نمونه‌برداری، سه منطقه (مونه) با شدت‌های آشفته‌گی متفاوت انتخاب شد (جدول ۱). انتخاب

است سبب کاهش فراوانی درختان پیشرو توالی و حضور گونه‌های مهاجم گیاهی شود. با کاهش تعداد در هکتار درختان قطور، ساختار این جنگل‌ها به سمت همگنی پیش می‌رود. مرور منابع داخلی نشان می‌دهد که تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر ترکیب و تنوع درختان جنگلی بررسی شده است. در این زمینه، Salehzadeh et al. (2016) به بررسی تأثیر تخریب انسانی بر فلور، تنوع گونه‌ای گیاهان در جنگل‌های بلوط بانه در استان کردستان پرداختند و نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای در مناطق کمتر دست‌خورده و کمترین آنها در مناطق با تخریب شدید بود. با این حال، اگرچه تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر الگوی مکانی بررسی نشده، در برخی تحقیقات، تأثیر حفاظت از جنگل بر الگوی مکانی بیان شده است. برای نمونه، پژوهش Ebrahimi & Pourbabaei (2013) نشان داد که براساس مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های الگوی مکانی مبتنی بر فاصله بین درختان، تخریب در جوامع راش موجب تغییر در الگوی مکانی گونه‌های غالب شده است. همچنین Pourhashemi et al. (2015) با بررسی پراکنش مکانی جست‌گروه‌های بلوط در توده‌های جنگلی بهره‌برداری شده نشان دادند که الگوی پراکنش مکانی گونه برودار کپه‌ای بود.

تغییر در ساختار توده‌های جنگلی می‌تواند نقطه آغاز تحولات بعدی جنگل در آینده باشد؛ موضوعی که کارکرد و خدمات جنگل‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد. کمی‌سازی و تحلیل منطبق بر یافته‌های دقیق علمی می‌تواند پیش‌بینی مؤثر از تحولات آتی جنگل را برای تدوین برنامه‌های حفاظتی در این جنگل‌ها فراهم سازد؛ بنابراین، آگاهی از تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر الگوی پراکنش طبیعی درختان می‌تواند اطلاعات مناسبی از پاسخ طبیعت به دخالت انسانی فراهم آورد. با توجه به اندک بودن اطلاعات درباره تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی به‌ویژه در رویشگاه ارسباران، هدف این پژوهش، بررسی تأثیر این

مناطق از لحاظ شرایط رویشگاهی مانند ویژگی‌های فیزیوگرافیک رویشگاه دارای شباهت هستند و تنها تفاوت موجود در بین مناطق، شدت دخالت‌های انسانی است (جدول ۱).

مونه‌ها براساس سابقه جنگل، مشاهدات میدانی و شاخص‌های فاصله از کانون بحرانی، درجه پوشش تاجی، وجود نشانه‌های قطع درخت و نیز حضور و فراوانی گونه‌های مهاجم و خرابه‌روی انجام گرفت. این

جدول ۱- مشخصه‌های اصلی سه منطقه با شدت آشفستگی متفاوت

شدت آشفستگی	فاصله از جاده	درجه پوشش تاجی	نشانه‌های قطع درخت	مشخصه‌های دیگر
کمتر دست‌خورده	بیش از ۲۰۰ متر	بیش از ۲۵ درصد	کم (کمتر از ۱۰ درصد)	فراوانی اندک گونه‌های خرابه‌روی، فاقد مسیرهای گردشگری
دست‌خورده متوسط	۱۰۰-۲۰۰ متر	۱۵-۲۵ درصد	متوسط (۱۰-۲۰ درصد)	حضور گونه‌های خرابه‌روی، دارای مسیرهای گردشگری
دست‌خورده زیاد	کمتر از ۱۰۰ متر	کمتر از ۱۵ درصد	زیاد (بیش از ۲۰ درصد)	فراوانی زیاد گونه‌های خرابه‌روی، دارای مسیر گردشگری و چشمه آب و آتش‌سوزی

همسایه شامل شاخص‌های محاسباتی برپایه اندازه‌گیری فاصله و شیوه مطالعه بر مبنای اندازه‌گیری زاویه بهره گرفته شد. از شاخص‌های مبتنی بر فاصله شامل فاصله از نزدیک‌ترین همسایه، کلارک-ایوانز و پیلو و شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه شامل میانگین زاویه، میانگین جهت و زاویه یکنواختی استفاده شد.

شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله

رابطه شماره یک، شاخص فاصله همسایگی (D_i) را نشان می‌دهد که براساس اندازه‌گیری فاصله بین درختان پایه‌گذاری شده است (Ruprecht et al., 2010) که رابطه آن به صورت زیر است:

$$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 s_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه s_{ij} فاصله درخت i از درخت j است. شاخص کلارک-ایوانز (CE) برای تعیین مقدار انحراف یک توده از توزیع پواسون یا یک جنگل با توزیع کاملاً تصادفی درختان استفاده می‌شود (Clark & Evans, 1954). با استفاده از رابطه ۲، میانگین فاصله بین یک درخت و نزدیک‌ترین همسایه

به منظور بررسی تأثیر آشفستگی‌های انسانی بر الگوی مکانی ساختار، سه خط‌نمونه به شکل موازی با طول متغیر و عمود بر جاده (مسیر) فرعی پیاده شده و در فواصل منظم ۱۵ متری اقدام به انتخاب محل نمونه‌برداری شد. انتخاب محل نمونه‌برداری به شیوه منظم-تصادفی در سه مونه بود، به این شکل که پس از انتخاب تصادفی نخستین محل، در فواصل منظم ۱۵ متری، نزدیک‌ترین درخت به خط‌نمونه به عنوان درخت شاهد انتخاب و مشخصه‌های چهار اصله از نزدیک‌ترین همسایه‌های درخت شاهد اندازه‌گیری شد. برای هر یک از درختان شاهد و درختان همسایه قطر برابر سینه (با کالیپر و دقت سانتی‌متر)، ارتفاع و فاصله متر با دقت دسی‌متر و زاویه بین پایه‌ها به درجه (با استفاده از متر لیزری لایکا مدل D810) اندازه‌گیری شد و با استفاده از این مشخصه‌ها، مقادیر عددی شاخص‌های مرتبط محاسبه شد.

تحلیل الگوی مکانی درختان

برای کمی‌سازی ساختار جوامع درختی اوری از شیوه مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه و اندازه‌گیری‌های بدون قطعه‌نمونه استفاده شد. برای تحلیل الگوی مکانی از دو گروه از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین

استاندارد α_0 پایه‌گذاری شده است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 s_{ij} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۴، اگر زاویه بین درختان کوچک‌تر از زاویه مبنا باشد، مقدار عددی v_j برابر با ۱ و در غیر این صورت، برابر با صفر خواهد شد. زاویه مبنا از تقسیم ۳۶۰ بر $N+1$ به دست می‌آید که در آن N تعداد درختان است. در حالت اندازه‌گیری برپایه چهار درخت همسایه، پس از محاسبه، مقدار عددی W_i برابر با مقادیر صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ خواهد بود. هرچه مقدار عددی شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، الگوی پراکنش کپه‌ای و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، الگوی پراکنش منظم خواهد شد.

شاخص میانگین جهت (R_i)، براساس اندازه‌گیری زاویه بین درختان در جهت ساعتگرد است (Szymt, 2014). مقدار عددی شاخص میانگین جهت برای الگوی تصادفی پراکنش برابر با ۱/۷۹ است که در مناطق دارای الگوی کپه‌ای مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد و از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$R_i = \sqrt{1 + \left(\sum_{j=2}^n \cos(a_{ij}) \right)^2 + \left(\sum_{j=2}^n \sin(a_{ij}) \right)^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه، α_{ij} زاویه بین درختان i و j است. از شاخص میانگین زاویه بین درختان (θ) برای کمی‌سازی الگوی ساختار مکانی استفاده شد (رابطه ۶). این شاخص توسط Assunção (1994) معرفی شده و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها کمتر استفاده شده است. اگر مقداری عددی θ کمتر از ۹۰ درجه باشد، نشان از پراکنش کپه‌ای دارد و در پراکنش منظم مقدار شاخص بیشتر از ۹۰ درجه خواهد بود.

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad \text{رابطه ۶}$$

آن (r_A) با میانگین مورد انتظار (r_E) در صورتی که درختان به‌طور تصادفی پراکنده شده باشند، مقایسه می‌شود.

رابطه ۲

$$CE = \frac{r_A}{r_E} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i}{0.5 \cdot \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{2}} + 0.0514 \cdot \frac{P}{N} + 0.041 \cdot \frac{P}{N^{\frac{3}{2}}}}$$

که در آن r_i ، فاصله بین درخت i و نزدیک‌ترین همسایه آن (متر)، N تعداد کل درختان در داخل قطعه نمونه، A سطح قطعه نمونه (متر مربع) و P محیط قطعه نمونه (متر) است. زمانی که توزیع درختان در قطعه نمونه تحت مطالعه از الگوی تصادفی پیروی کند، مقدار CE برابر با ۱ می‌شود. کوچک‌تر بودن مقدار عددی شاخص از ۱، نشان‌دهنده الگوی پراکنش کپه‌ای، و بزرگ‌تر بودن آن از ۱، نشان‌دهنده الگوی پراکنش منظم است (Kint, 2004).

با توجه به مشکلات شاخص کلارک-ایوانز در مناطق با احتمال پراکنش کپه‌ای، شاخص پیلو (P) معرفی شد (Pielou, 1959). مقدار شاخص P اگر بیش از ۱ باشد، کپه‌ای است و اگر کمتر از ۱ باشد، الگوی پراکنش منظم است. در پراکنش با الگوی تصادفی مقدار عددی این شاخص در حدود ۱ خواهد بود (رابطه ۳).

$$P = \pi \cdot \lambda \cdot \bar{r}^2 \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، r فاصله بین درختان (متر) و λ تراکم واقعی درختان در واحد سطح است.

- شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه

شاخص زاویه یکنواختی (W_i) به بررسی درجه منظم بودن الگوی پراکنش درختان در یک گروه ساختاری متشکل از درخت شاهد و درختان همسایه می‌پردازد (Szymt, 2014). این شاخص بر مبنای مقایسه زاویه بین درختان همسایه α_j نسبت به زاویه

و در صورت نیاز، نرمال سازی داده‌ها از طریق تصحیح لگاریتمی انجام گرفت. به منظور بررسی همبستگی بین مقادیر عددی هر یک از شاخص‌های محاسباتی و مقدار عددی شاخص شدت آشفستگی (D) در منطقه از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه برای تعیین معنی‌داری اختلاف بین مقادیر عددی هر یک از شاخص‌های پراکنش در طبقه‌های شدت آشفستگی مختلف استفاده شد. طبقه‌بندی منطقه به سه شدت مختلف از آشفستگی شامل آشفستگی کم، متوسط و زیاد انجام گرفت که آزمون مقایسه میانگین مقدار عددی شدت آشفستگی نشان داد که سه منطقه در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار از لحاظ این شاخص هستند ($F= ۸۷ / ۴۴$ و $P < ۰/۰۰۰$) که نشان‌دهنده کارایی شاخص در تفکیک مناطق است. همه آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و در محیط نرم‌افزار R (نسخه ۳/۵/۳) انجام گرفت.

نتایج

در این بررسی براساس شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه به‌طور متوسط ۳۹۹ درخت در این سه منطقه ثبت شد که بیشترین تراکم درختان، قطر برابر سینه و سطح مقطع درختان در شدت آشفستگی زیاد حاصل شد؛ درحالی که میانگین ارتفاع درختان در شدت آشفستگی متوسط، از دو طبقه دیگر بیشتر بود (جدول ۱).

در رابطه ۶، α_i زاویه بین نقاط نمونه‌برداری و n تعداد نقاط است.

- کمی‌سازی مقدار آشفستگی انسانی

به منظور کمی‌سازی شدت آشفستگی در مناطقی با شدت آشفستگی متفاوت، از رابطه زیر استفاده شد. بر این اساس در هر محل نمونه‌برداری، با توجه به موقعیت محل و نشانه‌های تخریب انسانی، مقدار عددی این شاخص به شکل زیر برآورد شد:

$$D = X \cdot (m) \cdot DI \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن D ارزش کمی مقدار آشفستگی انسانی در منطقه، X فاصله از کانون بحرانی آشفستگی (متر) و DI مقدار عددی شدت آشفستگی است که برای مناطق با شدت کم آشفستگی مقدار ۱، برای مناطق با شدت متوسط آشفستگی مقدار ۲ و برای مناطق با شدت آشفستگی زیاد، مقدار عددی ۳ در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس کمترین مقدار عددی آن ۱۵ و بیشترین مقدار ۶۷۵ در منطقه با شدت زیاد دست‌خوردگی با نشانه‌هایی از برش و نزدیک به کانون‌های بحرانی آشفستگی (جاده مالرو و محل تجمع گردشگر در اطراف چشمه) ثبت شد.

روش تحلیل

نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و برابری واریانس با آزمون لون بررسی شد

جدول ۲- مشخصه‌های کمی توده‌های جنگلی در مناطق با شدت متفاوت آشفستگی انسانی

مشخصه	طبقه شدت آشفستگی			ضریب تغییرات (درصد)
	کم	متوسط	زیاد	
تعداد درختان (پایه در هکتار)	۴۲۳	۳۳۱	۴۴۴	۶/۷
میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۱۷/۷	۱۸/۹	۱۹/۴	۱۷/۶
میانگین ارتفاع درختان (متر)	۶/۸	۷/۷	۷/۵	۱۴/۷
میانگین سطح مقطع درختان (مترمربع در هکتار)	۱۰/۷	۱۰/۹	۱۲/۳	۱۳/۱

است. شاخص‌های فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه، پیلو، کلارک-ایوانز و میانگین زاویه در منطقه با شدت آشفته‌گی زیاد مقدار عددی بزرگ‌تری را نسبت به دو منطقه دیگر نشان می‌دهد (جدول ۳).

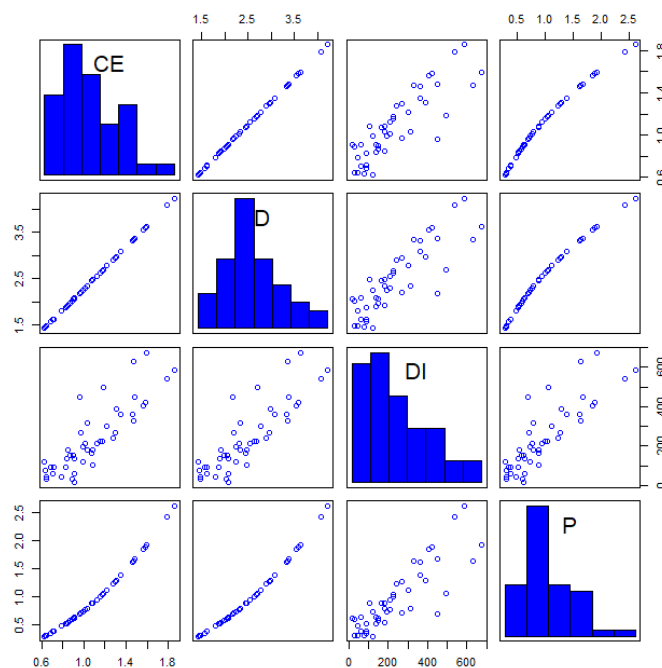
نتایج حاصل از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه (شاخص‌های محاسباتی برپایه اندازه‌گیری فاصله و بر مبنای اندازه‌گیری زاویه) در سه منطقه با شدت‌های آشفته‌گی متفاوت در جدول ۳ آورده شده

جدول ۳- میانگین (\pm خطای معیار) شاخص‌های کمی الگوی مکانی ساختار در مناطق با شدت متفاوت از آشفته‌گی انسانی

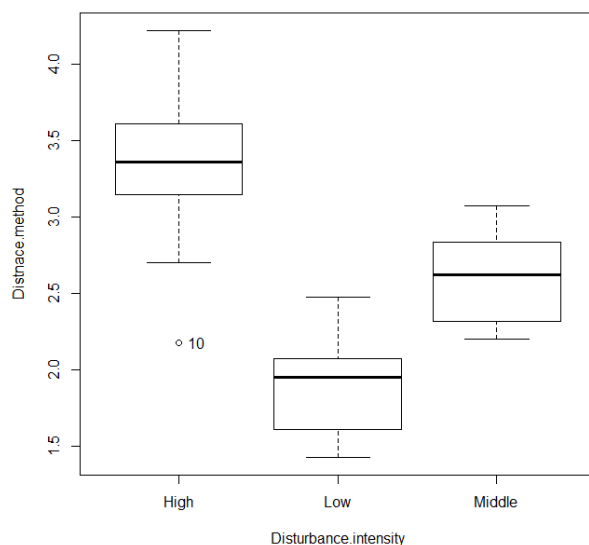
شدت آشفته‌گی	شاخص‌های مبتنی بر فاصله			شاخص‌های مبتنی بر زاویه		
	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (متر)	پیلو	کلارک-ایوانز	زاویه یکنواخت	میانگین جهت	میانگین زاویه
کم	۱/۹ ($\pm ۰/۷$)	۰/۵۵ ($\pm ۰/۰۴$)	۰/۸۴ ($\pm ۰/۰۳$)	۰/۳۵ ($\pm ۰/۰۳$)	۱/۸ ($\pm ۰/۱۳$)	۱۵۰ ($\pm ۵/۵$)
متوسط	۲/۵ ($\pm ۰/۱$)	۰/۹۸ ($\pm ۰/۰۹$)	۱/۱ ($\pm ۰/۰۵$)	۰/۲۲ ($\pm ۰/۰۲$)	۱/۹ ($\pm ۰/۱۹$)	۱۶۴ ($\pm ۷/۵$)
زیاد	۳/۳ ($\pm ۰/۱$)	۱/۶۶ ($\pm ۰/۱۵$)	۱/۴ ($\pm ۰/۰۷$)	۰/۲۱ ($\pm ۰/۰۴$)	۱/۷ ($\pm ۰/۱۳$)	۱۷۵ ($\pm ۹/۰$)
میانگین	۲/۵ ($\pm ۰/۷$)	۰/۹۶ ($\pm ۰/۰۴$)	۱/۰۱ ($\pm ۰/۰۳$)	۰/۲۸ ($\pm ۰/۱۶$)	۱/۸ ($\pm ۰/۵۷$)	۱۶۸ (± ۲۵)

منطقه شدت زیاد آشفته‌گی، فاصله بین درختان نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱). بر اساس نتایج در کل منطقه، بیشترین فراوانی شاخص‌های کلارک-ایوانز و پیلو در طبقه ۱ و کمتر از ۱ مشاهده می‌شود. با افزایش مقدار عددی شاخص از فراوانی آنها کاسته می‌شود (شکل ۱).

بر اساس نتایج، میانگین فاصله تا همسایگی در مناطق با شدت زیاد آشفته‌گی به شکل معنی‌داری بیش از دو منطقه دیگر است ($F=۴۲/۷۵$, $p=۰/۰۰۱$). این موضوع دیگر شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله را نیز در این ناحیه تحت تأثیر قرار داده است. همچنین با افزایش مقدار عددی شاخص آشفته‌گی در



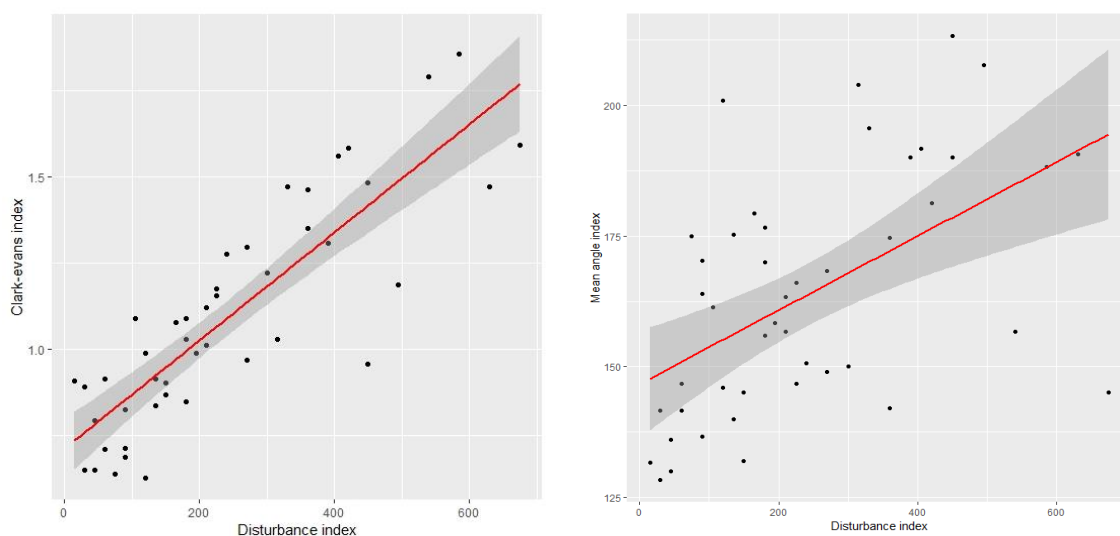
شکل ۱- بافت‌نگار پراکنش شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله شامل شاخص‌های کلارک-ایوانز (CE)، فاصله از همسایگی (D) و پیلو (P) و ماتریس همبستگی آنها با مقدار عددی شاخص آشفته‌گی (DI)



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای فاصله همسایگی در سه منطقه با شدت متفاوت از آشفتگی

مواردی تحت تأثیر آشفتگی‌ها نیستند و اختلاف معنی‌داری بین سه منطقه وجود ندارد. شاخص میانگین جهت ($F=1/85$, $p=0/222$)، اختلاف معنی‌داری بین سه منطقه ندارد، در حالی که شاخص‌های زاویه یکنواخت ($F=4/36$, $p=0/019$) و میانگین زاویه ($F=6/12$, $p=0/005$) در سطح معنی‌داری آماری ۹۵ درصد اختلاف‌هایی را نشان می‌دهند (شکل ۳).

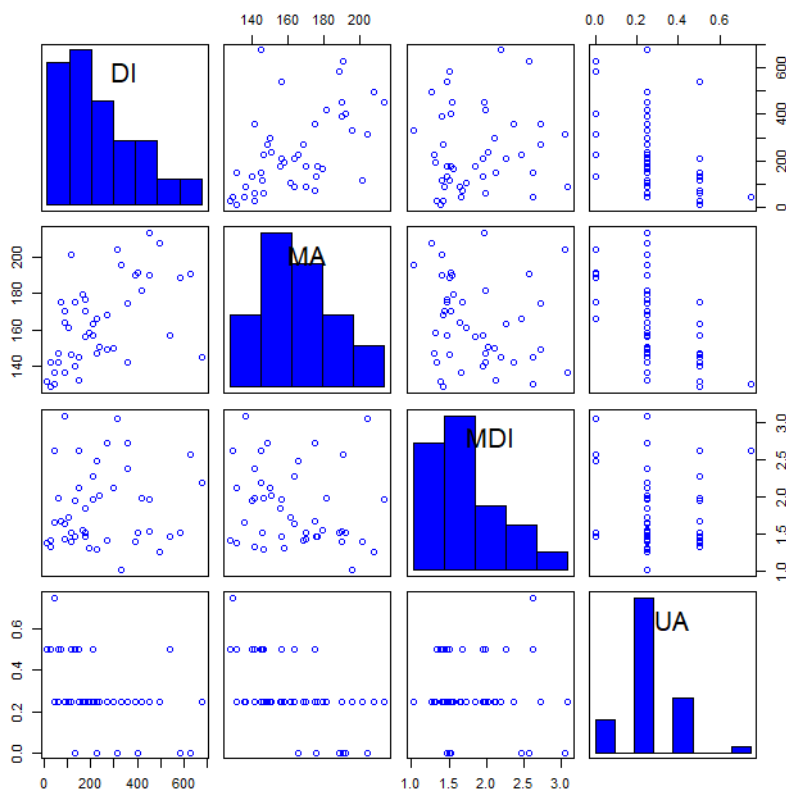
با توجه به نحوه برآورد شاخص‌های کلارک-ایوانز و پیلو براساس فاصله بین درختان همسایه، این دو شاخص نیز اختلاف معنی‌داری بین مناطق بررسی‌شده داشتند ($F=42/85$, $p=0/001$). در عین حال رابطه قوی و معنی‌داری (شکل ۳) بین شاخص آشفتگی و شاخص‌های مبتنی بر فاصله مشاهده می‌شود ($r=0/85$, $p=0/001$). اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص‌های مبتنی بر زاویه در



شکل ۳- همبستگی بین شاخص‌های کلارک-ایوانز (سمت چپ) و میانگین زاویه بین درختان (سمت راست) با مقدار عددی شاخص آشفتگی

بررسی همبستگی بین مقدار عددی شاخص آشفته‌گی انسانی در منطقه با مقادیر عددی شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی بین شاخص‌ها وجود دارد (شکل ۴). شاخص‌های میانگین زاویه، رابطه متوسطی و مثبتی آشفته‌گی تأثیر نمی‌پذیرد.

بررسی همبستگی بین مقدار عددی شاخص آشفته‌گی انسانی در منطقه با مقادیر عددی شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی بین شاخص‌ها وجود دارد (شکل ۴). شاخص‌های میانگین زاویه، رابطه متوسطی و مثبتی آشفته‌گی تأثیر نمی‌پذیرد.



شکل ۴- بافت‌نگار پراکنش شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه شامل شاخص‌های زاویه یکنواخت (UA)، میانگین جهت (MDI) و میانگین زاویه (MA) و ماتریس همبستگی آنها با مقدار عددی شاخص آشفته‌گی (DI)

زیراشکوب از مهم‌ترین تهدیدهای جنگل‌هاست. نکته مهم این است که تغییر در مساحت جنگل یا ترکیب گونه‌های درختی به راحتی تشخیص داده می‌شود، اما تغییر در ساختار یا چینش مکانی درختان به نسبت دشوار است. باید توجه داشت که تغییر در ساختار در جنگل‌ها به شدت بر عملکرد و کارکردهای بوم‌سازگان اثر می‌گذارد و دخالت‌های نادرست انسان سبب کاهش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی

بحث

آشفته‌گی‌های انسانی از مهم‌ترین علل تغییر در ترکیب، تنوع و ساختار توده‌ها در جنگل‌ها هستند. در سال‌های گذشته جنگل‌های خارج از شمال، کمتر مورد توجه سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور بوده و به‌طور مداوم در معرض آشفته‌گی‌های متعدد انسانی قرار گرفته‌اند. چرای دام، برش درختان، تغییر کاربری اراضی جنگلی و توسعه زراعت در

انسانی و حفظ شرایط بهتر رویشگاهی، در مجاورت هم الگوی مکانی کپه‌ای را نشان می‌دهند. در حقیقت حذف درختان جوان و کم‌قطر (میانگین قطر ۱۷ سانتی‌متر در برابر ۱۹ سانتی‌متر) در دهه‌های گذشته در منطقه با شدت آشفستگی زیاد، سبب یکنواختی در الگوی پراکنش شده است. اگرچه در مقیاس توده و در مناطق با شدت کم آشفستگی، انتظار می‌رود بوم‌سازگان با داشتن ارتجاع کافی، با بازخورد مناسب، سبب بازگشت تعادل و حفظ ساختار به شرایط مطلوب شود (Aravena, 2003)؛ در حالی که در شدت زیاد آشفستگی، بازگشت بوم‌سازگان به شرایط مطلوب بسیار دشوار خواهد بود. مقایسه مناطق حفاظت‌شده و دست‌خورده در جنگل‌های ارسباران در گذشته نشان داده است که مدیریت مبتنی بر حفاظت، موجب افزایش تنوع گونه‌ای در رویشگاه ارسباران شده است و بر این اساس Alijanpour et al. (2009) جلوگیری از حضور دام و قطع درختان را راهکاری مناسب برای حفظ تنوع زیستی پوشش گیاهی در ارسباران دانسته‌اند. در عین حال، با کاهش تنوع گونه‌های درختی در توده، امکان ایجاد تنوع در ساختار و الگوی مکانی درختان جنگلی کاهش می‌یابد. مطالعه اثر آشفستگی‌های انسانی بر جنگل‌های بلوط بانه در کردستان نشان داد که آشفستگی‌های انسانی ممکن است بر کاهش تنوع گونه‌ای اثرگذار باشد (Salehzadeh et al., 2016).

براساس یافته‌های این پژوهش، با نزدیک شدن به کانون‌های بحرانی آشفستگی در منطقه تحت مطالعه (شامل مسیر پیاده‌روی و چشمه آب) همراه با افزایش فراوانی نشانه‌های قطع، مقدار عددی شاخص آشفستگی افزایش می‌یابد. براساس آزمون همبستگی ارتباط معنی‌داری بین شدت آشفستگی و شاخص کلارک-ایوانز مشاهده می‌شود؛ به این معنا که با افزایش آشفستگی، مقدار عددی شاخص بیشتر از ۱ می‌شود و به سمت مقادیر بالاتر می‌رود که نشان‌دهنده منظم شدن الگوی مکانی درختان در مناطق تخریب‌یافته‌تر

(Sefidi & Sadeghi, 2020) و همچنین تغییر در ساختار تاج‌پوشش (Deljouei et al., 2018) می‌شود. حذف تک‌پایه‌های درختی و کاهش تراکم زادآوری سبب تغییر در رژیم رقابت بین پایه‌های درختی می‌شود و از این طریق بر کارکرد بوم‌سازگان اثر می‌گذارد. در سال‌های اخیر، تأثیر آشفستگی‌های انسانی در جنگل‌های خارج از شمال بر ساختار جوامع درختی بلوط در غرب کشور گزارش شده است (Pourhashemi et al., 2015). در این تحقیق با توجه به اثر و اهمیت رویشگاه ارسباران در تحول سیمای سرزمین در شمال غرب، تأثیر آشفستگی‌های انسانی بر الگوی مکانی ساختار بررسی شد. بر این اساس، الگوی مکانی درختان در مناطق با شدت‌های مختلف از آشفستگی‌های انسانی تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. با توجه به وقوع آتش‌سوزی و نیز شدت حضور انسان در منطقه با شدت زیاد آشفستگی، فاصله بین درختان و پایه‌های موجود بیش از حد انتظار و حدود دوبرابر منطقه با شدت کم آشفستگی است. در منطقه با شدت آشفستگی زیاد، حضور پایه‌های قطور و نبود درختان کم‌قطر در فاصله بیش از دو متری یکدیگر سبب افزایش مقدار عددی شاخص همسایگی و تأثیر بر شاخص‌های مبتنی بر فاصله شده است. براساس اطلاعات محلی، وقوع آتش‌سوزی در دهه‌های گذشته در منطقه با آشفستگی زیاد و نیز تمرکز حضور انسان به‌واسطه وجود چشمه در این منطقه، موجب حذف تدریجی درختان جوان‌تر شده و در حال حاضر توده متشکل از درختان به‌نسبت قطور اما در فواصل منظم از هم شده است. در تحقیق دیگری در این ناحیه براساس شاخص‌های فاصله‌ای، الگوی مکانی درختان یکنواخت و همگن توصیف شده است (Sefidi & Sadeghi, 2019)؛ با این حال با افزایش فاصله از کانون‌های بحرانی آشفستگی در منطقه تحت بررسی، تعداد درختان قطور کاهش می‌یابد و بر تعداد درختان جوان افزوده می‌شود (میانگین قطر برابر با ۱۹ سانتی‌متر) که در فواصل کمتر به‌دلیل کاهش تأثیر

عین حال، حذف پایه‌های درختی و کاهش تنوع درختی سبب یکدستی چینش درختان می‌گردد. الگوی مکانی منظم توده‌های جنگلی در نتیجه آشفته‌گی‌های انسانی در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Majumdar & Datta, 2015).

براساس شاخص‌های مبتنی بر زاویه نیز در سه منطقه با شدت‌های آشفته‌گی متفاوت، اختلاف‌هایی از لحاظ الگوی مکانی درختان وجود دارد؛ هرچند این تفاوت‌ها به اندازه شاخص‌های مبتنی بر فاصله آشکار نیستند. بررسی‌ها نشان داد که شاخص میانگین جهت ارتباط ضعیفی با شاخص آشفته‌گی دارد، اما رابطه متوسط و معنی‌داری با شاخص آشفته‌گی نشان می‌دهد؛ به این معنا که با افزایش آشفته‌گی انسانی، مقدار عددی شاخص آشفته‌گی افزایش می‌یابد و ساختار توده به سمت الگوی پراکنش منظم پیش می‌رود. شاخص زاویه یکنواخت رابطه منفی با آشفته‌گی داشت که نشان می‌دهد پراکنش درختان در مناطق با شدت آشفته‌گی زیاد دارای الگوی منظم است. اغلب پس از وقوع آشفته‌گی و در حین بازسازی مجدد ساختار توده، الگوی مکانی درختان به سمت منظم‌تر شدن سوق می‌یابد که علت آن از بین رفتن تنوع گونه‌ای است. بر این اساس به نظر می‌رسد که حذف درختان با دو هدف اصلی تأمین سوخت و استفاده‌های ساختمانی در گذشته، سبب حذف درختان در قطره‌های هدف مشخص شده است. به علاوه، براساس مشاهدات میدانی در این مناطق، حذف پوشش تاجی سبب افزایش گونه‌های علفی و گرامینه‌ها در کف جنگل شده و امکان رقابت و بازسازی ساختار توسط گونه‌های درختی مرحله انتهایی توالی از بین رفته است.

تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی بر ساختار جنگل‌ها و به‌ویژه الگوی مکانی ساختار، فرایندی تدریجی و نامحسوس است که به مرور سبب تغییر ساختار و در نتیجه تغییر عملکرد جنگل‌ها می‌شود. کمی‌سازی تأثیر منفی آشفته‌گی‌های انسانی بر ویژگی‌های

است. یکنواختی در الگوی مکانی ساختار در نهایت سبب افزایش همگنی در ساختار توده و در نتیجه کاهش ارزش‌های حفاظتی جنگل می‌شود. در پژوهش دیگری در جنگل‌های ارسباران، به کاهش تنوع درختان در طبقه‌های قطری و منظم شدن الگوی مکانی درختان در رویشگاه کورن با سابقه حفاظتی کوتاه‌مدت در مقابل دو رویشگاه دیگر این منطقه با سابقه حفاظتی به نسبت بلندمدت اشاره شده است (Ghanbari et al., 2018). در هر حال آنچه اهمیت دارد، تغییر در الگوی پراکنش درختان با افزایش مقدار عددی شاخص آشفته‌گی براساس شاخص‌های کلارک-ایوانز و پیلو است که نشان می‌دهد تأثیر حضور انسان، افزون‌بر تأثیر بر تنوع درختان و درختچه‌ها (Alijanpour et al., 2009)، می‌تواند بر الگوی مکانی درختان یا چینش آنها در ارسباران اثرگذار باشد. در جنگل‌های بلوط زاگرس، نیز نتیجه مشابهی مبنی بر اثر چرای دام بر ساختار جنگل‌ها در کنار دیگر عوامل محیطی مانند ویژگی‌های فیزیوگرافی رویشگاه گزارش شده است (Mirdavoodi, 2014). توده‌های جنگل در طی فرایند تحول توده به سمت افزایش پیچیدگی در ساختار حرکت می‌کنند. حضور انسان و دخالت‌های آن سبب تأخیر در این فرایند و دور شدن توده‌های جنگلی از مسیر تحول طبیعی می‌شود. چرای انتخابی توسط دام و حذف پایه‌های جوان توسط انسان و آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌تواند سبب همگنی ساختار جنگل‌ها شود. تکرار آتش‌سوزی و چرای دام، در میان‌مدت به تغییر ترکیب گونه‌ای جنگل‌ها می‌انجامد (Spasojevic et al., 2010). در مناطق تحت تأثیر شدت زیاد از آشفته‌گی، جوامع خالص اوری تشکیل شده است؛ درحالی که در مناطق با شدت کم آشفته‌گی، با حضور گونه‌هایی مانند ون، کیکم و هفت‌کول، تنوع در گونه‌های درختی افزایش می‌یابد. با توجه به سرشت و ریخت‌شناسی متفاوت هر یک از گونه‌ها، تنوع گونه‌های درختی سبب متنوع شدن ساختار و الگوی مکانی جنگل خواهد شد. در

می‌دهد. با توجه به پیچیدگی موجود در جنگل‌ها، توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری در زمینه بررسی تأثیرات انسانی بر چیدمان مکانی درختان انجام گیرد. در هر حال، به حداقل رساندن تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی نادرست در جنگل‌ها می‌تواند تا حدودی حفظ ناهمگنی ساختار را در پی داشته باشد.

ساختاری جنگل‌ها در مقیاس‌های متفاوت و در ریزاقلیم‌های مختلف، سبب ارزیابی مناسب‌تر این اثرها می‌شود. با این حال نتایج این بررسی نشان داد که در بلندمدت، برش تک‌پایه‌های درختان در کنار چرای دام و آتش‌سوزی، موجب تغییر الگوی مکانی درختان می‌شود و آن را به سمت الگوی پراکنش منظم‌تر سوق

References

- Alijanpour, A., Eshahghi Rad, J., & Shafiei, A.B. (2009). Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran. *Iranian Journal of Forest*, 1(3), 209-217.
- Aravena, J.C. (2003). Changes in tree species richness, stand structure and soil properties in a successional chrono sequence in northern Chiloé Island, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 339-360.
- Assunção, R. (1994). Testing spatial randomness by means of angles. *Biometrics*, 50, 531-537.
- Caviedes, J. & Ibarra, J.T. (2017). Influence of anthropogenic disturbances on stand structural complexity in Andean Temperate forests: implications for managing key habitat for biodiversity. *PLoS ONE*, 12(1), 1-18.
- Clark, P.J., & Evans, F.C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4), 445-453.
- Deljouei, A., Sadeghi, S.M.M., Abdi, E., Bernhardt-Römermann, M., Pascoe, E.L., & Marcantonio, M. (2018). The impact of road disturbance on vegetation and soil properties in a beech stand, Hyrcanian forest. *European Journal of Forest Research*, 137(6), 759-770.
- Ebrahimi, S.S., & Pourbabaei, H. (2013). Effect of conservation on spatial pattern of dominant trees in Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) communities, (case study: Masal, Guilan). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(4), 13-24.
- Feng, G., Svenning, J.C., Mi, X., Jia, Q., Rao, M., Ren, H., Bebbler, D.P., & Ma, K. (2014). Anthropogenic disturbance shapes phylogenetic and functional tree community structure in a subtropical forest. *Forest Ecology and Management*, 313, 188-198.
- 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.
- Haq, S.M., Rashid, I., Khuroo, A.A., Malik, Z.A., & Malik, A.H. (2019). Anthropogenic disturbances alter community structure in the forests of Kashmir Himalaya. *Tropical Ecology*, 60(1), 6-15.
- Kint, V., De Wulf, R., & Lust, N. (2004). Evaluation of sampling methods for estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modelling*, 180, 461-476.
- Kraus D., & Krumm F. (2013). Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity. *European Forest Institute, Germany*, 284 p.
- Liira, J., Sepp, T., & Parrest, O. (2007). The forest structure and ecosystem quality in conditions of anthropogenic disturbance along productivity gradient. *Forest Ecology and Management*, 250(1-2), 34-46.

- Majumdar, K., & Datta, B.K. (2015). Effects of anthropogenic disturbances on vegetation diversity and structure: a case study in the remnant forests surrounding the village ecosystems of Tripura, Northeast India. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 13(4), 332-340.
- Mirdavoodi, H.R. (2014). Effect of grazing and environmental factors on the structure of Brant's oak stands of Zagros (case study: Dalab Park, Ilam). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3), 461-472.
- Mishra, B.P., Tripathi, O.P., Tripathi, R.S., & Pandey, H.N. (2004). Effects of anthropogenic disturbance on plant diversity and community structure of a sacred grove in Meghalaya, northeast India. *Biodiversity and Conservation*, 13, 421-436.
- Newman, E.A. (2019). *Disturbance ecology in the Anthropocene. Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 147p.
- Pielou, E.C. (1959). The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. *The Journal of Ecology*, 47(3), 607-613.
- Pourhashemi, M., Mansouri, F., Parhizkar, P., Panahi, P., & Hasani, M. (2015). Spatial pattern of sprout-clumps of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in utilized forest stands of Marivan. *Journal of Plant Research*, 27(4), 534-543.
- 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.
- Rostamikia, Y., & Pourhashemi, M. (2020). Hatam-Mashasi Forest Reserve of Meshgin-Shahr, Ardabil Province. *Iran Nature*, 5(2), 97-106.
- Salehzadeh, O., Eshaghi Rad, J., & Maroofi, H. (2016). The effect of anthropogenic disturbance on flora and plant diversity in Oak forests of west (Baneh city). *Forest Research and Development*, 2(3), 219-240.
- Sefidi, K., & Sadeghi, S.M.M. (2019). Structural characteristics of *Quercus macranthera* forests in Arasbaran region, North west of Iran (Hatam Mashe Si, Meshgin-Shahr). *Iranian Journal of Forests*, 11(3), 347-361.
- Sefidi, K., & Sadeghi, S.M.M. (2020). The diversity of microhabitats and the ecological value of habitat trees in oriental beech stands. *Iranian Journal of Forests*, 12(2), 147-160.
- Spasojevic, M.J., Aicher, R.J., Koch, G.R., Marquardt, E.S., & Mirotnick, N. (2010). Fire and grazing in mesic tallgrass prairie: impact on plant species and functional traits. *Ecology*, 91(6), 1651-1659.
- Szmyt, J. (2014). Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 48(1), 1-31.
- Zamorano-Elgueta, C., Cayuela, L., Rey-Benayas, J.M., Donoso, P.J., Geneletti, D., & Hobbs, R.J. (2014). The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: a landscape approach. *Ecosphere*, 5(7), 1-17.



Research Article

Anthropogenic disturbance impacts on spatial pattern of Caucasian oak (*Quercus macranthera*) stands in the Hatam Mashe Si forests, Arasbaran

K. Sefidi^{1*}, and S.M.M. Sadeghi²

¹Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran

²Ph.D. of Silviculture and Forest Ecology, Technical Bureau of Forestry and Plantation, Natural Resources and Watershed Management Office, West Azerbaijan Province, Urmia, I. R. Iran

(Received: 21 June 2020, Accepted: 20 September 2020)

Abstract

Knowing the effects of anthropogenic disturbances on the natural spatial pattern of trees can provide good information about the response of nature to human intervention. This study aimed to reveal the effects of human interventions on the spatial pattern of Caucasian oak stands in the Arasbaran region, located on Hatam Mashe Si, Meshgin-Shahr. For better distribution of study locations, three areas with different disturbance intensities were selected and the nearest tree to the transect as a reference tree with the four nearest neighbors was measured. To analyze the spatial pattern of trees, two groups of indicators based on the nearest neighbor's distance index were used, including distance-dependent indices (distance from the nearest neighbor, Clark-Evans, and Pielou), and angle-dependent indices (mean directional, mean of angles, and uniform angle). The results showed that the average distance to the neighborhood in areas with high intensity of disturbance is significantly more than the other two areas. As the disturbance index increases, the distance between the trees and the numerical value of the Clark-Evans and Pielou indexes increases. The mean angle index showed a moderate and positive relationship and the uniform angle index showed a negative relationship with the anthropogenic disturbance index, and the mean directional index did not show a relationship with the anthropogenic disturbance index. Anthropogenic disturbances (such as cutting trees, livestock grazing, and fires) in the long term have led to changes in the spatial pattern of trees, as a result, their distribution is relatively regular. In conclusion, it can be concluded that minimizing the effects of anthropogenic disturbances in forests can partially maintain the heterogeneity of the forest structure.

Keywords: Clark-Evans index, close to nature silviculture, distance from the nearest neighbor, Pielou index.