

ارزیابی مدل های غیرخطی قطر - ارتفاع گونه توسکا در جنگل های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل رضاییان)

انوشیروان عالمی^{*}، جعفر اولادی^آ، اصغر فلاح^و یاسر مقصودی^ف

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲

چکیده

ارزیابی وضعیت توده جنگلی در طول زمان به دقت و نوع مدل های قطر- ارتفاع وابسته است. در این پژوهش مدل های مختلف قطر- ارتفاع برای برآورد دقیق ارتفاع درخت توسکا در توده های ناهمسال آمیخته نامنظم در بخشی از سری چهار جنگل رضاییان علی آباد ارزیابی شد. ۲۰۰ قطعه نمونه دایره ای شکل به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع و به روش تصادفی- منظم به ابعاد شبکه ۲۰۰×۱۵۰ متر و با شدت ۳/۳۳ درصد در جنگل مورد مطالعه پیاده شد. در تمام قطعات نمونه، مشخصه های گونه، قطر برابر سینه تمام درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتیمتر و ارتفاع درختان اندازه گیری و ثبت شد. با استفاده از ۴۳ مدل رگرسیونی، ارتباط بین ارتفاع به عنوان متغیر وابسته و قطر به عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد. نتایج به دست آمده نشان داد که نتایج معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری تفاوت معنی داری بین مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل های مختلف و مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود نداشت. همچنین پنج مدل رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی ۲، هایپربولیک ۳، مورگان- مرسر- فلودین و لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۸۸ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب ۷/۸۱، ۷/۸۶، ۷/۸۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۲ درصد، نتایج مشابه و نزدیک به هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان جنگلی با دقت مناسب داشتند. این مدل ها می توانند در برآورد ارتفاع درختان جنگلی در صورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی شمال ایران استفاده شوند.

واژه های کلیدی: آماربرداری، جنگل های علی آباد، رگرسیون غیرخطی، مدل قطر- ارتفاع.

۱ - دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

*نویسنده مسئول ایمیل: Anoshiravana@yahoo.com

۲ - دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۳ - استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۴ - استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

مقدمه

مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی صحیح منابع جنگلی به اطلاعات دقیق و با کیفیت زیاد از وضعیت حال و آینده جنگل نیازمند است. یکی از این بوم‌سازگان‌های حیاتی، جنگل‌های هیرکانی است که در دهه‌های اخیر به دلایل متعدد دستخوش تغییرات زیادی شده است که حفظ، دوام و بقای آن، پایش مداوم، چاره‌اندیشی و تمهیدات همه‌جانبه را می‌طلبد. به همین دلیل کسب اطلاعاتی دقیق و به‌هنگام از وضعیت کمی این منابع جنگلی در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح این منابع، از اولویت زیادی برخوردار است. مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، از مهمترین مؤلفه‌های مورد نیاز در آماربرداری جنگل هستند. اندازه‌گیری ارتفاع درختان نسبت به قطر برابر سینه به دلیل نیاز به زمان بیشتر برای اندازه‌گیری، احتمال خطای مشاهداتی و موانع موجود برای دید رفتن به بن و نوک درختان، مشکل‌تر، زمان‌برتر و پرهزینه‌تر است (۳،۱۶). در آماربرداری جنگل در بیشتر کشورها، فقط ارتفاع تعداد محدودی از درختان اندازه‌گیری می‌شود (۳،۷). با توجه به رابطه قوی و تنگاتنگ قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، برای پیش‌بینی دقیق ارتفاع درختان دیگر، باید از مدل‌های قطر-ارتفاع دقیق استفاده شود (۳). این مدل‌ها ابزاری مهم برای اهداف مدیریتی در جنگل‌های پهن‌برگ، ناهمسال و نامنظم هیرکانی هستند. مدل‌های قطر-ارتفاع، کاربردهای زیادی در مدیریت جنگل مانند برآورد زیتوده، ذخیره کربن و موجودی سرپا (۶،۱۰)، تحلیل و تجزیه ساختار توده

(۹)، تعیین مدل‌های محصول و رویش درختان (۱۴)، تعیین ارتفاع غالب و شاخص رویشگاه و پایداری توده و ارزیابی خسارت (۱۲) دارند. با توجه به رویکرد جدید مدیریت جنگل‌های هیرکانی در سال‌های اخیر براساس اهداف جنگلداری چندمنظوره، مدیران برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رویش و محصول در راستای مدیریت پایدار این منابع، به روابط قطر-ارتفاع دقیق نیاز دارند. بنابراین مدل‌های قطر-ارتفاع برای درک بهتر روابط مختلف در طبیعت، توصیف و بررسی تفاوت‌ها و تأثیرگذاری در توسعه اکوسیستم‌های جنگلی ضروری هستند و دقت این مدل‌ها برای تهیه جداول حجم دقیق و پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر مدل‌های رویش و محصول بسیار مهم است (۵،۱۱).

تاکنون مدل‌های خطی و غیرخطی زیادی برای گونه‌های مختلف در مناطق مختلف پیشنهاد شده است که اغلب برای توده‌های همسال یا جنگلکاری‌ها استفاده شده‌اند. مدل‌های قطر-ارتفاع در رویشگاه‌های مختلف و برای گونه‌های مختلف، متفاوت هستند و حتی در توده‌های همسال و خالص نیز در همه موقعیت‌ها یکسان نیستند (۴). در توده‌های ناهمسال و نامنظم، درختان از نظر سن، گونه، اندازه، تاج، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت نسبی درختان در توده متفاوت هستند و اجرای شیوه تک‌گزینی و تغییرات دینامیک توده نیز باعث ایجاد تغییرات می‌شود (۱۶)، بنابراین روابط قطر-ارتفاع در این توده‌ها همیشه ثابت نیست و به‌سختی می‌توان آن را برازش داد. مطالعات زیادی در خارج از

استفاده از مدل های غیرخطی، مناسبترین مدل برای گونه های اصلی را بررسی و انتخاب کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش آنها نشان داد که مدل های وایبول، لجستیک متعادل شده، چاپمن ریچارد و اسنات نتایج خوبی را داشتند (۶). ژانگ شش مدل غیرخطی را برای رابطه قطر- ارتفاع درختان در جنگل های شمال غرب ایالات متحده آمریکا برآزش داد و نتایج مطالعه وی نشان داد که مدل اسنات، وایبول و چاپمن ریچارد بهتر توانسته اند ارتفاع درختان را برآورد کنند (۱۷). فانگ و بایلی ۳۳ مدل قطر- ارتفاع را برای جنگل های تروپیکال جزیره هاینان چین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که میانگین مجذور مربعات خطا بین دو تا چهار متر بود (۵). پنگ و همکاران شش مدل غیرخطی را برای بررسی رابطه قطر- ارتفاع نه گونه اصلی جنگل های بورآل استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل چاپمن ریچارد، وایبول و اسنات بهتر توانسته اند ارتفاع درختان را برآورد کنند (۱۳). لامبرس و همکاران مدل های قطر- ارتفاع سه گونه کاج و لاریکس را در جنوب کره بررسی کردند. نتایج به دست آمده از تحقیق آنها نشان داد که مدل لجستیک بهینه شده و مدل لاندکویست کورف در مقایسه با مدل های دیگر نتایج بهتری را ارائه داده اند (۷). اوزسلیک و همکاران پیش بینی ارتفاع درختان ارس (*Juniperus excels*) جنوب و جنوب غرب ترکیه را با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، مدل غیرخطی با اثرات آمیخته و مدل های غیرخطی کلاسیک بررسی کردند.

کشور در مورد برآزش مدل های قطر- ارتفاع برای گونه های مختلف انجام شده است، در حالی که مطالعات کمی در ایران در مورد به- کارگیری مدل های مختلف قطر- ارتفاع در شرایط رویشگاهی متفاوت انجام شده است. بیات و همکاران در پژوهشی در منطقه گرازبن جنگل خیرودکنار به ارائه مدل های حجم، ارتفاع و تولید چوب در گونه راش براساس تغییرات حجمی و تعداد در یک دوره نه ساله پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مدل پرودان با ضریب تبیین ۰/۹۴۵ و مجذور میانگین مربعات خطا ۴/۶۸ بهترین نتیجه در برآورد ارتفاع درختان راش را دارا می باشد (۲). احمدی و همکاران مدل های غیرخطی قطر- ارتفاع را برای راش در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که میانگین مجذور مربعات خطا بین سه تا چهار متر بود و مدل چاپمن ریچارد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد (۱). محمدی و شتایی در بخشی از جنگل های شصت کلاته گرگان به بررسی ۱۸ مدل غیرخطی قطر- ارتفاع برای گونه ممرز پرداختند. نتایج نشان داد چهار مدل رگرسیونی غیرخطی هایپربولیک، راتکوفسکی، چاپمن - ریچارد و وایبول با درصد مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب ۱۲/۹۱، ۱۲/۹۲، ۱۳/۰۱ و ۱۳/۰۱ درصد و درصد آریبی به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۲۲ درصد، نتایج مشابه و نزدیک به هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان ممرز با دقت مناسب داشتند (۸). هانگ و همکاران با

نسبی درختان متفاوت است. روابط قطر-ارتفاع در این توده‌ها همیشه ثابت نیست و به-سختی می‌توان آن‌ها را برازش داد. این مدل‌ها ابزاری مهم برای اهداف مدیریتی در جنگل-های پهن‌برگ، ناهمسال و نامنظم هیرکانی برای تهیه جدول حجم تاريف دقیق هستند، بنابراین هدف از پژوهش پیش‌رو به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر- ارتفاع و انتخاب بهترین مدل برای گونه توسکا از گونه‌های مهم جنگل‌های هیرکانی بود که در توده‌های ناهمسال آمیخته و نامنظم در سری چهار طرح جنگلداری رضاییان انجام شد.

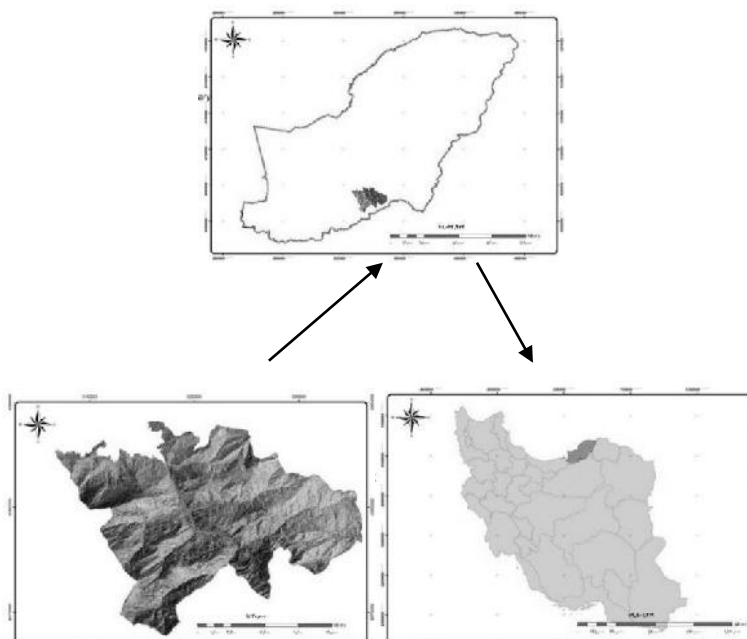
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

طرح جنگلداری رضاییان (سری چهار) در حوضه آبخیز ۸۸، منطبق بر مرزهای جغرافیایی دو شهرستان علی‌آباد و رامیان استان گلستان می‌باشد. منطقه مورد پژوهش با وسعتی معادل ۷۰۰ هکتار در مختصات جغرافیائی "۳۰' ۵۱' ۳۶" تا "۴۳' ۵۳' ۳۶" عرض شمالی و "۵۲' ۵۵' ۰۰" تا "۳۰' ۰۳' ۵۵" طول شرقی واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا منطقه مورد پژوهش ۱۰۰۰ متر و حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر می‌باشد. گونه‌های درختی منطقه مورد مطالعه شامل: ممرز، بلوط بلندمازو، توسکا، افرا پلت، افرا شیردار، نمدار، گیلاس وحشی، ون، بارانک، ملج، سرخدار و غیره می‌باشد. گونه‌های درختچه‌ای بیشتر شامل ازگیل، ولیک و آلوچه جنگلی می‌باشد. گونه‌های علفی منطقه مورد مطالعه شامل فرفیون، اسپیرولا، سیکلامن

نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل غیرخطی با اثرات آمیخته دارای دقت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر بود و میانگین مجذور مربعات خطا را در حدود ۲۰ درصد در مقایسه با مدل‌های غیرخطی کلاسیک کاهش دادند (۱۱). کاستانو سانتاماریا و همکاران روش‌های برآورد ارتفاع توده‌های ناهمسال شمال‌غرب اسپانیا را بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل‌های با اثرات آمیخته، میزان میانگین مجذور مربعات خطا را در حدود ۲۲ درصد نسبت به مدل‌های غیرخطی کاهش دادند (۳). تمسجن و همکاران مدل‌های قطر- ارتفاع را در جنگل‌های آمیخته چنداشکوبه شمال‌شرق چین بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آن‌ها نشان داد که خطای میانگین مجذور مربعات خطا بین دو تا چهار متر بود (۱۵). جمع‌بندی و بررسی منابع موجود در مورد برازش مدل‌های مختلف قطر- ارتفاع نشان می‌دهد که نتایج با توجه به مناطق مورد مطالعه و توده‌های جنگلی مورد بررسی متفاوت بوده است. اغلب مطالعات برای توده‌های همسال یا جنگل‌کاری بوده‌اند و کمتر برای توده‌های ناهمسال و آمیخته انجام شده‌اند و مجذور میانگین مربعات خطا بین دو تا چهار متر به‌دست آمده است. مدل‌های قطر- ارتفاع در رویشگاه‌های مختلف، گونه‌های مختلف و حتی در موقعیت‌های مختلف و نامنظم بودن درختان از نظر سن، گونه، اندازه، تاج، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت

می باشد. گونه های خشبی نیز شامل تمشک، خاس، همیشهک، دار دوست می باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

شدند. برای اندازه گیری قطر برابر سینه از خط کش دوبازو و متر نواری و برای اندازه گیری ارتفاع درختان از دستگاه شیب سنج سنتو استفاده شد.

روش تحلیل

تجزیه و تحلیل داده های کمی قطر و ارتفاع از طریق بررسی اولیه آماره های توصیفی این داده ها انجام شد. برای شناسایی اعداد پرت از رسم نمودار جعبه ای و پراکنش باقیمانده ها در برابر مقادیر مشاهده شده استفاده گردید. نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. در پژوهش پیش رو برای محاسبات آماری، اجرای مدل های رگرسیونی غیرخطی و پردازش اطلاعات جمع-آوری شده از عملیات زمینی مربوط به قطر و ارتفاع، از نرم افزارهای Spss و Excel استفاده

روش پژوهش

با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش پیش رو بررسی رابطه قطر- ارتفاع بود، نیاز به تعدادی قطعات نمونه برای برآورد ارتفاع درختان به- عنوان مجموعه داده های آموزش و مجموعه داده های آزمون بود. بدین منظور ابتدا با شناسایی اولیه منطقه، نمونه برداری به روش تصادفی- منظم با شبکه ای به ابعاد 150×200 متر، با شدت $3/3$ درصد (شدت متداول سازمان جنگل ها و مراتع کشور) و قطعات نمونه دایره ای شکل به مساحت 1000 مترمربع انجام شد، به طوریکه 200 قطعه نمونه در منطقه مورد مطالعه اندازه گیری شدند. در تمام قطعات نمونه، مشخصه های گونه، قطر برابر سینه تمام درختان با قطر برابر سینه بیشتر از $7/5$ سانتیمتر و ارتفاع درختان اندازه گیری

متغیر وابسته و قطر به عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد. براساس بررسی سوابق تحقیق، ۴۳ مدل قطر- ارتفاع برای بررسی رابطه قطر- ارتفاع انتخاب شدند (جدول ۱).

شد. از کل درختان اندازه گیری شده، ۷۰ درصد در فرآیند مدل سازی بکار گرفته شدند و ۳۰ درصد بقیه برای ارزیابی مدل های برآوردی استفاده شدند. با استفاده از انواع مدل های رگرسیونی غیرخطی ارتباط بین ارتفاع به عنوان

جدول ۱. مدل های قطر- ارتفاع مورد استفاده در پژوهش پیش رو

| ردیف | مدل | فرمول مدل |
|------|--------------------|--|
| ۱ | لگاریتمی | $a + b * LN(DBH)$ |
| ۲ | لگاریتمی ۲ | $LOG_{10}(a * DBH^b)$ |
| ۳ | لگاریتمی ۳ | $Ln(a * DBH^b)$ |
| ۴ | لگاریتمی تعدیل شده | $(a + c * DBH)^b$ |
| ۵ | لجستیک | $a / (1 + b * EXP(-c * DBH))$ |
| ۶ | لجستیک ۲ | $a / (1 + EXP(-b * DBH - c))$ |
| ۷ | لجستیک تعدیل شده | $1.3 + a / (1 + (b^{-1}) * (DBH^{-c}))$ |
| ۸ | لجستیک تعدیل شده ۲ | $a + (b^{-1}) * (DBH^{-c})$ |
| ۹ | لگاریتمی لجستیک | $a - LN(1 + b * EXP(-c * DBH))$ |
| ۱۰ | گومپرتز | $a * EXP(-EXP(b - c * DBH))$ |
| ۱۱ | گومپرتز ۲ | $a * EXP(-b * EXP(-c * DBH))$ |
| ۱۲ | هایپربولیک | $a + (b / DBH)$ |
| ۱۳ | هایپربولیک ۲ | $a * DBH / (b + DBH)$ |
| ۱۴ | هایپربولیک ۳ | $DBH^2 / (a + b * DBH)^2$ |
| ۱۵ | توانی | $a * DBH^b$ |
| ۱۶ | نمایی | $EXP(a + b * DBH^c)$ |
| ۱۷ | نمایی ۲ | $a * EXP((b / DBH) + c)$ |
| ۱۸ | نمایی ۳ | $a * (1 - EXP(-b * DBH))$ |
| ۱۹ | نمایی ۴ | $a * EXP(b / DBH)$ |
| ۲۰ | نمایی ۵ | $a * EXP(b * DBH)$ |
| ۲۱ | پرودان | $1.3 + ((DBH^2) / ((a * (DBH^2)) + (b * DBH) + c))$ |
| ۲۲ | لندکویسکورف | $1.3 + (a * EXP(-b * DBH^c))$ |
| ۲۳ | هندسی | $a * DBH^{(b/DBH)}$ |
| ۲۴ | هندسی ۲ | $1.3 + a * DBH^{(b/DBH)}$ |
| ۲۵ | چاپمن-ریچارد | $1.3 + a * (1 - EXP(-b * DBH))^c$ |
| ۲۶ | چاپمن-ریچارد ۲ | $1.3 + (a / ((1 + c * EXP(-b * DBH))^{(1/d)}))$ |
| ۲۷ | وایبول | $1.3 + a * (1 - EXP(-b * DBH^c))$ |
| ۲۸ | راتکوفسکی | $1.3 + a * EXP(b / (DBH + c))$ |
| ۲۹ | رگرسیون مجانب | $a - b * c^{DBH}$ |
| ۳۰ | جانسون اسپوماچر | $a * EXP(-b / (DBH + c))$ |
| ۳۱ | مچرلیخ | $a + b * EXP(-c * DBH)$ |
| ۳۲ | مورگان-مرسر-فلودین | $((a * b) + (c * DBH^d)) / (b + DBH^d)$ |
| ۳۳ | پیل رید | $a / (1 + b * EXP(- (c * DBH + d * DBH^2 + e * DBH^3)))$ |

| | | |
|---|-----------------|----|
| $(a + b * DBH + c * DBH^2) / (d * DBH^2)$ | سهمی درجه ۲ | ۳۴ |
| $(a + b * DBH + c * DBH^2 + d * DBH^3) / (e * DBH^3)$ | سهمی درجه ۳ | ۳۵ |
| $1.3+(a / (1 + c * EXP(-b * DBH)))$ | ورهالتز | ۳۶ |
| $(a^{(1-d)} - b * EXP(-c * DBH))^{(1/(1-d))}$ | وان برتالانفی | ۳۷ |
| $a * (1 - EXP(-b * (DBH - c)))$ | وان برتالانفی ۲ | ۳۸ |
| $(a + b * DBH + c * DBH^2)^{-1}$ | تراکم محصول | ۳۹ |
| $a + (b * DBH) + (c * DBH^2)$ | درجه دوم | ۴۰ |
| $\{c^b + (d^b - c^b) * [(1 - EXP(-a * DBH - e)) / (1 - EXP(-a * (f - e)))]\}^{(1/b)}$ | شنات | ۴۱ |
| $a * [((d - DBH) / (d - c)) * ((DBH - b) / (c - b))^{((c-b)/(d-c))}]^e$ | بتا | ۴۲ |
| $e / [1 + EXP(- (a + b * DBH + c * DBH^2 + d * DBH^3))]$ | سیگموئید مضاعف | ۴۳ |

DBH قطر برابر سینه برحسب سانتیمتر و a, b, c, d, e, f ضریب های مدل

نتایج

بررسی آماره های توصیفی قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان

میانگین، کمینه و بیشینه قطر برابر سینه به ترتیب ۳۶/۰۹، ۸ و ۱۵۰ سانتی متر و ارتفاع به ترتیب ۲۶/۹۷۲، ۸ و ۳۹/۵ متر بود. بررسی آماره های توصیفی مشخصه های قطر برابر سینه و ارتفاع نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه ها زیاد بود که نشان می دهد توده جنگلی ناهمسال مورد مطالعه قرار گرفته است. بین آماره های توصیفی کل داده ها و داده های آموزش و آزمون تفاوت زیادی وجود نداشت. توزیع داده ها نشان داد که مشخصه های قطر و ارتفاع از توزیع نرمال پیروی می کنند. جدول ۲ نتایج ضریب های به دست آمده از برازش ۴۳ مدل رگرسیونی غیرخطی انتخاب شده و آماره های محاسبه شده را نشان می دهد.

اعتبارسنجی مدل ها به شیوه های مختلفی انجام می شود. در پژوهش پیش رو به منظور ارزیابی و برازش مدل ها، ۳۰ درصد از داده ها به صورت تصادفی انتخاب شدند و به عنوان مجموعه داده های ارزیابی از کلیه تجزیه و تحلیل ها کنار گذاشته شدند. با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی و مقادیر حقیقی با استفاده از معیارهای آماری ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و اربیبی (Bias) به صورت مطلق و نسبی، اعتبار مدل های آماری ارزیابی شد. همچنین علاوه بر معیارهای مذکور، تفاوت های بین مقادیر واقعی ارتفاع با مقادیر برآورد شده داده های آزمون با استفاده از داده ها و مدل های مذکور نیز مقایسه شد. برای بررسی معنی دار بودن میانگین تفاوت های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل های مذکور، از آزمون تی جفتی استفاده شد.

جدول ۲. ضرایب مدل های رگرسیونی انتخاب شده و آماره های محاسبه شده

| ردیف | ضرایب مدل | | | | | ضریب تیین مدل | میانگین مربعات خطا مدل | مجدور میانگین مربعات خطا ارزیابی | اریبی |
|------|-----------|-------|--------|---------|---------|---------------------|------------------------------|--|-------|
| | f | e | d | c | b | | | | |
| ۱ | - | - | - | - | ۱۱/۱۹۲ | -۱۶/۱۰۹ | ۲/۱۳۷ | ۷/۶۷۸ | ۰/۳۰۳ |
| ۲ | - | - | - | - | ۲۱/۲۷۴ | ۳/۲۷۴ | ۲/۳۸۵ | ۹/۳۵۱ | ۰/۱۴۶ |
| ۳ | - | - | - | - | ۱۱/۱۹۲ | ۱/۰۰۹ | ۲/۱۳۷ | ۷/۶۷۸ | ۰/۳۰۳ |
| ۴ | - | - | - | ۵/۸۱۷ | ۰/۵۶۸ | ۲۱/۶۸ | ۳/۳۰۹ | ۹/۸۹۵ | ۰/۰۹۸ |
| ۵ | - | - | - | ۰/۰۵۳ | ۳/۶۰۱ | ۳۴/۸۹۳ | ۲/۴۲۹ | ۷/۴۹۷ | ۰/۶۱۱ |
| ۶ | - | - | - | ۲۴/۰۸۶ | ۰/۰۵۳ | ۳۴/۸۹۳ | ۲/۴۲۹ | ۷/۴۹۷ | ۰/۶۱۱ |
| ۷ | - | - | - | ۱/۰۹۹ | ۰/۰۱۹ | ۴۵/۳۵۶ | ۲/۱۵۲ | ۷/۴۵ | ۰/۴۰۲ |
| ۸ | - | - | - | -۰/۳۲۴ | ۰/۰۹۲ | -۱۱/۴۴۸ | ۲/۵۵۲ | ۸/۲۱۲ | ۰/۰۴ |
| ۹ | - | - | - | ۰/۲۳۵ | ۵/۱۱۵ | ۳۰/۹۷۳ | ۳/۹۸ | ۱۶/۴۸۴ | ۰/۳۵۲ |
| ۱۰ | - | - | - | ۰/۰۳۹ | ۰/۵۷۷ | ۳۵/۹۴۷ | ۲/۳۰۴ | ۷/۳۶۳ | ۰/۵۵۸ |
| ۱۱ | - | - | - | ۰/۰۳۹ | ۱/۷۸۱ | ۳۵/۹۴۷ | ۲/۳۰۴ | ۷/۳۶۳ | ۰/۵۵۸ |
| ۱۲ | - | - | - | - | -۰/۰۲۷ | ۳۴/۳۷۷ | ۳/۲۰۲ | ۱۳/۹۶۱ | ۰/۴۹ |
| ۱۳ | - | - | - | - | ۳۸/۶۹۹ | ۴۹/۰۷۷ | ۲/۱۵۶ | ۷/۴۱۳ | ۰/۳۷۴ |
| ۱۴ | - | - | - | - | -۰/۱۵۱ | -۱/۸۶۸ | ۲/۱۲۷ | ۷/۷۶۱ | -۰/۵۳ |
| ۱۵ | - | - | - | - | ۰/۴۷۴ | ۴/۱۷۸ | ۲/۸۳۶ | ۸/۹۰۲ | ۰/۰۱۵ |
| ۱۶ | - | - | - | -۰/۴۷۶ | -۵/۷۳۵ | ۴/۲۱۱ | ۲/۱۵۶ | ۷/۵۷۳ | ۰/۳۳۵ |
| ۱۷ | - | - | - | ۲/۲۸۱ | -۱۶/۵۶۵ | ۴/۰۶۴ | ۲/۲۶۹ | ۹/۰۳ | ۰/۶۲۲ |
| ۱۸ | - | - | - | - | ۰/۰۲۹ | ۳۶/۶۴۳ | ۲/۲۰۶ | ۷/۴۷ | ۰/۶۰۹ |
| ۱۹ | - | - | - | - | -۱۶/۵۶۵ | ۳۹/۷۸۸ | ۲/۲۶۹ | ۸/۹۵۶ | ۰/۶۲۲ |
| ۲۰ | - | - | - | - | ۰/۸۳۶ | ۱۶/۶۵۸ | ۵/۳۱۹ | ۱۹/۹۶۵ | ۰/۸۱ |
| ۲۱ | - | - | - | ۰/۹۳۵ | ۰/۸۳۳ | ۰/۰۲۱ | ۲/۱۵۸ | ۷/۴۷۱ | ۰/۳۷۲ |
| ۲۲ | - | - | - | -۰/۵۱۴ | ۶/۴۸۹ | ۶۲/۸۰۸ | ۲/۱۵۴ | ۷/۵۵۶ | ۰/۳۴۳ |
| ۲۳ | - | - | - | - | -۷/۰۸۹ | ۴۸/۵۵۵ | ۲/۱۰۹ | ۷/۵۰۸ | ۰/۴۲۹ |
| ۲۴ | - | - | - | - | -۷/۵۷۹ | ۴۷/۹۸۱ | ۲/۱۲۲ | ۷/۴۵۶ | ۰/۴۱۵ |
| ۲۵ | - | - | - | ۰/۹۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۳۶/۹۳ | ۲/۱۷۵ | ۷/۳۶۵ | ۰/۴۶۵ |
| ۲۶ | - | - | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۴ | ۳۴/۵۴۱ | ۲/۳۱۷ | ۷/۴۳۴ | ۰/۵۶۳ |
| ۲۷ | - | - | - | ۰/۹۴۹ | ۰/۰۳۱ | ۳۷/۰۸۲ | ۲/۱۷۲ | ۷/۳۷۱ | ۰/۴۶۷ |
| ۲۸ | - | - | - | ۱۰/۷۳۲ | -۳۴/۱۹۵ | ۴۶/۳۳۹ | ۲/۱۶۷ | ۷/۴۳۵ | ۰/۳۹۲ |
| ۲۹ | - | - | - | ۰/۹۷۶ | ۳۵/۵۵ | ۳۸/۰۴۷ | ۲/۱۸۶ | ۷/۳۵۴ | ۰/۴۶۵ |
| ۳۰ | - | - | - | ۱۱/۸۷۷ | ۳۳/۸۰۲ | ۴۷/۸۰۴ | ۲/۱۶۶ | ۷/۴۳۹ | ۰/۳۸۹ |
| ۳۱ | - | - | - | -۰/۰۰۳ | ۸۷/۵۰۹ | -۷۴/۲۲۲ | ۴/۶۳۳ | ۱۵/۲۹۲ | ۰/۵۰۵ |
| ۳۲ | - | - | - | ۰/۸۵۲ | ۵۲/۱۴ | -۳/۹۳۵ | ۲/۱۳۲ | ۷/۵۹۳ | ۰/۳۵۴ |
| ۳۳ | - | ۲۳/۸۶ | -۲۷/۲۱ | ۱۴/۵۵۵ | ۷/۷۴۳ | ۳۳/۹۵ | ۲/۳۴۳ | ۷/۳۲۲ | ۰/۶۴۳ |
| ۳۴ | - | - | ۷/۸۷۲ | ۳۲/۰۰۷ | -۵۴/۳۷۵ | ۳/۰۱۹ | ۲/۴۱ | ۸/۰۲۷ | ۰/۴۹۵ |
| ۳۵ | - | ۱۰/۳۳ | ۴۴۷/۲۵ | -۹۶/۷۷۲ | ۹/۵۴۷ | -۰/۳۲۴ | ۲/۲۱۳ | ۷/۶۲۷ | ۰/۵۱۲ |
| ۳۶ | - | - | - | ۴/۰۷۶ | ۰/۰۵۵ | ۳۳/۴۸۱ | ۲/۴۵۱ | ۷/۵۳۳ | ۰/۶۱۵ |
| ۳۷ | - | - | -۰/۰۹۱ | ۰/۰۲۳ | ۵۱/۴۳۱ | ۳۸/۳۵۳ | ۲/۱۷۳ | ۷/۴۲۵ | ۰/۴۳۳ |
| ۳۸ | - | - | - | -۲/۷۴۳ | ۰/۰۲۵ | ۳۸/۰۴۷ | ۲/۱۸۶ | ۷/۳۵۴ | ۰/۴۶۵ |

| | | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|-----|-------|--------|--------|--------|--------|----|
| ۰/۸۳۴ | ۴/۲۹۹ | ۱۱/۸۷۲ | ۰/۸۱۱ | - | - | - | ۰/۰۵۹ | -۰/۱۰۷ | ۰/۰۷۷ | ۳۹ |
| -۰/۶۷۵ | ۲/۷۶۲ | ۷/۷۱۵ | ۰/۸۷۷ | - | - | - | -۰/۰۰۳ | ۰/۵۶۱ | ۵/۹۱۱ | ۴۰ |
| -۰/۵۱۱ | ۲/۲۳۲ | ۷/۳۹۷ | ۰/۸۸۳ | ۱۴۰ | ۸ | ۳۶/۴۹۷ | ۹/۲۷۶ | ۰/۵۷۳ | ۰/۰۳۱ | ۴۱ |
| -۰/۵۳۲ | ۲/۲۵۵ | ۷/۴۵۸ | ۰/۸۸۳ | - | ۱/۶۷۸ | -۰/۱ | ۱/۳۷۶ | -۰/۹۱۴ | ۳۵/۸۰۸ | ۴۲ |
| -۰/۵۲ | ۲/۲۶۸ | ۷/۴۴۱ | ۰/۸۸۲ | - | ۳۹/۵ | ۱/۳۳۷ | -۴/۸۴۴ | ۷/۱۴۱ | -۱/۶۵۲ | ۴۳ |

که مؤید تناسب مدل های رگرسیونی به داده ها بود.

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی آماربرداری جنگل، آماده کردن اطلاعات دقیق و به هنگام برای برنامه ریزی، مدیریت منابع جنگلی، توسعه سیاست ها و برنامه های حفاظتی است که این تصمیم گیری ها نیازمند اطلاعات دقیق از کل منطقه است. بررسی نتایج به دست آمده از آماره های توصیفی داده های زمینی قطر برابر سینه و ارتفاع نشان داد که این داده ها واریانس و دامنه تغییرات زیادی در منطقه مورد مطالعه داشتند که بیان کننده این مطلب است که قطعات نمونه زمینی از یک دامنه وسیع قطر برابر سینه ۸ تا ۱۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۸ تا ۳۹/۵ متر انتخاب شده اند. این مسأله بیانگر وضعیت متفاوت ساختار توده جنگلی در منطقه مورد مطالعه است، بنابراین می توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه نمونه خوبی از جنگل های خزری بوده است و به طور تقریب تمامی قطر و ارتفاع درختان را دربر گرفته است. نتایج به دست آمده از مدل سازی رابطه قطر- ارتفاع با استفاده از ۴۳ مدل رگرسیونی غیرخطی نشان داد که پنج مدل رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی دو، هایپربولیک سه، مورگان-مرسر-فلودین و لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۸۸ و درصد

به استناد نتایج به دست آمده، مشخص شد که پنج مدل رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی دو، هایپربولیک سه، مورگان-مرسر-فلودین و لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۸۸ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب ۷/۸۱، ۷/۸۶، ۷/۸۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۲ درصد توانسته اند بهتر مشخصه ارتفاع را برآورد کنند. البته لازم به ذکر است که نتایج همه مدل ها، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند. نتایج به دست آمده از بررسی میانگین تفاوت های مقادیر مشاهده شده با مقادیر برآورد شده مشخصه ارتفاع با استفاده از ۴۳ مدل انتخاب شده نشان داد که مدل های رگرسیونی غیرخطی هایپربولیک سه، هندسی، هندسی دو و مورگان-مرسر-فلودین دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت ها (به ترتیب با ۲/۰۹، ۲/۰۹، ۲/۱۱، ۲/۱۶، ۲/۱۳ و ۲/۱۱ متر) بودند. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده همه مدل ها با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار نبود. نتایج به دست آمده از تحلیل باقیمانده های تمامی مدل های رگرسیونی غیرخطی نشان داد که میانگین باقیمانده ها به طور تقریب صفر و دارای توزیع نرمال بود. همچنین هیستوگرام باقیمانده ها چولگی نداشت و نمودار باقیمانده ها در مقابل مقادیر تطبیق یافته نشان از پراکنش یکنواخت در دو سوی محور صفر و ثبات واریانس داشت

مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب ۷/۸۱، ۷/۸۶، ۷/۸۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۲ درصد، بهتر توانستند ارتفاع درختان را برآورد کنند. به طور کلی نتایج به دست آمده از معیارهای ارزیابی (درصد مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و انحراف معیار تفاوت های مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی) تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری نیز تفاوت معنی داری بین مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل های مختلف با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود نداشت و پنج مدل ذکر شده دارای بالاترین مقدار ضریب تبیین بودند. همچنین عدم چولگی هیستوگرام باقیمانده ها، میانگین به طور تقریب صفر باقیمانده ها، توزیع نرمال و پراکنش یکنواخت در دو سوی محور صفر مؤید تناسب مدل های رگرسیونی با داده ها بود. مجذور میانگین مربعات خطای به دست آمده در پژوهش پیش رو (حدود دو تا سه متر) در مقایسه با مطالعات دیگر که حدود دو تا چهار متر بود (۱،۴،۵،۱۵) تفاوت زیادی نداشت. همچنین متفاوت با مطالعات انجام شده پیشین، پنج مدل رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی دو، هایپربولیک سه، مورگان-مرسر-فلودین و لگاریتمی بهتر توانستند ارتفاع درختان را برآورد کنند. بررسی میانگین مقادیر برآورد شده ارتفاع با مقادیر واقعی ارتفاع نیز نشان داد که به جز مدل های توانی، مچرلیخ و نمایی پنج، بقیه مدل ها مقادیر ارتفاع را کمتر از مقدار واقعی برآورد کردند.

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش پیش رو، در نهایت می توان چنین نتیجه گیری کرد

که مدل های رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی دو، هایپربولیک سه، مورگان-مرسر-فلودین و لگاریتمی، نتایج مشابه و نزدیک به یکدیگر داشته و توانایی خوبی در برآورد ارتفاع درختان با دقت مناسب داشتند، بنابراین این مدل ها می توانند در برآورد ارتفاع درختان جنگلی در صورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی دیگر شمال ایران در جنگل های پهن برگ استفاده شوند. مقایسه نتایج به دست آمده از پژوهش پیش رو با مطالعات دیگر انجام شده نشان داد که درصد مجذور میانگین مربعات خطا و انحراف معیار تفاوت های به دست آمده در پژوهش پیش رو برای ارتفاع کمتر است که به عامل هایی مانند نوع توده (پهن برگ یا سوزنی برگ)، ناهمسال یا همسال بودن، منظم یا نامنظم بودن و نوع مدل مورد استفاده و به کارگیری الگوریتم های دیگر مانند شبکه عصبی مصنوعی و غیره برمی گردد. امید است که تحقیقات تکمیلی در مورد استفاده از الگوریتم های دیگر برآورد، مانند مدل های تعمیم یافته، رندوم فورست، ماشین بردار پشتیبان، نزدیک ترین همسایه، شبکه عصبی مصنوعی و مدل های آمیخته در برآورد ارتفاع درختان مورد پژوهش و همچنین گونه های دیگر در مناطق دیگر جنگل های هیرکانی انجام شود تا بتوان از اطلاعات دقیق در برنامه ریزی، مدیریت پایدار منابع جنگلی و برنامه های حفاظتی استفاده کرد و بتوان این مدل ها را به صورت عملیاتی در برنامه ریزی جنگل به کار برد.

References

1. Ahmadi, K., J. Alavi., M. Tabari., & W. Aertsen, 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment Journal*, 17(3): 431-440 (In Persian).
2. Bayat, M., M. Namiranian., & M. Zobeiry, 2013. Determining the growing Volume, Height and number of trees in the forest using permanent sample plots. *Forest and Wood Products*, Volume, 67(3): 423-435. (In Persian)
3. Castano-Santamaria, J., F. Crecente-Campo., J.L. Fernandez-Martinez., M. Barrio-Anta & J.R. Obeso., 2013. Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 307: 63-73.
4. Castedo, F., U. Dieguez-Aranda., M. Barrio., M.R. Sanchez & K. von Gadow., 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiate pine plantations in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 229: 202-213.
5. Fang, Z. & R.L. Bailey., 1998. Height-diameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management*, 110: 315-327.
6. Huang, S., S.J. Titus & D.P. Wiens., 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1297-1304.
7. Lumbres I.R.C., Y.J. Lee., Y.O. Seo., S.H. Kim., J.K. Chio & W.K. Lee., 2011. Development and validation of nonlinear height-DBH models for major coniferous tree species in Korea. *Forest Science and Technology*, 7: 117-125.
8. Mohammadi, J. & Sh. Shataee., 2016. Study of different height-diameter models for hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in uneven-aged stands of Shastkalateh forest of Gorgan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, Vol. 24 No. 4, 2016. (In Persian)
9. Morrison, M.L., B.G. Marcot & R.W. Mannan., 1992. *Wildlife Habitat Relationships: Concepts and Applications*. University of Wisconsin Press, Madison, 343p.
10. Newton, P.F. & I.G. Amponsah., 2007. Comparative evaluation of five height-diameter models developed for black spruce and jack pine stand-types in terms of goodness-of-fit, lack-of-fit and predictive ability. *Forest Ecology and Management*, 247: 149-166.
11. Özçelik, R., M.J. Diamantopoulou., F. Crecente-Campo & F. Eler., 2013. Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest Ecology and Management*, 306: 52-60.
12. Parresol, B.R., 1992. Bald cypress height-diameter equations and their prediction confidence intervals. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(9), 1429-1434.
13. Peng, C., L. Zhang & J. Liu., 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forest. *Northern Journal Application of Forestry*, 18: 87-94.
14. Sharma, M. & S.Y. Zhang., 2004. Height-diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 442-451.
15. Temesgen, H., C.H. Zhang, & X.H. Zhao 2014. Modelling tree height-diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from northeast China. *Forest Ecology and Management*, 316: 78-89.

16. Vargas-Larreta, B., F.C. Dorado., G.J. LvarezGonzalez., M. Barrio-Anta & F. CruzCobos., 2009. A generalized height-diameter model with random coefficients for unevenaged stands in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 82: 445-462.
17. Zhang, L., 1997. Cross-validation of nonlinear growth functions for modeling tree heightdiameter distributions. *Annals of Botany*, 79: 251-257.