جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلۀ منابع طبیعی ایران
دورۀ ۷۰، شمارۀ ۴، زمستان ۱۳۹۶
ص ۵۶۹-۵۷۸

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2018.206699.742

ارزیابی ارتفاع غالب گونۀ راش تحت تأثیر متغیرهای محیطی در جنگل پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

کوروش احمدی[1]، سید جلیل علوی[2]*

۱. دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکدۀ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲. استادیار گروه جنگلداری، دانشکدۀ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۰

چکیده

برآورد دقیق توان تولید جنگل، از مؤلفه‌های بسیار مهم در مدیریت صحیح منابع جنگلی است. از این‌رو یکی از وظایف خطیر مدیران جنگل کمی‌سازی و سنجش اختلاف‌ها و تفاوت‌ها در رویشگاه‌هاست. در مطالعۀ حاضر ارتفاع غالب گونۀ راش به‌عنوان معیاری از کیفیت رویشگاه نسبت به متغیرهای محیطی ارزیابی شد. به این منظور در تیپ‌هایی که در آنها گونۀ راش غالب بود، به روش منظم - تصادفی ۱۱۰ قطعه نمونۀ دایره‌ای به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع پیاده شد و در هر یک از آنها ارتفاع و قطر تمام درختان گونۀ راش با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر علاوه‌بر ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب و آزیموت اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در مرکز هر قطعه نمونه، از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک صورت گرفت و برخی از متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شد. ارزیابی ارتفاع غالب گونۀ راش با استفاده الگوریتم Random Forest در نرم‌افزار آماری R نشان داد که متغیرهای درصد رس، ارتفاع از سطح هستند. از طرف دیگر، تابش خورشیدی، درصد نیتروژن، درصد شیب و اسیدیته و جرم مخصوص ظاهری کمترین تأثیر را بر ارتفاع غالب گونۀ راش دارند. با استفاده از الگوریتم Random Forest بیش از ۹۰ درصد تغییرات توان تولیدی را می‌توان با استفاده از این متغیرها تبیین کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع غالب، الگوریتم Random Forest، راش شرقی، مدلسازی جنگل.

مقدمه

شناخت وضعیت رویشگاه‌های طبیعی پیش از انجام هر گونه اقدام مدیریتی لازم به‌نظر می‌رسد، زیرا این امکان را برای مدیر فراهم می‌آورد که ارزیابی مناسبی از شرایط بوم‌شناختی توده با توجه به مشخصه‌های کمی و کیفی توده داشته باشد و با توجه به پتانسیل رویشگاه الگوی مدیریتی مناسبی را ارائه کند. با مطالعۀ ویژگی‌های بوم‌شناسی انفرادی یک گونه می‌توان به اثر عوامل محیطی بر پراکنش جغرافیایی، شکل‌پذیری، خصوصیات ظاهری، و مورفولوژیک و مراحل فنولوژیک گیاه پی برد. برآورد دقیق توان تولید جنگل، از مؤلفه‌های بسیار مهم در مدیریت صحیح منابع جنگلی است. از این‌رو یکی از وظایف خطیر مدیران جنگل کمی‌سازی و سنجش اختلاف‌ها و تفاوت‌ها در رویشگاه‌هاست[1]. ازآنجا که رویشگاه در تعیین میزان رشد (که عامل بسیار مهم و اساسی در برنامه‌های مدیریت

* نویسندۀ مسئول، تلفن:۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷
Email: j.alavi@modares.ac.ir

جنگل است) نقش بسیار مهمی دارد، کیفیت آن نیز میزان رشد و توان تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲]. کیفیت رویشگاه که متوسط توان تولید یک جنگل را برای رشد درختان جنگلی بیان می‌کند، به دو روش کلی عوامل گیاهی[1] و عوامل زمینی[2] قابل ارزیابی است. در رویکرد "عوامل گیاهی"، بعضی از مشخصات درخت یا پوشش گیاهی که مبین کیفیت رویشگاه هستند، مانند کمیت چوب تولیدشده، مشخصه‌های اندازه‌ای درخت و گونه‌های گیاهی که به‌طور طبیعی در آن ناحیه رخ می‌دهند، اندازه‌گیری می‌شوند و در رویکرد "عوامل زمینی"، کیفیت رویشگاه را برحسب فاکتورهای محیطی ارزیابی می‌کنند [۱]. یکی از معیارهای مهم تأثیرپذیر از کیفیت رویشگاه، ارتفاع غالب است که به‌صورت ارتفاع ۱۰۰ اصله از قطورترین درختان در هکتار بیان می‌شود [۳]. این معیار برخلاف قطر برابرسینه، کمتر تحت تأثیر عملیات پرورشی در جنگل قرار می‌گیرد و رابطهٔ نزدیکی با حجم درختان دارد و به همین دلیل معیار مناسبی برای بررسی کیفیت رویشگاه است [۱].

گاهی به برآوردی از کیفیت رویشگاه در نواحی فاقد تودهٔ جنگلی یا جاهایی که درختان رویشگاهی مناسب در توده‌های باقی‌مانده وجود ندارد، نیاز است، در چنین مواردی شاخص توان رویشگاه را می‌توان به‌طور غیرمستقیم و با تعیین روابط بین معیار توان رویشگاه و متغیرهای محیطی، ویژگی‌های منطقه و ویژگی‌های پوشش‌های گیاهی زیراشکوب به‌دست آورد [٤]؛ چراکه توان تولید رویشگاه برایند ویژگی‌های محیطی رویشگاه (ساختمان، بافت، اسیدیته و عمق)، جهت جغرافیایی، شیب، میکروکلیما، ارتفاع از سطح دریا و غیره است و تغییر در این ویژگی‌ها پتانسیل رویشگاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲].

در سال‌های اخیر انواع روش‌های مدلسازی با استفاده از متغیرهای محیطی، برای پیش‌بینی شاخص توان تولید توسعه یافته و موفقیت‌های مختلفی را در پی داشته است، که از آن جمله می‌توان به رگرسیون چندگانهٔ خطی (MLP)[3]، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)[4]، مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM)[5]، همچنین تکنیک‌های یادگیری ماشین (ML)[6] مانند شبکه‌های عصبی (ANN)[7] درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT)[8] اشاره داشت [٤]. به‌طور معمول، فرضیه‌های مرتبط با پراکنش، وفور و عملکرد گونه‌های گیاهی نسبت به متغیرهای محیطی با بهره‌گیری از مدل رگرسیون حداقل مربعات ارزیابی می‌شود، ولی تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیچیدهٔ بوم‌شناختی نیازمند روش‌های تحلیلی قوی و انعطاف‌پذیری است که بتواند روابط غیرخطی، اثرهای متقابل و داده‌های ازدست‌رفته را کنترل کند. علاوبر این، درک و ارائهٔ نتایج از طریق این روش‌ها باید ساده و به‌راحتی تفسیرشدنی باشد که الگوریتم Random Forest به دلایل مذکور توانایی بسیاری در مدلسازی دارد که آن را از روش‌های دیگر متمایز می‌کند. مزیت دیگر تکنیک Random Forest این است که نیازمند فرض نرمالیته نیست و می‌تواند به روابط غیرخطی نیز بپردازد [٥].

تاکنون در تحقیقات بسیاری رابطهٔ بین شاخص‌های مختلف کیفیت رویشگاه و متغیرهای خاکی، فیزیوگرافی و اقلیمی بررسی شده است [٦]. Herrera و همکاران [۷] تأثیر متغیرهای محیطی را بر ارتفاع غالب گونهٔ *Vochysia ferruginea* بررسی کرده و درصد مادهٔ آلی و رس را از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ارتفاع غالب این گونه معرفی کردند. Monserud و همکاران [۸] با کمک عوامل اقلیمی و محیطی به بررسی توان تولیدی گونهٔ *Pinus contorta* با استفاده از مدل رگرسیونی پرداختند. Stage and Salas [۹]

1. Phytocentric
2. Geocentric

3. Multiple Linear Regression
4. Classification And Regression Tree
5. Generalized Additive Model
6. Machine Learning
7. Artificial Neural Network
8. Boosted Regression Tree

با استفاده از مدل رگرسیون خطی تأثیر متغیرهای فیزیوگرافی را بر توان تولیدی گونه‌های *Pseudotsuga menziesii* بررسی کردند. Mitsuda و همکاران [۱۰] با استفاده از شاخص‌های خروجی از مدل رقومی زمین به پیش‌بینی شاخص رویشگاه با استفاده از رگرسیون چندمتغیره خطی پرداختند. Aertsen و همکاران [۱۱] تکنیک‌های مختلف مدلسازی (MLR، CART، BRT، GAM و ANN) را برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه گونه‌های *Pinus nigra*، *Pinus brutia* و *Cedrus libani* در جنگل‌های کوهستانی مدیترانه‌ای در جنوب ترکیه بررسی و مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که روش GAM و BRT بهترین مدل‌ها برای گونه‌های تحت مطالعه است. Aertsen و همکاران [۱۲] تکنیک مدلسازی BRT را برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه با استفاده از متغیرهای محیطی در گونه‌های *Quercus robur*، *Fagus sylvatica* و *Pinus sylvestris* در منطقهٔ Flander در شمال بلژیک بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تکنیک BRT برای نمایش رفتارهای غیرخطی عملکردهای بوم‌شناختی مناسب است. نتایج مطالعهٔ آنها حاکی از آن است که متغیرهای خاک و پوشش گیاهی پیش‌بینی‌کننده‌های خوبی‌اند.

گونهٔ راش که از مهم‌ترین، غنی‌ترین و اقتصادی‌ترین گونه‌های جنگل‌های شمال ایران به‌شمار می‌رود، حدود ۳۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۲۳ درصد از کل تعداد درختان این جنگل‌ها را به خود اختصاص می‌دهد [۲]. ازآنجا که توان تولید یک مؤلفهٔ اساسی از خدمات اکوسیستم جنگل بوده و معیار مهمی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌هاست که در ایران کمتر به آن پرداخته شده است، در تحقیق حاضر توان تولیدی رویشگاه راش شرقی با استفاده از معیار ارتفاع غالب در رابطه با مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و فیزیوگرافی با استفاده از الگوریتم Random Forest در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس بررسی می‌شود.

روش کار

منطقهٔ تحقیق

مطالعهٔ حاضر در جنگل آموزشی و پژوهشی صلاح‌الدین‌کلا متعلق به دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است. منطقهٔ تحقیق در سری ۳ حوضهٔ ٤٦ کجور واقع شده است. مساحت منطقه ۱۷۸۱ هکتار و ارتفاع از سطح دریا از ۱۰۰ تا ۲۷۰۰ متر است. منطقهٔ تحقیق بین عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۹ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳٦ درجه و ۳۲ دقیقه و ٥٦ ثانیه و طول جغرافیایی ٥۱ درجه و ٤۳ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ٥۱ درجه و ٤۷ دقیقه و ۳۹ ثانیه قرار گرفته است. مقدار بارندگی در این ناحیه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی نوشهر ۱۳۰۸ میلی‌متر در سال است. گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد با میانگین دمای ۲۹/۲ و سردترین ماه سال بهمن با میانگین دمای ۲/٦ درجهٔ سانتی‌گراد است. میانگین دمای سالانه نیز ۱۵/۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است [۲].

در مطالعهٔ حاضر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم از ۱۱۰ قطعه نمونهٔ دایره‌شکل با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در توده‌هایی که در آنها گونهٔ راش غالب بوده است، استفاده شد. پس از پیاده کردن قطعات نمونه در جنگل، قطر برابرسینه و همچنین ارتفاع کامل تمام درختان راش با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس ویژگی‌های عمومی رویشگاه مثل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و آزیموت جهت یادداشت شد. جهت جغرافیایی با استفاده از رابطهٔ زیر به شاخص تابش خورشیدی[1] تبدیل شد که در آن θ مقدار آزیموت جهت برحسب درجه است. مقدار شاخص تابش خورشیدی بین صفر و یک است و جهت شمال شرقی دارای مقدار صفر (خنک‌ترین دامنه) و جهت جنوب غربی دارای مقدار یک (گرم‌ترین دامنه) است [۱۲].

$$TRASP = \left[1 - cos\left(\left(\pi / 180\right)\left(\theta - 30\right)\right)\right] / 2 \qquad (1)$$

در مرحلهٔ بعد در هر قطعه نمونه، نمونه‌برداری خاک

1. Radiation Index

از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و پارامترهای بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین، pH خاک با دستگاه pH متر الکتریکی، نیتروژن به روش کجلدال، کربن آلی به روش اکسیداسیون دی‌کرومات، پتاسیم بەوسیلهٔ دستگاه طیف‌سنج اتمی و فسفر قابل جذب به روش اولسن در آزمایشگاه آنالیز شد [۱۳].

الگوریتم Random Forest

تکنیک Random Forest روش جدید و قدرتمندی است که پیشرفت‌های چشمگیری را در فناوری داده‌کاوی ارائه داده است، با این‌حال، این روش در مطالعات بوم‌شناختی به‌نسبت ناشناخته است. رویکرد Random Forest مبتنی بر روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم ایجاد شده، سپس تمام درختان با هم برای پیش‌بینی ترکیب می‌شوند [۱٤]. پس از مشخص شدن متغیرهای پیشگو و متغیرهای هدف، الگوریتم Random Forest با رویاندن درخت تصمیم شروع می‌شود. این درخت از تمام داده‌های موجود برای رویاندن درخت استفاده نمی‌کند، در عوض از نمونهٔ bootstrap استفاده می‌کند که تنها ٦٦ درصد از دادهٔ اولیه را شامل می‌شود؛ به این تکنیک Bagging گفته می‌شود [۱۵]. در Bagging، n تعداد درخت از نمونه‌های bootstrap از مجموعه داده‌ها ساخته (برازش) می‌شود. میانگین تمام مقادیر پیش‌بینی‌شده n تعداد درخت به‌عنوان پیش‌بینی نهایی مدل استفاده می‌شود [۱٦].

پارامترهای اساسی برای تکنیک Random Forest، تعداد درختان و تعداد متغیرهای پیشگو هستند. براساس این دو پارامتر، درخت تصمیم به بزرگ‌ترین اندازهٔ ممکن رویانده شده و بدون هرس رها می‌شود [۱۵]. تعداد زیاد درخت‌ها موجب همگرا شدن خطا می‌شود و برای محاسبهٔ آن می‌توان از نمودار میزان خطا برحسب تعداد درخت استفاده کرد [۱۷]. تعداد متغیرهای پیشگوی تصادفی یکی از دو پارامتر تنظیمی در الگوریتم Random Forest است که توسط کاربر انتخاب می‌شود. کاهش تعداد متغیرهای پیشگو موجب ضعیف‌تر شدن هر درخت انفرادی می‌شود، با این‌حال، این کاهش متغیرها، همبستگی بین درختان را کاهش می‌دهد، که سبب افزایش دقت و کاهش واریانس مدل می‌شود، به همین دلیل باید مقدار بهینهٔ این پارامتر را مشخص کرد، که برای محاسبهٔ آن می‌توان از نمودار میزان خطا برحسب تعداد متغیر و همچنین فرمول $\frac{p}{3}$ که p تعداد متغیرهای پیشگو است، استفاده کرد [۱۷]. در تکنیک Random Forest درخت‌ها تا زمانی‌که یکی از معیارهای متوقف کردن درخت رخ دهد، به رشد خود ادامه می‌دهند و بدون هرس رها می‌شوند. در نتیجه هر کدام از این درخت‌ها دارای برازش بیش از حد هستند، ولی میانگین‌گیری از این درخت‌ها این مشکل را برطرف می‌کند [۱۷].

به‌منظور ارزیابی تکنیک Random Forest، از مجذور میانگین مربعات خطا[1] (RMSE)، ضریب تبیین[2] (R^2)، میانگین خطا[3] (ME) و قدر مطلق میانگین خطا[4] (MAE) به‌عنوان معیارهای ارزیابی مدل استفاده شد. به‌منظور اعتبارسنجی الگوریتم Random Forest، روش اعتبارسنجی متقابل 10-fold با برنامه‌نویسی در نرم‌افزار آماری R انجام گرفت. در این روش داده‌ها به ده قسمت تقسیم می‌شود، نه قسمت از داده‌ها برای مدلسازی و یک قسمت باقی‌مانده برای اعتبارسنجی مدل به‌دست‌آمده استفاده می‌شود. به این ترتیب، این روش ۱۰ بار تکرار می‌شود [۲]. به‌منظور اجرای تکنیک Random Forest از نرم‌افزار آماری R 3.1.2 و بستهٔ randomForest استفاده شد.

1. Root Mean Square Error
2. Coefficient of Determination
3. Mean Error
4. Mean Absolute Error

نتایج و بحث

در جدول ۱ آمارەهای حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و خطای استاندارد برای ارتفاع غالب و عوامل خاکی و فیزیوگرافی استفادەشده برای پیش‌بینی ارتفاع غالب راش، ارائه شده است.

بررسی هم‌خطی متغیرهای محیطی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و همبستگی اسپیرمن نشان داد که به‌دلیل وجود همبستگی قوی بین متغیرهای تبیینی، درصد رطوبت اشباع، درصد شن، درصد نیتروژن و مادهٔ آلی حذف و مابقی متغیرها حفظ شد. در نتیجه با استفاده از متغیرهای باقیمانده مدلسازی صورت گرفت. نتایج عملکرد الگوریتم Random Forest در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به مقدار zریب تبیین ۹۳ درصد می‌توان ارتفاع غالب گونهٔ راش را نسبت به متغیرهای محیطی به‌خوبی مدلسازی کرد.

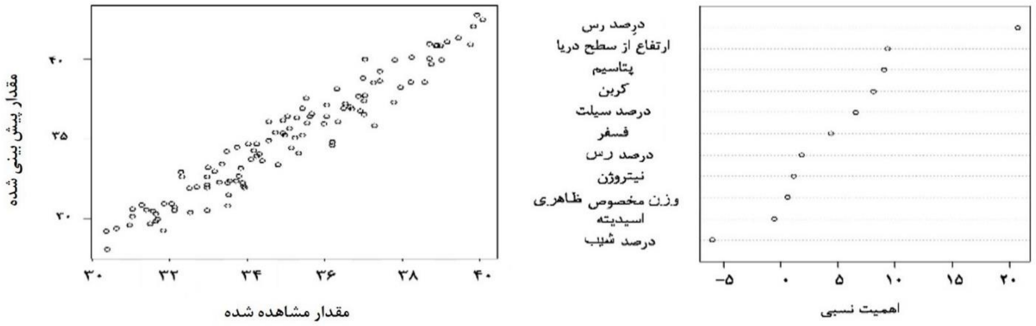
در شکل ۱ رتبه‌بندی متغیرهای لحاظ‌شده در الگوریتم Random Forest با به‌کارگیری معیار اهمیت نسبی و پلات مقادیر پیش‌بینی‌شده با استفاده از تکنیک Random Forest و مقادیر واقعی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد متغیرهای درصد رس، ارتفاع از سطح دریا، پتاسیم، درصد کربن، درصد سیلت و فسفر به‌ترتیب مهم‌ترین متغیر در توجیه تغییرات ارتفاع غالب گونهٔ راش هستند. از طرف دیگر، تابش خورشیدی، درصد نیتروژن، درصد شیب و اسیدیته و جرم مخصوص ظاهری کمترین تأثیرگذاری را بر ارتفاع غالب گونهٔ راش دارند (شکل ۱). وابستگی جزئی تأثیر هر یک از متغیرهای مهم در الگوریتم Random Forest در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، خطای استاندارد و انحراف استاندارد برای متغیرهای پاسخ و تبیینی

متغیرهای پاسخ و تبیینی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	خطای استاندارد
ارتفاع غالب	۲۴/۲۲	۴۵/۲	۳۳/۸۴	۴/۲	۰/۳۵
ارتفاع از سطح دریا	۱۰۶۷	۱۴۴۵	۱۲۲۸	۸۰/۶۳	۷/۱۵
TRASP	۰	۱	۰/۳۰۳	۰/۲۸۲	۰/۰۲۵
درصد شن	۴	۶۲	۲۷/۳۳	۱۲/۲۴	۱/۰۸۶
درصد سیلت	۱۶	۵۶	۳۶/۸۱	۷/۶۷	۰/۶۸۱
درصد رس	۱	۶۴	۳۵/۸۵	۱۲/۰۳	۱/۰۶۸
جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	۱/۰۱۲	۲/۰۴۹	۱/۵۲	۰/۲۴۸	۰/۰۲۲
درصد مادهٔ آلی	۱/۹۶	۱۳/۳۷	۶/۰۱۲	۳/۱۲	۰/۲۷۷
درصد کربن	۱/۱۳	۷/۷۶	۳/۴۸	۱/۸۱	۰/۱۶۱
درصد رطوبت اشباع	۴۳/۶۴	۵۵/۴۲	۴۸/۷۴	۲/۶۱	۰/۲۳۲
پتاسیم (mg/kg)	۶	۲۲۴	۹۹/۲۰	۶۳/۴۶	۵/۶۳
فسفر (mg/kg)	۴	۳۷/۸۴	۱۴/۱۳	۸/۷۹	۰/۷۸
شیب (درصد)	۳/۳	۷۲/۶	۲۶/۱۹	۱۲/۳۷	۱/۰۹
درصد نیتروژن	۰/۱۳	۰/۶۹	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۰۱
نسبت کربن به نیتروژن	۴/۴۶	۲۰/۱۸	۱۰/۲۸	۳/۲۵	۰/۲۸
اسیدیته	۵/۱	۷/۵۳	۵/۹۸	۰/۵۴	۰/۰۴۸

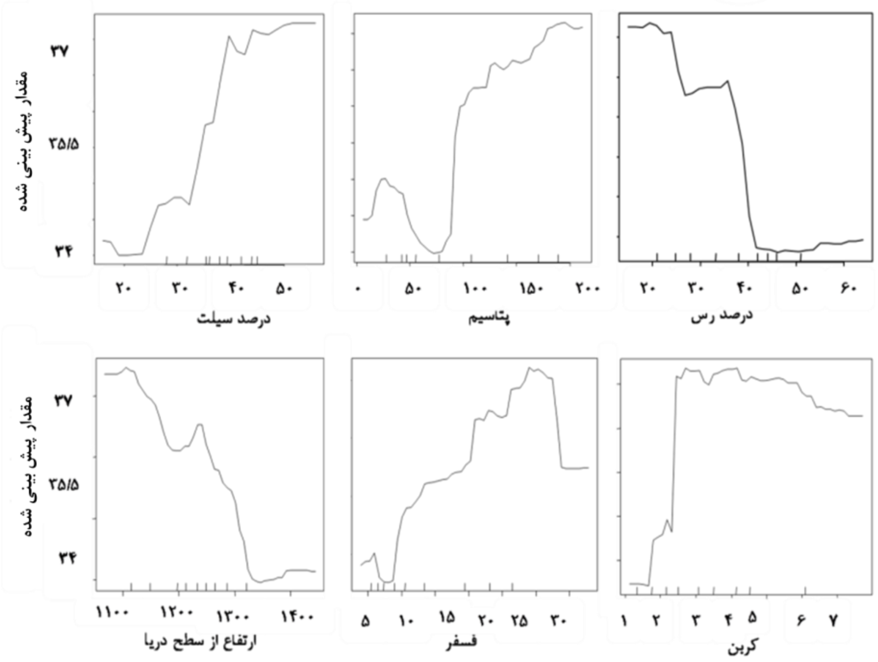
جدول ۲. معیارهای ارزیابی الگوریتم Random Forest

	معیارهای ارزیابی مدل			
مرحله	ME	MAE	RMSE	R^2
مدلسازی	۰/۰۱	۱/۰۹	۱/۲۹	۰/۹۳
اعتبارسنجی	۰/۰۳	۱/۱۵	۱/۴۹	۰/۸۶



شکل ۱. نمودار مقادیر مشاهده‌شده در مقابل مقادیر برازش‌یافته و اهمیت متغیرهای محیطی در تکنیک Random Forest

تغییرات ارتفاع غالب گونهٔ راش نسبت به هر یک از شش متغیر اثرگذار براساس اهمیت این متغیرها بررسی شد که در شکل ۲ پاسخ ارتفاع غالب گونهٔ راش به این متغیرها مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج الگوریتم Random Forest درصد رس مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر ارتفاع غالب گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق است. با توجه به نمودار با افزایش درصد رس مقدار ارتفاع غالب و توان تولیدی کاهش یافته و به‌طور کلی گونهٔ راش بهترین عملکرد را در رشد ارتفاعی در مقادیر کمتر از ۲۵ درصد رس داشته است. متغیر دیگر تأثیرگذار بر ارتفاع غالب گونهٔ راش ارتفاع از سطح درياست. با توجه به شکل ۲ با افزایش ارتفاع از سطح دریا بعد از ۱۲۰۰ متر ارتفاع غالب گونهٔ راش کاهش یافته است و بهترین عملکرد این گونه در دامنهٔ ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر مشاهده می‌شود. در این مطالعه، پتاسیم نیز یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر ارتفاع غالب گونهٔ راش بود که به‌طور کلی تأثیری افزایشی بر ارتفاع غالب داشته است. متغیر تأثیرگذار دیگر در این پژوهش درصد کربن آلی خاک است که تا ۳ درصد تأثیری فزاینده بر ارتفاع غالب داشته و پس از ۳ درصد رشد ارتفاعی گونهٔ راش روند ثابتی داشته است. دو متغیر درصد سیلت و فسفر نیز بر ارتفاع غالب گونهٔ راش اثر افزایشی داشته است که در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۲. نمودار ارتفاع غالب گونهٔ راش در مقابل متغیرهای محیطی در الگوریتم Random Forest

این نتایج با بررسی‌های [۷]،[۱۲] و [۱۸] که تأثیر عوامل خاکی و فیزیوگرافی را بر عملکرد گونه‌های گیاهی بررسی کردند، همخوانی دارد. با توجه به نتایج درصد رس مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر ارتفاع غالب گونهٔ راش بوده و با افزایش درصد رس از ارتفاع غالب گونهٔ راش کاسته شده است. خاک‌هایی با ذرات کوچک‌تر (رسی)، خلل‌وفرج کوچک‌تری دارند، جذب آب در آنها کندتر صورت می‌گیرد و مقدار رس زیاد می‌تواند عامل بازدارنده در رشد ارتفاعی گونهٔ راش باشد [۱۹]. همان‌طورکه اشاره شد، با توجه به معیار اهمیت نسبی، ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار ارتفاع غالب گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق است. محققان بسیاری به تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر عملکرد گونه‌های گیاهی اشاره کرده‌اند [۸]. در بررسی حاضر نیز با افزایش ارتفاع از سطح دریا، ارتفاع غالب گونهٔ راش کاهش می‌یابد (شکل ۳). پراکنش گونه‌ها در طول گرادیان ارتفاعی، تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله عوامل اقلیمی و اثرهای متقابل آنها قرار می‌گیرد. به‌علاوه ارتفاع از سطح دریا یک گرادیان ترکیبی را نشان می‌دهد که در طول آن متغیرهای محیطی زیادی همزمان تغییر می‌کند [۸]. کاهش ارتفاع غالب گونهٔ راش در ارتفاعات بالا ممکن است تا حدودی به‌دلیل محدودیت‌های اکوفیزیولوژیکی مانند کاهش فصل رشد، درجهٔ حرارت پایین و توان تولید کم اکوسیستم در این ارتفاعات باشد. متغیر دیگر مؤثر بر ارتفاع غالب گونهٔ راش پتاسیم است که به‌طور کلی تأثیری افزایشی بر ارتفاع غالب داشته است. پتاسیم از عناصر پرمصرف و ضروری برای گیاه بوده و برای تشکیل مادهٔ خشک گیاه ضروری است و به‌طور مستقیم در فتوسنتز دخالت می‌کند [۱۹]. پتاسیم به‌صورت یون جذب گیاه می‌شود و در خاک و گیاه پویاست. پتاسیم اغلب نقش کاتالیزوری برای گیاهان دارد که از جمله می‌توان افزایش مقاومت به گرما و سرما، توسعهٔ ریشه و جلوگیری از پژمرده شدن اشاره کرد [۹]. از این‌رو با افزایش پتاسیم، بر فتوسنتز افزوده شد که رشد بیشتر درخت راش را به‌همراه دارد. متغیرهای تأثیرگذار دیگر بر توان تولید راش درصد سیلت و درصد رس هستند. بافت خاک کنترل حرکت آب در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عامل مهمی در زمینهٔ در دسترس بودن مواد مغذی و پتانسیل فرسایش خاک است؛ از این‌رو می‌تواند تأثیر زیادی در حاصلخیزی رویشگاه داشته باشد. در مطالعهٔ حاضر رفتار گونهٔ راش نسبت به درصد سیلت تا ۴۰ درصد به‌صورت افزایشی بوده و سپس اثر ثابتی داشته است. اما نسبت به درصد رس، رفتاری کاهنده دارد. این متغیرها از مؤثرترین متغیرهای اثرگذار بر ارتفاع غالب گونهٔ راش است. نتایج برخی بررسی‌ها [۲، ۱۹] نیز بیان می‌دارد که مقدار سیلت خاک نقش مؤثری در رویش و ارتفاع درختان راش دارد و اینکه گونهٔ راش ایران از خاک‌های خیلی رسی گریزان است. سنگین بودن خاک (به‌دلیل میزان زیاد رس) با جرم مخصوص ظاهری نیز در ارتباط است که محدودیت‌هایی را برای رشد گیاه ایجاد می‌کند.

براساس نتایج این پژوهش با افزایش مقدار کربن خاک تا ۳ درصد ارتفاع غالب گونهٔ راش افزایش یافته، اما پس از آن روند ثابتی داشته است. افزایش کربن در خاک موجب کاهش فعالیت موجودات خاک‌زی و در نتیجه کاهش رشد گونهٔ راش می‌شود [۱۹]. مروی مهاجر [۲۰] بیان کرد که گونهٔ راش در خاک‌های با کربن کمتر استقرار داشته و رشد بهتری نسبت به مناطق دارای کربن بیشتر دارد. نسبت کربن به نیتروژن از شاخص‌های مهم معدنی شدن و حاصلخیزی خاک است که می‌تواند در زمینهٔ غنی بودن نیتروژن هوموس و فعالیت خاک‌ها اطلاعاتی ارائه دهد؛ این نسبت هرچه بیشتر باشد، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک محدود می‌شود و عملیات تجزیهٔ لاشبرگ کندتر صورت می‌گیرد و هرچه کمتر باشد، عملیات تجزیه راحت انجام می‌پذیرد [۱۹]. از طرف دیگر، رابطهٔ بین ارتفاع از سطح دریا و

ارتفاع غالب گونهٔ راش نیز از نوع کاهنده است. می‌توان گفت با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان کربن خاک، به‌علت تجزیهٔ ضعیف‌تر مواد آلی در ارتفاعات بالاتر، افزایش می‌یابد که مجموع این عوامل سبب کاهش حاصلخیزی رویشگاه می‌شود که نتیجهٔ آن کاهش ارتفاع غالب گونهٔ راش است. فسفر بعد از ازت، مهم‌ترین عنصر غذایی برای گیاه است [۲]. فسفر جزء عناصر پرمصرف گونه‌های گیاهی است. در این مطالعه با افزایش مقدار فسفر ارتفاع غالب گونهٔ راش نیز افزایش یافت و حداکثر رشد ارتفاعی گونهٔ راش بین ۲۵ تا ۳۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد. فسفر ماده‌ای است که اهمیت ویژه‌ای در جوانه زدن بذر و تسریع رشد ریشه دارد و برای تقسیم سلول و رشد بافت‌های مریستمی ضروری است. کمبود فسفر سبب کاهش شدید در رشد درخت می‌شود. در صورت کمبود فسفر، رشد بخش هوایی و ریشه کند یا متوقف می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که الگوریتم Random Forest به‌خوبی تغییرات در ارتفاع غالب گونهٔ راش را به‌عنوان معیاری از توان تولید رویشگاه توجیه می‌کند، که حاکی از کارایی مناسب این تکنیک در بررسی پاسخ این گونه به متغیرهای محیطی است. الگوریتم Random Forest روش قدرتمندی است که پیشرفت‌های چشمگیری را در تکنولوژی داده‌کاوی ارائه داده است. فرضیات مرتبط با پراکنش، وفور و عملکرد گونه‌های گیاهی نسبت به متغیرهای محیطی به‌طور معمول با بهره‌گیری از مدل رگرسیون حداقل مربعات ارزیابی می‌شود، اما الگوریتم Random Forest به‌سبب داشتن ویژگی‌هایی مانند دقت بسیار زیاد، روش جدید در تعیین سهم نسبی متغیر، قابلیت مدلسازی اثرهای متقابل پیچیده میان متغیرهای پیشگو و غیره توانایی زیادی در مدلسازی و تحلیل روابط بین عملکرد گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی دارد که آن را از دیگر روش‌های مدلسازی متمایز می‌کند. باید خاطرنشان کرد که هرچند روش‌های مدلسازی متعددی برای بررسی روابط بین متغیرهای محیطی و عملکرد گونه‌های گیاهی توسعه یافته، هدف از ارائهٔ آنها تنها کمکی برای تفسیر مشاهدات میدانی است، چراکه در اکوسیستم‌های جنگلی به‌دلیل پویایی عوامل زیستی، حتی قوی‌ترین روابط همبستگی را نیز نمی‌توان قطعی دانست.

References

[1]. Vanclay, J.K. (1992). Assessing site productivity in tropical moist forests: a review. Forest Ecology and Management, 54(1-4): 257-287.

[2]. Ahmadi, k., Alavi, S.J., and Tabari Kouchaksaraei, M. (2015). Evaluation of Oriental Beech (Fagus orientalis Lipsky.) Site Productivity using Generalized Additive Model (Case study: Tarbiat Modares University forest research station). Iranian Journal of Forest, 7(1): 17-32.

[3]. Alder, D., (1980). Forest Volume Estimation and Yield Prediction, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

[4]. Bergès, L., Chevalier, R., Dumas, Y., Franc, A. and Gilbert, J.M. (2005). Sessile oak (Quercus petraea Liebl.) site index variations in relation to climate, topography and soil in even-aged high-forest stands in northern France. Annals of forest science, 62(5): 391-402.

[5]. Crawford, S.L. (1989). Extensions to the CART algorithm. International Journal of Man-Machine Studies, 31(2): 197-217.

[6]. McKenney, D.W., and Pedlar. J.H. (2003). Spatial models of site index based on climate and soil properties for two boreal tree species in Ontario, Canada. Forest Ecology and Management, 175(1): 497-507.

[7]. Herrera, B., Campos, J.J., Finegan, B., and Alvarado, A. (1999). Factors affecting site productivity of a Costa Rican secondary rain forest in relation to Vochysia ferruginea, a commercially valuable canopy tree species. Forest Ecology and Management, 118(1): 73-81.

[8]. Monserud, R.A., Moody, U., and Breuer, D.W. (1990). A soil-site study for inland Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research, 20(6): 686-695.

[9]. Stage, A.R., and Salas, C. (2007). Interactions of elevation, aspect, and slope in models of forest species composition and productivity. Forest Science, 53(4): 486-492.

[10]. Mitsuda, Y., Ito, S., and Sakamoto, S. (2007). Predicting the site index of Sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. Journal of Forest Research, 12(3): 177-186.

[11]. Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Ozkan, K., and Muys, B. (2010). Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. Ecological modeling, 221(8): 1119-1130.

[12]. Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., and Muys, B. (2011). Evaluation of modelling techniques for forest site productivity prediction in contrasting ecoregions using stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). Environmental Modelling & Software, 26(7): 929-937.

[13]. Jafari Haghighi, M. (2003). Methods of soil analysis, sampling and important physical and chemical analysis with emphasis on theoretical and practical principles. Nedaye Zoha Publishing Co., Tehran.

[14]. Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H., and Bailey, R.L. (1983). Timber management: a quantitative approach, John Wiley, New York.

[15]. Breiman, L. (2001). Random forests. Machine learning, 45(1): 5-32.

[16]. Simpson, G. L., and Birks, H. J. B. (2012). Statistical learning in palaeolimnology. In Tracking environmental change using lake sediments (pp. 249-327). Springer, Netherlands.

[17]. Hastie, T.J., R.J. Tibshirani, and J.H. Friedman. (2011). The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction, Springer,

[18]. Herrera-Fernández, B., Campos, J.J., and Kleinn, C. (2004). Site productivity estimation using height-diameter relationships in Costa Rican secondary forests, Forest Systems, 13(2): 295-303.

[19]. Alavi, S.J., Zahedi Amiri, G., Rahmani, R., Marvi Mohadjer, M.R., Muys, B., and Nouri, Z. (2013). Investigation on the response of *Fagus orientalis* Lipsky to some environmental variables using beta function and its comparison with Gaussian Function (Case study: Kheyrud forest research station). Iranian Journal of Forest, 5(2): 161-171.

[20]. Marvi Mohadjer, M.R. (2005). Silviculture. University of Tehran Press, Tehran.

Evaluating the dominant height of oriental beech in relation to environmental variables in research forest of Tarbiat Modares University

K. Ahmadi; Ph.D. Student in Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

S. J. Alavi*; Assist. Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran.

(Received: 28 May 2016, Accepted: 31 October 2016)

ABSTRACT

Estimation of forest productivity is one of the most important components in management of forest resources. One of the main tasks of forest managers is quantify and measure the differences of forest sites. In this study dominant height of trees, which is a reliable criterion for evaluating site productivity of mixed and uneven stands, was used. A random-systematic sampling method was used to locate 110 0.1 ha circular sample plots in beech dominated forests and the height and diameter of Fagus orientalis Lipsky trees with DBH $\geq$ 7.5 cm within each plot was recorded along with elevation, azimuth and slope of the ground. Also, at the center of each plot, soil samples from first layer (0-10 cm) were taken for analyzing several soil variables. Evaluation of site productivity using random forests model showed that Clay, altitude, potassium, carbon, silt and phosphorus are the most important variables in explaining the changes in dominant height of beech trees. On the other hand, radiation index, nitrogen, slope, pH and bulk density have the least effect on the dominant height of beech stands. Using random forests model more than 90% of variability in oriental beech dominant height could be justified using environmental variables.

Keyword: Oriental Beech, Dominant Height, Random Forests Model, Forest Modeling

* Corresponding Author, Email: j.alavi@modares.ac.ir, Tel: +989111580097