



دانشگاه گنبدکاووس

نشریه "حفظ و زیست بوم گیاهان"

دوره هشتم، شماره هفدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی-پژوهشی

بررسی تأثیرپذیری پراکنش گونه‌ی راش جنگل‌های هیرکانی از عوامل توپوگرافی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز ۵۱ در استان مازندران)

علی جعفری^۱، فاطمه علی باری^۲، کورش احمدی^۳

^۱دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۳دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۹

چکیده

مطالعه و تعیین وضعیت پراکنش فعلی و آینده گونه‌های مهم جنگلی پیش‌نیاز و ضرورت برنامه‌های حفاظت و نگهداری جنگل‌ها برای ایفای نقش انکارناپذیر آن‌ها در مقابله با تغییر اقلیم جهانی، تغییر کاربری اراضی و انواع آلودگی هوا است. هدف مطالعه حاضر تعیین پراکنش گونه راش در جنگل‌های شمال ایران تحت تأثیر عوامل توپوگرافی بود. برای این منظور، موقعیت‌های پراکنش فعلی این گونه در حوزه آبخیز ۵۱ استان مازندران تعیین و ارتباط بین مؤلفه‌های اصلی (شیب، جهت، ارتفاع) و فرعی (رطوبت توپوگرافیک، انحنای سطح و انحنای مقطع) توپوگرافی با استفاده از مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده در نرم‌افزار آر مدل‌سازی و تحلیل شد. برای ارزیابی مدل از آماره سطح زیر منحنی (AUC) و آمار واقعی مهارت مرتبط با آستانه (TSS) استفاده شد. براساس نتایج، میزان سطح زیر منحنی و مهارت مرتبط با آستانه به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۳٪ نشان می‌دهند که مدل به خوبی توانسته پراکنش این گونه را پیش‌بینی کند. همچنین بر اساس نتایج، پراکنش این گونه بیشتر تحت تأثیر متغیرهای اصلی توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب) بود و متغیرهای توپوگرافی (رطوبت توپوگرافیک، انحنای مقطع و انحنای) تأثیر کمتری در پراکنش آن داشتند. درواقع، این گونه در شیب‌های ۲۰ تا ۴۰ درصد، جهت‌های شمالی و شرقی و ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا احتمال حضور بیشتری دارد. این در

* نویسنده مسئول: jafari.ali@sku.ac.ir

حالی است که رویشگاه‌های واقع در این موقعیت توپوگرافی در سناریوهای تغییر اقلیم در آینده، بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و لذا برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های حفاظت برای این‌گونه در جنگل‌های شمال ایران ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: راش شرقی، رویشگاه مناسب، درخت رگرسیون تقویت‌شده، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب

مقدمه

اساس پیش‌بینی پراکنش گیاهان و جانوران مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۱ (SDMs) هستند که ارتباط بین پراکنش گونه‌ها و متغیرهای محیطی را بررسی می‌کنند. مدل‌های پراکنش گونه‌ای به عنوان مدل‌های آشیان اکولوژیک و مدل‌های مطلوبیت رویشگاه نیز شناخته می‌شوند (Remya et al, 2015). در اغلب مدل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی متغیرهای منعکس‌کننده توپوگرافی منطقه مورد مطالعه گنجانده می‌شوند، اما معمولاً تأثیر واقعی این متغیرها بر پراکنش گونه‌های گیاهی تفسیر نمی‌شود. متغیرهای توپوگرافی به صورت غیر مستقیم با تأثیر بر میزان نور، رطوبت، دما و شرایط مواد مغذی بر پراکنش گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارند (Moeslund et al, 2013). ناهمگنی توپوگرافی اثرات پیچیده‌ای بر روی میکروکلیما و شیب تغییرات منابع برای گیاهان، مانند نوردهی، رطوبت خاک و مواد مغذی دارد و در مقیاس‌های بزرگ بر درجه حرارت و بارش تأثیر می‌گذارد (Dobrowski, 2011). از میان عوامل توپوگرافی، پارامترهای شیمیایی، میزان شیب، ارتفاع از سطح دریا و سایر عوامل محیطی بر روی پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک تأثیر می‌گذارند (Yimer, et al, 2006; Enright et al, 2005; Solon et al, 2007) و در این میان، پارامتر جهت جغرافیایی با ایجاد خرد اقلیم به عنوان عامل مهمی در ایجاد تفاوت‌های قابل توجه بین خصوصیات اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود (Carmel and Kadmon, 1999).

در زمینه بررسی ارتباط بین متغیرهای توپوگرافی و پراکنش گیاهان به طور عام طویلی و جعفری (Tavili and Jafari, 2009) دریافتند که عامل ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی و شیب با تأثیر بر میزان دما و رطوبت، عوامل عمده کنترل پراکنش گونه‌های گیاهی مؤثر هستند. همچنین شون هولتز و همکاران (Schoenholtz et al., 2000)، گولدی (Goldi, 2001) و آراغون و همکاران (Aragon et al., 2007) در پژوهش‌های جداگانه ارتباط بین جهت جغرافیایی و پراکنش گیاهان را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که جهت شیب، اثر معنی‌داری روی ترکیب، ساختار و تراکم جوامع گیاهی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد.

پژوهش در مورد راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) به عنوان ارزنده‌ترین گونه جنگلی شمال ایران بیشتر محدود به بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان در توده‌های طبیعی (حبشی و همکاران، ۱۳۸۶؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۲؛ فرهادی و همکاران، ۱۳۹۶) و یا ارتباط فراوانی گونه با برخی عوامل محیطی مانند غنای گونه‌های علفی و ضخامت لایه هوموس (ابراری واجاری، ۱۳۹۵) بوده و به ندرت اثر عوامل طبیعی و انسانی مانند تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی بالفعل یا بالقوه این گونه (طالشی و همکاران، ۱۳۹۷) را موردنوجه قرار داده‌اند. در کشور ترکیه نیز که این گونه پراکنش دارد، هم در زمینه^۰ الگوی پراکنش مکانی این گونه (Gungoroglu, 2015) و هم تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده آن (Yilmaz, 2010) مطالعه کمی صورت گرفته است.

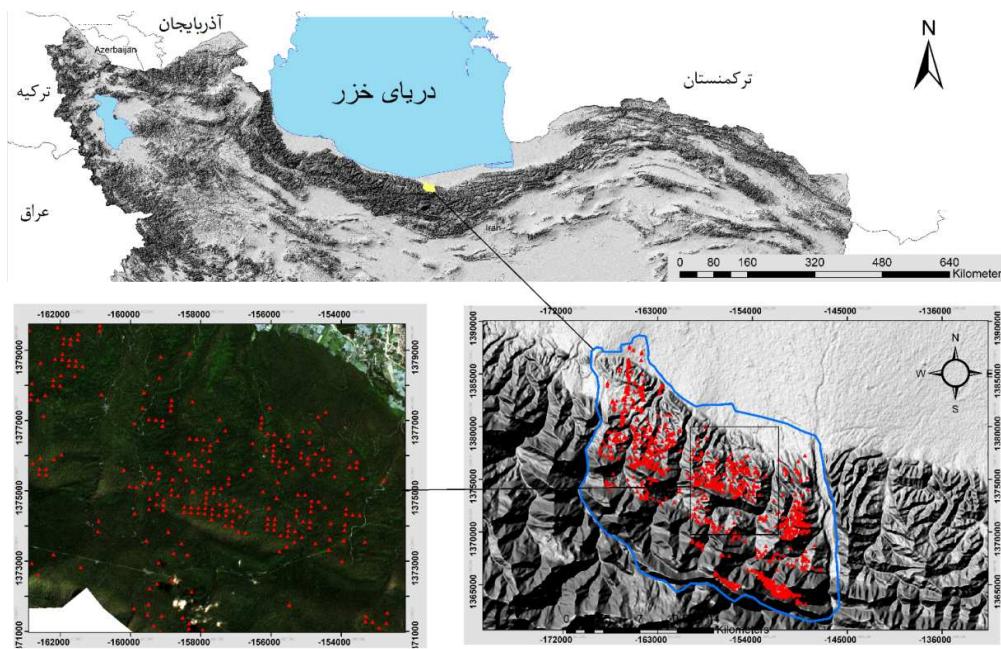
بر اساس مرور منابع انجام‌شده (ثاقب طالبی و همکاران، ۱۳۸۴؛ مروی مهاجر، ۱۳۸۴؛ Sagheb-Talebi et al., 2014) راش در جنگل‌های شمال ایران در ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۲۰۰ متری از سطح دریا از آستارا تا گرگان گسترش دارد و از لحاظ تعداد از سایر گونه‌های درختی این مناطق فراوان‌تر است. این گونه به صورت جامعه خالص راشستان یا آمیخته با درخت ممرز و یا سایر درختان وجود دارد. راش درختی بلند قامت، یکپایه و با ارتفاع حدود ۳۵ متر است ولی در شرایط رویشگاهی مساعد گاهای تا ۵۰ متر نیز می‌رسد. درخت راش سایه‌پسند است ولی در مقابل یخنداش مقاوم نیست و یخنداش‌های اوایل بهار را تحمل نمی‌کند. از نظر اهمیت چوب راش، گفته می‌شود که این گونه باهدف تولید چوب بهتر و پر ارزش‌تر از سایر گونه‌های است. در جنگل‌های شمال کشور هم‌اکنون درختان راش بالرزش‌ترین توده‌های جنگلی را تشکیل داده و صنعتی‌ترین چوب این جنگل‌ها به شمار می‌روند.

مطالعه نحوه پراکنش گونه‌های گیاهی و تأثیر عوامل محیطی از جمله توپوگرافی بر این پراکنش، به حفاظت و احیای رویشگاه آن‌ها کمک می‌کند. هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان تأثیرپذیری پراکنش گونه‌ی راش شرقی جنگل‌های هیرکانی از عوامل توپوگرافی مانند شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، شاخص انحدار و تعیین مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پراکنش این گونه‌ی بالرزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۴۱۰ کیلومترمربع در حوزه‌ی ۵۱ از جنگل‌های هیرکانی در شهرستان آمل استان مازندران با طول جغرافیایی ۳۵°۰۷'۰۷ متر و عرض جغرافیایی ۵۲°۲۲'۰۴ متر واقع شده است (شکل ۱). اقلیم حاکم بر منطقه مطابق اقلیم نمای دومارتن یک



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در گستره جنگلهای هیرکانی داده‌های حضور گونه

اقلیم معتدل و مرطوب با تابستان گرم و زمستان کمی سرد (میانگین بارندگی سالانه ۹۷۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد) است (عطایی و همکاران، ۱۳۹۳). ابتدا بر اساس کتابچه طرح جنگلداری منطقه و آگاهی از فراوانی حضور توده‌های راش در حوزه ۵۱ و ۵۲ جنگلهای هیرکانی شمال ایران، سری‌های دارای رویشگاه‌های گونه راش شناسایی شدند. با مراجعه به سازمان جنگل‌ها مختصات پلات‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه که گونه‌ی راش در آن‌ها حضور داشت تهیه شد. سپس به منظور راستی آزمایی داده‌های به دست آمده با حضور در عرصه به صورت تصادفی (زارع چاهوکی، ۱۳۹۲؛ فرهادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۸) ۵۰ قطعه‌نمونه انتخاب و حضور گونه راش در آن‌ها بررسی شد که تمام پلات‌ها دارای پایه‌های گونه راش بودند. در مجموع تعداد ۸۴۱ نقطه حضور گونه راش در این حوزه جنگلی در نظر گرفته شد (شکل ۱). همچنین با توجه به نیاز نقاط غیاب گونه راش در مدل‌سازی تعداد ۸۵۰ نقطه غیاب به صورت تصادفی در منطقه تهیه گردید (Alavi et al., 2019).

متغیرهای توپوگرافی مورد استفاده شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا

از مدل رقومی ارتفاع با اندازه تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر برای تولید نقشه‌های ارتفاع، درصد شیب و جهت جغرافیائی در نرم‌افزار QGIS 3.6 استفاده شد (Alaska Satelite Facility, 2010) (شکل ۲). همچنین سایر شاخص‌های مرتبط با توپوگرافی مانند شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص انحنای سطح و شاخص انحنای مقطع به شرح زیر محاسبه شدند:

شاخص رطوبت توپوگرافیک

در بین خصوصیات توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافیک^۳ (TWI) ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه است (Grabs et al., 2009) و در مطالعات زیادی بهمنظور تخمین مکانی ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولوژیکی و شیمیایی خاک‌ها مورداستفاده قرار گرفته است (Whelan et al., 2002; Western et al., 2001; Welsch et al., 2004). این شاخص (رابطه ۱) در مواردی برای بررسی نقاط مناسب حضور گونه‌های گیاهی، تأثیر بر پراکنش گونه‌ها، مقیاس‌های مکانی مؤثر بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، تعریف مسیرهای جریان هیدرولوژیکی در مدل‌سازی ژئوشیمیایی، تهیی نقشه کربن آلی خاک و همچنین برای تعیین فرآیندهای بیولوژیکی مثل تولید خالص اولیه سالیانه، الگوهای پوشش و کیفیت مکان‌های جنگلی نیز استفاده شده است (Sorensen et al., 2005).

$$\ln(\text{AS} / \tan\beta) = \text{TWI} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن AS سطح ویژه حوضه و β درجه شیب می‌باشد.

شاخص انحنای سطح^۴

شاخص انحنای سطح به مؤلفه‌ی افقی در راستای جهت گفته می‌شود که از رابطه ۲ برای محاسبه‌ی این شاخص استفاده می‌شود (Wood, 2006).

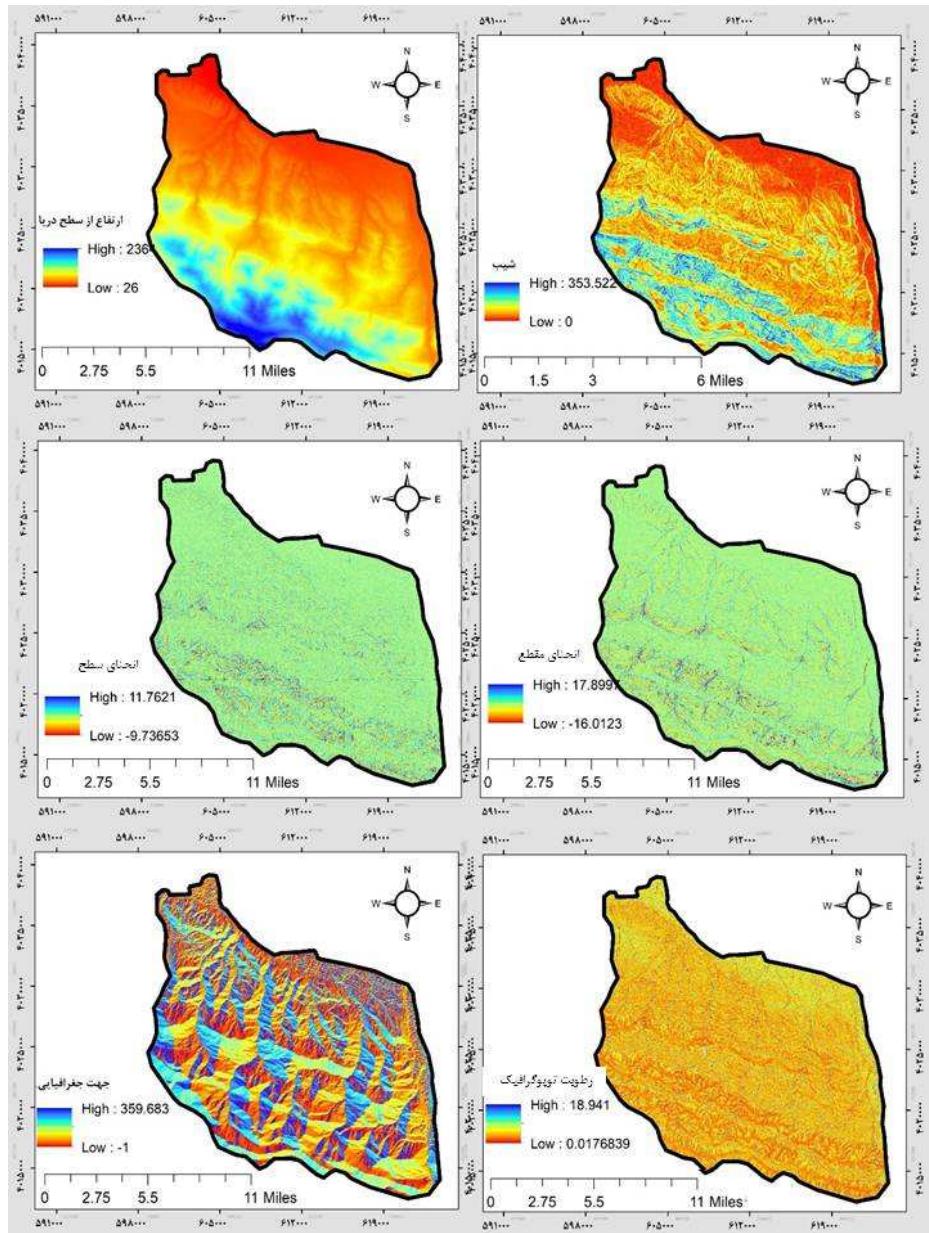
$$n * g * (b * d^2 + a * e^2 - c * d * e) / (d^2 + e^2)^{1.5} \quad \text{رابطه ۲}$$

شاخص انحنای مقطع^۵

شاخص انحنای مقطع به مؤلفه‌ی قائم در راستای جهت گفته می‌شود که از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$n * g * (a * d^2 + b * e^2 + c * d) / (d^2 + e^2)(1 + (d^2 + e^2)) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این معادلات x, y, z مختصات محلی و مقادیر a, b, c ضرایب معادله هستند (Wood, 2006)



شکل ۳- متغیرهای توپوگرافی در منطقه‌ی مورد مطالعه

مدل درخت رگرسیون تقویت شده^۹ (BRT)

به منظور مدل سازی پراکنش گونه راش نسبت به مجموعه داده های توپوگرافی از مدل درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) که ترکیبی از تکنیک های آماری و یادگیری ماشین است، استفاده شد. درخت رگرسیون تقویت شده یکی از تکنیک های مختلفی است که با استفاده از ترکیب مدل های متعدد به بهبود عملکرد تک مدل کمک می کند. BRT الگوریتم کارآمد و ساده ای برای افزایش دقت مدل است و بر این اساس کار می کند که ساخت، ترکیب و میانگین گیری تعداد زیادی مدل بهتر و دقیق تر از ایجاد یک مدل است و لذا بر بزرگ ترین ضعف تک درخت تصمیم که برآش نسبتاً ضعیف است غلبه می نماید. مزایای استفاده از درختان رگرسیون تقویت شده عبارت اند از: (الف) کنترل انواع مختلف متغیرهای پیش بینی کننده، (ب) اصلاح داده های از دست رفته، (پ) عدم نیاز به تبدیل داده ها یا حذف نقاط دورافتاده، (ت) برآش روابط پیچیده غیر خطی و کنترل خودکار اثر متقابل بین متغیرها (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶؛ Elith et al., 2008; Alavi et al., 2019).

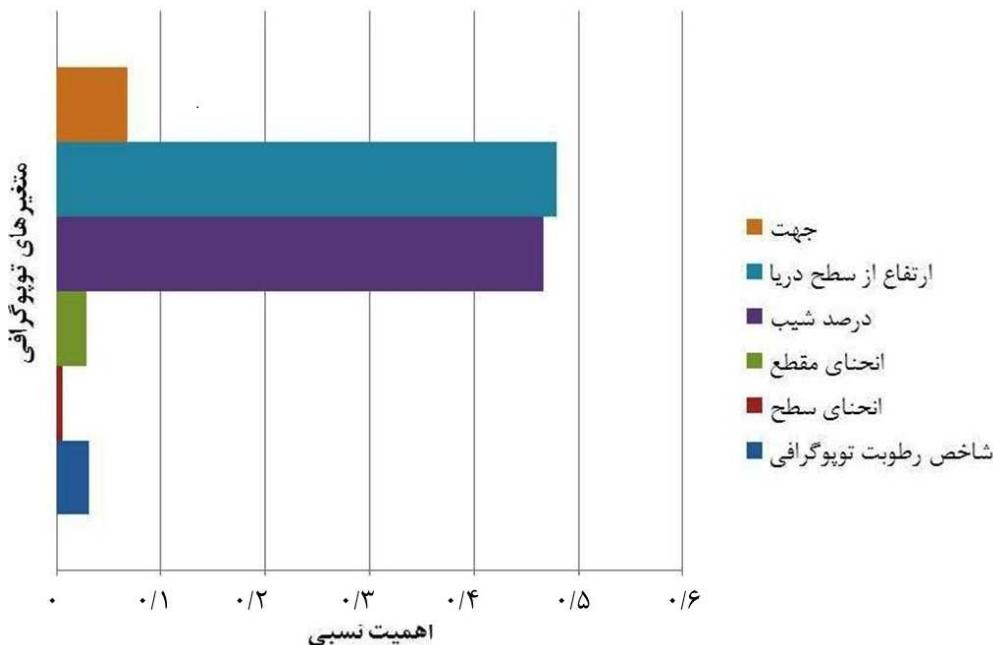
ارزیابی مدل

برای ارزیابی قابلیت پیش بینی مدل از ۷۰ درصد داده ها برای مدل سازی و ۳۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی آن استفاده شد (Alavi et al., 2019). برای ارزیابی کارایی مدل های پراکنش گونه معمولاً از Fielding and Bell، (AUC: Area Under Curve) استفاده می شود (Austin, 2002; Duan et al, 2014 1997;). مقدار AUC نشان می دهد که چگونه یک مدل به خوبی بین محل حضور گونه ها و غیاب آن ها تمایز قائل می شود. AUC با مقدار ۰/۵ نشان می دهد که یک کارایی تمایز مدل به صورت تصادفی است در حالی که مقدار ۱ بیان کننده توانایی تمایز کامل مدل است. مدل با مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ دارای دقت پایین، بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ دارای خوب و ۰/۹ تا ۱ دارای دقت کامل است (Elith et al., 2006; Giovannelli and Alexandrino, 2010). با این حال قابلیت اطمینان AUC به عنوان تنها شاخص برای ارزیابی مدل در سال های اخیر مورد چالش قرار گرفته است (Fourcade et al., 2014). بنابراین، در این تحقیق علاوه بر شاخص سطح زیر منحنی، آمار واقعی مهارت مرتبط با آستانه (TSS) محاسبه گردید که همانند آمار کاپا گستره است، اما کمتر وابسته به پراکنش گونه های مدل شده است (Allouche et al., 2006). این آماره به عنوان $TSS = sensitivity + specificity - 1$ تعریف شود که در آن ویژگی حساسیت مربوط به مقادیر مشاهده شده است که به درستی پیش بینی شده اند

و ویژگی تناسب مربوط به فقدان مشاهده شده و به عبارتی مقادیری که بدستی پیش‌بینی نشده‌اند می‌باشد (Allouche et al., 2006). ارزش TSS کمتر از ۰/۲ می‌تواند به عنوان ضعیف، ۰/۲ تا ۰/۶ به عنوان متوسط و بزرگ‌تر از ۰/۶ به عنوان خوب در نظر گرفته شود (Allouche et al., 2006). به منظور محاسبه TSS، نقشه مطلوبیت رویشگاه باید به صورت حضور و غیاب تبدیل شود و نکته مهم مشخص کردن حد آستانه مقدار TSS است که در این پژوهش ۰/۵ در نظر گرفته شد (Thuiller et al., 2016; Shabani et al., 2018) روشی که برای ارزیابی و تهییه نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه‌ی راش با استفاده از نرم‌افزار آماری R و بسته‌های raster و biomod2 انجام شد.

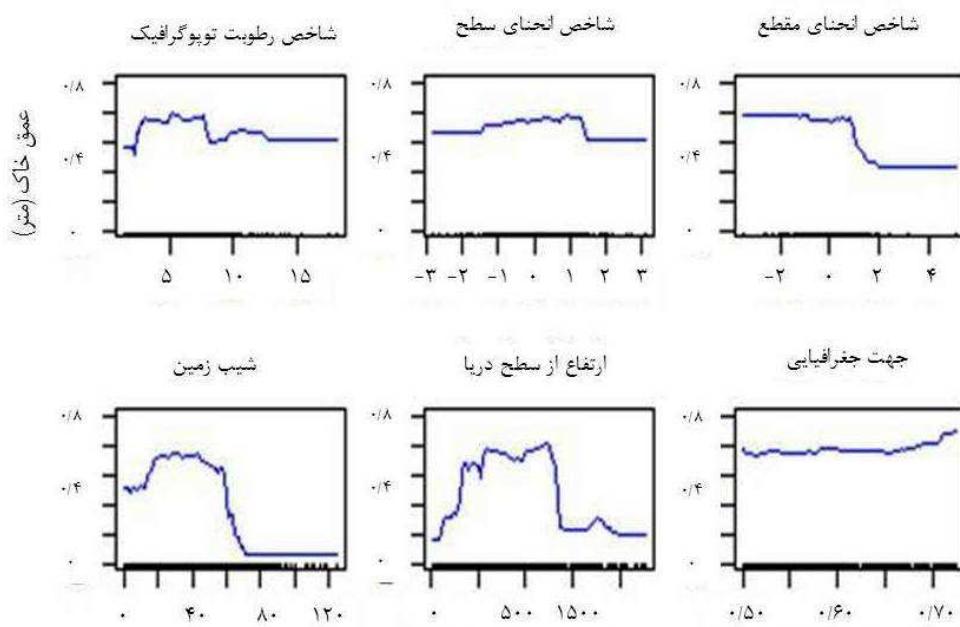
نتایج

بر اساس نتایج مدل‌سازی، میزان سطح زیر منحنی (AUC) و مهارت مرتبط با آستانه (TSS) پیش‌بینی شده برای مدل BRT به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۳ به دست آمد. میزان AUC بیش از ۰/۸ و TSS بیش از ۰/۶ نشان می‌دهند که این مدل به خوبی توانسته است پراکنش این گونه را پیش‌بینی کند (Allouche et al., 2006; Elith et al., 2006). یکی از ویژگی‌های مدل‌های پراکنش گونه‌ای، نشان دادن اهمیت نسبی متغیرهای مختلف در تعیین پراکنش گونه‌هاست. در مطالعه حاضر که هدف آن تعیین نقش و تأثیر عوامل توپوگرافی در تعیین پراکنش گونه راش در جنگل‌های شمال ایران بوده است، بر اساس نتایج، متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب بیشترین تأثیر را در پراکنش این گونه داشته‌اند و پراکنش این گونه کمتر تحت تأثیر متغیرهای ثانویه توپوگرافی مانند رطوبت توپوگرافیک، انحنای مقطع و انحنای سطح بوده است (شکل ۴).



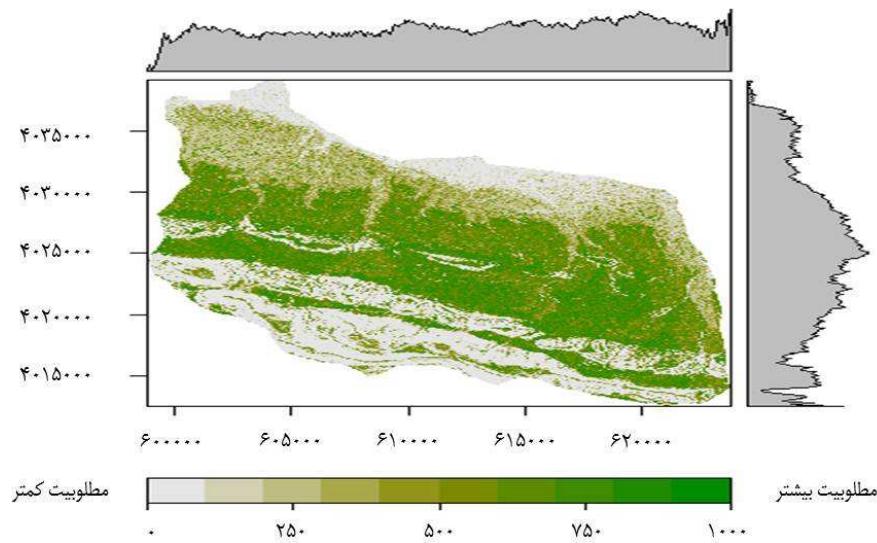
شکل ۴- اهمیت نسبی متغیرهای توپوگرافی مورد مطالعه

بر اساس نتایج حاصل از بررسی منحنی پاسخ گونه‌ی راش نسبت به متغیرهای اصلی توپوگرافی (شکل ۵) یعنی شیب، جهت و ارتفاع، این گونه در شیب‌های ۲۰ تا ۶۰ درصد، جهت‌های شمالی و شرقی و در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۵۰۰ متر از سطح دریا احتمال حضور بیشتری دارد. همچنین از نظر متغیرهای ثانویه توپوگرافی، میزان رطوبت توپوگرافی ۲ تا ۱۳ درصد در عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری خاک، میزان انحنای سطح ۱ تا ۱/۵ و انحنای مقطع ۱/۵ تا ۳ مطلوبیت بیشتری برای پراکنش این گونه دارند.



شکل ۵- منحنی پاسخ گونه‌ی راش نسبت به متغیرهای توپوگرافی در منطقه موردمطالعه

پس از مدل‌سازی پراکنش گونه راش با داده‌های توپوگرافی و شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش این گونه، نقشه مطلوبیت رویشگاه نیز تهیه گردید و در چهار طبقه مطلوبیت زیاد (۷۵۰-۱۰۰۰ متوسط (۷۵۰-۵۰۰) کم (۲۵۰-۵۰) و خیلی کم (۰-۲۵۰) دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج این نقشه، رویشگاه‌های مطلوب این گونه بیشتر در میان‌بند منطقه‌ی موردمطالعه واقع شده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه‌ی مطلوبیت پراکنش گونه‌ی راش در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) گونه مهم جنگل‌های شمال ایران از نظر اکولوژیکی و اقتصادی است (Ahmadi et al., 2013, 2016, 2017). جنگل‌های هیرکانی شمال ایران حد نهایی پراکنش این گونه در شرق منطقه رویشی ایران- آناتولی است که از شرق اروپا شروع شده، قفقاز، شمال ترکیه و شمال ایران را در بر می‌گیرد (Yilmaz, 2010; Adel et al., 2014). این موقعیت اکوتونی، آن را نسبت به اختلالات طبیعی و انسانی مانند تغییر کاربری اراضی و گرم شدن جهانی حساس‌تر نموده (طالشی و همکاران، ۱۳۹۷) و لزوم توجه به حفاظت آن را نمایان می‌سازد. یکی از پیش‌نیازها و اقدامات مهم حفاظتی، شناسایی ویژگی‌های رویشگاه طبیعی این گونه و رفتارهای رشد و تولیدمثلی آن نسبت به متغیرهای اقلیمی، خاکی و توپوگرافی است. در مطالعه حاضر، پاسخ این گونه به متغیرهای تبیینی توپوگرافی با استفاده از مدل BRT مورد توجه قرار گرفت. عوامل محیطی نقش مهمی در

پراکنش گیاهان دارند و مشخص می‌نماید در هر مکانی کدام گونه یا گونه‌ها حضور پیدا می‌کنند (اردکانی، ۱۳۹۲؛ Steege and Zagt, 2002). درک اثر متقابل بین گیاهان و متغیرهای محیطی این امکان را فراهم می‌سازد که از آن به عنوان یک راهنمای در بهبود، حفظ و نگهداری پوشش گیاهی اکوسیستم‌های جنگلی کمک گرفت (Downing and Selkirk, 1993).

بر اساس نتایج به دست آمده، از میان متغیرهای توپوگرافی ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب بیشترین اثر را بر پراکنش گونه‌ی راش داشتند. این نتایج در تأیید نتایج طویلی و جعفری (Tavili and Jafari, 2009) بود که دریافتند عامل ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب با تأثیر بر میزان دما و رطوبت، عوامل عمده کنترل پراکنش گونه‌های گیاهی می‌باشند. همچنین بررسی شکل منحنی عکس العمل گونه‌های گیاهی نسبت به گردایان‌های محیطی و اینکه در یک رویشگاه معین حدود کمینه، بیشینه و بهینه آشیان بوم‌شناختی گونه گیاهی نسبت به گردایان‌های محیطی چگونه است، یکی از مسائل و موضوعات اساسی در علم اکولوژی می‌باشد. نتایج حاصل از منحنی پاسخ گونه‌ی راش نسبت به درصد شیب نشان می‌دهد در شیب‌های ۲۰ تا ۶۰ درصد بیشترین احتمال حضور این گونه وجود دارد. همچنین در ارتفاع حدود ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا بیشترین احتمال حضور را دارد. از نظر جهت جغرافیایی، بیشترین پراکنش گونه راش در منطقه موردمطالعه در جهت شمال و شرق است. این نتایج تأیید کننده مطالعات پایه انجام شده در جنگل‌های هیرکانی است که گونه راش را از نظر ارتفاع از سطح دریا، جزو گونه‌های مختص ارتفاعات میانی البرز ذکر کرده و می‌گویند رویشگاه طبیعی و انبوه آن از ۱۰۰۰ متر به بالا قرار دارد، ولی بسته به شرایط محلی و میکروکلیمایی نمونه‌های از آن به صورت جامعه تا حدود ۶۰۰ متر از سطح دریا دیده شود و تا ارتفاعات ۵۰۰ متری به صورت دسته‌ها و گروه‌های کوچک وجود دارد و به صورت تک درخت تا ۱۱۰ متری از سطح دریا نیز دیده شده است (مرمی مهاجر، ۱۳۸۴؛ Sagheb-Talebi et al., 2014). طالشی و همکاران (۱۳۹۷) نیز میانگین ارتفاع مطلوب برای گونه راش را در شرایط اقلیمی فعلی ۱۳۸۷ متر ذکر کرده‌اند اما کمینه و بیشینه حضور آن را به ترتیب در ارتفاع ۲۸۷ و ۲۵۷۸ متر از سطح دریا گزارش کرده‌اند. گانگراوغلو (Gungoroglu, 2015) در مطالعه دامنه پراکنش گونه راش شرقی در جنگل‌های شمال ترکیه (جنوب دریای سیاه) دامنه ارتفاعی مطلوب این گونه را در حدود ۵۹۴ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریا ذکر کرده ولی دامنه بهینه (بیش از ۷۰٪ پراکنش) این گونه را در حدود ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ ثبت نموده‌اند. ایشان همچنین از نظر جهت دامنه، به ترتیب جهت‌های شرقی، غربی و شمالی را به عنوان جهت‌های مطلوب پراکنش این گونه ذکر می‌کند. با این حال ایلماز (Yilmaz, 2010) شروع پراکنش گونه راش در

جنگل‌های جنوب ترکیه (شرق دریای مدیترانه) را از ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا گزارش کرده و از این جهت با نتایج تحقیق حاضر و مطالعات دیگر (طالشی و همکاران، ۱۳۹۷) همخوانی دارد.

نقشه‌ی مطلوبیت پراکنش گونه‌ی راش نشان می‌دهد بیشترین احتمال حضور این گونه در قسمت میان‌بند منطقه‌ی موردمطالعه واقع شده است. این موقعیت ارتفاعی بهویژه در استان مازندران با توجه به نتایج تحقیق طالشی و همکاران (۱۳۹۷) حتی در خوش‌بینانه‌ترین سناریوهای تغییر اقلیمی در آینده، تحت تأثیر قرارگرفته و در سال ۲۰۷۰ میلادی بیش از ۷۰ درصد رویشگاه‌های مطلوب خود در جنگل‌های هیرکانی را از دست خواهد داد. لذا با توجه به اهمیت و نقش اکولوژیکی جنگل‌های هیرکانی (تعدیل اقلیمی، حفاظت آب و خاک، فراهم نمودن زیستگاه و حفظ تنوع زیستی و گردشگری) و گونه راش به عنوان یکی از گونه‌های غالب و کلیدی این جنگل‌ها، توجه به شیوه‌های جنگل‌شناسی سازگار با تغییر اقلیم و طرح‌های حفاظت گونه راش منطبق بر تأثیرات تغییر اقلیم (عطایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ طالشی و همکاران، ۱۳۹۷) برای مقابله با این پدیده بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. به عنوان مثال انتظار می‌رود پایه‌های درختی که از طریق بذر رشد کرده‌اند دارای ساختار ژنتیکی مناسب‌تری برای مقابله با تنش‌های محیطی باشند (Yilmaz, 2010). همچنین می‌توان با انجام اقدامات تنکسازی و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، پایه‌های قوی‌تر و مقاوم‌تر به تنش‌های اقلیمی را پرورش داد.

پادداشت‌ها

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| [1] Species Distribution Models | [7] Learning rate |
| [2] Radiation Index | [8] Tree complexity |
| [3] Topographic Wetness Index | [9] Missing Data |
| [4] Plan Curvature index | [10] Outliers |
| [5] Profile curvature index | |
| [6] Boosted Regression Tree | |

منابع

- ابراری واجاری، ک. ۱۳۹۵. تعیین ارتباط فراوانی درختان با برخی عوامل محیطی در جنگل راش (مطالعه موردي: جنگل‌های راش سوادکوه -مازندران). مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۹(۴): ۶۹۴-۷۰۱.
- اردکانی، م. ح. ۱۳۹۲. اکولوژی. نشر دانشگاه تهران. چاپ پانزدهم. ۳۴۰ ص.
- حبشی، م.، حسینی، س.م.، محمدی، ج.، رحمانی، ر. ۱۳۸۶. تعیین الگوی پراکنش و ساختار در جنگل آمیخته شخصت کلا گرگان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۱): ۵۴-۵۵.
- جعفریان، ز.، کارگر، م. ۱۳۹۶. مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی در مرتع پلور، مازندران. بوم‌شناسی کاربردی، ۶(۱۹): ۴۱-۵۵.
- جعفری، ع.، علیپور، م.، عباسی، م.، سلطانی، ع. ۱۳۹۸. مدل‌سازی پراکنش گونه زالزالک در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش تحلیل آنتروپی بیشینه. محیط‌شناسی، ۴۵(۲): ۲۲۳-۲۳۵.
- فرهادی، پ.، سوسنی، ج.، عرفانی فرد، س.ی. ۱۳۹۶. تحلیل الگوی پراکنش مکانی گونه راش شرقی (*Fagus orientalis Lipsky*) در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از شاخص‌های زاویه‌ای (مطالعه موردي: جنگل‌های ناو اسلام گیلان). بوم‌شناسی کاربردی، ۶(۲): ۱-۱۳.
- ثاقب طالبی، خ.، ساجدی، ت.، یزدانیان، ف. ۱۳۸۴. نگاهی به جنگل‌های ایران. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مرتع کشور، ایران. ۴۵ صفحه.
- رحیمی فر، ع.، واحدبردی، ش.، بهرهمند، ع. ۱۳۹۰. معرفی و تهییه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. انجمن مهندسی آبیاری و آب. کرمان
- زارع چاهوکی، م.ع.، پیری صحرائگرد، ح.، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۲. مدل‌سازی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مرتع حوض سلطان قم با روش آنتروپی حداقل. مرتع، ۷(۳): ۲۱۲-۲۲۱.
- طلالشی، ح.، جلالی، س.، غ.، علوی، س.ج.، حسینی، س.م.، نعیمی، ب. ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه راش شرقی (*Fagus orientalis Lipsky*) در جنگل‌های هیرکانی ایران. جنگل ایران، ۱۰(۲): ۲۵۱-۲۶۶.
- عطایی، م.، توانا، م.، پارسا، ل. ۱۳۹۳. تحلیل آب و هوای استان مازندران و پهنه‌بندی اقلیمی استان با استفاده از نرم‌افزار GIS ، دومین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط‌زیست پایدار، همدان، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، دانشکده شهید مفتح.
- مرоی مهاجر، م.ر. ۱۳۸۴. جنگل‌شناسی و پژوهش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول، ۴۰ صفحه
- نوری، ز.، زبیری، م.، فقهی، ج.، مردی مهاجر، م.ر. ۱۳۹۲. بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان و ساختار در راشستان‌های طبیعی شمال ایران (مطالعه موردي: بخش گرازین جنگل خیرود). محیط‌زیست طبیعی، ۶(۱): ۱۱۳-۱۲۵.

- Adel, M.N., Pourbabaei, H., Dey, D.C. 2014. Ecological species group Environmental factors Relationships in unharvested beech forests in the north of Iran. *Ecological Engineering*, 69:1-7.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksaraei, M.T., Aertsen, W. 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(3): 431-440.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J. 2016. Generalized height-diameter models for *Fagus orientalis* Lipsky in Hyrcanian forest, Iran. *Journal of forest science*, 62(9): 413-421.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksaraei, M.T. 2017. Constructing site quality curves and productivity assessment for uneven-aged and mixed stands of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Hyrcanian forest, Iran. *Forest science and technology*, 13(1), 41-46.
- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari, M., Nouri, Z. 2019. The response of English yew (*Taxus baccata* L.) to climate change in the Caspian Hyrcanian Mixed Forest ecoregion. *Regional Environmental Change*, 19(5): 1495-1506.
- Alaska Satelite Facility. 2010. Available online: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>.
- Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223–1232.
- Aragon, C.F., Albert, M.J., Nez-Benavides, L.G., Luzuriaga, A.L., Escudero, A.N. 2007. Environmental scales on the reproduction of a Gypsophyte: A hierarchical approach. *J. Bot.* 99: 519-527.
- Austin, M.P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modeling*, 157: 101–118.
- Carmel, Y., Kadmon, R. 1999. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, 145: 243-254.
- Dobrowski, S.Z. 2011. A Climatic Basis for Microrefugia: The Influence of Terrain on Climate. *Global Change Biology*, 17: 1022-1035.
- Downing, A.J. Selkirk, P.M. 1993. Bryophytes on the calcareous soils of Mungo National Park, an arid area of southern central Australia, *Great Basin Naturalist*: 53: No. 1, Article 3.
- Duan, R.Y., Kong, X.Q., Huang, M.Y., Fan, W.Y., Wang, Z.G. 2014. The Predictive Performance and Stability of Six Species Distribution Models. *PLoS ONE* 9(11): e112764.

- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Echography*, 29: 129-151.
- Elith, J., Leathwick, J.R. Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77 (4): 802–813.
- Enright, N.J., Miller, B.P., Akhter, R. 2005. Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar national park, Sindh, Pakistan. *Journal of Arid Environment*, 61: 397-418.
- Fielding, A.H., Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1): 38-49.
- Fourcade, Y., Engler, J.O., Rodder D., Secondi, J. 2014. Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *PLoS ONE* 9(5): e97122.
- Giovanell, J.F., Alexandrino, J. 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: how the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. *Ecological Modeling*, 221: 215-224.
- Goldi, A. 2001. Relationships between aspect and plant distribution on calcareous soils near Missoula, Montana. *J. Northwest Sci.* 75: 3. 197-203.
- Grabs, T., Seibert, J., Bishop, K., Laudon, H. 2009. Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. *J. Hydrol.* 373: 15-23.
- Gungoroglu C. 2015. Spatial distribution analysis of Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Buyukduz research forest. 10th International Beech Symposium, Kastamonu, Turkey, September, 1-6, 2015.
- Moeslund J.E., Arge, L., Bøcher, P.K., Dalgaard, T., Ejrnæs, R., Odgaard, M.V., Svenning, J.C. 2013. Topographically controlled soil moisture drives plant diversity patterns within grasslands. *Biodiversity Conservation*, doi: 10.1007/s10531-013-0442-3.
- Remya, K., Ramachandran, A., Jayakumar, S. 2015. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. Using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological Engineering*, 82: 184-188.
- Shabani, F., Kumar, L., Ahmadi, M. 2018. Assessing Accuracy Methods of Species Distribution Models: AUC, Specificity, Sensitivity and the True Skill Statistic. *Acta Scientiarum Human and Social Sciences*, 18(1): 7-17.
- Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., Pourhashemi, M. 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Netherlands: Springer Publishing.

- Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H., Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138: 335-356.
- Solon, J., Degorski, M., Roo-Zielinska, E. 2007. Vegetation response to a topographical-soil gradient. *J. Catena*, 71: 309-320.
- Sorensen, R., Zinko, U., Seibert, J. 2005. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observation. *Hydrology and Earth System Sciences*. 10: 101-112.
- Steege, H & Zagt, R. 2002. Density and diversity. *Nature* 417: 698-699.
- Tavili, A., Jafari, M. 2009. Interrelations between plants and environmental variables. *International Journal of Environmental Research*, 3(2): 239-246. DOI: 10.22059/ijer.2009.51.
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M.D., Thuiller, C.W. 2016. Package ‘biomod2’. Ensemble platform for species distribution modeling.
- Welsch, D.L., Kroll, C.N., Mc Donnell, J.J., Burns, D.A. 2001. Topographic controls on the chemistry of subsurface storm flow, *Hydrology Processes*, 15: 10. 1925-1938.
- Western, A.W. 2004. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 286: 1-4. 113-134.
- Whelan, M.J., and Gandolfi, C. 2002. Modeling of spatial controls on denitrification at the landscape scale. *Hydrology Processes*, 16: 7. 1437-1450.
- Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R, Chapman and Hall/CRC, USA. 410 p.
- Yilmaz, M. 2010. Is there a Future for the Isolated Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests in Southern Turkey? *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6: 111-114.
- Yimer, F., Ledin, S., Abdelkadir, A. 2006. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 232: 90-99.