



دانشگاه گوارن گورن و منبع منبع گران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هشتم، شماره اول، ۱۴۰۰
۱-۲۰

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2021.18417.1891

شاخص‌های هندسی و تنوع گونه‌ای زادآوری در روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت پوشش تاجی

شمیم امینی^۱، محمد هادی معیری^{۲*}، شعبان شتایی جویباری^۳ و رامین رحمانی^۲

^۱دانشجوی دکتری دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

^۲دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

^۳استاد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: روشنه‌های پوشش تاجی یکی از مناسب‌ترین شرایط برای زادآوری بسیاری از گونه‌ها محسوب می‌شوند. مطالعه نحوه زادآوری در روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت اطلاعات کاربردی را برای افزایش کمی و کیفی زادآوری انواع گونه‌های درختی فراهم می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی رابطه مشخصه‌های هندسی روشنه با مشخصه‌های تنوع و تراکم زادآوری گونه‌های درختی در روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت انجام شد.

مواد و روش‌ها: دو قطعه نمونه ۱۶ هکتاری با موقعیت رویشگاهی تقریباً یکنواخت در بخشی از سری یک (مدیریت شده) و سری دو (مدیریت نشده) طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته، گرگان) انتخاب گردید. موقعیت ۵۶ روشنه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب تفاضلی *DGPS* ثبت شد. شاخص‌های اصلی هندسه روشنه شامل: مساحت (*A*)، محیط (*P*) و نسبت محیط به مساحت (*P/A*) اندازه‌گیری و سپس شاخص گردی (*C*) و پیچیدگی شکل روشنه (*GSCI*) محاسبه گردید. همچنین فراوانی و تنوع گونه‌ای زادآوری درون روشنه‌ها در قطعات ۲۵ مترمربعی ثبت گردید. روشنه‌ها در سه کلاس مساحت کوچک (۲۰-۱۵۰ مترمربع)، متوسط (۱۵۰-۳۰۰ مترمربع) و بزرگ (بیش‌تر از ۳۰۰ مترمربع) کلاس‌بندی شدند. شاخص‌های تنوع گونه‌ای به ازای هر روشنه در محیط نرم‌افزار PAST محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری جهت تعیین معنی‌داری اختلاف‌ها و روابط بین شاخص‌های هندسی و تنوع گونه‌ای زادآوری انجام شد.

یافته‌ها: میانگین مساحت روشنه‌های طبیعی ۲۰۶ مترمربع و روشنه‌های انسان‌ساخت ۱۷۶ مترمربع به‌دست آمد. میانگین شاخص گردی روشنه‌های انسان‌ساخت ($C=0.72$) بزرگ‌تر از روشنه‌های طبیعی ($C=0.66$) بوده؛ هر چند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشتند. شکل روشنه‌های طبیعی متناسب با افزایش مساحت، از فرم دایره فاصله گرفته، کشیده‌تر شد و نیز پیچیدگی شکل آن‌ها افزایش یافت. شاخص پیچیدگی شکل روشنه‌های انسان‌ساخت با افزایش

* مسئول مکاتبه: moayeri38@yahoo.com

مساحت اختلاف معنی‌داری نشان نداد. هم‌چنین در هر دو نوع روشنه، نسبت محیط به مساحت روشنه‌های بزرگ، در مقایسه با سایر کلاس‌های روشنه‌ها کمتر بود. تراکم زادآوری گونه‌های افرا پلت، انجیلی و فراوانی کل زادآوری در روشنه‌های انسان‌ساخت با مساحت متوسط به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روشنه‌های طبیعی با مساحت مشابه بود. غنا، فراوانی کل زادآوری، تنوع گونه‌ای، غالبیت و یکنواختی در روشنه‌های با مساحت متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع) حداکثر مقدار و اختلاف معنی‌داری با روشنه‌های بزرگ (مساحت بزرگ‌تر از ۳۰۰ مترمربع) نشان‌دادند. در روشنه‌های طبیعی، با افزایش مساحت تراکم زادآوری گونه‌های افرا پلت و خرمنندی، غنای گونه‌ای، فراوانی کل و تنوع گونه‌ای زادآوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در روشنه‌های طبیعی بین شاخص P/A با تراکم زادآوری گونه‌های افرا و ممرز، همبستگی مثبت مشاهده شد (به ترتیب $r=0/480$ و $r=0/356$). شاخص غنا همبستگی منفی با محیط ($r=-0/317$) و مساحت روشنه‌های طبیعی ($r=-0/310$) داشته است. در روشنه‌های انسان‌ساخت تراکم زادآوری افرا و شیردار همبستگی معکوس با شاخص گردی (به ترتیب $r=-0/546$ و $r=-0/560$) و همبستگی مستقیم (به ترتیب $r=0/588$ ، $r=0/628$) با پیچیدگی شکل نشان دادند. پس هرچه روشنه کشیده‌تر و شکل آن پیچیده‌تر، تراکم این دو گونه بیشتر بود که این مقدار در روشنه‌های انسان‌ساخت با سطح متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع) مشاهده شد. در روشنه‌های انسان‌ساخت شاخص یکنواختی همبستگی معکوس و غنای گونه‌ای همبستگی مستقیم با نسبت محیط به مساحت (به ترتیب $r=-0/553$ و $r=0/578$) نشان داد.

نتیجه‌گیری: روشنه‌های انسان‌ساخت در مقایسه با روشنه‌های طبیعی، منظم‌تر و گردتر بودند. هر قدر روشنه‌های انسان‌ساخت از فرم دایره فاصله گرفته، شکل آن کشیده‌تر شد، شکستگی‌ها و پیچیدگی‌های آن افزایش یافته و تراکم زادآوری پلت و شیردار نیز افزایش یافت. روشنه‌های انسان‌ساخت با سطح متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع)، بیش‌ترین مقدار غنا، تنوع و تراکم زادآوری را نسبت به دیگر کلاس‌های مساحت روشنه نشان داد؛ بنابراین، می‌توان این مساحت روشنه را مساحت بهینه برای تیپ غالب توده در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تنوع گونه‌ای، تراکم گونه‌ای، روشنه پوشش تاجی، زادآوری درختی، شاخص شکل روشنه

مقدمه

امروزه در بسیاری از نقاط جهان با تغییر اهداف جنگل‌شناسی، رویکرد مدیران جنگل از تمرکز بر حداکثر تولید به سمت اهداف بر پایه حفظ ساختار و کارکرد جنگل تغییر کرده است (۲۹). در جنگل‌های طبیعی، ساختار و کارکرد اکوسیستم جنگل از طریق بروز آشفستگی‌های طبیعی غالب شکل گرفته و کنترل می‌شود. بنابراین توصیه شده مدیران جنگل برای دستیابی به اهدافی مثل حفاظت از تنوع و کارکردهای اکوسیستمی، دخالت‌های پرورشی و بهره‌برداری

جنگل تحت‌مدیریت خود را با الگوبرداری از اثرات آشفستگی‌های طبیعی طراحی کنند (۴۵). آشفستگی‌های طبیعی مانند طوفان، آفات، بیماری یا رقابت می‌توانند باعث ایجاد روشنه‌های طبیعی کوچک ناشی از مرگ تنها یک درخت تا روشنه‌های طبیعی بزرگ‌تر در اثر حذف چندین درخت گردند (۳۰) هم‌چنین ایجاد روشنه ممکن است حاصل اجرای شیوه‌های پرورشی جنگل و آشفستگی‌های انسان‌ساخت باشد. روشنه‌ها شاخص مناسبی از سلامت و پایداری سطح وسیعی از جنگل بوده و ارتباط قوی بین

شکل روشنه می‌تواند نشان‌دهنده جهت و معماری تاج درخت افتاده باشد (۱۱) و هم‌چون اندازه روشنه، در تعیین دسترسی به منابع خرداقلیم روشنه دارای اهمیت است. گرادسانی از مرکز روشنه به سمت لبه‌های آن را شکل می‌گیرد (۱۷ و ۱۹). روشنه‌های کشیده و باریک در سطح زمین نور کم‌تری نسبت به روشنه‌های دایره‌ای شکل با اندازه مشابه دریافت می‌کنند (۲). هم‌چنین شکل و الگوهای مختلف پیچیدگی شکل روشنه می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب و توالی جنگل (شامل جوانی، اوج و تخریب) و استقرار گیاهان باشد (۵۲)؛ بنابراین توسعه روش مناسبی برای اندازه‌گیری شکل و اندازه روشنه ضروری است.

بیش‌تر روش‌های اندازه‌گیری سطح یا اندازه روشنه را می‌توان برای برآورد شکل روشنه نیز بکار برد (۲۳). عمده روش‌هایی که برای اندازه‌گیری شکل روشنه در عرصه پیشنهاد شده‌اند بجای اندازه‌گیری شکل واقعی روشنه به تقریب شکل روشنه به یکی از الگوهای هندسی می‌پردازند. الگوهایی که برای تعیین تصویر عمودی روشنه بر سطح افقی پیشنهاد شده است شامل دمبرل و یا جامی شکل، دایره، بیضی، مستطیل و مثلث هستند؛ اما در واقع شکل روشنه‌ها در جنگل بسیار نامنظم است و معمولاً امروزه آن‌ها را به‌صورت چندضلعی نامنظم در نظر می‌گیرند (۴۴).

شکل یا پیچیدگی شکل روشنه از روش‌های متفاوتی به دست می‌آید. یکی از سنج‌های ابتدایی که برای مطالعه شکل روشنه استفاده شد، نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی برآورد شده بود که سنج ساده‌ای از تقارن یا کشیدگی شکل روشنه بوده است (۴۵). سنج‌های رایج در اندازه‌گیری شکل روشنه شامل: نسبت محیط به مساحت (۳۹ و ۲۸) و دیگری نسبت محیط روشنه به محیط دایره‌ای با مساحت مشابه می‌باشد که به عنوان پیچیدگی یا فشردگی روشنه خوانده می‌شود (۴ و ۲). پیچیدگی شکل

اکولوژی جنگل و روشنه‌ها وجود دارد (۵۲). به‌علاوه در بسیاری از جنگل‌های جهان، روشنه‌ها نقش قابل‌توجهی در زادآوری جنگل ایفا می‌کنند و شرایط مناسب برای رویش زادآوری در کف جنگل فراهم می‌آورند (۲۵). در واقع شکل‌گیری روشنه، توزیع منابع و خرداقلیم و در نتیجه رقابت نوری و غذایی و آشیان‌های اکولوژیک را تغییر می‌دهد (۵، ۲۱، ۴۱ و ۱۴). افزایش میزان نور ورودی و عناصر غذایی باعث تقویت رویش گیاهان علفی شده و ساختار و ترکیب گیاهان علفی و بوته‌ای را -که در رقابت با زادآوری درختان هستند- سازماندهی می‌کند (۳۷، ۲۱ و ۱۴). از طرف دیگر، خرداقلیم‌های درون روشنه می‌توانند موجب افزایش نرخ جوانه‌زنی بذرگونه‌های درختی شوند. هم‌چنین ممکن است شرایط برای استقرار و رویش زادآوری گونه‌هایی فراهم شود که در شرایط عادی از چرخه جنگل حذف می‌شوند (۳۳ و ۱۳).

مطالعات گذشته نشان دادند که پس از شکل‌گیری روشنه عوامل محیطی بسیاری مانند شرایط نوری، دما و رطوبت هوا، دما و رطوبت خاک تغییر می‌یابد (۴۸). از بین همه این عوامل، شرایط نوری نقش کلیدی در رویش گیاهان درون روشنه ایفا می‌کند (۴۸). توزیع نور در روشنه‌های جنگل‌های معتدله به نوبه خود، تحت‌تأثیر ویژگی‌های فیزیکی روشنه مثل اندازه، شکل و جهت روشنه قرار دارد (۷، ۸ و ۱۵).

اندازه روشنه نشان‌دهنده وسعت آشفستگی، نوع، تعداد و اندازه درختان افتاده می‌باشد که به‌طور مستقیم بر خرداقلیم روشنه و مساحت آسیب‌دیده زیرآشکوب اثرگذار است (۱۱). اندازه روشنه شاخص مناسبی از میزان نفوذ نور و دسترسی به سایر منابع درون روشنه محسوب می‌شود (۲۳ و ۱۲). در نتیجه اندازه روشنه شاخصی است که اثرات قابل‌پیش‌بینی بر احیا و استقرار زادآوری و تنوع گیاهی داشته و در مدیریت جنگل‌های معتدله متناسب با رویکردهای اکوسیستمی می‌تواند بکار گرفته شود.

ویژگی‌های هندسی روشنه مانند مساحت و محیط را اندازه‌گیری و شاخص‌های شکل روشنه مانند گردی و پیچیدگی روشنه را محاسبه کرده و (۲) تفاوت تراکم و تنوع زادآوری گونه‌های درختی در سطوح مختلف هریک از انواع روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت را تشریح نموده و نهایتاً (۳) ارتباط بین شاخص‌های شکل روشنه را با تنوع و تراکم زادآوری گونه‌های درختی درون روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت در بخشی از طرح جنگلداری شصت‌کلاته گرگان بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

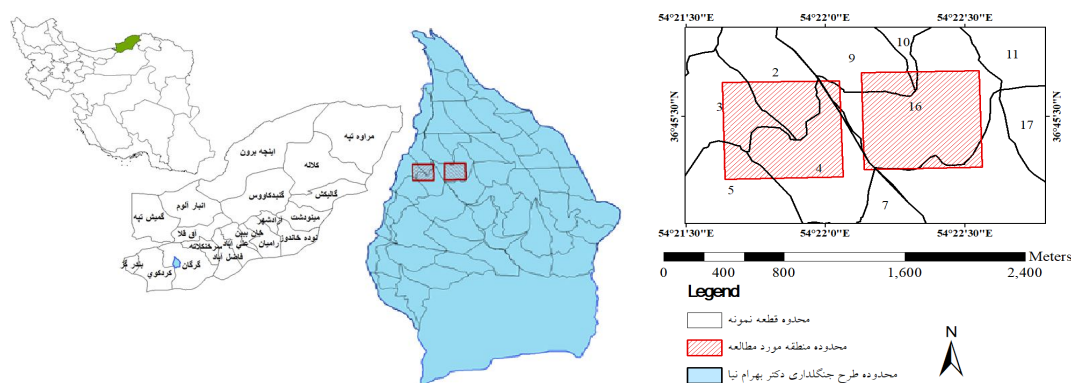
منطقه مورد مطالعه: این بررسی در دو بخش (تحت مدیریت و مدیریت نشده) از سری‌های یک و دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) انجام شد که در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان واقع است (۱) (شکل ۱). قطعه تحت مدیریت در پارسل ۱۶ از سری یک و قطعه مدیریت نشده در امتداد آن در بخش‌هایی از پارسل‌های ۲، ۳ و ۴ سری دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) قرار گرفته‌اند. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی متوسط سالیانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است (۱). متوسط دمای سالیانه ۱۵/۴ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی سالیانه ۶۳/۲، میانگین وزنی متوسط تبخیر و تعرق سالیانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌متر و فصل رویش حدود ۱۰ ماه می‌باشد (۱). ارتفاع از سطح دریا در قطعه تحت مدیریت بین ۳۹۲ تا ۵۶۸ متر و در قطعه مدیریت نشده بین ۳۸۴ تا ۵۲۰ متر است. (۱). ساختار جنگل در این قطعات دارای دو تا سه آشکوب و تنوع گونه‌ای نسبتاً زیاد می‌باشد. گونه درختی غالب در این قطعات ممرز (*Carpinus betulus* L.) و انجیلی (*Parrotia persica*) همراه با سایر گونه‌های پهن‌برگ مثل راش، افراپلت و افرا شیردار می‌باشد (۱).

روشنه به همراه اندازه روشنه رژیم‌های نوری درون روشنه را هدایت می‌کنند و در نتیجه در زمینه کنترل زادآوری دارای اهمیت است (۲۶).

اگرچه برخی نویسندگان بیان کردند که خصوصیات مختلف روشنه‌ها (مثل شکل، جهت و سن) ممکن است بر تفاوت‌های گونه‌ای از نظر استقرار، بقا و رویش گونه‌ها مؤثر باشند؛ اما بیشتر مطالعات در جنگل‌های آمیخته تفاوت ساختاری و رقابت زادآوری درختان بین روشنه‌های با سطوح مختلف را با شرایط زیر تاج‌پوشش درختان مقایسه کردند (۳۷). چراکه تغییرات شدید در شکل روشنه باعث دشواری تعیین ارتباط بین خصوصیات شکل روشنه و اکوسیستم جنگل می‌گردد (۵۲)؛ بنابراین تاکنون در مطالعات روشنه و زادآوری گونه‌های درختی جنگل‌های معتدله چندان به آن پرداخته نشده است (۲۸ و ۴۷).

عمده پژوهش‌های انجام شده در ایران از جمله متاجی و همکاران (۲۰۰۸)، پوربابایی و همکاران (۲۰۱۳) و دهدشتی‌فر و همکاران (۲۰۱۴) به تشریح چگونگی توزیع زادآوری درختی بر اساس مشخصه سطح روشنه پرداخته‌اند (۳۲، ۴۰ و ۹) و تنها پژوهشگران معدودی مثل سفیدی و همکاران (۲۰۱۱)، معیری و همکاران (۲۰۱۷) و محمدی و همکاران (۲۰۱۹) از شاخص نسبت محیط به مساحت در بررسی زادآوری گونه‌های درختی استفاده کردند (۳۴، ۳۵ و ۴۵).

از طرف دیگر، آگاهی از تأثیر شیوه‌های مدیریت جنگل بر زادآوری به منظور حفظ و توسعه پایدار جنگل بسیار ضروری می‌باشد (۹). شناخت و مقایسه وضعیت روشنه‌هایی که بدون هیچ‌گونه دخالت مدیریتی در عرصه جنگل‌های طبیعی ایجاد می‌شوند با روشنه‌های حاصل اجرای روش‌های بهره‌برداری جنگل می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در جهت تعیین روش‌ها یا شیوه‌های جنگل‌شناسی بهتر، هدایت کند. از این رو بررسی حاضر در صدد است: (۱)



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه‌شده در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا.

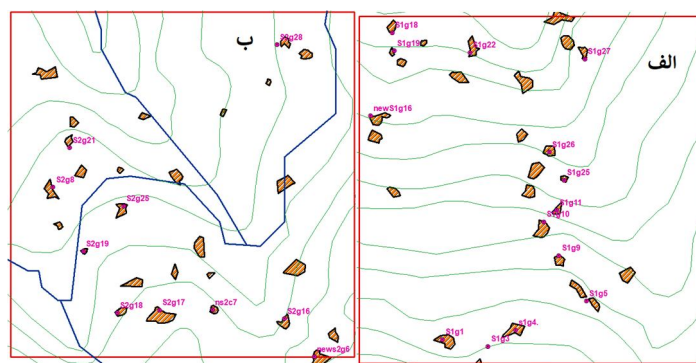
Figure 1. Location of the study area in Dr. Bahramnia forestry plan.

در هر روشنه ابتدا تعداد عوامل روشنه ساز ثبت گردید و نوع عامل مؤثر در شکل‌گیری روشنه از جمله وجود خشکه افتاده، خشکه سرپا، شکستگی در تاج درختان و یا وجود کنده حاصل از بهره‌برداری در عرصه شناسایی گردید و بر این اساس آن‌ها به دو دسته روشنه‌های انسان‌ساخت و طبیعی تقسیم شدند. بدین ترتیب ۱۴ روشنه در دسته انسان‌ساخت و ۴۱ روشنه در دسته طبیعی (۲۸ روشنه از قطعه مدیریت‌نشده و ۱۴ روشنه از قطعه تحت مدیریت) قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری محیط روشنه، ابتدا محدوده روشنه با استفاده از تصویر عمودی لبه تاج درختان مشخص شد. این محدوده به صورت یک چندضلعی نامنظم بوده که فاصله و آزیموت محل اتصال اضلاع تا مرکز روشنه با استفاده از ژالون، متر لیزری و قطب‌نما اندازه‌گیری شدند (۶، ۴۴ و ۲۰). سرانجام با ترسیم چندضلعی در نرم‌افزار Arc GIS، محیط و مساحت تک‌تک روشنه‌ها محاسبه گردید. (شکل ۲). روشنه‌ها بر اساس مساحت در سه کلاس شامل کوچک (۱۵۰ - ۲۰ مترمربع)، متوسط (۳۰۰ - ۱۵۰۰ مترمربع) و بزرگ (بیش از ۳۰۰ مترمربع) دسته‌بندی شدند (۹ و ۱۱).

روش تحقیق: در این بررسی، منظور از روشنه، بازشدگی تاج پوشش جنگل با مساحتی معادل ۲۰ مترمربع یا بیش‌تر می‌باشد که پس از مرگ درختان یا تخریب طبیعی و یا قطع و بهره‌برداری درخت به وجود می‌آید (۴۹). اگرچه هنگامی که رویش ارتفاعی زادآوری درون روشنه به نصف ارتفاع تاج درختان اطراف رسید، آن روشنه به عنوان روشنه پرشده در نظر گرفته شده و از مراحل بررسی حذف شد (۱۷، ۲۷ و ۳۷).

بعد از تشکیل واحدهای نسبتاً همگن و با توجه به مشخصه‌های شیب، جهت، ارتفاع و تیپ غالب توده، دو قطعه ۱۶ هکتاری در عرصه‌های جنگلی تحت مدیریت و مدیریت‌نشده انتخاب شد. مختصات جغرافیایی گوشه‌ها و مرکز قطعه‌های انتخاب‌شده با استفاده از دستگاه GPS دستی ثبت و در عرصه جنگل علامت‌گذاری شدند. در محدوده قطعه‌های ۱۶ هکتاری، ابتدا همه روشنه‌ها بر روی اورتوفوتو پهبادی شناسایی و از میان آنها تعداد ۵۶ روشنه در کلاس‌های سه‌گانه مساحت با رعایت توزیع مناسب در سطح قطعه‌نمونه انتخاب گردید. سپس موقعیت مکانی مرکز هر روشنه با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی DGPS به‌طور دقیق ثبت گردید.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و محدوده روشن‌ها در قطعه نمونه (الف) مدیریت شده و (ب) مدیریت نشده.

Figure 2. Geographical location and area of canopy gaps in the (a) managed and (b) unmanaged sample plots.

۱۳ روشن به علت وجود کشیدگی در امتداد قطر بزرگ روشن، خردپلات‌ها بافاصله ۵ متری از خردپلات قبلی تکرار شد. تنوع و یکنواختی گونه‌ای زادآوری روشن‌ها با شاخص‌های غنای گونه‌ای، شاخص تنوع شانون-وینر H (رابطه ۲)، غالبیت سیمپسون S (رابطه ۳) و شاخص یکنواختی پیلو E (رابطه ۴) به‌ازای هر روشن در محیط نرم‌افزار PAST محاسبه گردید (۳۸). در روابط زیر n_i تعداد پایه‌های گونه i ام و n تعداد کل پایه‌ها را نشان می‌دهد (۳۸).

$$H = - \sum \left(\frac{n_i}{n} \right) \ln \left(\frac{n_i}{n} \right) \quad (2)$$

$$S = 1 - \sum_i \left(\frac{n_i}{n} \right)^2 \quad (3)$$

$$E = H / \ln S \quad (4)$$

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار آماری IBM SPSS²⁰ بررسی شد.

داده‌های مربوط به شاخص‌های شکل روشن (شاخص‌های گردی و پیچیدگی شکل) و شاخص‌های تنوع گونه‌ای زادآوری درختی (شاخص‌های غنای گونه‌ای، شانون، سیمپسون و یکنواختی) که توزیع

برای بررسی شکل روشن، ابتدا نسبت محیط به مساحت (P/A) و سپس شاخص گردی (C) با فرمول $4\pi A/P^2$ محاسبه شد (۳۶). در شاخص گردی، عدد یک (۱) نشان‌دهنده شکل دایره کامل است و هرچه این مقدار به سمت صفر نزدیک می‌شود نشان‌دهنده افزایش کشیدگی روشن است (۳۶). شاخص بعدی، شاخص پیچیدگی شکل روشن^۱ (معادله ۱) (۲۶) بوده که سنجی مهمی برای اندازه‌گیری روشن‌های جنگل محسوب می‌شود (۲۴) و نشان‌دهنده نسبت محیط روشن به محیط روشن دایره‌ای شکل با همان مساحت است. مقدار یک، نمایانگر شکل دایره کامل است و با افزایش مقدار این شاخص پیچیدگی شکل روشن بیشتر می‌شود. برای مثال، مقادیر $1/40$ و $2/60$ نشان می‌دهند که شکل روشن به ترتیب ۴۰ و ۱۶۰ درصد پیچیدگی دارد (۲۶). فرمول شاخص پیچیدگی روشن به صورت زیر است:

$$GSCI = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}} \quad (1)$$

در مرکز هر روشن، یک خردپلات ۲۵ مترمربعی (۵ متر × ۵ متر) مشخص و تعداد نهال‌های موجود در خردپلات به تفکیک گونه شمارش شد. هم‌چنین در

1- Gap shape complexity index (GSCI)

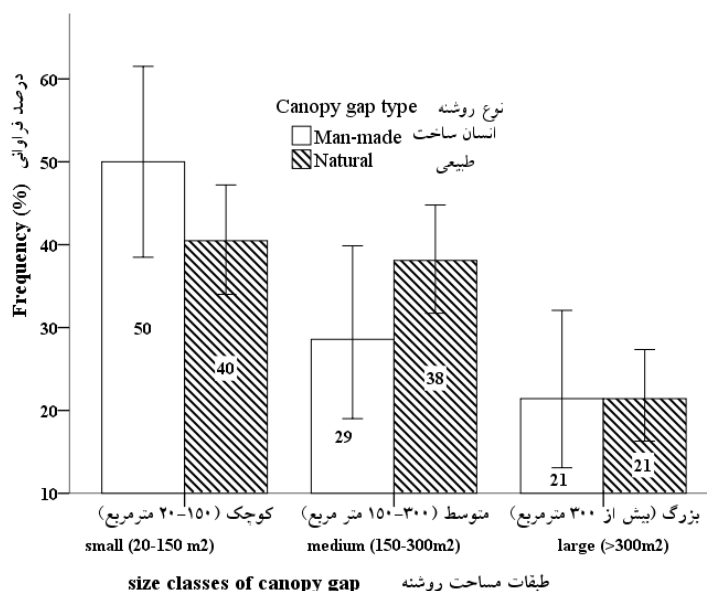
همبستگی پیرسون و اسپیرمن به ترتیب برای داده‌های نرمال و غیر نرمال تعیین شد (۳).

نتایج و بحث

مساحت روشنه مهم‌ترین مشخصه‌ای است که میزان فضای رویشی مناسب برای گونه‌های پیشگام و یا گونه‌های ثانویه (رقابت گونه‌های درختی) را تعیین می‌کند (۱۶). مساحت حدود ۸۰ درصد از روشنه‌ها، اعم از انسان‌ساخت و طبیعی، کم‌تر از ۳۰۰ مترمربع بود. با این تفاوت تعداد روشنه‌های کلاس کوچک انسان‌ساخت (۵۰ درصد) بیش‌تر از روشنه‌های کوچک طبیعی (۴۰ درصد) و بالعکس تعداد روشنه‌های متوسط انسان‌ساخت (۲۹ درصد) کم‌تر از روشنه‌های متوسط طبیعی (۳۸ درصد) است (شکل ۳).

نرمال داشتند با استفاده از آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) تجزیه و تحلیل شد (۳).

آزمون‌های Schaffer, Tukey' b و Waller Duncan با در نظر گرفتن نامساوی بودن تعداد تکرارها در طبقات مساحت روشنه، برای مقایسه میانگین‌ها مورد استفاده قرار گرفت. میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای زادآوری درختی بین روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت با استفاده از آزمون تی مستقل مقایسه شد (۳). تراکم زادآوری همه گونه‌ها، نسبت محیط به مساحت روشنه و فراوانی کل زادآوری توزیع نرمال نداشتند، بنابراین میانگین‌ها با استفاده از آزمون من‌ویتنی (بین روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت) و آزمون کروسکال-والیس (بین طبقات مساحت روشنه) مقایسه شد (۳). میزان همبستگی بین شاخص‌های تنوع و تراکم گونه‌ای با شاخص‌های شکل روشنه با استفاده از ضرایب



شکل ۳- توزیع روشنه‌ها در طبقات مساحت روشنه بر اساس نوع روشنه.

Figure 3. Distribution of canopy gaps in area classes based on gap type.

انسان‌ساخت افزایش داده است. دلیل این تفاوت را می‌توان به این موضوع ارتباط داد که در روشنه‌های انسان‌ساخت، نشانه‌گذاری و عملیات قطع به صورت کنترل‌شده اجرا می‌شود به طوری که آسیب کم‌تر به درختان مجاور وارد می‌شود، اما در طبیعت در اثر افتادن یک درخت، عموماً درختان مجاور صدمه می‌بینند و باعث گسترده‌تری شدیدی‌تر روشنه می‌شود.

بزرگ‌ترین محیط در روشنه‌های طبیعی ۱۱۵/۲۵ متر و در روشنه‌های انسان‌ساخت ۸۱/۸۴ متر مشاهده شد (جدول ۱). بزرگ‌ترین مساحت در روشنه‌های طبیعی ۵۴۹/۶۹ مترمربع و در روشنه‌های انسان‌ساخت ۳۴۳/۹۹ مترمربع مشاهده شد (جدول ۱). در واقع روشنه‌های با ابعاد نسبتاً بزرگ‌تر در طبقات سطح بزرگ (بیش‌تر از ۳۰۰ مترمربع)، میانگین مساحت و محیط روشنه‌های طبیعی را نسبت به روشنه‌های

جدول ۱- مشخصات آماری مساحت و محیط روشنه‌های انسان‌ساخت و طبیعی.

Table 1. Statistical attributes of the area and perimeter in man-made and natural gaps.

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	میانگین Mean	تعداد Number	نوع روشنه Gap type	خصوصیات Features
549.69	41.61	206.35	42	طبیعی Natural	مساحت (مترمربع) Area (m ²)
343.99	40.19	176.15	14	انسان‌ساخت Man-made	
115.25	26.00	60.05	42	طبیعی Natural	محیط (متر) Perimeter (m)
81.84	27.63	53.27	14	انسان‌ساخت Man-made	

درختان بزرگ (که قادر به تولید روشنه‌های بزرگ هستند) می‌توانند روشنه‌های مثلث شکل بجای گذارند (۱۱)، زیرا آن‌ها در هنگام افتادن بیش‌تر تاج درختان مجاور را همراه با خود می‌کشند تا تنه درختان و در نتیجه عرض قسمت بالای روشنه بیش‌تر از پای روشنه (نوک مثلث) می‌شود (۱۱). در روشنه‌های کوچک که به سبب افتادن درختانی با تاج کوچک و یا ایجاد خشکه‌دار سرپا ایجاد می‌شوند، عرض قسمت پایه تقریباً همسان است که منجر به ایجاد روشنه با شکل‌های نسبتاً متقارن می‌شود (۱۱). در نتیجه، میزان شاخص گردی C در روشنه‌های کوچک به عدد ۱ نزدیک‌تر است و با افزایش مساحت روشنه، شکل آن از دایره و فرم متقارن فاصله می‌گیرد و کشیده‌تر می‌شود که بیانگر نتایج به‌دست‌آمده در بررسی جاری می‌باشد (جدول ۲). کرن و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند که در نتیجه افزایش مساحت روشنه، شکل آن نامنظم‌تر می‌شود (۲۴). در مقابل، در

شاخص‌های شکل روشنه: شکل روشنه در خرداقلیم روشنه تأثیر می‌گذارد و می‌تواند جهت و معماری درخت افتاده را نشان دهد (۷ و ۶). شکل روشنه‌های انسان‌ساخت ($C=0.728$) در مقایسه با روشنه‌های طبیعی ($C=0.666$) به شکل دایره ($C=1$) شبیه‌تر بوده است. بر اساس بررسی انجام‌شده در مورد تعداد عوامل مؤثر در ایجاد روشنه (که در پژوهش جاری به آن پرداخته نشده است)، یکی از دلایل این شباهت اکتفا به برداشت تک‌درخت در روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری (۹۲/۹٪ روشنه‌ها) و در مقابل تأثیر دو یا چند عامل در ایجاد روشنه‌های طبیعی (۲۳/۸٪ روشنه‌ها) می‌باشد.

روشنه‌های طبیعی بزرگ، به‌طور معنی‌داری از دیگر کلاس‌های مساحت روشنه کشیده‌تر بوده‌اند و میانگین شاخص گردی آن‌ها کوچک‌تر بود ($C=0.572$) (۰/۴۸ sig). دلیما و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خود تشریح کردند که روشنه‌های حاصل از افتادن

و با تاج متقارن و کوچک ایجاد می‌شوند. در مقابل روشنه‌های بزرگ طبیعی حاصل افتادن درختان سازنده آشکوب غالب با تاج بزرگ و از نظر هندسی نامتقارن (در رقابت با سایر درختان) هستند. همچنین ممکن است حاصل توسعه تدریجی سطح روشنه در اثر افتادن چندین تک‌درخت در طول زمان ایجاد شوند (۲۶) که سبب افزایش پیچیدگی شکل آن‌ها نسبت به روشنه‌های کوچک‌تر می‌گردد.

بررسی پیچیدگی شکل روشنه‌های انسان‌ساخت نشان داد میانگین شاخص پیچیدگی شکل (GSCI=۱/۱۸۴) از میانگین این شاخص در روشنه‌های طبیعی (GSCI=۱/۲۴۵) کم‌تر بود، اما اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). وهاماس و همکاران (۲۰۱۲) مقدار شاخص GSCI را در جنگل نیمه‌طبیعی و انسان‌ساخت به ترتیب ۱/۸۲ و ۱/۸۵ به‌دست آوردند که تقریباً مساوی بودند (۵۰). هو و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که مقدار این شاخص در روشنه‌های انسان‌ساخت از روشنه‌های طبیعی کوچک‌تر و در نتیجه شکل آن‌ها منظم‌تر است (۲۳).

روشنه‌های انسان‌ساخت افزایش سطح اختلاف معناداری در کشیدگی شکل روشنه ایجاد نکرد (جدول ۲). علت این امر را می‌توان در نقش انسان در شکل‌گیری این روشنه‌ها دانست. در عملیات بهره‌برداری، قطع درختان معمولاً به صورت کنترل‌شده و در جهتی صورت می‌گیرد که کم‌ترین آسیب به تاج درختان مجاور وارد شود. همچنین معمولاً درختان بزرگ مادری در عملیات بهره‌برداری حفظ شده و درختان با تاج کوچک‌تر قطع می‌شوند که نسبتاً تاج متقارن‌تری دارند و در نتیجه روشنه حاصل نیز کشیدگی شدیدی نشان نمی‌دهد.

با افزایش مساحت در روشنه‌های طبیعی، پیچیدگی شکل روشنه GSCI به‌طور معناداری افزایش یافت (sig=۰/۰۳۹) (جدول ۲). مقدار این شاخص نشان می‌دهد که پیچیدگی روشنه‌های بزرگ (GSCI=۱/۳۴۱) ۳۴ درصد بیشتر از فرم دایره (GSCI=۱) و ۲/۶ برابر بیشتر از فرم مربع (GSCI=۱/۱۳) است. روشنه‌های کوچک طبیعی دارای پیچیدگی کم‌تری نسبت به روشنه‌های بزرگ‌تر هستند چرا که عمدتاً در اثر افتادن تک‌درخت

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های شکل روشنه در طبقات مساحت و به تفکیک نوع روشنه.

Table 2. Mean comparison of gap's shape indices among area classes based on gap type.

معنی‌داری بین کلاس‌ها Sig.	طبقات مساحت روشنه Gap area classes			نوع روشنه Gap type	شاخص‌های شکل روشنه Gap shape indices
	بزرگ Large	متوسط Medium	کوچک Small		
0.866 ^{ns}	0.713 ^a	0.7100 ^a	0.744 ^a	انسان‌ساخت Man-made	گردی Circularity
0.048*	0.572 ^b	0.692 ^a	0.692 ^a	طبیعی Natural	
0.866 ^{ns}	1.190 ^a	1.205 ^a	1.170 ^a	انسان‌ساخت Man-made	پیچیدگی شکل GSCI
0.039*	1.341 ^a	1.224 ^{ab}	1.211 ^b	طبیعی Natural	
0.030*	0.233 ^b	0.310 ^{ab}	0.470 ^a	انسان‌ساخت Man-made	نسبت محیط به مساحت P/A
0.000**	0.240 ^b	0.298 ^b	0.477 ^a	طبیعی Natural	

*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۰/۵ و ۰/۱، ^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار بین مساحت‌های مختلف.

حروف انگلیسی متفاوت در سطر، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها را نشان می‌دهد.

*، ** significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively, ^{ns} not significant at the 0.05 level.
Different letters indicate significant differences between groups.

هندسی آن از شکل دایره فاصله می‌گیرد. سفیدی و همکاران (۲۰۱۱) نسبت محیط به مساحت روشنه‌های توده راش واقع در جنگل خیرودکنار را بین ۰/۰۷ تا ۰/۸ و میانگین آن را ۰/۲۹ گزارش کردند (۴۵). معیری و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای که در سری دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا انجام شد، بیان کردند روشنه‌هایی که در اثر بادافتادگی درختان به‌وجود آمدند دارای شکل نامنظم بودند (۳۴). آن‌ها میانگین نسبت محیط به مساحت ۰/۲۶ را گزارش کردند که با شکل دایره تفاوت معنی‌داری داشت (۳۴). محمدی و همکاران (۲۰۱۹) در مقایسه نسبت محیط به مساحت روشنه‌های طبیعی و انسان‌ساخت تفاوت معناداری مشاهده نکردند و مقدار آن را در روشنه‌های طبیعی از ۰/۱۵ تا ۰/۵۹ و در روشنه‌های انسان‌ساخت از ۰/۱۸ تا ۰/۶۱ گزارش کردند که نشان‌دهنده بی‌نظمی شکل روشنه‌ها بود (۳۵).

با در نظر گرفتن نتایج بالا می‌توان استنباط کرد که روشنه‌های طبیعی با افزایش سطح کشیده‌تر شده، پیچیدگی شکل آن‌ها افزایش می‌یابد (از فرم دایره فاصله می‌گیرند) و نسبت محیط به مساحت شکل یا به عبارت دیگر دندانه دندانه‌ای بودن شکل روشنه کاهش می‌یابد (شکل ۴).

با افزایش مساحت روشنه‌های انسان‌ساخت، مقدار شاخص پیچیدگی ثابت ماند و اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($\text{sig}=0/866$) (جدول ۲). مقدار این شاخص در طبقات مختلف مساحت بین ۱/۱۷۰ تا ۱/۲۰۵ بود (جدول ۲). در واقع، میانگین پیچیدگی شکل روشنه‌های انسان‌ساخت در تمامی طبقات مساحت، بیش‌تر به فرم مربع شبیه بود و پیچیدگی آن‌ها در مقایسه با مربع تنها ۱/۵ برابر بیش‌تر بود ($\text{GSCI} = 1/13$; $20:13$). کوکولاس و بلک برن (۲۰۰۴) گزارش دادند که میانگین شکل روشنه‌های بررسی‌شده در مقایسه با مربع ۴ برابر ($48:13$) پیچیده‌تر بود (۲۶).

نسبت محیط به مساحت (P/A) شاخص بوم‌شناختی مناسبی برای ارزیابی بی‌نظمی شکل روشنه است (۳۵ و ۵۰). در بررسی جاری با افزایش مساحت روشنه، نسبت محیط به مساحت هم در روشنه‌های انسان‌ساخت و هم طبیعی به‌طور معناداری کاهش یافت (به ترتیب $P=0/030$, $P=0/000$) (جدول ۲). میانگین نسبت محیط به مساحت در روشنه‌های بزرگ (۰/۲۴) به نصف مقدار مشاهده‌شده در روشنه‌های کوچک (۰/۴۷) کاهش یافت (جدول ۲)؛ زیرا به نسبت افزایش مساحت روشنه، شکل



شکل ۴- الگوی تغییرات شکل روشنه‌های طبیعی بر اثر افزایش سطح روشنه.

Figure 4. The pattern of changes in the shape of natural canopy gaps with increasing area.

مترمربع) به‌طور معناداری بیش‌تر از سایر کلاسه‌های سطح روشنه بوده است (جدول ۳) (شکل ۵). این نتایج می‌تواند در طراحی الگوی مدیریت مساحت

تراکم گونه‌ای زادآوری: در روشنه‌های انسان‌ساخت متوسط، میانگین تراکم زادآوری گونه انجیلی (۱۶۰ پایه در ۱۰۰ مترمربع) و افرا پلت (۱۳۶ پایه در ۱۰۰

روشنه در نظر گرفته شود، زیرا تنظیم مقدار نور که درختان می‌باشد که با مساحت روشنه ارتباط مستقیم یکی از عواملی مهم و مؤثر در فرآیند زادآوری دارد.

جدول ۳- آزمون کروسکال والیس، مقایسه تراکم زادآوری گونه‌ها بین کلاس‌های مساحت به تفکیک نوع روشنه.

Table 3. Kruskal-Wallis test for comparison of regeneration density among area classes based on gap type.

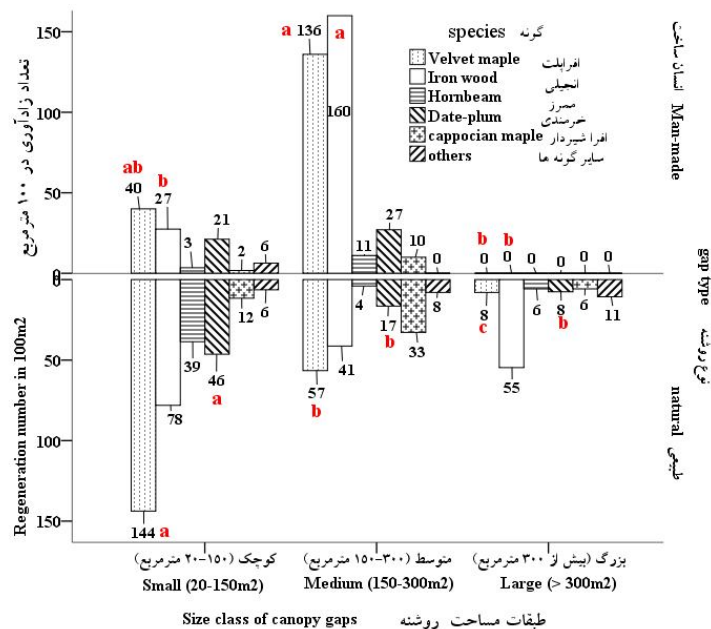
Gap type نوع روشنه						نوع گونه Species
Natural طبیعی			Man-made انسان‌ساخت			
میزان معنی‌داری Sig.	درجه آزادی df.	مقدار مربع کای Chi-square	میزان معنی‌داری Sig.	درجه آزادی df.	مقدار مربع کای Chi-square	
0.010*	2	9.250	0.033*	2	6.847	افراپلت Velvet maple
0.121 ^{ns}	2	4.217	0.105 ^{ns}	2	4.501	ممرز Hornbeam
0.217 ^{ns}	2	3.055	0.010*	2	9.218	انجیلی Ironwood
0.538 ^{ns}	2	1.240	0.296 ^{ns}	2	2.438	افراشیردار Cappadocian maple
0.041*	2	6.382	0.438 ^{ns}	2	1.649	خرمندی Date-plum

* معنی‌داری در سطح ۵٪ و ^{ns} نبود اختلاف معنی‌دار.

* significant at the 0.05 level, ^{ns} not significant at the 0.05 level.

پلت (۱۴۴ پایه در ۱۰۰ مترمربع) و انجیلی (۷۸ پایه در ۱۰۰ مترمربع) به‌طور معناداری از تراکم سایر گونه‌ها بیش‌تر بوده است (شکل ۵).

در این بررسی مشخص شد در روشنه‌های کوچک طبیعی بین تراکم گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P=۰/۰۰۰) و تراکم زادآوری افرا



شکل ۵- تراکم زادآوری گونه‌های درختی در هر کلاس مساحت به تفکیک نوع روشنه.

Figure 5. Regeneration density of tree species among area classes in two types of gaps.

شاخص‌های تنوع گونه‌ای زادآوری: در روشنه‌های طبیعی کوچک (مساحت ۱۵۰-۲۰ مترمربع) غنای گونه‌ای، فراوانی کل زادآوری و تنوع گونه‌ای زادآوری به طور معنی‌داری بیش‌تر از روشنه‌های بزرگ (بزرگ‌تر از ۳۰۰ مترمربع) بود و میانگین آن‌ها با افزایش مساحت روشنه، به‌طور معناداری کاهش یافت (جدول ۴).

هم‌چنین با افزایش سطح روشنه‌های طبیعی، تراکم زادآوری افرا پلت و خرمندی به‌طور معناداری کاهش یافت (جدول ۳). نتایج چندین بررسی که در جنگل‌های شمال ایران انجام شدند از جمله واعظ موسوی و همکاران (۱۳۹۴)، محمدی و همکاران (۲۰۱۹)، دهدشتی‌فر و همکاران (۱۳۹۳)، ثاقب طالبی (۱۹۹۶)، شیخ‌الاسلامی و همکاران (۲۰۱۱) و صائب و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که با افزایش مساحت روشنه تراکم و فراوانی زادآوری کاهش می‌یابد (۵۱، ۳۵، ۹، ۴۳، ۴۷ و ۴۲).

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای زادآوری درختان در هر کلاس مساحت و نوع روشنه.

Table 4. Mean comparison of tree's regeneration diversity indices among area classes and type of gaps.

معنی‌داری بین کلاس‌ها Sig.	کلاس مساحت روشنه Gap area classes			نوع روشنه Gap type	شاخص‌های تنوع گونه‌ای Diversity indices
	بزرگ Large	متوسط Medium	کوچک Small		
0.048*	1.000 ^b	4.750 ^a	3.000 ^{ab}	انسان‌ساخت Man-made	غنای گونه‌ای Richness
0.042*	3.111 ^b	4.065 ^{ab}	5.250 ^a	طبیعی Natural	
	0.031*	0.486 ^{ns}	0.024*	معنی‌داری بین دو نوع روشنه t	
0.007**	1.000 ^b	87.000 ^a	26.000 ^b	انسان‌ساخت Man-made	فراوانی کل نهال‌ها Individuals
0.048* ^K	24.222 ^b	40.625 ^{ab}	84.125 ^a	طبیعی Natural	
	0.327 ^{ns}	0.029*	0.140 ^{ns}	معنی‌داری بین دو نوع روشنه t	
0.035*	0.000 ^b	1.037 ^a	0.570 ^{ab}	انسان‌ساخت Man-made	تنوع شانون Shannon
0.048*	0.571 ^b	0.817 ^{ab}	1.079 ^a	طبیعی Natural	
	0.029*	0.395 ^{ns}	0.019*	معنی‌داری بین دو نوع روشنه t	
0.023*	0.000 ^b	0.582 ^a	0.313 ^{ab}	انسان‌ساخت Man-made	سیمپسون Simpson
0.028*	0.291 ^b	0.490 ^{ab}	0.563 ^a	طبیعی Natural	
	0.027*	0.437 ^{ns}	0.082 ^{ns}	معنی‌داری بین دو نوع روشنه t	
0.033*	1.000 ^a	0.610 ^b	0.811 ^{ab}	انسان‌ساخت Man-made	یکنواختی شانون Shannon Evenness
0.184 ^{ns}	0.809 ^a	0.716 ^a	0.647 ^a	طبیعی Natural	
	0.034*	0.311 ^{ns}	0.099 ^{ns}	معنی‌داری بین دو نوع روشنه t	

*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۰.۰۵ و ۰.۰۱، ^{ns} نبود اختلاف معنی‌دار، K معنی‌داری با آزمون کروسکال والیس آزمایش شده است.

حروف انگلیسی متفاوت در سطر، اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های مساحت را نشان می‌دهد.

*, ** significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively, ^{ns} not significant at the 0.05 level, K: testing with Kruskal-Wallis test. Different letters indicate significant differences in area classes.

روشنه‌های طبیعی مقدار شاخص P/A کاهش یافت و در نتیجه تراکم زادآوری افرا پلت به‌طور معناداری کاهش یافت ($P=0/01$) (جدول ۳). هم‌چنین تراکم زادآوری ممرز از ۳۸/۵۹ به ۴ و ۵/۷۸ پایه در صدمترمربع کاهش یافت (شکل ۵). هرچه شکل روشنه نامنظم‌تر باشد، اثرات حاشیه بر محیط درونی روشنه شدیدتر و محسوس‌تر می‌شود، زیرا رقابت برای دسترسی به نور، آب و عناصر غذایی افزایش می‌یابد (۴۰). اگرچه محمدی و همکاران (۲۰۱۹) بین فراوانی زادآوری گونه‌های مختلف و نسبت محیط به مساحت در انواع روشنه‌های توده راش ارتباط معنی‌داری نیافتند (۳۵).

در روشنه‌های انسان‌ساخت تراکم زادآوری افرا و شیردار همبستگی معکوس با شاخص گردی (به‌ترتیب $r = -0/560$ و $r = -0/546$) و همبستگی مستقیم (به‌ترتیب $r = 0/628$ ، $r = 0/588$) با پیچیدگی شکل نشان دادند (جدول ۶). پس هرچه روشنه کشیده‌تر و شکل آن پیچیده‌تر باشد، تراکم این دو گونه بیش‌تر خواهد بود. روشنه‌های انسان‌ساخت با سطح متوسط (۱۵۰-۳۰۰ مترمربع) حداکثر پیچیدگی شکل و حداقل مقدار شاخص دایرگی (C) میانگین را نشان دادند (جدول ۲) و متعاقباً حداکثر تراکم زادآوری این دو گونه در روشنه‌های متوسط مشاهده شد (شکل ۵). یکنواختی در روشنه‌های انسان‌ساخت، با نسبت محیط به مساحت همبستگی معکوس دارد ($r = -0/553$) (جدول ۶). در روشنه‌های انسان‌ساخت بزرگ، میانگین یکنواختی از مساحت‌های دیگر روشنه به‌طور معناداری بیش‌تر بود و مقدار آن (۱) نشان‌دهنده حضور یک گونه غالب است. به‌علاوه روشنه‌های بزرگ در معرض نور مستقیم خورشید قرار دارند که موجب استقرار گونه‌های علفی و گونه‌های بوته‌ای مهاجم (به‌عنوان عناصر رقابتی نظیر تمشک) می‌شود و خشکی خاک را افزایش می‌دهد. در نتیجه زادآوری کاهش می‌یابد (۴۰). نتایج نشان داد که در روشنه‌های

فراوانی کل زادآوری در روشنه‌های انسان‌ساخت با مساحت متوسط (۱۵۰-۳۰۰ مترمربع) به‌طور معنی‌داری از سایر کلاسه‌های روشنه بیش‌تر بوده است ($P=0/007$) (جدول ۴). مشابه این نتیجه در بررسی کرن و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شد (۲۴). در روشنه‌های متوسط، لایه‌های لاشبرگ کف جنگل با سرعت مناسب تجزیه می‌شوند و عناصر غذایی به‌آسانی در اختیار زادآوری قرار می‌گیرد و نور نیز باکیفیت بهتر به زیرآشکوب انتقال می‌یابد (۹).

شاخص‌های غنا، تنوع گونه‌ای، غلظت و یکنواختی در روشنه‌های انسان‌ساخت با مساحت متوسط (۱۵۰-۳۰۰ مترمربع) از روشنه‌های بزرگ (مساحت بزرگ‌تر از ۳۰۰ مترمربع) بیش‌تر بوده و بین آن‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴). در روشنه‌های بزرگ در صورتی که تاج‌پوشش با شدت زیاد باز شود، تبخیر افزایش می‌یابد. این پدیده میزان رطوبت را تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد و سبب ایجاد تنش خشکی در بذر و نهال درختان و کاهش میزان بقا و جوانه‌زنی می‌گردد (۱۳) و در نهایت تراکم زادآوری کاهش می‌یابد (۹). در واقع تفاوت تنوع گونه‌ای بین روشنه‌های متوسط و بزرگ به سبب کاهش تعداد گونه‌های غالبی است که قابلیت سازگاری با شرایط روشنه‌های بزرگ را دارند (۲۴).

یکنواختی زادآوری در روشنه‌های انسان‌ساخت بزرگ با روشنه‌های طبیعی بزرگ اختلاف معنی‌دار داشت ($t=0/034$). در مقابل غنا و تنوع گونه‌ای در روشنه‌های طبیعی کوچک و بزرگ از میانگین این شاخص‌ها در روشنه‌های انسان‌ساخت به‌طور معناداری بیش‌تر بود (جدول ۴).

همبستگی شاخص‌های شکل روشنه با تراکم و تنوع زادآوری: در روشنه‌های طبیعی، تراکم زادآوری گونه‌های افراپلت و ممرز، با شاخص نسبت محیط به مساحت (P/A) همبستگی مثبت داشت (به‌ترتیب $r=0/480$ و $r=0/356$) (جدول ۵). با افزایش مساحت

انسان‌ساخت بزرگ، نسبت محیط به مساحت روشن شده کاهش یافته که باعث افزایش یکنواختی زادآوری شده است. بر اساس مشاهدات، بیش‌تر روشن‌های بزرگ انسان‌ساخت، هجوم گسترده گونه‌های مهاجم و نورپسند مانند تمشک مانع زادآوری گونه‌های درختی شده است و از این‌روی، در روشن‌های بزرگ انسان‌ساخت فضای رویشی زادآوری گونه‌های درختی محدود شده و در نتیجه زادآوری درختی مشاهده نشد (شکل ۵).

جدول ۵- همبستگی شاخص‌های تنوع زادآوری با شاخص‌های هندسی روشن‌های طبیعی.

Table 5. Correlation of regeneration diversity indices with geometric indices of natural gaps.

نسبت محیط به مساحت P/A		محیط Perimeter		مساحت Area		شاخص Index	ضریب همبستگی Correlation coefficient
p	r	p	r	p	r		
-	0.305 ^{ns}	0.043	-0.317*	0.049	-0.310*	غنای گونه‌ای Richness	پیرسون Pearson
0.001	0.480**	0.003	-0.446**	0.002	-0.259**	فراوانی کل Individuals	اسپیرمن Spearman
-	0.275 ^{ns}	-	-0.299 ^{ns}	-	-0.285 ^{ns}	تنوع شانون Shannon	پیرسون Pearson
-	0.246 ^{ns}	0.018	-0.366*	0.037	-0.327*	سیمپسون Simpson	پیرسون Pearson
-	-0.177 ^{ns}	-	0.229 ^{ns}	-	0.223 ^{ns}	یکنواختی شانون Shannon evenness	پیرسون Pearson
0.001	0.480**	0.003	-0.446**	0.001	-0.484**	تراکم زادآوری افرا پلت Velvet maple regeneration density	اسپیرمن Spearman
0.022	0.356*	-	-0.288 ^{ns}	0.027	-0.340*	تراکم زادآوری ممرز Hornbeam regeneration density	اسپیرمن Spearman

r: ضریب همبستگی، P: مقدار معنی‌داری همبستگی، *، ** به ترتیب همبستگی در سطح ۰.۰۵ و ۰.۰۱، ^{ns} نبود همبستگی معنی‌دار.
r: correlation coefficient, p: significance value, ** significant correlation at the 0.05 and 0.01 level, respectively, ^{ns} not significant at the 0.05 level.

جدول ۶- همبستگی شاخص‌های تنوع زادآوری با شاخص‌های هندسی روشن‌های انسان‌ساخت.

Table 6. Correlation of regeneration diversity indices with geometric indices of Man-made gaps.

نسبت محیط به مساحت P/A		پیچیدگی شکل GSCI		گردی Circularity		شاخص Index	ضریب همبستگی Correlation coefficient
p	r	p	r	p	r		
0.030	0.578*	-	-0.427 ^{ns}	-	-0.512 ^{ns}	غنای گونه‌ای Richness	پیرسون Pearson
0.040	-0.553*	-	-0.439 ^{ns}	-	-0.497 ^{ns}	یکنواختی شانون Shannon evenness	پیرسون Pearson
-	0.388 ^{ns}	0.027	0.588*	0.043	-0.546*	تراکم زادآوری افرا پلت Velvet maple regeneration density	پیرسون Pearson
-	0.098 ^{ns}	0.016	0.628*	0.037	-0.560*	تراکم زادآوری افرا شیردار Cap maple regeneration density	پیرسون Pearson

r: ضریب همبستگی، P: مقدار معنی‌داری همبستگی، *، ** به ترتیب همبستگی در سطح ۰.۰۵ و ۰.۰۱، ^{ns} نبود همبستگی معنی‌دار.
r: correlation coefficient, p: significance value, ** significant correlation at the 0.05 and 0.01 level, respectively, ^{ns} not significant at the 0.05 level.

نتیجه گیری

واکنش گونه‌های درختی به مساحت و شکل روشنه بر الگوی زادآوری آن‌ها اثر دارد و این موضوع اهمیت روشنه‌ها در هدایت و تنظیم ترکیب جوامع گیاهی را آشکارتر می‌سازد. روشنه‌های انسان‌ساخت، نحوه اجرای شیوه نشانه‌گذاری و سیاست کلی بهره‌برداری از جنگل را با توجه به الگوی کلی ساختار طبیعی در یک توده حفاظت‌شده نشان می‌دهند. از آن‌جاکه بیش‌تر روشنه‌های انسان‌ساخت در طبقه مساحت کوچک بودند، می‌توان نتیجه گرفت که نشانه‌گذاری حداقل مساحت روشنه را برای زادآوری گونه‌های درختی موجود در توده ایجاد کرده است تا پس از رشد اولیه نهال‌ها و اجرای عملیات روشن‌کردن، زادآوری گونه‌های سایه‌پسند حفظ و تقویت می‌شود. شکل روشنه‌های انسان‌ساخت به فرم دایره نزدیک‌تر است و نیز در مقایسه با روشنه‌های طبیعی پیچیدگی کم‌تری دارد. در واقع، روشنه‌های

انسان‌ساخت در مقایسه با روشنه‌های طبیعی، منظم‌تر و گردتر هستند. در روشنه‌های طبیعی، افزایش سطح باعث افزایش معنی‌دار کشیدگی و پیچیدگی شکل روشنه می‌شود. هر قدر شکل روشنه‌های انسان‌ساخت از فرم دایره فاصله بگیرد و کشیده‌تر شود و شکستگی‌ها و پیچیدگی‌های آن افزایش یابد، تراکم زادآوری پلت و شیردار بیش‌تر می‌شود.

در روشنه‌های انسان‌ساخت با سطح متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع)، مقدار غنا، تنوع و تراکم زادآوری بیش‌تر از دیگر طبقات مساحت روشنه است، بنابراین، می‌توان این مساحت روشنه را مساحت مطلوب در نظر گرفت. ایجاد روشنه‌هایی با مساحت بزرگ‌تر باعث افزایش نور و توسعه رویش گیاهان علفی می‌شود و ساختار و ترکیب گیاهان علفی و بوته‌ها را (که رقیب نهال درختان هستند) تغییر می‌دهد.

منابع

1. Anonymous. 2007. Forest management plan. Dr. Bahramnia forest, Watershed 85. Gorgan Univ. of Agricultural sciences and Natural Resources, 81p. (In Persian)
2. Bagaram, M.B., Giuliarelli, D., Chirici, G., Giannetti, F., and Barbati, A. 2018. UAV remote sensing for biodiversity monitoring: are forest canopy gaps good covariates? Remote Sensing. 10: 9. 1397, 28p.
3. Bihamta, M.R., and Zare-Chahouki, M.A. 2008. Principles of statistics for the natural resources science. Tehran University Press, 300p. (In Persian)
4. Bonnet, S., Gaulton, R., Lehaire, F., and Lejeune, P. 2015. Canopy gap mapping from airborne laser scanning: An assessment of the positional and geometrical accuracy. Remote Sensing. 7: 9. 11267-11294.
5. Brokaw, N.V. 1985. Gap phase regeneration in a tropical forest. Ecology. 66: 3. 682-687.
6. Brokaw, N.V., and Scheiner, S.M. 1989. Species composition in gaps and structure of a tropical forest. Ecology. 70: 3. 538-541.
7. Brown, N. 1993. The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland rain forest. J. of Tropical Ecology. 9: 2. 153-168.
8. Clark, D.B., and Clark, D.A. 1991. The impact of physical damage on canopy tree regeneration in tropical rain forest. J. of Ecology. 79: 2. 447-457.
9. Dehdashtifar, M., Jalili, S.Gh.A., Esmailzadeh, O., and Kahyani, S. 2014. Influence of canopy gaps size and dead trees on natural regeneration in the Experimental Forest Station of Tarbiat Modares University. Gorgan J. of Wood & Forest Science and Technology. 21: 2. 149-168. (In Persian)

10. De Lima, R.A.F. 2005. Gap size measurement: the proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management*. 214: 1-3. 413-419.
11. De Lima, R.A.F., Prado, P.I., Martini, A.M.Z., Fonseca, L.J., Gandolfi, S., and Rodrigues, R.R. 2013. Improving methods in gap ecology: revisiting size and shape distributions using a model selection approach. *Vegetation Science*. 24: 3. 484-495.
12. Denslow, J.S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18: 1. 431-451.
13. Devagiri, G.M., Khaple, A.K., Mohan, S., Venkateshamurthy, P., Tomar, S., Arunkumar, A.N., and Joshi, G. 2016. Species diversity, regeneration and dominance as influenced by canopy gaps and their characteristics in tropical evergreen forests of Western Ghats, India. *J. of Forestry Research*. 27: 4. 799-810.
14. Diaci, J., Adamic, T., and Rozman, A. 2012. Gap recruitment and partitioning in an old-growth beech forest of the Dinaric Mountains: Influences of light regime, herb competition and browsing. *Forest Ecology and Management*. 285: 20-28.
15. Eysenrode, D.S.V., Bogaert, J., Van Hecke, P., and Impens, I. 1998. Influence of tree-fall orientation on canopy gap shape in an Ecuadorian rain forest. *J. of Tropical Ecology*. 14: 6. 865-869.
16. Feldmann, E., Dröbner, L., Hauck, M., Kucbel, S., Pichler, V., and Leuschner, C. 2018. Canopy gap dynamics and tree understory release in a virgin beech forest, Slovakian Carpathians. *J. Forest Ecology and Management*. 415: 38-46.
17. Gagnon, J.L., Jokela, E.J., Moser, W.K., and Huber, D.A. 2004. Characteristics of gaps and natural regeneration in mature longleaf pine flat woods ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 187: 2-3. 373-380.
18. Galhidy, L., Mihok, B., Hagy, A., Rajkai, K., and Standovar, T. 2006. Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understory vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology*. 183: 1. 133-145.
19. Gray, A.N., and Spies, T.A. 1997. Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology*. 78: 8. 2458-2473.
20. Green, P.T. 1996. Canopy gaps in rain forest on Christmas Island, Indian Ocean: size distribution and methods of measurement. *J. of Tropical Ecology*. 12: 3. 427-434.
21. Holeksa, J. 2003. Relationship between field-layer vegetation and canopy openings in a Carpathian subalpine spruce forest. *Plant Ecology*. 168: 1. 57-67.
22. Howe, H.F. 1990. Habitat implications of gap geometry in tropical forests. *Oikos*. pp. 141-144.
23. Hu, L., Gong, Z., Li, J., and Zhu, J. 2009. Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. *Trees*. 23: 5. 1101-1108.
24. Kern, C.C., Montgomery, R.A., Reich, P.B., and Strong, T.F. 2014. Harvest-created canopy gaps increase species and functional trait diversity of the forest ground-layer community. *Forest Science*. 60: 2. 335-344.
25. Khodaverdi, S., Amiri, M., Kartoolinejad, D., and Mohammadi, J. 2019. Canopy gaps characteristics of pure and mixed stands in the Hyrcanian forests of north Iran. *Annals of Silvicultural Research*. 43: 2. 62-70.
26. Koukoulas, S., and Blackburn, G.A. 2005. Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broad-leaved deciduous woodland. *Journal of Vegetation Science*. 16: 5. 587-596.
27. Kucbel, S., Jaloviar, P., Saniga, M., Vencurik, J., and Klimaš, V. 2010. Canopy gaps in an old-growth fir-beech forest remnant of Western Carpathians. *European J. of Forest Research*. 129: 3. 249-259.
28. Lertzman, K.P., and Krebs, C.J. 1991. Gap-phase structure of a subalpine old-growth forest. *Canadian J. of Forest Research*. 21: 12. 1730-1741.

29. Lindenmayer, D.B., and Franklin, J.F. 2002. Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach. Island press.
30. Lingua, E., Garbarino, M., Mondino, E.B., and Motta, R. 2011. Natural disturbance dynamics in an old-growth forest: from tree to landscape. *Procedia Environmental Sciences*. 7: 365-370.
31. Marvie-Mohadjer, M.R. 2011. *Silviculture*. 3rd ed. Tehran University Press, 418p. (In Persian)
32. Mataji, A., Kafaki, S.B., Safae, H., and Kiadaliri, H. 2008. Spatial pattern of regeneration gaps in managed and unmanaged stands in natural beech (*Fagus orientalis*) forests. *Iranian J. of Forestry Research*. 16: 149-157. (In Persian)
33. Mikac, S., Roženberger, D., Anić, I., and Diaci, J. 2007. Regeneration in canopy gaps of the dinaric beech-fir virgin forests. *Glasnik za Sumske Pokuse*. 42: 29-41.
34. Moayeri, M.H., Hajivand, A., Shataee Jouibary, Sh., and Rahbari Sisakht, S. 2017. Spatial pattern and characteristic of tree-fall gaps to approach ecological forestry in Northern Iran. *Environmental Resources Research*. 5: 1. 51-61.
35. Mohammadi, L., Mohadjer, M.R., Etemad, V., Sefidi, K., and Nasiri, N. 2020. Natural Regeneration within Natural and Man-Made Canopy Gaps in Caspian Natural Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) Forest, Northern Iran. *J. of Sustainable Forestry*. 39: 1. 61-75.
36. Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M., and Mercurio, R. 2014. A review of the roles of forest canopy gaps. *J. of Forestry Research*. 25: 4. 725-736.
37. Orman, O., Dobrowolska, D., and Szwagryk, J. 2018. Gap regeneration patterns in Carpathian old-growth mixed beech forests—Interactive effects of spruce bark beetle canopy disturbance and deer herbivory. *Forest Ecology and Management*. 430: 451-459.
38. PAST: Paleontological Statistics Reference manual, Version 4.3. Natural History Museum, University of Oslo, Norway. Accessed on 1999-2020 (online). Available: <http://folk.uio.no/ohammer/past/past4manual.pdf>.
39. Petritan, A.M., Nuske, R.S., Petritan, I.C., and Tudose, N.C. 2013. Gap disturbance patterns in an old-growth sessile oak (*Quercus petraea* L.)–European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania. *Forest ecology and management*. 308: 67-75.
40. Pourbabaei, H., Haddadi-Moghaddam, H.R., Begyom-Faghir, M., and Abedi, T. 2013. The influence of gap size on plant species diversity and composition in beech (*Fagus orientalis*) forests, Ramsar, Mazandaran Province, North of Iran. *Biodiversitas J. of Biological Diversity*. 14: 2. 89-94.
41. Ritter, E., Dalsgaard, L., and Einhorn, K.S. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*. 206: 1-3. 15-33.
42. Saeb, K., Noori Shirazi, M., Kialashaki, A., and Jafari Hajati, R. 2012. Effect of light on quantitative and qualitative characteristics of hornbeam seedlings (Case study: Korkrood forest, Mazandaran). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 19: 4. 478-490. (In Persian)
43. Sagheb-Talebi, K. 1996. Quantitative and qualitative characteristics of beech sapling (*Fagus sylvatica* L.) growing under various site conditions with emphasis on light. *Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift fuer Forstwesen-Supplement au J. forestier suisse* (Switzerland).
44. Schliemann, S.A., and Bockheim, J.G. 2011. Methods for studying tree fall gaps: a review. *Forest ecology and management*. 261: 7. 1143-1151.
45. Sefidi, K., Mohadjer, M.R.M., Mosandl, R., and Copenheaver, C.A. 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, northern Iran. *Forest Ecology and Management*. 262: 6. 1094-1099.

46. Seidel, D., Ammer, C., and Puettmann, K. 2015. Describing forest canopy gaps efficiently, accurately, and objectively: new prospects through the use of terrestrial laser scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 213: 23-32.
47. Sheykholeslami, A., Mataji, M.A., and Kialashaki, A. 2011. Comparison of regeneration in the natural gaps and single selection method gaps (case study: Jamand district-Noshahr). *Natural Ecosystems of Iran*. 2: 1. 21-30. (In Persian)
48. Tang, F., Quan, W., Li, C., Huang, X., Wu, X., Yang, Q., Pan, Y., Xu, T., Qian, C., and Gu, Y. 2019. Effects of small gaps on the relationship among soil properties, topography, and plant species in subtropical *Rhododendron* secondary forest, Southwest China. *International J. of environmental research and public health*. 16: 11. 1919.
49. Van Dam, O. PhD thesis. Forest filled with gaps. Effects of gap size on water and nutrient cycling in tropical rain forest. A study in Guyana. Utrecht the Netherlands: Utrecht Universit. pp. 100-117.
50. Vehmas, M., Packalén, P., Maltamo, M., and Eerikäinen, K. 2011. Using airborne laser scanning data for detecting canopy gaps and their understory type in mature boreal forest. *Annals of Forest Science*. 68: 4. 825-835.
51. Waez-Mousavi, S.M., Habashi, H., Sagheb Talebi, Kh., and Rahmani, R. 2016. Effect of Single-Tree Selection System on Regeneration in a Mixed Beech Forest (Case Study: Dr. Bahramnia Forestry Management Plan). *Gorgan J. of Wood and Forest Science and Technology*. 22: 4. 125-146. (In Persian)
52. Wu, C.D., Cheng, C.C., Chang, C.C., Lin, C., Chang, K.C., and Chuang, Y.C., 2016. Gap shape classification using landscape indices and multivariate statistics. *Scientific reports*. 6: 1. 1-10.



Geometric indices and regeneration species diversity in natural and man-made canopy gaps

Sh. Amini¹, M.H. Moayeri^{*2}, Sh. Shataee Jouibary³ and R. Rahmani²

¹Ph.D. Student, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

²Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

³Professor, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 10.19.2020; Accepted: 01.05.2021

Abstract

Background and Objectives: Canopy gaps are the most important environments for many species regenerations. Studying regeneration in natural and man-made canopy gaps provides practical information to enhance the quantity and quality of tree species regeneration. This study aimed to investigate the relation between geometrical characteristics of canopy gaps with diversity and density of tree species regeneration in natural and man-made canopy gaps.

Materials and Methods: Two 16 ha plots were selected with relatively similar site conditions in part of district one and two of Dr. Bahramnia forestry plan, Shastkalateh, Gorgan. The positions of 56 canopy gaps were recorded using a differential positioning system (DGPS). The main indices of the gap's geometry including area (A), perimeter (P), and perimeter to area ratio (P/A) were measured and then the circular index (C) and the Gap shape complexity Index (GSCI) were calculated. Also, the frequency and diversity of tree species regeneration were recorded within 25 m² plots centered in each gap. Gaps were classified into three small (20-150 m²), medium (150-300 m²), and large (more than 300 m²) area classes, and indices of species diversity were calculated for each gap using PAST software. Statistical analysis was performed to determine the significance of differences and relationships between geometric indices and diversity of regenerative species.

Results: The average area of natural and man-made canopy gaps were 206 and 176 m², respectively. The mean circular index of man-made canopy gaps (C = 0.72) was higher than natural ones (C = 0.66); although, their difference was not significant. By increasing the gap area, the shape of the natural gaps shifted away from the circular, elongated, and the complexity of their shape increased. The shape complexity index of man-made gaps did not show a significant difference with increasing the area. Perimeter to area ratio of large gaps was smaller than other classes in both types of gaps. Regeneration density of velvet maple and ironwood species were significantly higher in medium man-made gaps than other species, other classes, and natural mediums gaps. As a result, richness, total individual regeneration, diversity, dominance, and evenness in the medium gaps (300-150 m²) showed the maximum value and was significantly different from the large gaps (greater than 300 m²). In natural gaps, with increasing area regeneration density of velvet maple and date-plum species, species richness, total individual regeneration, and species diversity of regeneration decreased significantly. A positive correlation was observed between the gap's P/A with the regeneration density of

*Corresponding author: moayeri38@yahoo.com

maple and hornbeam species in natural gaps ($r = 0.480$ and $r = 0.356$, respectively). The richness index had a negative correlation with the perimeter ($r = -0.337$) and with area of natural gaps ($r = -0.103$). In man-made gaps, the evenness index showed an inverse correlation and the species richness showed a direct correlation with P / A ($r = -0.553$ and $r = 0.578$, respectively).

Conclusion: Man-made gaps were more regular and rounder than natural gaps. As the shape of the man-made gaps shifts away from the circle form it was elongated and increased in fractures and complexities, and also the density of maple's regeneration increased. Medium-sized man-made gaps (150-300 m²) showed the highest value of richness, diversity, and regeneration density compared to other categories of gap area. Therefore, this range of gap size could be considered as the optimum range.

Keywords: Canopy gaps, Gap's shape Index, Species density, Species diversity, Tree regeneration