

پیش‌بینی مساحت روشن‌های تاجی قبل از اجرای شیوه تک‌گزینی یا گروه‌گزینی در جنگل‌های طبیعی آمیخته راش شمال کشور (پژوهش موردی: قطعه شاهد سری ۳ طرح جنگل‌داری گلندرود نور)

علی اصغر واحدی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱)

چکیده

با توجه به اینکه در برنامه‌ریزی‌های مربوط به عملیات نشانه‌گذاری جنگل، طراحی فضای سطح روشن تاجی امکان‌پذیر نبوده و نشانه‌گذار فقط می‌تواند بر مبنای تخمین مساحت روشن گسترش‌یافته‌ای که از قطع درخت حاصل می‌شود اقدام به اجرای عملیات نماید، از این‌رو با ارائه مدل‌های محاسباتی دقیق می‌توان در برآورد نزدیک‌به‌واقعیت مساحت روشن‌های تاجی قبل از اجرای شیوه‌های گزینشی در جنگل‌های هیرکانی اقدام نمود. بر اساس آماربرداری صددرصد در قطعه شاهد جنگل‌های آمیخته گلندرود برای اندازه‌گیری مساحت روشن‌های تاجی و گسترش‌یافته با استفاده از روش شعاعی و تفکیک رده‌های مساحتی، محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان حاشیه روشن‌ها و ثبت ویژگی‌های فیزیوگرافی با استفاده از تحلیل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون، مدل‌سازی مساحت روشن تاجی در قالب متغیر پاسخ اجرا شد. نتایج پژوهش حاضر، مجموع مساحت رویشگاه مورد پژوهش توسط روشن‌های گسترش‌یافته با مساحت ۲/۷ هکتار را تقریباً یک هکتار بیشتر از مجموع مساحت روشن‌های تاجی (با مساحت ۱/۶ هکتار) نشان داد. تحلیل‌های مدل‌سازی رگرسیون با استفاده از روش‌های تبدیل لگاریتمی و بازتبدیل نمایی نشان داد که مدل خطی چندگانه حاصل از تبدیل لگاریتمی تابع توانی مشتمل بر مساحت روشن‌های گسترش‌یافته و شاخص‌های تنوع گونه‌ای هم‌بسته با درختان حاشیه روشن‌ها شامل تنوع شانون‌وینر و غلبه گونه‌ای، دارای اعتبار محاسباتی و دقت برآوردی قابل قبول بوده است.

واژه‌های کلیدی: آشفستگی‌های طبیعی، روشن‌های گسترش‌یافته، مدل‌های پیش‌بینی، نشانه‌گذاری درختان

۱. استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی؛ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ ساری؛ ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: as.vahedi@areeo.ac.ir

مقدمه

تجدید حیات در آنها است که با بررسی مساحت روشنه‌های مزبور می‌توان به الگوی مدنظر برای این امر دست یافت. روشنه‌ها در بوم‌سازگان‌های جنگلی به دو دسته روشنه واقعی و روشنه ظاهری تقسیم می‌شود که به ترتیب به‌عنوان روشنه تاجی (Canopy gap) و روشنه گسترش‌یافته (Expanded gap) معرفی می‌شوند (۲۱). اختلاف روشنه‌های مذکور در یک مقیاس مکانی و زمانی واحد برحسب شدت نور وارد شده به درون فضای روشنه و اثرات سایه‌هایی است که درختان حاشیه روشنه ایجاد می‌کنند. بنابراین آنچه که در روند مدیریتی برای استقرار بهینه زادآوری درختان با ازدیاد تراکم و حداکثر کیفیت باید مورد توجه قرار گیرد، فضای حاصل از روشنه‌های تاجی است که باید توسط نشانه‌گذاران در بوم‌سازگان‌های جنگلی مدنظر قرار گیرد، اما در برنامه‌ریزی‌های مربوط به نشانه‌گذاری و حین اجرای آن طراحی فضای روشنه تاجی امکان‌پذیر نبوده و از این رو نشانه‌گذار فقط می‌تواند بر مبنای مساحت روشنه گسترش‌یافته‌ای که از قطع درخت حاصل می‌شود اقدام به اجرای عملیات نماید که این خطای راهبردی در تفکیک روشنه تاجی از زمینی (گسترش‌یافته) می‌تواند در کیفیت و کمیت تجدید حیات طبیعی تأثیرگذار باشد. بنابراین باید از راهکارهایی استفاده شود تا بتوان برای رفع این معضل اقدام نمود. یکی از این موارد، تخمین هرچه دقیق‌تر مساحت روشنه تاجی بر حسب مساحت روشنه گسترش‌یافته است.

با توجه به اینکه ویژگی‌های ساختاری و ترکیب تنوع توده‌ای درختان نیز در مساحت روشنه‌ها تأثیرگذار است، از این رو شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان حاشیه روشنه‌ها نیز به‌عنوان متغیر توصیفی برای برآورد مساحت روشنه‌های تاجی در جنگل مورد پژوهش معرفی شد. البته مساحت روشنه‌های طبیعی و غیرطبیعی در بسیاری از موارد تحت تأثیر ویژگی‌های توپوگرافی زمین نیز می‌تواند قرار گیرد. به‌عنوان مثال افتادن یک یا چند درخت و ایجاد روشنه در امتداد شیب منجر به کشیدگی ابعاد یا شعاع روشنه و تغییر در زوایای امتداد تصویر تاج‌پوشش درختان حاشیه روشنه‌ها شده که این امر امکان دارد علاوه بر تأثیرگذاری

روشنه‌های ایجاد شده در بوم‌سازگان‌های جنگلی، نقش کلیدی در تنوع ساختاری و ترکیب توده‌ای درختان، چرخه عناصر غذایی، استقرار تجدید حیات گونه‌های مختلف درختان، مراحل تولدی و فازهای تحولی توده‌های درختان داشته و پویایی فضای درون روشنه‌ها به‌نوعی متضمن چرخه زیستی (بیولوژیک) و بوم‌شناختی (اکولوژیک) جنگل‌ها است به حساب می‌آید (۱۴، ۱۵ و ۲۱). در این زمینه پژوهش‌های بسیاری تأکید نموده‌اند که کلیه ویژگی‌های بوم‌شناختی و زیست‌شناختی فضای درون روشنه‌ها تحت تأثیر بارز مساحت روشنه‌ها بوده و به‌عبارتی مساحت روشنه‌ها یکی از بارزترین و مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده ویژگی‌های داخل هر روشنه است (۴، ۹، ۱۵، ۲۰ و ۲۱). البته شکل هندسی روشنه‌ها نیز یکی دیگر از موارد تأثیرگذار در این زمینه محسوب می‌شود، اما از آنجا که شکل هندسی روشنه‌ها به‌خصوص در جنگل‌های طبیعی معمولاً دارای ابعاد نامنظم است نمی‌توان از آن مانند مساحت به‌عنوان شاخص تبیین ویژگی‌های بوم‌شناختی جنگل نام برد. به همین دلیل در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده معمولاً شکل هندسی تمام روشنه‌ها به‌شکل بیضی یا دایره در نظر گرفته می‌شود و بر مبنای طول و عرض شکل مفروض، مساحت هندسی روشنه‌ها محاسبه شده یا تخمین زده می‌شود (۲، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۶ و ۲۱). آنچه می‌توان از این تفاسیر استنباط کرد این است که اندازه‌گیری دقیق مساحت روشنه‌ها در رویشگاه‌های جنگلی به‌طور ضمنی نمایانگر اثرات مستقیم و جانبی اشکال هندسی مختلف روشنه بر ویژگی‌های بوم‌شناختی، زیستی و در نهایت استقرار تجدید حیات طبیعی درختان است (۵).

یکی از مهم‌ترین الزامات نشانه‌گذاری درختان در جنگل‌های شمال کشور مبتنی بر اهداف جنگل‌شناسی همگام با طبیعت، ایجاد روشنه‌هایی با مساحت بهینه به‌منظور استقرار تجدید حیات درختان گونه‌های مختلف است (۷). یکی از اصول مورد تبعیت برای اعمال این امر الگوپذیری از شرایط روشنه‌های پدیدار شده در جنگل‌های طبیعی و روند استقرار

غربی است و حداکثر شیب منطقه در برخی نقاط تا ۸۰ درصد نیز می‌رسد. همچنین سنگ مادری در پارسل‌های مورد نظر آهک‌مارن و تیپ خاک نیز قهوه‌ای جنگلی تا راندزین است.

جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها و انجام مشاهدات آماربرداری به صورت صددرصد انجام شد. مساحت هر یک از روشن‌ها در قالب مشاهدات، با استقرار در مرکز روشن‌ها از طریق روش شعاعی اندازه‌گیری شد (۱۰). مطابق شکل ۱، برای تفکیک روشن‌های تاجی و روشن‌های گسترش‌یافته، امتداد تصویر تاج‌پوشش درختان حاشیه هر روشن‌ها در قالب روشن‌های تاجی و کل فضای زمینی تا امتداد پایه‌های درختان پراکنش‌یافته حاشیه هر روشن‌ها به عنوان روشن‌های گسترش‌یافته محسوب شد. بر مبنای پژوهش سفیدی و همکاران (۱۶) روشن‌های که دارای حداقل مساحت ۱۵ متر مربع بود برای اندازه‌گیری انتخاب شد. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده، مساحت روشن‌های تاجی به سه رده مساحت شامل $2 < \text{آر}$ ، $5-2 \text{ آر}$ و $10-5 \text{ آر}$ و مساحت روشن‌های گسترش‌یافته به سه رده شامل $5-2 \text{ آر}$ ، $10-5 \text{ آر}$ و $10 < \text{آر}$ طبقه‌بندی شدند. همچنین مشخصات کمی تمام درختان حاشیه مرزی روشن‌ها شامل قطر برابر سینه و ارتفاع کل نیز اندازه‌گیری شد. در این بررسی، روشن‌هایی که در آن پایه‌های زادآوری با قطر کمتر از ۷ سانتی‌متر دارای ارتفاعی بیش از نصف درختان حاشیه مرزی بوده‌اند از لیست آماربرداری حذف شده و روشن‌های مزبور به عنوان روشن‌های بسته‌شده (Closure gap) در نظر گرفته شد (۱۲).

تحلیل داده‌ها

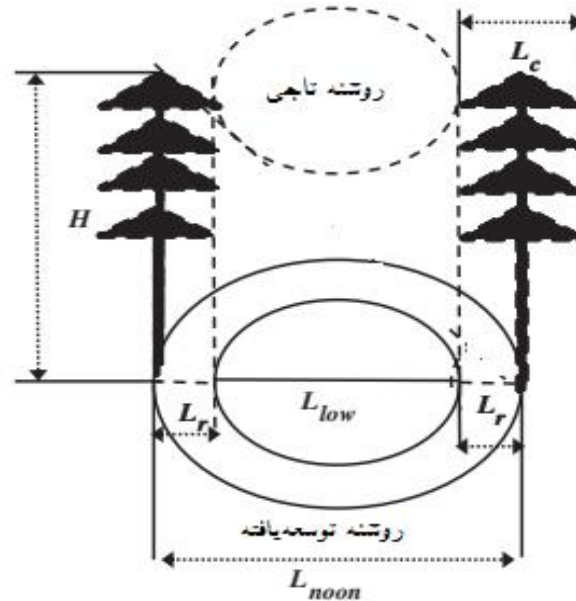
همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، روشن‌های تاجی در داخل روشن‌های گسترش‌یافته قرار می‌گیرد و مساحتی کمتر از آن دارد. در این شکل، Lr طول سایه حاصل از شعاع تاج درختان حاشیه روشن‌ها، Lc طول تاج درختان حاشیه روشن‌ها، $Lnoon$ طول روشن‌های گسترش‌یافته و به عبارت درست‌تر طول سایه‌ای است که

بر شکل روشن‌ها، بر روی مساحت روشن‌های تاجی نیز تأثیرگذار باشد. از این‌رو در پژوهش حاضر تأثیرگذاری ویژگی‌های فیزیوگرافی زمین نیز مبنای ارزیابی و تخمین مساحت روشن‌های تاجی قرار گرفت. بدین لحاظ، هدف اصلی پژوهش حاضر با الگوبرداری از شرایط کاملاً طبیعی در جنگل مورد مطالعه، برآورد محاسباتی هرچه دقیق‌تر مساحت روشن‌های تاجی با استفاده از مدل‌سازی توابع بهینه از طریق تحلیل رگرسیون با احتساب مساحت روشن‌های گسترش‌یافته، شاخص‌های زیستی درختان حاشیه و ویژگی‌های توپوگرافی روشن‌های گسترش‌یافته می‌باشد. با استفاده از دستاوردهای پژوهش حاضر می‌توان یک پروتکل درخور توجه برای ارائه معادلات کاربردی بر مبنای تغییرات مساحت روشن‌ها در روند پویای بوم‌سازگان‌های جنگلی به منظور انجام بهینه عملیات نشانه‌گذاری درختان و بهبود و توسعه زادآوری درختان گونه‌های مختلف معرفی نمود.

مواد و روش‌ها

عرصه پژوهش

این پژوهش در قطعه شماره ۳ (شاهد) از سری ۳ جنگل‌های گلندرد نور واقع در حوزه آبخیز ۴۸ جنگل‌های شمال ایران انجام شد. این سری از نظر تقسیمات اداری در حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان مازندران- نوشهر واقع شده است. مساحت کل سری ۱۵۲۱ هکتار بوده و در محدوده عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 27' 30''$ تا $36^{\circ} 32' 15''$ و طول‌های جغرافیایی $25^{\circ} 53' 25''$ تا $51^{\circ} 57' 25''$ قرار دارد. قطعه شماره ۳ با قطعه‌های شماره ۲ و ۴ هم‌مرز است به گونه‌ای که در جنوب‌غربی با پارسل شماره ۴ و در قسمت شرقی با پارسل شماره ۲ هم‌جوار است. پارسل مذکور به قطعه شاهد معروف است که حداقل در طول ۳۵ سال گذشته در آن هیچ‌گونه مدیریت جنگل و دخالت‌های انسانی انجام نشده است. مساحت قطعه مورد مطالعه ۳۸ هکتار، حداقل ارتفاع ۹۸۰ متر و حداکثر ۱۳۲۰ متر از سطح دریا است. جهت‌های عمومی در کل سری (و همچنین در پارسل‌های شماره ۲، ۳ و ۴) عموماً غربی و جنوب-



شکل ۱. تصویر روشنه تاجی و روشنه گسترش یافته (توسعه یافته)

نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلیک استفاده شد. با استناد به خروجی آزمون مذکور، از آزمون‌های همبستگی ناپارامتریک شامل آزمون اسپیرمن و اتا برای بررسی معنی‌داری ارتباط بین متغیر هدف (مساحت روشنه‌های واقعی یا تاجی) و متغیرهای توصیفی (متغیرهای عامل شامل مساحت روشنه‌های گسترش یافته، شاخص‌های تنوع گونه‌ای و واحدهای فیزیوگرافی) استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه تعداد روشنه‌های ثبت شده در جنگل مورد پژوهش بیش از ۳۰ مشاهده بود، صرف نظر از بررسی توزیع نرمال داده‌ها طبق قضیه حد مرکزی از آزمون پارامتریک پیرسون برای تبیین معنی‌داری همبستگی بین متغیرهای توصیفی و پاسخ استفاده شد. آزمون همبستگی اسپیرمن و پیرسون به ترتیب در قالب آزمون ناپارامتریک و پارامتریک در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از نسبت همبستگی اتا (η) برای بررسی ارتباط بین متغیر اسمی و متغیرهای پاسخ استفاده شد.

برای اجرای تحلیل رگرسیون به منظور تخمین مساحت روشنه‌های تاجی از روش تحلیلی منحنی تخمین استفاده شد و انواع تابع پایه مورد آزمون و اعتبارسنجی قرار گرفت. در بین توابع مختلف، تابع توانی ($f(A) = ax^b$) به عنوان مدل پایه برای

توسط تاج پوشش درختان در زمان ظهر بر پهنه زمین تصویر می‌شود و L_{low} طول تصویر حاصل از روشنه تاجی است (۲۱). در خصوص ویژگی‌های هندسی روشنه تاجی و گسترش یافته، رابطه ۱ برقرار است.

$$L_{low} = L_{noon} - 2L_r \Rightarrow L_{low} = L_{noon} - L_c \quad (1)$$

با استفاده از فراوانی و غنای گونه‌ای، شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان حاشیه روشنه از طریق روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شد (۱ و ۸).

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i) \quad (2)$$

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{-\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i)}{\ln(s)} \quad (3)$$

$$D = \sum_{i=1}^s (P_i)^2 \quad (4)$$

در کلیه روابط ۲، ۳ و ۴، H' ، J' و D به ترتیب شاخص‌های تنوع شانون وینر، یکنواختی پایلو و غلبه گونه‌ای معرفی می‌شوند. P_i فراوانی نسبی درختان گونه i در حاشیه روشنه و S تعداد گونه‌های موجود در حاشیه روشنه است. برای بررسی

در رابطه ۸، RMSE و /RMSE به ترتیب ریشه میانگین مربعات خطای مطلق و نرمال‌شده، y_i مقادیر مربوط به مشاهدات، \hat{y}_i مقادیر پیش‌بینی شده و y_{\min} و y_{\max} به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر مشاهدات در جنگل مورد پژوهش است.

نتایج

ویژگی‌های مساحت روشن‌های تاجی و گسترش یافته

محاسبات مستقیم بر مبنای مشاهدات صورت گرفته در رابطه با اندازه‌گیری مساحت روشن‌های تاجی و روشن‌های گسترش یافته، ویژگی‌های مختلفی را نمایان ساخت که نتایج به دست آمده در جدول ۱ خلاصه شده است. همان‌طور که قابل انتظار بوده و در جدول ۱ نیز نشان داده شده، به ازای هر رده مساحتی روشن تاجی، یک رده بزرگتر مساحتی در رابطه با روشن گسترش یافته در عرصه مورد پژوهش مشاهده شد. نتایج نشان داد که حداقل مساحت روشن تاجی ۶۸ مترمربع بوده، اما حداقل مساحت محاسبه شده روشن گسترش یافته تقریباً ۲ آر بوده که فضای اشغال آن تقریباً سه برابر مساحت روشن‌های تاجی بوده است (جدول ۱). از طرفی نتایج نشان داد که حداکثر مساحت روشن گسترش یافته در عرصه پژوهش تقریباً ۵ آر بیش از حداکثر مساحت روشن تاجی بوده است (جدول ۱). در جدول ۱ میانگین عددی مساحت روشن‌های تاجی و گسترش یافته در رده‌های مختلف مساحتی نشان داده شده که بر مبنای این نتایج، می‌توان استنباط دقیقی از میزان اختلاف سطح روشن‌های تاجی و گسترش یافته در هر رده سطحی داشت. در این راستا، نتایج نشان داد که ۸۱ درصد از فراوانی روشن‌های تاجی در منطقه مورد مطالعه مربوط به رده مساحتی کمتر از ۵ آر بوده، ولی روشن‌های گسترش یافته با مساحت کمتر از ۵ آر تنها ۵۷ درصد از کل فراوانی روشن‌ها را به خود اختصاص داده است (جدول ۱).

نتایج نشان داد که مساحت اشغال روشن‌ها در سراسر جنگل مورد مطالعه بر مبنای سطوح روشن‌های تاجی و روشن‌های گسترش یافته به ترتیب برابر با ۱۷۵ و ۲۸۵ آر است (جدول ۱).

تجزیه و تحلیل مدنظر قرار گرفت. در این رابطه، متغیر مستقل، روشن گسترش یافته بوده و برای آزمون افزایش دقت و اعتبارسنجی مدل، شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان حاشیه و واحدهای فیزیوگرافی داخل روشن‌ها نیز در قالب متغیرهای توصیفی معرفی شد. برای بسط معادله توانی مذکور به منظور اضافه نمودن متغیرهای توصیفی مزبور از تبدیل لگاریتمی (Log-transformed) استفاده شد و پس از آن از ضریب تصحیح محاسبه شده برای حذف خطای موجود در حین بازتبدیل (Back-transformed) از رابطه نمایی استفاده شد. روابط ۵، ۶ و ۷ به ترتیب تبدیل لگاریتمی، محاسبه ضریب تصحیح و بازتبدیل لگاریتمی مدل را نشان می‌دهد.

$$f(A) = f(A_n, \theta) + Z_n \Rightarrow \ln[f(A)] = k + b \ln(x) \quad (5)$$

$$CF = \text{Exp}\left(\frac{SEE^2}{\gamma}\right) \Rightarrow CF > 1 \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \lambda \exp[\ln(f(x))] \\ \ln(A) = a + bx \rightarrow A = \lambda \exp(\ln(A)) \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = CF \quad (7)$$

در روابط ۵، ۶ و ۷، $f(A)$ تابع غیرخطی مبنای CF فاکتور تصحیح، Z_n مقادیر خطای تخمین، x مقادیر متغیر مستقل و SEE اشتباه معیار تخمین رگرسیون تعریف می‌شوند. با توجه به تبدیل لگاریتمی تابع و تغییر ماهیت مدل به رگرسیون خطی چندگانه، شاخص‌های اعتبارسنجی شامل ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj})، فاکتور تورم واریانس ($VIF < 10$)، میانگین مربعات باقی‌مانده‌های برازش حاصل از تخمین (RMS) و شاخص صحت‌سنجی شامل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (/RMSE) برای بررسی دقت تخمین مدل انتخابی مدنظر قرار گرفت. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{1/2}, 0 \leq RMSE \Rightarrow \quad (8)$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100$$

جدول ۱. ویژگی‌های مساحت روشنه‌های تاجی و گسترش‌یافته در جنگل مورد پژوهش

رده‌های روشنه‌های گسترش‌یافته			رده‌های روشنه‌های تاجی			
آر > ۱۰	آر ۵-۱۰	آر ۲-۵	آر ۵-۱۰	آر ۲-۵	آر < ۲	
۱۰۸۰	۵۵۵	۲۰۵	۵۴۰	۲۳۰	۶۸	حداقل مساحت (مترمربع)
۲۰۷۳	۹۹۰	۴۷۶	۱۵۳۸	۴۸۰	۱۷۰	حداکثر مساحت (مترمربع)
۱۷۷۷	۶۹۲/۲۱	۳۳۱/۱۴	۸۱۳/۵۱	۳۱۱/۹۵	۱۳۴/۰۷	میانگین مساحت (مترمربع)
± ۷۴۳/۷۱	± ۱۲۳/۶	± ۸۰/۴۱	± ۲۹۷/۰۶	± ۷۷/۹۲	± ۳۱/۳۳	± انحراف معیار
۱۶۸۳	۶۹۰	۳۱۱	۷۲۱	۳۱۱	۱۴۰	میانه مساحت (مترمربع)
۱۲	۳۱	۵۷	۱۷	۴۹	۳۲	درصد فراوانی
۸۸۸۵	۱۰۳۸۳	۹۲۷۲	۸۱۳۵	۷۶۷۵	۱۸۷۷	مساحت اشغال رویشگاه (مترمربع)

حاکی از آن بود که مساحت روشنه‌های تاجی در جنگل مورد پژوهش تنها با شاخص‌های تنوع شانون و غلبه گونه‌ای ارتباط معنی‌داری داشته است (جدول ۳).

نتایج حاصل از آزمون همبستگی اسپیرمن و پیرسون در خصوص ارتباط بین مساحت روشنه‌های تاجی و روشنه‌های گسترش‌یافته به ترتیب مقادیر ۰/۸۸۶ و ۰/۹۴۱ را در سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد نشان داد.

نتایج تحلیلی مدل‌سازی رگرسیون

در جدول ۴ مدل‌های غیرخطی بهینه که بر حسب متغیرهای همبسته با متغیر پاسخ، دارای حداکثر دقت تخمین در مقایسه با سایر توابع بودند ارائه شده است. نتایج تحلیلی در رابطه با استفاده از توابع غیرخطی پایه نشان داد که تابع توانی بر حسب مقادیر مطلق روشنه گسترش‌یافته نسبت به سایر توابع غیرخطی با احتساب مقادیر میانگین مربعات باقی‌مانده‌های برازش حاصل از تخمین و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده بین مشاهدات و تخمین دارای حداکثر دقت و مبتنی بر سایر پارامترهای اعتبارسنجی ارائه شده در جدول از قطعیت بیشتری برخوردار است (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که متغیرهای تنوع شانون، غلبه گونه‌ای و فراوانی درختان حاشیه در مدل‌نمایی منجر به برازش مناسب در رابطه با تخمین مقادیر روشنه‌های تاجی در جنگل مورد پژوهش شده است (جدول ۴).

همبستگی مساحت روشنه‌های تاجی با پارامترهای تنوع گونه‌ای درختان حاشیه روشنه‌ها و واحدهای فیزیوگرافی

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون‌های ناپارامتریک همبستگی بین مساحت روشنه‌های تاجی و گسترش‌یافته با شاخص‌های زیست‌فیزیکی درختان حاشیه روشنه‌ها و همچنین با ویژگی‌های فیزیوگرافی داخل روشنه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان می‌دهد که تنها بین مساحت روشنه گسترش‌یافته و فراوانی درختان حاشیه روشنه‌ها ارتباط معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که بین میانگین قطر برابر سینه درختان حاشیه روشنه‌ها، تنوع شانون، غلبه گونه‌ای و فراوانی درختان حاشیه روشنه‌ها و مساحت روشنه تاجی ارتباط معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). نتایج آزمون‌های تحلیلی حاکی از آن بود که مساحت روشنه‌های تاجی و گسترش‌یافته هیچ ارتباط معنی‌داری با ویژگی‌های فیزیوگرافی در داخل روشنه‌ها نداشته است (جدول ۲).

به‌همین ترتیب مقادیر ارائه شده در جدول ۳ به تبعیت از قضیه حد مرکزی، ضرایب همبستگی پیرسون را بر مبنای آزمون همبستگی پیرسون (آزمون پارامتریک) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مساحت روشنه گسترش‌یافته هیچ ارتباط معنی‌داری با ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان حاشیه روشنه‌ها و واحدهای فیزیوگرافی ندارد (جدول ۳). همچنین نتایج به‌دست آمده

جدول ۲. ضرایب همبستگی ناپارامتریک مساحت روشنه‌ها با ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان و واحدهای فیزیوگرافی

ضریب اتا (η)	ضریب همبستگی اسپیرمن									
	جهت دامنه	ارتفاع از سطح دریا	شیب	فراوانی	D	J'	S	H'	H	DBH
۰/۳۵۸ ^{MS}	-۰/۲۸۶ ^{MS}	۰/۰۲۴ ^{MS}	۰/۴۱۶*	۰/۳۱۸ ^{MS}	۰/۰۸۰ ^{MS}	۰/۲۱۶ ^{MS}	۰/۲۵۳ ^{MS}	۰/۱۳۳ ^{MS}	۰/۲۸۰ ^{MS}	۰/۲۸۰ ^{MS}
۰/۴۵۹ ^{MS}	-۰/۰۳۴ ^{MS}	-۰/۱۶۵ ^{MS}	۰/۴۲۳*	-۰/۰۵۶۳**	-۰/۰۱۳ ^{MS}	۰/۲۹۵ ^{MS}	۰/۵۵۲**	-۰/۱۶۳ ^{MS}	۰/۳۲۵**	۰/۳۲۵**

MS: عدم اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و $P < ۰/۰۵$ و $P < ۰/۰۱$ و $P < ۰/۰۱$ ؛ DBH و H به ترتیب میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان حاشیه روشنه‌ها

جدول ۳. ضرایب همبستگی پارامتریک مساحت روشنه‌ها با ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان و واحدهای فیزیوگرافی

ضریب همبستگی پیرسون	ضریب همبستگی پیرسون								
	ارتفاع از سطح دریا	شیب	فراوانی	D	J'	S	H'	H	DBH
-۰/۱۸۹ ^{MS}	-۰/۱۲۶ ^{MS}	۰/۲۸۹ ^{MS}	-۰/۲۸۷ ^{MS}	-۰/۰۶۳ ^{MS}	۰/۲۵۹ ^{MS}	۰/۲۷۹ ^{MS}	۰/۰۷۹ ^{MS}	۰/۱۲۸ ^{MS}	مساحت روشنه گسترش یافته
-۰/۱۹۵ ^{MS}	-۰/۱۸۷ ^{MS}	۰/۲۴۴ ^{MS}	-۰/۰۵۲۹**	۰/۰۱۵ ^{MS}	۰/۳۰۶ ^{MS}	۰/۵۱۶**	-۰/۲۵۲ ^{MS}	۰/۰۷۸ ^{MS}	مساحت روشنه تاجی

MS: عدم اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و $P < ۰/۰۵$ و $P < ۰/۰۱$ و $P < ۰/۰۱$ ؛ DBH و H به ترتیب میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان حاشیه روشنه‌ها

جدول ۴. پارامترهای مدل‌های غیرخطی تک متغیره در رابطه با تخمین مساحت روشنه‌های تاجی در منطقه مورد پژوهش

کد	مدل	a	b	R ²	R ² Adj	RMS	RMSE%
۱	$CG = a(EG)^b$	۰/۵۱۳*	۱/۰۲۶**	۰/۷۹۵	۰/۷۹۱	۰/۰۹۹	۷/۶۶
۲	$CG = a \times \exp(b \times H')$	۱۵۱/۶۶**	۰/۵۵۸*	۰/۱۳۸	۰/۱۱۱	۰/۴۰۳	۲۳/۵۱
۳	$CG = a \times \exp(b \times D)$	۴۷۵/۰۵**	-۱/۲۵*	۰/۱۷۷	۰/۱۵۱	۰/۳۸۵	۲۳/۱۱
۴	$CG = a(Abum)^b$	۱۱۸/۶۴**	۰/۰۶۲*	۰/۱۵۳	۰/۱۲۱	۰/۳۹۷	۲۳/۱۶

CG: مقادیر هدف (مساحت روشنه‌های تاجی)، a و b: پارامترهای محاسباتی مدل‌های تخمینی

همچنین بر مبنای نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ میزان مساحت اشغال‌شده روشنه‌های تاجی و گسترش‌یافته در کل رویشگاه مورد پژوهش صرف‌نظر از حداکثر مفادیر سطوح روشنه‌های مزبور به ترتیب ۱/۶ و ۲/۷ هکتار است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود اختلاف سطحی معادل یک هکتار در این زمینه وجود دارد. از طرفی می‌توان عنوان کرد که سطح اشغال روشنه‌های تاجی و گسترش‌یافته به ترتیب ۴/۲ و ۷/۱ درصد از جنگل مورد پژوهش را به خود اختصاص داده است. بنابراین در صورت اجرای عملیات نشانه‌گذاری بدون در نظر گرفتن این واقعیت، تصویر نادرستی از ایجاد روشنه‌های واقعی به‌وقوع خواهد پیوست که این امر می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و اجرای هرچه صحیح‌تر طرح‌های جنگل‌شناسی همگام با طبیعت اختلال ایجاد کند. البته قابل ذکر است در جنگل‌هایی که بر مبنای گزینشی مدیریت می‌شوند، سطوح روشنه‌های ایجاد شده بر اثر اجرای شیوه مدیریتی مزبور یکی از عوامل مؤثر بر جای‌گشت جنگل (Forest turnover) و کیفیت یا کمیت آینده جنگل‌هاست. در این راستا اگر چه احتساب کلیه پروتکل‌ها و معیارهای تعریف‌شده در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت از جمله در نظر گرفتن قطر هدف، دیرزیستی درختان، صرفه اقتصادی و درآمدزایی، معیارهای عملیات اصلاحی و پرورشی، استقرار و ارتقاء تجدید حیات درختان در روشنه‌ها، حفظ ساختار پلکانی در توده‌های ناهمسال و ترکیب توده‌ای در مراحل مختلف تحولی به‌عنوان عوامل مؤثر و شاخص برای عملیات نشانه‌گذاری در جنگل‌های طبیعی محسوب می‌شود، اما باید در نظر داشت که پس از برنامه‌ریزی و در نظر گرفتن کلیه موارد مذکور برای چکش‌زنی و گزینش درختان، مهم‌ترین مبنای این رابطه اندازه سطح روشنه‌هایی است که پس از قطع درختان ایجاد خواهد شد. از طرفی، بر پایه عملیات میدانی برای محاسبه دقیق مساحت روشنه‌های گسترش‌یافته مطابق با شکل ۱ و همچنین مبتنی بر رابطه ۱ به‌طور بدیهی قابل انتظار است که سطح روشنه‌های گسترش‌یافته حاصل جمع مساحت تصویر روشنه‌های حاصل از روشنه تاج پوشش درختان و مجموع شعاع عرضی سایه‌های

در جدول ۵ پارامترهای عددی انواع مدل‌های خطی اعم از مدل خطی ساده، مدل خطی چندگانه و مدل‌های تبدیل لگاریتمی توابع توانی و نمایی بر حسب انواع متغیرهای توصیفی معرفی‌شده نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مدل خطی ساده بر حسب مفادیر روشنه گسترش‌یافته دارای دقت قابل ملاحظه‌ای بوده، ولی به‌لحاظ اعتبارسنجی دارای قطعیت نبوده است (جدول ۵). همچنین نتایج تحلیل‌های مختلف نشان داد که مدل ۸ بر حسب مفادیر روشنه گسترش‌یافته و تنوع‌شان درختان حاشیه‌ای دارای حداکثر دقت تخمین بوده است، اگر چه از نظر آماره میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها مقدار عددی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (جدول ۵). در این راستا، مدل خطی چندگانه حاصل از تبدیل لگاریتمی مدل پایه توانی مشتمل بر همه متغیرهای توصیفی معرفی‌شده، هم از نظر دقت تخمین و هم از نظر اعتبارسنجی و میزان قطعیت، مفادیر قابل قبولی را نشان داد (جدول ۵).

شکل‌های ۲، ۳ و ۴ تغییرات واریانس بین مفادیر پیش‌بینی‌شده و باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها تغییرات هم‌گرا یا واگرای واریانس قابل مشاهده نیست. در واقع نتایج نشان داد که مفادیر واریانس به‌ازای تغییرات مفادیر پیش‌بینی‌شده و باقی‌مانده‌ها ثابت بوده است.

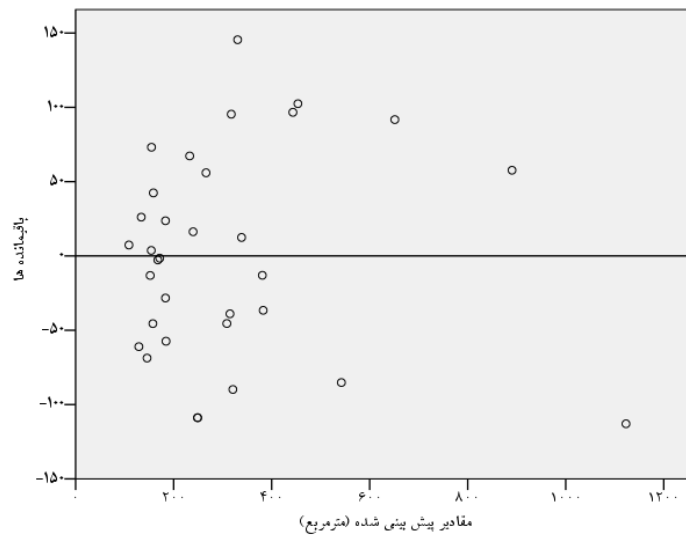
بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر در رابطه با ویژگی‌های مساحت روشنه‌ها نشان داد که به ازای هر رده مساحت روشنه تاجی، یک رده مساحت بزرگتر برای روشنه گسترش‌یافته وجود دارد. تحلیل داده‌های حاصل از آماربرداری نشان داد که حداقل مساحت روشنه‌های تاجی تقریباً ۷۰ مترمربع و حداقل مساحت روشنه‌های گسترش‌یافته ۲۰۰ مترمربع است. با استناد به مشاهدات ارائه شده در جدول ۱ مبتنی بر میانگین و میانه هر یک از رده‌های مساحت روشنه‌های موجود، می‌توان دریافت که روشنه‌های گسترش‌یافته در جنگل مورد مطالعه مساحتی تقریباً معادل بیش از دو برابر مساحت روشنه‌های تاجی دارند.

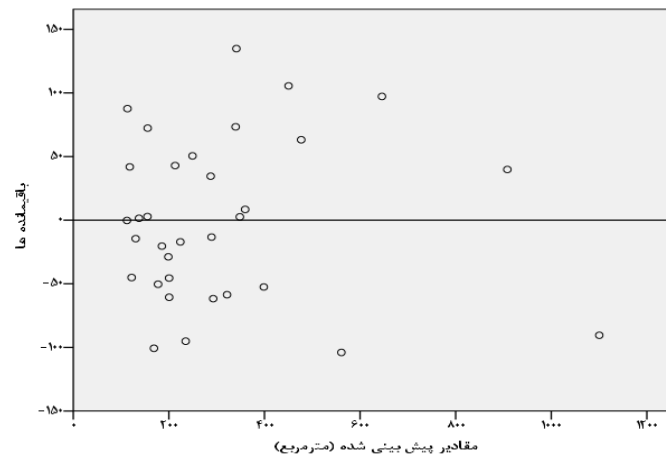
جدول ۵. پارامترهای مدل‌های خطی ساده و چندگانه در رابطه با تخمین مساحت روشن‌های تاجی در منطقه مورد پژوهش

RMSE%	VIF	CF	RMS	R ² Adj	R ²	m	k	c	b	a	مدل رگرسیون	کد
۳/۸۶	-	-	۴۸۴/۰۲	۰/۹۱۰	۰/۹۱۳	-	-	-	۰/۵۳۷**	۱/۰۳۱۲**	$CG = a(EG) + b$	۵
۲۸/۴۲	-	-	۴۸۱/۰۹	۰/۱۰۸	۰/۱۳۶	-	-	-	۱۹۱/۵۲*	۱۴۲/۵۷**	$CG = a(H) + b$	۶
۲۶/۱۴	-	-	۴۶۸/۷۵	۰/۱۳۱	۰/۱۵۸	-	-	-	-۴۰۹/۱۳*	۵۲۳/۷۸**	$CG = a(D) + b$	۷
۲/۳۶	۱/۰۸	-	۴۳۴۹/۸۸	۰/۹۱۹	۰/۹۲۴	-	-	۵۷/۵۳*	۰/۵۲۱**	-۳۰/۱۸ ^{ns}	$CG = a + b(EG) + c(H) + k$	۸
۲/۴۲	۱/۰۸	-	۴۰۳۶/۹۱	۰/۹۲۵	۰/۹۳۰	-	-	-۱۳۸/۹۸*	۰/۵۱۵**	۹۵/۱۸*	$CG = a + b(EG) + c(D) + k$	۹
۲/۷۳	۱/۰۹	-	۴۷۳۰/۵۳	۰/۹۱۸	۰/۹۲۲	-	-	۳/۹۴ ^{ns}	۰/۵۲۶**	-۲۹/۸۹ ^{ns}	$CG = a + b(EG) + c(Abun) + k$	۱۰
۲/۰۳	۳۳/۶	-	۳۲۸۰/۰۹	۰/۹۳۹	۰/۹۴۷	۴/۸۳ ^{ns}	-۸۵۳/۶۵**	-۳۸۱/۱۷**	۰/۵۰۴**	۷۵۰/۵۷*	$CG = a + b(EG) + c(H) + k(D) + m(Abun)$	۱۱
۷/۱۷	۱/۰۳	۱/۰۳۹	۰/۰۷۸	۰/۸۲۸	۰/۸۳۹	-	-	۰/۱۶۷ ^{ns}	۱/۰۱۷**	-۰/۷۰۹ ^{ns}	$\ln CG = a + b \ln(EG) + c \ln(H)$	۱۲
۶/۹۲	۱/۱۱	۱/۰۳۷	۰/۰۷۴	۰/۸۳۶	۰/۸۴۷	-	-	-۰/۲۲۴ ^{ns}	۰/۹۸۸**	-۰/۷۱۷ ^{ns}	$\ln CG = a + b \ln(EG) + c \ln(D)$	۱۳
۷/۱۶	۱/۱۲	۱/۰۴۱	۰/۰۸۱	۰/۸۲۱	۰/۸۳۲	-	-	۰/۱۲۸ ^{ns}	۱/۰۱۵**	-۱/۰۲۶ ^{ns}	$\ln CG = a + b \ln(EG) + c \ln(Abun)$	۱۴
۳/۳۷	۳/۳۷	۱/۰۴۰	۰/۰۷۹	۰/۸۲۶	۰/۸۴۷	۰/۰۵۳ ^{ns}	-۰/۲۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۹۸۱**	-۰/۷۸۳ ^{ns}	$\ln CG = a + b \ln(EG) + c \ln(H) + k \ln(D) + m \ln(Abun)$	۱۵
۲۲/۴۵	-	۱/۰۶۹	۰/۱۳۴	۰/۷۰۴	۰/۷۱۳	-	-	-	۰/۰۰۱**	۴/۷۴۱**	$\ln CG = a + b(EG)$	۱۶
۲۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۰۵۴	۰/۱۲۹	۰/۷۱۵	۰/۷۳۳	-	-	۰/۲۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۱**	۴/۵۸۶**	$\ln CG = a + b(EG) + c(H)$	۱۷
۲۲/۴۱	۱/۰۸	۱/۰۵۳	۰/۱۲۲	۰/۷۳۱	۰/۷۴۸	-	-	-۰/۵۷۹ ^{ns}	۰/۰۰۱**	۵/۰۹۵**	$\ln CG = a + b(EG) + c(D)$	۱۸
۲۱/۸۸	۱/۰۹	۱/۰۵۱	۰/۱۰۳	۰/۷۷۳	۰/۷۹۴	-	-	-۱/۷۴۷**	۰/۰۰۱**	۸/۴۰۳**	$\ln CG = a + b(EG) + c(H) + k(D)$	۱۹
۲۱/۰۳	۳۲/۳	۱/۰۴۲	۰/۰۸۸	۰/۸۰۶	۰/۸۳۰	۰/۰۳۶*	-۴/۹۶۲**	-۲/۳۵۶**	۰/۰۰۱**	۹/۰۶۵**	$\ln CG = a + b(EG) + c(H) + k(D) + m \ln(Abun)$	۲۰

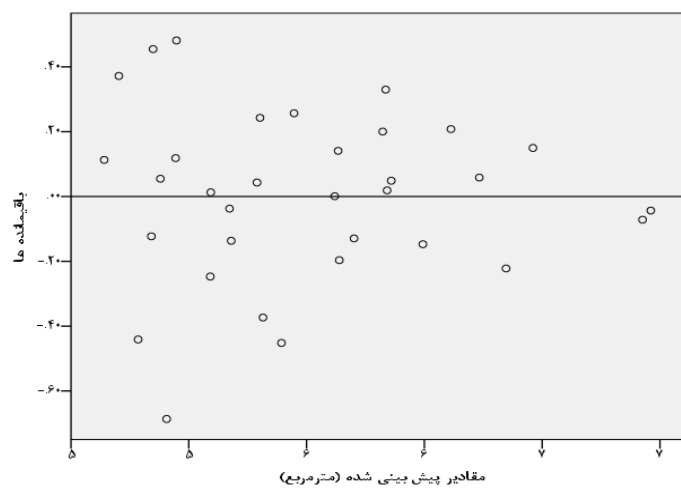
CG. مقادیر هدف (مساحت روشن‌های تاجی)، a, b, c, k و m : پارامترهای محاسباتی مدل‌های تخمینی



شکل ۲. تغییرات واریانس بین مقادیر باقی مانده‌ها و پیش‌بینی شده مدل ۱



شکل ۳. تغییرات واریانس بین مقادیر باقی مانده‌ها و پیش‌بینی شده مدل ۱۱



شکل ۴. تغییرات واریانس بین مقادیر باقی مانده‌ها و پیش‌بینی شده مدل ۱۵

این پلی‌گون، بخش‌های دور از سایه‌های حاصل از تاج‌پوشش درختان حاشیه دارای نور نسبی زیادتر و بخش‌های حاشیه روشن‌ها به دلیل تأثیرپذیری از سایه حاصل از تاج‌پوشش درختان مذکور به تدریج دارای نور نسبی کمتری هستند. از این‌رو، بخش‌هایی که مأخذ ورود نور در مساحت روشن‌ها گسترش یافته محسوب می‌شود به‌عنوان روشن‌های تاجی محسوب می‌شود. از طرفی هو و همکاران (۵) با استفاده از لنز چشم‌ماهی برای برآورد تقریبی مساحت روشن‌های تاجی عنوان کردند که یکی از عواملی که در رابطه با تغییرات شکل و مساحت روشن‌های تاجی تأثیرات عدیده‌ای داشته و همین‌طور سبب بروز خطای محاسباتی در برآورد مساحت روشن‌های تاجی می‌شود، ویژگی‌های نامتقارن تاج از جمله ارتفاع تاج درختان حاشیه روشن‌ها است. در واقع تأثیرگذاری شکل تاج و ویژگی‌های کمی تاج بر تغییرات مساحت روشن‌ها و میزان ورودی نور در آن قابل انتظار است و بین تأثیرگذاری بسیار مشهود است، اما آنچه واضح است عدم کنترل متغیرهای مربوط به ویژگی‌های تاج درختان در عملیات جنگل‌شناسی برای مدیریت بهینه تغییرات مساحت روشن‌ها در روند پویای جنگل و همچنین عدم کاربرد آنها در عملیات نشانه‌گذاری به‌خصوص بر مبنای زمان و سختی کار است. از این‌رو در پژوهش حاضر از ویژگی‌های زیستی از جمله شاخص‌های تنوع گونه‌ای به‌عنوان عامل پیش‌بینی برای تخمین مساحت روشن‌های تاجی استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون‌های همبستگی در پژوهش حاضر نمایانگر این بود که بین متغیر مساحت روشن‌های تاجی با شاخص‌های تنوع شانون و غلبه گونه‌ای درختان پراکنش‌یافته حاشیه روشن‌ها به ترتیب ارتباط صعودی و نزولی معنی‌دار برقرار است. با توجه به عدم اختلاف نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک، قطعیت این همبستگی در جنگل مورد پژوهش مبرز است. بنابراین در روند مدل‌سازی علاوه بر متغیر مساحت روشن‌های گسترش‌یافته از متغیرهای همبسته مزبور نیز برای برآورد هرچه قطعی‌تر و دقیق‌تر مقادیر مساحت روشن‌های تاجی استفاده شد. البته در این راستا از

حاصل از تاج‌پوشش درختان حاشیه روشن‌هاست. مهم‌ترین نکته‌ای که در این زمینه وجود دارد تغییرات زیاد در تصویر حاصل از سایه‌های شعاع عرضی تاج‌پوشش درختان حاشیه روشن‌ها در طول روز به دلیل تغییرات محور زمین نسبت به تابش آفتاب است (۲۱). اگرچه با اندازه‌گیری مستقیم شعاع عرضی تاج‌پوشش درختان حاشیه روشن‌ها این معضل حل‌شدنی است اما این اندازه‌گیری مستقیم به دلیل ارتفاع زیاد درختان و نامتقارن بودن تاج درختان پهن‌برگ پراکنش‌یافته در رویشگاه‌های جنگلی عملاً امکان‌پذیر نیست. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی شد پارامترهایی که قابلیت اندازه‌گیری بسیار آسان توسط نشانه‌گذار داشته باشد انتخاب شود. در این خصوص ویژگی‌های زیست‌فیزیکی روشن‌ها از جمله شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان و واحدهای مختلف فیزیوگرافی در داخل روشن‌ها در ارتباط با تغییرات مساحت روشن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که متغیر سطح روشن‌های تاجی و گسترش‌یافته با هریک از واحدهای فیزیوگرافی داخل روشن‌ها ارتباط معنی‌داری ندارد ($P < 0/05$). این نتیجه بدین معنی است که با توجه به حاکمیت روند پویا در جنگل مورد پژوهش، تغییرات مساحت روشن‌های مشاهده‌شده مستقل از تغییرات توپوگرافی بوده است. به‌همین دلیل برخلاف فرضیات موجود، واحدهای فیزیوگرافی به‌عنوان متغیرهای عامل و تأثیرگذار در رابطه با برآورد مساحت روشن‌های تاجی در روند مدل‌سازی معرفی نشدند. بدیهی است که اثرات حاشیه‌ای تاج‌پوشش درختان حاشیه روشن‌ها از جمله تأثیر آنها بر میزان ورود نور به روشن‌های گسترش‌یافته غیرقابل اجتناب است، اما آنچه مبهم است این است که ویژگی‌های ساختاری درختان حاشیه روشن‌ها به چه میزان بر مساحت روشن‌های تاجی تأثیر خواهد داشت. در رابطه با این موضوع، وانگ و همکاران (۱۹) عنوان کردند که روشن‌های گسترش‌یافته تحت تأثیر درختان حاشیه روشن‌ها در قالب یک پلی‌گون چندضلعی شکل می‌گیرد که در

و فراوانی درختان حاشیه روشن‌ها علاوه بر صحت زیاد تخمین، دارای قطعیت قابل قبول برای برآورد بهینه مساحت روشن‌های تاجی است. البته مدل‌های خطی ساده و چندگانه معرفی شده در جدول ۵ نیز دارای دقت زیادی برای تخمین متغیر پاسخ بودند، اما نتایج مربوط به میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها و فاکتور تورم واریانس مدل‌های مورد اشاره حاکی از عدم اعتبار آماری و قطعیت آنهاست. البته در خصوص مدل‌سازی زیستی با استفاده از تحلیل‌های رگرسیون بر مبنای مستندات مختلف تناقضات زیادی وجود دارد. به‌عنوان مثال سیلشی (۱۷) عنوان نموده که برای اینکه مدل محاسباتی حاصل از روند مدل‌سازی‌های زیستی دارای قابلیت کاربرد برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ باشد علاوه بر صحت و سقم قابل-قبول باید دارای قطعیت زیادی هم باشد، ولی پیکارد و همکاران (۱۳) برخلاف این عقیده در زمینه مدل‌سازی متغیرهای پاسخ در رابطه با تغییرات پدیده‌های زیستی در بوم‌سازگان‌های جنگلی بر این عقیده‌اند که وقتی برآوردهای حاصل از مدل طراحی شده رگرسیون در قیاس با مشاهدات دارای صحت و سقم زیادی باشند، اعتبارسنجی مدل از جمله عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل و نسبت کوواریانس متغیرهای عامل مورد سنجش لزومی ندارد. از نظر ایشان برازش مناسب مدل و حداقل خطای برآوردی نسبت به مشاهدات از شاخصه‌های انتخاب یک مدل بهینه است. البته در پژوهش حاضر نیز از این نظریه استقبال شد، اگرچه قطعیت برآوردی مدل‌ها نیز نادیده گرفته نشد چرا که نتایج مدل‌سازی پژوهش کنونی نشان داد که مدل خطی چندگانه بر حسب کلیه متغیرهای هم‌بسته و تک‌میلی (مدل ۱۱) اگرچه دارای همبستگی خطی زیادی بوده ($VIF < 10$) و مقدار عددی میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها نیز حاکی از عدم اعتبار تحلیلی-آماري مدل است، اما با توجه به دقت مدل و همچنین عدم تغییرات هم‌گرایی یا واگرایی واریانس مقادیر برآورد شده و مقادیر باقی‌مانده‌ها (شکل ۳)، از این مدل نیز می‌توان به‌عنوان معادله کاربردی برای تخمین صحیح متغیر پاسخ مورد پژوهش استفاده کرد.

متغیرهای قطر برابر سینه و فراوانی درختان حاشیه روشن‌ها نیز به‌عنوان متغیرهای تک‌میلی در مدل‌ها استفاده شد، اما تنها فراوانی درختان در مدل‌سازی‌های ارائه شده دارای برازش مناسب بوده و استفاده از قطر برابر سینه در مدل‌ها درخور توجه نبود. به همین دلیل از ارائه مدل‌های مشتمل بر قطر برابر سینه در بخش نتایج پژوهش حاضر صرف‌نظر شد.

نتایج مدل‌سازی برای معرفی معادله کاربردی و آسان برای عملیات نشانه‌گذاری نشان داد که تابع غیرخطی توانی برحسب متغیر مساحت روشن‌ها گسترش‌یافته دارای دقت و قطعیت قابل قبول بوده است. با توجه به اینکه تغییرات واریانس مقادیر پیش‌بینی شده در رابطه با باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل به‌صورت همگرا یا واگرا نبود، از این‌رو تابع مزبور با پارامترهای معرفی شده به‌عنوان معادله کاربردی برای نشانه‌گذاری قابل استناد است. در واقع استفاده از این‌گونه مدل‌های محاسباتی برای هریک از رویشگاه‌های جنگلی با در نظر گرفتن سایر عوامل کلیدی و شاخص‌های تعریف‌شده، کمک شایانی به اجرای هرچه بهتر عملیات نشانه‌گذاری می‌کند. کترینگ و همکاران (۶) در رابطه با مدل‌سازی تغییرات پویایی ساختار جنگل و همچنین میزان تغییرات زی‌توده هوایی عنوان کردند که در بوم‌سازگان‌های طبیعی که دارای روند پویا هستند توابع خطی برای مدل‌سازی کارآ نبوده و چون بین اجزای بوم‌سازگان طبیعی روابط پیچیده بوم‌شناختی و زیستی برقرار است، این ارتباطات در قالب توابع غیرخطی نمود بارزتری پیدا می‌کنند. در همین راستا علاوه بر کترینگ و همکاران (۶)، واحدی (۱۸) نیز عنوان کرد که مدل توانی به‌صورت تک‌متغیره یا مبتنی بر تبدیل لگاریتمی به‌منظور افزایش تعداد متغیرهای ترکیبی و متغیرهای مستقل با اتکا به روند بازتبدیلی نمایی، دارای حداکثر دقت و قطعیت برآوردی متغیرهای زیستی در بوم‌سازگان‌های جنگلی است. در این رابطه نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز نشان داد که مدل تبدیلی ارائه شده در جدول ۵ (مدل ۱۵) برحسب کلیه متغیرهای هم‌بسته اعم از روشن‌های گسترش‌یافته، شاخص تنوع شانون‌وینر، غلبه گونه‌ای

متخصص نشانه‌گذار قبل از قطع یک درخت یا چند درخت مجاور یکدیگر بر مبنای برش‌های تک‌گزینی یا گروه‌گزینی، مراکز قطع تا پایه‌های درختان مستقر در اطراف آن را به‌عنوان رئوس یک پلی‌گون در قالب روشن‌های گسترش‌یافته مدنظر قرار دهد. سپس با محاسبه مساحت پلی‌گون مذکور و شاخص‌های تنوع گونه‌ای با احتساب فراوانی درختان حاشیه مرکز عملیات قطع هر درخت، از معادلات کاربردی معرفی‌شده برای پیش‌بینی مساحت روشن‌های تاجی در زمان قبل از قطع درخت یا درختان در جنگل مورد پژوهش استفاده نماید.

به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، از نتایج پژوهش حاضر می‌توان به‌راحتی برای اجرای بهینه عملیات نشانه‌گذاری استفاده کرد. در واقع مدنظر قراردادن کلیه شاخص‌های مربوط به اجرای شیوه‌های گزینشی مبتنی بر جنگل‌شناسی همگام با طبیعت و دیگر عوامل مؤثر در این زمینه از جمله کنترل حجم، تراکم، موجودی و تنظیم ساختار، ترکیب و تنوع گونه‌ای توده‌ها و تبیین اندازه سطح روشن‌های واقعی (تاجی) در حین عملیات نشانه‌گذاری می‌تواند عامل بسیار تأثیرگذاری بر موفقیت یا شکست طرح‌های جنگل‌داری باشد. از این‌رو، کافی است

منابع مورد استفاده

1. Barnes, B. V., D. R. Zak, S. R. Denton and S. H. Spurr. 1998. *Forest Ecology*, 4th Edition. John Wiley and Sons Inc. 800 pages.
2. Bolton, N. W and A. W. D'Amato. 2011. Regeneration responses to gap size and coarse woody debris within natural disturbance-based silvicultural systems in Northeastern Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management* 262: 1215-1222.
3. Collins, R. J and W. P. Carson. 2004. The effects of environment and life stage on *Quercus* abundance in the eastern deciduous forest, USA: are sapling densities most responsive to environmental gradients? *Forest Ecology and Management* 201: 241-258.
4. Gray, A. N and T. A. Spies. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology* 84: 635-645.
5. Hu, L., G. Zhiwen, L. Junsheng and J. Zhu. 2009. Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. *Trees* 23: 1101-1108.
6. Ketterings, Q. M., R. Coe, M. V. Noordwijk, Y. Ambagau and C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
7. Marvie-Mohadjer, M. R. 2011. *Silviculture* (3rd ed.). University of Tehran, Tehran. (In Persian).
8. Mesdaghi, M. 2006. *Plant Ecology*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. (In Persian).
9. Mohammadi, L., M. R. Marvie-Mohadjer, V. Etemad, K. Sefidi and N. Nasiri. 2019. Natural regeneration within natural and man-made canopy gaps in Caspian natural beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forest, Northern Iran. *Journal of Sustainable Forestry* 39: 1-15.
10. Namiranian, M. 2003. *Forest Biometry and Tree Measurement*. University of Tehran Press, Tehran. (In Persian).
11. Nasiri, N., M. R. Marvie-Mohadjer, V. Etemad, K. Sefidi, L. Mohammadi and M. Gharehaghaji. 2017. Natural regeneration of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees in canopy gaps and under closed canopy in a forest in Northern Iran. *Journal of Forest Research* 29: 1075-1081.
12. Orman, O., D. Dobrowolska and J. Szwagrzyk. 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.
13. Picard, N., E. Rutishauser, P. Ploton, A. Ngomanda and M. Henry. 2015. Should tree biomass allometry be restricted to power models? *Forest Ecology and Management* 353: 156-163.
14. Runkle, J. R. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of Eastern North-America. *Ecology* 63: 1533-1546.
15. Schliemann, S. A and J. C. Bockheim. 2011. Methods for studying tree-fall gaps: a review. *Forest Ecology and Management* 261: 1143-1151.
16. Sefidi, K., M. R. Marvi-Mohadjer, R. Mosandl and C. A. Copenheaver. 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, Northern Iran. *Forest Ecology and Management* 262: 1094-1099.

17. Sileshi, G. W. 2014. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures. *Forest Ecology and Management* 329: 237-254.
18. Vahedi, A. 2017. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy* 88: 66-76.
19. Wang, Z., H. Yang, D. Wang and Z. Zhao. 2019. Spatial distribution and growth association of regeneration in gaps of Chinese pine (*Pinus tabuliformis* Carr.) plantation in Northern China. *Forest Ecology and Management* 432: 387-399.
20. Zhu, J., L. Deliang and W. Zhang. 2014. Effects of gaps on regeneration of woody plants: a meta-analysis. *Journal of Forestry Research* 25: 501-510.
21. Zhu, J., Z. Guangqi, W. G. Geoff, Y. Qiaoling, D. Lu., X. Li and Z. Xiao. 2015. On the size of forest gaps: can their lower and upper limits be objectively defined? *Agricultural and Forest Meteorology* 213: 64-76.

Predicting Canopy Gap Size Before Applying Single- or Group Selection Methods in the Hyrcanian Natural Mixed-Beech Forests (Case Study: Control Plot of Series 3 of Glandroud Forests)

A.A. Vahedi^{1*}

(Received: September 29-2020; Accepted: January 30-2021)

Abstract

During the marking operations planning in forest ecosystems, designing the canopy gap size (CGS) is not clearly possible and a marker can only be capable of calculating the expanded gap size (EGS) that will be created by cutting and felling trees. Therefore, the main goal of the current study was to provide a solution to this problem on the basis of accurate prediction for CGS, before applying selection methods, through developing regression models for predicting the CGS in Glandroud forests. On the basis of full inventory for measuring the area of canopy and expanded gaps using radial technique, calculating the species diversity indices and observations of physiographic units, the regression models were developed for estimating the CGS as the response in the research. The results showed that the site fraction occupied by expanded gaps has one hectare more than the fraction occupied by the canopy gaps. Furthermore, the results of correlation tests showed that the CGS had significant relationship with the Shannon diversity and species dominance indices. The results of analyses indicated that multiple linear regression log-transformed from the power function including EGS, correlated species diversity indices of gaps surrounding trees predicted the responses with statistically acceptable certainty and accuracy.

Keywords: Expanded gap, Predictive models, Natural disturbances, Trees marking

1. Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.

*: Corresponding Author, Email: as.vahedi@areeo.ac.ir