

مدل سازی حجم تجاری درختان توده‌های خالص و آمیخته در جنگل آموزشی - پژوهشی دارابکلای ساری با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک

اصغر فلاح^۱، نسترن نظریانی^{۲*}، مجتبی ایمانی راستابی^۳ و فاطمه بخشی^۴

۱- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران

۲- نویسنده مسئول، پژوهشگر پسادکتری جنگل‌داری، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیک: nazariani69@yahoo.com

۳- دانش‌آموخته دکتری جنگل‌شناسی، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌داری، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

چکیده

حجم تجاری درختان متغیر مهمی برای تصمیم‌گیری و تحلیل اقتصادی در مدیریت جنگل است. در این راستا، مدل‌سازی و برآورد حجم تجاری در جنگل‌های هیرکانی پیش‌نیازی برای اجرای طرح‌های مدیریت پایدار جنگل است. به دلیل محدودیت‌هایی مانند زمان و هزینه و فقدان حجم‌سنجی محلی یا عمومی در معادلات، اغلب مدیران جنگل از عوامل گسترش سنتی برای تخمین حجم استفاده می‌کنند. بنابراین، استفاده از متغیرهای مستقل در مدل‌سازی حجمی گام مهمی در برآورد مدل‌ها برای نمایش است. در پژوهش پیش‌رو حجم تجاری پارسل‌های ۱۴، ۱۶ و ۲۴ از جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در دارابکلا از توابع شهرستان ساری با استفاده از دو الگوریتم ANN و CART مدل‌سازی شد. پس از جنگل‌گردشی با توجه به هدف پژوهش، توده‌هایی با تیپ‌های مختلف جنگلی راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز بررسی شد. در هر تیپ، سه توده نیم‌هکتاری و در هر توده حداقل سه قطعه نمونه ۲۰×۲۰ مترمربعی پیاده شد و مشخصه‌های کمی شامل ارتفاع کل، ارتفاع تنه (طول)، قطر برابر سینه و مشخصه کیفی شامل درجه پوسیدگی تمام درختان سرپا اندازه‌گیری شد. همچنین، ۲۰ درخت افتاده از گونه‌های راش و ممرز در سطح کل جنگل انتخاب و مشخصات طول (متر) و سطح مقطع (سانتی‌متر) به ازای هر دو متر از تنه آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس، حجم واقعی درخت در قالب قطعه‌های مختلف تنه و براساس رابطه اسمالیان محاسبه شد. در نهایت، از الگوریتم‌های ANN و CART برای مدل‌سازی حجم درختان سرپا از درختان افتاده در محیط نرم‌افزار STATISTICA12.0 استفاده شد. ضریب تبیین R^2 برای مدل‌سازی سه توده راش خالص، ممرز خالص و آمیخته راش - ممرز با دو الگوریتم ANN و CART به ترتیب (۰/۸۲ و ۰/۷۷)، (۰/۴۴ و ۰/۷۲) و (۰/۹۱ و ۰/۸۴) بود. نتایج نشان داد نشان داد الگوریتم ANN با ضریب تبیین $R^2=0/91$ و مجذور میانگین مربعات خطا ۱۰/۵۱ درصد عملکرد بهتری داشت. همچنین، عملکرد این الگوریتم برای توده آمیخته راش - ممرز نسبت به هر یک از توده‌های خالص راش و ممرز بهتر بود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم درخت تصمیم‌گیری، الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، ارتفاع، قطر، مدیریت جنگل، موجودی حجمی.

مقدمه

حجم درخت یکی از مشخصه‌های پرکاربرد در جنگل است که در این زمینه می‌توان به مواردی چون حاصلخیزی و روند بهبود یا تخریب رویشگاه، میزان مجاز برداشت، میزان رویش، مبنای خرید و فروش و مدیریت جنگل اشاره کرد. هر چه حجم محاسبه‌شده دقیق‌تر باشد، نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد آن نیز دقیق‌تر و معتبرتر خواهد بود (Ozcelik *et al.*, 2010). برای توسعه و اجرای برنامه مدیریت جنگل، لازم است حجم تجاری گونه‌های مختلف درختان اندازه‌گیری شود. حجم درختان تعیین‌کننده میزان چوب در واحد سطح جنگل بوده و برای تعیین رویش و در نهایت تولید محصول جنگل مورد نیاز است. در واقع آگاهی از موجودی جنگل، برنامه‌ریزی بهتر و دقیق‌تر برای منابع جنگلی را ممکن می‌کند (Pourhashemi *et al.*, 2012). پیش‌بینی دقیق حجم درختان سرپا مبنای برآورد هرچه دقیق‌تر مقدار رویش، برداشت مجاز و مدیریت بهینه جنگل براساس اصل توسعه پایدار محسوب می‌شود (Vahedi *et al.*, 2017). برآزش مدل‌های حجمی گونه‌ها، به نمونه‌های کافی درخت نیاز دارد که منجر به صرف زمان و هزینه نمونه‌برداری بالا می‌شود. تصمیم‌گیری در منابع طبیعی اغلب پیچیدگی‌هایی فراتر از توان روش‌های تجربی و آماری دارد، بنابراین نیاز به راهکارهای نوین است.

بسیاری از روش‌های ریاضی مانند رگرسیون خطی و غیرخطی، منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network (ANN) برای افزایش پیش‌بینی و تعیین رابطه بین نرخ رشد و متغیرهای مستقل مختلف استفاده شده‌اند (Mehtatalo, 2020). علاوه بر این توانایی پیش‌بینی، ملاحظات عملی مانند هزینه و زمان مورد نیاز برای انجام کار (اندازه‌گیری، برآورد، اعتبارسنجی) نقش مهمی در انتخاب روش ریاضی برای پیش‌بینی ایفا می‌کنند (Ozcelik *et al.*, 2010).

افزایش حجم یک جنگل را می‌توان به‌طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری‌های مجدد دوره‌های قطعه‌های نمونه دائم اندازه‌گیری زد. از طریق اندازه‌گیری مکرر همان منطقه (و

شاید همان درختان)، تفاوت در حجم بین دوره‌های اندازه‌گیری، همراه با تخمین برداشت، می‌تواند اطلاعاتی را برای توصیف اشکال مختلف رشد جنگل ارائه دهد (Lhotka & Loewenstein, 2011). بنابراین، به دلیل زمان‌بر بودن و هزینه بالای اندازه‌گیری‌های میدانی، از این فرآیندها کمتر استفاده می‌شود، لذا عمدتاً برای پیش‌بینی مدل‌سازی حجم از روش‌های ناپارامتریک مانند ANN استفاده می‌شود (Bayat *et al.*, 2013).

به دلیل امکان روابط پیچیده بین متغیرهای وابسته و مستقل، تحلیل رگرسیون می‌تواند محدود باشد. علاوه بر پیچیدگی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل، وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل می‌تواند نگران‌کننده باشد. Bayat و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند شاید مهمترین دلیل برای توجیه مدل‌سازی این باشد که استفاده از یک مدل می‌تواند سبب بهبود برآورد در راستای مدیریت جنگل شود. علاوه بر این، وضعیت آینده یک جنگل را می‌توان با کمک مدل‌هایی با طراحی و عملکرد مناسب پیش‌بینی کرد. مدل ANN نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی به دلیل عواملی مانند توانایی یادگیری و تعمیم، و مدل‌سازی روابط غیر خطی بین متغیرها دارای مزایایی است (Reis *et al.*, 2018). در مدل ANN بین لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به تعداد لایه‌های پنهان، ساختارهای اتصالات مختلف ایجاد می‌شود و با توجه به تبادل اطلاعات دریافتی (داده‌های ورودی) و مقدار رفت و برگشت اطلاعات در اتصالات ایجاد شده شبیه مغز انسان، در نهایت یک پاسخ (خروجی) صحیح با حداقل خطا به‌دست می‌آید.

الگوریتم درخت تصمیم (Classification and Regression Tree (CART) نیز یکی دیگر از روش‌هایی است که در مدل‌سازی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل الگوریتم CART به این نحو است که در ابتدا کار با تمامی داده‌ها در ریشه درخت (گره‌ای که در رأس درخت تصمیم قرار دارد) شروع می‌شود. این روش در ابتدا با استفاده از معیارهای تعیین شده تمام داده‌ها را به صورتی بازگشت‌پذیر تقسیم می‌کند. سپس تمام متغیرهای پیشگو را

چندگانه تنه درخت ساج در ایالت ماتو گروسو، برزیل تحت دو رویکرد، A1: مدل‌سازی مستقیم حجم تنه و محاسبه حجم و A2: برای تخمین قطر در امتداد تنه بررسی کردند. ایشان در این مطالعه از رگرسیون، مدل‌های ANN و SVR برای پیش‌بینی استفاده کردند. نتایج نشان داد در رویکرد A1 روش ANN با دقت بیشتری، با مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات به ترتیب ۱۸/۸۸ و ۱۸/۵۴ درصد پیش‌بینی کرد. برای رویکرد A2 در مقایسه با A1 برای پیش‌بینی حجم‌های چندگانه درختان نتایج دقیق‌تری به دست آمد.

با توجه به نیاز مبرم به اطلاعات درباره مقدار موجودی حجمی در جنگل‌های شمال در راستای مدیریت بهینه، برآورد حجم تجاری جنگل‌های شمال با توجه به حداقل عدم قطعیت، دلیل پژوهش پیش‌رو است. روش‌های سنتی (مانند روش‌های تخریبی، صددرصد، 3p) دارای مزایایی چون دقت و صحت بالایی است، اما به دلیل پرهزینه و زمان‌بر بودن از روش‌های مدل‌سازی به منظور مرتفع ساختن معایب فوق استفاده می‌شود. از این رو با توجه به اهمیت اطلاعات مقادیر موجودی حجم صنعتی جنگل‌های شمال برای دستیابی به کلیه اهداف، در پژوهش پیش‌رو از الگوریتم‌های مدل‌سازی ANN و CART به‌عنوان جایگزین برای به حداکثر رسیدن دقت برآوردی حجم درختان توده‌های راش خالص، مرمر خالص و راش-مرمر در جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در دارابکلا از توابع شهرستان ساری استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در دارابکلا از توابع شهرستان ساری انتخاب بود. جنگل مذکور در سری یک حوزه آبخیز ۷۴، به مساحت ۲۶۱۲ هکتار که در جنوب شرقی شهرستان ساری بین طول شرقی ۵۲°۱۴' تا ۳۱' ۵۲° و عرض شمالی ۲۸' ۳۶° تا ۳۳' ۳۶° واقع شده است. دامنه ارتفاعی آن ۱۸۰-۸۷۴ متر از سطح دریا است. جهت

مورد بررسی قرار می‌دهد تا مشخص کند کدام یک بهترین تقسیم را داشته‌اند. پس از آن داده‌های ورودی بر اساس متغیرهای مستقلی که اهمیت بیشتری دارند تقسیم می‌شوند (Breiman *et al.*, 1984). این کار ادامه می‌یابد تا زمانی که برگ‌ها شامل داده‌هایی شوند که همگونی زیادی با یکدیگر دارند (Lawrence & Wright, 2001).

از بررسی‌های انجام گرفته در زمینه پژوهش پیش‌رو می‌توان به پژوهش Sadeghi Kaji و Soltani (۲۰۱۷) با هدف انتخاب مدل مناسب برای برآورد سریع حجم در توده‌های همسال شاخه‌زاد برودار در جنگل‌های شهرستان اردل و کیار اشاره کرد. نتایج برازش مدل‌های انتخاب شده نشان داد که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (۰/۰۳۵) مربوط به مدل پنج پارامتری و بیشترین مقدار ضریب تبیین (۰/۹۷۹) مربوط به مدل‌های چهار و پنج پارامتری بود. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل‌های چهار و پنج پارامتری در بین مدل‌های دومتغیری، و مدل توانی در بین مدل‌های تک متغیری بیشترین کارایی را به خود اختصاص دادند. Moridi و همکاران (۲۰۲۱) نیز پژوهشی با هدف شناخت ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های طبیعی راش در مرحله تحولی افزایش حجم در جنگل خیرود نوشهر انجام دادند. استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه نشان داد که این شاخص‌ها از توانایی زیادی در آشکارسازی مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگل در مرحله تحولی افزایش حجم برخوردارند. De Oliveira و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با هدف ارزیابی کارایی ANN برای پیش‌بینی حجم گونه‌های جنگلی در جنگل ملی تاپاجوس (آمازون) در مقایسه با مدل حجمی Schumacher و Hall انجام دادند. تجزیه و تحلیل آماری رگرسیون و ANN نشان داد که هر دو روش رضایت‌بخش بودند، اما ANN درصد مجذور میانگین مربعات خطای کمتر و همبستگی بالاتری به دست داد. برآوردهای حجم تجاری درختان گونه‌های جنگلی در جنگل آمازون را می‌توان با دقت با استفاده از ANN به دست آورد. Tavares Júnior و همکاران (۲۰۲۲) مدل‌های یادگیری ماشین و رگرسیون را برای پیش‌بینی حجم‌های

ریشه و تاج قابل تفکیک بودند. برای اندازه‌گیری طول، قطر میانه درختان افتاده از متر نواری و برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر برابر سینه درختان سرپا به ترتیب از شیب‌سنج سونتو و خطکش دو بازو استفاده شد. حجم واقعی درختان افتاده با استفاده از روش اسمالیان (Zobeiri, 2005) با آنالیز تنه (طول و سطح مقطع به ازای هر دو متر) به‌طور دقیق محاسبه شد. با توجه به اینکه برای درختان جنگل‌های شمال و به‌ویژه جنگل مورد پژوهش ضریب شکل مشخصی وجود نداشت از فرمول حجم ساده درختان سرپا با ضریب شکل ۰/۵ (Zobeiri, 2005) استفاده شد. در مدل‌سازی از دو الگوریتم ANN و CART استفاده شد. متغیرهای ارتفاع کل درخت، ارتفاع تنه (طول) و قطر برابر سینه؛ به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌ها وارد شد.

الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی

در پژوهش پیش‌رو دو شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (Multi-Layer Perceptron: MLP) و تابع پایه شعاعی (Radial Basic Functions: RBF) (شبکه عصبی توابع اساسی شعاعی) که از رایج‌ترین شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور هستند، استفاده شدند. این شبکه‌ها با الگوریتم پس انتشار آموزش داده می‌شوند و دارای ساختار لایه‌ای هستند. شبکه عصبی شامل دو خروجی مدل شبکه عصبی است که به ترتیب شامل نام شبکه (MLP و RBF)، نورون‌هایی که دارای لایه‌های ورودی (Input Layer)، پنهان (Hidden Layer) و خروجی (Output Layer) است که با هم همخوانی دارند و در نهایت یک راه حل با حداقل خطا برای مسئله، همگرایی می‌کنند. همچنین به منظور بهینه‌سازی از روش شبه نیوتنی BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno algorithm) استفاده شد.

الگوریتم درخت تصمیم

مدل درخت تصمیم‌گیری (CART) یک فرایند طبقه‌بندی است که به‌طور تکراری یکسری داده آموزشی را به زیر بخش‌های کوچکتر بر مبنای آزمایش‌ها به یک یا بیشتر از

عمومی منطقه، شمالی و شمال غربی است. درجه حرارت در فصول مختلف سال متغیر بوده و در روزهای گرم ماه‌های تیر و مرداد بیشینه مطلق درجه حرارت به ۲۸ درجه سانتیگراد و در روزهای سرد ماه‌های دی و بهمن به ۰ تا ۳ درجه سانتیگراد زیر صفر می‌رسد. به‌طور کلی، میانگین بارندگی به‌میزان ۷۵۰-۷۰۰ میلی‌متر در سال برآورد شده که گاهی ریزش در ارتفاعات به‌صورت برف دیده می‌شود. منطقه دارای سنگ‌های مادر آهکی، مارنی همراه با ماسه سنگ آهکی است و بررسی زمین‌شناسی نیز حکایت از گسترش مارن‌ها به‌عنوان سنگ غالب منطقه دارد. همچنین نوع بافت خاک آن اغلب کمی سنگین (رسی-لومی) تا سنگین (سیلتی-رسی) است. گونه‌های درختی و درختچه-ای این منطقه شامل ممرز (*Carpinus betulus*)، راش (*Fagus orientalis*)، انجیلی (*Parrotia persica*)، توسکا قشلاقی (*Alnus glutinosa*)، خرمندی (*Diospyrus lotus*)، شیردار (*Acer cappadocicum*)، بلند مازو (*Quercus castaneifolia*)، نمدار (*Tilia caucasica*)، ازگیل (*Mespilus germanica*)، ولیک (*Grataegus sp*)، نگون سار (*Cyclamen parpurea*)، کارکس (*Ephorbia amygdaloides*) است (Alijani et al., 2014).

روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی با توجه به هدف پژوهش، پس از جنگل‌گردشی، تیپ‌های راش خالص (پارسل ۱۴)، ممرز خالص (پارسل ۲۴) و راش-ممرز (پارسل ۱۶) برای این بررسی انتخاب شدند. برای این منظور در هر تیپ، سه توده نیم هکتاری و در هر توده سه قطعه نمونه ۲۵×۲۰ مترمربعی پیاده شد. مشخصه‌های کمی و کیفی تمام درختان سرپا شامل ارتفاع کل درخت، ارتفاع تنه (طول) و قطر برابر سینه آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین ۲۰ درخت راش و ۲۰ درخت ممرز افتاده در سطح کل جنگل شناسایی شدند و مشخصات طول (به متر) و سطح مقطع کوچک و بزرگ (سانتی‌متر) به ازای هر دو متر از طول درخت افتاده از قسمت یقه تا بالای تنه اندازه‌گیری شد. گفتنی است که بیشتر درختان ریشه‌کن شده بودند و دارای

زیادی با یکدیگر دارند (Lawrence & Wright, 2001). اندازه بهینه درخت با استفاده از معیار پارامتر پیچیدگی و تکنیک اعتبارسنجی متقابل k-fold تعیین شد.

اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی ناپارامتریک به منظور بررسی مدل‌ها ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای اعتبار و ۱۵ درصد برای آزمون در نظر گرفته شد (Tiryaki & Aydin, 2014). با استفاده از ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۱)، معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا (Root Mean Square of the Error) (رابطه ۲) و درصد میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۳)، اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_o)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / n}}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

نتایج

آمار توصیفی مربوط به مشخصه حجم در هر یک از توده‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. آماره‌های میانگین برای توده راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز به ترتیب ۴/۷۹، ۴/۲۶ و ۲/۶۲ متر مکعب در هکتار به دست آمد.

ارزش‌های عارضه تقسیم می‌کند. بدون فرض بودن، شرط درخت تصمیم است (Tooke *et al.*, 2009). در این روش ابتدا کار با تمام داده‌ها در ریشه درخت (گره‌ای که در رأس درخت تصمیم قرار دارد) شروع می‌شود. این روش در ابتدا با استفاده از معیارهای تعیین شده تمام داده‌ها را به صورتی بازگشت‌پذیر تقسیم می‌کند. سپس تمام متغیرهای پیشگو را مورد بررسی قرار می‌دهد تا مشخص کند کدام یک بهترین تقسیم را داشته‌اند. پس از آن داده‌های ورودی بر اساس متغیرهای مستقلى که اهمیت بیشتری دارند تقسیم می‌شوند (Breiman *et al.*, 1984). این کار ادامه می‌یابد تا زمانی که برگ‌ها (گره‌هایی که دیگر تقسیم نمی‌شوند و در انتهای درخت قرار گرفته‌اند) شامل داده‌هایی شوند که همگونی

که در آن‌ها Y مقدار برآورد شده، \bar{Y} میانگین برآورد شده و Y مقدار مشاهده‌شده، n تعداد مشاهدات (قطعه‌های نمونه) و y_{oi} مقدار مشاهده‌شده است. تنظیم و تحلیل اولیه داده‌ها در محیط Excel انجام شد و برای مدل‌سازی از نرم‌افزارهای SPSS22.0 و STATISTICA12.0 استفاده شد.

جدول ۱- آمار توصیفی حجم (بر حسب متر مکعب)

Table1. Volume descriptive statistics (m^3)

انحراف معیار standard deviation	حداکثر Maximum	میانگین Average	حداقل Minimum	توده Stand
4.72	16.87	4.79	0.04	راش خالص Pure beech
4.54	15.45	4.26	0.05	ممرز خالص Pure hornbeam
2.78	12.70	2.62	0.07	راش-ممرز Beech-hornbeam

آمد. میانگین ارتفاع درختان سرپا در توده‌های راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز به ترتیب برابر با $۲۵/۳۸ \pm ۱/۲$ ، $۱۷/۲ \pm ۱۳/۹$ و $۱۹/۹۴ \pm ۲/۵۱$ سانتی‌متر به دست آمد. همچنین، نتایج تراکم نشان داد مقادیر میانگین به ترتیب برای توده‌های مذکور $۳۲۷/۷۶$ ، $۴۴۵/۶۶$ و $۳۷۵/۲۳$ بود.

اطلاعات کمی حجم بر اساس حجم و تعداد در هکتار گونه‌های راش و ممرز در کل محدوده آماربرداری در جدول ۲ آمده است. میانگین قطر برابر سینه درختان سرپا در توده‌های راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز به ترتیب برابر با $۴۱/۱ \pm ۲/۵$ ، $۵۸/۲ \pm ۵۲/۷$ و $۴۰/۶۰ \pm ۳/۸۴$ سانتی‌متر به دست

جدول ۲- مشخصه‌های کمی درختان سرپا در تیپ‌های مورد مطالعه

Table2. Quantitative characteristics of standing trees in the Study types

توده	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)	تراکم (تعداد در هکتار)	حجم (سیلو در هکتار)
Stand	Diameter at breast height (cm)	Height	number per hectare	Volume (silve per hectare)
راش خالص Pure beech	کمینه	22.9	258	657.41
	بیشینه	26.21	386	987.36
	میانگین (\pm اشتباه معیار)	25.38 ± 1.2	327.76 ± 34.78	952.86 ± 43.75
ممرز خالص Pure hornbeam	کمینه	16.5	338	602.10
	بیشینه	19.2	517	726.32
	میانگین (\pm اشتباه معیار)	17.13 ± 2.9	445.66 ± 20.65	658.52 ± 32.92
راش-ممرز Beech-hornbeam	کمینه	17.98	307	632.14
	بیشینه	21.48	396	789.65
	میانگین (\pm اشتباه معیار)	19.94 ± 2.51	375.23 ± 25.74	728.35 ± 27.32

جدول ۳- ارزیابی داده‌های آزمون توده راش خالص

Table3. Evaluation of pure beech mass test stand

CART				ANN				الگوریتم ناپارامتریک Nonparametric algorithm
BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	
-0.13	0.17	13.09	0.77	1.46	0.13	11.87	0.82	
درجه اهمیت	متغیرهای مؤثر در مدل‌سازی	شبکه	الگوریتم	توده				
1.00	قطر	MLP 3-7-1	BFGS 211	راش خالص				
0.99	ارتفاع			Pure beech				

خطا در مدل ANN با شبکه MLP 3-7-1 (شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با تعداد ۳ لایه ورودی، ۷ لایه پنهان و یک لایه خروجی) و الگوریتم BFGS 211 (بهینه‌سازی از روش شبه نیوتنی) دارای دقت بیشتری است (جدول ۳).

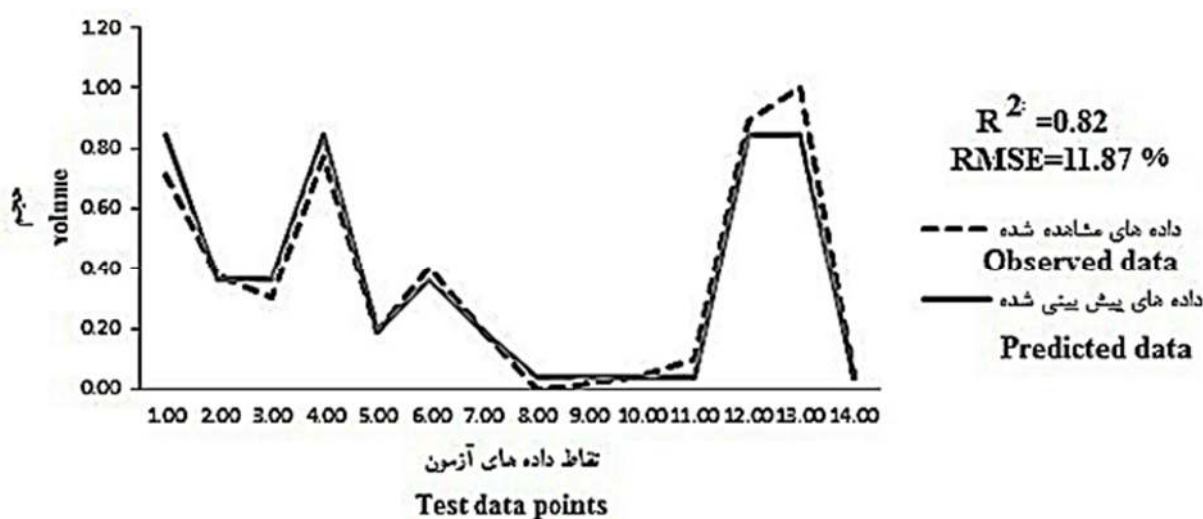
مدل‌سازی حجم درختان توده راش خالص نتایج مدل‌سازی با دو الگوریتم ناپارامتریک CART و ANN برای مشخصه حجم در توده راش خالص نشان داد که مقادیر ضریب تبیین و درصد مجذور میانگین مربعات

خالص با دو الگوریتم مورد بررسی نشان داد مقادیر ضریب تبیین (۰/۷۲) با برآورد از طریق الگوریتم CART دارای نتایج دقیق‌تری است.

در شکل ۲ خروجی حجم واقعی با خروجی حجم پیش‌بینی شده توسط الگوریتم CART نیز که راهی دیگر در ارزیابی مدل است؛ مقایسه شد.

در شکل ۱ خروجی حجم واقعی با خروجی حجم پیش‌بینی شده توسط شبکه که راهی دیگر در ارزیابی مدل است؛ مقایسه شد.

مدل‌سازی حجم درختان توده ممرز خالص در جدول ۴ نتایج ارزیابی داده‌های آزمون توده ممرز



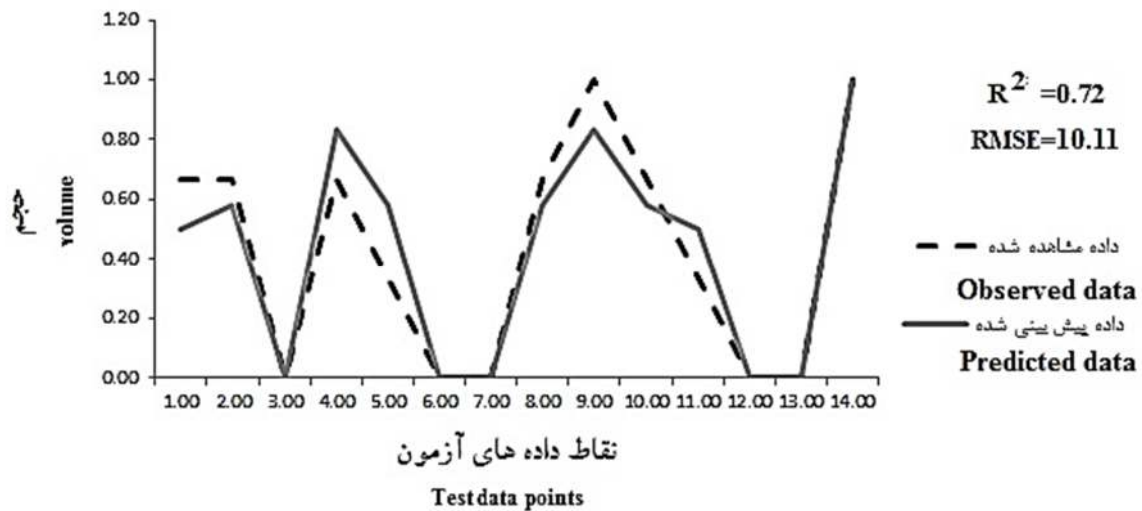
شکل ۱- مقایسه حجم مشاهده شده با حجم پیش‌بینی شده توسط مدل ANN در توده راش خالص

Figure1. Comparison of the observed volume with the volume predicted by the ANN model in the pure beech stand

جدول ۴ - ارزیابی داده‌های آزمون توده ممرز خالص

Table4. Evaluation of pure hornbeam stand test data

CART				ANN				الگوریتم ناپارامتریک Nonparametric algorithm
BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	
0.85	0.30	10.11	0.72	20.73	0.39	10.40	0.44	
درجه اهمیت	متغیر مؤثر در مدل‌سازی		شبکه	الگوریتم		توده Stand		
1.00	قطر		MLP 3-9-1	BFGS 3		ممرز خالص		
0.96	ارتفاع					Pure hornbeam		



شکل ۲- مقایسه حجم مشاهده شده با حجم پیش‌بینی شده توسط مدل CART در توده ممرز خالص
Figure2. Comparison of the observed volume with the volume predicted by the CART model in the pure hornbeam stand

نتایج برای مشخصه حجم الگوریتم ANN با شبکه MLP 2-1 با ضریب تبیین (۰/۹۱) و درصد مجذور میانگین مربعات خطا (۱۰/۵۱) نسبت به الگوریتم CART با ضریب تبیین (۰/۸۴) و درصد مجذور میانگین مربعات خطا (۱۵/۱۲) نتایج بهینه‌ای را ارائه داد.

مدل‌سازی حجم درختان توده آمیخته راش- ممرز بر اساس مقادیر ضریب تبیین و کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا، مناسبترین مدل از بین دو الگوریتم مورد بررسی برای توده آمیخته راش- ممرز در مدل‌سازی انتخاب و نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به

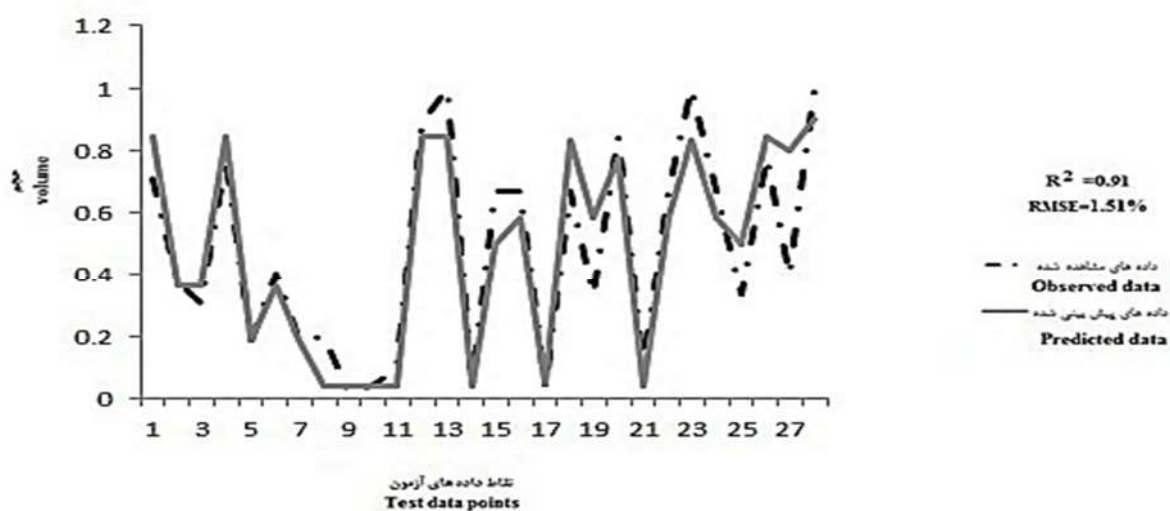
جدول ۵- ارزیابی داده‌های آزمون توده آمیخته راش- ممرز

Table5. Evaluation of the test data of the mixed stand of beech-hornbeam

CART				ANN				الگوریتم ناپارامتریک Nonparametric algorithm
BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	BIAS%	RMSE	RMSE%	R ²	
-9.42	0.85	15.12	0.84	1.25	0.76	10.51	0.91	
درجه اهمیت	متغیر مؤثر در مدل‌سازی	شبکه	الگوریتم	توده				
1.00	قطر	MLP 2-5-1	BFGS 14	راش- ممرز				
0.76	ارتفاع			Beech-hornbeam				

شده توسط این مدل در شکل ۳ مقایسه شد.

با توجه به اینکه در توده آمیخته راش- ممرز الگوریتم ANN نتیجه بهتری ارائه داد؛ حجم واقعی با حجم پیش‌بینی



شکل ۳- مقایسه حجم مشاهده شده با حجم پیش‌بینی شده توسط مدل ANN در توده آمیخته راش- ممرز

Figure 3. Comparison of the observed volume with the volume predicted by the ANN model in the beech-hornbeam mixed stand

CART نشان داد الگوریتم ANN با ضریب تبیین (۰/۹۱) و درصد مجذور میانگین مربعات خطا (۱۰/۵۱ درصد) دارای دقت بیشتری است.

مقایسه نتایج مدل‌سازی با مدل‌های مختلف برای سه توده مورد بررسی نتایج مدل‌سازی حجم تجاری سه توده راش خالص، ممرز خالص و آمیخته راش- ممرز با دو الگوریتم ANN و

جدول ۶- نتایج اعتبار‌سنجی مدل‌سازی سه توده مورد بررسی

Table 6. Validation results of the modeling of the three investigated stands

آمیخته راش- ممرز Beech-hornbeam		ممرز خالص Pure hornbeam		راش خالص Pure beech		توده Stand
RMSE%	R ²	RMSE%	R ²	RMSE%	R ²	
1.51	0.91	10.11	0.72	10.87	0.82	
ANN		CART		ANN		الگوریتم ناپارامتریک Nonparametric algorithm

جنگل گردشی وسیع در یک دامنه رویشگاهی و ارتفاع از سطح دریا با محاسبه حجم درختان افتاده به دنبال مدل‌سازی حجم درختان سریا از گونه‌های مختلف با ضریب شکل متفاوت باشد. در این پژوهش، قابلیت الگوریتم ANN و CART در مدل‌سازی حجم درختان بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین حجم برای توده راش خالص، ممرز خالص و راش-ممرز به ترتیب ۹۵۲/۸۶، ۶۵۸/۵۲ و

بحث

با توجه به مصوبه طرح استراحت جنگل مبنی بر ارتقا روند خود تنظیمی و خود تجدیدی جنگل‌های طبیعی شمال کشور از آنجایی که قطع و بهره‌برداری درختان سریا در یک بازه زمانی تعریف شده ممنوع اعلام شده است؛ برآورد واقعی حجم درختان از طریق تکنیک تجدید حجم امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این رو در پژوهش پیش‌رو با استفاده از

(۱۳۹۶) و Bayati و Najafi (۲۰۱۳) مطابقت دارد. ایشان اذعان داشتند قطر و ارتفاع درختان در واقع پارامترهای محاسباتی حجم درختان بوده؛ از این رو همبستگی بین قطر و ارتفاع در ویژگی هندسی حجم درختان بدیهی است. به همین دلیل قطر و ارتفاع به عنوان متغیرهای ورودی برای هر دو مدل به کار رفته در پژوهش پیش‌رو معرفی شد.

مقایسه نتایج مدل‌سازی با مدل‌های مختلف برای سه توده مورد بررسی نشان داد، توده آمیخته راش - ممرز مدل ANN با شبکه MLP 2-5-1 با $R^2=0/91$ و $RMSE\%=10/51$ و $R^2=0/82$ ؛ نتایج بهینه‌ای را ارائه داد. مدل ANN نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی به دلیل عواملی مانند توانایی یادگیری و تعمیم، در نظر گرفتن داده‌های پرت و مدل‌سازی روابط غیرخطی بین متغیرها مزایایی دارد (Che et al., 2019). علاوه بر این، مدل ANN هنگام پیش‌بینی حجم با استفاده از نمونه‌های کوچک‌تر که نشان‌دهنده کاهش هزینه و زمان برای شیوه‌های برآورد موجودی جنگل است، دقت بالاتری دارد؛ حتی با یک پایگاه داده محدود، مدل ANN قادر به ایجاد برآوردهای حجمی دقیق‌تری نسبت به رگرسیون است (Diamantopoulou & Milios, 2010).

علاوه بر این، برای برآورد کردن مفروضات آماری مانند نرمال بودن، همسویی بودن، چند خطی بودن و موارد دیگر ضروری است. یکی از مهمترین مزایای استفاده از روش ANN برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ که اندازه‌گیری آنها بسیار مشکل، زمان‌بر و پرهزینه است، در نظر گرفتن کلیه روابط غیرخطی در بوم‌سازگان‌های طبیعی است. در واقع علت اصلی استفاده از روش ANN در پژوهش پیش‌رو این است که سیستم مورد استفاده Function approximator است؛ یعنی حداقل نظم بین داده‌های ورودی و خروجی در این سیستم در نظر گرفته شده است که در دقت پیش‌گویی تأثیر به‌سزایی دارد. از این رو به دلیل اینکه ANN همبستگی بین متغیرهای توصیفی با یکدیگر و متغیر خروجی، نوع روابط بین آنها و همچنین وضعیت تقارن توزیع داده‌ها را در بر گرفته است و موانع مذکور را طی هر الگوریتم آموزش، پس از تثبیت وزن‌دهی اولیه داده‌ها برطرف می‌کند و علاوه

۷۲۸/۳۵ متر مکعب در هکتار به دست آمد. همان طور که از نتیجه میانگین تعداد پایه‌ها در توده‌های مورد بررسی مشخص شد مقدار میانگین در توده آمیخته راش - ممرز کمتر از هر یک از دو توده راش و ممرز خالص است.

نتایج مدل‌سازی حجم در توده راش خالص نشان داد مدل ANN نتایج با دقت بالاتری ($R^2=0/82$)؛ $RMSE\%=11/87$ و $BIAS\%=1/46$) را ارائه می‌دهد. نتیجه حاصل شده به پژوهش Bayati و Najafi (۲۰۱۳) در برآورد حجم تنه درختان جنگل آموزشی - پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با $R^2=0/84$ نزدیک است. واحدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در مدل‌سازی حجم تجاری درختان توده‌های آمیخته راش واقع در سری ۳ جنگل گلندرود نور واقع در حوزه آبخیز ۴۸ توده آمیخته راش شمال با $R^2=0/99$ و De Oliveira و همکاران (۲۰۲۱) در جنگل ملی تاپاجوس (آمازون) با $R^2=0/93$ ؛ ANN را در مدل‌سازی حجم معرفی کردند.

نتیجه مدل‌سازی حجم در توده ممرز خالص برخلاف توده راش خالص نشان داد مقادیر با برآورد از طریق الگوریتم CART با $R^2=0/72$ دارای نتایج دقیق‌تری است. Noorian و همکاران (۲۰۱۴) نیز در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER و الگوریتم CART در جنگل شصت کلاته گرگان اذعان داشتند این الگوریتم با $R^2=0/76$ بهترین مدل معرفی شد که با نتیجه پژوهش پیش‌رو نزدیک است.

انتخاب بهترین متغیرها با توجه به تعیین درجه اهمیت آنها، به دلیل مؤثر واقع شدن در بررسی دقیق‌تر ضروری است. در این زمینه از معیار اندازه اهمیت نسبی متغیرهای مستقل وارد شده در مدل استفاده شد. براساس نتایج حاصل از بررسی هر سه توده راش خالص، ممرز خالص و آمیخته راش - ممرز مشخص شد، مشخصه قطر (۱/۰۰) بیشترین تأثیر را در مدل‌سازی دارد (جدول ۳، ۴ و ۵). از فاکتور با اهمیت دیگر ارتفاع، با درجه به ترتیب (توده راش خالص = ۰/۹۹، توده ممرز خالص = ۰/۹۶ و توده آمیخته راش - ممرز = ۰/۷۶) بود که با مطالعه واحدی و همکاران

هنگام تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام روش‌ها برای مدل‌سازی حجم تجاری برای توده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه با بالاترین قطعیت و دقت اعمال شود. علاوه بر پارامترهای مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو می‌توان از پارامترهای میزان بارندگی، حاصلخیزی خاک و ارتفاع از سطح دریا نیز در برآورد میزان دقیق حجم استفاده کرد. همچنین می‌توان از تکنولوژی‌های جدید مانند بهره‌گیری از تصاویر سنجش از دوری به لحاظ در نظر داشتن سه عامل مهم هزینه، زمان و دقت به نسبت مناسب برای افزایش متغیرهای ورودی به منظور افزایش دقت استفاده کرد. علاوه بر این در راستای نتایج به دست آمده از پژوهش پیش‌رو پیشنهاد می‌شود، پژوهش پیش‌رو در گرادیان ارتفاعی و عرض جغرافیایی مختلف توده‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

پژوهش پیش‌رو با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه به جهت تأمین مالی طرح پژوهشی با کد (۰۷-۱۴۰۱-۰۴) تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Alijani, V., Sagheb Talebi, Kh. and Akhavan, R., 2014. Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21 (3): 396-410 (In Persian with English Summary).
- Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M. and Zobeiri, M., 2013. Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania. European Journal of Forest Research, 132(5-6): 851-864.
- Bayati, H. and Najafi A., 2013. Performance Comparison Artificial Neural Networks with Regression Analysis in Trees Trunk Volume Estimation. Forest and Wood Products, 2(2): 177-191 (In Persian with English Summary).
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J. and Olshen, R. A., 1984. Classification and regression trees, CRC press.

بر آن بر خلاف تحلیل‌های رگرسیون دارای محدودیت‌های مدل‌سازی نیست (Vahedi, 2016). دلیل نتیجه حاصل شده می‌تواند مربوط به این موضوع باشد که شاید در توده‌های خالص با توجه به یکسان بودن گونه‌ها (تک نوع گونه بودن) در رقابت برای کسب عناصر غذایی دارای رقابت بیشتری هستند؛ لذا برخلاف انتظار معمول ممکن است از نظر شکل ظاهری خارج شده و نتایج مورد انتظار حاصل نشود. همچنین ممکن است به این دلیل باشد که با توجه به اینکه در توده‌های آمیخته حداکثر ناهمگنی را در رابطه با ضریب شکل، ساختار و در نهایت حجم درختان داریم، از این رو ناهمگنی مربوط به توده‌های ناهمسال در واقع انطباق بیشتری با اجرای روش ANN داشته است. در واقع با توجه به نتیجه به دست آمده مدل مربوط دارای دقت محاسباتی به نسبت بالایی برای پیش‌بینی حجم در توده آمیخته راش - ممرز است؛ اما چون میزان میانگین مربعات خطای مدل انتخابی به عنوان متغیر ورودی دارای حداقل اختلاف نسبت به داده‌های آموزش، اعتبار و نیز حداقل مقدار نسبت به مدل دیگر است، دقت بیشتری برای پیش‌بینی پاسخ مورد هدف در پژوهش پیش‌رو دارد. با توجه به اینکه در جنگل‌های طبیعی در اکثر موارد بین قطر و ارتفاع همبستگی وجود دارد (Tiryaki & Aydin, 2014)، که در تحلیل رگرسیون چندگانه در صورت معرفی متغیرهای مستقل، همبستگی مورد اشاره موجب افزایش فاکتور تورم واریانس می‌شود به طور معمول در شبکه عصبی، هم‌خطی چندگانه و خودهمبستگی بین متغیرها مؤثر نیست و علاوه بر آن، نوع روابط بین هریک از متغیرهای ورودی و خروجی (خطی و یا غیرخطی) نیز تصحیح می‌شود. به همین دلیل دو متغیر قطر و ارتفاع در پژوهش پیش‌رو به عنوان متغیرهای ورودی برای مدل شبکه عصبی مؤثر واقع شدند.

در نهایت، یافته‌ها نشان داد که الگوریتم ANN نسبت به الگوریتم CART منجر به پیش‌بینی بهتر می‌شود. همچنین عملکرد این الگوریتم برای توده آمیخته راش - ممرز نسبت به هر یک از توده‌های خالص راش و ممرز دارای دقت بالاتری است. بنابراین، الگوریتم ANN ترجیحاً می‌تواند

- area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 609-620 (In Persian with English Summary).
- Reis, L.P., Souza, A.L., Reis, P.C.M., Mazzei, L., Soares, C.P.B., Torres, C.M.M.E., Silva, L.F., Ruschel, A.R. and Rêgo, L.J.S., 2018. Estimation of mortality and survival of individual trees after harvesting wood using artificial neural networks in the amazon rain forest. *Ecological Engineering*, 112: 140–147.
 - Sadeghi Kaji, H. and Soltani, A., 2017. Single tree volume modeling for even age Persian oak (*Quercus brantii*) coppice in Central Zagros (Case study: Chaharmahal VA Bakhtiari province, Ardal and Kiar district). *Iranian Journal of Forest*, 9(3): 361-372 (In Persian with English Summary).
 - Tavares Júnior, I.D.S., de Souza, J.R.M., Lopes, L.S.D.S., Fardin, L.P., Casas, G.G., Oliveira Neto, R.R.D., Leite, R.V. and Leite, H.G., 2022. Machine learning and regression models to predict multiple trees stem volumes for teak. *Southern Forests: Journal of Forest Science*, 1-9.
 - Tiryaki, S. and Aydin, A., 2014. An artificial neural network model for predicting compression strength of heat treated woods and comparison with a multiple linear regression model. *Construction and Building Materials*, 62: 102-108.
 - Tooke, T. R., Coops, N. C., Goodwin, N. R. and Voogt, J. A., 2009. Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications. *Remote Sensing of Environment*. 113: 398–407.
 - Vahedi, A. A., 2016. Simulating commercial biomass in the Hyrcanian mixed-beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(3): 451-462 (In Persian with English Summary).
 - Vahedi, A., Mataji, A. and Akhavan, R., 2017. Modeling the commercial volume of trees in mixed beech stands of Hyrcanian forests through artificial neural network. *Forest and Wood Products*, 70(1):49-60 (In Persian with English Summary).
 - Zobeiri, M., 2005. *Forest inventory measurement of tree and forest*. Second edition, University of Tehran Publication and Printing Institute, Tehran, Iran, 401p (In Persian with English Summary).
 - Che, S., Tan, X., Xiang, C., Sun, J., Hu, X., Zhang, X., Duan, A. and Zhang, J., 2019. Stand basal area modelling for Chinese fir plantations using an artificial neural network model. *Journal of Forestry Research*, 30(5):1641-1649.
 - De Oliveira, D.V., Rode, R., de Oliveira Neto, R.R., J.R.V. Gama and Leite, H.G., 2021. Use of artificial neural networks for predicting volume of forest species in the Amazon Forest. *Scientia Forestalis*, 49(131).
 - Diamantopoulou, M. J. and Milios, E., 2010. Modelling total volume of dominant pine trees in reforestations via multivariate analysis and artificial neural network models. *Biosystems Engineering*, 105(3): 306-315.
 - Lawrence, R. L. and Wright, A., 2001. Rule-based classification systems using classification and regression tree (CART) analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(10): 1137-1142.
 - Lhotka, J.M. and Loewenstein, E.F., 2011. An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oak-shortleaf pine stands in the Ozark highlands of Missouri, USA. *Forest Ecology and Management*, 261(3): 770–778.
 - Mehtatalo, L. 2020. *Biometry for Forestry and Environmental Data: With Examples in R*. CRC Press, Boca Raton, FL.
 - Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M.R., Sefidi, K., 2021. Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 13(2): 115-128 (In Persian with English Summary).
 - Noorian, N., Shataee, Sh., Mohammadi, J. and Yazdani, S., 2014. Estimating forest structural attributes by means of ASTER imagery and CART algorithm (Case study: Shastkolateh forest, Gorgan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3): 434-446 (In Persian with English Summary).
 - Ozelik, R., Diamantopoulou, M.J., Brooks, J.R. and Wiant, H.V., 2010. Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 91(3): 742-753.
 - Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A. and Panahi, P., 2012. Biomass and leaf

Modeling the commercial volume of pure and mixed stands of beech trees using non-parametric algorithms in the educational-research Forest of Darabkola, Sari, Iran

A. Fallah ¹, N. Nazariani ^{2*}, M. Imani Rastabi ³ and F. Bakhshi ⁴

1- Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

2*- Postdoctoral Researcher in Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. Email: Nazariani69@yahoo.com

3- Ph.D. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

4- M.Sc. student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 13.07.2022

Accepted: 01.10.2022

Abstract

Commercial volume trees are an important variable that contributes to economic decision-making and analysis in forest management. In this regard, Commercial Volume modeling in Hyrcanian forests is the key to implementing sustainable forest management plans. Due to time and cost constraints and the lack of local or public volumetric measurements in the equations, most forest managers still use traditional expansion factors to estimate volume. Therefore, using independent variables in volumetric modeling is an essential step in fitting models to representation. Therefore, the present study aims to model and predict business volume with minimal error using two ANN and CART algorithms. The study area was parcels 14, 16 and 24 of the educational-research forest of Sari Faculty of Natural Resources located in Darabkola, one of the functions of Sari city. After rotating the forest, masses with different forest types were studied according to the purpose of the study: Trees of pure beech, pure hornbeam and beech-hornbeam. For this purpose, at least 20 trees fell in each type and all standing trees in each sample parcel were measured. In each plot, quantitative characteristics of all trees including total tree height, trunk height (length), diameter per chest and qualitative characteristics including the degree of tree rot were measured. After measuring all the required characteristics of fallen trees at the level of Study forest types by species, to accurately estimate the volume was measured. Then the actual volume of the tree was calculated in the form of different trunk parts based on the ESmalian relationship. Finally, ANN and CART algorithms were used for modeling in STATISTICA_{12.0} software environment. The results of modeling the commercial volume of three masses of pure beech, pure hornbeam and beech-hornbeam with two ANN and CART algorithms showed the values of R² explanation coefficient (0.82; 0.77), (0.44; 0.72) respectively and (0.91; 0.84). The results of modeling the commercial volume of three masses of pure beech, pure hornbeam and beech-hornbeam with two algorithms ANN and CART showed that the ANN algorithm with a R²=0.91 and the percentage of RMSE%= 10.51 is more precision. Finally, the findings showed that the ANN algorithm leads to better prediction than the CART algorithm. Also, the performance of this algorithm for beech-border mixed mass is higher than any of the pure beech and hornbeam masses.

Keywords: Diameter, Forest Management, Height, Volume Stock.