پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه ۱۴۷-۱۳۱، (۱۴۰۳)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54751.1670
DOR: https://dorl.net/20.1001.1.24763551.1403.10.1.8.0

مقالهٔ پژوهشی

مدل‌سازی تأثیر خشک‌دارهای ریز افتاده بر غنای گونه‌های گیاهی با استفاده از درخت رگرسیون تقویت‌شده

سعید شعبانی*[۱] و علی‌اصغر واحدی[۲]

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. (s.shabani@areeo.ac.ir)

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (ali.vahedi60@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲

چکیده

مقدمه و هدف: با وجود آن‌که خشک‌دارهای ریز حجم زیادی از بوم‌سازگان جنگلی معتدله در شمال کشور را به خود اختصاص می‌دهد، نسبت به خشک‌دارهای بزرگ کمتر مورد توجه قرار گرفته است. خشک‌دارهای ریز، جزئی از جنگل‌های طبیعی هستند که علاوه بر افزایش بهره‌وری درختان جنگلی، کمک به زادآوری درختان، حفظ و بالا بردن رطوبت و مواد غذایی خاک و ذخیره‌سازی بلندمدت کربن، با تقویت عملکرد زیستگاه‌های نوظهور، نقشی مهم در غنای گونه‌های گیاهی زیرآشکوب برعهده دارند. از این‌رو، عدم توجه به خشک‌دارهای ریز، سبب برآورد اشتباه، کل حجم خشک‌دار و نقش کلیدی آن بر عملکرد بوم‌سازگان جنگل می‌شود. بنابراین پژوهش پیش‌رو در نظر دارد از روش درخت رگرسیون تقویت‌شده برای مدل‌سازی تغییرات غنای گیاهی در ارتباط با مشخصات خشک‌دار ریز در یک توده جنگلی کمتر دست‌خورده استفاده کند.

مواد و روش‌ها: بدین منظور، پس از استقرار ۳۰ قطعه‌نمونه ۴۰۰ مترمربعی (۲۰ در ۲۰ متر) در توده بلوط – ممرزستان در جنگل‌های لوه در شرق استان گلستان، نوع و درصد پوشش علفی برمبنای شاخص براون – بلانکه ثبت شد. در ادامه، تعداد گونه‌های علفی ثبت‌شده در هر قطعه‌نمونه، مبنای محاسبه غنای گونه‌ای قرار گرفت. برای اندازه‌گیری حجم خشک‌دارهای ریز، راستای اضلاع قطعه‌نمونه ۴۰۰ مترمربعی مبنای محاسبه قرار داده شد. از این‌رو، در راستای اضلاع هر قطعه‌نمونه و در قالب یک خط‌نمونه با مجموع طولی ۸۰ متر (برابر با محیط هر قطعه‌نمونه)، خشک‌دارهای ریز متقاطع با خط‌نمونه شناسایی شد. نوع گونه درختی هر یک از خشک‌دارهای ریز مشخص و باتوجه به قطر متقاطع با خط‌نمونه، خشک‌دارهای ریز در یکی از سه

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۷۸۱۵۵۱۰

طبقه قطری ۱ تا ۲/۵ سانتی‌متر، ۲/۵ تا ٤/۵ سانتی‌متر و ٤/۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر قرار گرفت. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت و ماده آلی خاک، نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر مرکز هر قطعه‌نمونه، برداشت شد. درصد رطوبت خاک با استفاده از اختلاف بین وزن تر و خشک خاک و همچنین مقدار ماده آلی خاک با روش والکی–بلاک در آزمایشگاه به‌دست آمد. برای برازش مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده از بسته gmb در زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. ازاین‌رو در این روش از ترکیب دو الگوریتم "درخت رگرسیون و طبقه‌بندی" و "تقویت" استفاده شد. در این پژوهش برای رسیدن به تعداد درخت بهینه، عدد ۱۰۰۰ مبنای شروع کار قرار گرفت. در این پژوهش، مقدار غنای گونه‌ای در هر قطعه‌نمونه به‌عنوان متغیر پاسخ و متغیرهای درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریای آزاد، درصد رطوبت خاک، درصد ماده آلی خاک، میانگین کل حجم خشک‌دار ریز، میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه اول پوسیدگی، میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه دوم پوسیدگی و نوع گونه خشک‌دار ریز به‌عنوان متغیرهای پیشگو در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، مدل اولیه برازش داده‌شده در تعداد درخت برابر ۷۷۰۰ بالاترین دقت را نشان داد. لیکن، باتوجه به عدم تأثیرگذاری برخی از متغیرها در مدل، متغیرهای شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، نوع گونه خشک‌دار ریز و میانگین حجم خشک‌دار ریز کلاس پوسیدگی اول، این متغیرها بر اساس تغییرات انحراف به‌وجود آمده، از مدل کنار گذاشته و مدل مجدد در تعداد درخت بهینه ۷۸۰۰ برازش داده شد. به استناد مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت‌شده، با افزایش ماده آلی خاک به بیش از ۲/۱۵ درصد و در رطوبت خاک بالای ۳۰ درصد، بیشترین اندازه شاخص غنای گونه‌ای ثبت شد. همچنین، اندازه بالای خشک‌دار از کلاس قطری اول و با درجه دارای پوسیدگی، سبب افزایش غنای گیاهی در منطقه موردبررسی شد. در این پژوهش، ثبت ضریب تبیین بالای ۰/۹۹۲ با مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۰۳۹، نشان‌دهنده دقت بالای مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده است.

نتیجه‌گیری کلی: یافته‌های تحقیق نشان داد که خشک‌دارهای ریز با ایجاد شرایط زیستگاهی مطلوب، غنای گیاهان علفی را افزایش داده و حفظ این مؤلفه در افزایش ماده آلی خاک جنگل دارای اهمیت است. نرخ تجزیه بالا در خشک‌دارهای ریز نسبت به خشک‌دارهای بزرگ سبب می‌شود تا ضمن حفظ و افزایش رطوبت خاک، در مدت زمان کوتاهی مواد آلی موجود در چوب در اختیار لایه خاک قرار گیرد. در سالیان اخیر، برخی از کارشناسان حوزه منابع طبیعی، به جمع‌آوری خشک‌دارهای ریز و استفاده از آنها در صنایع سلولزی تأکید داشته‌اند. بخش بزرگی از این نظرات در سایه کوچک‌نمایی حجم و نقش خشک‌دار ریز و نبود اطلاعات کافی در مورد این مؤلفه بسیار مهم، وجاهت علمی نیز پیدا کرده است. درصورتی‌که یافته‌های این تحقیق به‌صورت کاملاً مشخص نشان می‌دهد که جمع‌آوری و حذف خشک‌دارهای ریز، حداقل بر رطوبت و ماده آلی خاک و در نتیجه بر غنای گونه‌های گیاهی تأثیر منفی بر جای خواهد گذاشت. انجام پژوهش‌های مشابه و تکمیلی با در نظر گرفتن متغیرهای غذایی خاک و همچنین دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی، می‌تواند در تأیید یا رد این نتیجه کمک قابل توجهی نماید.

واژه‌های کلیدی: خط‌نمونه، درجه پوسیدگی، زیرآشکوب، یادگیری ماشین.

مقدمه

در دهه‌های اخیر نگرانی‌های فزاینده‌ای در مورد ازدست‌دادن تنوع زیستی و پیامدهای ناشی از آن در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌وجود آمده است (Pourbabaei and Haghgooy, 2013; Sefidi and Etemad, 2014). بیشتر این نگرانی‌ها بر چگونگی حفاظت از تنوع زیستی در جنگل‌های تجاری متمرکز شده، چرا که وجود این چالش در جنگل‌های تجاری برای مدت‌های طولانی، حل‌نشده باقی مانده است (Chećko et al., 2015). جنگلداری تجاری منجر به یکنواختی محیط و ساختار توده‌های جنگلی شده، اثرهای بالقوه منفی بر تنوع زیستی و خدمات بوم-سازگانی برجای گذاشته، و ازنظر نوع و فراوانی، آشفتگی‌هایی کاملاً متفاوت از رژیم آشفتگی‌های طبیعی، ایجاد کرده است (Okada et al., 2019). جنگلداری نزدیک به طبیعت، رویکردی است که برای کاهش تفاوت‌های عملکردی بین جنگل‌های مدیریت‌شده و طبیعی، با حفظ ساختارهای ضروری یک بوم‌سازگان جنگلی پیشنهاد شده است (Frei et al., 2022). بر این اساس، با حفظ مؤلفه‌های اساسی و الگوبرداری از آشفتگی‌های طبیعی مثل خشک‌دار، حفاظت از تنوع زیستی در کنار جنگلداری تجاری ترویج می‌شود (Schütz et al., 2016; Gresh and Courter, 2021).

خشک‌دار به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم خودتنظیمی، نقشی اساسی در تنوع زیستی بوم-سازگان‌های جنگلی برعهده دارد (de Sousa Trindade et al., 2021; Taheri Abkenar et al., 2022). از این‌رو، شناخت تأثیر این مؤلفه بر بوم‌سازگان‌های جنگلی مدیریت‌نشده، الگوی مناسبی بر تعمیم و استفاده در جنگل‌های مدیریت‌شده است. تاکنون دسته‌بندی‌های مختلفی بر اساس نوع، شکل و اندازه خشک‌دارها، ارائه شده است، اما به‌طورکلی خشک‌دارهای با قطر بزرگتر از ۷/۵ سانتی‌متر به عنوان خشک‌دار بزرگ و کمتر از این مقدار به‌عنوان خشک‌دار ریز شناخته می‌شوند (Guo et al., 2006).

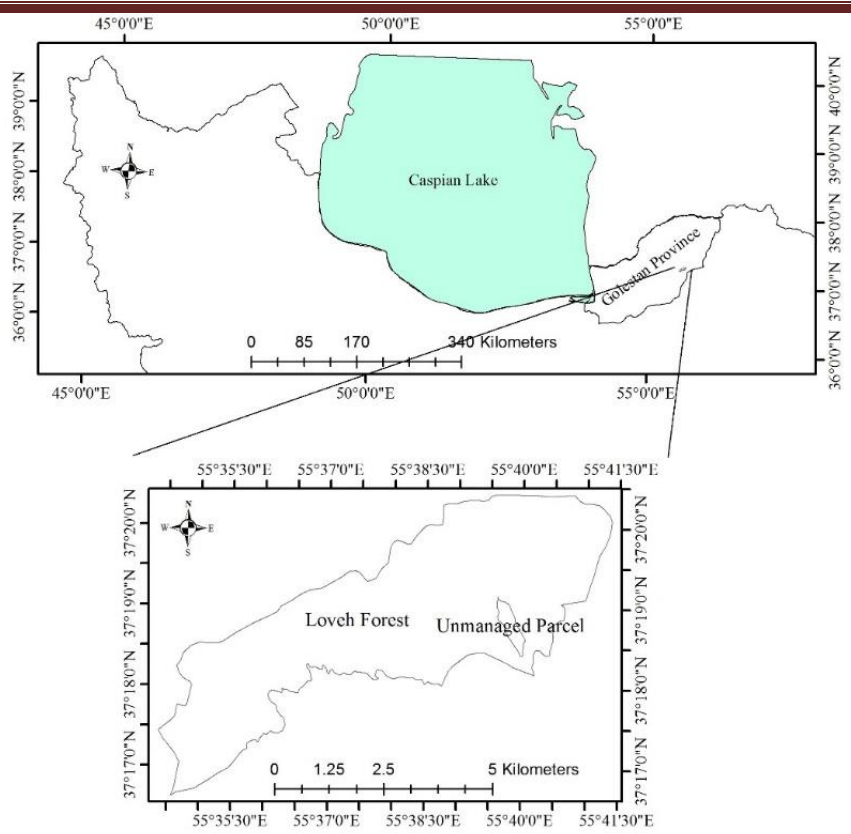
پژوهش‌های مختلفی به بررسی نقش خشک‌دار در بوم‌سازگان جنگلی پرداختند (Felton et al., 2010; Hedwall and Brunet, 2016; Hedwall et al., 2019; Azimnezhad et al., 2021). بر این اساس تنوع قارچ‌ها، گلسنگ‌ها، گیاهان علفی و چوبی تا اندازه زیادی به حضور خشک‌دارها وابسته است (Levers et al., 2014; Sefidi et al., 2013; Kulha et al., 2020). پژوهش‌های پیشین نشان دادند که حضور خشک‌دار در مدت زمان کوتاهی رطوبت و ماده آلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Fekete et al., 2016; Barbosa et al., 2017; Sarvazad et al., 2022). Stokland et al. (2012) در تحقیقات خود نشان دادند که خشک‌دارها با ایجاد زیستگاه‌ها و منابع مختلف، از زندگی چندین گونه گیاهی در معرض خطر حفاظت می‌کنند. در پژوهشی دیگر Johnson et al. (2016) در یک آزمایش میدانی در مقیاس بزرگ، تأثیر حضور حجم‌های مختلف خشک‌دار بر تنوع نهال سوزنی‌برگان را بررسی و نشان دادند که حجم خشک‌دار موجود، تأثیر مثبتی بر تنوع سوزنی‌برگان دارد. تأثیر خاک و بسترهای رشد بر تنوع گیاهی، بیشتر به پیوندهای زیرزمینی بین خاک و گیاه ارتباط دارد (Wardle et al., 2004; Karahalil et al., 2017) زیرا رشد و نمو گیاه تا حد زیادی تحت تأثیر جذب مواد مغذی و تعامل خاک و گیاه است (De Meo et al., 2022). در جنگل‌های معتدله شمال کشور، خشک‌دارها با ایجاد زیستگاه‌های ضروری، محیطی را فراهم می‌آورند که در پناه آن زادآوری درختان و گیاهان می‌توانند با دوری از عوامل بیماری‌زای خاک و با کسب مزیت در شرایط آب و رقابت نور نسبت به دیگر

گیاهان، زنده مانده و رشد کنند (Amanzadeh et al., 2013). برهمین اساس Lassauce et al. (2011) و Oettel et al. (2020) اشاره داشتند که خشک‌دارها با ایجاد بسترهای زیستگاهی به تنوع گیاهان کمک می‌کند. Kushnevskaya et al. (2007) دریافتند که گونه‌های گیاهی اپی‌کسیلیک متنوعی بر روی کنده‌های درخت نوئل ایجاد شده‌اند و تغییرات پی‌درپی در پوشش گیاهی در امتداد شیب پوسیدگی کنده‌ها وجود داشت. با وجود پژوهش‌های متعدد در مورد نقش خشک‌دار بر پوشش گیاهی بستر جنگل، پژوهش‌های بسیار کمی به نقش خشک‌دارهای ریز در توده‌های جنگلی پرداختند، در صورتی‌که پژوهش اخیر نشان می‌دهد که حدود ٤٠ درصد از حجم خشک‌دارهای افتاده در کف جنگل متعلق به خشک‌دارهای ریز است (Mikkonen et al., 2020). ازاین‌رو، درنظر نگرفتن این مؤلفه، منجر به برآورد اشتباه حجم خشک‌دار و در نتیجه نقش کلیدی آن بر عملکرد بوم‌سازگان جنگل مانند غنای گیاهی می‌شود. مدلسازی تأثیر خشک‌دار بر غنای گونه‌های گیاهی بستر جنگل، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و مدیریت در اختیار سازمان‌های تصمیم‌گیرنده در حوزه مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست قرار دهد. مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده یکی از روش‌هایی است که با برطرف کردن نقاط ضعف در روش‌های مبتنی بر درخت تصمیم، روابط پیچیده بین داده‌های محیطی را پردازش می‌کند (Elith et al., 2008). پژوهش‌های پیشین نشان دادند که استفاده از این روش موجب افزایش دقت پیش‌بینی‌شده و درعین‌حال برازش بیش‌ازحد نیز رخ نداده است (Frank et al., 2018; Burton et al., 2021). بر این اساس پژوهش پیش‌رو درنظر دارد با استفاده از روش درخت رگرسیون تقویت‌شده، به مدلسازی تغییرات غنای گونه‌ای گیاهی در ارتباط با خشک‌دارهای ریز افتاده بپردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه موردبررسی در حوزه آبخیز ۹٤ در ۲٤ کیلومتری شهرستان گالیکش و در محدوده پارسل ٤٤ سری ٤ لوه با نام شالی زمین است که در طول جغرافیایی شرقی ´۳۸ °۵۵ تا ´٤۱ °۵۵ و عرض جغرافیایی شمالی ´۱۷ °۳۷ تا ´۲۱ °۳۷ واقع شده‌است (شکل ۱). مساحت عرصه موردبررسی ۳۵ هکتار با تیپ جنگلی غالب بلوط ممرزستان است. متوسط بارندگی سالانه منطقه بیش از ٦۰۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، کمینه و بیشینه دمای مطلق منطقه به‌ترتیب ۱۹/۸- و ٤۲ درجه سانتی‌گراد است. حدود چهار ماه از سال در منطقه موردبررسی فصل خشک وجود دارد. بافت خاک منطقه لومی سیلتی و تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی است.



شکل ۱- منطقه موردبررسی واقع در پارسل شاهد سری چهار لوه

Figure 1. Study area located in control compartment of No. 4 Loveh district

روش پژوهش

برای ثبت پوشش گیاهی و نمونه‌برداری از خشک‌دارهای ریز افتاده در بستر جنگل، تعداد ۳۰ قطعه‌نمونه با اندازه ٤۰۰ مترمربع (۲۰ متر در ۲۰ متر) به‌صورت تصادفی در منطقه موردبررسی استقرار پیدا کرد. در مرکز هریک از قطعات‌نمونه ٤۰۰ مترمربعی، برمبنای منحنی سطح – گونه، قطعه‌نمونه ٦٤ مترمربعی مستقر و نوع و درصد پوشش علفی برمبنای شاخص براون – بلانکه ثبت شد (Pourbabaei et al., 2015). در این پژوهش، تعداد گونه‌های علفی ثبت‌شده در هر قطعه‌نمونه، مبنای محاسبه غنای گونه‌ای قرار گرفت (Ejtehadi et al., 2009). مقدار شاخص غنای گونه‌ای در این بررسی به‌عنوان متغیر پاسخ درنظر گرفته شده است.

برای اندازه‌گیری مشخصات خشک‌دارهای ریز، راستای اضلاع قطعه‌نمونه ٤۰۰ مترمربعی مدنظر قرار گرفت (Guo et al., 2006). بر این اساس، در راستای اضلاع هر قطعه‌نمونه و در قالب یک خط‌نمونه با مجموع طولی ۸۰ متر (برابر با محیط هر قطعه‌نمونه)، خشک‌دارهای ریز متقاطع با خط‌نمونه شناسایی شد. نوع گونه درختی هر یک از خشک‌دارهای ریز مشخص، و باتوجه به قطر متقاطع با ترانسکت، در یکی از سه طبقه قطری ۱ تا ۲/۵ سانتی‌متر (طبقه قطری اول)، ۲/۵ تا ٤/۵ سانتی‌متر (طبقه قطری دوم) و ٤/۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر (طبقه قطری سوم) قرار داده شد. پوسیدگی هر خشک‌دار نیز در دو درجه بدون پوسیدگی و دارای پوسیدگی مشخص شد (Guo et al., 2006). برای اندازه‌گیری میانگین حجم خشک‌دار در واحد سطح،

رابطه (۱) به‌کار گرفته شد (Woodall and Williams, 2005):

$$\bar{y} = (kfac)\,(\pi^2/8L)\sum_{i=1}^{n} {d_i}^2 \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

که در آن $\bar{y}$ حجم خشک‌دار در واحد سطح، k، ضریب ثابت برابر ۱/۲۳٤، f، ثابتی برای تبدیل در هکتار و برابر با ۱۰۰۰۰، a، ضریب تصحیح زاویه غیرافقی (انحراف) برای قطعه خشک‌دار ریز، c ضریب اصلاح شیب، L طول کل خط‌نمونه، di قطر قطعه در نقطه تقاطع، و n تعداد قطعات خشک‌دار متقاطع است. مقدار a در محدوده بین ۱/۰۰ تا ۱/٤۰ متغیر است و مقدار آن بستگی به انحراف هر قطعه چوب از زاویه عمودی (صفر تا ٤۵ درجه) دارد (رابطه ۲):

$$a = \frac{1}{\cos\,(h)} \qquad \text{رابطهٔ (۲)}$$

که در آن a، ضریب تصحیح زاویه غیرافقی (انحراف) برای قطعه خشک‌دار ریز و h زاویه شیبی است که هر قطعه با سطح افقی ایجاد می‌کند.

علاوه بر این، از آنجا که خشک‌دارهای ریز در راستای طول خط‌نمونه و در یک فاصله شیب ۲۰ متری نمونه‌برداری شدند، برای تصحیح شیب از رابطه (۳) استفاده شد:

$$c = \sqrt{1 + (S/100)^2} \qquad \text{رابطهٔ (۳)}$$

که در آن c ضریب تصحیح شیب و S درصد شیب است.

برای اندازه‌گیری رطوبت و ماده آلی خاک، از مرکز هر قطعه‌نمونه، نمونه خاک معدنی تا عمق ۱۵ سانتی‌متر برداشت شد. درصد رطوبت خاک با استفاده از اختلاف بین وزن تر و خشک خاک و همچنین مقدار ماده آلی خاک با روش والکی–بلاک در آزمایشگاه به‌دست آمد (Dulya et al., 2019).

برای برازش مدل BRT از بسته gmb در زبان برنامه‌نویسی R استفاده شده‌است. این مدل یکی از روش‌هایی است که با استفاده از ترکیب مدل‌های متعدد به بهبود عملکرد تک مدل کمک می‌کند. ازاین‌رو، در این روش از ترکیب دو الگوریتم "درخت رگرسیون و طبقه‌بندی" و "تقویت" استفاده می‌شود. بر این اساس با الگوریتم "تقویت"، به هر یک از نمونه‌های آموزشی، وزنی اختصاص داده شد و آموزش برای مجموعه‌ای از K دسته‌بندی کننده تکرار شد. بعد از اینکه دسته‌بندی کننده Mi آموزش یافت، وزن نمونه‌های آموزشی به‌هنگام شد تا بدین ترتیب این امکان فراهم شود که دسته‌بندی کننده Mi + 1 به نمونه‌هایی که توسط دسته‌بندی کننده Mi به درستی دسته‌بندی نشده‌اند، توجه بیشتری اعمال کند. در این روش به رای هر دسته‌بندی‌کننده بر مبنای قدرت عملکرد آن وزنی اختصاص داده می‌شود. هر اندازه که نرخ خطای یک دسته‌بندی‌کننده کمتر باشد، دقت آن بیشتر خواهد بود و در نتیجه وزن بیشتری به رای آن اختصاص داده می‌شود. دسته‌بندی‌کننده نهایی، M، به ترکیب رای‌های هر یک از دسته‌بندی‌کنندگان می‌پردازد. در گام بعد، برای هر طبقه، وزن دسته‌بندی‌کنندگانی که به آن طبقه برای نمونه X رأی دادند جمع می‌شود. در نهایت طبقه‌ای که مجموع وزنی بیشتری را به‌دست بیاورد، طبقه برنده خواهد بود و به‌عنوان طبقه پیش‌بینی‌شده برای نمونه X معرفی و مهم‌ترین متغیرها انتخاب شدند (Han and Kamber, 2006). لازم به ذکر است در این پژوهش برای رسیدن به تعداد درخت بهینه، عدد ۱۰۰۰ مبنای شروع کار قرار گرفت.

نتایج

پیش از انجام مدلسازی، برررسی همبستگی بین متغیرهای پیش‌گو (تبیینی) بر مبنای عامل تورم واریانس انجام و متغیرهای با تورم واریانس بالای ۱۰، کنار گذاشته شدند (Elith et al., 2008). مدل اولیه درخت

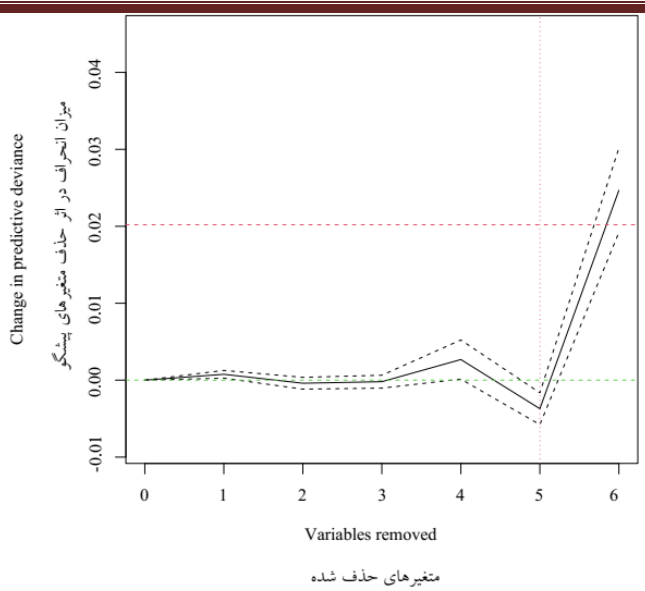
رگرسیون تقویت‌شده برای رسیدن به بیشترین دقت ممکن، با تعداد درختان متفاوت مورد سنجش قرار گرفت. هدف از این کار ایجاد توازن بین واریانس و اریبی برای یافتن تعداد بهینه درختان به‌نحوی است که ضمن برقراری تعادل بین این دو مؤلفه، نرخ خطا کاهش یافته و از کم و بیش برازش جلوگیری به‌عمل آید. بر اساس نتایج، مدل اولیه برازش داده‌شده در تعداد درخت برابر ۷۷۰۰ بالاترین دقت را نشان داد. اندازه و روند تاثیرگذاری هر یک از متغیرهای پیش‌گو بر تغییرات غنای گونه‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌گو بر اندازه غنای گونه‌ای گیاهان بر اساس مدل اولیه درخت رگرسیون تقویت‌شده

Table 1. Variable importance of predictive variables on plant richness according to primary results of BRT model

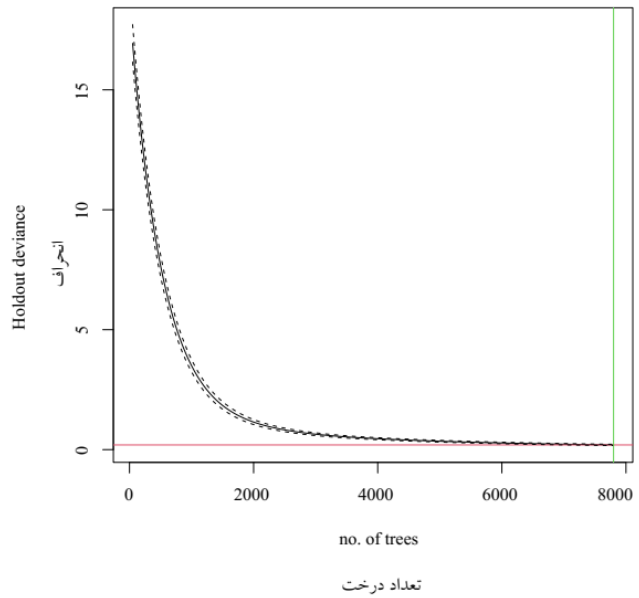
متغیرهای پیش‌گو Predictive variables	اهمیت نسبی Variable importance
درصد رطوبت خاک Soil Moisture (%)	30.2
درصد ماده آلی Organic Matter (%)	29.5
میانگین کل حجم خشک‌دار ریز Average of total volume of fine woody debris	20.1
میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه دوم پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 2	17.6
نوع گونه خشک‌دار ریز The species name of fine woody debris	1.9
میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه اول پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 1	0.4
درصد شیب Slope (%)	0.2
ارتفاع از سطح دریا Altitude	0.1
جهت Aspect	0.0

در ادامه باتوجه به عدم تأثیرگذاری برخی از متغیرهای تبیینی (شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، نوع گونه خشک‌دار ریز و میانگین حجم خشک‌دار ریز کلاس پوسیدگی اول) بر متغیر پاسخ، این متغیرها بر اساس تغییرات انحراف به‌وجود آمده، از مدل کنار گذاشته (شکل ۲) و مدل مجدد در تعداد درخت بهینه ۷۸۰۰ برازش داده شد (شکل ۳).



شکل ۲- روند حذف متغیرهای با درجه تاثیرگذاری پایین بر مبنای مقدار انحراف ایجادشده

Figure 2. The process of dropping variables according to the amount of deviance

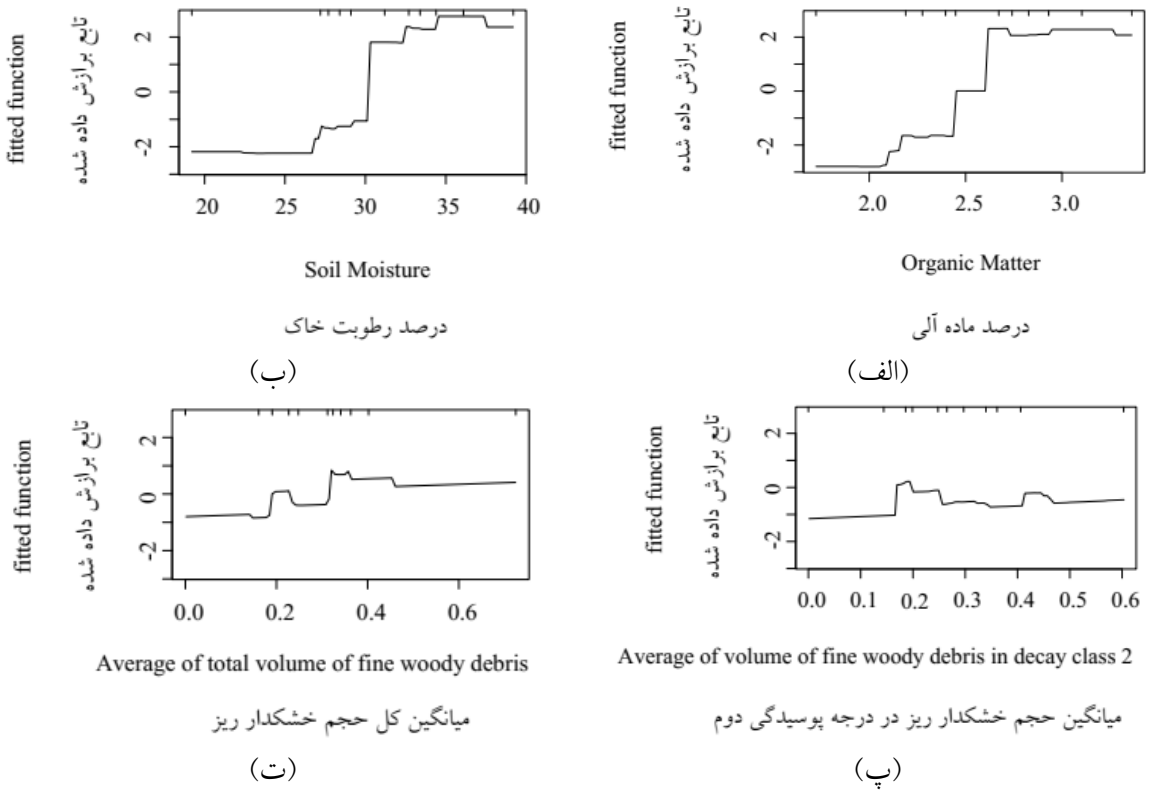


شکل ۳- تعیین تعداد درخت بهینه مدل برای برازش مدل نهایی

Figure 3. Determining the optimal number of trees to fit the final model

روند و درصد تأثیرگذاری هر یک از متغیرهای پیش‌گو بر غنای گونه‌ای، مطابق مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت‌شده در شکل ٤ و جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس با افزایش ماده آلی تا ۲/۱۵ درصد، تغییر مشخصی بر غنای گیاهی به‌دست نیامد، اما بعد از این مقدار، اندازه غنای گونه‌ای به‌صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار غنای گونه‌ای در عرصه‌های با درصد رطوبت خاک بین ۳۰ تا ۳۵ درصد به‌دست آمد. همچنین با افزایش میانگین حجم خشک‌دار ریز در کلاس دوم پوسیدگی و میانگین کل حجم خشک‌دار ریز، در روندی ملایم و افزایشی، اندازه غنای گونه‌ای گیاهان در منطقه موردبررسی

افزایش پیدا کرد. شاخص‌های عملکرد مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده در پیش‌بینی تغییرات غنای گونه‌ای در جدول (۳) نشان داده شده است. براین اساس، مدل مذکور از دقت بسیار بالایی برخوردار است.



شکل ٤- توابع برازش داده‌شده بر مبنای متغیرهای پیش‌گوی منتخب در مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت‌شده

Figure 4. Fitted function according to the selective predictor variables in the final model of BRT

جدول ۲- اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌گو بر مقدار غنای گونه‌ای گیاهان بر اساس مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت‌شده

Table 2. Variable importance of predictive variables on plant richness according to final results of the BRT model

متغیرهای پیش‌گو Predictive variables	اهمیت نسبی Variable importance
درصد رطوبت خاک Soil moisture (%)	30.4
درصد ماده آلی Organic matter (%)	29.6
میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه دوم پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 2	21.9
میانگین کل حجم خشک‌دار ریز Average of the total volume of fine woody debris	18.1

جدول ۳- شاخص‌های عمل‌کردی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده

Table 2. Performance criteria of BRT model

شاخص‌های دقت مدل Criteria	
ضریب تبیین R squared	0.992
ضریب تبیین تعدیل یافته Adjusted R squared	0.991
مجذور میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (RMSE)	0.039
شاخص آکائیک AIC	-282.868

بحث

نتایج این بررسی تأیید کرد که خشک‌دارهای ریز، صرف‌نظر از نوع گونه درختی، زیستگاه مناسبی برای توسعه گیاهان بستر جنگل محسوب می‌شود. تفاوت‌های مشاهده‌شده در غنای گیاهی بین موقعیت‌های دارای و بدون خشک‌دار ریز، به‌طور قابل‌توجهی بیش از انتظار بود. بر اساس نتایج، حجم خشک‌دارهای افتاده در بستر جنگل، شرایط پوسیدگی، مقدار ماده آلی و درصد رطوبت خاک بر غنای گونه‌های گیاهی تأثیر گذاشته‌اند. به‌طورکلی، مقدار خشک‌دارهای ریز افتاده در جنگل‌های مدیریت‌نشده، بیشتر از جنگل‌های مدیریت‌شده است (Merganic et al., 2022). در همین رابطه Konôpka et al (2021) اشاره داشتند که افزایش درصد خشک‌دار ریز، با ایجاد تنوع زیستگاهی بر غنای گونه‌های گیاهی در جنگل‌های حفاظت‌شده می‌افزاید. در شرایطی که به‌علت نبود تنوع توپوگرافیک، این عامل تأثیر معنی‌داری بر پوشش گیاهی در محدوده مورد بررسی برجای نگذاشت، به طور معمول، تنوع زیستگاهی مورد اشاره، تحت تأثیر عواملی مانند وجود روشنه، نوع گونه خشک‌دار ریز، طبقه قطری و مقدار پوسیدگی آن قرار دارد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بسته شدن کامل روشنه‌های با اندازه‌ای بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ مترمربع، به زمانی حدود هشت تا ۱۰ سال نیاز دارد و طی این مدت با افزایش نور و دمای محیطی، گونه‌های گیاهی بستر جنگل فرصت مناسبی برای توسعه پیدا خواهند کرد (Hunter et al. 2015). اما از آنجایی‌که در این پژوهش هیچکدام از قطعات‌نمونه موردبررسی، دارای روشنه و افزایش شرایط نوری ناشی از آن نبود، از این‌رو، روند غنای گونه‌ای نمی‌توانست با این عامل رابطه داشته باشد. این الگو نشان می‌دهد که بستر اطراف خشک‌دارهای ریز افتاده، بدون در نظر گرفتن شرایط نور، به‌عنوان یک مکان امن عمل می‌کند (Okada et al., 2019). بررسی Iijima et al (2007) نشان داد که گسترش گیاهان در اطراف خشک‌دارها با نور نسبی محیط ارتباط معنی‌داری نشان نداده، ولی با کاهش وقوع بیماری در پایه‌های گیاهی همبستگی معنی‌داری نشان داد. در این شرایط قاعدتاً تغییرات غنای گیاهی، به نوع گونه درختی، کلاس قطری و مقدار پوسیدگی خشک‌دارهای ریز افتاده و یا تغییرپذیری مشخصه‌های خاک زیر آن ارتباط پیدا می‌کند. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده، در این پژوهش خشک‌دارهای ریز از شش گونه درختی شامل نمدار، ملج، ممرز، بلندمازو، شیردار و پلت ثبت شده بودند، اما تغییر معنی‌داری در غنای گونه‌های گیاهی

اطراف گونه‌های خشک‌دار ریز مختلف مشاهده نشد. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که تغییرات غنای گیاهی در اطراف خشک‌دار گونه‌های مختلف درختی (اعم از خشک‌دار بزرگ و ریز) به ساختار درونی چوب و عوامل اصلی کنترل‌کننده پوسیدگی چوب به ویژه دما و رطوبت وابسته است (Dhar et al., 2022; Lasota et al., 2022). این‌طور به‌نظر می‌رسد که حجم خشک‌دار ریز انباشته شده در بستر جنگل، بدون در نظر گرفتن تأثیر نوع گونه، نقش زیادی بر غنای پوشش گیاهی بر-عهده داشته‌است. اگرچه بیشتر بررسی‌ها در این زمینه بر خشک‌دارهای بزرگ تمرکز داشتند، اما مقایسه بین این دو مولفه نشان می‌دهد اگرچه خشک‌دارهای بزرگ محتوای بالاتری از کلسیم و منیزیم را به خاک انتقال می‌دهند، اما خشک‌دارهای ریز مقدار بیشتری از مواد مغذی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اختیار خاک قرار می‌دهند (Vincent et al., 2010; de Sousa Trindade et al., 2021). مقدار ماده آلی در حاشیه خشک‌دارهای ریز افتاده نیز مؤید این مطلب است که احتمالاً مقدار بالاتری از مواد غذایی از بافت خشک‌دار ریز به خاک انتقال یافته‌است. مجموع شرایط ایجادشده منجر به حاصل‌خیزی خاک شده و در توسعه و افزایش غنای گیاهی تأثیر معنی‌داری به‌جای گذاشت. اثرهای مثبت افزایش ماده آلی آزاد شده از خشک‌دار بر غنای گیاهی در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Russell et al., 2015; Stutz et al., 2019; Piaszczyk et al., 2020). دسترسی راحت به مواد غذایی به‌ویژه در لایه اولیه خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک و تسریع فرآیند ریشه‌دهی گیاهان یکی از دلایل اصلی گسترش لایه‌های گیاهی در نتیجه بالا رفتن ماده آلی خاک است (Błonska et al., 2017). خشک‌دار ریز طبقه قطری اول بیش از ٥٦ درصد از مقدار خشک‌دارهای ثبت‌شده در این پژوهش را به خود اختصاص داده بودند. نکته دارای اهمیت در این رابطه آن است که سرعت تجزیه بالای این طبقه خشک‌دار نسبت به دیگر طبقات قطری، می‌تواند با افزایش انتقال ماده آلی به خاک در مدت زمانی کوتاه، به توسعه غنای گیاهی کمک شایانی نماید (Chen et al., 2016; Barbosa et al., 2017). بررسی‌های Gora et al (2018) در این زمینه نشان می‌دهد که علاوه بر قطر پایین، وجود لیگنین کمتر در خشک‌دارهای ریز، نرخ تجزیه آنها را افزایش می‌دهد. از طرفی در مقایسه با خشک‌دارهای قطور، بافت بیشتری از خشک‌دار تماس مستقیم با بستر خاک دارد و سبب افزایش فرآیند تجزیه می‌شود (Law et al. 2019). در همین راستا، یافته‌های این پژوهش نشان داد بیشتر حجم خشک‌دارهای افتاده در طبقه دوم پوسیدگی قرار داشتند. بررسی Okada et al (2019) تأیید کرد با افزایش پوسیدگی خشک‌دار و ایجاد بستر نرم، شانس توسعه پوشش گیاهی افزایش پیدا می‌کند. همچنین ذکر این نکته دارای اهمیت است که بین پوسیدگی خشک‌دار و مقدار رطوبت خاک رابطه‌ای دو سویه وجود دارد. از یک طرف با قرارگیری خشک‌دار در بستر جنگل، انتقال رطوبت بستر خاک به خشک‌دار ریز منجربه افزایش نرخ تجزیه می‌شود و از طرف دیگر، به علت استقرار خزه روی خشک‌دارهای ریز، جذب رطوبت روی آنها افزایش می‌یابد (Pizňak and Bačkor, 2019). پژوهش‌های پیشین نیز نشان دادند که حضور گیاهان متنوع در اطراف خشک‌دارها، بیش از آنکه به غنای خاک اطراف این مؤلفه‌ها وابسته باشد، به مقدار رطوبت قابل دسترس برای گیاهان ارتباط دارد (Goldin et al., 2014; Fekete et al., 2016; Dhar et al., 2022). از این‌رو، بر اساس نتایج، افزایش رطوبت خاک و به دنبال آن غنای پوشش گیاهی در حاشیه خشک‌دار، تا اندازه زیادی قابل انتظار است. Piaszczyk et al (2022) گزارش کردند که تأثیر

رطوبت بر تجزیه خشک‌دار ریز، به محل و شرایط قرارگیری خشک‌دار ارتباط نزدیکی دارد. بر این اساس، فرو رفتن خشک‌دار ریز در خاک، یا قرارگیری آنها در موقعیت دره با یک خاک اشباع از رطوبت، منجر به کاهش فعالیت میکروبی و نرخ تجزیه خواهد شد (Piaszczyk et al., 2022). تغییر در هر کدام از جزئیات مورد اشاره، تأثیر متفاوتی بر آشکوب گیاهی نمایان خواهد ساخت. انجام بررسی‌های بیشتر با در نظر گرفتن شرایط زیستگاهی متنوع، می‌تواند پاسخگوی بسیاری از سؤالات در این زمینه باشد.

شاخص‌های عملکردی روش درخت رگرسیون تقویت‌شده نشان داد که مدل مذکور از دقت بالایی برخوردار است. در این رابطه، بررسی‌ها تأیید می‌کنند که قدرت کالیبراسیون بالا و مقاومت در برابر کم و بیش‌برازش سبب می‌شود که درخت رگرسیون تقویت‌شده مدلی مناسب برای انجام پژوهش‌های بوم‌شناسی باشد (Dettling and Buhlmann, 2003). در الگوریتم درخت رگرسیون تقویت‌شده، داده‌ها نیاز به مقیاس‌بندی جدید، تبدیل یا تغییر ندارند و در برابر مقادیر پرت و از دست رفته مقاوم هستند. در این الگوریتم، خرد شدن تصادفی داده‌ها با یک متغیر مشخص منجر می‌شود تا طبقه‌بندی و رویش درختان با کمترین خطای ممکن از ابتدا تا انتها ادامه پیدا کند (Elith et al., 2008). لازم به ذکر است که این روش نسبت به دیگر روش‌های درخت تصمیم، مشخصه‌های تنظیم‌کننده پیچیده‌تر و همچنین به زمان بیشتری برای اجرای مدل نیاز دارد. همین امر سبب شده‌است که از نظر برخی از پژوهشگران کاربرپسند نباشد. اما اطمینان از دقت بالای این مدل سبب شده‌است که همچنان یکی از روش‌های درخت تصمیم پرکاربرد در پژوهش‌های بوم‌شناسی باشد.

نتیجه‌گیری

اگرچه خشک‌دارهای ریز افتاده، بخش بزرگی از خشک‌دارهای جنگلی را به خود اختصاص داده‌اند، با این حال بیشتر بررسی‌ها و دستورالعمل‌ها اختصاصاً به بررسی خشک‌دارهای بزرگ پرداخته و به نقش خشک‌دارهای ریز کمتر پرداخته شده است. از این‌رو، این بررسی با هدف تأثیر خشک‌دارهای ریز بر غنای پوشش گیاهی انجام گرفت. از آنجا که آزادسازی عناصر از بافت خشک‌دار بزرگ مدت زمان زیادی به طول می‌انجامد، خشک‌دارهای ریز با یک نرخ تجزیه بالا می‌توانند ماده آلی و رطوبت مورد نیاز خاک را تأمین و علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک، بر توسعه و غنای آشکوب گیاهی بیفزایند. این بررسی در یک منطقه مدیریت‌نشده انجام شد که تاکنون سابقه بهره‌برداری نداشت، بنابراین رویکرد این پژوهش می‌تواند یک مدلسازی واقعی از نگهداری طولانی مدت خشک‌دار و تأثیر آن بر غنای گیاهی در بستر جنگل باشد. در سالیان اخیر، حفظ خشک‌دارهای بزرگ و جمع‌آوری خشک‌دارهای ریز برای استفاده در صنایع سلولزی و انرژی‌های زیستی، مورد تبلیغات زیادی بوده است. درصورتی‌که یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان داده که اجرای این برنامه، علاوه‌بر کاهش حاصلخیزی خاک، تهدیدی جدی برای تنوع زیستی گیاهی خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از یافته‌های طرح ملی «سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران (فاز اول)» مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران با شماره ۰-۶۰-۰۹-۰۴۱-۰۰۰۵۳۳ است، بنابراین از همه دست‌اندرکاران اجرای طرح مزبور، صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود.

References

Amanzadeh, B.; Sagheb-Talebi, Kh.; Sotoudeh Foumani, B.; Fadaie, F.; Camarero, J. J.; Linares, J. C. Spatial Distribution and Volume of Dead Wood in Unmanaged Caspian Beech (*Fagus orientalis* L.) Forests from Northern Iran. *Forests* **2013**, *4* (4), 751–765.

Azimnezhad, Z.; Badehian, Z.; Rezaeinejad, A.; Ahmadi, S. Effect of soil properties on Oak tree dieback (*Quercus brantii* Lindi.) and its ecophysiological responses to different degrees of dieback (case study: Dadabad in Lorestan Province). *Forest Resrach and Development* **2021**, *7* (2), 263–278. (In Persian)

Barbosa, R. I.; Castilho, C. V.; Perdiz, R. O.; Damasco, G. Rodrigues, R.; Fearnside. P.M. Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro-Rio Branco Basin in Roraima, Brazil. *Forest Ecology and Management* **2017**, 397, 1–9.

Błonska, E.; Lasota, J.; Gruba, P. Enzymatic activity and stabilization of organic matter in soil with differentdetritus inputs. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **2017**, *63*, 242–247.

Burton, J. E.; Bennett, L. T.; Kasel, S.; Nitschke, C. R.; Tanase, M. A.; Fairman, T. A.; Parker, L.; Fedrigo, M.; Aponte, C. Fire, drought and productivity as drivers of dead wood biomass in eucalypt forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management* **2021**, *482*, 118859.

Chećko, E.; Jaroszewicz, B.; Olejniczak, K.; Kwiatkowska-Falińska, A.J. The importance of coarse woody debris for vascular plants in temperate mixed deciduous forests. *Canadian Journal of Forest Research* **2015**, *45*, 1154–1163.

Chen, Y.; Sayer, E.J.; Li, Z.; Mo, Q.; Li, Y.; Ding, Y.; Wang, J. Nutrient limitation of woody debris decomposition in a tropical forest: contrasting effects of N and P addition. *Functional Ecology* **2016**, *30*, 295–304.

De Meo, I.; Becagli, C.; Casagli, A.; Paletto, A. Characteristics of deadwood and implications for biodiversity in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) planted forests in Italy. *Trees, Forests and People* **2022**, *10*, 100341.

De Sousa Trindade, A.; Silva Ferraz, J. B.; DeArmond, D. Removal of Woody Debris from Logging Gaps Influences Soil Physical and Chemical Properties in the Short Term: A Case Study in Central Amazonia. *Forest Science* **2021**, *67* (6), 711–720.

Dettling, M.; Buhlmann, P. Boosting for tumor classification with gene expression data. *Bioinformatics* **2003**, *19* (9), 1061–1069.

Dhar, A.; Forsch, K. B. C.; Naeth, M. A. Effects of Coarse Woody Debris on Soil Temperature and Water Content in Two Reconstructed Soils in Reclaimed Boreal Forest. *Soil Systems* **2022**, *6* (62), 1–11.

Dulya, O. V.; Bergman, I. E.; Kukarskih, V. V.; Vorobeichik, E. L.; Smirnov, G. U.; Mikryukov, V. S. Pollution-induced slowdown of coarse woody debris decomposition differs between two coniferous tree species. *Forest Ecology and Management* **2019**, *448*, 312–320.

Ejtehadi, H.; Sepehry, A.; Akkafi, H. R. Methods of measuring biodiversity. Ferdowsi University of Mashhad Press **2009**, p 226.

Elith, J.; Leathwick, J. R.; Hastie, T. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* **2008**, 77–4, 802–813.

Frank, J.; Castle, M. E.; Westfall, J.A.; Weiskittel, A. R.; MacFarlane, D. W.; Baral, S. K.; Radtke, P. J.; Pelletier, G. Variation in occurrence and extent of internal stem decay in standing trees across the eastern US and Canada: evaluation of alternative modelling approaches and influential factors. *Forestry* **2018**, *91* (3), 382–399.

Fekete, I.; Varga, C.; Biró, B.; Tóth, J.A.; Várbíró, G.; Lajtha, K.; Szabó, G.; Kotroczó, Z. The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a central European deciduous forest. *Plant Soil* **2016**, *398*, 291–300.

Felton, A.; Lindbladh, M.; Brunet, J.; Fritz, O. Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. *Forest Ecology and Management* **2010**, *260* (6), 939-947.

Frei, E. R.; Moser, B.; Wohlgemuth, T. Competitive ability of natural Douglas fir regeneration in central European close-to-nature forests. *Forest Ecology and Management* **2022**, *503*, 119767.

Goldin, S. R.; Hutchinson, M.F. Coarse woody debris reduces the rate of moisture loss from

surface soils of cleared temperate Australian woodlands. *Soil Research* **2014**, *52*, 637–644.

Gora, E. M.; Sayer, E. J.; Turner, B. L.; Tanner, E. V. J. Decomposition of coarse woody debris in a long-term litter manipulation experiment: A focus on nutrient availability. *Functional Ecology* **2018**, *32* (4), 1128–1138.

Gresh, J. M.; Courter, J. R. In Pursuit of Ecological Forestry: Historical Barriers and Ecosystem Implications. *Frontiers in Forests and Global Change* **2021**, *4*, 1–9.

Guo, L. B.; Bek, E.; Gifford, R. M. Woody debris in a 16-years old Pinus radiata plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover. *Forest Ecology and Management* **2006**, *228*, 145–151.

Han, J.; Kamber, M. Data Minig concepts and techniques. 2d. Ed. Morgan Kauffmann Pub. Co, United States of America, **2006**, p 10.

Hedwall, P-O.; Brunet, J. Trait variations of ground flora species disentangle the effects of global change and altered land-use in Swedish forests during 20 years. *Global Change Biology* **2016**, *22* (12), 4038-4047.

Hedwall, P-O.; Gustafsson, L.; Brunet, J.; Lindbladh, M.; Axelsson, A-L.; Strengbom, J. Half a century of multiple anthropogenic stressors has altered northern forest understory plant communities. *Ecological Applications* **2019**, *29* (4), e01874.

Hunter, M. O.; M. Keller, D.; Morton, B.; Cook, M.; Lefsky, M.; Ducey, S. Structural dynamics of tropical moist forest gaps. *Plos One* **2015**, *10* (7), e0132144.

Iijima, H.; Shibuya, M.; Saito, H. Effects of surface and light conditions of fallen logs on the emergence and survival of coniferous seedlings and saplings. *Journal of Forest Research* **2007**, *12*, 262–269.

Jonsson, B. G.; Ekström, M.; Esseen, P-A.; Grafström, A.; Ståhl, G.; Westerlund, B. Dead wood availability in managed Swedish forests – Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management* **2016**, *376*, 174-182.

Karahalil, U.; Baskent, E. Z.; Sivrikaya, F.; Kiliç, B. Analyzing dead wood volume of Calabrian pine (Pinus brutia Ten.) in relation to stand and site parameters: a case study in Köprülü Canyon National Park. *Environmental Monitoring and Assessment* **2017**, *189*, 112.

Konôpka, B.; Šebeˇn, V.; Merganiˇcová, K. Forest Regeneration Patterns Differ Considerably between Sites with and without Windthrow Wood Logging in the High Tatra Mountains. *Forests* **2021**, *12*, 1349.

Kulha, N., Pasanen, L., Holmström, L., De Grandpré, L., Gauthier, S., Kuuluvainen, T., Aakala, T. The structure of boreal old-growth forests changes at multiple spatial scales over decades. *Landscape Ecology* **2020**, *35*, 843–858.

Kushnevskaya, H.; Mirin, D.; Shorohova, E. Patterns of epixylic vegetation on spruce logs in late-successional boreal forests. *Forest Ecology and Management* **2007**, *250*, 25–33.

Lasota, J.; Piaszczyk, W.; Błonska, E. Fine woody debris as a biogen reservoir in forest ecosystems. *Acta Oecologica* **2022**, *115* (103822), 1–6.

Lassauce, A.; Paillet, Y.; Jactel, H.; Bouget, M. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators* **2011**, *11* (5), 1027-1039.

Law, S.; Eggleton, P.; Griffiths, H.; Ashton, L.; Parr, C. Suspended dead wood decomposes slowly in the tropics, with microbial decay greater than termite decay. *Ecosystems* **2019**, *22*, 1176–1188.

Levers, C.; Verkerk, P. J.; Müller, D.; Verburg, P. H.; Butsic, V.; Leitão, P. J.; Lindner, M.; Kuemmerle, T. Drivers of forest harvesting intensity patterns in Europe. *Forest Ecology and Management* **2014**, *315*, 160-172.

Merganic, J.; Merganicová, K.; Vlcková, M.; Dudáková, Z.; Ferencík, M.; Mokroš, M.; Juško, V.; Allman, M.; Tomcík, D. Deadwood Amount at Disturbance Plots after Sanitary Felling. *Plants* **2022**, *11* (987), 1–16.

Mikkonen, N.; Leikola, N.; Halme, P.; Heinaro, E.; Lahtinen, A.; Tanhuanpää, T. Data modeling of dead wood potential based on tree stand. *Forests* **2020**, *11* (913), 1–21.

Oettel, J.; Lapin, K.; Kindermann, H.; Steiner, H.; Schweinzer, K-M.; Frank, G.; Essl, F. Patterns and drivers of deadwood volume and composition in different forest types of the Austrian natural forest reserves. *Forest Ecology and Management* **2020**, *463* (118016), 1–14.

Okada, M.; Hirao, T.; Kaji, M.; Goto, S. Role of fallen logs in maintaining the species diversity of understorybvascular plants in a mixed coniferous and broad-leaved forest in Hokkaido, northern Japan. *Forest Ecology and Management* **2019**, *448*, 249–255.

Piaszczyk, W.; Lasota, J.; Błońska, E. Effect of Organic Matter Released from Deadwood at Different Decomposition Stages on Physical Properties of Forest Soil. *Forests* **2020**, *11* (24), 1–13.

Pizňak, M.; Bačkor, M. Lichens affect boreal forest ecology and plant metabolism. *South African Journal of Botany* **2019**, *124*, 530-539.

Pourbabaei, H.; Haghgooy, T. Effect of physiographical factors on tree species diversity (case study: Kandelat Forest Park*). Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2013**, *21* (2), 243–255. (In Persian)

Pourbabaei, H.; Heidari, M.; Naghilou, M.; Begim Faghir, M., Relationship between vegetation and environmental factors in the Anatolian oak (Quercus petraea L. subsp. iberica (Stev.) Krassiln) habitat: a case study of Asalem forests, Guilan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2015**, *28* (1), 53–62. (In Persian)

Russell, M. B.; Fraver, S.; Aakala, T.; Gove, J.H.; Woodall, C.W.; D'Amato, A.W.; Ducey, M.J. Quantifyingcarbon stores and decomposition in dead wood: A review. *Forest Ecology and Management* **2015**, *350*, 107–128.

Sarvazad, A.; Fallah, A.; Vahedi, A. A. Changes in carbon storage of Quercus brantii Lindl in relation to physiographic factors of Zagros forests. *Forest Resrach and Development* **2022**, *8* (3), 329–341. (In Persian)

Schütz, J.-P.; Saniga, M.; Diaci, J.; Vrška, T. Comparing close-to-naturesilviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe. *Annals of Forest Science* **2016**, *73*, 911–921.

Sefidi, K.; Etemad, V. The amount and quality of dead trees in a mixed beech forest with different management histories in northern Iran. *Biological Diversity* **2014**, *15*, 162–168.

Sefidi, K.; Marvie Mohadjer, M. R.; Mosandl, R.; Copenheaver, C. A. Coarse and Fine Woody Debris in Mature Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests of Northern Iran. *Natural Areas Journal* **2013**, *33* (3), 248–255.

Stokland, J. N.; Siitonen, J.; Jonsson, B. G. Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press, Cambridge, UK. **2012**.

Stutz, K.; Kaiser, K.; Wambsganss, J.; Santos, F.; Berhe, A.A.; Lang, F. Lignin from white-rotted Europeanbeech deadwood and soil functions. *Biogeochemistry* **2019**, *145*, 81–105.

Taheri Abkenar, K.; Mirzaei, M.; Mohammadi, M. A.; Saeidi, H. R. Effects of dead trees on natural regeneration of beech trees in different physiographic conditions (case study: Siahroud forests, Langaroud). *Forest Resrach and Development* **2022**, *8* (3), 235–247. (In Persian)

Vincent, A. G.; Turner, B. L.; Tanne, E. V. J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science* **2010**, *61*, 48–57.

Wardle, D. A.; Bardgett, R. D.; Klironomos, J. N.; Setälä, H.; van der Putten, W. H.; Wall, D. H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* **2004**, *304*, 1629–1633.

Woodall, C.; Williams, M.S. Sampling Protocol, Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Progam. General Technical Report NC-256, United States Department of Agriculture (USDA) **2005**, p 56.

Modeling the role of FWD on plant species richness using BRT

Saeid Shabani[*1] and Ali Asghar Vahedi[2]

1- Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, I. R. Iran. (s.shabani@areeo.ac.ir)
2- Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran. (ali.vahedi60@gmail.com)

Received: 13 June 2023 Accepted: 04 October 2023

Abstract

Background and objectives: Plant Species Richness (PSR) plays an important role in forest ecosystem functions and services. Despite the fact that Fine Woody Debris (FWD) occupy a large volume of the temperate forest ecosystem in the north of Iran, they have received less attention than Coarse Woody Debries (CWD). FWD is a component of natural forests, in addition to increasing the productivity of forest trees, helping to trees regeneration, maintaining and increasing soil moisture and nutrients, and long-term carbon storage, contribute the enhanced function of newly developing microhabitats with an important function in plant understory richness. Therefore, not paying attention to FWD leads to wrong estimation of the total volume of woody debries and its key role on the performance of forest ecosystems. Therefore, it was considered for current study that Boosted Regression Tree (BRT) machine learning technique used to model the PSR in unmanaged forest stands. For this aim, Oak - hornbeam stand in Loveh forest in the east of Golestan province, Iran was selected for sampling.

Methodology: For this purpose, 30 sample plots 400 m2 (20 m × 20 m) were set in the study area, and the type and percentage of plant cover was recorded based on the Braun-Blanquet index. In the following, the number of plant species recorded in each sample plot was the basis for calculating species richness. In order to measure the volume of FWD, the alignment of the sides of the sample plot of 400 square meters was used as the basis of calculation. Therefore, in line with the sides of each sample plot and in the form of a linear transect with a total length of 80 meters (equal to the perimeter of each sample plot), FWD intersected with the transect were identified. The names of tree species of each of the FWD is specified, and according to the cross diameter with the transect, the FWD were placed in one of three diameter classes: 1 to 2.5 cm, 2.5 to 4.5 cm, and 4.5 to 7.5 cm. To measure the percentage of soil moisture and organic matter, the soil was taken from the center of each sample to a depth of 15 cm. Soil moisture percentage was obtained by using the difference between wet and dry weight of soil and also the amount of soil organic matter by Walkley-Black method in the laboratory. The gmb package in R programming language was used to fit the boosted regression tree model. This model is one of the methods that helps to improve the performance of a single model by using the combination of multiple models. Therefore, in this method, the combination of two algorithms "regression tree and classification" and "boosting" is used. It should be noted that in this research, in order to reach the optimal number of trees, the number of 1000 was used as the starting point. In this study, the amount of species richness in each plot as the response variable, and the variables of slope percentage, slope aspect, altitude, soil moisture percentage, soil organic matter percentage, average of total volume of fwd, average volume of fwd in decay class 1, average volume of fwd in decay class 2 and the type of fwd were considered as predictor variables.

Results: Based on the results, the initial model fitted in the number of trees 7700 showed the highest accuracy. However, due to the lack of influence of some variables in the model, the variables of slope, slope aspect, altitude, the type of fwd and the average volume of fwd in decay class 1, these variables were excluded from the model based on the deviation changes. And the model was refitted in the optimal number of trees of 7800. Based on the final model of the BRT, the highest amount of species richness was recorded with the increase of soil organic matter to > 2.15% and in a soil moisture percentage >30%. Furthermore, a high amount of FWD from the first diameter class and with the decay class 2 (rotten) led

[*] Corresponding author Tel: +989117815510

to an increase in plant richness in the studied area. In the present study, the adjusted R squared > 0.99 with the Root Mean Square Error (RMSE) < 0.039 shows the high accuracy of the BRT model.

Conclusion: Although fwd comprise a large part of woody debries in the forests of the north of Iran, no specific place has been considered for it in any of the statistical protocols. This matter has led to the fact that there is no specific estimate of the volume of fwd and its role on the forest ecosystem is neglected. Therefore, this study was conducted with the aim of modeling the effect of this important component on the richness of plant species in a broadleaf stand in Loveh forests of Golestan province. The findings of the research showed that by creating favorable habitat conditions, the fwd increase the abundance of plant species and maintaining this component is important in increasing the organic matter of the forest soil. The high rate of decomposition in fwd compared to cwd causes that while maintaining and increasing the soil moisture, the organic materials in the wood are available to the soil layer in a short period of time. In recent years, some experts in the field of natural resources have emphasized the collection of fwd and their use in cellulose industries. A large part of these opinions has also found a scientific basis in the shadow of the minimization of the volume and role of the fwd and the lack of sufficient information about this very important component. If the findings of this research clearly show that the collection and removal of fwd will have a negative impact on soil moisture and organic matter and thus on the richness of plant species. Conducting similar and additional studies by including soil nutritional variables as well as other plant indicators can significantly help in confirming or rejecting this result

Keywords: Decay class, Machin learning, Transect, Understory.