ارزیابی اثر برخی عوامل فیزیوگرافیک بر مدل‌های رویشی گونه ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل ارسباران

رؤیا عابدی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳)

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات مدل‌های رگرسیونی رویشی گونه ممرز (*Carpinus betulus* L.) به‌عنوان فراوان‌ترین گونه در جنگل ارسباران در ارتفاع و جهت‌های مختلف دامنه بود. نمونه‌برداری انتخابی در دامنه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر با آماربرداری در قطعه نمونه‌های یک‌هکتاری شامل قطر برابر سینه، ارتفاع کل و قطر تاج انجام شد. سپس با محاسبات رگرسیون غیرخطی، بهترین مدل‌ها برای بررسی ارتباط بین قطر (متغیر مستقل) و ارتفاع، سطح مقطع و مساحت تاج (متغیرهای وابسته) در هر ارتفاع و جهت دامنه بر اساس حداکثر ضریب همبستگی، ضریب تعیین، حداقل خطای استاندارد و ضریب آکائیک برازش شدند. همچنین آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل و آنالیز واریانس با استفاده از آزمون توکی برای بررسی معنی‌داری روابط بین متغیرهای مورد مطالعه و عوامل محیطی انجام شد. نتایج نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین قطر برابر سینه با ارتفاع و سطح مقطع درختان و همبستگی منفی معنی‌داری بین قطر برابر سینه و مساحت تاج درختان وجود داشت که شدت این همبستگی بین قطر برابر سینه و سطح مقطع بسیار قوی بود (r=۰/۹۹۴). ارتفاع و مساحت تاج درختان در جهت‌های مختلف دامنه و ارتفاع‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری نشان دادند، اما قطر برابر سینه و سطح مقطع درختان نسبت به تغییرات ارتفاع و جهت دامنه تفاوت معنی‌داری نداشتند. مدل‌های نمایی به‌علاوه خطی، منطقی، Heat capacity، سینوسی، نمایی ۳، گاوسی، لگاریتم طبیعی و درجه دوم معکوس مهم‌ترین مدل‌ها بودند. گونه ممرز در جهت‌ها و ارتفاع‌های مختلف از مدل‌های رویشی متفاوتی پیروی می‌کرد و تنها در جهت شمال شرقی، مدل رویشی یکسانی بر حسب قطر-سطح مقطع (مدل گویا) در سه ارتفاع مورد بررسی نشان داده شد. مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای نشان‌دادن رابطه قطر با مشخصه‌های سطح مقطع و تاج نسبت به ارتفاع درخت، بهتر عمل کردند. پیشنهاد می‌شود مطالعات مدل‌سازی برای سایر گونه‌ها و عوامل محیطی تکرار شود تا با کسب نتایج تکمیلی، امکان ارائه دستورالعمل‌های مدیریتی دقیق فراهم شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه، تاج‌پوشش، مدل‌سازی

۱. گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Royaabedi@tabrizu.ac.ir

مقدمه

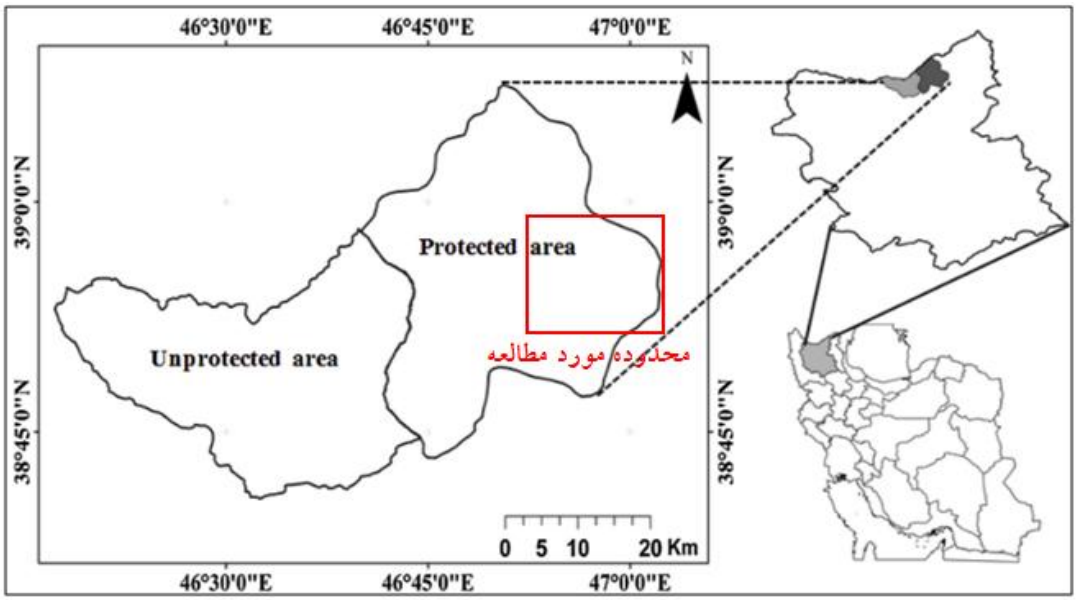
جنگل‌های ارسباران در شمال غرب ایران از سال ۱۹۷۷ توسط یونسکو تحت عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره با اهداف حفاظت از طبیعت و پژوهش‌های علمی مطرح شد و در طول این دوره طولانی‌مدت (حدود ۴۵ سال) تحت حفاظت در برابر بهره‌برداری چوب، شکار، ماهیگیری و فعالیت‌های معدنی بوده است (۲۵). این منطقه از یک‌طرف توسط کوه‌های قفقاز و قره-داغ احاطه شده و از طرف دیگر محل تلاقی رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس است که در کوه‌های آرارات به یکدیگر می‌پیوندند و سبب ایجاد عوامل فیزیوگرافیک، خاکی و خرداقلیم‌های مختلف می‌شوند که این امر موجب ایجاد رویشگاه‌های طبیعی با تنوع زیستی منحصر به‌فرد شده است (۱۱). ارتفاع از سطح دریا در این منطقه از ۲۶۵ متر با میانگین دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد تا ۲۸۶۵ متر با دمای متوسط ۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است (۱۵). اقلیم منطقه نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب تا خیلی مرطوب گزارش شده است (۲۵). ازآنجاکه جنگل‌ها نقش مهمی در اکوسیستم‌های خشکی دارند، برآورد مشخصه‌های توده‌های جنگلی می‌تواند به توسعه سیاست‌های مدیریت پایدار جنگل‌ها کمک کند (۳۳) از این‌رو شناسایی نوع رابطه بین مشخصه‌های درختان و توده‌های جنگلی مانند قطر برابر سینه که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های درختان است و در طی آماربرداری زمینی به‌طور مستقیم و با ابزارهای ساده قابل اندازه‌گیری است (۱۶) می‌تواند با استفاده از معادلات ریاضی به‌طور غیرمستقیم به برآورد سایر مشخصه‌ها و پارامترهای محاسباتی که نیازمند صرف زمان زیاد برای اندازه‌گیری بوده (مانند محاسبه شاخص سطح برگ و وزن لاش‌برگ که فرایند اندازه‌گیری بسیار زمان‌بری دارند) و گاهی مخرب هستند (مانند اندازه‌گیری زی‌توده که مستلزم قطع درخت است) بیانجامد (۱، ۴، ۲۲ و ۳۵)، همان‌گونه که مدیران جنگل برای برآورد ارتفاع یک توده نیازمند آگاهی از روابط صحیح بین قطر و ارتفاع هستند و می-توانند از مدل‌های قطر – ارتفاع به این منظور استفاده کنند (۲).

تکامل روابط رگرسیونی و پیشرفت نسل رایانه‌ها سبب شده که امروزه در بسیاری از طرح‌ریزی‌ها و سیاست‌ها بدون مدل-سازی نتوان به راه‌حل مناسب و منطقی دست یافت زیرا هر دخالت در توده زمانی موفق خواهد بود که مبتنی بر شناخت رفتارهای گونه‌ها در شرایط محیطی مختلف باشد (۶). امروزه اطلاعات با استفاده از مدل‌های مختلفی کسب می‌شود که از سال‌های دور شروع شده و تا به امروز فعال باقی مانده‌اند. مدل‌های رویشی جنگل‌ها برای موارد متعددی همچون آماربرداری به‌روز، برآورد کارایی تیمارهای جنگل‌شناسی، تهیه برنامه بهره‌برداری و به‌طور کلی برنامه‌ریزی مدیریتی ابزاری مفید هستند (۲۵).

جای خالی بررسی مدل‌های رویشی که روابط مختلف و پیچیده بین محیط و درختان و همچنین انواع مشخصه‌های درختان را به‌شکل عددی قابل درک کنند همواره محققان را به-سمت شناخت روابط بین انواع مشخصه‌های رویشی درختان و نوع مدل‌هایی که این مشخصه‌ها از آن‌ها پیروی می‌کنند، پیش برده است. یکی از انواع این مدل‌ها، مدل‌های رگرسیونی است که با مرجع‌قراردادن ویژگی‌های مختلف توده‌های جنگلی حاصل از داده‌های آماربرداری‌شده و ترکیب آنها اطلاعات مفیدی از وضعیت توده در قالب مدل در اختیار قرار می‌دهند (۷).

محققان مختلف به‌منظور برآورد انواع مشخصه‌ها تاکنون از معادلات رگرسیونی استفاده کرده‌اند و انواع مشخصه‌ها از طریق مدل‌سازی در جنگل مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که برآورد زی-توده گونه‌های مختلف شامل افرا پلت در جنگل‌های هیرکانی (۳۲)، درختان کم‌قطر راش، ممرز و انجیلی در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس (۹)، ممرز در جنگل‌های هیرکانی (۳۱)، بنه در پارک ملی خجیر (۲۸)، گونه‌های توت، اقاقیا، کاج تهران و سرو نقره‌ای در جنگل‌کاری‌های اطراف فولاد مبارکه اصفهان (۵) و بذر بلوط ایرانی در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری (۱۳) از جمله آن‌ها بوده است. از سوی دیگر در مطالعه صفری و همکاران (۲۴) فیزیوگرافی زمین به‌عنوان عامل مهمی در کنترل شرایط محیطی جنگل معرفی شد و با بررسی مشخصه‌های

ساختاری تراکم، سطح مقطع، تاج‌پوشش و ارزش و اهمیت گونه در جنگل ارسباران به‌روش رج‌بندی نشان داده شد که پراکنش ساختاری درختان بسیار تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیوگرافی شامل شکل زمین، شکل دامنه و جهت دامنه است. مطالعه سفیدی و همکاران (۲۶) در زمینه ارتباط بین ویژگی‌های محیطی شامل شیب، جهت و شکل دامنه با ترکیب گونه‌ای در جنگل‌های راش شرقی نیز نشان داد این عوامل اثرات معنی‌دار متفاوتی بر ساختار توده شامل تراکم، سطح مقطع و پراکنش گونه‌ای داشتند. طاهری‌آبکنار و همکاران (۲۹) میزان کربن حاصل از آتش‌سوزی در جنگل‌کاری‌های کاج تدا در لاکان‌شهر استان گیلان را مدل‌سازی کرده و بهترین مدل را با برآورد ۵۲/۴۷۸ تن کربن در منطقه معرفی کردند. عالمی و همکاران (۳) مدل‌های غیرخطی قطر – ارتفاع گونه توسکا را در جنگل-های هیرکانی بررسی کردند و در نهایت مدل‌های هندسی، هندسی ۲، هایپربولیک ۳، مورگان–مرسر–فلودین و لگاریتمی را دارای توانایی مناسب برای برآورد ارتفاع با دقت مناسب (ضریب تعیین ۰/۸۸) معرفی کردند که قابلیت استفاده در توده-های این گونه در شمال کشور را خواهد داشت. حسین‌زاده و نجفی‌فر (۱۲) رابطه قطر – ارتفاع توده‌های بلوط را در ایلام به-منظور بررسی عکس‌العمل درختان به پدیده زوال و خشکیدگی بررسی کردند و با مدل‌سازی رابطه قطر – ارتفاع نشان دادند که درختان دارای طبقات قطری و ارتفاعی بالاتر بیشتر تحت تأثیر این مشکل هستند. افروزنده و همکاران (۱) از مدل‌سازی مشخصات سرپای درختان کیکم در جنگل‌های باغ شادی یزد برای برآورد حجم و زی‌توده با استفاده از رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند و ارتفاع کل و قطر یقه را به‌عنوان متغیر مستقل مناسب ارزیابی کردند. احمدی و همکاران (۲) از بین معادلات غیرخطی ارتفاع و قطر برابر سینه گونه راش، مدل‌های وایبول، شنات و چاپمن – ریچاردز را دارای عملکرد قابل قبولی برای برآورد ارتفاع درخت راش بر حسب قطر برابر سینه معرفی کردند. رحمانی و همکاران (۲۲) از مدل‌سازی وزن لاش‌ریزه و شاخص سطح برگ در جنگل راش – ممرز در جنگل‌های میان-بند هیرکانی استفاده کردند و در نهایت مساحت و حجم تاج به‌دلیل داشتن ضریب تعیین بالاتر و خطای کمتر به‌عنوان بهترین مشخصه‌های آلومتریک برای برآورد این دو مشخصه معرفی شدند. ایزترفی و همکاران (۱۴) مدل‌های بیوماس بر حسب قطر را برای گونه‌های بلوط، شاه‌بلوط، ممرز و زبان‌گنجشک در آلبانی استفاده کرده و نشان دادند که بین این دو مشخصه روابط مناسبی برای برآورد بیوماس وجود دارد. پیاو و همکاران (۲۱) مدل‌های بر پایه قطر برابر سینه را برای بررسی وضعیت رویشگاه و فاکتورهای اقلیمی گونه بلوط در جنوب کشور کره به‌کار بردند و ضمن استفاده از مشخصه‌های سن توده، شاخص رویشگاه و تعداد در هکتار درختان به‌عنوان متغیرهای مستقل و همچنین پارامترهای اقلیمی در فصل رویش، نشان دادند که قطر با دما و بارش همبستگی دارد به‌طوری‌که اگرچه افزایش دما بر اثر تغییر اقلیم اثرات نامطلوبی بر رویش قطری گونه‌های سوزنی‌برگ دارد اما این شرایط اقلیمی برای گونه بلوط مناسب بوده است. شارما و همکاران (۲۷) ضمن تأکید بر این نکته که برآورد مدل‌های رویشی گونه‌های مختلف درختی برای مدیریت مؤثر جنگل‌ها بسیار مفید و کاربردی است، مدل‌های رویشی گونه نوئل در کشور جمهوری چک را برآورد کردند و در نهایت مدل Chapman-Richards را با بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطا به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی کردند. تنزین و همکاران (۳۰) مدل‌های رویشی سطح مقطع را در جنگل‌های پهن‌برگ کشور بوتان بررسی کردند و مجموعه‌ای از بهترین مدل‌های برازش‌شده را ارائه کردند. رابطه قطر – ارتفاع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری، موضوع پژوهش ناورودی و همکاران (۱۹) در جنگل‌های هیرکانی برای گونه افرا پلت بود و در این زمینه ۱۹ مدل با بیشترین صحت و کمترین خطا شناسایی و معرفی شد. ما و لئی (۱۷) از مدل‌های غیرخطی برای بررسی رویش قطری درختان در جنگل‌های بلوط در شمال چین استفاده کردند و مدل‌های حاصل بر حسب قطر برابر سینه، سطح مقطع توده، سطح مقطع درختان بزرگ و شاخص رویشگاه را به‌عنوان بهترین مدل‌ها معرفی کردند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (۲۵) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

آنچه بر اساس پژوهش‌های اخیر مسلم است آن است که جنگل-های منطقه ارسباران در طی سال‌های اخیر به‌دلایل مختلف اعم از عوامل محیطی (مانند تغییر اقلیم و آتش‌سوزی) و انسانی (مانند افزایش جمعیت) دچار تغییر کاربری، تغییر سیمای ظاهری و تخریب شده است (۱۸ و ۲۳). بنابراین بررسی‌های دقیق کمّی هم‌اکنون بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر با توجه به تنوع فیزیوگرافی در جنگل‌های ارسباران و همچنین پراکنش وسیع گونه ممرز به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین گونه‌های این جنگل‌ها با بیشترین درصد آمیختگی (۵۳/۱ درصد) و بیشترین تعداد در هکتار، رویه زمینی، قطر برابر سینه و فراوانی زادآوری (۱۸)، که در عین حال توده‌های آن متأسفانه متحمل بیشترین تخریب‌ها نیز شده است (۴، ۱۰ و ۲۳)، توده‌های این گونه به‌عنوان هدف این مطالعه مورد پژوهش قرار گرفتند. هدف از پژوهش حاضر بررسی مدل‌های مختلف رویشی شامل ارتفاع کل درخت، سطح مقطع و مساحت تاج بر حسب متغیر مستقل قطر برابر سینه بود تا رفتار رویشی گونه ممرز در ارتفاعات و جهت‌های مختلف دامنه مشخص شود. بنابراین اهداف این پژوهش شامل: ۱- بررسی تغییرات مشخصه‌های رویشی ممرز در ارتفاع و جهت‌های مختلف، و ۲- ارائه مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای مشخصه‌های قطر - ارتفاع، قطر - سطح مقطع و قطر - سطح تاج بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخشی از جنگل‌های حفاظت‌شده و قرق‌شده ارسباران در منطقه تنباکولو در حوضه آبخیز سئلین-چای و در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی قرار دارد که این منطقه به‌دلیل حضور توده‌های متراکم گونه ممرز در دامنه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و در دو جهت دامنه شمال غربی و شمال شرقی انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش پژوهش

بنابر هدف پژوهش، نمونه‌برداری به‌صورت انتخاب سه قطعه نمونه یک‌هکتاری در توده‌های متراکم گونه ممرز در دامنه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و در دو جهت دامنه شمال غربی و شمال شرقی انجام شد. مشخصه‌های قطر برابر سینه

($dbh \geq ۷/۵$ cm) با استفاده از نوار قطرسنج، ارتفاع کل با استفاده از دستگاه ورتکس لیزری و دو قطر عمود برهم تاج با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شد. به این‌منظور تمام درختان ممرز درون قطعه نمونه اندازه‌گیری شدند.

سپس سطح مقطع درختان ممرز بر اساس رابطه ۱ و مساحت تاج با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۳۴ و ۳۵):

$$BA = \frac{\pi}{۴} DBH^{۲} \quad (۱)$$

BA: سطح مقطع برابر سینه، DBH: قطر برابر سینه

$$CC = \frac{\pi}{۴}(cd_{۱} \times cd_{۲}) \quad (۲)$$

CC: مساحت تاج پوشش، cd_1: قطر بزرگ تاج، cd_2: قطر کوچک تاج.

نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف بررسی شد. از آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل و از آنالیز واریانس با استفاده از آزمون توکی به‌منظور بررسی معنی‌داری روابط بین متغیرهای مورد مطالعه و عوامل محیطی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. سپس محاسبات رگرسیون غیرخطی در محیط نرم‌افزار CurveExpert Professional version 2.6 و با استفاده از انواع مدل‌های رگرسیون غیرخطی انجام شد. به‌دلیل اینکه اندازه‌گیری قطر درخت در عرصه جنگل راحت‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر است این مشخصه به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌ها قرار گرفت. بهترین مدل‌ها برای بررسی ارتباط بین قطر به‌عنوان متغیر مستقل با مشخصه‌های ارتفاع، سطح مقطع و مساحت تاج به‌عنوان متغیرهای وابسته به‌طور جداگانه در هر ارتفاع و جهت دامنه برازش شد و بهترین مدل بر اساس معیارهای حداکثر ضریب همبستگی (r) و ضریب تعیین (r^2) و حداقل خطای استاندارد و ضریب آکائیک (AICC) انتخاب شد.

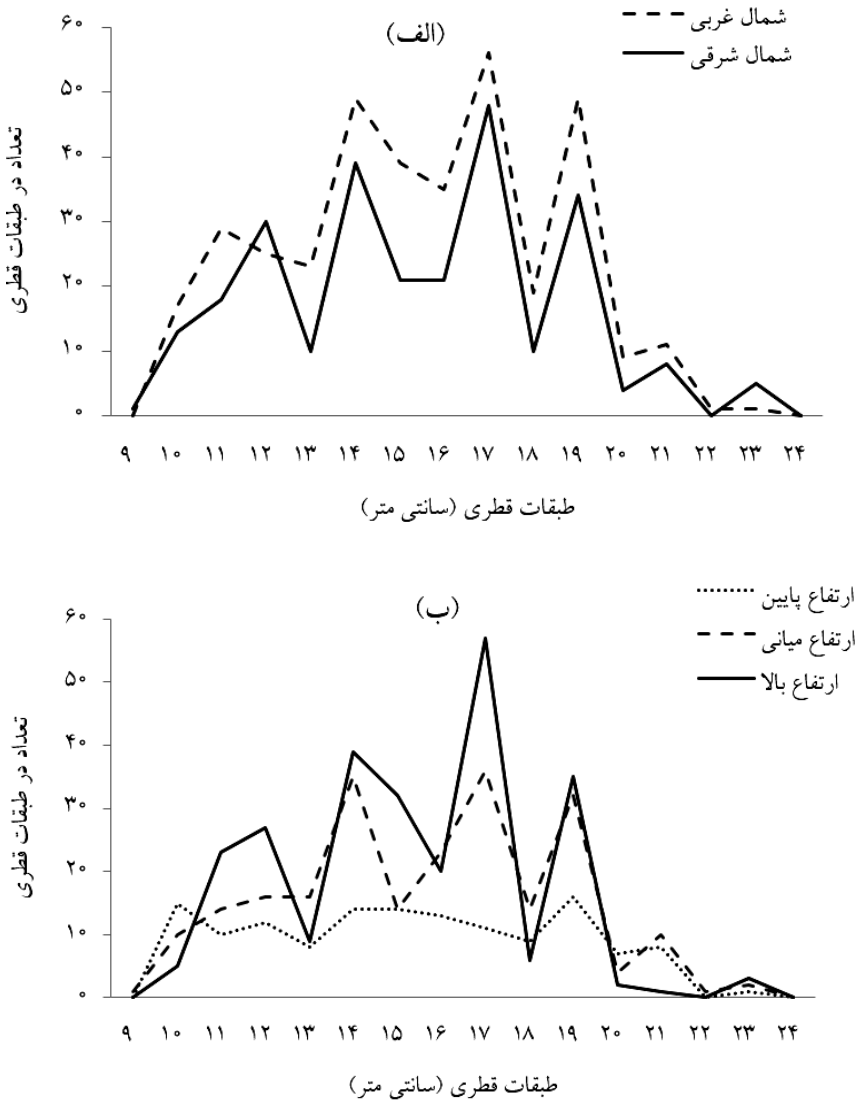
نتایج

نتایج بررسی پراکنش قطری درختان در دو جهت جغرافیایی نشان داد که توده‌های ممرز در هر دو جهت جغرافیایی دارای پراکنش همسال نامنظم هستند، اما جهت شمال غربی دارای تعداد بیشتری در تمام طبقات قطری بوده و از سطح منحنی پراکنش قطری بالاتری برخوردار بود (شکل ۲–الف). توده‌های ممرز در ارتفاعات مختلف نیز دارای الگوی پراکنش نامنظم بودند و با کاهش ارتفاع از سطح دریا از تعداد درختان در طبقات قطری کاسته شد به‌طوری‌که ارتفاع سوم به‌عنوان بالاترین ارتفاع دارای تعداد بیشتری درخت در طبقات قطری بود و توده‌های ارتفاع اول کمترین تعداد در طبقات قطری را داشتند (شکل ۲–ب).

آزمون همبستگی پیرسون رابطه مثبت و معنی‌داری بین قطر برابر سینه با ارتفاع درختان و سطح مقطع نشان داد و همچنین رابطه منفی معنی‌داری بین قطر برابر سینه و مساحت تاج درختان وجود داشت. ارتفاع درختان نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر برابر سینه، سطح مقطع و مساحت تاج داشت. سطح مقطع رابطه مثبت معنی‌داری با قطر و ارتفاع و رابطه منفی با مساحت تاج داشت. مساحت تاج درختان نیز رابطه مثبت معنی‌داری با ارتفاع درختان داشت، اما رابطه منفی معنی‌داری با قطر و سطح مقطع داشت. شدت همبستگی بین قطر برابر سینه و سطح مقطع بسیار قوی بود ($r = ۰/۹۹۴$) و همبستگی بین بقیه متغیرها ناچیز بود (جدول ۱).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که ارتفاع و مساحت تاج درختان در جهت‌های مختلف دامنه و همچنین ارتفاع‌های مختلف اختلاف معنی‌داری داشتند، اما قطر برابر سینه و سطح مقطع درختان نسبت به تغییر عوامل محیطی مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۲).

نتایج مدل‌سازی رابطه قطر و ارتفاع درختان در ارتفاع‌ها و جهت‌های جغرافیایی مختلف نشان داد که توده‌های ممرز در هر دو جهت جغرافیایی در ارتفاع پایین و بالا اگر چه از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی متفاوتی پیروی می‌کردند اما نسبت به ارتفاع میانی دارای توزیع نرمال بودند. مدل نمایی به‌علاوه خطی، گویا و Heat capacity به‌ترتیب در ارتفاع پایین



شکل ۲. پراکنش تعداد درختان در طبقات قطری در دو جهت دامنه (الف) و سه طبقه ارتفاعی (ب)

تا بالا در دامنه شمال غربی و مدل‌های سینوسی متفرقه، Heat capacity و Heat capacity به‌ترتیب در ارتفاع پایین تا بالا در دامنه شمال شرقی، از بهترین مدل‌های برازش‌شده بودند. نتایج این بخش نشان داد که در دامنه شمال غربی، درختان بلندتر بودند (شکل ۳ و ۴، جدول ۳ و ۴).

مدل‌های قطر – سطح مقطع در هر دو جهت دامنه و هر سه دامنه ارتفاعی وضعیت افزاینده را نشان داد به‌طوری‌که شیب افزایش سطح مقطع در ارتفاع میانی بیشتر بود. مدل‌های نمایی ۳، گاوسی و لگاریتم طبیعی به‌ترتیب در ارتفاع پایین تا بالا در دامنه شمال غربی و مدل گویا در هر سه دامنه ارتفاعی جهت شمال شرقی بهترین مدل‌های برازش شده برای قطر – سطح مقطع بودند. به‌طور کلی سطح مقطع در ارتفاع میانی در هر دو دامنه، دارای بیشترین مقدار بود (شکل ۵ و ۶، جدول ۳ و ۴).

بهترین مدل‌های برازش‌شده برای رابطه بین مشخصه قطر – سطح تاج شامل مدل‌های نمایی به‌علاوه خطی، درجه دوم معکوس – YD و گویا به‌ترتیب در ارتفاع پایین تا بالا در دامنه شمال غربی و مدل‌های نمایی به‌علاوه خطی به‌طور مشترک برای ارتفاع پایینی و میانی و مدل Heat capacity برای ارتفاع

جدول ۱. نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون مشخصات کمّی درختان در جهت‌های دامنه مختلف

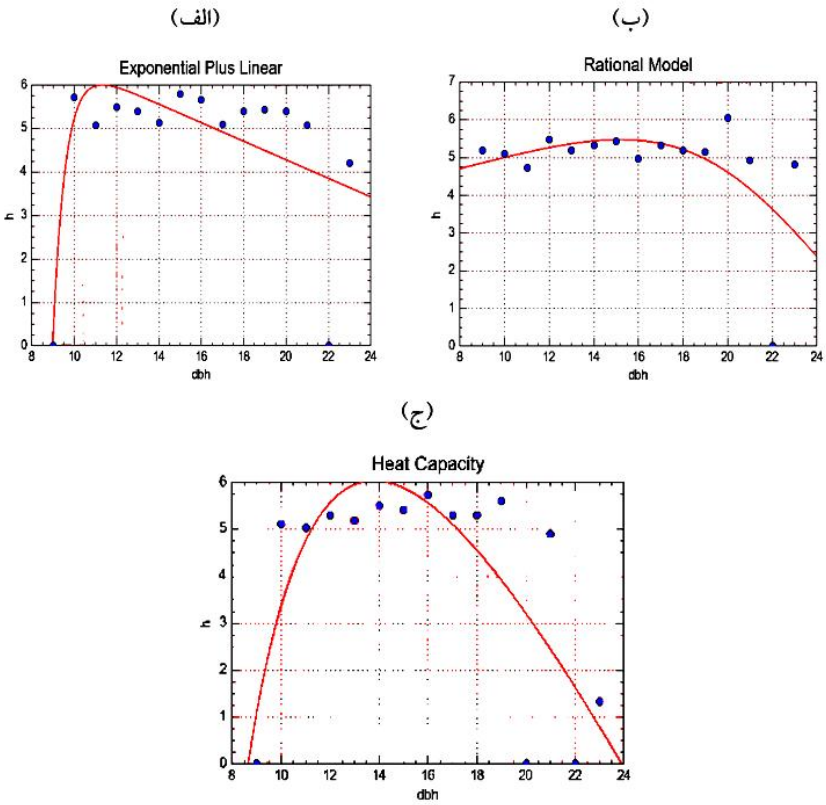
مشخصه کمّی		قطر برابر سینه	ارتفاع	سطح مقطع	مساحت تاج
قطر برابر سینه	همبستگی پیرسون	۱	۰/۱۶۹	۰/۹۹۴	-۰/۱۰۵
	سطح معنی‌داری		۰/۰*	۰/۰*	۰/۰۰۹*
	تعداد	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵
ارتفاع	همبستگی پیرسون	۰/۱۶۹	۱	۰/۱۶۱	۰/۱۸۰
	سطح معنی‌داری	۰/۰*		۰/۰*	۰/۰*
	تعداد	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵
سطح مقطع	همبستگی پیرسون	۰/۹۹۴	۰/۱۶۱	۱	-۰/۱۰۴
	سطح معنی‌داری	۰/۰*	۰/۰*		۰/۰۰۹*
	تعداد	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵
مساحت تاج	همبستگی پیرسون	-۰/۱۰۵	۰/۱۸۰	-۰/۱۰۴	۱
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۹*	۰/۰*	۰/۰۰۹*	
	تعداد	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

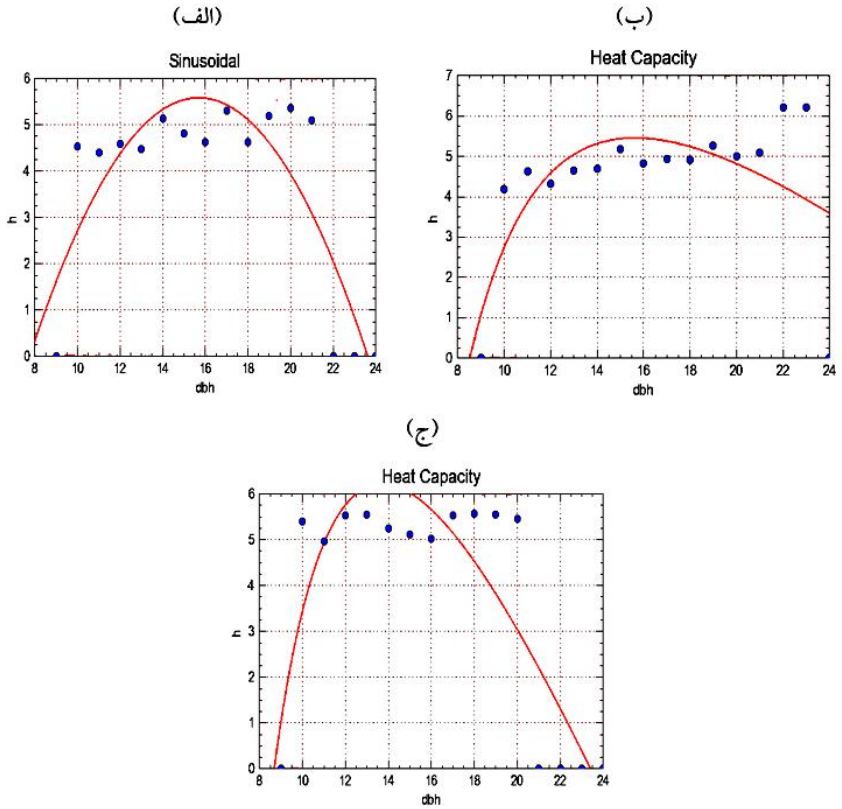
جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس مشخصات کمّی درختان در جهت‌ها و ارتفاعات مختلف

منبع تغییرات	مشخصه کمّی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
جهت دامنه	قطر برابر سینه	۱/۳۱۰	۱	۱/۳۱۰	۰/۱۴۶	۰/۷۰۲ns
	ارتفاع درخت	۱۴/۷۱۳	۱	۱۴/۷۱۳	۲۸/۶۴۱	۰/۰*
	سطح مقطع	۱۱۹۰/۹۵۱	۱	۱۱۹۰/۹۵۱	۰/۲۲۲	۰/۶۳۸ns
	مساحت تاج	۱۸۶/۲۵۰	۱	۱۸۶/۲۵۰	۱۶/۸۴۸	۰/۰*
ارتفاع از سطح دریا	قطر برابر سینه	۱۵/۱۵۴	۲	۷/۵۷۷	۰/۸۴۵	۰/۴۳۰ns
	ارتفاع درخت	۱۳/۵۷۱	۲	۶/۷۸۵	۱۳/۲۰۹	۰/۰*
	سطح مقطع	۱۰۳۷۶/۰۹۶	۲	۵۱۸۸/۰۴۸	۰/۹۶۸	۰/۳۸۱ns
	مساحت تاج	۲۴۸/۳۷۰	۲	۱۲۴/۱۸۵	۱۱/۲۳۳	۰/۰*
جهت دامنه × ارتفاع از سطح دریا	قطر برابر سینه	۳۷/۸۳۹	۲	۱۸/۹۱۹	۲/۱۱۰	۰/۱۲۲ns
	ارتفاع درخت	۶/۹۴۱	۲	۳/۴۷۰	۶/۷۵۶	۰/۰۰۱*
	سطح مقطع	۲۰۰۲۲/۵۵۷	۲	۱۰۰۱۱/۲۷۹	۱/۸۶۷	۰/۱۵۵ns
	مساحت تاج	۴۴۲۳۲۲	۲	۱۶۱/۲۲۱	۱۴/۵۸۴	۰/۰*

ns بدون اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵



شکل ۳. مدل قطر – ارتفاع ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال غربی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



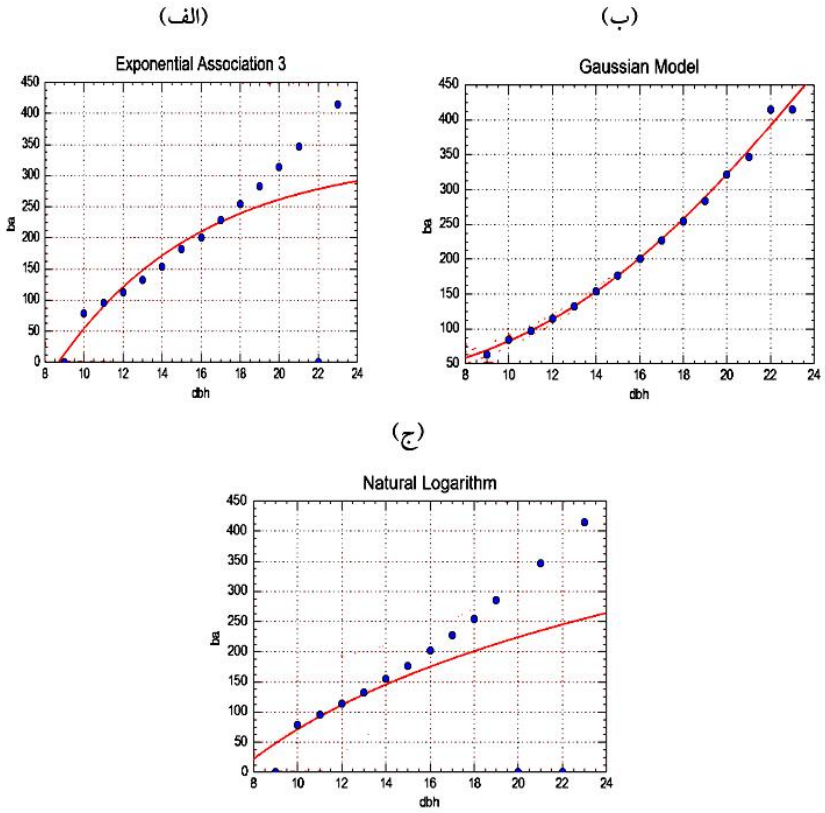
شکل ۴. مدل قطر – ارتفاع ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال شرقی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. مدل‌های رگرسیونی غیر خطی در دامنه‌های ارتفاعی مختلف در جهت دامنه شمال غربی

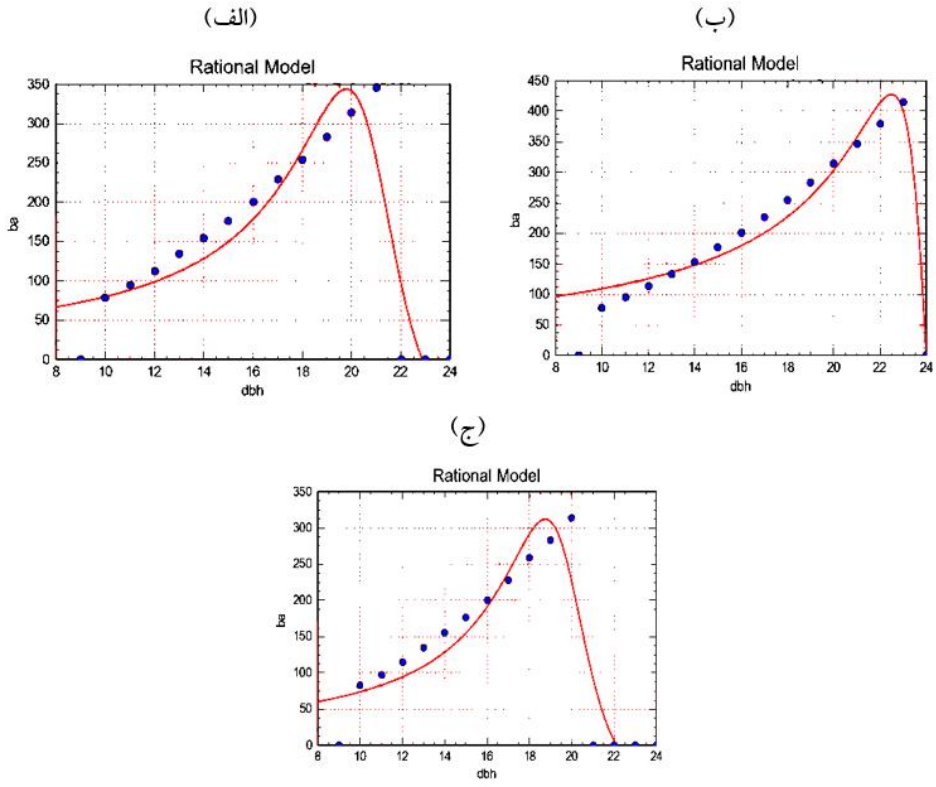
دامنه ارتفاعی	نام مدل	معادله	خطای استاندارد	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	معیار اطلاعاتی آکائیک	ضرایب عددی مدل				
							a	b	c	d	r
پایین	قطر – ارتفاع	نمایی به‌علاوه خطی	۱/۳۷۹	۰/۷۶۶	۰/۵۸۷	۱۳/۱۷۷	۸/۵۴۱	-۲۵۵۹۳۵۹۶/۵۴۴	-۰/۲۱۳	–	۰/۱۸۵
	قطر – سطح مقطع	نمایی ۳	۹۳/۸۷۵	۰/۷۰۳	۰/۴۹۴	۱۳۷/۹۱۳	۱۰۹/۳۰۴	۰/۳۰۲	۰/۱۳۷	–	–
	قطر – مساحت تاج	نمایی به‌علاوه خطی	۲/۶۱۴	۰/۷۳۳	۰/۵۳۸	۳۲/۳۵۳	۱۴/۸۵۳	۱۶۵۳۴۱۵۰۳۴/۲۳۰	-۰/۴۷۴	–	۰/۱۲۳
میانی	قطر – ارتفاع	مدل گویا	۱/۳۳۹	۰/۵۱۲	۰/۲۶۳	۱۲/۲۷۸	۳/۵۹۶	-۰/۱۲۹	-۰/۰۶۹	۰/۰۰۱۵	–
	قطر – سطح مقطع	مدل گاوسی	۸/۶۵۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۵	۶۶/۳۸۴	۷۵۹/۳۳۲	۳۶/۴۲۵	۱۲/۵۱۷	–	–
	قطر – مساحت تاج	درجه دوم معکوس– YD	۱/۰۲۳	۰/۹۴۶	۰/۸۹۶	۲/۳۲۳	-۴/۰۲۴	۰/۶۳۹	-۰/۰۱۵	–	–
بالا	قطر – ارتفاع	Heat Capacity	۱/۵۳۳	۰/۷۸۹	۰/۶۲۲	۱۴/۴۷۵	۲۸/۷۴۱	-۱/۰۹۶	۱۴۴۴/۸۷۸	–	–
	قطر – سطح مقطع	لگاریتم طبیعی	۱۱۱/۴۳۴	۰/۵۱۹	۰/۲۶۹	۱۴۱/۵۶۴	-۴۳۷/۶۶۲	۲۲۰/۶۴۷	–	–	–
	قطر – مساحت تاج	مدل گویا	۲/۸۳۹	۰/۶۸۴	۰/۴۷۲	۳۴/۸۴۲	-۱۰/۷۴۰	۱/۱۹۶	-۰/۲۳۹	۰/۰۱۵۷	–

جدول ۴. مدل‌های رگرسیونی غیر خطی در دامنه‌های ارتفاعی مختلف در جهت دامنه شمال شرقی

دامنه ارتفاعی		نام مدل	معادله	خطای استاندارد	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	معیار اطلاعاتی آکائیک	ضرایب عددی مدل				
								a	b	c	d	r
	قطر – ارتفاع	سینوسی	$a+b\ cos(cDBH+d)$	۱/۲۹۶	۰/۸۴۸	۰/۷۱۹	۱۱/۶۸۲	−۱۱۶۵/۰۵۳	۱۱۷۰/۶۲۶	۰/۰۱۲	۶/۰۸۹	-
پایین	قطر – سطح مقطع	مدل گویا	$\frac{a+bDBH}{1+cDBH+dDBH^2}$	۵۱/۴۶۵	۰/۹۱۹	۰/۸۴۴	۱۲۹/۵۰۶	۳۹/۷۹۲	−۱/۷۳۹	−۰/۰۹۴	۰/۰۰۲	–
	قطر – مساحت تاج	نمایی به‌علاوه خطی	$a+br^{DBH}+cDBH$	۲/۵۶۹	۰/۷۴۱	۰/۵۴۹	۳۳/۶۰۱	۱۶/۰۳۰	−۱۰۳۱۳۹/۶۵۹	−۰/۶۰۳	–	۰/۳۶۰
	قطر – ارتفاع	Heat Capacity	$a+bDBH+\frac{c}{DBH^2}$	۱/۴۵۱	۰/۶۵۹	۰/۴۳۴	۱۳/۵۱۶	۱۶/۷۳۳	−۰/۴۸۱	−۹۲۱/۰۶۶	–	–
میانی	قطر – سطح مقطع	مدل گویا	$\frac{a+dDBH}{1+Cdbh+dDBH^2}$	۳۶/۸۶۸	۰/۹۶۶	۰/۹۳۳	۱۱۱۸/۸۳۲	۶۵/۳۱۳	−۲/۷۲۱	−۰/۰۸۲	۰/۰۰۲	–
	قطر – مساحت تاج	نمایی به‌علاوه خطی	$a+br^{DBH}+cDBH$	۱/۹۶۹	۰/۶۴۰	۰/۴۰۹	۲۵/۰۷۳	۸/۳۸۸	−۸۹۳۰۹۱۱۷۵۳۱/۵۳۴	−۰/۱۹۱	–	۰/۰۷۵
	قطر – ارتفاع	Heat Capacity	$a+bDBH+\frac{c}{DBH^2}$	۱/۳۷۳	۰/۸۶۸	۰/۷۵۳	۱۱/۷۳۶	۳۰/۸۵۰	−۱/۱۹۷	−۱۵۴۷/۱۸۱	–	–
بالا	قطر – سطح مقطع	مدل گویا	$\frac{a+bDBH}{1+cDBH+dDBH^2}$	۴۸/۹۵۶	۰/۹۱۶	۰/۸۴۰	۱۲۷/۹۰۷	۳۳/۹۱۵	−۱/۵۳۴	−۰/۰۹۹	۰/۰۰۳	–
	قطر – مساحت تاج	Heat Capacity	$a+bDBH+\frac{c}{DBH^2}$	۲/۳۴۹	۰/۸۵۱	۰/۷۲۵	۲۸/۹۳۴	۴۸/۰۵۷	−۱/۸۷۹	−۲۳۵۸/۷۲۲	–	–



شکل ۵. مدل قطر – سطح مقطع ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال غربی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. مدل قطر – سطح مقطع ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال شرقی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

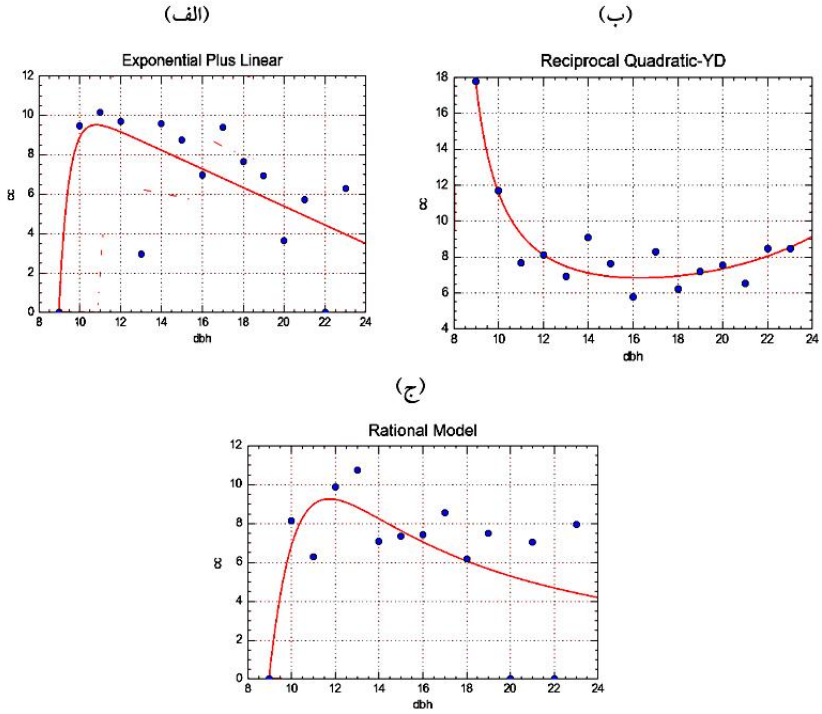
بالا در دامنه جنوب شرقی بودند (شکل ۷ و ۸، جدول ۱ و ۲). بر اساس نمودارهای حاصل از این مشخصه‌ها، سطح تاج در ارتفاع بالا در هر دو دامنه بیشتر بود (شکل ۷ و ۸، جدول ۳ و ۴).

بحث

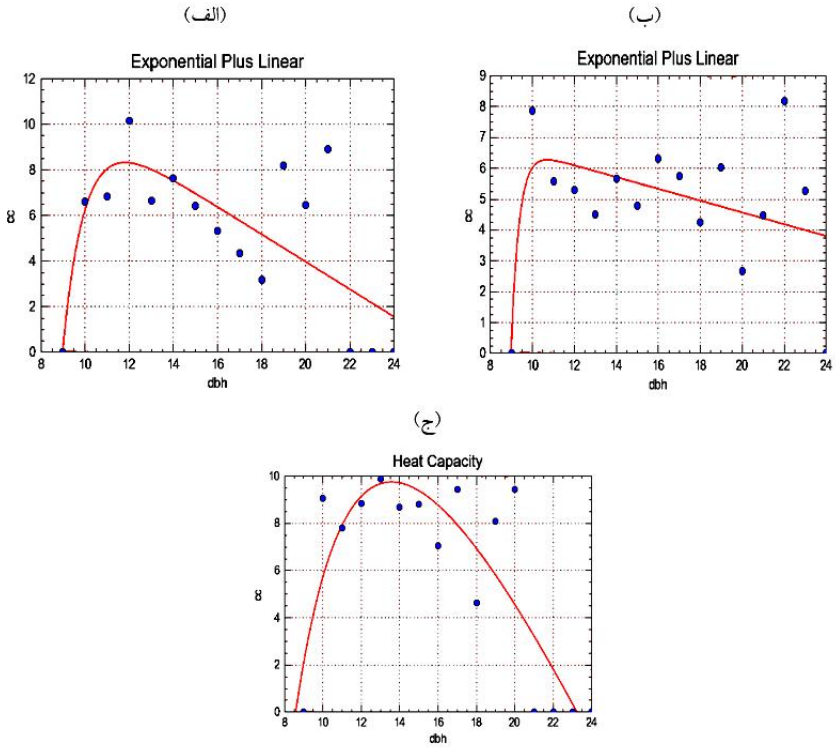
به‌دلیل رابطه تنگاتنگ بین مشخصه‌های جنگل، مدل‌های مختلف، ابزاری مهم برای اهداف بررسی و ارزیابی توده هستند که می‌توان با اندازه‌گیری یک مشخصه به تغییرات سایر مشخصه‌ها پی برد. آنچه مسلم است آن است که مدل‌ها در رویشگاه‌های مختلف و برای گونه‌های مختلف متفاوت هستند و در همه موقعیت‌ها یکسان نخواهند بود زیرا درختان از نظر سن، گونه، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت درختان در توده متفاوت هستند. بنابراین مدل‌های مشخصه‌های رویشی نیز به‌دلیل تغییرات دینامیک توده و محیط تغییر خواهند کرد (۳).

در مطالعه حاضر سعی شد تا مهم‌ترین عوامل فیزیوگرافیک حاکم بر توده‌های گونه ممرز به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین گونه‌های جنگل‌های ارسباران، شامل گرادیان ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه بر اساس مدل‌های قطر، ارتفاع، سطح مقطع و تاج درختان بررسی شوند.

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی و با توجه به تنوع مدل‌های مشاهده‌شده می‌توان گفت که تغییرات ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه بر تغییرات رابطه قطر – ارتفاع ممرز مؤثر بوده است. مناسب‌ترین مدل‌های نشان‌دهنده رابطه قطر – سطح مقطع نیز نشان داد که در دامنه شمال شرقی، رابطه قطر – سطح مقطع گونه ممرز در هر سه ارتفاع مورد بررسی از مدل یکسانی پیروی می‌کند و به‌طور کلی مدل‌های رابطه قطر – سطح مقطع گونه ممرز از تنوع کمتری تحت تأثیر ارتفاع و جهت دامنه برخوردار بودند. بررسی مدل‌های قطر – مساحت تاج نیز مدل-های مختلفی را در ارتفاع‌ها و جهت‌های متفاوت نشان داد. می-توان اذعان کرد رابطه قطر – تاج درختان تحت تأثیر ارتفاع و جهت جغرافیایی از تنوع مدل‌های بیشتری برخوردار بود. این درحالی است که احمدی و همکاران (۲) مدل‌های وایبول، شنات و چاپمن – ریچاردز را برای مشخصه قطر – ارتفاع گونه راش برآورد کردند و همچنین شارما و همکاران (۲۷) مدل چاپمن – ریچاردز را برای گونه نوئل، و ناوردی و همکاران (۱۹) مدل Pearl and Reed (1920) را برای مشخصه‌های قطر و ارتفاع گونه افرا پلت معرفی کردند. بنابراین بر اساس مقایسه نتایج پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های معرفی‌شده، مسلم است که بهترین مدل‌های نشان‌دهنده شرایط رویشی گونه‌های مختلف به‌طور قطع با هم متفاوت خواهند بود. از این‌رو مسئله دوم یعنی شرایط محیطی مطرح خواهد شد. در این زمینه نیز محققان اغلب بر این عقیده‌اند که گونه‌ها در شرایط محیطی مختلف مدل‌های رویشی متفاوتی خواهند داشت، به‌طوری‌که شارما و همکاران (۲۷) بر موضوع اثر عوامل ترکیب گونه‌ای، رقابت بین گونه‌ها و همچنین تراکم توده بر مدل‌های رویشی گونه‌های مختلف تأکید کرده‌اند. بنابر نظر تنزین و همکاران (۳۰) نیز ایده‌آل‌ترین حالت مدل‌سازی بین مشخصه‌های درختان، بررسی در شرایط محیطی متفاوت و در رقابت با سایر گونه‌ها است زیرا این شرایط امکان ارائه دستورالعمل‌های مدیریتی بسیار دقیق را فراهم می‌کند و با کاهش یا افزایش رقابت، رفتار رویشی گونه‌ها تغییر خواهد کرد که این موضوع بر ساختار مدل‌ها نیز اثر خواهد داشت. نکته اول یعنی اثر عوامل محیطی در مطالعه حاضر بررسی شد و در مورد شرایط رقابتی پیشنهاد می‌شود که شرایط رقابت گونه ممرز با سایر گونه‌های همراه مانند بلوط در ارسباران مورد بررسی قرار گیرد تا امکان مقایسه بین گونه‌ها نیز میسر باشد. ابراهیمی و همکاران (۱۰) در بررسی نتیجه آزمون تجزیه مؤلفه‌های اصلی بیان کردند که بین فاکتورهای محیطی و استقرار گونه ممرز در ارسباران ارتباط معنی‌دار وجود داشته و ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب را با بیشترین اثر منفی بر استقرار گونه ممرز و گونه‌های همراه آن در ارسباران معرفی کردند. نتایج مطالعه علیجانپور و همکاران (۴) نیز نشان داد که قطر برابر سینه و قطر تاج درختان ممرز در جنگل ارسباران تحت تأثیر عوامل خاکی و جهت جغرافیایی قرار داشته و تغییرات معنی‌داری داشته است.



شکل ۷. مدل قطر – مساحت تاج ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال غربی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸. مدل قطر – مساحت تاج ممرز در ارتفاع پایین (الف)، میانی (ب) و بالا (ج) در جهت شمال شرقی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

پیائو و همکاران (۲۱) نیز تصریح کردند که ارتفاع یکی از عوامل بسیار مؤثر در برآورد قطر با استفاده از مدل‌سازی است. نتایج مطالعه حاضر با این نظر مطابقت دارد زیرا نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ارتفاع از سطح دریا (به‌جز در جهت شمال شرقی که مدل‌های قطر – سطح مقطع یکسانی در ارتفاع‌های مختلف برآورد شد) و جهت دامنه به برآورد مدل‌های رویشی مختلف برای مشخصه‌های قطر – ارتفاع، قطر – سطح مقطع و قطر – سطح تاج منجر شد. همچنین آن‌ها بیان کردند که در زمانی که جنگل‌ها در شرایط توپوگرافی یکسان هستند بهتر است عوامل اقلیمی برای بررسی تغییرات پارامترهای رویشی در مدل‌سازی وارد شود که پیشنهاد می‌شود این موضوع در جنگل ارسباران نیز بررسی شود. ناورودی و همکاران (۱۹) و اوزسلیک و همکاران (۲۰) نیز بیان کردند که مشخصه‌های رویشی هر گونه بستگی زیادی به شرایط محیطی محلی و شرایط جغرافیایی حاکم بر زیستگاه آن گونه دارد. همچنین شارما و همکاران (۲۷) بر این عقیده‌اند که مدل‌سازی در طولانی‌مدت نتایج مطلوب‌تری در اختیار قرار می‌دهد چرا که رفتار رویشی گونه‌ها در درازمدت و تحت تأثیر عوامل محیطی مثل اقلیم، آفات و رقابت را نشان خواهد داد.

از طرف دیگر معیارهای صحت مدل نیز از نگاه محققان دور نمانده است. بنابر نظر کامرون و ویندمیجر (۸) معیار ضریب تعیین به‌تنهایی برای ارزیابی مناسب یک مدل رگرسیون غیرخطی کافی نخواهد بود. بنابراین در مطالعه حاضر معیارهای خطای استاندارد، ضریب آکائیک (AICC)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تعیین (r^2) ملاک انتخاب قرار گرفت و مدل‌ها بر اساس بیشترین ضریب تعیین و ضریب همبستگی و کمترین مقدار ضریب آکائیک و خطای استاندارد انتخاب شدند. ناورودی و همکاران (۱۹) نیز از همین معیارهای محاسباتی برای برازش مدل‌های مورد بررسی خود استفاده کردند.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای نشان‌دادن رابطه بین قطر و مشخصه‌های سطح مقطع و تاج نسبت به مشخصه ارتفاع درخت، بهتر عمل کردند. این موضوع بنابر شاخص‌های بررسی صحت مدل شامل ضریب تعیین، ضریب همبستگی، خطای استاندارد و ضریب آکائیک مشخص شد. با این‌حال نتایج نشان داد که این مدل‌ها توانایی خوبی در برآورد مشخصه‌های مورد مطالعه و بررسی اثرات ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه داشتند. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات مدل‌سازی در سایر مناطق جنگل ارسباران از جمله مناطق غیرحفاظتی، و در مورد سایر گونه‌های مهم منطقه و با کمک عوامل محیطی دیگر تکرار شود تا با کسب نتایج تکمیلی اطلاعات دقیق‌تری به‌منظور شناخت منطقه، مدیریت پایدار و اجرای برنامه‌های حفاظتی در عرصه در اختیار قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Afrozandeh, A., B. Kiani and P. Atarod. 2015. Modeling the standing traits to estimate tree volume and biomass of *Acer monspessulanum* Subsp. *cinerascens* (Boiss.) using multiple regression. *Ecology of Iranian Forests* 3(6): 9-18. (In Farsi)
2. Ahmadi, K., S. J. Alavi, M. Tabari Kouchaksaraei and W. Aertsen. 2014. Comparison of non-linear height and diameter functions for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in a mixed and uneven-aged Caspian forest (case study: Tarbiat Modares University forest research station). *Iranian Journal of Forest* 6(1): 11-22. (In Farsi)
3. Alemi, A., J. Oladi, A. Fallah and Y. Maghsoudi. 2018. Evaluating of height-diameter nonlinear models for *Alnus* species in Hyrcanes forest (case study: Golestan Rezaeian Forest). *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 9(2): 10-12. (In Farsi)
4. Alijanpour A., A. Fatullahi, J. Eshaghi Rad and A. R. Mohamed. 2018. Effect of aspect and soil on quantitative and qualitative characteristic of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in Arasbaran forest (case study: Ilginehchay and Kaleibarchay Watersheds). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 30(4): 887-898. (In Farsi)

5. Bakhtiari, S. B. and H. Sohrabi. 2012. Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 20(3): 481-492. (In Farsi)
6. Bayat, M., M. Namiranian and M. Zobeiri. 2014. Volume, height and wood production modeling using the changes in a nine years rotation (case study: Gorazbon district in Kheyroud forest, north of Iran). *Journal of forest and Wood Products* 67(3): 423-435. (In Farsi)
7. Burkhart, H. E. and M. Tomé. 2012. Modeling forest trees and stands. Springer, Netherlands.
8. Cameron, A. C. and F. A. G. Windmeijer. 1997. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. *Journal of Econometrics* 77(2): 329-342.
9. Daryaei, A. and H. Sohrabi. 2015. Above-ground biomass estimation of small diameter trees of *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis* and *Parrotia persica* by using power regression model. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 22(2): 137-150. (In Farsi)
10. Ebrahimi, T. G., R. Ostad Hashemi, A. R. Haghighi and Y. Iamni. 2020. Ecological factors affecting on distribution of hornbeam species (*Carpinus betulus* L.) in Arasbaran forests. *Conservation and Utilization of Hyrcanian Forest Journal (CUHFJ)* 2(1): 37-48. (In Farsi)
11. Hamzeh'ee, B. 2018. Plant associations of Arasbaran lowlands and its conservation significance. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 16(2): 190-206. (In Farsi)
12. Hosseinzadeh, J. and A. Najafifar. 2016. Study of association between diameter and height of trees and decline distribution in oak forest stands of Ilam province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 23(2): 75-87. (In Farsi)
13. Iranmanesh, Y., S. G. A. Jalali, Kh. Sagheb-Talebi, S. M. Hosseini and H. Sohrabi. 2013. Allometric equations of biomass and carbon stocks for *Quercus brantti* acorn and its nutrition elements in Lordegan, Chaharmahal Va Bakhtiari. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 20(4): 551-564. (In Farsi)
14. Istrefi, E., E. Toromani, N. Çollaku and B. Thaçi. 2019. Allometric biomass equations for young trees of four broadleaved species in Albania. *New Zealand Journal of Forestry Science* 49(8): 1-14.
15. Jalili, A., B. Hamze'ee, Y. Asri, A. Shirvani, S. Yazdani, M. Khoshnevis, F. Zarrinkamar, M. A. Ghahramani, and R. Safavi. 2003. Soil seed banks in the Arasbaran Protected Area of Iran and their significance for conservation management. *Biological Conservation* 109: 425-431.
16. Liang, X., V. Kankare, J. Hyyppa, Y. Wang, A. Kukko, H. Haggran, X. Yu, H. Kaartinen, A. Jaakola, F. Guan, M. Holopainen and M. Vastaranta. 2016. Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 115: 63-77.
17. Ma, W. and X. Lei. 2015. Nonlinear simultaneous equations for individual-tree diameter growth and mortality model of natural mongolian oak forests in northeast china. *Forests* 6: 2261-2280.
18. Moradi, Sh., E. Ramezani, A. Alijanpour and A. Banej Shafiei. 2016. Quantitative and qualitative characteristics and altitudinal zonation of Arasbaran forest protected area, northwestern Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 24(3): 529-540. (In Farsi)
19. Navroodi, I. H., S. J. Alavi, M. K. Ahmadi and M. Radkarimi. 2016. Comparison of different non-linear models for prediction of the relationship between diameter and height of velvet maple trees in natural forests (case study: Asalem Forests, Iran). *Journal of Forest Science* 62(2): 65-71.
20. Ozcelik, R., H. Yavuz, Y. Karatepe, N. Gürlevik and R. Kiriş . 2014. Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38: 399-412.
21. Piao, D., M. Kim, G. M. Choi, J. Moon, H. Yu, W. K. Lee and S. Wangye. 2018. Development of an integrated DBH estimation model based on stand and climatic conditions. *Forests* 9(155): 1-18.
22. Rahmani, R., S. Ghorbani and M. Naghash Zargaran. 2014. Measurement and modelling litter biomass and leaf area index using allometry in a Beech-Hornbeam stand in the mid-elevation of the Hyrcanian region, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 22(4): 687-701. (In Farsi)
23. Rasuly, A., R. Naghdifar and M. Rasouli. 2010. Detecting of Arasbaran forest changes applying image processing procedures and GIS techniques. *Procedia Environmental Sciences* 2: 454-464.
24. Safari, M., K. Sefidi, A. Alijanpoor and M. R. Elahian. 2020. The influence of landform, terrain shape index and aspect slope on the structural distribution of mixed stands in the Arasbaran forest by ordination method (case study: Kaleybarchay Watershed). *Ecology of Iranian Forest* 8(16) :81-89. (In Farsi)
25. Sasanifar, S., A. Alijanpour, A. Banj Shafii, J. Eshaghi Rad, M. Molaei and H. Azadi. 2019. Forest protection policy: lesson learned from Arasbaran biosphere reserve in Northwest Iran. *Land Use Policy* 87: 1-8.
26. Sefidi, K., F. Esfandiary Darabad and M. Azarian. 2016. Effect of topography on tree species composition and volume of coarse woody debris in an Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) old growth forests, northern Iran. *iForest* 9(4): 658-665.
27. Sharma, R. P., Z. Vacek, S. Vacek, V. Jansa and M. Kučera. 2017. Modelling individual tree diameter growth for

Norway spruce in the Czech Republic using a generalized algebraic difference approach. *Journal of Forest Science* 63(5): 227-238.
28. Sohrabi, H. and A. Shirvani. 2012. Allometric equations for estimating standing biomass of Atlantic Pistache (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) in Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest* 4(1): 55-64. (In Farsi)
29. Taheri Abkenar, K., A. Heidari Safari Kouchi, S. Dehghanzad, S. Mostahsanpour and F. Moradianfard. 2018. Estimation of carbon emissions from loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest plantations using allometric equations. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 16(1): 88-101. (In Farsi)
30. Tenzin, J., K. Tenzin and H. Hasenauer. 2017. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. *Forestry: an International Journal of Forest Research* 90: 367-380.
31. Vahedi, A. A. 2014. Optimal allometric biomass equations for Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) boles within the Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 22(2): 225-236. (In Farsi)
32. Vahedi, A. A. and M. Jafari. 2016. Comparison of artificial neural network and allometric equations associated with modeling bole biomass of maple trees (*Acer velutinum* Bioss.) in the Hyrcanian forests. *Journal of Wood and Forest Science Technology* 23(4): 111-132. (In Farsi)
33. Wang, X. Y., C. Y. Zhao and Q. Y. Jia. 2013. Impacts of climate change on forest ecosystems in northeast China. *Advances in Climate Change Research* 4(4): 230-241.
34. Zobeiry, M. 2002. Forest Biometry. University of Tehran press, Tehran. (In Farsi)
35. Zobeiry, M. 2005. Forest Inventory (Measurement tree and forest). University of Tehran press, 424 p. (In Farsi).

Evaluating the Effect of Some Physiographic Factors on Growth Models of Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in Arasbaran Forest

R. Abedi[1*]

(Received: December 19-2020; Accepted: Mach 03-2021)

Abstract

The current study aimed to investigate changes in growth models of hornbeam (*Carpinus betulus*), as the most abundant species in Arasbaran forest, at different altitude ranges and aspects. Sampling was performed in one-hectare plots at the altitude range of 1200 to 1500 meters and hornbeam trees were measured on the diameter at the breast height (DBH), total height and the diameter of crown canopy. Data analysis was carried out by Nonlinear Regression Models and the best models were fitted based on maximum correlation coefficient, coefficient of determination, minimum standard error and Akaike coefficient for the relationship between diameter (independent variables), and height, basal area and the crown canopy (dependent variable). Results showed that there was a positive correlation between DBH, height, and basal area of trees (r = 0.994) but DBH and crown canopy had a negative correlation. In addition, there was a significant difference in height and crown canopy of the trees across altitudes and aspects. The results of nonlinear models revealed that Exponential Linear Model, Rational Model, Heat Capacity, Sinusoidal, Exponential Association 3, Gaussian, Natural Logarithm and Reciprocal Quadratic YD were the most important models. The hornbeam species follows different models at different altitudes and aspects (except in the northeast aspect which only showed a Rational Model at different altitudes). Nonlinear Regression Models performed reasonable in showing the relationship between tree characteristics including diameter-basal area and diameter-canopy cover. It is recommended to use such models for other species in the region with environmental factors to provide complementary results for more accurate management guidelines.

Keywords: Altitude, Aspect, Crown coverage, Modeling

1. Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran.
*: Corresponding Author, Email: royaabedi@tabrizu.ac.ir