دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoids* Marsh) در جنگل‌کاری‌های استان گیلان

ایرج حسن زاد ناوردی[۱]، حسن قسمتی[۲] و سید مازیار رضوی[۳]

۱- دانشیار دانشگاه گیلان، (نویسنده مسوول: iraj.hassanzad@gmail.com)
۲- دانشجوی دکتری جنگلداری، پردیس دانشگاهی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا
۳- دکتری جنگلداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۶
صفحه: ۱۷۹ تا ۱۸۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: مدل‌های رشد و محصول جنگل، ابزارهای تصمیم‌گیری در مدیریت جنگل هستند. شاخص نسبت تاجی یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری است که از نسبت طول تاج زنده به ارتفاع کل درخت به دست می‌آید و به عنوان یک پارامتر مفید در ارزیابی سلامت جنگل، تنومندی درخت، کیفیت چوب، ثبات و استحکام درختان در مقابل باد، وضعیت رشد درختان و کیفیت رویشگاه، به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق، مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس با استفاده از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی نمایی، لجستیک و چاپمن–ریچارد در جنگل‌کاری‌های استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها: بدین منظور داده‌های مربوط به ۶۶۰ اصله درخت صنوبر دلتوئیدس شامل قطر برابرسینه، قطر یقه، ارتفاع کل، طول تاج، عرض تاج، سطح تاج، قطر تاج، سطح مقطع، ضریب سیلندری، ارتفاع تنه و نسبت تاجی اندازه‌گیری و ثبت شد. برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف، از ضریب تبیین (R^2)، آزمون t جفتی و از چهار آماره ارزیابی صحت میانگین خطا، انحراف معیار خطا، میانگین خطای نسبی و جذر میانگین مربعات خطای نسبی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مربوط به بررسی ضریب تبیین مدل‌های خطی و غیرخطی نشان داد که همه مدل‌ها از ضریب تبیین قابل قبولی برخوردارند (۰/۶۴۹ تا ۰/۷۴۳). آماره‌های ارزیابی صحت نیز نشان داد که از بین مدل‌های بررسی شده، تنها مدل‌های نمایی و خطی دارای صحت بیشتری هستند (به ترتیب ۵/۸۴ و ۱۸/۲۱). اما نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین میانگین نسبت تاجی برآورد شده با مدل نمایی و میانگین اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ در حالی که بین مدل‌های خطی، لجستیک و چاپمن–ریچارد با میانگین اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود دارد(Sig.= ۰/۰۰). با توجه به نتایج دقت و صحت مدل‌های مورد بررسی، مدل نمایی به عنوان مدل مناسب‌تر برای برآورد نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس در جنگل‌کاری‌های استان گیلان انتخاب شد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده می‌توان استفاده از شاخص نسبت تاجی را به منظور انتخاب گونه مناسب جهت زراعت چوب پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌کاری، جنگل همسال، رگرسیون‌های خطی و غیرخطی، صنوبر دلتوئیدس

مقدمه

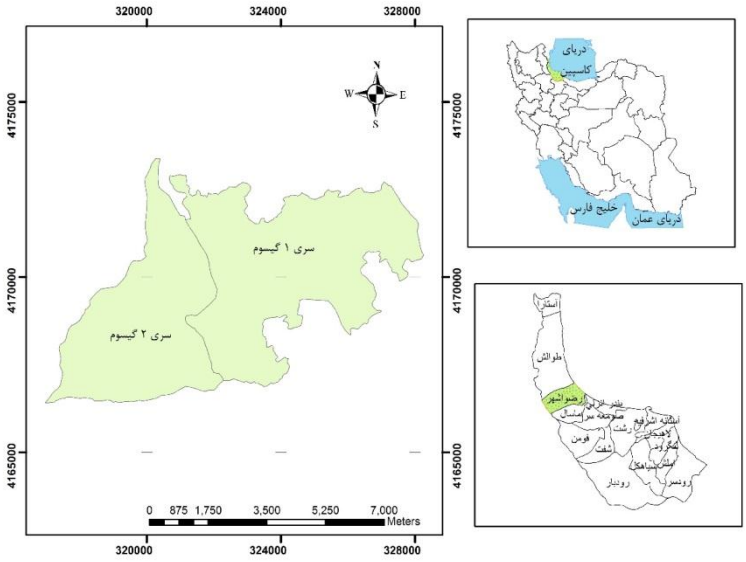
افزایش جمعیت و تقاضای چوب از یک طرف و تخریب عرصه‌های جنگلی و کند رشد بودن اکثر گونه‌های جنگلی ایران اهمیت و جایگاه فعالیت‌های جنگل‌کاری را به خوبی روشن می‌سازد که می‌تواند موجب بالا بردن پتانسیل تولید چوب در کوتاه‌مدت و کاهش بهره‌برداری چوب از جنگل‌های طبیعی گردد (۱). جنگل‌کاری علاوه بر اینکه می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مدیریتی برای احیای اراضی تخریب یافته و حفظ حاصلخیزی آنها مورد توجه باشد، می‌تواند اهداف دیگری مانند توسعه تجاری محصولات جنگل، تولید زی‌توده، تنوع زیستی و خدمات اکولوژیکی مانند جذب دی‌اکسیدکربن جو و افزایش کربن خاک را نیز برآورده سازد (۲۰). به همین دلیل پروژه‌های جنگل‌کاری در سال‌های اخیر با توجه به اثرات اکولوژیکی و اقتصادی– اجتماعی، رشد فزاینده‌ای داشته و به صورت یک فعالیت عمرانی و توسعه‌ای در سطح بین المللی مطرح گردید. بنابراین، لزوم حفاظت و احیا جنگل‌ها با اجرای فعالیت‌های جنگل‌کاری و زراعت چوب با استفاده از گونه‌های تندرشد بومی، به منظور تأمین چوب مورد نیاز صنایع، اجتناب‌ناپذیر است (۱۱). با توجه به این موضوع، ارزیابی اقتصادی و اکولوژیکی جنگل‌کاری‌ها برای تعیین میزان موفقیت آنها و همچنین انتخاب گونه‌های سازگار با توجه به اهداف مختلف کاشت برای جنگل‌کاری‌های آتی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (۱). آگاهی از مشخصات کمی و کیفی جنگل‌کاری‌ها از اصول مدیریت جنگل است و بسیاری از گزینه‌های جنگل‌شناسی از جمله اصلاح وضعیت توده‌ها، انتخاب گونه، ارزیابی میزان موفقیت جنگل‌کاری، تعیین میزان سازگاری گونه، حاصلخیزی رویشگاه، نرخ رویش توده و درصد زنده‌مانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین ارزیابی جنگل‌کاری‌های انجام شده می‌تواند نقش مهمی در ایجاد جنگل‌کاری‌های با کیفیت و کمیت بهتر در آینده ایفا کند (۷). یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری در مدیریت واحدهای جنگلی که به طور معمول در مدل‌های رشد و محصول نیز به کار می‌رود، مؤلفه تاج درخت می‌باشد (۸،۳،۲). اندازه تاج درخت تأثیر قابل توجهی بر روی رشد درخت دارد و در ارتباط با رشد درخت و بخش‌های مختلف درخت است (۱۷). به طور کلی، تاج درخت مؤلفه‌ای از تولید اولیه خالص و ابعاد آن منعکس کننده سلامت درخت است. تاج‌های بزرگ و انبوه در ارتباط با پتانسیل نرخ رشد و تاج‌های کوچک و تنک نیز منعکس کننده شرایط نامطلوب رویشگاه (رقابت، رطوبت، بیماری) هستند (۸). یکی از شاخص‌های مربوط به تاج درخت، نسبت تاجی می‌باشد که از نسبت طول تاج زنده به ارتفاع کل درخت به دست می‌آید و به عنوان یک پارامتر مفید در ارزیابی سلامت جنگل به شمار می‌رود (۱۴). نسبت تاجی شاخص مفید برای نشان دادن تنومندی درخت، کیفیت چوب، ثبات و استحکام در مقابل باد، تراکم توده و یک ویژگی جالب‌توجه در مدیریت بسیاری از منابع غیرچوبی شامل زیستگاه حیات‌وحش

و تفریح و تفرج است (۸،۵). دامنه مقادیر نسبت تاجی از صفر (برای درختان بدون تاج مانند درختان مرده یا بدون برگ) تا یک (برای درختان با تاج‌های گسترده که تنه درخت را می پوشاند) است. در آماربرداری جنگل اندازه‌گیری نسبت تاجی درخت برای همه درختان نمونه‌برداری شده زمان‌بر و پرهزینه است (۱۷،۵). بنابراین، توسعه مدل‌های نسبت تاجی درخت لازم و ضروری است که به مدیران جنگل اجازه می‌دهد تا به طور دقیق‌تری نسبت تاجی درخت را پیش‌بینی کنند. از طرفی دیگر، مدل‌های ریاضی ابزارهای کارآمدی برای مدل‌سازی پدیده‌های مختلف می‌باشند که در بررسی‌های مختلف در علوم جنگل به کار برده می‌شوند (۴). تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با مدل‌سازی نسبت تاجی گونه‌های جنگل‌کاری در ایران انجام نشده و تنها مطالعه در این زمینه مربوط به مطالعه میرزایی و همکاران (۱۰) است که به بررسی نسبت تاجی درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های طبیعی ایلام پرداختند و نتایج نشان داد که مدل نمایی نسبت به دو مدل لجستیک و چاپمن–ریچارد از دقت بیشتری در برآورد مشخصه نسبت تاجی درختان بلوط ایرانی برخوردار است. از بین مطالعات خارجی انجام شده، می‌توان به پژوهش‌های سوارز و تومه (۱۵) بر روی گونه اکالیپتوس، پوپولا و آدسویه (۱۲) بر روی گونه *Tectona grandis*، ژو و همکاران (۱۷) بر روی گونه *Cunninghamia lanceolata* و فو و همکاران (۳) بر روی گونه *Quercus mongolica* اشاره کرد. هدف از مطالعه حاضر، مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس با استفاده از مدل‌های خطی، نمایی، لجستیک و چاپمن–ریچارد و انتخاب مدل یا مدل‌های مناسب‌تر، در برآورد نسبت تاجی درختان در جنگل‌کاری‌های استان گیلان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل‌های دست‌کاشت سری ۲ گیسوم از جنگل‌های جلگه‌ای شمال شهرستان رضوانشهر انجام شده که در ۱۰ کیلومتری شرکت شفارود قرار دارد. سری مذکور از نظر استحفاظی زیر نظر اداره منابع طبیعی شهرستان رضوانشهر و تحت نظارت طرح‌های گیسوم قرار دارد. منطقه مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی در طول "۲۴ '۵۹ °۴۸ تا "۶۸ '۱۲ °۴۹ شرقی و عرض "۵۰ '۳۹ °۳۷ تا "۷۳ '۳۹ °۳۷ شمالی واقع شده است (شکل ۱). از سال ۱۳۶۰ تاکنون این جنگل‌ها با کاشت گونه‌های سریع‌الرشد نظیر صنوبر، توسکا و انواع سوزنی‌برگان مناسب مورد احیاء و بازسازی قرار گرفت. مساحت کلی سری معادل ۱۶۱۹/۲ هکتار است که ۱۴۱۱ هکتار آن قابل بهره‌برداری بوده که مساحت سطح برش قابل بهره‌برداری قطعات تحت برنامه‌ریزی در طرح تجدیدنظر به میزان ۹۱۴/۵ هکتار می‌باشد. مجموع سطح صنوبرکاری در این سری ۱۳۴/۵ هکتار بوده که با فاصله ۴×۲ متر کاشته شده است. از نظر دیرینه‌شناسی مربوط به دوره کواترنر بوده و از نظر چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی از نهشته‌های دوران چهارم تشکیل شده که اغلب از واریزه‌ها و قلوه‌های آبرفتی نیز هستند. بافت خاک از نوع لومی–رسی و تیپ خاک از نوع خاک‌های پسدوگلی تا گلی می‌باشد. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه از نوع خیلی مرطوب می‌باشد. متوسط میزان بارندگی سالیانه ۱۳۷۷/۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد است. حداقل ارتفاع منطقه مورد مطالعه از سطح دریا ۳۵ متر و حداکثر آن ۸۰ متر می‌باشد (۱۶).



شکل ۱– موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of study area

روش تحقیق

در این تحقیق، ۶۶۰ اصله درخت صنوبر دلتوئیدس قطع شده در عملیات بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری شد. مشخصه‌های اندازه‌گیری شده شامل قطر برابر سینه (DBH)، قطر یقه (DB)، ارتفاع کل (H)، طول (ارتفاع) تاج (CL)، عرض تاج (CW)، سطح تاج (CA)، قطر تاج (CD)،

سطح مقطع (BA)، ضریب سیلندری (SC) و ارتفاع تنه (BH) بود. ضریب سیلندری از رابطه زیر محاسبه شد:

رابطه (۱) $SC = {H \times 100}/{DBH}$

SC: ضریب سیلندری

H: ارتفاع کل درخت به متر

DBH: قطر برابرسینه به سانتی‌متر

پس از تجزیه و تحلیل‌های اولیه بر روی داده‌ها، ۸۵ درصد کل درختان اندازه‌گیری شده (۵۶۱ اصله) به منظور مدل‌سازی و ۱۵ درصد کل درختان اندازه‌گیری شده (۹۹ اصله) به منظور اعتبارسنجی و برآورد خطای مدل‌ها، بصورت تصادفی انتخاب شدند (۱۰، ۱۷). برای مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه (رابطه ۲) و روش‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک (رابطه ۳)، نمایی (رابطه ۴) و چاپمن–ریچارد (رابطه ۵) استفاده شد (۱۲،۳):

رابطه (۲) $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n$

رابطه (۳) $y = [1 - e^{-b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n}]^{-1}$

رابطه (۴) $y = \frac{1}{[1 + e^{-b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n}]^{\frac{1}{2}}}$

رابطه (۵) $y = b_0 + e^{-b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n}$

y: متغیر وابسته

b_0 تا b_n: ضرایب مدل

x_1 تا x_n: متغیرهای مستقل

از آزمون کولموگروف– اسمیرنوف به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. از آزمون t جفتی نیز به منظور مقایسه میانگین مشخصه نسبت تاجی مدل‌های مختلف با میانگین اندازه‌گیری شده استفاده شد. به‌منظور مدیریت داده‌ها و محاسبات اولیه از نرم‌افزار Excel 2013 و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد. به منظور ارزیابی و مقایسه صحت مدل‌های استفاده شده، از آماره‌های میانگین خطا (رابطه ۶)، میانگین خطای نسبی (رابطه ۷)، جذر میانگین مربعات خطا (رابطه ۸) و جذر میانگین مربعات خطا نسبی (رابطه ۹) استفاده شد (۶):

رابطه (۶) $ME = \frac{\sum[Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]}{n}$

رابطه (۷) $ME_r = \frac{ME}{\overline{Z}(x_i)} \times 100$

رابطه (۸) $RMSE = \sqrt{\frac{\sum[Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2}{n}}$

رابطه (۹) $RMSE_r = \frac{RMSE}{\overline{Z}(x_i)} \times 100$

ME: میانگین خطا

RMSE: انحراف معیار خطا

$\hat{Z}(x_i)$: مقدار برآوردی متغیر

$\overline{Z}(x_i)$: میانگین اندازه‌گیری شده متغیر

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر

n: تعداد نمونه‌ها

نتایج و بحث

نتایج آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده مربوط به درختان صنوبر در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که نتایج نشان می‌دهد میانگین نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس برابر ۰/۲۰۲ به دست آمد.

کم بودن مقدار نسبت تاجی درختان نشان دهنده تجاری بودن این گونه‌ها و اینکه جنگل‌کاری با هدف تولید چوب بوده است؛ زیرا درختان جنگل‌کاری شده در فواصل کم کاشته شده و در اثر رقابت بین درختان به منظور دریافت نور و انرژی، تنه این درختان بلندتر شده و این افزایش طول تنه سبب کاهش نسبت تاجی درختان می‌شود. همچنین با توجه به مقدار کم نسبت تاجی می‌توان بیان کرد که تراکم درختان صنوبر دلتوئیدس زیاد بوده که سبب رقابت و متعاقب آن کاهش نسبت تاجی شده است. سوارز و تومه (۱۵) در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس نشان دادند که با افزایش فاصله کاشت درختان اکالیپتوس، نسبت تاجی این درختان افزایش یافته و بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۲ متغیر می‌باشد. تمسجن و همکاران (۱۷) میزان نسبت تاجی درختان صنوبر لرزان را در جنگل‌های کانادا برابر ۰/۳۲ بدست آورد که با مقدار نسبت تاجی تحقیق حاضر در ارتباط با گونه صنوبر دلتوئیدس متفاوت است. از دلایل تفاوت می‌توان به نوع گونه صنوبر و همچنین روش انتخاب درختان اشاره کرد که در بررسی حاضر کلیه درختان مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند در حالی که در بررسی تمسجن و همکاران (۱۷) از روش قطعه نمونه دائم استفاده شد. میرزایی و همکاران (۱۰) نشان دادند که با توجه به تراکم پایین درختان بلوط ایرانی، تاج آنها گسترده بوده و در نتیجه نسبت تاجی درختان بلوط ایرانی بالا و برابر با ۰/۷۵ است. همچنین متراکم بودن درختان صنوبر دلتوئیدس در تحقیق حاضر، سبب افزایش رقابت به منظور دریافت انرژی و مواد غذایی شده که در نتیجه آن تنه درختان به صورت سیلندریک شده است. نتیجه تحقیقات پوپولا و آدسویه (۱۱) نیز نشان داده است که هر چقدر درختان دارای تنه سیلندری و بلند باشند، نسبت تاجی کمتری دارند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 1. Statistical parameters of measured variables for *P. deltoides* trees

مشخصه	میانگین±اشتباه معیار	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (٪)
قطر برابر سینه (cm)	۳۰/۳۰±۰/۳۳	۱۵/۰	۶۵/۰	۲۶/۳۶
قطر یقه (m)	۳۹/۴۹±۰/۴۱	۱۷/۰	۷۴/۰	۲۵/۰۶
ارتفاع کل (m)	۲۰/۹۲±۰/۱۵	۱۴/۲۴	۳۹/۵	۱۸/۰۲
طول (ارتفاع) تاج (m)	۴/۲۱±۰/۰۴	۲/۰۴	۸/۶	۲۳/۰۴
عرض تاج (m)	۲/۸۹±۰/۰۴	۲/۱۰	۵/۷	۳۲/۶۲
سطح تاج (m^2)	۹/۸۴±۰/۲۲	۳/۷۲	۴۹/۹۱	۵۳/۹۶
قطر تاج (m)	۳/۴۶±۰/۰۳	۲/۱۸	۷/۹۷	۲۱/۶۷
سطح مقطع (m^2)	۰/۰۷۷±۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۳۳	۵۴/۵۴
حجم (m^3)	۱/۶۶۸±۰/۰۵	۰/۳۱۳	۴/۱۲	۷۶/۷۳
ضریب سیلندری	۷۲/۹۰±۰/۸۲	۳۱/۰۳	۱۶۹/۴	۲۶/۸۳
ارتفاع تنه (m)	۱۶/۸۸±۰/۱۳	۹/۰	۳۴/۰	۱۸/۴۸
نسبت تاجی	۰/۲۰۲±۰/۰۰۱	۰/۱۱	۰/۳۹	۱۷/۳۲

نتایج همبستگی بین متغیر وابسته نسبت تاجی با متغیرهای مستقل قطر برابر سینه (DBH)، قطر یقه (DB)، ارتفاع کل (H)، طول یا ارتفاع تاج (CL)، عرض تاج (CW)، سطح تاج (CA)، قطر تاج (CD)، سطح مقطع (BA)، ضریب سیلندری (SC) و ارتفاع تنه (BH) نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متغیر نسبت تاجی با متغیرهای قطر یقه (۰/۵۲۳)، ارتفاع تاج (۰/۷۰۸) و قطر تاج درختان (۰/۳۱۲) وجود دارد (جدول ۲). همچنین نتایج آزمون هم‌خطی (ضریب تورم واریانس) نشان داد که هم‌خطی بین متغیرهای مستقل قطر یقه، ارتفاع تاج و قطر تاج درختان وجود ندارد (جدول ۳). بنابراین از این متغیرها به منظور مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر استفاده شد.

جدول ۲- نتایج همبستگی بین متغیر وابسته نسبت تاجی و متغیرهای مستقل اندازه‌گیری شده درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 2. Results of correlation between of crown ratio with measured variables for *P. deltoides* trees

همبستگی	متغیرهای مستقل									
	DBH	DB	H	CL	CW	CA	CD	BA	SC	BH
ضریب همبستگی	-۰/۰۹۰^{ns}	۰/۵۲۳*	-۰/۰۹۵^{ns}	۰/۷۰۸*	-۰/۰۹۷^{ns}	۰/۲۰۷^{ns}	۰/۳۱۲*	-۰/۰۹۳^{ns}	۰/۰۶۱^{ns}	-۰/۱۱۸^{ns}

*: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ns: عدم معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۳- نتایج آزمون ضریب تورم واریانس متغیرهای مستقل

Table 3. Results of VIF test for independent variables

متغیر	ضریب تورم واریانس
قطر یقه و ارتفاع تاج	۲/۵
قطر یقه و قطر تاج	۱/۸۸
ارتفاع تاج و قطر تاج	۲/۷۰

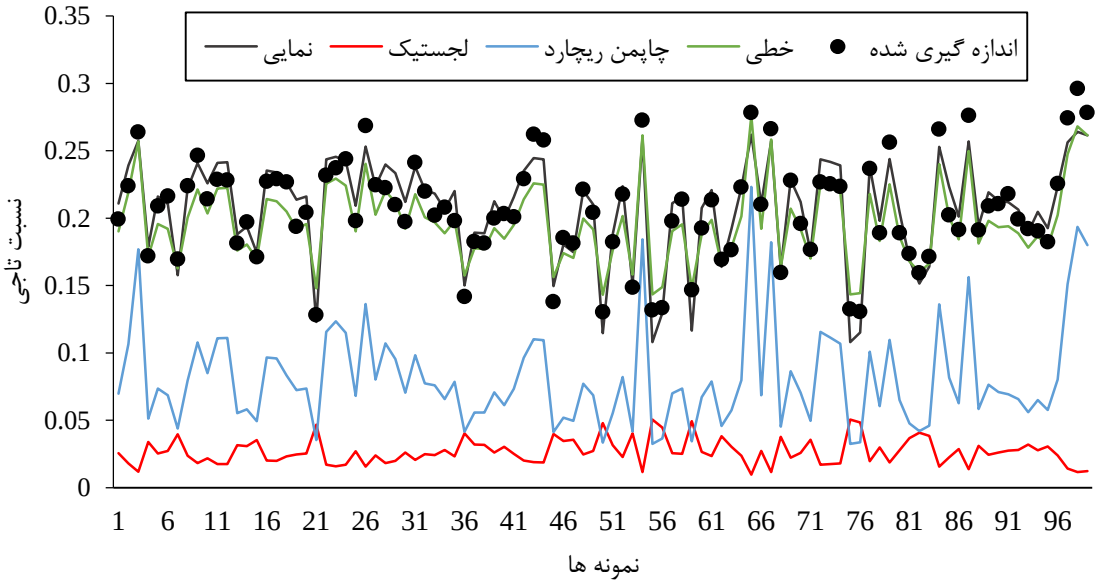
نتایج حاصل از مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی نمایی، لجستیک و چاپمن- ریچارد در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، همه مدل‌های بررسی شده از ضرب تبیین (R^2) قابل قبولی برخوردار هستند. میرزایی و همکاران (۱۰) بیان کردند که از بین مدل‌های بررسی شده تنها مدل نمایی از ضریب تبیین بالایی برخوردار بوده که با نتایج این پژوهش به دلیل متفاوت بودن گونه‌های بررسی شده تفاوت دارد. پس از مدل‌سازی، نسبت تاجی درختانی که برای اعتبارسنجی مدل‌ها کنار گذاشته شده بود، محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ و شکل ۲ آورده شده است. همان طور که نتایج نشان می‌دهد مقدار میانگین نسبت تاجی به دست آمده از مدل‌های نمایی و خطی به مقدار میانگین نسبت تاجی اندازه‌گیری شده نزدیک است. فو و همکاران (۳) نیز بیان می‌کنند که اختلاف معنی‌داری بین میانگین نسبت تاجی درختان بدست آمده با استفاده از مدل نمایی با میانگین اندازه‌گیری شده وجود ندارد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ۴- نتایج مدل‌های خطی و غیرخطی نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس
Table 4. Results of linear and nonlinear models of crown ratio for *P. deltoides* trees

تابع	مدل	ضریب تبیین (R^2)
نمایی	$CR = 0.004 + e^{-0.003(DB)-4.344(\frac{1}{CL})-0.113(CD)}$	۰/۷۴۳
لجستیک	$CR = [1 - e^{1.815-0.002(DB)-0.26(CL)+0.212(CD)}]^{-1}$	۰/۶۴۹
چاپمن- ریچارد	$CR = \frac{1}{[1 + e^{3.63-0.004(DB)-0.519(CL)+0.424(CD)}]^{\frac{1}{2}}}$	۰/۶۴۹
خطی	$CR = 0.120 + 0.045(CL) - 0.033(CD)$	۰/۶۷۹

جدول ۵- آماره‌های توصیفی مدل‌های نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس
Table 5. Descriptive statistics of crown ratio models for *P. deltoides* trees

تابع	میانگین±اشتباه معیار	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (٪)
نمایی	۰/۲۰۷±۰/۰۰۳	۰/۱۰۸	۰/۲۶۴	۱۷/۸۷
لجستیک	۰/۰۲۶±۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۵۰	۳۴/۶۱
چاپمن- ریچارد	۰/۰۸۱±۰/۰۰۳	۰/۰۳۲	۰/۲۲۳	۴۶/۹۱
خطی	۰/۱۹۶±۰/۰۰۲	۰/۱۴۳	۰/۲۷۶	۱۴/۷۹
اندازه‌گیری شده	۰/۲۰۶±۰/۰۰۳	۰/۱۲۸	۰/۲۹۶	۱۷//۹۶



شکل ۲- مقادیر مشاهده شده متغیر نسبت تاجی و مقدار برآوردی با مدل‌های بررسی شده
Figure 2. Observed values of crown ratio and estimated values with studied models

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین برآورد نسبت تاجی با استفاده از مدل نمایی با مقدار اندازه‌گیری شده وجود ندارد در حالی که اختلاف بین میانگین برآوردی با استفاده از مدل‌های خطی، لجستیک و چاپمن- ریچارد با مقدار اندازه‌گیری شده معنی‌داری است (جدول ۶). نتایج آماره‌های ارزیابی صحت که در جدول ۷ ارائه شده است، نشان داد که در بین مدل‌های بررسی شده به منظور برآورد نسبت تاجی درختان صنوبر، مدل نمایی نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار است. براساس نتایج مقایسه میانگین نسبت تاجی برآوردی با استفاده از مدل‌های مورد مطالعه و نتایج آماره‌های ارزیابی صحت، مدل نمایی نسبت به سایر مدل‌های بررسی شده از دقت بیشتری در برآورد نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس برخوردار است. برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که مدل نمایی نسبت به مدل‌های دیگر عملکرد بهتری دارند (۱۲،۱۰،۳). لیتس و همکاران (۹) در جنگل‌های آمریکا بیان کردند که بهترین مدل نسبت تاجی هفت گونه دوگلاس، کاج، تسوگا، کاج پاندروزا، کاج قندی، کاج سفید و ارس غربی، مدل لجستیک بوده که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد. همچنین سایود و همکاران (۱۳) بیان کردند که مدل لجستیک نسبت به دیگر مدل‌ها از

دقت بیشتری در برآورد نسبت تاجی درختان کاج (*Pinus echinata Mill.*) برخوردار هستند که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. تراکم درختان، متفاوت بودن گونه‌های بررسی شده و همچنین تفاوت شکل تاج درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ از دلایل تفاوت نتایج است. به طوری که شکل تاج درختان سوزنی‌برگ به صورت مخروطی و بلند بوده در حالی که شکل تاج درختان پهن‌برگ گسترده می‌باشد. همچنین میزان رویش درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ با هم تفاوت دارد و مجموعه این تفاوت‌ها سبب تغییر در میزان نسبت تاجی درختان می‌شود.

جدول ۶- مقایسه میانگین برآوردی مدل‌های نسبت تاجی با میانگین اندازه‌گیری شده
Table 6. Comparison of estimated mean of crown ratio with measured mean

تابع	t	Df	معنی‌داری
نمایی	-۱/۲۱۶	۹۸	۰/۲۲۷^{ns}
لجستیک	۳۸/۲۹۵	۹۸	۰/۰۰*
چاپمن- ریچارد	۷۴/۰۴۲	۹۸	۰/۰۰*
خطی	۸/۱۴۹	۹۸	۰/۰۰*

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول ۷- ارزیابی صحت مدل‌های بررسی‌شده در برآورد نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس
Table 7. Accuracy evaluation of models in estimation of crown ratio for *P. deltoides* trees

تابع	ME	ME_r	RMSE	$RMSE_r$
نمایی	-۰/۰۰۱	-۰/۷۱۱	۰/۰۱۲	۵/۸۴
لجستیک	۰/۱۷۹	۸۷/۰۷	۰/۱۸۵	۸۹/۲۹
چاپمن- ریچارد	۰/۱۲۴	۶۰/۳۳	۰/۱۲۵	۴۷۰/۸۴
خطی	۰/۰۰۹	۴/۵۹	۰/۰۱۴	۱۸/۲۱

نتیجه‌گیری کلی

همان‌طور که بیان شد نسبت تاجی در واقع نسبت طول تاج درخت سرپا به ارتفاع کل درخت است که شاخص مفیدی از تنومندی درخت و همچنین تراکم درختان توده بوده و به طور وسیعی برای پیش بینی میزان رویش و محصول درختان و جنگل‌ها به کار برده می‌شود. نتایج این بررسی نشان داد که میانگین نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس برابر ۰/۲۰۲ است. نتایج آزمون‌های همبستگی و هم‌خطی نشان داد که متغیرهای تأثیرگذار به منظور مدل‌سازی نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس شامل قطر یقه، ارتفاع تاج و قطر تاج هستند. نتایج ضریب تبیین مدل‌های بررسی شده نشان داد که علی‌رغم بالاتر بودن ضریب تبیین (R^2) مدل نمایی، سایر مدل‌ها نیز از ضریب تبیین قابل قبولی برخوردارند. شاخص نسبت تاجی درختان نیز شاخصی از وضعیت رقابتی درختان در هر توده جنگلی به حساب می‌آید. پایین بودن میانگین نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس در این پژوهش، بیانگر وجود رقابت بین درختان موجود در توده‌های جنگل‌کاری می‌باشد. با توجه به آزمون‌ها و آماره‌های ارزیابی مختلف، نتایج این پژوهش نشان داد که به منظور برآورد نسبت تاجی درختان صنوبر دلتوئیدس در جنگل‌کاری‌های استان گیلان، استفاده از مدل نمایی نسبت به دیگر مدل‌های بررسی شده ارجحیت دارد. اطلاعات به دست آمده از این پژوهش می‌تواند به عنوان یک مرجع کلیدی برای مطالعات آینده در زمینه توسعه برنامه‌های مدیریتی و مداخلات پرورشی جنگل در جنگل‌کاری‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان از این شاخص به عنوان معیاری برای ارزیابی میزان موفقیت جنگل‌کاری‌ها در تولید چوب استفاده کرد. زیرا هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد نشان‌دهنده میزان چوب بیشتر درختان است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده به بررسی ومقایسه نسبت تاجی گونه‌های مختلف در جنگل‌کاری‌ها پرداخته شود. همچنین بررسی مقایسه ای بین این شاخص با معیارهای دیگر برای انتخاب گونه مناسب در جنگل‌کاری‌ها انجام شود. بنظر می رسد شاخص نسبت تاجی مستقلا و یا همراه با لحاظ نمودن برخی معیارهای دیگر بتواند مبنایی مناسب برای محاسبه تولید چوب بوده و یکی از معیارهای مهم در انتخاب گونه برای جنگل‌کاری‌ها و زراعت چوب باشد.

منابع

1. Alizadeh Anaraki, K., F. Lashgarara and H. Kiadaliri. 2012. Effect of Socio-economic factors on development of poplar plantation in Guilan province (Case Study: Somesara). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(2): 346-356 (In Persian).
2. Fu, L., H. Sun, R.P. Sharma, Y. Lei, H. Zhang and Sh. Tang. 2013. Nonlinear mixed-effects crown width models for individual trees of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in south-central China. Forest Ecology and Management, 302: 210-220.
3. Fu, L., H. Zhang, J. Lu, H. Zang, M. Lou and G. Wang. 2015. Multilevel nonlinear mixed-effect crown ratio models for individual trees of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) in northeast China. PLOS ONE, 10(8): e0133294.
4. Hassanzad Navroodi, I. and I. Moradi Emam Qeysi. 2020. Fitting tree height distributions in natural beech forest stands of Guilan (Case study: Masal). Ecology of Iranian Forests, 7(14): 1-9 (In Persian).

5. Hasenauer, H. and R.A. Monserud. 1996. A crown ratio model for Austrian forests. Forest Ecology and Management, 84: 49-60.
6. Johnston, K., J.M. VerHoef, K. Krivoruchko and N. Lucas. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst. Esri Redlands, 300 pp.
7. Khalife Soltanian, F., B. Kiani, M.H. Hakimi Meybodi and A. Tabande Sarvi. 2016. Comparing growth and success of Eldarican pine (*Pinus eldarica* Medw.) in pure and mixed stands with river red gum (*Eucalyptus camadulensis* Dehnh.) in Shahid-Paidar Park, Ardakan. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(3): 549-558 (In Persian).
8. Kozlowski, T., P. Kramer and S. Pallardy. 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press, New York.
9. Leites, L.P., A.P. Robinson and N.L. Crookston. 2009. Accuracy and equivalence testing of crown ratio models and assessment of their impact on diameter growth and basal area increment predictions of two variants of the forest vegetation simulator. Canadian Journal of Forest Research, 39: 655-665.
10. Mirzaei, M., A.E. Bonyad, R. Akhavan and R. Naghdi. 2019. Crown Ration Modelling of *Quercus Brantii* Trees in Dalab Forests of Ilam. Iranian Journal of Forest, 11(1): 1-11 (In Persian).
11. Naderi Varandi, M., A. Kialashaki, R. Veisi and A. Shekheslami. 2018. Effect of altitude on some quantitative and qualitative characteristics of *Populus deltoids* trees. Ecology of Iranian Forests, 6(12): 30-38 (In Persian).
12. Popoola, F.S. and P.O. Adesoye. 2012. Crown ratio models for *Tectona grandis* (Linn. f) stands in Osho forest reserve, Oyo state, Niġeria. Journal of Forest Science, 28(2): 63-67.
13. Saud, P., T.B. Lynch, K.C. Anup and J.M. Guldin. 2016. Using quadratic mean diameter and relative spacing index to enhance height–diameter and crown ratio models fitted to longitudinal data. Forestry, 89: 215-229.
14. Sprinz, P.T. and H.E. Burkhart. 1987. Relationships between tree crown, stem and stand characteristics in unthinned loblolly pine plantations. Canadian Journal of Forest Research, 17: 534-538.
15. Soares, P. and M. Tomé. 2001. A tree crown ratio prediction equation for eucalypt plantations. Annals of Forest Science, 58: 193-202.
16. Tayf Saz Sabz Consulting Engineers. 2017. Revision Plan of District 2 Gisoom, 172 pp (In Persian).
17. Temesgen, H., V. Lemay and S.J. Mitchell. 2005. Tree crown ratio models for multi-species and multi-layered stands of southeastern British Columbia. The Forestry Chronicle, 81(1): 133-141.
18. Vafaei, S., M. Pourhashemi, M. Pirbavaghar and E. Jafari. 2016. Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests. Iranian Journal of Forest, 7(4): 539-555 (In Persian).
19. Xu, H., Y. Sun, X. Wang, Y. Fu, Y. Dong and Y. Li. 2014. Nonlinear Mixed-Effects (NLME) Diameter Growth Models for Individual China-Fir (*Cunninghamia lanceolata*) Trees in Southeast China. PLOS ONE, 9(8): e104012. doi:10.1371/journal.pone.0104012.
20. Yiqing, L., X. Ming, X. Zou, S. Peijun and Z. Yaoqi. 2005. Comparing soil organic carbon dynamics in plantation and secondary forest in wet tropics in Puerto Rico. Global Change Biology, 11: 239-248.

Crown Ratio Modeling of *Populus Deltoids* Trees in Plantation of Guilan Province

Iraj Hassanzad Navroudi[1], Hassan Ghasmati[2] and Seyed Maziar Razavi[3]

1- Associate Professor, University of Guilan, (Corresponding Author: iraj.hassanzad@gmail.com)
2- PhD Student, Department of Forestry, University Campus, University of Guilan, Rasht, Iran
3- PhD of Forestry, Forests, Range and Watershed Management Organization, Rasht, Iran
Received: Jun 11, 2020 Accepted: August 16, 2020

Abstract

Introduction and Objective: The tree crown component is one of the decisions making tools in units of forest management and commonly used in growth and yield models. One of the indices in related to tree crown in crown ratio which is the ratio of live crown length to the total height of the tree. The purpose of this study was to crown ratio modeling of poplar trees (*Populus deltoides*) using linear and nonlinear regressions (exponential, logistic and Chapman-Richard) in plantations of Guilan province.

Material and Methods: For this purpose, the data related to 660 poplar trees including DBH, collar diameter, total height, crown length, crown width, crown area, crown diameter, basal area, tree slenderness coefficient, stem height and crown ratio were measured and recorded. To evaluate and compare different models were used coefficient of determination (R^2), paired-samples t-test and four accuracy statistics including ME, RMSE, ME_r and $RMSE_r$.

Results: The coefficient of determination of linear and nonlinear models showed that all models have acceptable coefficient of determination. Also, the results of accuracy statistics showed that the exponential and linear models were more accurate than the other models. But the results of mean comparison test indicated there was no significant difference between of measured mean with estimated mean of crown ratio derived from exponential model. While there was significant difference between of measured mean of crown ratio with estimated mean of linear, logistic and Chapman-Richard models. Regarding to the results of precision and accuracy of studied models, exponential model was selected as the more suitable model for estimation of crown ratio of poplar trees in plantations of Guilan province.

Conclusion: Based on the obtained results, it can be suggested to use the crown ratio index in order to select a suitable species for wood cultivation.

Keywords: Even-aged forest, Linear and nonlinear regressions, Plantation, *Populus deltoids*