اندازه‌گیری و مدل‌سازی نمایه نسبت تاج برای گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در جنگل حفاظت شده باغ شادی استان یزد (مقالهٔ پژوهشی)

۱- اسما امیری، دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- بهمن کیانی*، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
bnkiani@yazd.ac.ir
۳- علی‌اکبر جعفری، دانشیار گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸

چکیده

نسبت تاج یکی از مهم‌ترین مشخصات درختان برای مدل‌سازی رشد و همچنین ارزیابی فضای رقابتی در توده‌های جنگلی است. هدف از این پژوهش مدل‌سازی نمایه نسبت تاج برای گونه بنه در منطقه حفاظت شده باغ شادی یزد در ناحیه رویشی ایران-تورانی بوده است. نمونه‌برداری به روش ترانسکت ممتد با در نظر گرفتن حد شمارش بیش از پنج سانتی‌متر انجام گرفت. در هر خط نمونه ارتفاع کل درخت، ارتفاع تاج، قطر برابرسینه و ارتفاع از سطح دریا اندازه‌گیری شد. برای بررسی نوع و شدت رابطه متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و قطر تنه با نسبت تاج، ابتدا تحلیل همبستگی انجام شد. برای مدل‌سازی از روش‌های تحلیل رگرسیون خطی، تخمین منحنی (شامل مدل‌های درجه‌دو، درجه سه، لجستیک، نمایی، معکوس و توانی خطی شده) و غیرخطی (لجستیک، ریچارد، وایبول و نمایی) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل خطی برازش یافته بر داده‌های قطر برابر سینه به‌منظور پیش‌بینی نسبت تاج، ازنظر آماری معنی‌دار است اما مقدار ضریب تعیین قابل‌توجه نبود (R^2 = ۰/۳۳). مدل‌های غیرخطی نیز حداکثر ۳۴ درصد تغییرات نسبت تاج را با دقت مناسب پیش‌بینی کردند. متغیر ارتفاع از سطح دریا پیش‌بینی کننده مناسبی برای نسبت تاج درختان بنه نبود. در این پژوهش به علت تنک بودن توده جنگلی، نبود رقابت مؤثر بین درختان و یکنواختی محیط رقابتی، نسبت تاج کمتر تحت تأثیر متغیرهای مستقل مانند قطر برابرسینه قرار گرفت. بر این اساس، در توده‌های تنک مناطق کوهستانی ایران-تورانی، توسعه مدل‌های قدرتمند برای پیش‌بینی نسبت تاج با موفقیت کمی همراه خواهد بود.

واژگان کلیدی: تاج‌پوشش، توپوگرافی، رگرسیون، مدل‌های غیرخطی.

مقدمه

مدل‌ها چکیده‌ای از واقعیت هستند که تلاش دارند ارتباطات موجود در یک سیستم را مفهوم‌سازی کنند [۲۹]. در مدل‌سازی جنگل، یک رابطه ریاضی ایجاد می شود که بر اساس آن می‌توان آینده جنگل را پیش‌بینی و آن را مدیریت نمود. برای این کار از تحلیل رگرسیون به‌صورت گسترده استفاده می‌شود [۱۲].

از جمله اطلاعاتی که به مدیریت بهتر جنگل کمک می کند، مشخصات تاج و میزان شاخ و برگ درختان است. ابعاد و مشخصات تاج تعیین‌کننده توان فتوسنتزی و تولید بیوماس، تنظیم نور در کف جنگل که بر تجدید حیات تأثیر می گذارد و همچنین پایداری درختان در مقابل عوامل محیطی مانند طوفان خواهند بود. تأثیر یک تاج قوی نه‌تنها بر میزان چوب تولیدشده بلکه حتی بر نوع آن نیز اثر دارد.

با توجه به تحقیقات انجام‌شده در مورد تاج درختان، می‌توان این متغیر را به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد و توسعه جنگل قلمداد نمود. این مؤلفه به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده در معادلات رشد قطر و ارتفاع نقش مهمی ایفا می‌کند [۱۶].

مهم‌ترین ویژگی تاج که در اغلب تحقیقات موردمطالعه و مدل‌سازی قرارگرفته، نسبت تاج است. این مؤلفه نشان‌دهنده بنیه درخت بوده و یک متغیر مهم زیستگاهی

محسوب می شود [۱]. نسبت تاج ابزار مهمی در مدیریت جنگل برای پیش‌بینی تولید محصول و مدل‌سازی آن است. این متغیر از تقسیم طول تاج به ارتفاع کل درخت محاسبه می شود. درواقع نسبت تاج درصدی از ارتفاع کل درخت است که واجد شاخ و برگ می‌باشد [۷].

تاکنون پژوهشی به‌منظور مدل‌سازی نسبت تاج درختان جنگلی در کشور انجام‌نشده است. ازجمله تحقیقات انجام‌شده در دیگر کشورها می‌توان به پژوهش هولدوی (۱۹۸۶) اشاره نمود که قطر برابرسینه را متغیر مهمی در پیش‌بینی نسبت تاج معرفی و بیان داشت که با افزایش قطر درختان، نسبت تاج آن‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش قطر تا رسیدن به نقطه کلیماکس بوده و پس از آن این ارتباط مستقیم سیر نزولی یافته و سپس متوقف می‌شود [۱۰]. همچنین مدهارست و بیدل (۲۰۰۱) بیان نمودند که در توده‌های تنک شده، ابعاد درخت روی نسبت تاج اثری ندارد. آن‌ها تراکم توده را عامل مهمی در تعیین نسبت تاج دانستند [۱۵]. به‌طور مشابه ژائو و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود در مورد کاج تدا (*Pinus taeda* L.) اثر تراکم جنگل روی نسبت تاج را معنی‌دار دانستند [۳۰]. در تحقیقات بریل و داگلی (۲۰۱۲) عنوان شد که با افزایش رقابت بین درختان صنوبر لرزان (*Populus termuloides* L.) و افزایش تراکم توده، نسبت تاج کمتر می شود [۳]. پژوهش سنسیلا و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که قطر برابرسینه متغیر مناسبی برای پیش‌بینی نسبت تاج درختان بلوط در جنگل‌های اروپا است [۵].

در پژوهش مانسرد و استربا (۱۹۹۶) در جنگل‌های اتریش و در مورد گونه‌های مختلف کاج، راش و شاه‌بلوط، از قطر برابرسینه، طول تاج، ارتفاع از سطح دریا و شیب به‌منظور مدل سازی رشد و محصول جنگل استفاده شد. نتایج نشان داد متغیرهای قطر برابر سینه و طول تاج برای گونه‌های مختلف از ۳۳ تا ۶۲ درصد و ارتفاع از سطح دریا تنها سه درصد از تغییرات را پیش‌بینی می‌کنند [۱۶]. تحقیقات لیتس و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که نسبت تاج برای مدل‌سازی رشد جنگل مهم بوده و قطر درخت پیش‌بینی کننده مناسبی برای این منظور است [۱۳]. مطالعه ماکلا و والنتین (۲۰۰۶) در مورد گونه‌های مختلف جنگل‌های بوره آل در فنلاند نشان داد که نسبت تاج اهمیت زیادی در تعیین رابطه شاخ و برگ درخت و زی‌توده چوبی آن داشته و توصیه نمودند که اندازه‌گیری نسبت تاج در آماربرداری جنگل به‌صورت استاندارد و متداول انجام شود [۱۴].

گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های حاضر در ترکیب جنگل‌های کوهستانی ایران-تورانی و زاگرس بوده و در ایران در محدوده ۸۰۰ تا ۲۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا رویش دارد. شکل تاج معمولاً کروی و درخت دارای تنه واحد است. برگ‌ها پهن شانه‌ای، میوه خوشه‌ای، خزان شونده و گرده‌افشانی به‌وسیله باد صورت می‌گیرد [۶].

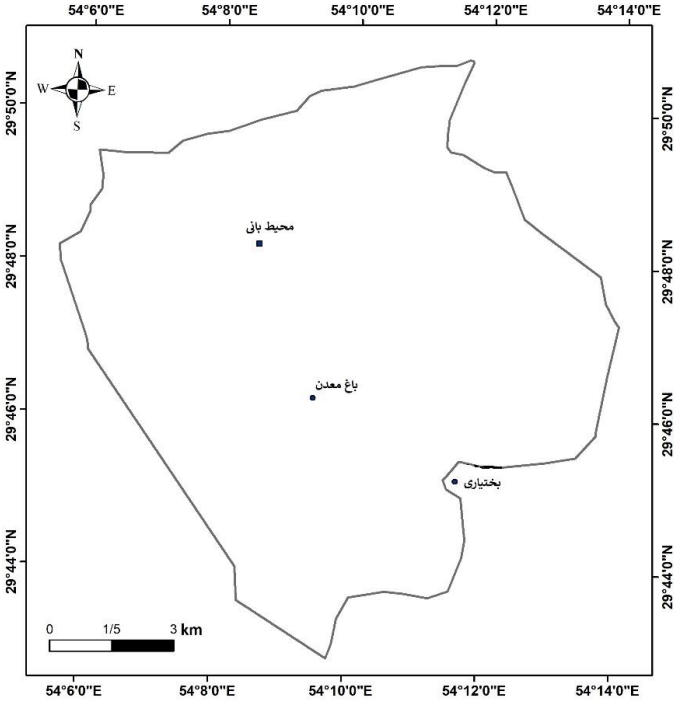
در پژوهش پیش رو، نخستین بار نسبت تاج که نشان‌دهنده بنیه درخت و فضای رقابتی موجود در توده‌های جنگلی است، برای گونه بنه بررسی و مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی آن برازش یافته است. بررسی رابطه نسبت تاج و سایر متغیرهای درخت، برازش مدل‌های مختلف و معرفی بهترین مدل به‌منظور پیش‌بینی نسبت تاج گونه بنه، بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یک متغیر مهم توپوگرافی بر نسبت تاج درختان بنه و تعیین نسبت تاج برای درختان بنه از مهم‌ترین اهداف پژوهش بوده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در بخشی از محدوده ۱۱۶۶۵ هکتاری منطقه حفاظت شده باغ شادی در جنوب استان یزد انجام شده که جزو جنگل‌های خشک ایران-تورانی است. تیپ غالب جنگلی این منطقه بنه-بادام بوده و تنوع گونه‌ای این منطقه حفاظت‌شده خاص و شامل گونه‌های باارزشی مانند بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، بادام‌کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، کیکم (*Acer monspessulanum* subsp *cineracens* Boiss.)، تنگرس (*Amygdalus lycioides* Spach.)، پرند (*Pterophyrum aucheri* Jaubert & Spach.)، افدرا (*Ephedra procera* Fish. & May) و شمار زیادی از گونه های مرتعی می‌شود. موقعیت جغرافیایی منطقه حفاظت‌شده باغ شادی بین عرض "۵۰ ' ۴۲ ° ۲۹ تا "۴۱ '

۵۰ °۲۹ شـــمالی و طول "۰۰ '۱۴ °۵۴ تا "'۵۰ ۴۲ °۵۴ شـــرقی قرار دارد (شـــکل ۱). بخش عمده این منطقه را اراضی پرشیب کوهستانی و تپه‌ماهوری تشکیل داده‌اند. در این محدوده روســـتاهایی مانند باغ معدن و بختیاری قرار داشته و حفاظت آن از سال ۱۳۸۵ آغاز شده است [۹].



شکل ۱- موقعیت منطقه حفاظت‌شده باغ شادی در استان یزد

مرتفع‌ترین نقطه دارای ارتفاع ۲۶۶۴ متر و پســـت‌ترین نقطه ۱۸۴۰ متر از ســـطح دریا ارتفاع دارد. در بخش قرق محدوده تغییرات ارتفاعی ۲۳۲۰-۲۱۲۰ متر است. میانگین سالانه دمای هوا ^{o}C ۱۳/۳ میانگین بارندگی سالانه ۲۸۵/۲ میلی‌متر و اقلیم منطقه با اســـتفاده از روش‌های آمبرژه و دومارتن نیمه‌خشـــک تعیین‌شـــده اســـت [۱۷]. بر اســـاس تحقیقات، تراکم جنگل در بخش قرق ۲۲۰ ا صله در هکتار بوده که ســـهم گونه بنه ۶۴/۳ پایه در ســـطح هکتار اســـت. همچنین میزان تاج‌پوشـــش در بخش قرق ۹۲۶/۸ مترمربع در هکتار بوده که سهم گونه بنه ۴۲۳/۳ مترمربع در هکتار اســـت. درختان بنه موجود همگی به‌صـــورت دانه‌زاد بوده و تنه واحد دارند [۹].

روش تحقیق

ابتدا نقشـــه منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و بخشـــی که محصـــور و موردحفاظت بود به مســـاحت ۱۳۵ هکتار انتخاب شـــد. لازم به ذکر اســـت که در این بخش هیچ نوع ورود افراد بومی و یا دام وجود ندارد و کاربری آن حفاظت تعیین و با دقت اجرا می‌شود. سپس ۱۰ ترانسکت ممتد به فاصـــله ۲۰۰ متر از یکدیگر با کمک یک نقطه تصـــادفی در جهت شیب غالب عر صه روی نق شه جنگل م شخص و تا مرز محدوده قرق در دو طرف امتداد یافت. مخت صات نقاط شروع ترانسکت‌ها ثبت و جهت کار میدانی یادداشت شد. در عر صه با یافتن نقطه شروع، به سمت آزیموت از پیش تعیین‌شـــده حر کت کرده و کل یه درخ تان بـنه با قطر برابر سینه بیش از پنج سانتیمتر که تنه یا تاج آن‌ها خط را قطع می‌کرد موردراندازه‌گیری قرار گرفت.

درمجموع ۲۵۱ اصـــله درخت بنه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. ابتدا با کمک شیب سنج سونتو دید نوک، دین بن و دید پایین تاج ثبت و سپس فاصله تا درخت با متر نواری تا دقت ســـانتی‌متر اندازه‌گیری شـــد. ارتفاع کل درخت و نسبت تاج از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد [۱۲].

$$H = (tg_{\alpha}-tg_{\beta}) \times d \qquad (1)$$

$$CR = CL / H \qquad (۲)$$

که در آنها: H ارتفاع کل درخت بر حسب متر، tg_{α} عدد قرائت شده با شیب سنج سونتو هنگام دید رفتن به نوک درخت، tg_{β} عدد قرائت شده مربوط به بن درخت و d فاصله افقی آماربردار تا درخت بر حسب متر هستند. همچنین CR نسبت تاج و CL طول تاج بر حسب متر است. لازم به ذکر است که طول تاج از کسر نمودن ارتفاع کل از ارتفاع تنه به دست می‌آید. قطر برابرسینه با نوار قطرسنج تا دقت میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا با ارتفاع‌سنج تا دقت متر اندازه‌گیری و ثبت شد. انتخاب متغیر قطر برابرسینه و تمرکز بر آن برای مدل‌سازی به علت سهولت اندازه‌گیری آن نسبت به اندازه‌گیری مستقیم نسبت تاج بوده و بعلاوه در تحقیقات متعددی در سایر کشورها مدنظر قرار گرفته است [۱ ، ۳ و ۲۱].

در قسمت محاسبات ابتدا آماره‌های توصیفی متغیرها به دست آمد. صحت ثبت داده‌ها در مرحله اندازه‌گیری و واردکردن به کامپیوتر با محاسبه کمینه و بیشینه مورد کنترل قرار گرفت. روابط متغیرها با رسم نمودار پراکنش به‌صورت چشمی موردبررسی قرارگرفته و برای بررسی رابطه ارتفاع از سطح دریا و قطر تنه با نسبت تاج، ابتدا تحلیل همبستگی انجام شد. برای مدل‌سازی روش‌های تحلیل رگرسیون خطی ساده، تخمین منحنی و همچنین رگرسیون غیرخطی استفاده شد. پیش‌فرض‌های تحلیل رگرسیون شامل نبود داده‌های پرت با رسم نمودار پراکنش، مستقل بودن مقادیر خطا با آزمون دوربین-واتسون، تصادفی بودن پراکنش مقادیر خطا با رسم نمودار مقادیر پیش‌بینی‌شده در مقابل مقادیر خطا و نرمالیته مقادیر خطا با آزمون کلموگروف -اسمیرنف بررسی شد. مدل‌های تک متغیره مبتنی بر ارتفاع از سطح دریا و قطر برابرسینه برای پیش‌بینی نسبت تاج بودند. همچنین رابطه قطر برابرسینه و طول تاج موردبررسی و مدل‌سازی قرار گرفت. در تحلیل رگرسیون غیرخطی از مدل‌های لجستیک، ریچارد، وایبول و نمایی استفاده شد. انتخاب این مدل‌ها بر اساس تجربیات به‌دست‌آمده در سایر تحقیقات بوده است [۱ و ۲۵]. شکل عمومی مدل‌های لجستیک، ریچارد، وایبول و نمایی به ترتیب در روابط ۳ تا ۶ آمده است [۱۹]:

$$Y= b_0/ b_1 +b_2 e^{(m-cX)} \qquad (۳)$$

$$Y = b_0/b_1+b_2 e^{(m-cX)1/k} \qquad (۴)$$

$$Y = b_0(b_1+b_2 e^{(-kX)m}) \qquad (۵)$$

$$Y = b_0(b_1+b_2 e^{(-kX)}) \qquad (۶)$$

که در آنها: x متغیر مستقل، b_0 خط مجانب و b_1، b_2، c، k و m پارامترهای مدل هستند. کلیه محاسبات و تجزیه‌وتحلیل‌ها با نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. لازم به ذکر است که مقادیر متغیرها باید به صورت ابتدایی به نرم‌افزار معرفی شوند. این مقادیر که به آنها مقادیر آغازین[1] گفته می‌شود بر اساس اطلاعات قبلی، آزمایش‌های گذشته، مقادیر نظری یا تجربیات دیگران به دست می‌آیند. از روش تخمین منحنی برای برازش مدل‌های درجه‌دو، درجه سه، معکوس و همچنین لگاریتمی و لجستیک خطی شده استفاده شد. برای مقایسه مدل‌ها از دو شاخص ضریب تعیین و ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا از رابطه ۷ به دست آمد [۲۳]:

$$RMSE = \sqrt{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2/n} \qquad (۷)$$

که در آن‌ها: RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، $\hat{Y}_i$ مقدار برآوردی متغیر وابسته و Y_i مقدار واقعی آن برای هر یک از مشاهدات و n تعداد داده‌ها هستند. گاهی متغیرهای وابسته دارای واحد اندازه‌گیری متفاوتی هستند. بنابراین، برای مقایسه مدل‌های مبتنی بر یک متغیر مستقل برای پیش‌بینی آن‌ها، لازم است مقدار RMSE به دامنه متغیر وابسته تقسیم شود که در این صورت ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به دست خواهد آمد. مقدار NRMSE از رابطه ۸ محاسبه شد [۲۳]:

[1]- Starting values

$$NRMSE = RMSE/(Yi_{max} - Yi_{min}) \qquad (۸)$$

که در آنها: NRMSE ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا[1]، Yi_{max} بزرگ‌ترین داده برای متغیر وابسته و Yi_{min} کوچک‌ترین مقدار آن هستند. ضریب تعیین که مشخص‌کننده قدرت پیش‌بینی متغیرهای مستقل است از رابطه ۹ موردمحاسبه قرار گرفت [۲۱]:

$$R^2 = 1 - [\frac{\sum(Y_i - \overline{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \overline{Y}_i)^2}] \qquad (۹)$$

که در آن: Y_i مقدار مشاهده شده متغیر وابسته، $\overline{Y}$ میانگین مقادیر مشاهده شده متغیر وابسته و R^2 ضریب تعیین هستند. برای بررسی اعتبار مدل‌ها، نمودارهای پراکنش و نرمالیته مقادیر خطا به صورت گرافیکی رسم و بررسی شد. به‌منظور اعتبارسنجی و بررسی قابلیت تعمیم مدل‌ها از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای آزمون استفاده شد. رویه General Linear Model برای مقایسه مقدار ثابت و شیب خط رگرسیون بین مدل برازش شده و مدل مبتنی بر داده‌های آزمون مورداستفاده قرار گرفت. به این منظور ابتدا متغیر مصنوعی ساخته شد که داده‌های آموزش و آزمون مدل را با کدهای ۰ و ۱ مشخص کند. معنی‌دار نبودن مقدار p-value برای اثر این متغیر به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین شیب خط دو مدل و معنی‌دار نبودن p-value برای اثر متقابل این متغیر با متغیر مستقل به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین شیب خط دو مدل برازش شده و آزمون است [۲۸].

نتایج

آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده در مورد درختان سرپا در جدول ۱ مشاهده می‌شوند. اشتباه نمونه‌برداری کم و در حد قابل‌قبول قرار داشت. محاسبات نسبت تاج نشان‌دهنده این هستند که به‌طور متوسط دوسوم ارتفاع درخت به تاج اختصاص یافته است. مقدار ضریب پایداری یا ضریب قدکشیدگی (نسبت ارتفاع به قطر) نشان‌دهنده رویش درختان در فضای باز بوده و از طرفی تائید کننده پایداری درختان در مقابل عوامل محیطی مانند بادافتادگی است.

با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها، برای بررسی رابطه قطر برابرسینه و نسبت تاج از آزمون پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین قطر برابرسینه و نسبت تاج درختان بنه وجود دارد (r = ۰/۵۷). در خصوص رابطه ارتفاع از سطح دریا و نسبت تاج، با توجه به نرمال نبودن توزیع‌داده‌ها از تحلیل همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد که رابطه بین ارتفاع از سطح دریا و نسبت تاج معنی‌دار است (r = -۰/۲۳). با افزایش ارتفاع از سطح دریا نسبت تاج کاهش یافت، اما قطر برابر سینه رابطه مستقیم با نسبت تاج نشان داد. تحلیل رگرسیون خطی ساده نشان داد که مدل خطی برازش شده بر داده‌های قطر برابرسینه به‌منظور پیش‌بینی نسبت تاج معنی‌دار است اما مقدار ضریب تعیین آن قابل توجه نبود (جدول ۲). بر این اساس می‌توان گفت قطر برابرسینه متغیر قدرتمندی برای پیش‌بینی نسبت تاج درختان بنه در منطقه مورد مطالعه نیست.

بررسی اعتبار مدل نشان داد که توزیع مقادیر خطا نرمال بوده و پراکنش آن‌ها حالت همگن دارد. همچنین آزمون دوربین واتسون نشان‌دهنده این بود که مقادیر خطا مستقل هستند. مقدار NRMSE کمتر از ۲۰ درصد بوده که نشان‌دهنده یک مدل دقیق است [۲۲] در خصوص ارتفاع از سطح دریا برای پیش‌بینی نسبت تاج، نتایج نشان داد که مدل خطی برازش شده معنی‌دار بوده اما مقدار ضریب تعیین ناچیز است (جدول ۳). ارتفاع از سطح دریا متغیر مناسبی برای پیش‌بینی نسبت تاج درختان بنه در منطقه موردمطالعه ارزیابی نمی‌شود. بررسی اعتبار مدل نشان داد که توزیع مقادیر خطا نرمال بوده و پراکنش آن‌ها حالت همگن دارد. همچنین آزمون دوربین واتسون نشان داد که مقادیر خطا مستقل هستند. اعتبار مدل نیز با کمک داده‌های کنار گذاشته‌شده مورد تائید قرار گرفت.

[1]- Normalized Root Mean Square Error

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای موردمطالعه

متغیر	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	اشتباه نمونه‌برداری (٪)
قطر برابرسینه (cm)	۳۵/۶	۱۷/۳۱	۶/۳۷	۸۲/۸	۶/۲
ارتفاع کل (m)	۵/۵	۱/۴۵	۲/۶۹	۹/۴۴	۳/۳
نسبت تاج	۰/۷۱	۰/۰۹	۰/۳۵	۰/۹۱	۱/۶
نسبت ارتفاع به قطر	۱۸/۶	۸/۰۴	۷/۷۰	۴۷/۹۰	۵/۵

جدول ۲- مؤلفه‌های مدل برای پیش‌بینی نسبت تاج بر اساس قطر برابرسینه

اجزای مدل	B	T	p-value	R^2	SE	Durbin-Watson	NRMSE %
مقدار ثابت	۰/۶۰۹	۵۶/۸۴	۰/۰۰۰	۰/۳۳	۰/۰۷	۱/۴۱	۱۳/۷۵
قطر برابرسینه	۰/۰۰۳	۱۱/۰۲	۰/۰۰۰				

جدول ۳- مؤلفه‌های مدل برای پیش‌بینی نسبت تاج بر اساس ارتفاع از سطح دریا

اجزای مدل	B	T	P-value	R^2	SE	Durbin-Watson	NRMSE %
مقدار ثابت	۱/۵۹	۸/۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۸۱	۱/۱۱	۱۲/۷۳
ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۰۰۲	۴/۶۲	۰/۰۰۰				

نتایج نشان داد که مدل خطی برازش شده بر داده‌های قطر برابر سینه به‌منظور پیش‌بینی طول تاج معنی‌دار است و این متغیر ۶۲ درصد تغییرات را پیش‌بینی می‌کند (جدول ۴). بر این اساس می‌توان گفت قطر برابرسینه متغیر مناسبی برای پیش‌بینی طول تاج درختان بنه در منطقه مورد مطالعه است؛ اما تنها ۱۶ درصد از تغییرات ضریب پایداری (نسبت ارتفاع به قطر) درختان بنه بر اساس متغیر نسبت تاج قابل پیش‌بینی بود. مدل به‌دست‌آمده دقت مناسبی ندارد. همچنین کم بودن ضریب تعیین نشان‌دهنده این است که اگر نسبت ارتفاع به قطر برابرسینه به‌عنوان شاخص پایداری مدنظر باشد، نسبت تاج تعیین‌کننده این شاخص نیست.

جدول ۴- مؤلفه‌های مدل برای پیش‌بینی طول تاج بر اساس قطر برابرسینه

متغیر وابسته	اجزای مدل	B	t	P-value	R^2	SE	Durbin-Watson	NRMSE %
طول تاج	مقدار ثابت	۱/۶۸	۱۲/۹	۰/۰۰۰	۰/۶۲	۰/۸۲	۱/۱۹	۱۵/۶۷
	قطر برابرسینه	۰/۰۶۶	۱۹/۹	۰/۰۰۰				
ضریب پایداری	مقدار ثابت	۳۸/۳	۱۲/۳	۰/۰۰۰	۰/۱۶	۶/۱۹	۱/۲۳	۳۴/۸۶
	نسبت تاج	-۹/۲۸	-۶/۶	۰/۰۰۰				

بررسی اعتبار مدل نشان داد که توزیع مقادیر خطا نرمال بوده و پراکنش آن‌ها حالت همگن دارد. همچنین آزمون دوربین واتسون نشان داد که مقادیر خطا مستقل هستند. دقت مدل بر اساس مقدار NRMSE خوب ارزیابی گردید. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل به‌دست‌آمده مبتنی بر قطر برابرسینه برای پیش‌بینی نسبت تاج و همچنین طول تاج، از نظر آماری معتبر و قابل‌تعمیم به سطح جمعیت است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود برای این متغیر، اختلاف معنی‌داری بین مدل‌های برازش شده بر داده‌ها در مرحله آموزش و آزمون از نظر آماری وجود ندارد؛ اما درخصوص متغیر ارتفاع از سطح دریا نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی نسبت تاج، شیب خط و همچنین مقدار ثابت در دو مدل اختلاف معنی‌دار داشته، بنابراین، قابلیت تعمیم این مدل مورد تائید قرار نگرفت. هرچند برای پیش‌بینی طول تاج، مدل ساخته شده از نظر آماری معتبر ارزیابی شد.

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی و بررسی قابلیت تعمیم مدل‌ها

منابع تغییرات	نسبت تاج			طول تاج	
	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value	میانگین مربعات	P-value
رگرسیون	۱۸۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	۲/۵۳	۰/۰۰۰
قطر برابر سینه	۱۴۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۲/۹۶	۰/۰۰۰
گروه	۱	۰/۰۰۸	۰/۲۲۳	۰/۸۲	۰/۳۰۳
گروه × قطر برابر سینه	۳۷	۰/۰۰۵	۰/۴۷۲	۰/۶۴۴	۰/۷۰۳
خطا	۶۱	۰/۰۰۵	-	۰/۷۶۱	-
رگرسیون	۱۳۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۲/۷۴	۰/۰۰۰
ارتفاع از سطح دریا	۱۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۳/۱۶	۰/۰۰۰
گروه	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۹۵	۱/۷۶	۰/۲۴۵
گروه × ارتفاع از سطح دریا	۳۱	۰/۰۰۳	۰/۹۵۶	۰/۹۳	۰/۸۴۴
خطا	۱۱۰	۰/۰۰۶	-	۱/۲۸	-

نتایج تخمین منحنی نشان داد به‌استثنای مدل درجه سه، سایر مدل‌ها برازش مناسبی بر داده‌ها داشته و از نظر آماری معنی‌دار هستند. البته مقدار ضریب تعیین کم بوده و نسبت به حالت خطی برتری واضحی نداشتند. افزون بر این که، دقت مدل خطی بهتر بود (جدول ۵). تغییرات ضریب تعیین از مدل‌های خطی به مدل‌های غیرخطی از نظر آماری معنی‌دار نبود.

جدول ۶- مقایسه مدل‌های خطی و غیرخطی بر اساس قدرت پیش‌بینی و مقدار خطا

نوع مدل	متغیر وابسته	متغیر مستقل	ضریب	t	p-value	R^2	NRMSE %
خطی	نسبت تاج	DBH	۰/۰۰۳	۱۱/۰۲	۰/۰۰۰	۰/۳۴	۱۲/۳
		Constant	۰/۶۰۹	۵۶/۸۲	۰/۰۰۰		
لگاریتمی	نسبت تاج	Ln (DBH)	۰/۰۹۵	۱۰/۸۵	۰/۰۰۰	۰/۳۲	۱۴/۵۷
		Constant	۰/۳۸۶	۱۲/۶۱	۰/۰۰۰		
معکوس	نسبت تاج	1 / DBH	-۱/۸۹	-۸/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۲۳	۱۳/۶۸
		Constant	۰/۷۸	۸۱/۸۳	۰/۰۰۰		
درجه‌دو	نسبت تاج	DBH	۰/۰۰۵	۵/۶۳	۰/۰۰۰	۰/۳۴	۱۳/۷۲
		DBH^2	-۰/۰۰۰۰۲۴	-۲/۴۸	۰/۰۱۴		
		Constant	۰/۵۷۳	۳۱/۸۴	۰/۰۰۰		
درجه سه	نسبت تاج	DBH	۰/۰۰۲	۱/۰۱۴	۰/۳۱۲	۰/۳۴	۱۳/۴۸
		DBH^2	۰/۰۰۰۰۰۳۵	۰/۶۹۴	۰/۴۸۸		
		DBH^3	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۸	-۱/۱۸۵	۰/۲۳۷		
		Constant	۰/۶۰۲	۱۹/۷۳	۰/۰۰۰		
توانی	Ln (نسبت تاج)	Ln (DBH)	۰/۱۳۹	۱۰/۲۴	۰/۰۰۰	۰/۲۹	۱۳/۷۹
		Constant	۰/۴۳۹	۲۱/۰۹	۰/۰۰۰		
نمایی	Ln (نسبت تاج)	DBH	۰/۰۰۴	۱۰/۲۲	۰/۰۰۰	۰/۲۹	۱۳/۴۴
		Constant	۰/۶۰۷	۵۹/۹۳	۰/۰۰۰		
لجستیک	Ln (1/ نسبت تاج)	DBH	۰/۹۹۶	۲۴۶۰/۵	۰/۰۰۰	۰/۲۹	۱۳/۷۸
		Constant	۱/۶۴۷	۵۹/۹۳	۰/۰۰۰		

* در جدول فوق DBH قطر برابر سینه و Constant مقدار ثابت هستند.

مدل‌های غیرخطی در این تحقیق توانستند حداکثر ۳۴ درصد تغییرات نسبت تاج را با دقت مناسب پیش‌بینی کنند. دقت مدل‌ها با توجه به مقدار NRMSE خوب ارزیابی شد اما با توجه به پیچیدگی اجرا و تفسیر این مدل‌ها و این‌که توانایی آن‌ها در پیش‌بینی نسبت تاج بهتر از مدل‌های خطی نبود، استفاده از مدل‌های خطی ارجحیت دارد. جدول ۶ ضرایب برآورد شده برای مدل‌های غیرخطی را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که در تحلیل رگرسیون غیرخطی مقدار p-value ارائه نمی‌شود. علت این است که مدل‌های خطی دارای یک شکل پایه هستند، درحالی‌که معادلات غیرخطی می‌توانند شکل‌های مختلفی داشته باشند. بنابراین، محدودیت‌هایی در مورد نحوه استفاده از پارامترها در یک مدل غیرخطی وجود دارد.

جدول ۷- نتایج تحلیل رگرسیون غیرخطی برای تعیین ضرایب مدل‌ها

مدل	b_0	b_1	b_2	R^2	NRMSE %
لجستیک	۰/۸۸۵	۰/۵۷۵	۰/۰۲۴	۰/۳۴	۱۰/۶۵
نمایی	۰/۶۱	-۰/۰۰۴	-	۰/۳۱	۱۰/۸
وایبول	۱/۴۷	۰/۰۴۷	-	۰/۳۳	۱۰/۷۲
ریچارد	-۱۹/۰۹	۰/۰۰۱	۳/۴۷	۰/۳۳	۷۰/۷۲

بحث

در این پژوهش از قطر برابرسینه برای پیش‌بینی نسبت تاج درختان بنه استفاده شد. علت انتخاب این متغیر همبستگی معنی‌دار آن با نسبت تاج در سایر مطالعات و همچنین کم‌هزینه بودن و آسانی اندازه‌گیری آن بوده است. به‌عنوان‌مثال، تحقیق در مورد ۸۷ گونه درختی در شرق ایالات‌متحده نشان داد که حضور متغیر قطر برابرسینه در تمام مدل‌ها معنی‌دار بوده و استفاده از آن به‌تنهایی برای پیش‌بینی مشخصات تاج کافی است زیرا این مشخصه با تراکم توده همبستگی دارد [۲]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که قطر برابرسینه تنها ۳۳ درصد از تغییرات نسبت تاج درختان بنه را تعیین می‌کند. اگرچه در اینجا مدل خطی به‌دست‌آمده معنی‌دار و معتبر بود اما قطر برابرسینه برخلاف پیش‌بینی‌ها نتوانست متغیر مستقل قدرتمندی باشد. علت اصلی این نتیجه رقابت کم بین درختان بنه در سنین مختلف است که به‌واسطه تراکم کم توده هست. نتایج برخی تحقیقات نیز نشان داده که تراکم توده با تعیین فضای رقابت بین تاج‌های درختان، نسبت تاج را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در توده‌های تنک تأثیرپذیری نسبت تاج کاهش می‌یابد [۳، ۱۵، ۲۶ و ۳۰].

مقدار نسبت تاج درختان بنه و تغییرات کم آن‌که در این تحقیق به دست آمد، اهمیت رقابت بین درختان و تأثیرپذیری نسبت تاج از تراکم توده و رقابت را آشکار می‌سازد. در منطقه موردمطالعه، بیشتر تراکم در واحد سطح مربوط به درختچه‌هایی مانند انواع بادام و افدرا است. در حالی است که تعداد درختان بنه کم بوده بعلاوه در آشکوب بالا قرار دارند که رقابتی با دیگر گونه‌ها وجود ندارد. درواقع حالتی شبیه توده تنک شده وجود دارد که طبق نظر سنسیلا و همکاران (۲۰۰۸) در این شرایط، نسبت تاج کمتر تحت تأثیر قطر برابرسینه قرار می‌گیرد [۵].

در حالت معمول، همچنان که قطر برابرسینه بیشتر می‌شود نسبت تاج نیز افزایش پیدا می‌کند؛ اما اثر قطر برابرسینه به شرطی قوی عمل می‌کند که طول تاج در حال افزایش باشد. درواقع زمانی که رشد تاج و درخت به نقطه اوج برسد این افزایش متوقف می‌شود. ازآنجایی‌که نسبت تاج به طول تاج و ارتفاع درخت وابسته است، وقتی درختان به بیشترین ارتفاع می‌رسند، برای افزایش نسبت تاج فرصت کمی دارند.

با توجه به محدودیت زادآوری درختان بنه در منطقه موردمطالعه، بیشتر درختان به سن پیری رسیده و افزایش قابل‌توجهی در رشد طولی ندارند. بنابراین، اثر قطر برابرسینه روی نسبت تاج محسوس نیست. هرچند تفاوت سنی بین پایه‌ها مشاهده می‌شود اما باتوجه به ابعاد و قطر، اکثر درختان مسن هستند. تغییرات طول تاج نیز به شدت تحت تأثیر رقابت و تراکم کم توده قرارگرفته و به‌واسطه

نبودن رقابت، تاج‌ها تا پایین تنه رشد نموده‌اند. در این تحقیق قطر برابر سینه برای پیش‌بینی طول تاج منا سب‌تر از نسبت تاج بود که با نتایج تحقیق هولدوی (۱۹۸۶) مطابقت دارد [۱۰]. اگرچه طول تاج نیز متغیر مهمی در تعیین رشد و محصول و همچنین پایداری درختان جنگلی است، اما عموماً نسبت تاج در تحقیقات موردتوجه قرارگرفته و اهمیت بیشتری به آن داده شده است.

در تحقیق حاضر نسبت تاج درختان بنه به‌طور متوسط ۰/۷۱ محاسبه شد که نشان‌دهنده رویش درختان در فضای باز و عدم وجود رقابت تاجی برای کسب نور بین پایه‌ها است. بررسی‌ها در مورد کاج تدا (*Pinus taeda*) در جنوب شرق ایالات‌متحده نشان داد که بین فاصله درختان داخل توده و نسبت تاج رابطه مثبت از نوع درجه سه وجود دارد و هرچه فواصل بیشتر می شوند نسبت تاج افزایش می‌یابد که به دلیل کاهش رقابت نوری است [۳۰].

مدل‌های متعددی برای پیش‌بینی نسبت تاج درختان *Quercus magnolica* در شمال شرق چین بررسی شده و مشخص شد که حضور متغیرهای قطر برابرسینه، ارتفاع بلندترین درخت در قطعه‌نمونه و قطر بزرگ‌ترین درخت در قطعه‌نمونه در مدل‌ها معنی‌دار است [۸]. در تحقیق مذکور مدل نمایی بهترین برازش را بر داده‌ها نشان داد و ضریب تعیین ۰/۲۵ بود. مدل نمایی در پژوهش پیش رو قدرت پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل‌های لجستیک، وایبول و ریچارد داشته و خطای آن نیز به نسبت بیشتر بود. مطالعه برای مدل‌سازی نسبت تاج درختان *Hevea brasiliensis* (A. Juss) در نیجریه نشان داد که مدل لجستیک بر اساس متغیرهای مستقل طول تاج و ارتفاع کل درخت بسیار قدرتمند عمل می‌کند [۱۸] اما باید توجه داشت با اندازه‌گیری این دو متغیر در عمل نسبت تاج به دست آمده و مدل‌سازی مزیتی ندارد.

در تحقیقی، مدل سازی به‌منظور پیش‌بینی نسبت تاج برای گونه‌های *Tecona grandis* و *Gmelina arborea* در نیجریه انجام و نتایج آن نشان داد که مدل‌های ریچارد و لجستیک برای این منظور مناسب‌تر از سایر مدل‌های غیرخطی هستند. البته این دو مدل تنها ۵۲ درصد از تغییرات را پیش‌بینی نمود ند [۱۹]. در پژوهش پیش رو نیز این توابع برتر از سایر مدل‌ها بوده اما تنها ۳۴ درصد تغییرات نسبت تاج را پیش‌بینی کرد ند. پژوهش برای پیش‌بینی نسبت تاج *Tectona grandis* (Linn. F.) در نیجریه نشان داد که اگرچه تابع لجستیک قدرت پیش‌بینی بهتر و خطای کمتر از سایر مدل‌ها دارد اما توابع چاپمن-ریچارد و نمایی ثبات بیشتری در پیش‌بینی های خود دا شته و بی شتر می‌توان به آن‌ها اعتماد کرد [۲۰]. لازم به ذکر ا ست که ضریب تعیین در تحقیق فوق حداکثر ۰/۳۴ بوده است. همچنین دلیل کم بودن ضرایب تعیین عدم وجود تنوع سنی درختان در منطقه مورد بررسی ذکر شده که در پژوهش حاضر نیز با توجه به مسن بودن اکثر درختان این مشکل وجود دارد.

تحقیقات نشان داده که استفاده نسبت تاج در مدل سازی کاهش قطری تنه درختان *Larix gmallini* بر اساس ارتفاع کل موجب افزایش قدرت پیش‌بینی و دقت مدل‌ها می شود. بر این ا ساس م شخص شده که درختانی که نسبت تاج بزرگ‌تری دارند، مخروطی شدن ساقه در آن‌ها بی شتر از سایر درختان ا ست. به عبارتی، نبود رقابت موجب افزایش نسبت تاج و خارج شدن تنه از حالت استوانه‌ای می‌شود [۱۱]. ازآنجاکه در مورد گونه بنه استفاده تجاری مطرح نیست، پایداری درختان اهمیت بیشتری از شکل آن‌ها دارد. در مطالعه‌ای اثر نسبت تاج در پایداری توده‌های *Picea abies* (L.) در ا سلواکی برر سی شد. نتایج نشان داد که این متغیر تنها ۱۸ درصد از تغییرات در ن سبت ارتفاع به قطر، به‌عنوان شاخ صی برای پایداری درختان، را پیش‌بینی می‌کند [۴]. پژوهش پیش رو نیز ن شان داد که ن سبت تاج تنها ۱۶ در صد از تغییرات نسبت ارتفاع به قطر درختان بنه را پیش‌بینی می‌کند.

در بسیاری از مطالعات توصیه شده که در پیش‌بینی نسبت تاج مشخصات رویشگاه نیز وارد مدل شود. به‌عنوان م ثال در تحقیقی، توابع غیرخطی متعدد برای پیش‌بینی نسبت تاج گونه *Eucalyptus globulus* (Labill.) در پرتغال بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل ریچارد برازش بهتری بر داده‌ها دا شته و وابسته به سن توده و تراکم آن ا ست [۲۵]. آن‌ها پیشنهاد کردند که بهتر ا ست متغیرهای دیگری مانند بارخیزی توده در مدل سازی ن سبت تاج وارد شوند. در تحقیق مذکور با افزایش قطر برابرسینه نسبت تاج کاهش یافت درحالی که در پژوهش پیش رو نتیجه

عکس به دست آمد، که علت آن نبودن رقابت بین درختان به‌ویژه در سنین بالا ارزیابی می‌شود. لازم به ذکر است که برای واردکردن متغیرهای مربوط به رویشگاه در مدل‌سازی هزینه محاسبه آن‌ها باید در نظر گرفته شود، به‌نحوی‌که مزیت مدل‌سازی و اقتصادی بودن مدل حاصل از بین نرود.

در تحقیق پیش رو، نتایج بررسی رابطه ارتفاع از سطح دریا و نسبت تاج نشان داد با افزایش ارتفاع نسبت تاج به‌طور معنی‌داری کم می‌شود اما این کاهش خیلی محسوس نیست و رابطه ضعیفی بین این دو وجود دارد. هرچند تغییرات ارتفاع از سطح دریا حدود ۲۰۰ متر بوده و تنوع زیادی وجود نداشت. البته ماندسرد و استربا (۱۹۹۶) نیز به این نتیجه دست یافتند که ارتفاع از سطح دریا تأثیر زیادی بر نسبت تاج درختان جنگلی ندارد با وجود این‌که محدوده تغییرات ارتفاعی در تحقیق ایشان ۲۲۰۰-۲۰۰ متر بود [۱۶]. در تحقیق حاضر مدل‌های غیرخطی نتوانستند بهتر از مدل‌های خطی بر داده‌ها برازش یابند. در مورد مقادیر خطا نیز تفاوت‌ها خیلی فاحش نبود. بر همین اساس مدل‌های خطی ترجیح داده‌شده و قابل توصیه هستند. البته بین مدل‌های غیرخطی، مدل لجستیک ضریب تعیین به نسبت بیشتر و خطای کمتری داشت. باید توجه داشت که انتخاب مقادیر آغازین در رگرسیون غیرخطی بسیار مهم است و در کسب نتایج مناسب اهمیت دارد. در این تحقیق مقادیر اولیه بر اساس تجربیات ویزکیتل و همکاران (۲۰۱۱) تعیین و استفاده شد [۲۹].

برای ارزیابی سودمندی مدل روش‌های مختلفی وجود دارد که در آن‌ها یک مدل می‌تواند برای یک هدف مناسب و برای دیگر هدف نامناسب باشد. یک رویکرد بررسی نیکویی برازش از طریق محاسبه مقادیر خطا (باقی‌مانده) است که مشخص می‌کند چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته پس از مدل‌سازی هنوز لحاظ نشده باقی‌مانده است. با اندازه‌گیری NRMSE می‌توان میزان دقت مدل را تعیین نمود. در تحقیق حاضر مقدار این آماره برای پیش‌بینی نسبت تاج حدود ۱۳ و ۱۵ درصد برای متغیرهای قطر برابرسینه و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان متغیر مستقل بود که نشان‌دهنده دقت مناسب آن‌ها است. همچنین مقدار خطا برای مدل های غیرخطی در حد قابل‌قبول بود، اما ضرایب تعیین چشمگیر نبودند. بهتر است مدل را با کل داده‌ها آموزش داده و سپس با داده‌های جداگانه آزمون نمود یا اینکه بخشی از داده‌ها را کنار گذاشت. در این تحقیق، روش دوم به کار گرفته‌شده است. نتایج نشان دادند که مدل مبتنی بر قطر برابرسینه قابلیت تعمیم به کل جمعیت را داشته و معتبر است اما اعتبار مدل مبتنی بر ارتفاع از سطح دریا تائید نشد.

در تحقیق پیش رو با توجه به قابل‌رؤیت نبودن نقطه شروع انشعابات تاج، ارتفاع تاج از نوک شاخه‌ها در پایین‌ترین نقطه تاج در نظر گرفته شد که منجر به محاسبه نسبت غیرمتراکم تاج[1] می‌شود. این در حالی است که تحقیقات نشان داده معمولاً نسبت تاج متراکم[2] که بدون در نظر گرفتن فضاهای خالی داخل تاج محاسبه می‌شود، برای گونه‌های غرب ایالات‌متحده ۱۷ درصد کمتر است [۲۷]. با توجه به این‌که در تاج درختان موردمطالعه شاخه‌ها به سمت پایین تنه گسترش یافته و فضاهای خالی زیادی داخل تاج وجود دارد، بر این اساس انجام تحقیقی به‌منظور تفاوت میزان نسبت تاج متراکم و غیرمتراکم در مورد گونه بنه ضروری به نظر می‌رسد.

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که متغیر قطر برابرسینه که اندازه‌گیری آن ساده و کم‌هزینه است، تا ۳۳ درصد از تغییرات نسبت تاج درختان بنه را در منطقه موردمطالعه پیش‌بینی می‌کند. درخصوص مدل های چندمتغیره، اضافه کردن متغیر ارتفاع از سطح دریا تاثیر محسوسی در افزایش ضریب تعیین نداشت. استفاده از متغیر ارتفاع نیز مزیت مدل را از نظر اقتصادی بودن از بین می‌برد زیرا هدف از مدل‌سازی کاهش هزینه کار میدانی است. این درحالی است که اگر قرار باشد ارتفاع درخت اندازه‌گیری شود، با اندازه‌گیری ارتفاع تنه به راحتی نسبت تاج محاسبه شده و نیازی به مدل‌سازی نیست. هرچند در برخی مطالعات از شاخص های رقابت به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی نسبت تاج استفاده شده است [۸ و ۲۴]. اما پذیرفتن هزینه محاسبه چنین متغیرهایی، تنها

[1]- Uncompacted Crown Ratio

[2]- Compacted Crown Ratio

در جنگل های تجاری با هدف تولید چوب قابل توجیه اســـت. درمجموع، مدل های خطی ســـاده تنها می‌توانند بخشی از تغییرات نسبت تاج درختان بنه را در جنگل‌های تنک ایران-تورانی پیش‌بینی کنند. با این حال، نیازی به مدل‌های پیچیده غیرخطی برای این کار نیســت. همچنین متغیر ارتفاع از سطح دریا با توجه به نبودن تنوع توپوگرافی و محدود بودن دامنه ارتفاعی، پیش‌بینی کننده مناســـبی برای نســـبت تاج درختان بنه نبود. باید گفت مدل های خطی یا خطی شـــده با اســـتفاده از تبدیل، با توجه به عدم برتری وا ضح مدل‌های غیرخطی، نسبت به آن‌ها ارجحیت دارند. با توجه به مســـن بودن بیشـــتر درختان و همچنین رقابت ناچیز بین آن‌ها، پیشـــنهاد می‌شـــود مدل‌ســـازی در رویشـــگاه‌های واجد درختان جوان که در معرض رقابت کافی برای شـــکل گرفتن تاج هســـتند انجام و با مدل‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق مقایسه شود. همچنین اجرای مونه‌بندی بر اســـاس تراکم جنگل و دخالت دادن تراکم به‌عنوان یک عامل با اثرات تصادفی در مدل، همانند تحقیق جیانگ و لیو (۲۰۱۱) قابل توصیه است [۱۱].

References

[1]. Adeyemi, A. A., Jimoh, S. O., & Adesoye, P. O. (2013). Crown ratio models for tropical rainforests species in Oban division of the cross river national park, Nigeria. *Journal of Agriculture and Social Research (JASR)*, 13(1), 63-76.

[2]. Bechtold, W. A. (2003). Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the eastern United States. *Southern Journal of Applied Forestry*, 27(4), 269-278.

[3]. Berrill, J. P., & Dagley, C. M. (2012). Geographic patterns and stand variables influencing growth and vigor of Populus tremuloides in the Sierra Nevada (USA). ISRN Forestry, 2012.

[4]. Bosela, M., Konopka, B., seben, V., Vladovic, J., & Tobin, B. (2014). Modelling height to diameter ratio–an opportunity to increase Norway spruce stand stability in the Western Carpathians. *Forestry Journal*, 60(2), 71-80.

[5]. Cienciala, E., Apltauer, J., Exnerova, Z., & Tatarinov, F. (2008). Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. *Journal of Forest Science*, 54(3), 109-120.

[6]. Daryaei, M.G., Hosseini, S.K., Taheri, K., Mirzaei, J., & Mzbani, A. (2012). Effect of morphological variables of Pistacia atlantica on gum and seed production, *Iranian Journal of Biology*, 25(2), 303-315. (in Farsi)

[7]. DeYoung, J. (2016). Forest Measurements: An Applied Approach. Open Oregon Educational Resources.

[8]. Fu, L., Zhang, H., Lu, J., Zang, H., Lou, M., & Wang, G. (2015). Multilevel nonlinear mixed-effect crown ratio models for individual trees of Mongolian Oak (*Quercus mongolica*) in northeast China. *PloS one*, 10(8), e0133294. doi:1371/10/journal.pone.0133294.

[9]. Geravand, Y., Hosseini, S.M., Ahmadi, K., Ghomi Avili, A., & Ahmadi, A. (2016). Investigating the structure of wild pistachio stands in protected and non-protected areas of Bagh-Shadi forest, Yazd, *Journal of natural ecosystems of Iran*, 7(2), 89-101. (In Farsi)

[10]. Holdaway, M. R. (1986). Modeling tree crown ratio. *The Forestry Chronicle*, *62*(5), 451-455.

[11]. Jiang, L. C., & Liu, R. L. (2011). Segmented taper equations with crown ratio and stand density for Dahurian Larch (*Larix gmelinii*) in Northeastern China. *Journal of Forestry research*, *22*(3), 347-352.

[12]. Kiani, B. (2017). Forest Biometrics: Sampling Designs and Measurement Methods in Forest Sciences. Pelk Press, Tehran. (In Farsi)

[13]. Leites, L. P., Robinson, A. P., & Crookston, N. L. (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(3), 655-665.

[14]. Makela, A., & Valentine, H. T. (2006). Crown ratio influences allometric scaling in trees. *Ecology*, 87(12), 2967-2972.

[15]. Medhurst, J. L., & Beadle, C. L. (2001). Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned

Eucalyptus nitens plantations. *Tree Physiology*, 21(12-13), 989-999.

[16]. Monserud, R. A., & Sterba, H. (1996). A basal area increment model for individual trees growing in even-and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest ecology and management*, 80(1-3), 57-80.

[17]. Mosleh Arani, A., Mollakhalili, M.H., & Kiani, B. (2016). Investigation on important causes of beetle attack to Amygdalus scoparia trees in central Zagros, Bagh-shadi, Harat, Yazd. *Iranian Journal of Zagros forests Researches*, 3(1), 75-86. (in Farsi)

[18]. Oyebade, B. A., & Onyeoguzoro, T. C. (2017). Tree crown ratio model for Hevea brasiliensis (A. juss.) plantation in Rubber Research Institute of Nigeria (RRIN) Edo State, Nigeria. *World Scientific News*, 70(2), 97-110.

[19]. Peter, A. O., & Oluwafemi, O. A. (2008). Interim Crown Ratio Models for a Mixed *Tectona grandis* and Gmeìina arborea stand in the University of Ibadan, Nigeria. *Research Journal of Forestry*, 2(1), 34-42.

[20]. Popoola, F. S., & Adesoye, P. O. (2012). Crown ratio models for *Tectona grandis* (Linn. f) stands in Osho Forest reserve, Oyo State, nigeria. *Journal of Forest Science*, 28(2), 63-67.

[21]. Sanchez-González, M., Cañellas, I., & Montero, G. (2007). Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain, *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16(1), 76-88.

[22]. Singh, A. K., Tripathy, R., & Chopra, U. K. (2008). Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural water management*, 95(7), 776-786.

[23]. Shcherbakov, M. V., Brebels, A., Shcherbakova, N. L., Tyukov, A. P., Janovsky, T. A., & Kamaev, V. A. E. (2013). A survey of forecast error measures. *World Applied Sciences Journal*, 24(24), 171-176.

[24]. Sharma, R. P., Vacek, Z., Vacek, S., Podrazsky, V., & Jansa, V. (2017). Modelling individual tree height to crown base of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.). *PloS one*, 12(10), e0186394. https://doi.org/1371/10/journal.pone.0186394.

[25]. Soares, P., & Tomé, M. (2001). A tree crown ratio prediction equation for eucalypt plantations. *Annals of Forest Science*, 58(2), 193-202.

[26]. Temesgen, H., LeMay, V., & Mitchell, S. J. (2005). Tree crown ratio models for multi-species and multi-layered stands of southeastern British Columbia. *The Forestry Chronicle*, 81(1), 133-141.

[27]. Toney, C., & Reeves, M. C. (2009). Equations to convert compacted crown ratio to uncompacted crown ratio for trees in the Interior West. *Western Journal of Applied Forestry*, 24(2), 76-82.

[28]. Weaver, B., & Wuensch, K. L. (2013). SPSS and SAS programs for comparing Pearson correlations and OLS regression coefficients. *Behavior research methods*, 45(3), 880-895.

[29]. Weiskittel, A. R., Kershaw, J. A., Vanclay, J. K., & Hann, D. W. (2011). Forest Growth and yield Modeling Wiley-Blackwell, university of Tehran press, Tehran.

[30]. Zhao, D., Kane, M., & Borders, B. E. (2012). Crown ratio and relative spacing relationships for loblolly pine plantations. *Open Journal of Forestry*, 2(3), 101.

Measuring and modeling the crown ratio index for wild Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in Baghe-Shadi protected forest, Yazd province

1- Asma Amiri, M.Sc. of Forestry, School of Natural Resources, Yazd University, Yazd. Iran.
2- Bahman Kiani*, Associate Professor of Forestry, Department of Environment, School of Natural Resources, Yazd University, Yazd. Iran.
bnkiani@yazd.ac.ir
3- Ali Akbar Jafari, Associate Professor of Statistics, Faculty of Mathematics, Yazd University, Yazd. Iran.

Received: 03 Jul 2020
Accepted: 26 Feb 2021

Abstract

The crown ratio is one of the most important attributes of trees for modeling growth and evaluating the competitive environment in forest stands. This research was carried out to determine the crown ratio for wild pistachio. Continuous transect sampling was carried out with the counting limit of 5-cm diameter at breast height. In each transect, the total height of the tree, the height of the crown, the diameter at breast height (DBH) and the elevation were measured. To study the type and severity of the relationship between elevation and DBH with crown ratio, correlation analysis was conducted. For modeling using linear regression analysis techniques, the curve estimation (including simple linear, second, third, linearized logistic, exponential, inverse and power) and nonlinear models (logistic, Richard, Weibull, and exponential) were used. The results showed that the linear model fitted to DBH data in order to predict crown ratio was statistically significant but the R-square was not noticeable (R^2 = 0.33). Nonlinear models explained a maximum of 34% of variations in crown ratio with high precision. Elevation from the sea level was not a suitable predictor for the crown ratio. In this study, due to the low stand density, lack of effective competition between trees and the uniformity of the competitive environment, the crown ratio was less affected by independent variables such as DBH. Accordingly, it seems that in the low density forests of the Iran-Touranian region, the development of powerful models to predict the crown ratio will have little success.

Keywords: Canopy cover, Topography, Regression, Nonlinear models.