



تحلیل الگو و ساختار مکانی روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از روش‌های آمار مکانی (مطالعه موردی: چمستان - نور)

کرمانی ذبیحی^۱، اسداله متاجی^{۲*}، رضا اخوان^۳ و ساسان بابایی کفاکی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۳ دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۴ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵)

چکیده

توزیع مکانی و سطح روشنه‌ها پیامدهای مهمی برای رژیم نوری زیراشکوب و تجدید حیات درختان دارد که خود بر تنوع گونه‌های گیاهی تأثیرگذار است. پژوهش پیش رو با هدف بررسی الگو و ساختار مکانی روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری و مقایسه آن با وضعیت روشنه‌های طبیعی در جنگل‌های راش آمیخته در طرح جنگلداری سوردار- انارستان واقع در چمستان نور در استان مازندران اجرا شد. با آماربرداری صددرصد از همه روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری، مختصات مکانی آنها ثبت و سطح روشنه‌ها به روش مثلثاتی اندازه‌گیری شد. به منظور تجزیه و تحلیل‌های مکانی از آماره او-رینگ، تحلیل واریوگرام و تابع همبستگی نشان‌دار (MCF) استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی روشنه‌ها مربوط به سطح کمتر از ۲ آر بود. الگوی کلی پراکنش روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری تقریباً مشابه و حداکثر تا فاصله ۳۵ متری کپه‌ای و سپس تصادفی بود و فقط روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری تا فاصله ۱۶۸ متری ساختار مکانی را نشان دادند. ساختار مکانی روشنه‌های طبیعی نظم خاصی نداشت و بیانگر این نکته بود که روشنه‌ها از نظر سطح مستقل از هم هستند و در اقدامات مدیریتی با هدف پرورش توده روشنه‌ها (آشفته‌گی‌ها در مقیاس کوچک) با سطوح مختلف باید ایجاد می‌شد که متأسفانه این مهم در مدیریت توده‌ها در منطقه پژوهش کمتر مدنظر قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آماره او-رینگ، تابع همبستگی نشان‌دار، جنگل هیرکانی، روشنه، واریوگرام.

مقدمه

دیرزیستی و ایجاد خشک‌دار، حمله آفات و بیماری‌ها، بارش برف و یخبندان، ریشه‌کن شدن یا بادافتادگی درختان) یا مصنوعی (در اثر بهره‌برداری و قطع درختان) به وجود می‌آیند. روشنه‌ها افزون بر اینکه اصلی‌ترین جایگاه برای تجدید حیات جنگل هستند، اثر مهمی در چرخه مواد غذایی، تنوع زیستی و ساختار جنگل دارند (Muscolo et al., 2014). توزیع مکانی روشنه‌ها دارای پیامدهای مهمی برای

جنگل‌ها در معرض آشفته‌گی‌هایی هستند که الگوهای تحولی و مسیره‌های توالی اکوسیستم‌های جنگلی را شکل می‌دهند. میزان و اندازه آشفته‌گی‌ها از سطح توده تا مقیاس کاملاً محلی و ایجاد روشنه متفاوت است (Oliver & Larson, 1996). روشنه‌ها در پی حذف یک یا چند درخت از تاج پوشش جنگل در اثر عوامل طبیعی (مانند رسیدن درخت به سن

است. به طوری که از پژوهش‌های داخلی در زمینه بررسی و تعیین الگوی مکانی روشن‌های تاج پوشش که فقط در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور انجام گرفته تنها می‌توان به تحقیق (Mataji et al., 2008) در رانشستان‌های جنگل خیرود نوشهر که به الگوهای یکنواخت و تصادفی رسیدند؛ (Parhizkar et al., 2020) در رانشستان‌های شفارود گیلان و یک جنگل راش آمیخته در استان گلستان که به الگوهای تصادفی و کپه‌ای رسیدند و در نهایت (Mataji et al., 2020) در جنگل‌های آمیخته راش گلندرود نور که به الگوهای کپه‌ای و تصادفی رسیدند اشاره کرد.

از پژوهش‌های جدید (پس از سال ۲۰۰۰ میلادی) در خارج از کشور در زمینه بررسی و تعیین الگوهای پراکنش مکانی روشن‌ها در جنگل نیز تنها می‌توان به سه مورد اشاره کرد: تحقیق (Nuske et al., 2009) که با استفاده از تابع همبستگی جفتی (g) در جنگل‌های آلمان به الگوی تصادفی رسیدند؛ تحقیق (Garbarino et al., 2012) که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و آماره او-رینگ^۱ در توده‌های آمیخته راش-نراد-نوئل در جنگل‌های بوسنی و هرزگوین به الگوهای تصادفی و خوشه‌ای روشن‌ها دست یافتند؛ و تحقیق (Petritan et al., 2013) که با استفاده از تابع همبستگی جفتی در یک جنگل آمیخته بلوط-راش در کشور رومانی به الگوی تصادفی رسیدند.

شایان ذکر است که تفاوت روش‌های آمار مکانی^۲ با آمار کلاسیک در این است که در این روش‌ها از داده‌های دارای مختصات مکانی استفاده می‌شود. روش‌های زمین‌آمار^۳ و روش‌های تحلیل الگوی نقطه‌ای^۴ از این دست روش‌ها هستند. مزیت استفاده از روش‌های آمار مکانی این است که با استفاده از ابزارهای ویژه خود مانند واریوگرام یا شاخص‌های تعیین نوع الگوی مکانی، توانایی کشف و شناسایی

رژیم نوری زیراشکوب و تجدید حیات درختان است. اندازه روشن‌ها و توزیع مکانی آن بر تجدید حیات جنگل و در نتیجه بر تنوع گونه‌های درختی تأثیرگذار است (Lawton & Putz, 1988). تأثیر مکانی مهم دیگر روشن‌ها، ایجاد موزاییکی از انواع ساختار در سطح چشم‌انداز جنگلی است (Frelich & Lorimer, 1991). بر اساس نظریه اولیه پیشنهادی (Watt, 1947) در صورت سپری شدن زمان کافی، تاج پوشش هر توده جنگلی بسته در اثر آشفتگی‌های طبیعی باز خواهد شد، زیرا به طور معمول طول عمر درختان بیشتر از میانگین دوره بازگشت آشفتگی‌های طبیعی است. فضاهای ایجادشده در مرحله تجدید حیات، شرایط مناسبی را از نظر نور، رطوبت و دما برای استقرار نونهال‌ها فراهم می‌کند.

پویایی توده‌ها در جنگل‌های معتدله که در آنها آشفتگی‌ها در مقیاس بزرگ وجود ندارد یا بسیار نادر است، با تشکیل روشن‌های کوچک تا متوسط در تاج پوشش جنگل در پی مرگومیر درختان حاضر به پیش می‌رود که اغلب از آن با نام پویایی روشن‌ها یاد می‌شود (Spies et al., 1990). روشن‌ها تأثیر زیادی بر پویایی جنگل دارند، زیرا میزان نور رسیده به زیراشکوب جنگل را افزایش می‌دهند و زادآوری‌ها را به سمت تاج پوشش جنگل هدایت می‌کنند (Rich et al., 2010).

تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد پویایی تشکیل روشن‌ها و تأثیر آنها بر ایجاد گروه‌های زادآوری و کیفیت و ارتفاع نهال‌های پدیدآمده و نیز نوع و فراوانی درختان روشن‌ساز چه در داخل و چه در خارج از کشور انجام گرفته است. حتی در مورد الگوی پراکنش زادآوری‌ها در داخل روشن‌ها بررسی‌هایی صورت پذیرفته است. اما در زمینه توزیع مکانی که توصیف‌کننده مهمی برای آشفتگی‌ها در جنگل از جمله روشن‌هاست و بررسی روند تغییرات سطح روشن‌ها با استفاده از روش‌های آمار مکانی، تحقیقات چندانی انجام نگرفته و به این موضوع کمتر توجه شده

1. O- ring
2. Spatial Statistics
3. Geo-statistics
4. Point Pattern Analysis

در دی‌ماه ۱/۶ درجه‌سنتی‌گراد بوده است (Forests & Rangelands organization, 2005).

شیوه‌ اجرای پژوهش

آماربرداری در جنگل

در این پژوهش همه روشنه‌های موجود در بخش عمده‌ای از دو پارسل ۱۶ و ۱۸ در مجموع به مساحت ۷۲ هکتار با جنگل‌گردشی به‌طور کامل شناسایی و به‌صورت صددرصد آماربرداری شدند. فضای باز در تاج‌پوشش در اثر افتادن یا قطع یک یا چند پایه توسط انسان در نتیجه بهره‌برداری ایجادگرفته به‌عنوان روشنه مدنظر قرار گرفت. با توجه به تحقیقات Nakashizuka (1984)، Lima (2005) و Petritan et al. (2013) حداقل سطح روشنه در این بررسی ۱۰ مترمربع در نظر گرفته شد. در شرایطی که ارتفاع پایه‌های داخل هر روشنه به نصف ارتفاع درختان حاشیه روشنه رسیده بود، روشنه بسته فرض شد (Sefidi et al., 2014) و در نهایت اندازه‌گیری صورت نگرفت. در برداشت میدانی هر روشنه، ابتدا مرکز هر روشنه مشخص و مختصات آن با استفاده از دستگاه GPS تعیین شد. سپس با قرار گرفتن در مرکز هر روشنه و با استفاده از روش مثلثاتی، با اندازه‌گیری فاصله و آزیموت نسبت به هر گوشه (رأس مثلث) روشنه (تصویر انتهایی تاج درخت حاشیه روشنه روی زمین)، سطح هر روشنه تاجی در میان تاج‌پوشش جنگل به روش مثلثاتی (شکل ۱) و با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری و محاسبه شد (Lima, 2005):

$$A_i = [p_i(p_i - a_i)(p_i - b_i)(p_i - c_i)]^{0.5} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$p_i = (a_i + b_i + c_i) / 2$$

به‌طوری‌که A : مساحت هر مثلث و a ، b و c اضلاع هر مثلث است. سپس با جمع کردن سطوح به‌دست آمده مساحت هر روشنه (A_{gap}) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$A_{gap} = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad \text{رابطه ۲}$$

با بررسی در داخل عرصه و در حین آماربرداری، روشنه‌ها از نظر منشأ پیدایش به دو دسته طبیعی (ایجادشده در اثر رسیدن درخت به سن دیرزیستی و

ساختارهایی از داده‌های دارای مختصات را دارد که آمار کلاسیک از کشف و دریافت آنها ناتوان است.

هدف این پژوهش، بررسی الگو و ساختار مکانی روشنه‌های ایجادشده در اثر بهره‌برداری در یکی از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور و مقایسه آن با وضعیت پراکنش روشنه‌های طبیعی به‌منظور ارزیابی وضعیت روشنه‌های ایجادشده در نتیجه بهره‌برداری و تحلیل وضعیت موجود با استفاده از روش‌ها و ابزارهای آمار مکانی است.

مواد و روش‌ها

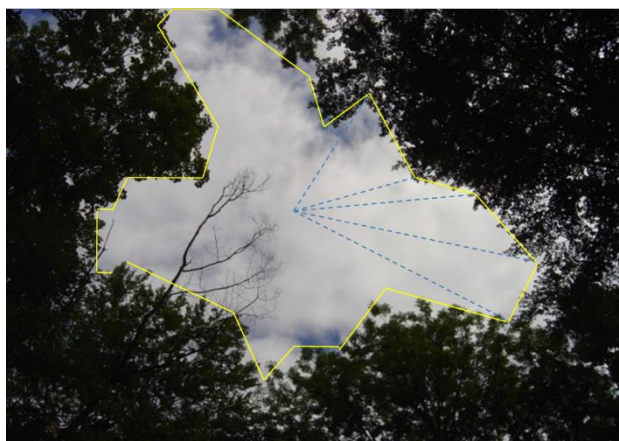
منطقه پژوهش

این پژوهش در بخشی از پارسل‌های ۱۶ (به مساحت ۴۴ هکتار) و ۱۸ (به مساحت ۵۳ هکتار) سری دو طرح جنگلداری سوردار- انارستان شهرستان چمستان نور واقع در حوضه آبخیز شماره ۴۹ جنگل‌های شمال کشور انجام گرفت. این بخش‌ها در مجاورت هم قرار گرفته‌اند و از سال ۱۳۷۶ دارای طرح جنگلداری بوده و تاکنون دو بار در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ بهره‌برداری شده‌اند. مساحت بخش‌های تحت پژوهش ۷۲ هکتار است. حداقل ارتفاع آنها از سطح دریا ۸۲۰ متر و حداکثر آن ۱۲۳۰ متر است و اغلب در دامنه شمالی قرار گرفته‌اند. این عرصه جنگل آمیخته راش^۱ محسوب می‌شود، به‌طوری‌که درختان راش به‌صورت آمیخته با ممرز^۲ و گونه‌هایی مانند پلت^۳، شیردار^۴، نمدار^۵، زبان‌گنجشک^۶، توسکای بیلاقی^۷ و انجیلی^۸ حضور دارند. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه چمستان در ده سال گذشته میانگین بارندگی سالانه ۸۵۶/۶ میلی‌متر و بیشینه و کمینه مطلق دما به‌ترتیب در اواسط مردادماه ۳۶/۵ و

1. *Fagus orientalis* Lipsky.
2. *Carpinus betulus* L.
3. *Acer velutinum* Boiss.
4. *Acer cappadocicum* Gled.
5. *Tillia begonifolia* Steven.
6. *Fraxinus excelsior* L.
7. *Alnus subcordata* C.A.May.
8. *Parrotia persica* C.A.May.

قطع و نظر کارشناس و ناظر طرح از منشأ ایجاد روشنه اطمینان حاصل شد. همچنین، به‌منظور تجزیه و تحلیل بهتر، سطح روشنه‌ها به چهار طبقه کمتر از ۲۰۰ متر مربع (کوچک)، ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر مربع (متوسط)، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مربع (بزرگ) و بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ متر مربع (خیلی بزرگ) طبقه‌بندی شدند (Mataji et al., 2020; Zabihi et al., 2021).

ایجاد خشک‌دار، ریشه‌کن شدن یا بادافتادگی درخت و مصنوعی (ایجادشده در اثر بهره‌برداری و قطع درختان و وجود کنده‌ها با پله برش) تقسیم شده و جداگانه تحلیل شدند. شایان ذکر است که با توجه به زمان آخرین دوره بهره‌برداری در بیشتر روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری آثار کنده و پله برش وجود داشت و در مواردی نیز براساس اطلاعات دفترچه



شکل ۱- تصویری از روشنه و برداشت آن به روش مثلثاتی

نقاط قرارگرفته روی حلقه‌ها با شعاع r از نقاط مرکزی در داخل قطعه تحت بررسی است (Luis et al., 2008). آماره او-رینگ تک‌متغیره با تابع K رایپلی و تابع روابط جفتی $g(r)$ ارتباط دارد که به‌صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$O_{(r)} = \lambda g_{(r)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه $O_{(r)}$ آماره تک‌متغیره او-رینگ، λ تراکم (تعداد در واحد سطح) و $g(r)$ مشتق تابع K رایپلی است. برای آزمون وجود اختلاف معنی‌دار بین الگوی تصادفی (فرض صفر) و الگوی مشاهده‌شده، نتایج حاصل از او-رینگ در سطح احتمال مشخص با تکرار شبیه‌سازی تصادفی روش مونت کارلو مقایسه می‌شود. در صورتی که مقادیر او-رینگ در داخل محدوده مونت کارلو قرار گیرند، فرض صفر در آن فاصله تأیید و در صورتی که این مقادیر خارج از محدوده مونت کارلو قرار گیرند فرض صفر رد می‌شود؛ به‌طوری که اگر نمودار او-رینگ بالاتر از حد بالای

الگوی مکانی

به‌طور کلی سه نوع الگوی مکانی اصلی در طبیعت وجود دارد: ۱- کپه‌ای یا تجمعی؛ ۲- یکنواخت یا منظم؛ ۳- تصادفی. به‌منظور بررسی الگوی پراکنش مکانی روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری (مصنوعی) در منطقه پژوهش از آماره او-رینگ تک‌متغیره استفاده شد. این روش در بررسی الگوی مکانی، از تابع K رایپلی و شکل خطی آن یعنی تابع L مفیدتر است. جایگزینی حلقه‌ها در او-رینگ به‌جای دوایر در تابع K ، این آماره را در کشف الگو در فواصل مختلف توانمندتر می‌کند (Illian et al., 2008). توابع K و L براساس تعداد نقاط موجود در داخل دوایر با شعاع r در اطراف نقاط مرکزی محاسبه می‌شوند و ماهیت تجمعی دارند، به‌طوری که با افزایش شعاع دایره، الگوی مکانی شامل ترکیبی از اطلاعات مکانی نقاط در مقیاس‌های کوچک و بزرگ خواهد بود. این در حالی است که اساس آماره او-رینگ، متوسط تعداد

هیچ‌گونه روند مکانی وجود ندارد که به آن اثر قطعه‌ای تام گفته می‌شود) (Cambardella et al., 1994). همه تجزیه و تحلیل‌های این بخش با استفاده از نرم‌افزار GS+ نسخه ۱۰ انجام پذیرفت.

تابع همبستگی نشان‌دار^۴ (MCF)

در این پژوهش به منظور بررسی همبستگی سطح روشن‌های تاجی در عرصه پژوهش از تابع همبستگی نشان‌دار استفاده شد. تابع همبستگی نشان‌دار یا $k_{mm}(d)$ را اولین بار Stoyan (۱۹۸۴) در آلمان معرفی کرد. در این تابع، هر نقطه مختصات داری که در مبحث تحلیل الگوی نقطه‌ای استفاده می‌شود، افزون بر دو بعد X و Y دارای بُعد سوم است که مارک یا نشان خوانده می‌شود که این بُعد سوم در این پژوهش مساحت روشن‌ها بوده است. هدف از تحلیل توابع همبستگی نشان‌دار، ارزیابی همبستگی مکانی مارک‌ها یا نشان‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله است. در این تابع تشابه یا نبود تشابه بین یک مشخصه کمی از دو فرد که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند از طریق رابطه^۴ محاسبه می‌شود:

$$f(m_1, m_2) = m_1 \times m_2 \quad \text{رابطه ۴}$$

به‌طوری که m_1 و m_2 یک مشخصه کمی (مانند مساحت روشن) از دو روشن مجاور به فاصله d هستند. $k_{mm}(d)$ میانگین نرمال شده تابع $f(m_1, m_2)$ برای همه نشان‌ها (مثلاً مساحت روشن‌هایی) است که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند، به‌طوری که اگر $k_{mm}(d) > 1$ باشد، مساحت روشن‌ها (مارک‌ها) همبستگی مثبت نسبت به هم دارد، یعنی مشابه هم هستند، اگر $k_{mm}(d) < 1$ باشد، مساحت روشن‌ها (مارک‌ها) همبستگی منفی نسبت به هم دارد، یعنی متفاوت‌اند و در نهایت اگر $k_{mm}(d) = 1$ باشد مساحت روشن‌ها مستقل از هم و بدون همبستگی در نظر گرفته می‌شود. تفاوت معنی‌دار این همبستگی از توزیع مستقل (بدون همبستگی) به‌وسیله آزمون مونت کارلو

محدوده مونت کارلو یا پایین‌تر از حد پایین آن قرار گیرد، الگوی مشاهده شده به ترتیب کپه‌ای و یکنواخت (منظم) خواهد بود (Luis et al., 2008).

در این تحقیق ۱۹۹ بار شبیه‌سازی مونت کارلو انجام گرفت و فاصله اعمال شده برای محاسبه آماره او-رینگ تک‌متغیره ۵۰ متر در نظر گرفته شد، زیرا در فواصل بیش از ۵۰ متر تغییری در الگوی مکانی توابع تک‌متغیره ایجاد نشد. همه محاسبات مربوط به تعیین مقادیر آماره او-رینگ با استفاده از نرم افزار Programita نسخه ۲۰۱۸ انجام گرفت.

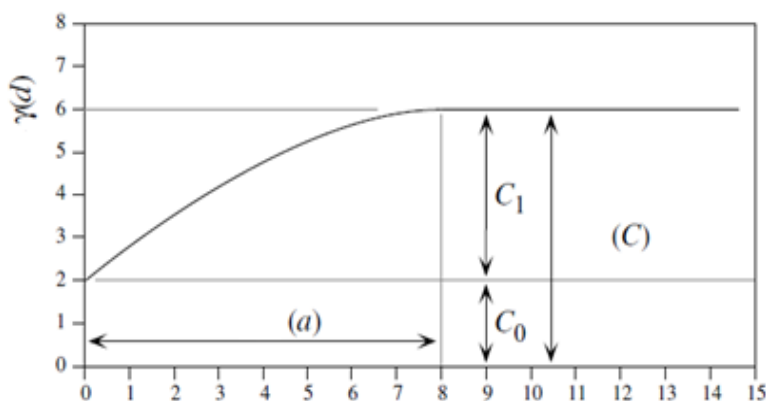
ساختار مکانی

به‌منظور بررسی و تشریح ساختار و همبستگی مکانی بین مقادیر سطح روشن‌های تاجی در عرصه پژوهش از تحلیل واریوگرام (شکل ۱) استفاده شد. در واریوگرافی برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه استفاده می‌شود: دامنه تأثیر^۱، حد آستانه یا سقف^۲ و اثر قطعه‌ای^۳. دامنه تأثیر بیشترین فاصله‌ای است که پس از آن، دیگر ساختار مکانی وجود ندارد و واریوگرام به مقدار ثابتی می‌رسد. اغلب در عمل، عرض از مبدأ واریوگرام اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود که بیانگر واریانس تصادفی و بدون ساختار است. وقتی واریوگرام به مقدار ثابت خود می‌رسد، ارتفاع واریوگرام برابر حد آستانه یا سقف واریوگرام، یعنی برابر مجموع واریانس تصادفی و ساختاردار می‌شود (شکل ۲) (Webster & Oliver, 2000). نسبت ساختار مکانی به سقف واریوگرام نشان‌دهنده درصد ساختار مکانی واریوگرام است ($SP=C_1/C$). نسبت ۷۵ درصد و بیشتر، نشان‌دهنده ساختار مکانی قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیانگر ساختار مکانی متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار مکانی ضعیف متغیر تحت بررسی است (در حالت شدید آن مدل واریوگرام به‌صورت خطی موازی محور افقی ظاهر می‌شود، یعنی

1. Range
2. Sill
3. Nugget effect

4. Mark Correlation Function

تفاوت دارند. در صورتی که نمودار MCF بین دو حد مونت کارلو قرار گیرد، مارک‌ها یا نشان‌ها همبستگی ندارند و مستقل از هم هستند (Khan et al., 2013). در این پژوهش حدود مونت کارلو با ۹۹ بار شبیه‌سازی در نرم‌افزار *Programita* نسخه ۲۰۱۸ تا فاصله ۱۰۰ متر محاسبه شد.



شکل ۲- یک واریوگرام نظری به همراه مؤلفه‌های آن

(a : دامنه تأثیر، C : سقف واریوگرام، C_0 : اثر قطعه‌ای، C_1 : ساختار مکانی، d : فاصله و γ_d : مقدار واریوگرام)

جدول ۲ فراوانی‌های مطلق و نسبی روشنه‌ها را در طبقات مختلف سطح روشنه در عرصه پژوهش نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، در میان روشنه‌های تاجی بیشترین فراوانی نسبی، چه در روشنه‌های طبیعی و چه در روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری در طبقه کمتر از ۲۰۰ متر مربع دیده می‌شود و روشنه بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ متر مربع در بین روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری وجود ندارد.

الگوی مکانی

با در دسترس بودن مختصات مرکز روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری، وضعیت پراکنش مکانی روشنه‌ها نسبت به یکدیگر در عرصه تحت بررسی به دست آمد (شکل ۳).

شکل ۴ وضعیت پراکنش مکانی روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری را براساس طبقات سطح روشنه‌ها (جدول ۲) در عرصه تحت بررسی نشان می‌دهد.

تعیین می‌شود، به طوری که اگر نمودار MCF بالاتر از حد بالایی مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها مثبت است، یعنی نشان‌ها در فواصل نزدیک به هم شباهت دارند. اگر نمودار MCF پایین‌تر از حد پایین مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها منفی است، یعنی نشان‌ها در فواصل نزدیک به هم

نتایج

پس از پایان آماربرداری صددرصد از روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در محدوده ۷۲ هکتاری تحت بررسی، در مجموع ۲۹۶ روشنه شناسایی و بررسی شد که از این تعداد منشأ ۲۱۰ روشنه طبیعی و ۸۶ روشنه مصنوعی (ناشی از بهره‌برداری) تشخیص داده شد. بنابراین در محدوده تحت بررسی به‌ازای هر هکتار حدود چهار روشنه وجود داشت که از این تعداد حدود سه روشنه طبیعی و یک روشنه ناشی از بهره‌برداری در جنگل است. جدول ۱ مشخصه‌های آماری مساحت روشنه‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد.

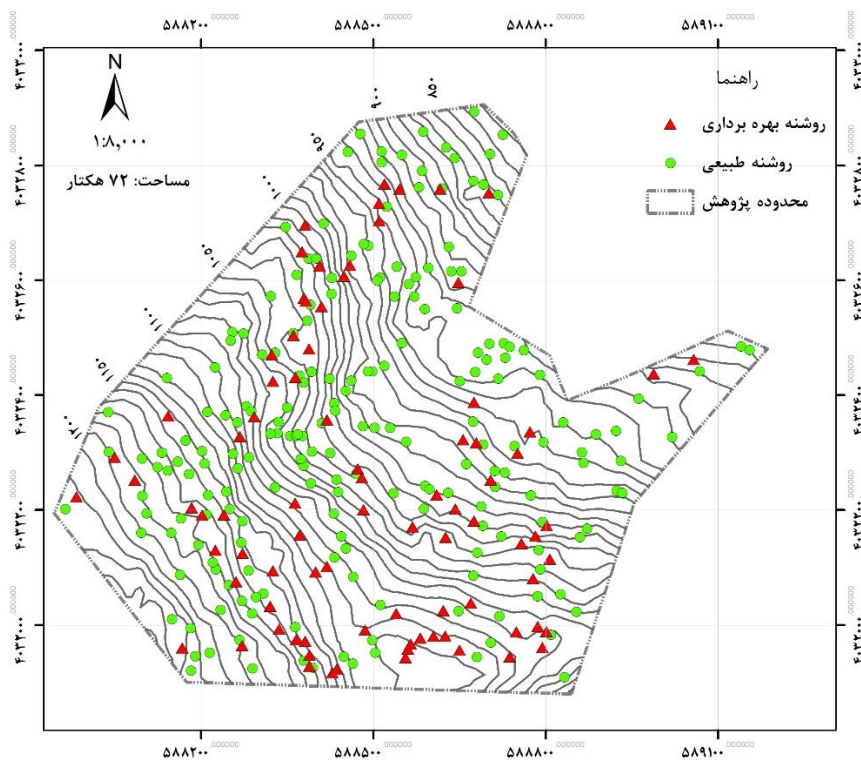
براساس جدول ۱ در عرصه ۷۲ هکتاری تحت بررسی، مجموع سطح روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری ۸/۱ هکتار است. به عبارت دیگر ۱۱/۲ درصد از سطح عرصه را روشنه‌ها تشکیل می‌دهند که از این مقدار ۸/۶ درصد طبیعی و ۲/۶ درصد روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری هستند.

جدول ۱- مشخصه‌های آماری مساحت ۲۹۶ روشنۀ تاجی بررسی‌شده در عرصۀ پژوهش

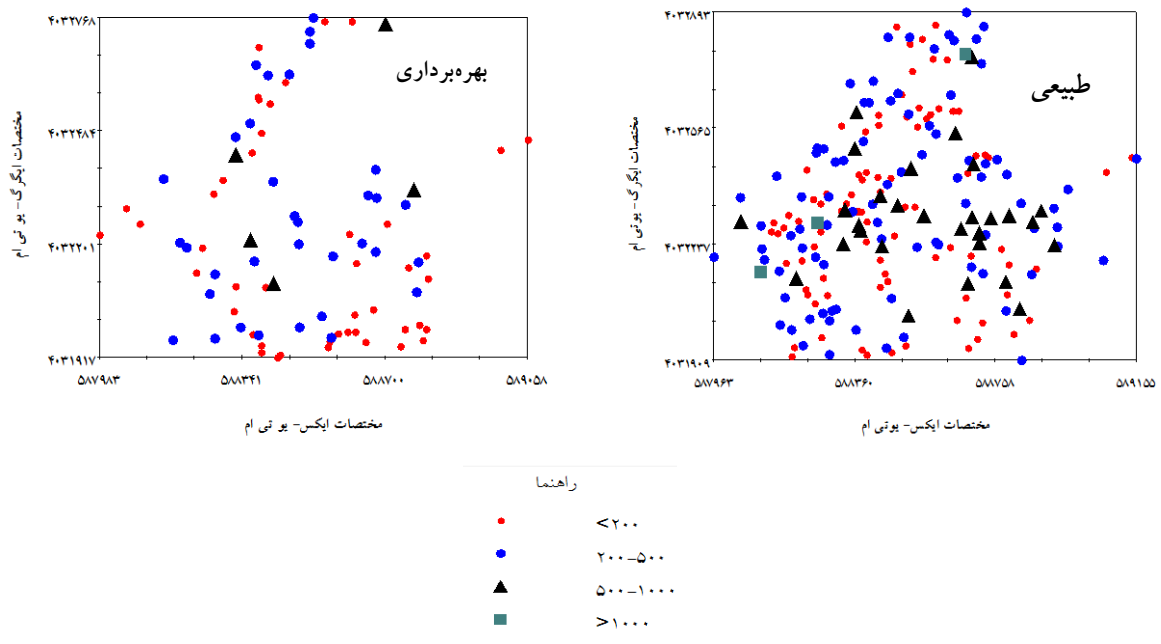
عامل ایجاد روشنه	تعداد	مجموع مساحت (هکتار)	حداقل (متر مربع)	حداکثر (متر مربع)	میانگین (متر مربع)	ضریب تغییرات (درصد)
طبیعی	۲۱۰	۶/۲	۱۴/۳	۱۹۹۰/۸	۲۹۷/۲	۸۸/۵
بهره‌برداری	۸۶	۱/۹	۱۵/۶	۹۲۳/۰	۲۲۶/۶	۸۱/۹

جدول ۲- فراوانی روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در طبقات سطح روشنه

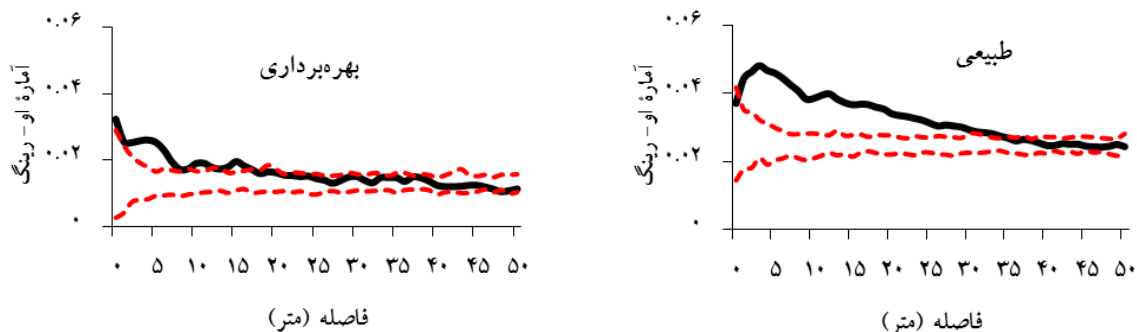
عامل ایجاد روشنه	طبقة مساحت روشنه (متر مربع)	<۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	>۱۰۰۰	جمع
طبیعی	فراوانی مطلق	۹۱	۸۶	۳۰	۳	۲۱۰
	درصد فراوانی	۴۳/۳	۴۰/۹	۱۴/۴	۱/۴	۱۰۰
بهره‌برداری	فراوانی مطلق	۴۶	۳۴	۶	۰	۸۶
	درصد فراوانی	۵۳/۵	۳۹/۵	۷/۰	۰	۱۰۰



شکل ۳- وضعیت پراکنش ۲۹۶ روشنۀ طبیعی و حاصل از بهره‌برداری روی نقشۀ توپوگرافی عرصۀ پژوهش (سیستم مختصات: UTM)



شکل ۴- وضعیت پراکنش ۲۱۰ روشنۀ طبیعی و ۸۶ روشنۀ حاصل از بهره برداری به تفکیک طبقات سطح روشنه ها



شکل ۵- الگوی پراکنش مکانی روشنه ها در عرصه بررسی

(اگر آماره او-رینگ بالاتر از حدود مونت کارلو، در میان آن یا پایین تر از آن قرار گیرد، الگوی مکانی به ترتیب کپه ای، تصادفی و یکنواخت خواهد بود)

روشنۀ طبیعی ۴۲ متر به دست آمد. شایان ذکر است که این آنالیز در ابتدا برای فاصله تا ۱۰۰ متری انجام گرفت و به دلیل اینکه از فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متر تغییرات محسوسی نداشت، برای نمایش بهتر در همه شکل ها الگو تا فاصله ۵۰ متری ارائه شد.

بر اساس شکل ۵، الگوی پراکنش روشنه های حاصل از بهره برداری تا شعاع حدود ۲۰ متری کپه ای و پس از آن با قرار گرفتن آماره او-رینگ در داخل محدوده مونت کارلو تا شعاع ۵۰ متری و بیشتر از آن تصادفی است. حداقل فاصله بین دو روشنۀ طبیعی ۶/۵ متر و میانگین کل فاصله بین دو

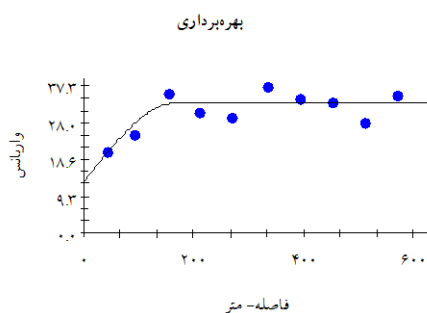
با در دسترس بودن مختصات مرکز روشنه های طبیعی و حاصل از بهره برداری، الگوی پراکنش مکانی روشنه ها در داخل عرصه تحت بررسی با استفاده از آماره او-رینگ تعیین شد (شکل ۵).

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، الگوی پراکنش روشنه های طبیعی تا شعاع حدود ۳۵ متری کپه ای و پس از آن با قرار گرفتن آماره او-رینگ در داخل محدوده مونت کارلو تا شعاع ۵۰ متری و بیشتر از آن تصادفی است. همچنین حداقل فاصله بین دو روشنۀ طبیعی ۶/۵ متر و میانگین کل فاصله بین دو

ساختار مکانی وجود دارد و پس از آن روشنه‌ها از نظر سطح فاقد ساختار مکانی یا خودهمبستگی بوده و مستقل از هم هستند. به عبارت دیگر، واریانس سطح جفت روشنه حاصل از بهره‌برداری (با طول گام ۶۰ متر) تا فاصله ۱۶۸ متری از هم به تدریج افزایش می‌یابد و پس از این فاصله که مدل واریوگرام به سقف خود رسید و به خطی موازی محور افقی تبدیل شد، دیگر هیچ شباهتی بین سطح جفت روشنه‌های مجاور هم وجود نداشت.

تابع همبستگی نشان‌دار (MCF)

نمودار تابع همبستگی نشان‌دار برای متغیرهای سطح روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در شکل ۷ ارائه شده است.



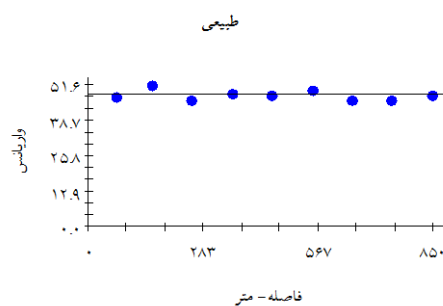
مدل: کروی. اثر قطعه ای: ۱۳-حدآستانه: ۳۳ دامنه تاثیر: ۱۶۸ متر

بهره‌برداری نیز ۳/۷ متر و میانگین کل فاصله بین دو روشنه حاصل از بهره‌برداری ۳۱ متر به دست آمد.

ساختار مکانی

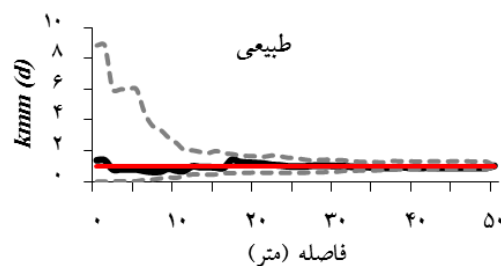
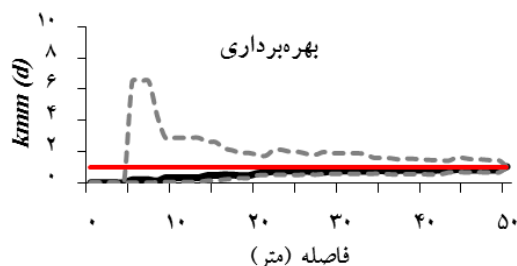
پس از اعمال تبدیل ریشه دوم روی داده‌ها به منظور ایجاد توزیع نرمال در آنها، بررسی ساختار مکانی سطح روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در عرصه پژوهش با استفاده از محاسبه و رسم واریوگرام نشان داد که سطح روشنه‌های طبیعی فاقد هر گونه ساختار مکانی و به صورت اثر قطعه‌ای تام^۱ است، ولی سطح روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری دارای ساختار مکانی متوسط به میزان ۶۰ درصد است (شکل ۶).

بر اساس واریوگرام سطح روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری (شکل ۶)، تا فاصله حدود ۱۶۸ متری



مدل خطی. اثر قطعه‌ای: ۴۸-حدآستانه: ۴۸ دامنه تاثیر: ۸۴۲

شکل ۶- ساختار مکانی (واریوگرام) سطح روشنه‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در عرصه پژوهش



شکل ۷- نمودار تابع همبستگی نشان‌دار برای سطح روشنه‌ها

(خط ممتد: تابع همبستگی نشان‌دار یا MCF، خط افقی برابر عدد ۱: بدون همبستگی و مستقل، خط چین: حدود مونت کارلو؛ اگر نمودار MCF بالاتر، در میان یا پایین‌تر از حدود مونت کارلو قرار گیرد، به ترتیب نشان‌دهنده این است که تشابه، استقلال و تفاوت بین مساحت روشنه‌های مجاور وجود دارد)^۱

در جنگل‌های آمیخته در کشور رومانی و Bottero et al. (2011) در توده‌های آمیخته راش در کشور بوسنی و هرزگوین است که بر اهمیت روشن‌های کوچک تا متوسط در تجدید حیات گونه‌های سایه‌پسند مانند راش تأکید داشته‌اند. از سوی دیگر براساس نظر Garbarino et al. (2012) روشن‌های بزرگ برای حضور و تجدید حیات گونه نوری‌پسند مانند بلوط مناسب‌اند که در جنگل‌هایی با تاج‌پوشش بسته با تعداد کم ظاهر می‌شوند. افزون‌بر این، فراوانی روشن‌های بزرگ‌تر از ۵ آر با حدود ۱۶ درصد در تحقیق حاضر که به‌طور تقریبی مشابه مقدار به‌دست‌آمده در تحقیق (Mataji et al. (2020) در جنگل گلندرود نور است نشان می‌دهد که آشفتگی در مقیاس وسیع در سال‌های اخیر در این منطقه جنگلی اتفاق نیفتاده است.

روشن‌ها در تاج‌پوشش جنگل در اثر مرگ یا حذف حداقل یک درخت به‌وجود می‌آیند که توسط تاج درختان مجاور احاطه می‌شوند. افتادن یک درخت در یک توده جنگلی حداقل به اندازه قطر تاج آن، فضایی در تاج‌پوشش جنگل ایجاد می‌کند. بنابراین دو روشن هرگز با یکدیگر تماس پیدا نمی‌کنند و فاصله بین آنها هیچ‌گاه صفر نمی‌شود (Petritan et al., 2013). حداقل فاصله مشاهده‌شده در عرصه این پژوهش برای روشن‌های طبیعی ۶/۵ متر و برای روشن‌های حاصل از بهره‌برداری ۳/۷ متر به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر، نشانه‌گذاری و بهره‌برداری متعاقب آن در این عرصه حداقل فاصله بین دو روشن را به‌طور تقریبی به نصف حالت طبیعی کاهش داده است. این تفاوت در میانگین فاصله بین روشن‌های طبیعی نسبت به هم (۴۲ متر) در مقایسه با میانگین فاصله بین روشن‌های حاصل از بهره‌برداری نسبت به هم (۳۱ متر) نیز دیده می‌شود که حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اقدامات مدیریتی سبب فاصله گرفتن الگوی پراکنش روشن‌ها از شرایط طبیعی شده است.

بر اساس شکل ۷، نمودار MCF متغیر سطح روشن‌ها در روشن‌های طبیعی و چه در روشن‌های حاصل از بهره‌برداری به‌طور کامل تا مقیاس مکانی ۵۰ متری در داخل محدوده مونت کارلو قرار گرفته که بیانگر استقلال و نبود همبستگی سطح روشن‌های مجاور در عرصه پژوهش است.

بحث

ساختار روشن‌ها در جنگل‌های دیررسته^۱ پویاست که با توجه به مشخصه روشن‌سازها و در پی فرایندهای پرکننده روشن‌ها، ساختار جنگل و زادآوری را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر الگو و ساختار مکانی روشن‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری در جنگل مدیریت شده سوردار-انارستان در منطقه چمستان نور با توجه به سطح روشن‌ها با استفاده از ابزارهای آمار مکانی بررسی و تجزیه و تحلیل شد.

بر اساس نتایج آماربرداری صددرصد از روشن‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری، بیشتر روشن‌ها سطحی کمتر از ۵ آر داشتند که با افزایش سطح روشن‌ها از تعداد آنها کاسته شد. در واقع حدود ۸۵ درصد از روشن‌های طبیعی سطحی کمتر از ۵ آر داشتند که این درصد برای روشن‌های حاصل از بهره‌برداری ۹۴ درصد بود. همچنین فراوانی روشن‌های طبیعی بزرگ‌تر از ۱۰ آر فقط ۱/۴ درصد بود و در بین روشن‌های حاصل از بهره‌برداری سطح بیش از ۱۰ آر وجود نداشت. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت روشن‌های کوچک تا متوسط در این توده‌هاست. تعداد زیاد روشن‌های کوچک در عرصه پژوهش حاضر (۴۳/۳ درصد) برای تجدید حیات گونه سایه‌پسند راش در این جنگل مناسب است. این نتیجه مشابه یافته‌های (Mataji et al. (2020) در جنگل گلندرود نور، (Parhizkar et al. (2020-a) در راشستان‌های شفارود گیلان، (Petritan et al. (2013)

الگوی مکانی

بررسی الگوی پراکنش مکانی روشن‌های طبیعی با استفاده از آماره غیرتجمعی او-رینگ نشان داد که الگوی مکانی آنها تا شعاع حدود ۳۵ متری کپه‌ای و پس از آن تا شعاع ۵۰ متری تصادفی است. به عبارت دیگر، روشن‌های طبیعی در موزاییک‌هایی با مساحت حدود ۳۸/۵ آر در کنار هم به صورت کپه‌ای قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به میانگین کل فاصله بین دو روشنه طبیعی که ۴۲ متر به دست آمد، در هر خوشه به طور میانگین ۲/۲ روشنه طبیعی قرار گرفته است. این موارد باید در برنامه‌ریزی و اقدامات مدیریتی به‌ویژه ایجاد روشن‌ها مدنظر قرار گیرد تا دخالت‌ها براساس نوع الگوی پراکنش طبیعی موجود و ابعاد موزاییک‌ها و کپه‌ها و فواصل موجود انجام گیرد.

همچنین بررسی الگوی پراکنش مکانی روشن‌های حاصل از بهره‌برداری نیز نشان داد که الگوی مکانی آنها تا شعاع حدود ۲۰ متری کپه‌ای و پس از آن تا شعاع ۵۰ متری تصادفی است. به عبارت دیگر، روشن‌های حاصل از بهره‌برداری در موزاییک‌هایی با مساحت حدود ۱۲/۵ آر در کنار هم به صورت کپه‌ای قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به میانگین کل فاصله بین دو روشن‌ها حاصل از بهره‌برداری که ۳۱ متر به دست آمده، در نتیجه در هر کپه به طور میانگین ۱/۳ روشن‌ها قرار گرفته است.

در مجموع، روشن‌های ایجادشده در اثر بهره‌برداری از نظر شکل کلی الگوی پراکنش مشابه الگوی پراکنش روشن‌های طبیعی در این جنگل بودند (شکل ۴)، با این تفاوت که فاصله شروع الگوی کپه‌ای در بین روشن‌های حاصل از بهره‌برداری ۱۵ متر کوتاه‌تر از روشن‌های طبیعی است که این مورد نیز باید در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مدنظر مدیران و ناظران جنگل قرار گیرد. (Parhizkar et al. (2020-b) نیز در پژوهش خود در جنگل‌های راش آمیخته در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که تفاوت

معنی‌داری بین مشخصات روشن‌ها در بین پارسل‌های شاهد و مدیریت‌شده وجود ندارد.

نتایج به دست آمده در مورد الگوی پراکنش مکانی روشن‌ها در پژوهش حاضر تنها با یافته‌های Mataji et al. (2020) در جنگل گلندرود نور که به الگوهای کپه‌ای و تصادفی دست یافتند، همسوست و با نتایج تحقیقات (Mataji et al. (2008) که با استفاده از تابع M در راشستان‌های جنگل خیرود نوشهر به الگوهای یکنواخت و تصادفی رسیدند، (Nuske et al. (2009) که در جنگل‌های آلمان با استفاده از تابع همبستگی جفتی به الگوی تصادفی روشن‌ها دست یافتند، (Petritan et al. (2013) که با استفاده از تابع همبستگی جفتی در جنگل آمیخته بلوط-راش در رومانی به الگوی تصادفی رسیدند و (Parhizkar et al. (2020, a, b) که با استفاده از تابع L رایپلی در راشستان‌های سفارود گیلان و جنگل راش آمیخته در استان گلستان به الگوهای تصادفی و کپه‌ای رسیدند، متفاوت است.

دلایل متعددی را می‌توان برای این ناهم‌سویی با نتایج تحقیقات یادشده برشمرد. دسته نخست دلایل عبارت است از ترکیب گونه‌های درختی، عوامل توپوگرافی و عمق خاک که از عوامل اصلی ایجاد روشن‌ها هستند (Parhizkar et al., 2020, a) و دسته دوم عوامل به نوع آماره یا تابع به کاررفته به منظور بررسی الگوی پراکنش روشن‌ها بستگی دارد. به طوری که در تحقیقات (Mataji et al. (2008) و Parhizkar et al. (2020, a, b) از توابع تجمعی M و L رایپلی استفاده شده که الگویی را که در هر فاصله نشان می‌دهند برابر با مجموع الگوهای مشاهده‌شده از فاصله صفر تا آن نقطه است؛ اما در روش‌های غیرتجمعی مانند تابع همبستگی جفتی (g_r) و آماره او-رینگ (O_r) که حلقه‌ها جایگزین دوایر می‌شوند، محاسبات مربوط به تعیین الگو در هر نقطه غیرتجمعی و دقیق‌تر است.

سطح روشن به دست نیامد. این بدان معناست که از نظر سطح در بین روشن‌های طبیعی نظم مکانی خاصی وجود ندارد و این روشن‌ها با مساحت‌های مختلف در کنار هم قرار گرفته‌اند. دلیل این موضوع ممکن است عواملی مختلفی باشد که سبب ایجاد روشن‌های طبیعی می‌شوند، مانند رسیدن درخت به سن دیرزیستی و ایجاد خشک‌دار، حمله آفات و بیماری‌ها، وقوع برف و یخ و ریشه‌کن شدن یا بادافتادگی درختان که در هر یک از این عوامل تعداد درخت‌های حذف‌شده از تاج‌پوشش جنگل ممکن است متفاوت و در نتیجه سطح روشن‌های ایجادشده نیز متفاوت باشند. بنابراین از نظر ساختار مکانی بر اساس تحلیل واریوگرام تفاوت آشکار و معنی‌داری در بین روشن‌های حاصل از بهره‌برداری با روشن‌های طبیعی وجود دارد.

تابع همبستگی نشان‌دار

بر اساس نمودار تابع همبستگی نشان‌دار (MCF) سطح روشن‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری به تفکیک، هیچ‌گونه همبستگی مثبت (شباهت سطح روشن‌های مجاور هم) یا منفی (تفاوت سطح روشن‌های مجاور هم) بین سطح روشن‌های طبیعی با هم و نیز سطح روشن‌های حاصل از بهره‌برداری با هم وجود نداشت و روشن‌های طبیعی و بهره‌برداری در داخل خود از نظر سطح مستقل از یکدیگر بودند. البته شاید به نظر برسد که این نتیجه برای روشن‌های حاصل از بهره‌برداری به نوعی در تضاد با واریوگرام مربوط برای روشن‌های حاصل از بهره‌برداری است. اما باید توجه داشت که نمودار MCF فقط شباهت یا تفاوت بین سطح روشن‌های مجاور را بررسی می‌کند، در حالی که واریوگرام روند تغییرات موجود در بین سطح جفت روشن‌های مجاور هم را بر اساس طول گام در نظر گرفته‌شده (در اینجا ۶۰ متر) برای محاسبه واریوگرام به نمایش می‌گذارد. به عبارت دیگر، واریوگرام نشان می‌دهد که آیا با افزایش فاصله بین دو روشن، واریانس بین آنها نیز از نظر سطح افزایش

بر اساس نظر (Nuske et al., 2009) روشن‌ها در جنگل‌های معتدله اغلب دارای الگوی تصادفی‌اند، در حالی که در جنگل‌های استوایی الگوی پراکنش روشن‌ها اغلب کپه‌ای است. Garbarino et al. (2012) نیز در جنگل‌های آمیخته بوسنی و هرزگوین با استفاده از آماره او-رینگ در منطقه مرکزی پژوهش خود به الگوی تصادفی و در منطقه حائل (بافر) به الگوی کپه‌ای دست یافتند. آنان علت بروز الگوی تصادفی در منطقه مرکزی را همگنی نسبی محیط و نیز رخ ندادن آشفتگی‌های بسیار شدید در سال‌های اخیر دانستند. در حالی که علت بروز الگوی کپه‌ای در روشن‌های موجود در منطقه حائل را تأثیر توپوگرافی منطقه و دخالت‌های انسانی تشخیص دادند.

ساختار مکانی

بررسی ساختار مکانی روشن‌های طبیعی و حاصل از بهره‌برداری با استفاده از ابزار واریوگرام روش زمین آمار نشان داد که روشن‌های حاصل از بهره‌برداری دارای ساختار مکانی متوسط (۶۰ درصد) بودند که این ساختار تا دامنه تأثیر واریوگرام یعنی تا فاصله حدود ۱۶۸ متری وجود دارد. به عبارت دیگر، شباهت بین روشن‌های حاصل از بهره‌برداری از نظر مساحت، حداکثر تا فاصله ۱۶۸ متری از یکدیگر وجود دارند و پس از این فاصله دیگر هیچ شباهتی بین سطح جفت روشن‌های حاصل از بهره‌برداری مجاور هم وجود ندارد. این بدان معناست که روشن‌های حاصل از بهره‌برداری از نظر سطح در موزاییکی به مساحت ۸۸۶ آر دارای همگنی مکانی‌اند که این موضوع نشان‌دهنده نوعی نظم مکانی در روشن‌های ایجادشده در اثر نشانه‌گذاری و قطع درختان است که در این جنگل به‌طور معمول با دو تا سه درخت نشانه‌گذاری‌شده در کنار هم ایجاد شده است (Zabihi et al., 2021).

اما در بین روشن‌های طبیعی بر اساس تحلیل واریوگرام هیچ‌گونه ساختار مکانی مشخصی از نظر

مدیریتی به‌مانند شرایط طبیعی روشنه‌هایی در سطوح کوچک تا متوسط ایجاد شده، به نظر می‌رسد ساختار روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری از تنوع مناسبی برخوردار نیست و در سطح به نسبت وسیعی از منطقه روشنه‌هایی با سطوح همگن و مشابه ایجاد شده است. همچنین ساختار مکانی روشنه‌های طبیعی نظم خاصی ندارد که نشان می‌دهد روشنه‌ها از نظر سطح مستقل از هم هستند. بنابراین در اقدامات مدیریتی با هدف پرورش توده باید آشفستگی در مقیاس کوچک (روشنه) با سطوح مختلف ایجاد شود که متأسفانه این مهم در مدیریت توده‌ها در منطقه پژوهش در هنگام نشانه‌گذاری کمتر مدنظر قرار گرفته است، چراکه اغلب، پایه‌های درختی در طبقه قطری مشابه برداشت شده است. بر این اساس توصیه می‌شود که به‌منظور پرورش توده، برداشت پایه‌های درختی در طبقات قطری مختلف انجام پذیرد تا در پی آن روشنه‌های با سطوح غیرهمگن و متنوع از نظر ساختاری ایجاد شوند.

می‌یابد یا خیر که در مورد روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری پاسخ این پرسش مثبت بوده است. بنابراین تناقضی از این نظر بین نتایج تحلیل واریوگرام و نمودار MCF برای روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری از نظر سطح وجود ندارد. (Mataji et al. (2020). در پژوهش خود در جنگل‌های هیرکانی گلندرود نور با استفاده از تابع MCF به نتایج مشابه این تحقیق یعنی مستقل بودن سطح روشنه‌های طبیعی نسبت به هم دست یافتند. در نتیجه از نظر نمودار تابع MCF و همبستگی بین سطح روشنه‌ها، روشنه‌های حاصل از بهره‌برداری وضعیتی مشابه با روشنه‌های طبیعی داشتند.

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان اظهار داشت که در عرصه پژوهش الگوی پراکنش روشنه‌ها در سطح توده به صورت کپه‌ای و بین توده‌ها که موزاییک‌هایی با سطوح مختلف هستند به صورت تصادفی است. نکته شایان توجه دیگر این است که اگرچه در پی اقدامات

References

- Bottero, A., Garbarino, M., Dukic, V., Govedar, Z., Lingua, E., Nagel, T.A., & Motta, R. (2011). Gap-phase dynamics in the old-growth forest of Lom, Bosnia and Herzegovina. *Silva Fennica*, 45, 875–887.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., & Konopka, A.E. (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1501–1511.
- Forests & Rangelands organization, (2005). Forestry plan Surdar- Anarstan, Mazandaran province.
- Frelich, L., & Lorimer, C.G. (1991). Natural disturbance regimes in Hemlock Hardwood forests of the upper great Lakes region. *Ecological Monographs*, 61, 145–164.
- Garbarino, M., Borgogno Mondinnno, E., Lingua, E., Nagel, T.A., Dukić, V., Govedar, Z., & Motta, R. (2012). Gap disturbances and regeneration patterns in a Bosnian old-growth forest: a multispectral remote sensing and ground-based approach. *Annals of Forest Science*, 69(5), 617–625.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., & Stoyan, D. (2008). *Statistical analysis and modeling of spatial point patterns*. John Wiley and Sons, 560p.
- Khan, M.N.I., Sharma, S., Berger, U., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., & Hagihara, A. (2013). How do tree competition and stand dynamics lead to spatial patterns in monospecific mangroves?. *Biogeosciences*, 10, 2803–2814.
- Lawton, O.R., & Putz, F.E. (1988). Natural disturbance and gap-phase regeneration in a wind-exposed tropical cloud forest. *Ecology*, 69, 764–777.

- Lima, R.A.F. (2005). Gap size measurement: the proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management*, 214, 413–419.
- Luis, M.D., Raventos, J., Wiegand, T., & Hidalgo, C.H. (2008). Temporal and spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Ecography*, 31, 620-629.
- Mataji, A., Babaie Kafaki, S., Safaee, H., & Kiadaliri, H. (2008). Spatial patterns of regeneration gaps in managed and unmanaged stands in natural Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(1), 149-157.
- Mataji, A., Vahedi, A.A., & Khatibnia, E. (2020). Spatial patterns analysis for natural disturbances consequences within the Hyrcanian mixed-beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(3), 257-268.
- Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M., & Mercurio, R. (2014). A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research*, 25(4), 725-736.
- Nakashizuka, T. (1984). Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests: IV. Gap formation. *Japanese Journal of Ecology*, 34, 75-85.
- Nuske, R.S., Sprauer, S., & Saborowski, J. (2009). Adapting the pair-correlation function for analyzing the spatial distribution of canopy gaps. *Forest Ecology and Management*, 259, 107–116.
- Oliver, C.D., & Larson, B.C. (1996). *Forest stand dynamics*, update ed. Wiley, New York.
- Parhizkar, P., Amanzadeh, B., Hassani, M., & Sadeghzadeh Hallaj, M.H. (2020)- a. Effect of single tree selection system on some of the canopy gap characteristics within Shafaroud beech forests. *Journal of Forest Research and Development*, 6(2), 203-218.
- Parhizkar, P., Hassani, M., Ghorbani, H.A., Karimidoust, A., Maghsoudlu, K., Babatabar Malekshah, R., Sadeghzadeh Hallaj, M.H., & Mousavi, R. (2020)- b. Investigation on gap characteristics in the managed and intact oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(3), 217-230.
- Petritan, A.M., Nuske, R.S., Petritan, I.C., & 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.
- Rich, R.L., Frelich, L., Reich, P.B., & Bauer, M.E. (2010). Detecting wind disturbance severity and canopy heterogeneity in boreal forest by coupling high-spatial resolution satellite imagery and field data. *Remote Sensing of Environment*, 114, 299–308.
- Sefidi, K., Marvi mohajer, M.R., Etemad, V., & Mosandel R. (2014). Canopy gaps properties effect on regeneration of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the mixed beech stands. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 5(2), 52-40.
- Spies, T.A., Franklin, J.F., & Klopsch, M. (1990). Canopy gaps in Douglas-fir forest of the Cascade mountains. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 649–658.
- Stoyan, D. (1984). On correlations of marked point processes. *Mathematische Nachrichten*, 116, 197–207.
- Watt, A.S. (1947). Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 35, 1–22.
- Webster, R., & Oliver, M.A. (2000). *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley press.
- Zabihi, K.A., Mataji, A., Babaei Kafaki, S., & Akhavan, R. (2021). Changes in aboveground biomass resulting from disturbance in natural beech forests at small scale. *Journal of Forest Research and Development*, 6(4), 543-557.



Research Article

Spatial pattern and structure analysis of natural and harvesting gaps in Hyrcanian forests using spatial statistics methods (Case study: Chamestan- Nour)

K.A. Zabihi¹, A. Mataji^{2*}, R. Akhavan³, and S. Babaei Kafaki⁴

¹Ph.D. student of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

²Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

³Associate Prof., Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran

⁴Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

(Received: 29 August 2021; Accepted: 5 January 2022)

Abstract

Spatial distribution and size of canopy gaps have important implications for light regime and regeneration, and affect species diversity. In this regard, the present study was conducted with the aim of investigating the spatial pattern and structure of harvesting canopy gaps and comparing with natural canopy gaps in mixed beech forests in the Sordar-Anarestan forestry plan located in Chamestan-Noor, Mazandaran. All natural and harvesting canopy gaps were surveyed by a full inventory and gaps area were measured by using of triangles method. In order to spatial analysis, O-ring statistics, variogram analysis and mark correlation function (MCF) were used. The results showed that the most frequency of gaps was related to canopy gaps with area less than 200 m². The spatial pattern of natural and harvesting gaps was similar and up to a maximum distance of 35 m was clustered and then random. Only the harvesting gaps indicated a spatial structure up to a distance of 168 m. Natural canopy gaps did not have spatial structure and revealed that the gaps are independent of each other in terms of area. Thus, in silvicultural management, disturbance should be created with different areas that unfortunately have been less considered in the study area.

Keywords: Canopy gap, Hyrcanian forest, Mark correlation function, O-ring statistics, Variogram.