فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۵، شماره ۳، صفحه ۴۰۳-۳۸۷، (۱۳۹۸)

ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلکاری با استفاده از روش جنگل تصادفی (حوزه آبخیز کن، تهران)

مریم اقنوم[۱]، جهانگیر فقهی*[۲]، مجید مخدوم[۳]، علیرضا مقدم‌نیا[٤] و وحید اعتماد[٥]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (aghnoum@ut.ac.ir)

۲- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (jfeghhi@ut.ac.ir)

۳- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (mmakhdom@ut.ac.ir)

٤- دانشیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (a.moghaddamnia@ut.ac.ir)

٥- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (vetemad@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ٩٦/١١/١٤ تاریخ پذیرش: ٩٧/٠٦/٠٦

چکیده

حوزه آبخیز کن در استان تهران، برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلکاری مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس با توجه به شرایط منطقه و اهداف جنگلکاری، گونه‌های مناسب انتخاب شدند. سپس سرشت و خواهش‌های اکولوژیکی گونه‌های منتخب بررسی و شاخص‌های تأثیرگذار در روند ارزیابی مشخص شدند. بعد از پردازش، طبقه‌بندی و ادغام لایه‌های مکانی در GIS با استفاده از نتایج روش سیستمی، الگوریتم جنگل تصادفی آموزش داده شد و نقشه مناطق مناسب جنگلکاری تهیه شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که روش جنگل تصادفی دقت بسیار بالایی در پیش‌بینی مناطق مستعد توسعه جنگل دارد. همچنین ٢١١٦ هکتار از حوزه آبخیز کن دارای توان متوسط برای جنگلکاری است. نتایج اجرای الگوریتم بروتا نیز نشان داد که متغیرهای عمق خاک، بارندگی در فصل رویش، ارتفاع، بافت خاک، شیب و جهت به‌ترتیب دارای وزن و درجه اهمیت از زیاد به کم هستند. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن است که روش جنگل تصادفی به‌عنوان روشی توانمند در تهیه نقشه‌های ارزیابی توان اکولوژیک می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بروتا، روش سیستمی، هوش مصنوعی.

---

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ٠٢٦٣٢٢٢٣٠٤٤

مقدمه

کشور ایران که در حال حاضر از نظر پوشش گیاهی یکی از فقیرترین کشورهای جهان محسوب می‌شود، در گذشته دارای سطح وسیعی از انواع پوشش گیاهی بوده است (Marvi Mohajer, 2006). با توجه به رشد سریع تخریب جنگل‌ها و عدم موفقیت راهکارهایی که برای حل این مشکل به‌کار گرفته شده است، از اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی برنامه‌های جنگلکاری و احیاء - جنگل‌ها با همکاری نهادها، انجمن‌ها و سازمان‌های دولتی و غیردولتی در ایران شروع شد (Amiraslani and Dragovich, 2011). مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه جنگلکاری در ایران نشان می‌دهد که نتایج تعدادی از طرح‌های جنگلکاری موفقیت‌آمیز نبوده است. به‌عنوان‌مثال در کویر چاه‌–افضل استان یزد به‌دلیل شوری بیش‌ازحد خاک و شرایط نامناسب آب و هوایی، طرح احیـای اراضی با شکست مواجه شده است (Amiraslani and Dragovich, 2011). همچنین ۸۰ درصد از ۹۵۰۰۰۰ هکتار توده‌های جنگلی دست-کاشت در مناطق خشک به‌دلیل عدم ارزیابی توان اکولوژیک دچار پیری زودهنگام شده‌اند (Rezaee, 2008). پژوهش‌های زیادی نیز ضعف فیزیولوژیکی و کمبود رشد جنگلکاری‌های شمال ایران را در بعضی مناطق تأیید کرده‌اند (Jalilvand *et al.*, 2007). پژوهش‌های انجام شده در این ارتباط نشان داده است که عدم توان‌زیستی سرزمین برای تأمین نیازهای این جنگل‌ها از علل اصلی تخریب این توده‌ها بوده است (Rezaee, 2008). از این‌رو قبل از اجرای هرگونه فعالیت جنگلکاری نیاز به ارزیابی توان سرزمین و ارزیابی آثار محیط زیستی است. ارزیابی توان اکولوژیک سنجش موجودی و توان بالقوه سرزمین با ملاک‌ها و معیارهای مـشخص و از پـیش طرح‌ریزی شده است. این پژوهش‌ها به‌عنوان پایه‌ای برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اسـتفاده از سـرزمین در تمام نقاط جهان به‌کار گرفته می‌شود. اهمیت ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین تا به آنجا است که چنانچه سرزمین، بـالقوه فاقـد تـوان اکولوژیکی مناسب برای اجرای کاربری خاصی باشد (حتی در صورت نیاز اقتـصادی – اجتمـاعی بـه وجـود آن کاربری) اجرای آن طرح نه‌تنها سبب بهبود وضعیت محیط زیستی منطقه نمی‌شود، بلکه تخریب بیشتر محیط‌زیست را نیز به ارمغان خواهد آورد (Makhdoum, 1992; Nasiri *et al.*, 2017).

روش‌های زیادی برای اصلاح و بهبود کارایی منطقه‌ای مدل‌های ارزیابی توان سرزمین توسعه پیدا کرده‌اند که از آن‌ها می‌توان به روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش برنامه‌ریزی استراتژیSWOT، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، تاپسیس (TOPSIS)، روش ویکور (VIKOR)، الکتره (ELECTRE)، روش‌های آماری و مدل‌سازی فازی اشاره کرد. با وجود روش‌های متفاوت در حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره امـروزه تلفیق GIS با AHP بـه‌صورت گسترده در ارزیابی توان سرزمین مورد استفاده قرار گرفته و در این زمینه محبوبیت فراوانی یافته است (Malczewski, 2004). Yi and Wang (2013) و همچنین Dubovyk و همکاران (2014) با استفاده از روش AHP و روش ترکیب خطی وزنی (WLC) مناطق دارای توان جنگلکاری را شناسایی کردند. Zare و همکاران (2011) با استفاده از تلفیق GIS و AHP، مناطق مناسب برای توسعه جنگل و گونه‌های مناسب جنگلکاری را در دامنه‌های جنوبی البرز معرفی کردند. مهم‌ترین دلیل استفاده از AHP در این پژوهش‌ها، وزن‌دهی عامل‌های اثرگذار در ارزیابی توان اکولوژیک گزارش شده است. اگرچه مدل‌سازی مکانی ارزیابی

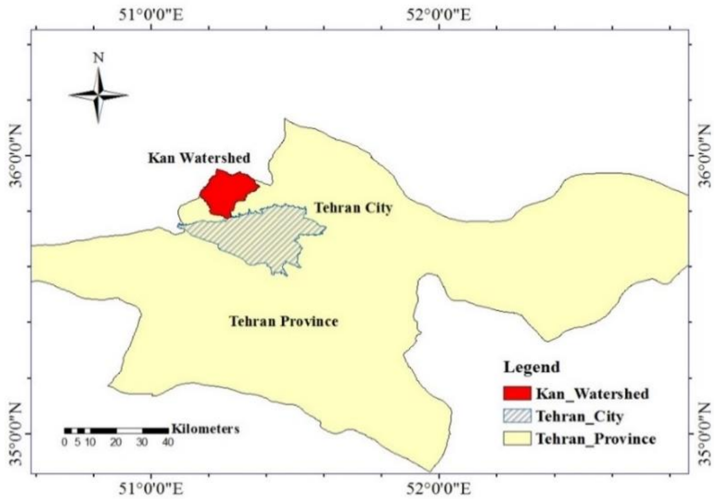
سرزمین تا حدودی با استفاده از این روش‌ها بهبود پیدا کرده است، اما اغلب فرآیند اصلی این روش‌ها یک فرآیند ذهنی و بر پایه استفاده از نظر متخصصین برای انتخاب و یا تعیین وزن شاخص‌های محیط زیستی استوار بوده است. در همین رابطه Makhdoum (2009) بیان کرده است که مدل‌های ارزیابی توان اکولوژیک، هم‌وزنی و هم‌فازی هستند چون از طبقه یک تا طبقه n یک مدل، تعلق عامل اکولوژیکی را به طبقه و درجه تعلق عامل به طبقه را نشان می-دهند؛ بنابراین استفاده از شیوه AHP هنگامی‌که تنها داده‌های اکولوژیکی (منابع فیزیکی + منابع زیستی) در دسترس هستند مانند تعیین توان اکولوژیکی کاربری جنگلکاری شیوه مؤثری نیست (Makhdoum, 2009). در همین راستا امروزه روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی (Random Forest) و غیره کاربرد زیادی در بیشتر پژوهش‌های منابع طبیعی پیدا کرده‌اند و به‌عنوان یک روش جایگزین در ارزیابی توان سرزمین شناخته شده‌اند (Sui, 1993). Sarmadian و همکاران (2014) با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، Ahmadi and Layegh (2015) با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و Senagi و همکاران (2017) با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی مناطق مستعد کشاورزی را پیش‌بینی کردند. Lahssini و همکاران (2015) نیز با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی تناسب اراضی برای کاشت گونه بلوط را تعیین کردند. در این پژوهش الگوریتم جنگل تصادفی (RF) که یک روش یادگیری ترکیبی برای طبقه‌بندی و رگرسیون است، برای ارزیابی مناطق دارای توان جنگلکاری پیشنهاد شده است. همچنین این روش دارای دقت پیش‌بینی بسیار بالاتر و همچنین توانایی بالا در تعیین وزن متغیرهای مهم است (Lahssini *et al.*, 2015). تاکنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با ارزیابی توان اکولوژیکی برای کاربری جنگلکاری در ایران انجام گرفته است، که در این پژوهش‌ها بیشتر از روش معمول تجزیه تحلیل سیستمی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهره گرفته شده است، اما تاکنون از قابلیت کلاسه‌بندی جنگل تصادفی برای رتبه‌بندی (طبقه‌بندی) مناطق دارای توان جنگلکاری استفاده‌ای نشده است. از این‌رو هدف اصلی این پژوهش اجرای روش جنگل تصادفی برای ارزیابی مناطق دارای توان کاربری جنگلکاری و همچنین تعیین اهمیت شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی به‌منظور مدیریت پایدار احداث جنگل‌های جدید است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

حوزه آبخیز کن در استان تهران با مساحتی معادل با ۲۰۵/۷ کیلومترمربع در بالادست منطقه ۲۲ کلان‌شهر تهران قرار دارد و بزرگ‌ترین حوزه شمال تهران است. این حوزه حدفاصل ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ٤٦ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط حوزه ۲٤۱۱ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ٤۳/۵ درصد است. دمای متوسط سالیانه ۱۲/۹۱ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۵۱۹ میلی‌متر و میانگین بارندگی در فصل رویش ۱۹۲ میلی‌متر است. از نظر زمین‌شناسی حوزه آبخیز کن در زون زمین‌شناسی البرز مرکزی و سازند کرج واقع شده است. از نظر پوشش گیاهی، این حوزه شامل هفت نوع تیپ گیاهی مستقل و حدود ۱۱۰ نوع گونه گیاهی است. از مشکلات موجود در حوزه آبخیز کن می-

تـوان بـه فرسایش خاک، سیل‌خیزبودن منطقه و چرای بی‌رویه دام اشاره کرد. همچنین هجوم روزافزون خوش‌نشینان تهران به این منطقـه به‌دلیل ارزش بالای زمین‌های ویلایی و ییلاقی و در نهایت عبور بزرگراه تهران ـ شمال از منطقه نیـز بر شدت مشکلات این حوزه افزوده است (Motevalli *et al.*, 2012) (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت حوزه آبخیز کن در استان تهران

Figure 1.The geographical location of Kan watershed in Tehran province

روش پژوهش

شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌های مؤثر در ارزیابی سرزمین برای کاربری جنگلکاری

اولین مرحله برای تعیین عامل‌های اثرگذار در ارزیابی توان اکولوژیکی کاربری جنگلکاری، انتخاب گونه‌های مناسب با توجه به شرایط منطقه مورد بررسی و اهداف پژوهش است (Makhdoum, 2010). بدین منظور لیست فلورستیک گونه‌های گیاهی حوزه آبخیز کن و استان تهران تهیه و گونه‌هایی که دارای ویژگی-های مناسب در راستای اهداف پژوهش بودند، انتخاب شدند. هدف از جنگلکاری در این پژوهش، در وهله اول حفاظت از آب‌وخاک و جلوگیری از فرسایش و سیلاب است. همچنین اهدافی مانند احیای پوشش گیاهی و گونه‌های بومی، احیا و اصلاح خاک در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. سپس بر اساس مدل جنگلکاری مخدوم (Makhdoum, 2010) شاخص-هایی مانند شیب، جهت، ارتفاع، دما، بارندگی، درصد رطوبت نسبی، زمین‌شناسی، بافت خاک، عمق خاک، شوری خاک، اسیدیته خاک، زهکشی خاک، حاصلخیزی خاک، درصد تراکم پوشش گیاهی و فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفتند. سپس با توجه به اطلاعات و نقشه‌های موجود از منطقه (عدم وجود نقشه درصد تراکم پوشش گیاهی و فرسایش خاک) و با توجه به مرور منابع سرشت اکولوژیکی گونه‌های منتخب (Ravanbakhsh *et al.*, 2010، Koneshlo, 2015)، مهم‌ترین منابع مؤثر در ارزیابی توان جنگلکاری در منطقه شناسایی و مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. بعد از طبقه‌بندی هرکدام از لایه‌ها، در نرم‌افزار GIS با استفاده از تابع Calculator درصد مساحت هرکدام از شاخص‌های مورد استفاده به

تفکیک هر کلاسه در نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده محاسبه شد.

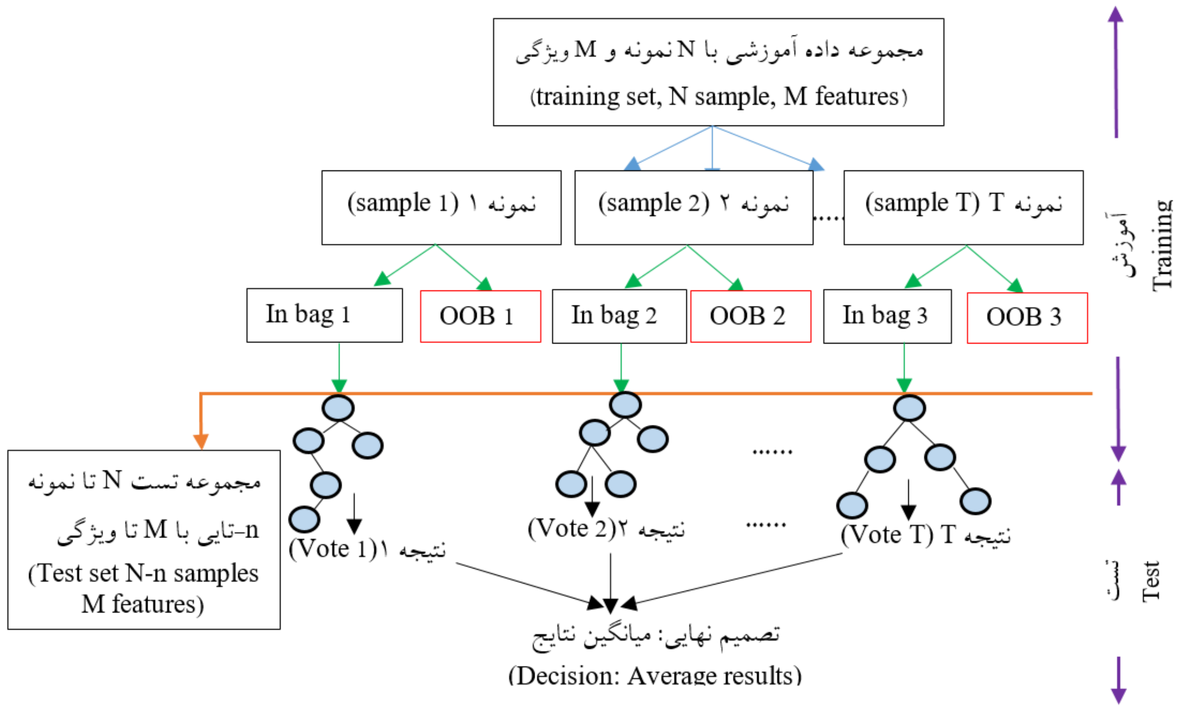
به‌دلیل تعداد زیاد گونه‌ها و محدودیت ارائه مطالب تنها به ذکر یک گونه پرداخته می‌شود. به‌عنوان‌مثال گونه ارژن یا بادام کوهی (Amygdalus scoparia) درختچه‌ای است بدون خار که معمولاً از ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا تا شیب ۷۰ درصد و همچنین بیشتر در جهات جنوبی و شرقی قابلیت رویش دارد. این گونه بسیار آهک‌دوست است و در خاک‌های سبک تا متوسط، اسیدیته ۸-۷، خاک-های غیر شور، کم‌عمق تا نیمه عمیق و با زهکشی خوب رشد می‌کند. این گونه اقلیم نیمه‌خشک تا نیمه مرطوب را می‌پسندد و حداقل بارندگی متوسط سالیانه برای رشد این گونه ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر است. این گونه جزو گونه‌های بسیار مقاوم به سرما و خشکی است و می‌تواند تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد را نیز تحمل کند (Koneshlo, 2015). در مرحله بعد نقشه‌های منابع اکولوژیکی در نرم‌افزار ArcGIS تلفیق و روی‌هم اندازی انجام شد. در آخر ارزیابی توان اکولوژیک منطقه با درنظر گرفتن سرشت اکولوژیکی گونه‌ها برای کاربری موردنظر انجام شد. بر این اساس داده‌های حاصل از این مرحله برای تهیه نمونه‌های آموزشی به فرمت ASCII تبدیل و برای ورود به نرم‌افزار R آماده شدند.

روش جنگل تصادفی و الگوریتم بروتا

روش جنگل تصادفی توسط Breiman (2001) به-عنوان یک روشی از توسعه جدید درخت‌های تصمیم-گیری ارائه شد. اصول کلی تکنیک‌های آموزش گروهی بر پایه این فرض است که دقت آن‌ها از دیگر الگوریتم‌های آموزشی بالاتر است. چون ترکیبی از چند مدل پیش‌بینی، دقیق‌تر از یک مدل است و گروه-ها درحالی‌که نقاط ضعف طبقه‌ها را کاهش می‌دهد، هم‌زمان قدرت مجموعه‌های منفرد و منحصربه‌فرد طبقه‌ها را نیز بیشتر می‌کنند (Breiman, 2001). در این الگوریتم از چندین درخت تصمیم استفاده می‌شود که به هرکدام از درخت‌ها، یک زیرمجموعه‌ای از دادگان داده می‌شود. این درخت‌ها با همین داده‌های زیرمجموعه، می‌توانند تصمیم بگیرند و مدل طبقه‌بندی خود را بسازند (Senagi *et al.*, 2017). تنوع درختان از طریق ایجاد زیرمجموعه‌های مختلف از داده‌های آموزشی، کاهش می‌یابد که اصطلاحاً دسته‌بندی (Bagging, bag1, bag 2,..bag t) نامیده می‌شود. دسته‌بندی تکنیکی است که از طریق نمونه‌برداری مجدد تصادفی از مجموعه داده‌های اصلی و همراه با جایگزینی انجام می‌شود. در این مرحله هیچ‌کدام از داده‌های انتخاب‌شده از نمونه‌های ورودی برای تولید زیرمجموعه بعدی، حذف نمی‌شود و بدین ترتیب واریانس نیز کاهش می‌یابد. از این‌رو برخی از داده‌ها ممکن است بیش از یک‌بار در شاخه‌های آموزشی استفاده شود بنابراین ثبات بیشتری برای مدل به‌دست می‌آید و مدل را در برابر تغییرات جزئی در داده‌های ورودی قابل‌اعتمادتر می‌سازد و دقت پیش‌بینی آن را افزایش می‌دهد (Breiman, 2001). علاوه بر این، آن دسته از نمونه‌هایی که در آموزش درختان در فرآیند کیسه‌بندی انتخاب نمی‌شوند شامل بخشی از زیرمجموعه‌هایی می‌شوند که الگوهای خارج از کیسه (OOB) نامیده می‌شوند. این قسمت در روش RF می‌تواند برای ارزیابی عملکرد مدل نیز مورد استفاده قرار گیرد (Breiman, 2001).

در هنگام پیش‌بینی، یعنی وقتی‌که یک سری داده جدید به الگوریتم برای پیش‌بینی داده می‌شود، هرکدام از این الگوریتم‌های یاد گرفته‌شده، یک نتیجه را برای

پیش‌بینی برمی‌گردانند. الگوریتم جنگل تصادفی در نهایت، می‌تواند با استفاده از رأی‌گیری، آن طبقه‌ای را که بیشترین رأی را آورده است انتخاب کند و به‌عنوان طبقه نهایی برای انجام عملیات طبقه‌بندی قرار دهد (Lahssini *et al.*, 2015). روند کلی الگوریتم RF به‌صورت ساده در شکل ۲ نشان داده شده است (Breiman, 2001). همچنین در این روش برای جلوگیری از خطاهای ناشی از ابعاد بالای داده‌ها، انتخاب ویژگی (Feature Selection) به‌کار برده می‌شود. روش‌های زیادی برای FS بیان شده است. یکی از این روش‌ها، روش یا الگوریتم بروتا (Boruta) است. این الگوریتم با بالا بردن سرعت فرآیند آموزش، افزایش قابلیت تعمیم، کاهش اثر از بین رفتن ابعاد و افزایش قابلیت تفسیر، دقت مدل‌های پیش‌بینی را افزایش می‌دهد. توسط این الگوریتم می‌توان به وزن و اهمیت شاخص‌های مورد استفاده در مدل‌سازی نیز پی برد. به‌عنوان‌مثال همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است در هر مرحله از ساخت درخت تصمیم‌گیری، ابتدا T نمونه خود راه‌انداز از داده آموزشی بیرون کشیده می‌شود و سپس از هر نمونه خود راه‌انداز یک درخت طبقه‌بندی و هرس نشده ایجاد می‌شود که برای انشعاب در هر گره تنها یکی از M ویژگی انتخاب شده به‌صورت تصادفی استفاده می‌شود. سپس در هر مرحله شاخص‌هایی را که توسط محاسبات آماری کم‌اهمیت تشخیص داده شده‌اند را به‌صورت مرحله‌به‌مرحله از معادله حذف می‌کند تا در نهایت مقدار درجه اهمیت (Z score) تک‌تک شاخص‌های مورد استفاده مشخص می‌شود. همچنین خطای خارج از کیسه (OOB) نیز برای هر مرحله محاسبه می‌شود. در نهایت تصمیم‌گیری بر اساس تعداد فراوانی متغیرهای مهم شناسایی شده و درنظر گرفتن مقدار خطای موجود در هر مرحله انجام می‌شود (شکل ۲) (Breiman, 2001).



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم جنگل تصادفی و بروتا برای طبقه‌بندی

Figure 2. The flow chart of Random Forest algorithm for classification

روش جنگل تصادفی

در این پژوهش برای تهیه نقشه مناطق دارای توان جنگلکاری از مسئله طبقه‌بندی و روش جنگل تصادفی استفاده شد (Lahssini et al., 2015).برای اجرای این روش داده‌های حاصل از پارامترهای مؤثر در ارزیابی به‌عنوان لایه‌های ورودی (متغیر مستقل) و نقشه حاصل از روش تجزیه تحلیل سیستمی (متغیر هدف) به‌عنوان خروجی برای آموزش به شبکه RF داده شدند تا مدل‌سازی بر روی آن‌ها انجام گیرد. مقادیر هر پیکسل از لایه‌های رستری متغیرهای ورودی توضیح داده‌شده، استخراج شده و با متغیر هدف در مجموعه‌ای از بردارهای ویژگی ورودی ترکیب شدند. این بردارها ورودی الگوریتم RF را تشکیل دادند و به‌عنوان بردارهای Input-feature شناخته شدند. پس از طراحی و آموزش شبکه، لازم است که شبکه طراحی شده از نظر عملکرد مورد ارزیابی قرار گیرد. در واقع مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل با داده‌های واقعی به روش‌های آماری مورد مقایسه قرار می‌گیرد؛ بنابراین در این پژوهش برای ارزیابی روش RF از ماتریس اغتشاش برای داده‌های آزمون و شاخص‌های آماری مانند حساسیت (Sensitivity)، اختصاصی بودن (Specificity)، دقت (Precision) و صحت (Accuracy) استفاده شد. برای تحلیل این ماتریس چهار حالت وجود دارد. TP تعداد نمونه‌هایی است که به‌درستی به طبقه موردنظر اختصاص یافته‌اند، TN نمونه‌هایی که به‌درستی به طبقه موردنظر اختصاص نیافته‌اند، FP نمونه‌هایی که به نادرستی به طبقه موردنظر اختصاص یافته‌اند و FN نمونه‌هایی است که به نادرستی به طبقه موردنظر اختصاص نیافته‌اند (جدول ۱) (Kursa and Rudnicki, 2010). در نهایت مناطق پیش‌بینی‌شده توسط شبکه در نرم‌افزار GIS فراخوانی شدند و نقشه طبقه‌بندی‌شده مناطق دارای توان جنگلکاری تهیه شد. همچنین الگوریتم انتخاب ویژگی بروتا که یکی از مراحل مهم روش جنگل تصادفی بر روی مدل موردنظر اجرا شد (Kursa and Rudnicki, 2010).

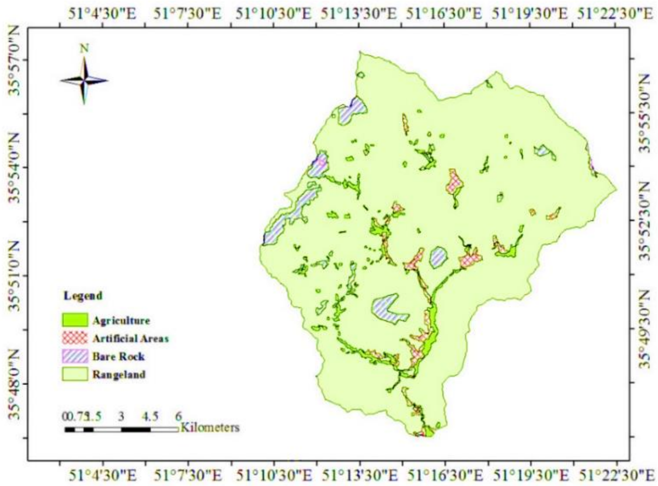
جدول ۱- معیارهای ارزیابی

Table 1. Evaluation criteria

	پیش‌بینی مثبت Predictive Positive	پیش‌بینی منفی Predictive Negative	معیارهای ارزیابی Evaluation Criteria
واقعی مثبت Actual Positive	درست مثبت True Positive (TP)	نادرست منفی False Negative (FN)	اختصاصی بودن $\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP}$ دقت کلی $\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{N}$
واقعی منفی Actual Negative	نادرست مثبت False Positive (FP)	درست منفی True Negative (TN)	حساسیت $\text{sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}$ صحت $\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$

ارزیابی نهایی توان جنگلکاری

شناسایی و بررسی کاربری‌های فعلی در یک حوزه آبخیز از مشخصه‌های بسیار مهم اجتماعی-اقتصادی محسوب می‌شود و نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین توان اراضی برای کاربری موردنظر دارند. از این‌رو بررسی آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است (Makhdoum, 2010). بدین منظور در این پژوهش از نقشه کاربری اراضی موجود حوزه آبخیز کن (تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان تهران) (شکل ۳) برای تعیین کاربری‌های ناسازگار استفاده شد. بر اساس این نقشه حوزه آبخیز کن شامل کاربری‌های مرتع، کشاورزی (باغ، زمین کشاورزی)، مناطق انسان‌ساخت (جاده، مناطق مسکونی، معادن و غیره) و بیرون‌زدگی سنگی است. سپس اطراف این کاربری‌ها تا فاصله ۳۰۰ متر از هر طرف به‌عنوان حریم و محدودیت مطلق در نظر گرفته شدند. بعد از روی‌هم اندازی این لایه با نقشه کاربری توان جنگلکاری، نقشه نهایی کاربری توان جنگلکاری تهیه شد.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کن در سال ۲۰۱۷

Figure 3. Land cover map of Kan watershed (2017)

نتایج

انتخاب گونه و طبقه‌بندی شاخص‌های اکولوژیکی

در این پژوهش بعد از بررسی پوشش گیاهی و شرایط منطقه مورد بررسی و همچنین با توجه به اهداف جنگلکاری ۲۳ گونه گیاهی به‌منظور جنگلکاری با توجه به اهداف پژوهش انتخاب شدند (جدول ۲). بعد از بررسی سرشت و خواهش‌های اکولوژیکی گونه‌های مورد بررسی (توضیح در بخش مواد و روش‌ها) شاخص‌های عمق خاک، بافت خاک، شیب، جهت، ارتفاع و بارندگی در فصل رویش (تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان تهران) برای ارزیابی سرزمین برای توان جنگلکاری انتخاب شدند. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه این حوزه آبخیز در زون زمین‌شناسی البرز مرکزی و سازند کرج واقع شده است، بنابراین قابلیت طبقه‌بندی از نظر زمین-شناسی را دارا است. همچنین ازآنجایی‌که گونه‌های مورد بررسی بسیار مقاوم به دماهای حداکثر و حداقل هستند و محدودیت دمایی خاصی ندارند، بنابراین از استفاده از شاخص دما در این پژوهش صرف‌نظر شد. جدول ۳ طبقه‌بندی شاخص‌های اکولوژیکی را بر

اساس شرایط منطقه مورد بررسی و سرشت اکولوژیکی گونه‌های منتخب نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ٤ و ٥ نقشه‌های طبقه‌بندی شده شاخص‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. جدول ٤ نیز درصد مساحت متغیرهای محیط‌زیستی را به تفکیک هر کلاسه ارزیابی نشان می‌دهد.

جدول ۲ – گونه‌های درختی و درختچه‌ای منتخب با توجه به اهداف جنگلکاری در منطقه مورد بررسی

Table 2. Selected trees and shrubs species according to the objectives of afforestation in the studied area

شماره Number	نام علمی Scientific Name	نام فارسی Persian Name	شماره Number	نام علمی Scientific Name	نام فارسی Persian Name
1	*Amygdalus scoparia*	ارژن یا بادام-کوهی	13	*Amygdalus lycioide*s	تنگرس یا بادامک
2	*Hippophae rhamnoides*	سنجد تلخ	14	*Cotoneaster sp*	شیرخشت
3	*Crataegus sp*	ولیک	15	*Pistacia atlantica subsp. Mutica*	بنه
4	*Cercis siliquastrum*	ارغوان	16	*Colutea buhsei*	دغدغک البرزی
5	*Ephedra majoer*	افدرا	17	*Cerasus microcarpa*	راناس
6	*Ailanthus glandulosa*	آیلان	18	*Lonicera nummalirifolia*	پلاخور
7	*Pinus eldarica*	کاج تهران	19	*Juniperus excels*	ارس
8	*Pinus nigra*	کاج سیاه	20	*Betula pendula*	توس
9	*Rhamnus pallasii*	سیاه تنگرس	21	*Berberis sp*	زرشک
10	*Rosa canina*	نسترن وحشی	22	*Morus alba*	توت سفید
11	*Celtis caucasica*	تا یا تادار	23	*Rhus coriaria L.*	سماق
12	*Elaeagnus angustifolia*	سنجد			

جدول ۳– طبقه‌بندی شاخص‌های محیط زیستی مؤثر در ارزیابی توان کاربری جنگلکاری

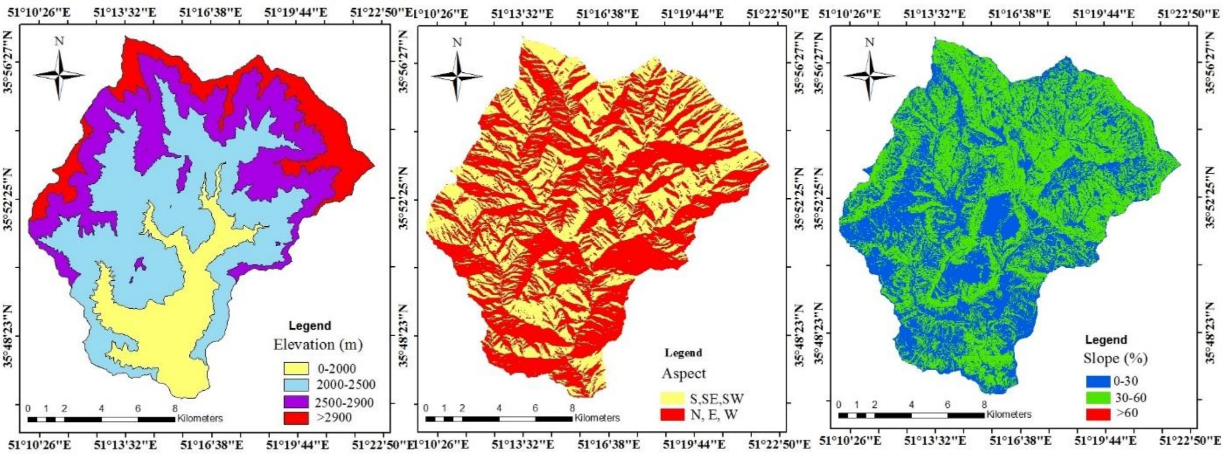
Table 3. Classification of effective environmental variables in afforestation capability evaluation

بارندگی در فصل رویش Growing season precipitation (mm)	ارتفاع (متر) Elevation (m)	شیب (درصد) Slope (%)	جهت Aspect	بافت خاک Soil texture	عمق خاک Soil depth (cm)	کلاس Suitability classes
>200	0-2000	0-30	S, SE, SW	Sandy, loamy sand, Sandy loam, Silty loam, Silt, loam	>80	بسیار مناسب Highly suitable
160-200	(2A): 2000-2500 (2B): 2500-2900	30-60	N, NE, NW, Flat, E, W	Sandy clay loam, Clay loam, Silty clay loam,	50-80	متوسط Moderately suitable
<160	>2900	>60	-	Clay, Silty clay, Sandy clay	<50	نامناسب Not suitable

جدول ٤- درصد مساحت متغیرهای محیط‌زیستی به تفکیک هر کلاسه

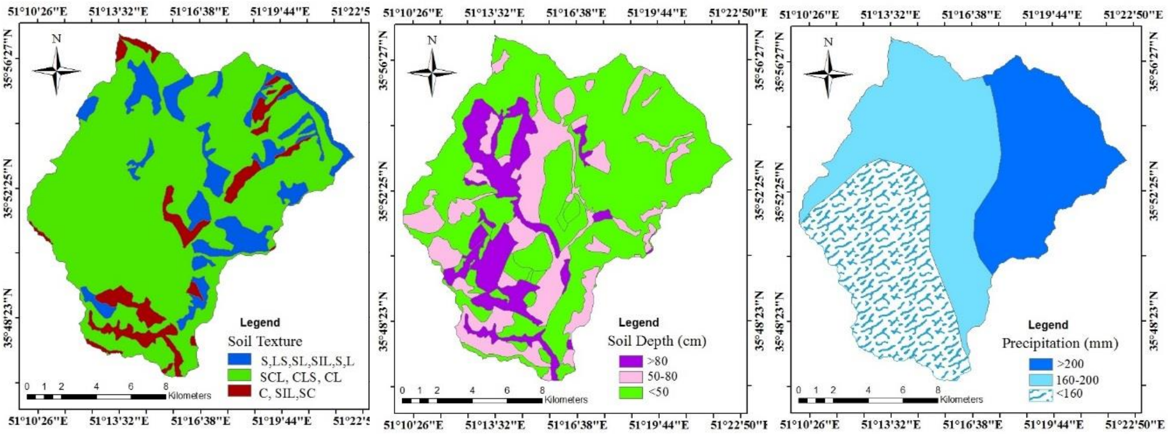
Table 4. Percentage of area of environmental parameters to land suitability classes

بارندگی (میلی‌متر) Growing season precipitation (mm)	ارتفاع Elevation	شیب Slope	جهت Aspect	بافت خاک Soil texture	عمق خاک Soil depth	کلاس تناسب Suitability classes
29%	17%	47%	43%	14.5%	16%	بسیار مناسب Highly suitable
38%	67%	52%	57%	77%	25%	متوسط Moderately
33%	16%	1%	-	8.5%	59%	نامناسب Not suitable



شکل ٤- نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده شیب، جهت، ارتفاع (به‌ترتیب از راست به چپ) در حوزه آبخیز کن

Figure 4. Classified maps of slope, aspect and hypsometric in Kan Watershed



شکل ٥- نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده بافت خاک، عمق خاک و بارندگی در فصل رویش (به‌ترتیب از راست به چپ)

Figure 5. Classified maps of soil texture, soil depth and growing season precipitation

نتایج اجرای الگوریتم جنگل تصادفی

جدول ۵ نتایج حاصل از ارزیابی کارایی روش جنگل تصادفی بر اساس مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش را نشان می‌دهد. بر این اساس دقت کلی طبقه‌بندی با روش جنگل تصادفی ۹۵ درصد به‌دست‌آمده آمد. همچنین، بهترین عملکرد طبقه‌بندی متعلق به کلاس سه و کمترین عملکرد متعلق به کلاس یک است.

اجرای الگوریتم انتخاب ویژگی بروتا نیز نشان داد که متغیرهای عمق خاک، بارندگی در فصل رویش، ارتفاع، بافت خاک، شیب و جهت به‌ترتیب دارای وزن و درجه اهمیت از زیاد به کم هستند. همان‌طور که در شکل ٦ نشان داده شده است متغیرهای S1، S2 و S3 نشان‌دهنده حداقل، میانگین و حداکثر ارزش‌ها برای متغیرهای بدون اهمیت هستند و متغیر S3 جداکننده متغیرهای با درجه اهمیت و بدون درجه اهمیت است. همچنین متغیرهای V نشان‌دهنده متغیرهای با اهمیت در فرآیند ارزیابی هستند در واقع تمامی متغیرهای مورد استفاده در این ارزیابی جزو متغیرهای اثرگذار تشخیص داده شده‌اند.

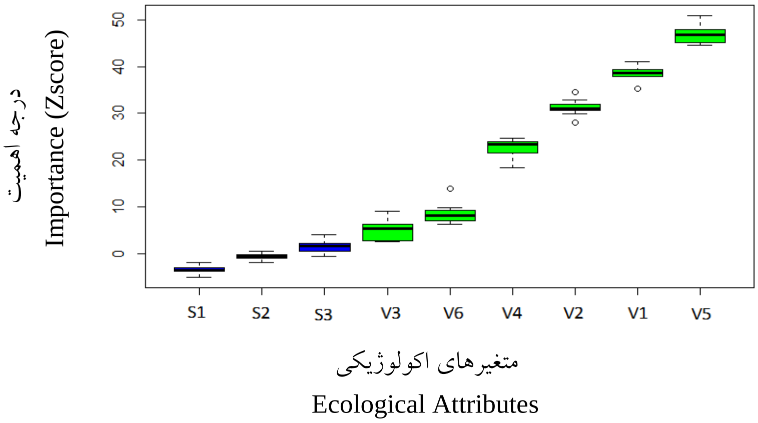
جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ارزیابی کارایی الگوریتم جنگل تصادفی

Table 5. Statistical measures of performance analysis of Random Forest algorithm

شاخص‌های آماری Statistical Indexes	کلاس ۳ Class 3	کلاس ۲ Class 2	کلاس ۱ Class 1
حساسیت Sensitivity	1.00	0.90	0.70
اختصاصی بودن Specificity	1.00	0.96	0.95
دقت Precision	1.00	0.95	0.90
صحت Accuracy		0.95	

ارزیابی نهایی توان جنگلکاری

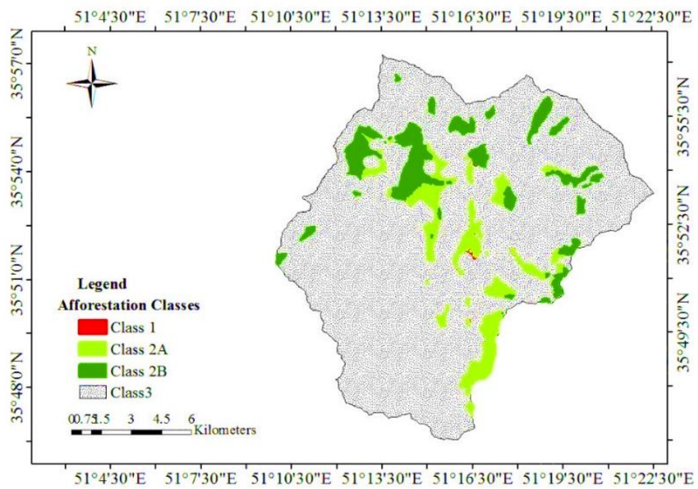
در این مرحله با دخالت‌دادن نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۷ مناطق مناسب برای جنگلکاری اولویت‌بندی و ارزیابی نهایی انجام شد (شکل ۷). طبق این نتایج، فقط ۵۰ هکتار از منطقه مورد بررسی بسیار مناسب برای اجرای پروژه‌های جنگلکاری و احیاء جنگل است (کلاس ۱) و گونه‌هایی مانند بادام‌کوهی، بنه، سنجد تلخ، زالزالک، آیلان، کاج تهران، کاج سیاه، سیاه تنگرس، افدرا، نسترن و ارغوان می‌توانند در این مناطق کاشته شوند. همچنین ۲۱۱٦ هکتار از منطقه مورد بررسی توانایی تقریباً متوسطی برای کاربری جنگلکاری دارد (کلاس ۲، تقریباً مناسب یا متوسط) و گونه‌هایی مانند سنجد، شیرخشت، بنه، دغدغک البرزی، توت، سماق، تنگرس، تادار، پلاخور و راناس مناسب کاشت در مناطق مشخص شده به نام Class 2A و گونه‌هایی مانند توس، ارس، توت و زرشک مناسب کاشت در مناطق مشخص شده به نام Class 2B هستند (شکل ٤).



شکل ٦- مقدار درجه اهمیت و وزن شاخص‌های اکولوژیکی با استفاده از الگوریتم بروتا

(V5: عمق خاک، V1: بارندگی در فصل رویش، V2: ارتفاع از سطح دریا، V4: بافت خاک، V6: شیب، V3: جهت)

Figure 6. Degree of importance and weight of the ecological parameters using the Boruta algorithm (V5= Soil depth, V1= Growing season precipitation, V2=Elevation, V4= Soil texture, V6= Slope, V3= Aspect)



شکل ۷- نقشه نهایی پیش‌بینی توان جنگلکاری با استفاده از روش جنگل تصادفی

Figure 7. Final predicted suitability map of afforestation using Random Forest algorithm

بحث

در سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی برای تعیین نوع استفاده از سرزمین و تعیین قابلیت سرزمین برای بهره‌برداری، به‌عنوان راهی مطمئن برای تضمین پایداری منابع مدنظر قرار گرفته است. در همین راستا امروزه تلفیق تکنیک‌های هوش مصنوعی با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای افزایش دقت روش‌های ارزیابی سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین منظور در این پژوهش از روش جنگل تصادفی به‌منظور شناسایی مناطق مناسب دارای توان جنگلکاری استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش جنگل تصادفی (دقت ۹۵ درصد) از دقت بسیار بالایی برای پیش‌بینی تناسب سرزمین برخوردار است. پژوهش‌هایی مانند Sarmadian و همکاران (2014) و

Ahmadi and Layegh (2015) نیز نشان دادند که روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند در زمینه ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین بسیار کارآمد باشند، زیرا ارزیابی توان سرزمین یک مسئله غیرخطی با ماهیت طبقه‌بندی است و نیاز به خروجی‌های صفر و یک دارد تا بدین‌وسیله شرایط مناسب و نامناسب منطقه مورد بررسی را مشخص کند. همچنین Lahssini و همکاران (2015)، الگوریتم جنگل تصادفی را یک روش مؤثر با دقت بسیار بالا در ارتباط با شناسایی مناطق مناسب برای جنگلکاری و کاشت گونه بلوط معرفی کردند. پژوهش Norouzi و همکاران (2017) نیز برای طبقه‌بندی مناطق دارای قابلیت انتقال آبخوان دشت ملکان از روش جنگل تصادفی استفاده کردند که نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شناسایی مناطق دارای توان قابلیت انتقال هیدرولوژیکی است. Pal (2005) نیز روش RF را به-عنوان یک روش مؤثر در ارزیابی و طبقه‌بندی کاربری اراضی معرفی کرد. در همین راستا Breiman (2001) بیان کرد که در روش جنگل تصادفی به‌دلیل اینکه طبقه‌بندی با میانگین‌گیری و شمارش نتایج درخت-های طبقه‌بندی‌کننده انجام می‌شود، بنابراین قادر است داده‌های دارای نویز را نیز به‌طور صحیح‌تری آموزش بدهد و دقت مدل افزایش یابد.

در این پژوهش نیز بر اساس ارزیابی عملکرد ماتریس اغتشاش مشخص شد که بهترین عملکرد متعلق به کلاس سه جنگلکاری (توان نامناسب) است به‌طوری‌که شبکه این کلاس را به‌طور کامل و دقیق تشخیص داده است و کمترین عملکرد متعلق به کلاس یک (توان بسیار مناسب) است. تشخیص خوب کلاس نامناسب برای کاربری جنگلکاری می‌تواند به‌دلیل تعداد نمونه آموزشی بیشتر این کلاس نسبت به کلاس‌های دو و سه باشد. در واقع بر اساس نتایج جدول ٤ مشخص شد که درصد بسیار بالایی از شاخص‌های محیط‌زیستی منطقه به کلاس نامناسب تعلق دارد بنابراین تعداد نمونه‌های آموزش داده‌شده به‌عنوان کلاس نامناسب بیشتر از بقیه کلاسه‌ها است و به همان مقدار نیز شبکه بهتر می‌تواند مناطق نامناسب را برای کاربری جنگلکاری تشخیص بدهد؛ که این نتایج با پژوهش‌های Lahssini و همکاران (2015)، Kursa and Rudnicki (2010) هم‌خوانی دارد. در پژوهش‌های ذکر شده مشخص شد که دقت طبقه‌بندی هر کلاسه با تعداد نمونه‌های آموزشی برای کلاسه‌های مختلف ارتباط مستقیم دارد.

یکی دیگر از دلایل دقت بالای مدل، استفاده از روش انتخاب ویژگی و الگوریتم بروتا است. در این روش در حین شناسایی مناطق دارای توان جنگلکاری می‌توان اهمیت هر یک از شاخص‌های مرتبط را نیز تعیین کرد که چنین قابلیتی در روش‌های قبلی هوش مصنوعی وجود ندارد. این روش با انتخاب زیرمجموعه‌های شاخص‌های مربوطه و مهم منجر به آموزش بهتر مدل می‌شود بنابراین دقت مدل افزایش می‌یابد. Hamzeh و همکاران (2016) نیز با استفاده از آنالیز انتخاب ویژگی، شاخص‌های مؤثر در شناسایی مناطق مناسب کاشت گونه جو را برای افزایش کارایی ارزیابی توان اکولوژیک تشخیص دادند. در این بررسی از میان هشت شاخص تعیین‌شده، فقط سه شاخص با درجه اهمیت بالا مانند بافت خاک، رطوبت خاک و شوری خاک برای ارزیابی انتخاب شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که بعد از اجرای این روش و حذف متغیرهای کم‌اهمیت، دقت مدل افزایش چشمگیری داشته است (Hamzeh *et al.*, 2016). همان‌گونه که Breiman (2001) نیز ذکر کرده است، هدف اصلی

استفاده از روش انتخاب ویژگی، شناسایی متغیرهای مهم برای کاهش ابعاد داده‌ها و افزایش دقت طبقه‌بندی است. در واقع تعداد زیاد متغیرهای پیش‌بینی منجر به کاهش دقت مدل می‌شود. در این پژوهش نیز بعد از اجرای این روش مشخص شد عامل‌های عمق خاک، بارندگی در فصل رویش، ارتفاع از سطح دریا، بافت خاک، شیب و جهت به‌ترتیب دارای وزن و درجه اهمیت بسیار به کم هستند ولی به‌دلیل دارا بودن وزن بیشتر از متغیرهای آستانه نیازی به حذف آن‌ها در فرآیند ارزیابی نیست.

علاوه بر این، نکته مهمی که می‌توان در ارتباط با استفاده از این الگوریتم بدان اشاره کرد این است که شاخص‌های مؤثر در تعیین توان اکولوژیک کاربری جنگلکاری دارای درجه اهمیت متفاوتی در تعیین نوع کلاسه ارزیابی هستند. در بسیاری از پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های جنگلداری و جنگلکاری که توسط پژوهشگران مختلف در سراسر دنیا انجام شده است، خاطر نشان کرده‌اند که در ارزیابی توان اکولوژیک به روش تجزیه تحلیل سیستمی ادغام نقشه‌ها، وزن شاخص‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. از این‌رو در این زمینه روش‌های ریاضی و وزن‌دهی فاکتورها مانند AHP کاربرد فراوانی یافته‌اند (Zare *et al.*, 2011؛ Rahimizahed *et al.*, 2008؛ Joss *et al.*, 2012؛ Dubovyk *et al.*, 2013؛ Yi and Wang, 2014). این در صورتی است که Makhdoum (2009)، بارها در مقالات خود ذکر کرده است که برای تعیین توان اکولوژیک کاربری‌هایی مانند جنگلکاری و جنگلداری نیازی به تعیین وزن شاخص‌ها نیست. چون متغیرهای محیط زیستی به‌دلیل ماهیت طبیعی و اکولوژیکی که دارند به‌خودی‌خود اثر خود را در طبقه‌بندی اعمال می‌کنند. نتایج استفاده از الگوریتم بروتا در این پژوهش به‌خوبی می‌تواند دلیل محکمی بر این ادعا باشد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این الگوریتم نشان داد که درجه اهمیت شاخص‌ها در ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلکاری به شرایط طبیعی منطقه و نیاز اکولوژیک گونه‌های درختی بستگی دارد و نیازی به انجام وزن‌دهی شاخص‌ها نیست چون به‌خودی‌خود شاخص‌ها دارای وزن هستند و اثر خود را در طبقه‌بندی اعمال می‌کنند.

نکته دیگری که می‌توان بدان اشاره کرد استفاده از داده‌های حاصل از روش تجزیه تحلیل سیستمی به‌عنوان ورودی مدل جنگل تصادفی است. در واقع در این پژوهش فرض شده‌است که با استفاده از اطلاعات حاصل از بررسی سرشت گونه‌های درختی، طبقه‌بندی لایه‌های مورد استفاده در فرآیند ارزیابی صورت گیرد که این روش از پژوهش‌های Radmehr and Araghinejad (2014)، Ahmadi and Layegh (2015) و Senagi و همکاران (2017) اقتباس شده است. در همین راستا Lahssini و همکاران (2015) بیان کردند که بهترین روش برای ارزیابی توان کاربری جنگلکاری استفاده از داده‌های واقعی حاصل از محاسبه نرخ موفقیت جنگلکاری‌های انجام‌شده به‌عنوان متغیر هدف برای ورودی مدل جنگل تصادفی است. در پژوهش ذکرشده بعد از نمونه‌برداری و محاسبه نرخ موفقیت جنگلکاری‌های موجود در منطقه Maamora در کشور مراکش و با در نظر گرفتن شاخص‌های بارندگی، دما، توپوگرافی و خاک مناطق دارای توان کاربری جنگلکاری با استفاده از روش جنگل تصادفی مشخص شد. اگرچه تهیه داده‌های متغیر پاسخ یا همان هدف در مقایسه با روش استفاده شده در این پژوهش برتری دارد اما عدم وجود داده‌های ذکر شده در ایران و مشکلات اندازه‌گیری نرخ موفقیت جنگلکاری در ایران محققین را ناچار به

استفاده از روش‌های قدیمی ارزیابی کرده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در صورت توانایی تهیه داده-های نرخ موفقیت جنگلکاری‌ها در ایران، ارزیابی توان اکولوژیک با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده و نمونه‌های واقعی با استفاده از روش جنگل تصادفی انجام شود زیرا این روش پتانسیل لازم به‌عنوان یک ابزار ارزیابی مکانی برای مسائل محیط زیستی را دارا است و با تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند به‌عنوان یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری در مسائل ارزیابی سرزمین مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری و حمایت مالی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهرداری تهران تقدیر و تشکر کنند. همچنین از همکاری اداره کل منابع طبیعی استان تهران در راستای تهیه اطلاعات و آمار موردنیاز برای اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

- Ahmadi, F. & N.F. Layegh, 2015. Integration of artificial neural network and geographical information system for intelligent assessment of land suitability for the cultivation of a selected crop, *Neural Computer & Application*, 26:1311–1320.
- Amiraslani, F. & D. Dragovich, 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: an overview of changing approaches, *Journal of Environmental Management*, 92:1-13.
- Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45 (1): 5–32.
- Dubovyk, O., G. Menz & A. Khamzina, 2014. Land suitability assessment for afforestation with *Elaeagnus angustifolia L.* in degraded agricultural areas of the lower Amudarya river basin, *Land Degradation and Development*, 27(8): 1831-1839.
- Hamzeh, S., M, Mokarram, A. Haratian, H. Bartholomeus, A. Ligtenberg & A.K. Bregt, 2016. Feature Selection as a Time and Cost-Saving Approach for Land Suitability Classification (Case Study of Shavur Plain, Iran). *Journal of Agriculture*, 6(52): 1-13.
- Jalilvand, H., G. kiani, M.E. Bahmanyar & M.R. pour majidian, 2007. Assessment of nutritional status of *Acer velutinum* afforestation using DRIS method. 10th Iranian soil science congress, Karaj, Iran (In Persian).
- Joss, BN., RJ. Hall, DM. Sidders & TJ. Keddy, 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada, *Environmental Monitoring Assessment*, 141:79–96.
- Koneshlo, H., 2015. Afforestation in arid areas, first edition. Forestry and Rangeland Research Institute Press, Tehran, 515 p (In Persian).
- Kursa, M.B. & W.R. Rudnicki, 2010. Feature selection with the Boruta package, *Journal of Statistical Software*, 36 (11):1-13.
- Lahssini, S., H. Lahlaoi, H. Mharzi Alaoui, E.A. Hlal, M. Bagaram & Q. Ponette, 2015. Predicting Cork Oak Suitability in Maâmora forest Using Random Forest algorithm, *Journal of Geographic Information System*, 7: 202-210.
- Makhdoum, M.F., 1992. Environmental unit: an arbitrary ecosystem for land evaluation, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 41:209-214.
- Makhdoum, M.F., 2009. Models which are never to be modelled or models with irrational prediction, *Environmental Sciences*, 6(3): 185-192 (In Persian).
- Makhdoum, M.F., 2010. Fundamental of land use planning, second edition. Tehran University Press, Tehran, 289 p (In Persian).
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in Planning*, 62: 3-65.
- Marvi Mohajer, M. R., 2006. Silviculture, second edition. University of Tehran Press, Tehran, 384 PP (In Persian).
- Motevalli, S., M.M. Hosseinzadeh, R. Esmaili, KH. Derafshi & S. Gharehchahi, 2012. Assessing the effects of land use change on hydrologic balance of Kan Watershed using SCS and HEC-HMS hydrological models, Tehran, Iran, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(8): 510-519.
- Nasiri, V., A. Roki, V. Etemad & S. Mehrju, 2017. Ecological capability evaluation of forest for protection and conservation planning (Gorazbon forest, Kheyroud),

Journal of Forest Research and Development, 2(4): 301-313.
- Norouzi, H., AA. Nadiri, A. Asghari Mogaddam & M. Gharekhani, 2017. Prediction of Transmissivity of Malikan Plain Aquifer Using Random Forest Method, *Journal of Science of water and soil*, 27(2): 61-75 (In Persian).
- Pal M, 2005. Random Forest classifier for remote sensing classification, *International Journal of Remote Sensing*, 26(1): 217–22.
- Radmehr, A. & SH, Araghinejad, 2014. Developing Strategies for Urban Flood Management of Tehran City Using SMCDM and ANN. *Journal of Computing in Civil Engineering,* 28:1-8.
- Rahimizadeh, N., S. Babaeikafaki & A. Mataji, 2012. Determination of suitable species for afforestation based on the ecological potential of southern Alborz Range using GIS, *Journal of natural resources science and technology*, 7(1): 43-56 (In Persian).
- Ravanbakhsh, H., M.R. Marvi Mohaje, Gh. Zahedi & A. Shirvani, 2010. Forest typology in relation with altitude gradient on southern, *Iranian Journal of Natural Resources*, 64 (1): 9-22 (In Persian).
- Rezaee, A., 2008. Management of plantation forests in arid areas, Poneh press, 244 p (In Persian).
- Sarmadian, F., A. Keshavarzi, A. Rooien, GH. Zahedi, H. Javadikia & M. Iqbal, 2014. Support Vector Machines based-modeling of land suitability analysis for Rainfed agriculture, *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(4): 165-171.
- Senagi, K., N. Jouandeau & P. Kamoni, 2017. Using parallel Random Forest classifier in predicting land suitability for crop production, *Journal of Agricultural Informatics*, 8(3):23-32.
- Sui, D.Z., 1993. Integrating neural networks with GIS for spatial decision making, *The Operational Geographer*, 11: 12-20.
- Yi, X. & L. Wang, 2013. Land suitability assessment on a watershed of Loess Plateau using the Analytic Hierarchy Process, *Public Library of Science ONE*, 8(12): 1-11.
- Zare, R., S. Babaeikafaki & A. Mataji, 2011. Suggestion the appropriate species for afforestation in South Hillside of Alborz Mountain by using GIS (case study: Dareh Vesieh Watershed), *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 2(1): 55-67 (In Persian).

Land capability evaluation of afforestation using Random Forest algorithm (Kan Watershed, Tehran)

M. Oghnoum[1], J. Feghhi[*2], M. Makhdoum[2], A. Moghaddamnia[4] and V. Etemad[5]

1- PhD Candidate of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (aghnoum@ut.ac.ir)
2- Professor, Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (jfeghhi@ut.ac.ir)
3- Professor, Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (mmakhdom@ut.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (a.moghaddamnia@ut.ac.ir)
5- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economic, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (vetemad@ut.ac.ir)

Received: 03.02.2018 Accepted: 28.08.2018

Abstract

It is necessary to evaluate sustainable spatial allocation of afforestation. For this purpose, this study was conducted in the Kan watershed of Tehran province to assess the suitability of land for afforestation. First, suitable tree species were chosen based on land characteristics of study area and purpose of restoration. Then, the ecological demands of tree species were investigated and effective Indicators which affect the evaluation process were identified. After processing, classification and integration of spatial layers in GIS using the system analysis method, a random forest algorithm was trained and suitability map of afforestation was produced. Results show that Random Forest method has a high accuracy in predicting suitable areas for afforestation. Also, 2116 ha of study area is moderately suitable for afforestation. Based on Boruta algorithm Soil depth, growing season precipitation, elevation, soil texture, slope and aspect are considered as the most important to the least important features, respectively and it is not necessary to carry out weighting methods for evaluation of afforestation capability. Generally, Random Forest method can be used as a capable way to prepare ecological capability maps.

Keywords: Boruta algorithm, System analysis, Artificial intelligence.

[*] Corresponding author Tel: +982632223044