



دانشگاه گورگان، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه ملج (*Ulmus glabra* Huds.) در جنگل خیرود نوشهر

عاطفه محمدی^۱، * سید جلیل علوی^۲ و سید محسن حسینی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس،

^۲ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس،

^۳ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: گونه ملج یکی از گونه‌های با ارزش جنگل‌های شمال کشور می‌باشد که به دلیل دخالت بی‌رویه انسان و شیوع بیماری مرگ نارون در معرض خطر انقراض قرار دارد و باید به نحو شایسته‌ای از نابودی آن جلوگیری گردد، بنابراین حفظ و احیاء این گونه با ارزش امری ضروری است. یکی از مهم‌ترین ارکان مدیریتی در خصوص حفاظت و احیاء گونه‌های با ارزش، شناسایی رویشگاه‌های مطلوب آن گونه می‌باشد. مدل‌های پراکنش گونه‌ای یک الگوریتم تحلیلی- آماری به منظور شناخت روابط بین پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی می‌باشند که برای تعیین رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این پژوهش پیش‌بینی حضور گونه ملج در جنگل خیرود نوشهر با استفاده از مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه با استفاده از بهترین مدل است.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از دو روش مدل‌سازی متداول در تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه، یعنی مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته و نقشه خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی حاصل از مدل‌های رقومی زمین با اندازه تفکیک ۱۲/۵ متر، نقشه مطلوبیت رویشگاه ملج در جنگل خیرود نوشهر تهیه گردید. با استفاده از روش نمونه‌برداری بدون قطعه‌نمونه و اطلاعات آماربرداری، تعداد ۸۷۳ پایه ملج ثبت شد. از آنجا که توپوگرافی یکی از فاکتورهای بسیار مهم در پراکنش گونه‌های گیاهی می‌باشد، خصوصیات اولیه (شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، انحنای سطح زمین، شامل انحنای مسطح، انحنای پروفیلی و انحنای تانژانتی) و ثانویه (شاخص‌های رطوبت توپوگرافی، توان جریان، تابشی و حرارتی) توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی زمین با دقت ارتفاعی ۱۲/۵ متر محاسبه گردید. با توجه به موجود بودن نقشه خاک شناسی، حاصلخیزی خاک و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، ارزش هر یک از این مشخصه‌های محیطی فوق در محل پایه ملج استخراج گردید. در مرحله بعد، با استفاده از دو روش مدل‌سازی خطی و جمعی تعمیم‌یافته، احتمال حضور گونه ملج در ارتباط با متغیرهای محیطی ذکر شده، مدل‌سازی گردید.

*مسئول مکاتبه: j.alavi@modares.ac.ir

یافته‌ها: ارزیابی مدل‌های مورد بررسی با استفاده از معیارهای سطح زیر منحنی، کاپا و آماره مهارت درست، نشان داد که مدل جمعی تعمیم‌یافته با مقدار سطح زیر منحنی برابر $0/78$ ، مقدار کاپا برابر $0/44$ و مقدار TSS برابر $0/44$ برای عملکرد بهتری است. بر اساس ارزیابی اهمیت نسبی متغیرها در مدل جمعی تعمیم‌یافته، ارتفاع از سطح دریا و عمق دره، مهم‌ترین متغیرها در تعیین رویشگاه گونه ملج می‌باشند. مطالعه حاضر نشان داد که حدود ۶۲ درصد منطقه مورد مطالعه، دارای پتانسیل مطلوب برای گونه ملج می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به‌علت شرایط رطوبتی، حرارتی، نوری و توپوگرافی مناسب موجود در میان بند و همچنین پتانسیل بالای این منطقه جهت حضور گونه ملج، این منطقه بهترین رویشگاه برای این گونه می‌باشد. نتایج و روش‌های به‌کار گرفته در این پژوهش می‌تواند در جهت کمک به تصمیمات مدیریتی در جهت حفاظت و احیاء گونه با ارزش ملج و همچنین سایر گونه‌های نادر و در معرض خطر، مورد استفاده واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: رویشگاه‌های مطلوب، متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی، مدل خطی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته

مقدمه

در خصوص شناخت روابط بین پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی، مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۱ (SDM) یکی از الگوریتم‌های تحلیلی است که می‌تواند بر مبنای همبستگی آماری میان پراکنش فعلی گونه‌ها در محیط و متغیرهای محیطی، دامنه جغرافیایی پراکنش گونه‌های گیاهی را مشخص کنند (۱۱). اساس کار این الگوریتم‌ها بر مبنای همبستگی آماری میان پراکنش فعلی گونه‌ها در محیط و متغیرهای محیطی استوار است (۷).

در سال‌های اخیر انواع روش‌های مدل‌سازی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی، توسعه یافته است. مدل‌های آماری پراکنش گونه‌ای همانند مدل خطی تعمیم‌یافته^۲ (GLM) و مدل جمعی تعمیم‌یافته^۳ (GAM) معمولاً به‌عنوان یک ابزار در تصمیم‌گیری برای حفاظت از تنوع زیستی استفاده می‌شود. این روش‌ها توانایی بوم‌شناسان را در مدل‌سازی عکس‌العمل گونه‌ها نسبت به طیف وسیعی از داده‌های

ثبات و پایداری بوم‌سازگان‌ها نیازمند شناخت روابط بین پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی است. عوامل محیطی غالب یک منطقه باعث محدود شدن و یا گسترش استقرار یک گونه گیاهی خاص می‌شود که بیانگر رابطه تنگاتنگ میان عوامل محیطی و پوشش گیاهی است (۱۲). رشد سریع جمعیت و فعالیت‌های انسانی باعث آسیب قابل توجهی به محیط زیست و تنوع زیستی شده است (۱۸). از طرفی استفاده از حداقل منابع مالی موجود برای حفاظت از گونه‌ها، زیستگاه‌ها و پوشش گیاهی یک هدف مدیریتی مهم محسوب می‌شود، از این رو وظیفه اصلی، تعیین رویشگاه مطلوب گونه‌ای است که نیازمند حفاظت می‌باشد، که در راستای اولویت‌بندی مناطق حفاظتی، شناسایی رویشگاه با پتانسیل بالا، به‌عنوان یک مسئله اصلی نیازمند به توجه ویژه است (۱۹).

1- Species Distribution Model
2- Generalized Linear Model
3- Generalized Additive Models

تغییرات در توان تولید راش به شمار می‌روند. بورک و بیات (۲۰۱۵) به ارزیابی تهیه نقشه غنای گونه‌ای با استفاده از متغیرهای توپوگرافی، متغیرهای مرتبط با اکوفیزیولوژیکی و متغیرهای استخراج شده از تصاویر لندست ۸، در جنگل‌های بالابند هیرکانی پرداختند (۱۰). نتایج نشان داد که به‌طور کلی، غنای گونه‌ای در قطعه نمونه‌هایی که در آن‌گونه ممرز، غالب بوده است بیشتر از قطعه نمونه‌های غلبه یافته با گونه راش می‌باشد. از جمله مطالعات انجام‌شده در رابطه با گونه ملج می‌توان به بررسی پراکنش مکانی گونه ملج در ارتباط با عوامل فیزیوگرافی که توسط علوی و همکاران (۲۰۰۷)، تأثیر برخی ویژگی‌های خاک بر پراکنش مکانی گونه ملج در جنگل‌های شمال که توسط زاهدی امیری و همکاران (۲۰۰۸) و همچنین بررسی وضعیت تغذیه‌ای درختان ملج که توسط رحمانی و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، اشاره کرد (۳، ۳۰، ۲۲). مرور منابع موجود، نشان می‌دهد که هر چند مدل جمعی تعمیم یافته عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی تعمیم یافته دارد، با این وجود هیچ‌گونه مطالعه‌ای در خصوص تعیین مطلوبیت رویشگاه‌های گونه‌های درختی جنگل‌های با ارزش هیرکانی با استفاده از روش‌های مدل‌سازی متداول، صورت نگرفته است.

روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی از جمله روش‌هایی است که با استفاده از داده‌های متغیرهای محیطی، رویشگاه مناسب پراکنش یک گونه را تعیین می‌کند و با تمرکز کار بر روی مناطق با پتانسیل بالا در منطقه اجرایی از صرف هزینه‌های بالا در مناطقی که پتانسیل اندکی دارند، جلوگیری می‌نماید و امکان موفقیت طرح را بالا می‌برد (۵). معمولاً گونه‌های گیاهی به دلایل مختلفی همانند بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر کاربری، تغییر اقلیم و غیره نابود و یا در معرض انقراض واقع می‌شوند. در

محیطی مختلف افزایش داده است. به‌علت پیچیدگی روابط بین عوامل محیطی و مدل‌های پراکنش گونه و با توجه به متفاوت بودن نتایج حاصل از استفاده از مدل‌های متفاوت، دانشمندان از انواع مدل‌ها برای مدل‌سازی گونه استفاده می‌کنند (۲۹).

آرتسن و همکاران (۲۰۱۰) برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه گونه‌ها در جنگل‌های کوهستانی از مدل‌های مختلف رگرسیون خطی چندگانه^۱ (MLP)، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون^۲ (CART)، مدل جمعی تعمیم‌یافته، شبکه‌های عصبی^۳ (ANN) و درخت رگرسیون تقویت‌شده^۴ (BRT) استفاده کردند (۱). نتایج نشان داد مدل GAM دارای بهترین عملکرد می‌باشد. روسیر (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌های GAM و GLM به پیش‌بینی ویژگی کارکردی گونه‌های گیاهی در سوئیس پرداخت (۲۳). برگارد و بلویس (۲۰۱۴)، برای مدل‌سازی پراکنش ۱۲۸ گونه گیاهی بومی در کبک کانادا از چهار مدل GAM، BRT، GLM و جنگل تصادفی^۵ (RF) استفاده کردند (۸). نتایج نشان داد که مدل RF دارای بهترین عملکرد بوده است. در پژوهشی که توسط پایدالو و همکاران (۲۰۱۶) در فرانسه و با کمک مدل جمعی تعمیم‌یافته انجام گرفت، میانگین سالانه دما، محدودیت آبی، اسیدیته خاک، نسبت کربن به نیتروژن و شرایط غرقابی، بیشترین اثر را بر پراکنش گونه‌های درختی داشته است (۲۱). احمدی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته به ارزیابی توان تولیدی رویشگاه راش شرقی در جنگل دانشگاه تربیت مدرس پرداختند (۲). نتایج نشان داد که ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب مهم‌ترین عوامل در

- 1- Multiple Linear Regression
- 2- Classification And Regression Tree
- 3- Artificial Neural Network
- 4- Boosted Regression Tree
- 5- Random Forest

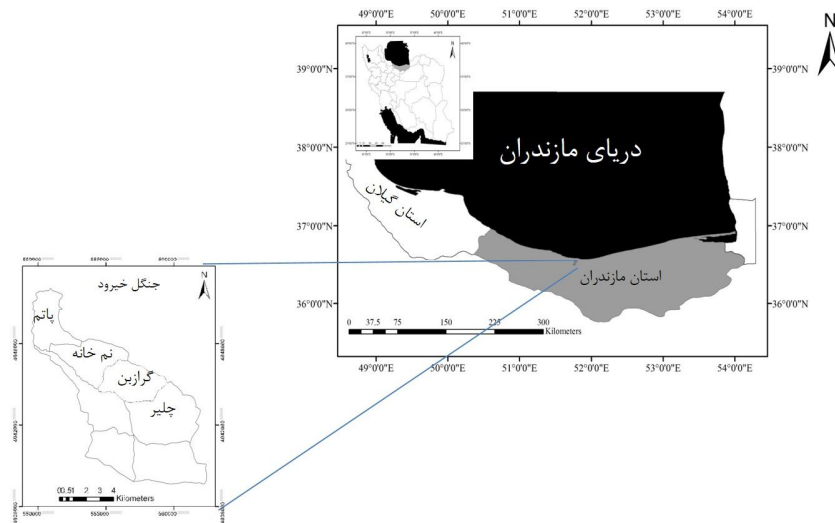
ویژه‌ای برخوردار است تا بتوان موجودیت این گونه را حفظ کرد. از آنجا که هیچ‌گونه مطالعه‌ای در خصوص تعیین مطلوبیت رویشگاه‌های گونه‌های مهم ناحیه رویشی هیرکانی صورت نگرفته است، هدف از مطالعه حاضر پیش‌بینی حضور گونه ملج با استفاده از دو روش مدل‌سازی GLM و GAM و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه این گونه بسیار باارزش می‌باشد. تعیین این‌که کدام یک از متغیرهای مورد بررسی، بیشترین سهم را در پراکنش گونه ملج داشته‌اند، از اهداف دیگر مطالعه حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران واقع در خیروود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر است. مساحت کل منطقه حدود ۸۰۰۰ هکتار می‌باشد که بین ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مطالعه حاضر در چهار بخش پاتم، نم‌خانه، گرازبن و چلیز صورت گرفته است که حداقل و حداکثر ارتفاع برای پاتم ۱۰-۹۳۴، نم‌خانه ۳۵۰-۱۳۵۲، گرازبن ۸۴۰-۱۳۵۰ و چلیز ۷۵۰-۱۷۵۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). مقدار بارندگی سالانه در منطقه خیروود ۱۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد که حداقل آن مربوط به تیرماه و حداکثر آن مربوط به مهرماه است. ماه مرداد با میانگین دمای ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه سال و ماه بهمن با میانگین دمای ۲/۶ درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال می‌باشند. میانگین دمای سالانه برابر با ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است (۳).

پیدایش گونه‌ها و همچنین در تثبیت و پایداری آن‌ها در طبیعت، شرایط مساعد یا نامساعد محیط همیشه نقش اساسی را ایفا می‌نماید. مکانیسم یا دینامیسم پیدایش گونه‌ها هر چه باشد، گسترش جغرافیائی آن‌ها در آغاز پیدایش محدود به همان رویشگاه اولیه است. گونه‌های گیاهی متعددی وجود دارند که شرایط فعلی رویشگاه آن‌ها با نیازها و خواسته‌های آن‌ها تناسب چندانی ندارد. این امر به جایگزینی آن‌ها در گذشته در آن محل‌ها مربوط است؛ به عبارت دیگر، شاید محیط‌های نامناسب فعلی متناسب با نیازهای آن گیاهان می‌بودند. به هر حال، این قبیل گیاهان در آستانه ناپایداری شرایط زیستی قرار دارند و اگر با دخل و تصرف انسان و یا با برداشت بی‌رویه از بین بروند دیگر احتمال روئیدن آن‌ها در محل فعلی وجود نخواهد داشت (۱۳). به همین دلیل لازم است که منابع با ارزش موجود از این گونه‌های در معرض خطر انقراض شناسایی و تحت مدیریت، حفاظت و حمایت قرار گیرند.

گونه ملج (*Ulmus glabra* Hudson.) یکی از گونه‌های با ارزش جنگل‌های شمال است که علاوه‌بر ارزش اقتصادی، از گونه‌های مهم بوم‌سازگان جنگل‌های شمال ایران محسوب می‌شود که توسط انجمن گیاه شناسان فرانسه در فهرست درختان نوبل نام‌گذاری شده است که در اثر دخالت‌های بی‌رویه انسان و شیوع بیماری مرگ نارون در معرض انقراض قرار گرفته است. این بیماری باعث مرگ سریع پایه‌های ملج شده و امروزه اغلب پایه‌های ملج به این بیماری مبتلا شده‌اند. با این وصف، بر اساس شاخص IUCN گونه ملج در دنیا در ردیف گونه‌های در معرض خطر قرار دارد (۳). حفظ پایه‌های این گونه در جنگل‌های طبیعی و شناسایی رویشگاه‌های مطلوب این گونه، از اهمیت



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Study area.

نقشه‌های حاصلخیزی خاک، مشخصات خاک و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، این متغیرها نیز وارد مدل گردیدند. خصوصیات اولیه توپوگرافی شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، انحنا سطح زمین، شامل انحنا مسطح، انحنا پروفیلی و انحنا مماسی می‌باشند. مشخصات ثانویه توپوگرافی از دو و یا بیش از دو ویژگی اولیه DEM محاسبه می‌شوند. خصوصیات ثانویه شامل شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان آب و شاخص تابش خورشید می‌باشند (۱۴). نقشه مشخصات اولیه و ثانویه با استفاده از نقشه DEM $12/5 \times 12/5$ متر در نرم‌افزار SAGA 2.3.1 تهیه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

نقشه‌های رقومی مربوط به متغیرهای محیطی و اطلاعات مکانی پراکنش گونه‌های گیاهی دو ورودی مورد نیاز مدل برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای می‌باشند. در مطالعه حاضر از دو الگوریتم مدل‌سازی حضور-عدم حضور شامل مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته استفاده شد. مدل خطی تعمیم‌یافته، یک

آماده‌سازی داده‌های حضور و متغیرهای محیطی:

قطع پایه‌های ملج (قاچاق چوب) و شیوع بیماری مرگ نارون در دهه‌های اخیر، منجر به حذف بسیاری از پایه‌های ملج، از عرصه جنگل گردیده و کاهش چشم‌گیر تراکم آن را در پی داشته است. از آنجایی که پایه‌های ملج به صورت پراکنده در منطقه حضور دارند و از تراکم پایینی برخوردارند، برای ثبت پایه‌های باقیمانده ملج، روش انتخابی استفاده گردید و با این روش تعداد ۸۷۳ پایه ملج ثبت شد. با توجه به ناکافی بودن تعداد داده غیاب (۱۹۰ نمونه) در مطالعه حاضر، با استفاده از بسته mopa^۱ در نرم‌افزار آماري R 3.3.2 تعداد حدود ۶۰۰ داده شبه غیاب به صورت تصادفی در منطقه مورد مطالعه تولید شد (۲۵). شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیرهای محیطی هستند، که در اندازه‌گیری و تهیه نقشه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه حاضر برای مدل‌سازی پراکنش گونه ملج از داده‌های حضور و عدم حضور و همچنین متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی استفاده گردید. با توجه به موجود بودن

1- Modeling with Pseudo-Absences

کاپا برابر یک است، به معنی این‌که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی وجود دارد. در مقادیر صفر احتمال تصادفی یا غیر تصادفی بودن مقادیر واقعی و پیش‌بینی برابر است. در نهایت نقشه مطلوبیت روی‌شگاه گونه ملج بر اساس مدل مناسب‌تر به‌عنوان خروجی کار ارائه می‌شود. به‌منظور تهیه نقشه مطلوبیت گونه ملج از شاخص پتانسیل حضور (جدول ۲) استفاده می‌گردد (۲۴). در مطالعه حاضر، تمامی تجزیه تحلیل آماری در نرم‌افزار آماری R 3.3.2 انجام گرفت (۲۵).

نتایج و بحث

بررسی هم خطی بین متغیرهای محیطی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و همبستگی اسپیرمن به‌عنوان معیار شباهت نشان داد که همبستگی قوی بین متغیرهای شبکه کانال^۶ و ارتفاع از سطح دریا، متغیرهای عامل طول و تندی شیب^۷ (LS) و درصد شیب و متغیرهای عمق دره^۸ و موقعیت نسبی دامنه^۹ و انحنا^{۱۰} مسطح و انحنا^{۱۱} مماسی وجود دارد. با توجه به شکل ۲ و دانش کارشناسی تصمیم گرفته شد که متغیرهای شبکه کانال، LS، انحنا^{۱۲} مماسی و فاصله عمودی حذف و مدل‌سازی با متغیرهای باقیمانده صورت گیرد (شکل ۲).

مدل پارامتری و بسط مدل‌های خطی می‌باشد. مدل خطی تعمیم‌یافته برای مواقعی که مشاهدات به‌طور نرمال توزیع نیافته‌اند و یا جایی که سایر روش‌های مدل رگرسیون مناسب نمی‌باشند، ابداع شد. مدل جمعی تعمیم‌یافته یک مدل ناپارامتری و بسط مدل خطی تعمیم‌یافته می‌باشد. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته زمانی مفید هستند که ارتباط بین گونه‌ها و متغیرهای محیطی دارای یک فرم پیچیده‌تر نسبت به مدل‌های خطی تعمیم‌یافته باشد (۲۹). برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی دو مدل، داده‌های در دسترس (حضور و عدم حضور) به‌صورت تصادفی به دو قسمت تقسیم شد، ۷۵ درصد داده‌ها (حضور و شبه غیاب) برای انجام فرآیند مدل‌سازی و ۲۵ درصد باقیمانده آن برای انجام اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت (۲۶). لازم به ذکر است که این روش ۱۰۰ بار تکرار شد. برای ارزیابی دقت و صحت مدل‌ها از معیارهای سطح زیر منحنی^۱ (AUC) و آماره مهارت درست^۲ (TSS) و ضریب کاپا استفاده و مناسب‌ترین مدل بر اساس این معیارها انتخاب شد. معیار سطح زیر منحنی ناشی از منحنی مشخصه عملکرد پذیرنده^۳ (ROC) است. این منحنی بر اساس حساسیت^۴ نسبت به ویژگی^۵ رسم می‌شود. ارزش AUC پیشنهادی برای طبقه‌بندی دقت مدل با استفاده از مساحت AUC در جدول ۱ ذکر شده است (۲۸). TSS نیز از فرمول (Sensitivity + specificity - 1) محاسبه می‌گردد. هر چه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد عملکرد مدل بهتر است. ضریب کاپا میزان توافق مقادیر مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و برای محاسبه آن از ماتریس خطا استفاده می‌شود. حداکثر مقدار

6- Channel Network
7- Length and Steepness Factor
8- Valley depth
9- Relative slope position

1- Area Under Curve
2- True Skill Statistic
3- Receiver Operating Characteristic
4- Sensitivity
5- Specificity

جدول ۱- ارزش AUC پیشنهادی برای طبقه‌بندی دقت مدل.

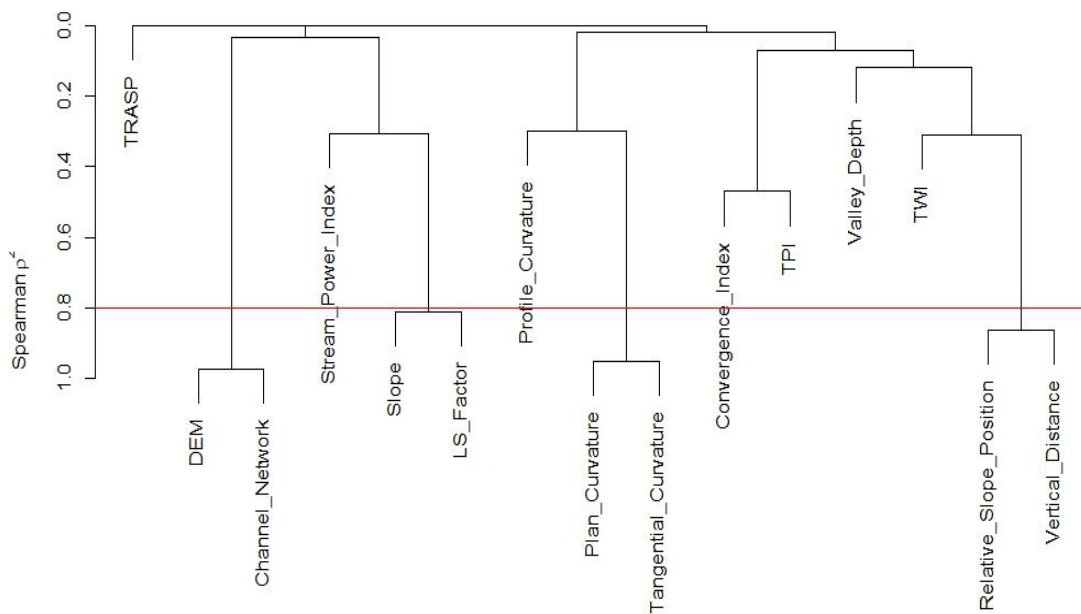
Table 1. AUC value proposed for model accuracy classification.

دقت مدل Model accuracy	مقدار سطح زیر منحنی AUC value
عالی (excellent)	0 - 0.9
خیلی خوب (very good)	0.8 - 0.9
خوب (good)	0.7 - 0.8
متوسط (mean)	0.6 - 0.7
پائین (low)	0.5 - 0.6

جدول ۲- طبقه‌بندی پتانسیل رویشگاه.

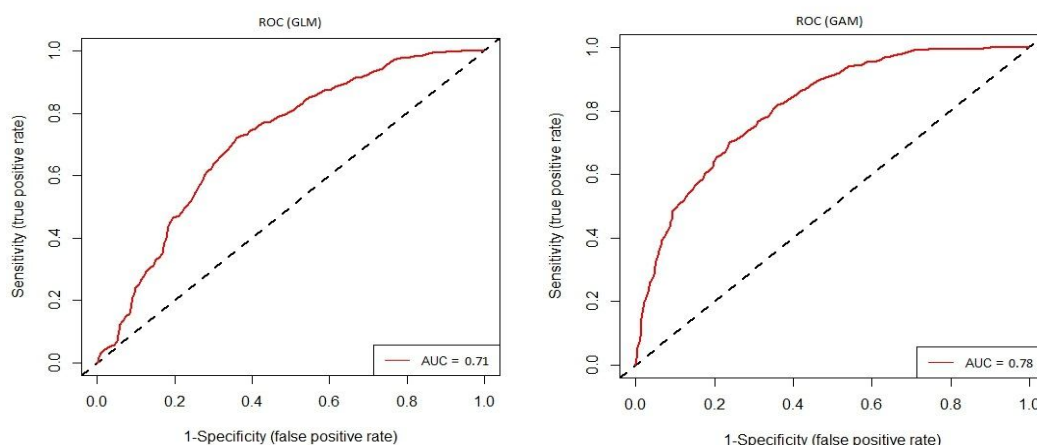
Table 2. Classification of habitat potential.

پتانسیل Potential	احتمال حضور گونه Presence probability
خیلی بالا (Very high)	> 0.7
بالا (High)	0.5 - 0.7
متوسط (Mean)	0.3 - 0.5
پائین (Low)	0.1 - 0.3
عدم پتانسیل (Non potential)	< 0.1



شکل ۲- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای متغیرهای محیطی.

Figure 2. The cluster analysis of environment variables.



شکل ۳- منحنی ROC برای مدل‌های GAM و GLM.

Figure 3. The ROC curves for GAM and GLM models.

متغیر وابسته و کشف روابط غیرخطی بین متغیر وابسته و مجموعه متغیرهای تبیینی نسبت به مدل‌های خطی تعمیم‌یافته توانمندتر می‌باشند (۲۹). به علت عملکرد بهتر مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته برای مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه ملج، تعیین اهمیت نسبی متغیرهای محیطی بر پراکنش این گونه و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه ملج با استفاده از این مدل صورت گرفته است.

نتایج حاصل در مطالعه حاضر نشان داد که در مقایسه عملکرد دو مدل خطی و جمعی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته با مقدار AUC برابر ۰/۸، ضریب کاپا برابر ۰/۴۴ و TSS برابر ۰/۴۴ دارای عملکرد بهتری برای پیش‌بینی پراکنش گونه ملج می‌باشد که با پژوهش‌های آرتسن و همکاران (۲۰۱۰)، مطابقت دارد (۱). در واقع مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به علت به حداکثر رساندن کیفیت پیش‌بینی

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته بر اساس اعتبارسنجی متقابل.

Table 3. Evaluation measures for GLM and GAM models based on cross validation.

ضریب کاپا Kappa	آماره مهارت درست TSS	سطح زیر منحنی AUC	معیارها Criteria
0.35	0.35	0.71	مدل خطی تعمیم‌یافته Generalized Linear Model
0.44	0.44	0.78	مدل جمعی تعمیم‌یافته Generalized Additive Model

این پژوهش با نتایج پژوهش روسیر (۲۰۱۱) و احمدی و همکاران (۲۰۱۵) که در مطالعه خود ارتفاع از سطح دریا را به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر حضور و فراوانی گونه‌ها معرفی کرده‌اند، همخوانی دارد (۲، ۲۳). طبق نمودار حضور گونه ملج بر اساس ارتفاع از سطح دریا مشاهده شد که این گونه در

در ارزیابی اهمیت نسبی متغیرها در پراکنش گونه ملج ارتفاع از سطح دریا دارای بیشترین تأثیر بر روی مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای می‌باشد و متغیرهای عمق دره، زمین‌شناسی، تیپ خاک، شاخص تابش خورشیدی و شاخص موقعیت توپوگرافی بعد از ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیرها می‌باشند. نتایج

خشک‌تر می‌باشند (۶). از آنجایی که گونه ملج، محیط‌های خاکی خنک و هوای مرطوب را بیشتر می‌پسندد (۳۰)، در جهت‌های شمالی بیشترین احتمال حضور را دارد.

عمق دره که بر حسب فاصله عمودی تا شبکه کانال و آبراهه، محاسبه می‌شود، در منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۲۲۵ متر تغییر می‌نماید. مقادیر بالاتر، نشان‌دهنده دره‌های عمیق می‌باشد. رابطه بین توپوگرافی، درجه حرارت اندک و آسیب به جنگل در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که موقعیت‌های پایین توپوگرافی، بیشترین حساسیت را به آسیب یخبندان دارند. مناطق واقع شده در موقعیت‌های پایین توپوگرافی به‌عنوان زهکش هوای سرد عمل می‌نمایند و در معرض انباشت هوای سرد می‌باشند. زمانی که هواد سرد، نشست نماید اغلب منتج به تشکیل گودال‌های یخبندان می‌شوند که باعث آسیب به گونه‌های مختلف از جمله گونه ملج گردد (۱۷). به همین دلیل گونه ملج از حضور در دره‌های عمیق اجتناب می‌نماید. از طرف دیگر، با توجه به نیاز نوری زیاد گونه ملج، با توجه به این نور کمتری به اعماق دره‌ها می‌رسد، این‌گونه در رقابت با گونه‌های دیگر مغلوب گردیده و احتمال حضور آن کاهش می‌یابد (۳).

حضور ملج نسبت به شاخص موقعیت توپوگرافی نشان داد که در دره‌ها و دامنه‌ها حضور گونه ملج بیشتر بوده و در یال‌ها حضور این‌گونه کمترین می‌باشد. در روی یال‌ها معمولاً دریافت نور و انرژی بیشتر، وزش شدید باد، بیرون زدگی‌های سنگی و کم عمق بودن خاک، محیط نامساعدی را تشکیل می‌دهند؛ در ضمن این مناطق تقریباً خشک بوده و تغذیه آبی در آن‌ها ضعیف است (۳) که مجموع این عوامل باعث کم شدن احتمال حضور گونه ملج

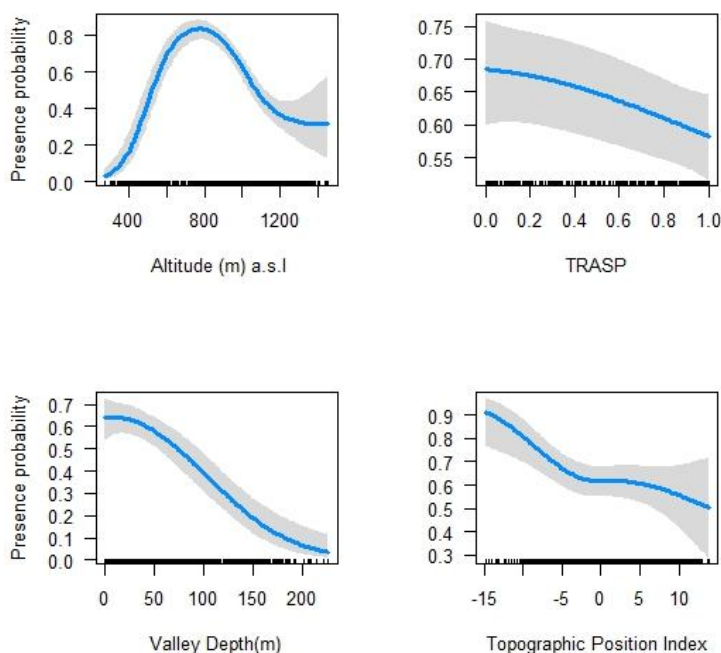
ارتفاعات میان بند دارای بیشترین حضور است (شکل ۴). علوی و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی تعداد پایه‌های ملج در رابطه با طبقات ارتفاعی، ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر را مناسب‌ترین دامنه ارتفاعی برای گونه ملج دانستند که تأیید کننده نتایج مطالعه حاضر است (۳).

منحنی پاسخ گونه ملج نسبت به خاک نشان می‌دهد که هرچند این‌گونه در خاک‌هایی با شرایط مختلف حضور دارد، اما در خاک‌هایی که در آن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم زیاد و زهکشی خاک مناسب می‌باشد، بیشترین حضور را دارد. بلندیان (۱۹۹۹) اشاره می‌نماید که گونه ملج احتیاج به خاک‌هایی با حاصلخیزی زیاد و عمیق با تهویه مناسب دارد (۹). ودل و لانگ (۱۹۶۰) پراکنش گونه ملج را در ارتباط با خاک مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که ملج بر روی خاک‌های غیر اسیدی که عمیق و خاکی غنی باشد، مخصوصاً خاک‌های غنی از نیتروژن، دارای بهترین رشد است (۲۷)، که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

عکس‌العمل گونه ملج نسبت به شاخص تابش خورشیدی که معیاری از جهت جغرافیایی می‌باشد، نشان می‌دهد که بیشترین احتمال حضور گونه ملج در دامنه‌های شمالی و شمال شرقی می‌باشد و در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی کمترین احتمال حضور را دارد. در نیمکره شمالی دامنه‌های مشرف به سمت جنوب و غرب به‌علت طولانی‌تر بودن زمان بهره‌گیری از تابش خورشید و تابیدن آن به‌صورت عمودی بر سطح خاک، در مقایسه با دامنه‌های مشرف به شمال، مقدار نور مستقیم و انرژی حرارتی بیشتری دریافت می‌نمایند (۳). اسلاندر و همکاران (۲۰۰۳) اشاره می‌کنند که دامنه‌های رو به جنوب ممکن است تا ۶ برابر تابش خورشیدی بیشتری نسبت به دامنه‌های رو به شمال دریافت نمایند و بنابراین گرمتر و

است (۱۷). از طرفی این گونه در خاک‌های آبرفتی حاصلخیز در طول رودخانه‌های پائینی و حاشیه باتلاق‌ها کمتر حضور می‌یابد و نیازمند خاک‌های با زهکشی مناسب هستند (۱۵)؛ که نتایج مطالعه حاضر تأیید کننده مطالعه سایر پژوهشگران می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به‌علت شرایط رطوبتی، حرارتی، نوری و توپوگرافی مناسب موجود در میان بند و همچنین پتانسیل بالای این منطقه جهت حضور گونه ملج، این منطقه بهترین رویشگاه برای این گونه می‌باشد.

می‌گردد. تغییرات ارتفاع و پستی و بلندی‌ها از این جهت که می‌توانند بر درجه حرارت و مقدار رطوبت تأثیر مستقیم داشته باشند دارای اهمیت فراوان است. افزایش ارتفاع با کاهش دما، افزایش شدت نور و افزایش شدت وزش باد همراه است. این تغییرات همراه با کاهش درجه حرارت بر مقدار رطوبت تأثیر می‌گذارند (۴). گونه ملج از نظر بوم‌شناختی، درختی است که به شدت وابسته به رطوبت است، به طوری که اغلب رویشگاه‌های آن در نزدیک یک سفره آبی قرار دارند و بهترین رویشگاه این گونه، دره‌های مرطوب با خاک غنی از مواد غذایی گزارش شده



شکل ۴- نمودار منحنی پاسخ گونه ملج نسبت به متغیرهای پیشگو مهم در مدل GAM.

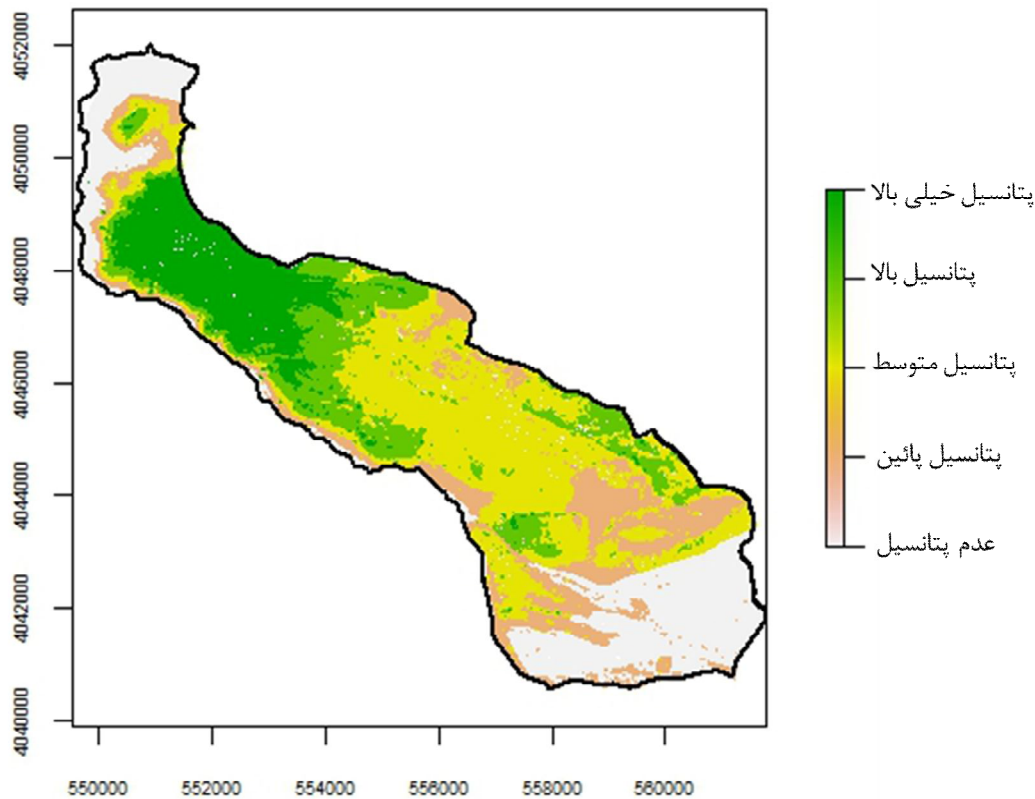
Figure 4. The response curve of Wych elm in relation to important predictor variables in GAM model.

می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که مناطق با پتانسیل خیلی بالا و بالا در حدود ۳۰ درصد کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است و می‌توان این منطقه را به‌عنوان مطلوب‌ترین رویشگاه برای گونه ملج معرفی کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد نسبتاً بالایی از منطقه مورد مطالعه برای

در شکل ۵ نقشه مطلوبیت رویشگاه‌های گونه ملج در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در جدول ۲ سهم هر یک از طبقات مطلوبیت رویشگاه گونه ملج ارائه شده است. با مراجعه به جدول مشاهده می‌شود که در حدود ۶۲ درصد کل منطقه مورد مطالعه، دارای رویشگاه‌های مطلوب برای گونه ملج

این گونه در جنگل خیرود نسبت به رویشگاه‌های دیگر بهتر حفظ گردد. نتایج این مطالعه بیانگر این نکته است که چنانچه اقدامات حفاظتی خوبی در خصوص این گونه صورت گیرد، این گونه می‌تواند پراکنش خوبی در رویشگاه‌های جنگلی داشته باشد.

حضور گونه ملج مناسب می‌باشد. وجود داده با کیفیت برای گونه ملج که در آن سعی شده است تقریباً تمامی پایه‌های گونه ملج در منطقه مورد مطالعه با استفاده از یک قرقبان بسیار باتجربه ثبت گردد و همچنین مدیریت بهینه دانشگاه تهران در خصوص این جنگل‌ها، باعث گردیده است که موجودیت



شکل ۵- نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه ملج.

Figure 6. Habitat suitability map of Wych elm.

جدول ۲- مساحت مناطق با مطلوبیت‌های مختلف برای حضور گونه ملج.

Table 2. The areas of different suitability categories for the presence of Wych elm.

عدم پتانسیل Not suitable	پتانسیل پایین Low suitability	پتانسیل متوسط Medium suitability	پتانسیل بالا High suitability	پتانسیل خیلی بالا Very high suitability	مساحت (هکتار) Area (ha)
957	765	1438	670	646	

GAM و متغیرهای استخراج‌شده از نقشه رقومی ارتفاع و همچنین نقشه‌های خاک‌شناسی، حاصل خیزی خاک و زمین‌شناسی پیش‌بینی گردید. نتایج

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، مطلوبیت رویشگاه گونه در معرض خطر ملج با استفاده از دو مدل GLM و

گیرد. در پایان باید اشاره داشت با توجه به این‌که گونه ملج یک‌گونه در خطر انقراض است ضروری است که رویشگاه‌های جایگزین به‌منظور جلوگیری از انقراض و حفظ وضعیت موجود گونه معرفی گردد. این کار از آن‌جهت الزامی است که عواملی مانند تغییر اقلیم، وقوع آتش‌سوزی، حمله آفات، گسترش بیشتر بیماری و غیره ممکن است منجر به از دست رفتن پایه‌های باقیمانده از این‌گونه باارزش شود. به همین خاطر لازم است که علاوه بر حفاظت و حمایت پایه‌های موجود به تجدید حیات گونه ملج در رویشگاه‌های تخریب شده که واجد شرایط حضور گونه هستند پرداخته شود. روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه از جمله روش‌های پراکندگی برای معرفی رویشگاه‌های مطلوب می‌باشد که با ارائه نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه، مناطق دارای پتانسیل جهت احیا را مشخص می‌کند.

مطالعه حاضر نشان داد که مدل GAM بر اساس معیارهای سطح زیر منحنی، ضریب کاپا و آماره مهارت درست، عملکرد بهتری نسبت به مدل GLM در شناسایی رویشگاه مطلوب داشته باشد. لازم به ذکر است که فرضیات مرتبط با پراکنش، وفور و عملکرد گونه‌های گیاهی نسبت به متغیرهای محیطی معمولاً با بهره‌گیری از مدل رگرسیونی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اما تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده بوم‌شناختی نیازمند روش‌های تحلیلی انعطاف‌پذیر و قوی است که علاوه بر کنترل روابط غیرخطی، اثرات متقابل و داده‌های ازدست‌رفته، بتوان به‌سادگی و راحتی، نتایج را درک و ارائه نمود. در سال‌های اخیر انواع روش‌های مدل‌سازی که به روش‌های یادگیری ماشین^۱ معروف‌اند، معرفی شده‌اند که لازم است در مطالعات آینده، عملکرد این تکنیک‌ها نیز در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه‌ها مورد ارزیابی قرار

منابع

1. Aertsens, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Özkan, K., and Muys, B. 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Ecological modelling*, 221(8): 1119-1130.
2. Ahmadi, K., Alavi, S.J., and Tabari, M. 2015. Evaluation of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) Site Productivity using Generalized Additive Model (Case study: Tarbiat Modares University forest research station). *Journal of Iranian Forest*, 7(1): 17-32. (In Persian)
3. Alavi, S.J., Zahedi Amiri, Gh., Marvi Mohajer, M.R., and Noori, Z. 2007. Spatial distribution of *Ulmus glabra* Huds. tree species related to physiographic factors in Kheyroodkenar educational forest. *Journal of Environmental Studies*, 33(43): 93-100. (In Persian)
4. Ardakani, M.R. 2012. *Ecology*, Tehran University. Press, 340p. (In Persian)
5. Aspinall, R.J. 2002. Use of logistic regression for validation of maps of the spatial distribution of vegetation species derived from high spatial resolution hyperspectral remotely sensed data. *Ecological Modelling*, 157(2): 301-312.
6. Auslander, M., Nevo, E., and Inbar, M. 2003. The effects of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments*, 55(3): 405-416.
7. Austin, M. 2007. Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*, 200(1): 1-19.
8. Beauregard, F., and de Blois, S. 2014. Beyond a climate-centric view of plant distribution: edaphic variables add value to distribution Models. *PloS one*, 9(3): e92642.
9. Bolandian, H. 1999. *Knowing the forest*. Imam Khomeini International University Press. 245p. (In Persian)

1- Machine Learning

10. Bourque, C.P.A., and Bayat, M. 2015. Landscape Variation in Tree Species Richness in Northern Iran Forests. *PloS one*, 10(4): 121-172.
11. Dormann, C.F., Schymanski, S.J., Cabral, J., Chuine, I., Graham, C., Hartig, F., and Singer, A. 2012. Correlation and process in species distribution models: bridging a dichotomy. *Journal of Biogeography*, 39(12): 2119-2131.
12. Fahimipoor, A., Zarechahooki, M.A., and Tavili, A. 2010. The relationship between some indicator species for environmental Pasture. *Journal of Rangeland*, 4(1): 23-32. (In Persian)
13. Ghahraman, A. 2009. Biodiversity of plant species in Iran, Tehran University. Press, 1210p. (In Persian)
14. Ghanbari, F., Shataei Jooibari, Sh., Azim Mohseni, M., Habashi, H. 2011. Application of topography and logistic regression in forest type spatial prediction Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(1): 27-41. (In Persian)
15. Harrar, Ellwood S., and Harrar, J.G. 1962. Guide to southern trees. 2d ed. Dover, New York. 709p.
16. Hastie, T., and Tibshirani, R. 1986. Generalized additive models. *Statistical science*. 297-310.
17. Matusick, G., Ruthrof, K.X., Brouwers, N.C., and Hardy, G.S.J. 2014. Topography influences the distribution of autumn frost damage on trees in a Mediterranean-type Eucalyptus forest. *Trees*, 28(5): 1449-1462.
18. Hill, M.J., Mathers, K.L., and Wood, P.J. 2015. The aquatic macroinvertebrate biodiversity of urban ponds in a medium-sized European town (Loughborough, UK). *Hydrobiologia* 760: 225–238.
19. Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A., and Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772): 853-858.
20. Pfiffer, K. 1996. Schwizerischer forestkalender. Anhang. Zurich. Verlag Frauenfeld. 176p.
21. Piedallu, C., Gégout, J.C., Lebourgeois, F., and Seynave, I. 2016. Soil aeration, water deficit, nitrogen availability, acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in temperate forests. *Journal of Vegetation Science*, 27(2): 387-399.
22. Rahmani, A., Dehghani Shooraki, Y., Banch Shafie, Sh. 2009. Nutritional Status of elm (*Ulmus glabra* Huds) trees in National Botanical Garden of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(1): 99-106. (In Persian)
23. Rossier, L. 2011. Predicting spatial patterns of functional traits. M.Sc. Thesis. University of Lausanne, 44p.
24. Rovzar, C., Gillespie, T.W., Kawelo, K., McCain, M., Riordan, E.C., and Pau, S. 2012. Modelling the potential distribution of endangered, endemic *Hibiscus brackenridgei* on Oahu to assess the impacts of climate change and prioritize conservation efforts. *Pacific Conservation Biology*, 19(2): 156-168.
25. R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
26. Sousa-Silva, R., Alves, P., Honrado, J., and Lomba, A. 2014. Improving the assessment and reporting on rare and endangered species through species distribution models. *Global Ecology and Conservation*, 2: 226-237.
27. Vedel, H., and Lange, J. 1960. Trees and bushes in wood and hedgerow. Methuen and Co. Ltd. Press. 224p.
28. Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W., and Luoto, M. 2010. Predicting range shifts of northern bird species: influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36(3): 269-281.
29. Yee, T.W., and Mitchell, N.D. 1991. Generalized additive models in plant ecology. *Journal of vegetation science*, 2(5): 587-602.
30. Zahedi Amiri, Gh., Alavi, S.J., Marvi Mohajer, R., and Nouri, Z. 2008. Investigation on the effects of some soil properties on spatial dispersion of Wych elm (*Ulmus glabra* Huds) in Hyrcanian forest, Case study: Kheyroudkenar forest. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 61(3): 637-652. (In Persian)



Predicting the habitat suitability of Wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) in Kheyroud Forest

A. Mohammadi¹, *S.J. Alavi² and S.M. Hosseini³

¹M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran,

²Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran,

³Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 11/02/2016; Accepted: 09/03/2017

Abstract

Background and objectives: Wych elm is one of the most invaluable native species in Hyrcanian forest. But due to Dutch elm disease outbreak in several decades ago, and illegal cutting of this species, its dominance in these forests has been significantly decreased. Hence, it must be adequately preserved from extinction. Therefore, maintaining and restoring this invaluable species is essential. Habitat suitability models could constitute a good tool for decision-making within the framework of applied forest ecology. They have mainly been used in strategies for conservation, planning and forest management. Habitat suitability or species distribution models are defined as statistical analysis algorithms that relate species' field observations species data to environmental predictor variables. The aim of study predicts the distribution of Wych elm species in Kheyroud forest using GLM and GAM models and Provide habitat suitability map with the best models.

Materials and methods: Using digital elevation models and extracted primary and secondary topographic attributes from DEM, the habitat suitability of Wych elm was prepared in Kheyroud forests, Nowshar by using two common modeling techniques, i.e. GLM and GAM. Due to the extent of the study area and being dispersed in the area, the locations of Wych elm individual trees with DBH > 10 cm were recorded by Global Positioning System by selective sampling. The primary and secondary topographic attributes calculated from the digital elevation model with 12.5 m resolution along with soil characteristics, soil fertility and geology maps were then derived at each Wych elm location.

Results: Results showed that GAM outperforms GLM based on AUC, Kappa and TSS criteria. The results also indicated altitude and valley depth were the most important variables in determining the habitat suitability of Wych elm species. The results also showed that 62% of study area has an acceptable potential for presence of Wych elm species.

Conclusion: The results from this study showed that due to the optimal moisture, thermal, light and topographic conditions in mid-lands and also the high potential of this region for the presence of the Wych elm species, this area is the best habitat for this species. The results and methods used in this research can be used to assist the management decisions to conserve and restore the Wych elm and other rare and endangered species.

Keywords: Suitable habitats, Primary and secondary topographic attributes, Generalized linear model, Generalized additive models

*Corresponding author: j.alavi@modares.ac.ir