

متغیرهای مؤثر در رده‌بندی فرم‌های هوموس در جنگل‌های هیرکانی در مقیاس محلی (پژوهش موردی: جنگل شصت کلاته گرگان)

هاشم حبشی*^۱ و فاطمه رفیعی^۲

۱- دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (habashi.hashem@gmail.com)

۲- دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (rafiee.f@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۳

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین متغیرهای اثرگذار در تفکیک فرم‌های هوموس در جنگل‌های شرق هیرکانی است. به این منظور تعداد ۱۸۹ نقطه نمونه به شیوه ترانسکت چندآشیاانه‌ای در جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا برداشت شد. فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس بر اساس رده‌بندی ریخت‌شناسی-کارکردی تعیین شد. سپس خصوصیات درختان مجاور نقطه نمونه ثبت و تیپ جنگل تعیین شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی و شکل زمین با توجه به موقعیت جغرافیایی نمونه از طریق نقشه توپوگرافی استخراج شد. با استفاده از روش‌های رده‌بندی جنگل تصادفی، رده‌بندی تقویت‌شده درختی و رگرسیون چندگانه اسپلاین متغیرهای مهم تأثیرگذار بر رده‌بندی فرم‌های مختلف هوموس تعیین شد. هفت فرم ثانویه هوموس دیسمول، یومول، مزومول، همی مودر، دیسمودر، یومودر و یوماکروآمفی در منطقه تفکیک و شناسایی شد. بالاترین صحت طبقه‌بندی‌کننده و بیشترین صحت توافق فرم هوموس پیش‌بینی و مشاهده‌شده مربوط به رده‌بندی تقویت‌شده درختی بود، به‌نحوی که شاخص رند اصلاح یافته آن ۰/۷۶ و ضریب کاپا ۹۶/۳ درصد بود. نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات فرم‌های هوموس در مقیاس محلی بیشتر وابسته به توپوگرافی و خصوصیات درختان مجاور محل نمونه‌برداری است.

واژه‌های کلیدی: آمفی، فرم هوموس، لایه بستر جنگل، مودر، مول.

مقدمه

و نشان دادند که اقلیم، نوع خاک، واحدهای زمین‌شناسی، میکرو و ماکرو توپوگرافی نقش مؤثری در پراکنش فرم‌های هوموس ایفا می‌کنند. Ponge و همکاران (2014) در چهار ناحیه اقلیمی در نواحی آلپی ایتالیا پژوهشی انجام دادند و طی آن واحدهای خاک‌شناسی، نوع سنگ‌بستر، ارتفاع از سطح دریا، نوع گونه‌های درختی، درصد تاج‌پوشش، درصد پوشش کف، میانگین بارندگی سالیانه، میانگین درجه حرارت سالیانه، پتانسیل تبخیر و تعرق سالیانه در تابستان، شاخص GAMS (ارتفاع/ بارندگی)، شاخص خشکی (درجه حرارت / بارندگی) را به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر فرم‌های هوموس مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد، دما و تبخیر/ تعرق، pH، کربن آلی و C/N برای خاک خیلی مهم‌تر از بارندگی سالیانه و ازت است. در ایران چند روش طبقه‌بندی هوموس توسط اساتید خاک‌شناسی جنگل مانند Zarrinkafsh (2000) و Habibi Kaseb (1993) ترجمه شده‌اند که مبتنی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک است و در عمل شناسایی را در عرصه غیرممکن می‌سازد یا نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد است (Waez-Mousavi and Habashi, 2012). نتایج پژوهش Sajedi و همکاران (2004) که با استفاده از روش طبقه‌بندی گرین در جنگل‌های راشستان خیرود کنار انجام یافت، نشان داد که هوموس مورد بررسی، اغلب مودر است. (Waez-Mousavi and Habashi, 2012) طی پژوهشی در جنگل‌های آمیخته راش شرق هیرکانی (جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا) با روش Green شش نوع هوموس و با روش Zanella (2011) نه نوع هوموس را شناسایی کردند که در هر دو روش، بیشترین درصد هوموس از نوع مول بود (Green et al., 1993). Bayranvand و همکاران (2017) هوموس مول را در ارتفاع کم از سطح دریا، مودر را در ارتفاع متوسط از

لایه بستر جنگل Forest Floor در ایجاد تغییرات خصوصیات خاک اهمیت زیادی دارد و باعث حفاظت خاک در برابر فرسایش آبی به‌واسطه‌ی خاصیت اسفنجی خود می‌گردد (Piccolo, 1996). هوموس نامی عمومی است که برای مواد کف جنگل به‌کاربرده می‌شود. اولین رده‌بندی هوموس توسط Hoover and Lunt (1952) انجام شد و آخرین رده‌بندی که مورد پذیرش انجمن علوم خاک آمریکا قرار گرفته است توسط Zanella و همکاران (2011) انجام شده است. اولین بار Baratt (1964) از عنوان فرم‌های هوموس (Humus Forms) برای طبقه‌بندی استفاده کرد. در خصوص تأثیر عوامل زیستی و غیرزیستی بر تغییرات فرم‌های هوموس می‌توان به پژوهش‌های شاخص زیر اشاره کرد. Ponge و همکاران (2011) تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی و اقلیم در فرم‌های هوموس و مقایسه آن با تأثیر درصد تاج‌پوشش را بررسی کردند. در این پژوهش متغیرهای زیادی مانند میانگین دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال، میانگین دمای سالیانه، میانگین بارندگی سالیانه، شاخص خشکی، نوع سنگ مادری، نوع خاک و درصد تاج‌پوشش مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که دما و بارندگی تأثیر مرکب بر فرم‌های هوموس دارند، هرچند دما تأثیر بیشتری داشت. درصد تاج‌پوشش تأثیر معنی‌دار نداشت و بیشترین رابطه فرم‌های هوموس با سنگ مادر بود. De Nicola و همکاران (2014)، در پژوهشی برای طبقه‌بندی فرم‌های هوموس در مناطق مدیترانه‌ای، واحدهای زمین‌شناسی، واحدهای خاک‌شناسی، ارتفاع از سطح دریا، شیب عمومی، نوع جنگل، جوامع گیاهی، رژیم رطوبتی منطقه، pH، کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت C/N را به‌عنوان متغیرهای مؤثر مورد بررسی قرار داده

سطح دریا و مور را در ارتفاع بالا از سطح دریا گزارش کردند و همچنین نشان دادند که با تغییر فرم هوموس از مول به مور ضخامت لایه بستر جنگل افزایش می‌یابد. علاوه بر این سه فرم هوموس آن‌ها فرم هوموس آمفی را شناسایی کرده و بیان کردند که حضور این نوع هوموس رابطه نزدیکی با تیپ جنگل توسکا بیلاقی آمیخته دارد و با توجه به نتایج فوق ارتفاع از سطح دریا و تیپ جنگل را در تغییر فرم‌های هوموس مهم دانستند. با توجه به آنکه در ایران تاکنون پژوهشی در خصوص متغیرهای مؤثر بر رده‌بندی فرم‌های هوموس در مقیاس محلی انجام نشده است، هدف از این مقاله تعیین عوامل یا متغیرهای اثرگذار بر تغییر فرم‌های هوموس است. با توجه به آنکه فرم هوموس شاخص مهمی در ارزیابی توان اکولوژیک توده جنگلی است، اطلاع داشتن از عوامل مؤثر بر تغییرات فرم‌های آن، می‌تواند مسئولین سازمان جنگل‌ها را در تدوین شرح خدمات تهیه طرح‌های جنگلداری شمال کشور مبتنی بر اصول مدیریت جنگل پایدار یاری رساند تا گروه آماربرداری جنگل و نمونه‌برداری خاک جنگل را تکلیف به برداشت این متغیرها کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی سری یک، جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا است. این جنگل در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. مساحت سری ۱۷۱۴ هکتار است و دارای ۳۳ پارسل است. این جنگل در پنج کیلومتری جنوب غربی شهر گرگان قرار دارد. میزان بارندگی متوسط سالیانه منطقه ۶۴۹ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه مرطوب سرد بر اساس کلیماتوگرام

آمبرژه است. سنگ‌های مادری منطقه پژوهش شامل ماسه‌سنگ، لس و سنگ‌آهک متعلق به دوره مزوزوئیک است. منطقه پژوهش دارای سه رده خاک کامبی‌سول، لویسول و لپتوسول و پنج زیررده اندوگلیک کامبی‌سول، اوتریک کامبی‌سول، کرومیک کامبی‌سول، گلیک لویسول و اوتریک لپتوسول است (Bahramnia, 1995). به‌منظور تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر رده‌بندی فرم‌های هوموس ۱۸۹ نقطه نمونه روی ترانسکت‌هایی به طول ۶۴ متر با نقطه شروع تصادفی در سه نوع سنگ مادر فوق برداشت شد. روی هر ترانسکت تعداد ۱۰ تکرار برداشت شد و فرم هوموس بر اساس روش طبقه‌بندی Zanella و همکاران (2011) در عرصه تعیین شد. فاصله تا نزدیک‌ترین درخت، قطر برابرسینه و مساحت تاج نزدیک‌ترین درخت اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی از مدل ارتفاعی دیجیتال (Digital Elevation Model) استخراج شد که شامل متغیرهای اولیه گرادیان شیب (Slope)، جهت شیب (Aspect)، انحنای نیم‌رخ (Profile curvature)، انحنای مسطحاتی (Plan curvature)، انحنای مماسی (Tangential curvature) و متغیر ثانویه شاخص رطوبت (Wetness index) بود. قابل‌ذکر است متغیرهای اولیه به‌طور مستقیم از مدل ارتفاعی دیجیتال محاسبه می‌شوند و متغیرهای ثانویه مرکب از ویژگی‌های اولیه به همراه شاخص‌های فیزیکی یا تجربی هستند که تغییرپذیری مکانی فرآیندهای خاص در سیمای اراضی را بیان می‌کنند (Florinsky, 2005). تیپ توده جنگل با استفاده از روش دندرومتر کرامر (Kramer's dendrometer) در برداشت رویه زمینی تعیین شد (Kramer, 1988). بر این اساس توده دارای پنج تیپ راش-ممرز، ممرز-راش، ممرز-انجیلی، انجیلی-ممرز و پلت-انجیلی بود. ضخامت لایه بستر

است که هیچ فرم هموموسی اشتباهی به جای فرم هموموس اصلی مشاهده شده پیش‌بینی نشده است.

$$k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad \text{رابطه (۲)}$$

روش رده‌بندی جنگل تصادفی قادر است برای متغیرهای پیوسته و متغیرهای گسسته، اسمی و رتبه‌ای استفاده شود و با توجه به وجود متغیرهایی مانند فرم‌های هموموس، نوع سنگ مادر، تیپ جنگل، شکل زمین و گونه‌های درختی که جزو متغیرهای اسمی یا رتبه‌ای است، از این روش استفاده شد. جنگل تصادفی مجموعه‌ای از درخت‌های هرس‌نشده با الگوریتم افراز بازگشتی (Recursive partitioning) ایجاد می‌کند (Hastie et al., 2009). با توجه به بزرگی درخت برای خلاصه‌سازی از شاخص اهمیت متغیرها (Variable Importance) استفاده می‌شود که شاخصی برای رتبه‌بندی متغیرها برحسب اهمیت آن‌ها در اثرگذاری روی متغیر وابسته است (Breiman, 2001). در این پژوهش به ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد نمونه‌ها به دو بخش آموزشی (Learning sample) و بیرون آزمون (Out of bag) تقسیم شدند. درخت‌ها با نمونه‌های آموزشی ساخته شدند و از نمونه‌های آزمون برای اندازه‌گیری ناخالصی درخت استفاده شد. با جابه‌جایی مقادیر متغیرهای مستقل اندازه ناخالصی درخت محاسبه می‌شود و بر اساس آن مقدار اهمیت متغیرها محاسبه می‌شود. انگیزه این روش این است که اگر متغیر مستقل مهم باشد جابجاشدن مقادیر آن به‌طور تصادفی منجر به افزایش ناخالصی درخت می‌شود، درحالی‌که اگر متغیر تأثیرگذاری نباشد تغییر چندانی در ناخالصی ایجاد نمی‌شود (Genuer et al., 2008). در این پژوهش تعداد اولیه درخت رده‌بندی ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد (Breiman, 2001) و میانگین تأثیر متغیرهای محیطی بر رده‌بندی هموموس پس از تکرار پنج بار مدل اندازه‌گیری شد.

جنگل (Forest floor) با خط‌کش اندازه‌گیری شد و به روش والکی-بلک مقدار ماده آلی خاک در محل نقاط نمونه در عمق ۱۰ سانتی‌متری تعیین شد. برای تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر رده‌بندی فرم‌های هموموس از روش‌های رده‌بندی جنگل تصادفی (Random Forests Classification)، رده‌بندی تقویت‌شده درختی (Boosted Tree Classification) و مارس (رگرسیون چندگانه اسپلاین) (MARS Adaptive Regression Splines Multivariate) استفاده شد. از شاخص رند اصلاح‌یافته (Adjusted rand index) برای ارزیابی صحت استفاده شد (Lawrence and Phipps, 1985). برای محاسبه آن از رابطه یک استفاده شد که در آن اعداد n_{ij} واقع در قطر ماتریس مقایسه فرم‌های هموموس پیش‌بینی‌شده در برابر فرم‌های هموموس مشاهده شده است. a_i مجموع ردیف‌های ماتریس، b_j مجموع ستون‌های ماتریس و n جمع کل ماتریس است (Rand, 1971).

$$ARI = \frac{\sum_{ij} (n_{ij}) - \left[\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2} \right] / \binom{n}{2}}{\frac{1}{2} \left[\sum_i \binom{a_i}{2} + \sum_j \binom{b_j}{2} \right] - \left[\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2} \right] / \binom{n}{2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

این شاخص بین ۱ تا -۱ تغییر می‌کند و زمانی که مقدار انطباق فرم‌های هموموس پیش‌بینی‌شده به فرم واقعی کامل باشد مقدار آن برابر ۱ خواهد بود. مقادیر کمتر از ۱ تا صفر و -۱ نشان‌دهنده آن است که داده‌ها به‌طور صحیح رده‌بندی نشده‌اند (Warrens, 2008). از ضریب کاپا کوهن (Cohen's kappa) نیز برای ارزیابی مقدار صحت توافق فرم‌های هموموس با همدیگر و محاسبه نرخ اشتباه هر فرم هموموس استفاده شد (Warrens, 2008). برای محاسبه آن از رابطه دو استفاده شد که در آن p_o نرخ توافق نسبی مشاهده‌شده و P_e احتمال فرضی توافق شانسی است. هر چه ضریب کاپا به یک نزدیک‌تر می‌شود نشان‌دهنده آن

و آمفی ۶ درصد نمونه‌ها را شامل شد. در جدول یک فراوانی فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس شناسایی شده ارائه شده است. بیشترین ضخامت افق لاشریزه مربوط به فرم ثانویه دیسمودر و کمترین آن متعلق به یومول بود. بیشترین ضخامت افق خردشده مربوط به دیسمودر و بیشترین ضخامت افق هوموس متعلق به یوماکروآمفی بود.

متغیرهای ورودی شامل متغیرهای اولیه توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، گرادیان شیب، جهت شیب، انحنای نیم‌رخ، انحنای مسطحاتی، انحنای مماسی) و ثانویه توپوگرافی (شاخص رطوبت)، نوع سنگ‌بستر و خاک، شکل زمین، تیپ جنگل، روبه زمینی متوسط در هکتار درختان مجاور نقطه نمونه، اطلاعات درختان مجاور نقطه نمونه شامل قطر برابرسینه، فاصله تا نزدیک‌ترین درخت، ضخامت لایه بستر جنگل و مقدار ماده آلی خاک در محل نقطه نمونه بود. در جدول ۲ میانگین ضریب کاپا برای فرم‌های هوموس شناسایی شده در سه روش ارائه شده است. در روش جنگل تصادفی فرم اصلی که کمترین میانگین نرخ رده‌بندی اشتباه داشت فرم هوموس دیسمودر بود (ضریب کاپا ۹۵ درصد) و رده هوموس همی‌مودر بیشترین میانگین نرخ رده‌بندی اشتباه را داشت (ضریب کاپا ۷۵ درصد). به‌طور میانگین ضریب کاپا روش رده‌بندی تقویت‌شده درختی بیشترین و رگرسیون چندگانه اسپلاین کمترین مقدار را داشت که نشان می‌دهد مقدار خطای اختصاص فرم‌های اصلی هوموس به فرم‌های اشتباه در روش رگرسیون چندگانه اسپلاین بیشترین مقدار است.

در رده‌بندی تقویت‌شده درختی ابتدا تمامی نمونه‌ها در گره مادر قرار گرفت و سپس گره مادر بر اساس یکی از ویژگی‌های که بیشترین یکنواختی را در گره‌های فرزند ایجاد می‌کرد، تقسیم شد. هرچه به سمت گره‌های پایین‌تر حرکت می‌کنیم، مقدار انحراف معیار و تعداد داده‌ها کاهش پیدا می‌کند. در این روش برای جلوگیری از بزرگ شدن بیش‌ازاندازه درخت رگرسیون، حداقل اندازه نمونه در هر گره پنج و حداکثر تعداد گره ۲۰ و شرط شکستن گره‌ها بر مبنای واریانس گذاشته شد. ارزیابی درخت ایجاد شد توسط شاخص هزینه دسته‌بندی اشتباه (Misclassification) انجام شد (Breiman, 1984). مارس (رگرسیون چندگانه اسپلاین) طی دو مرحله انجام شد. در اولین مرحله ساده‌ترین مدل ممکن ساخته شد و کلیه متغیرها بر اساس معیار نیکویی برازش (حداقل سازی خطای تخمین بر اساس معیار حداقل مربعات خطا) وارد مدل شدند. در مرحله دوم به‌صورت برگشت مدلی با حداکثر پیچیدگی ساخته شد و در نهایت در آخرین گام فرآیند هرس به کار گرفته شد تا با معیار نیکویی برازش مدل بهینه شود (Hastie et al., 2009). در این شیوه آماری هرسی انجام نشد و درجه روابط متقابل بین متغیرها ۲ در نظر گرفته شد. در این پژوهش کلیه تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA V10.0 انجام شده است.

نتایج

بر اساس یافته‌های پژوهش فرم‌های اصلی هوموس مول، مودر و آمفی به‌ترتیب دارای بیشترین فراوانی بودند. مول ۵۰ درصد نمونه‌ها را شامل شد، مودر ۴۴

جدول ۱- مشخصات فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس در سری یک جنگل آموزشی دکتر بهرام نیا

Table 1. Main and secondary humus forms characteristics in district 1 Dr. Bahramnia Educational forest

ضخامت افق (سانتی‌متر) Layer Depth (Cm)			درصد Percent	فراوانی Frequency	فرم هوموس Humus form	
H	F	L			ثانویه Secondary	اصلی Main
-	0.5±0.1	1.8±0.4	32.3	64	دیسمول Dysmull	
-	-	1.3±0.2	10.1	20	یومول Eumull	مول MULL
-	-	2.2±0.3	7.6	15	مزومول Mezomull	
1.0±0.0	2.4±0.6	3.4±0.8	3	6	دیسمودر Dysmoder	
0.5±0.0	0.7±0.3	2.6±0.8	28.8	57	یومودر Eumoder	مودر MODER
-	0.5±0.1	2.7±0.4	12.1	24	همی مودر Hemimoder	
1.1±0.3	0.5±0.4	2.3±0.7	6.1	12	یوماکروآمفی Eumacroamphi	آمفی AMPHI

جدول ۲- ضریب کاپا مربوط به روش‌های آماری جنگل تصادفی، رده‌بندی تقویت‌شده درختی و رگرسیون چندگانه اسپلاین

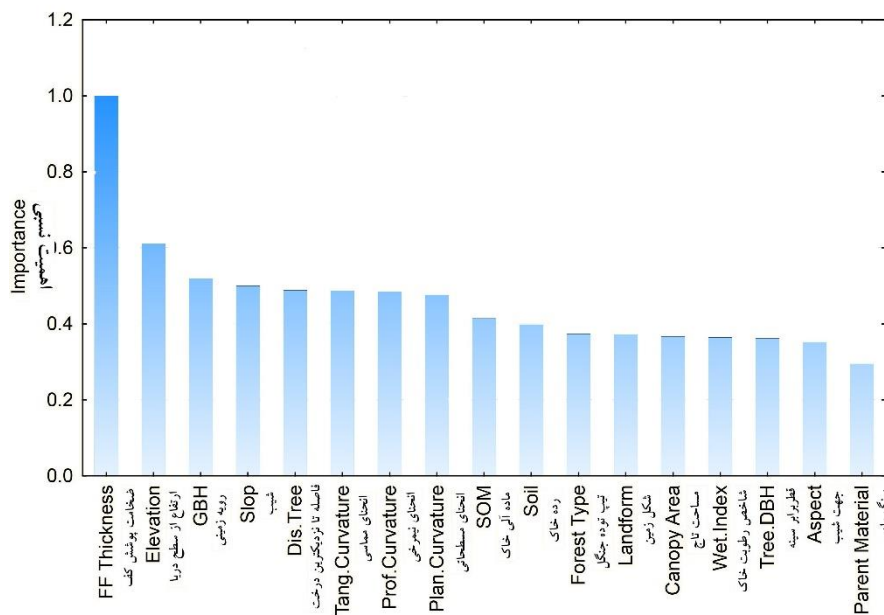
Table 2. Kapa coefficients in random forest, boosted tree classification and multivariate regression splines

ضریب کاپا Kappa coefficient			فرم‌های ثانویه هوموس Secondary Humus forms
رگرسیون چندگانه اسپلاین Multivariate Regression Splines	رده‌بندی تقویت‌شده درختی Boosted Tree Classification	رده‌بندی جنگل تصادفی Random Forests Classification	
61.2	50	86.5	دیسمول Dysmull
50.0	97.2	85.2	یومول Eumull
36.8	98.9	93.8	مزومول Mezomull
54.6	97.3	95.6	دیسمودر Dysmoder
76.7	93.8	82.1	یومودر Eumoder
74.5	92.7	75.3	همی مودر Hemimoder
54.5	94.5	92.4	یوماکروآمفی Eumacroamphi
58.3	96.3	87.2	میانگین Mean

انحنای نیم‌رخ، ضخامت لایه بستر جنگل، جهت شیب، قطر برابرسینه نزدیک‌ترین درخت و رویه زمینی درختان مجاور نقطه نمونه بودند. به‌عنوان نمونه در شکل ۱ خلاصه پیش‌بینی فرم‌های هوموس در روش جنگل تصادفی نمایش داده شده است.

میانگین شاخص رند اصلاح یافته ۰/۵۵ بود. کمترین میانگین نرخ رده‌بندی اشتباه فرم ثانویه هوموس را دیسمودر داشت (ضریب کاپا ۹۵) و فرم ثانویه هوموس همی‌مودر بیشترین میانگین نرخ رده‌بندی اشتباه را داشت (ضریب کاپا ۷۵ درصد) و به‌طور میانگین ضریب کاپا برای هفت فرم ثانویه هوموس ۸۷/۲ درصد بود.

مقدار شاخص رند اصلاح‌یافته (ARI) در روش جنگل تصادفی ۰/۵۵، در روش رده‌بندی رگرسیون درختی ۰/۷۶ و روش رگرسیون چندگانه اسپلاین ۰/۶۰ بود. در جدول ۳ مهم‌ترین متغیرهای محیطی اثرگذار بر تغییرات فرم‌های هوموس و رده‌بندی آن‌ها در سه روش یادشده ارائه شده است. در این جدول خصیصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی در مجموع ۵۵/۲ درصد اهمیت، متغیرهای محیطی ۱۱/۴ درصد و متغیرهای مرتبط با نقطه نمونه ۳۳/۴ درصد اهمیت را داشتند. شش متغیری که بیشترین اهمیت را در رده‌بندی فرم‌های هوموس داشتند (به‌طور میانگین در سه روش آماری) به‌ترتیب ارتفاع از سطح دریا،



شکل ۱- اهمیت نسبی متغیرها در رده‌بندی فرم‌های ثانویه هوموس در الگوریتم رده‌بندی جنگل تصادفی

Figure 1. Relative importance of variables in random forest algorithm in secondary humus forms classification

جدول ۳- اهمیت نسبی متغیرهای محیطی، توپوگرافی و مرتبط با موقعیت نقطه نمونه در طبقه‌بندی فرم‌های ثانویه هوموس

Table 3. Relative importance of environmental variables, topography and sample points position in the classification of secondary humus forms

متغیر	نام متغیر	نوع متغیر	رده‌بندی جنگل تصادفی	رده‌بندی تقویت‌شده درختی	رگرسیون چندگانه اسپلاین	میانگین
Variable	Variable Name	Variable Type	Random Forests Classification	Boosted Tree Classification	Regression Splines Multivariate	Mean
متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی primary and secondary topographic properties	گرادیان شیب	پیوسته Continous	6.3	6.8	0	4.6
	Slop					
	جهت شیب	پیوسته Continous	4.5	6.2	15.3	9.2
	Aspect					
	ارتفاع از سطح دریا	پیوسته Continous	7.8	7.1	15.4	12.7
	A.S.L					
	انحنای مسطحاتی	پیوسته Continous	6.1	6.1	0	4.29
	Plan curvature					
متغیر محیطی Environment variable	انحنای نیم‌رخ	پیوسته Continous	6.2	5.9	23.1	12
	Profile curvature					
	انحنای مماسی	پیوسته Continous	6.2	6.6	0	4.4
	Tangenital curvature					
	شکل زمین	طبقه‌ای Categorized	4.7	5.3	0	3.0
	Land form					
	شاخص رطوبت	پیوسته Continous	4.6	7.3	0	5.0
	Wetness index					
متغیر محیطی Environment variable	نوع سنگ بستر	اسمی Nominal	3.7	3.8	0	2.5
	bedrock					
	تیپ جنگل	اسمی Nominal	4.7	4.6	0	2.8
	Forest type					
متغیر محیطی Environment variable	نوع خاک	اسمی Nominal	5.1	4.4	0	3.0
	Soil type					
متغیر محیطی Environment variable	ماده آلی خاک	پیوسته Continous	5.3	4.0	0	3.1
	Soil organic matter					

ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

میانگین Mean	رگرسیون چندگانه اسپلاین Regression Splines Multivariate	رده‌بندی تقویت‌شده درختی Boosted Tree Classification	رده‌بندی جنگل تصادفی Random Forests Classification	متغیر Variable	نام متغیر Variable Name	متغیر Variable
6.6	7.8	6.7	6.6	پیوسته Continous	رویه زمینی در هکتار GBH	متغیر مرتبط با نقطه نمونه (Variable related to sample points)
8.8	15.4	4.8	4.6	پیوسته Continous	قطر برابر سینه نزدیک‌ترین درخت DBH	
3.4	0	5.9	6.2	پیوسته Continous	فاصله تا نزدیک‌ترین درخت Distance	
3.2	0	4.4	4.7	پیوسته Continous	مساحت تاج نزدیک‌ترین درخت Crown area	
11.4	23.1	9.9	12.7	پیوسته Continous	ضخامت لایه بستر جنگل Forest floor thickness	

بحث

شیب و عامل ارتفاع از سطح دریا به طور توأم در جنگل‌های هیرکانی نوع اقلیم را تعیین می‌کنند که در تمامی پژوهش‌ها به عنوان متغیر تأثیرگذار معرفی شده است (Cheraghi *et al.*, 2018). به دیگر سخن در مقیاس حوزه آبخیز (Landscape Scale) تغییرات اقلیمی از نوع تغییرات خرد است که آن‌ها به نوبه خود متأثر از تغییرات میکرو و ماکروتوپوگرافی است که در پژوهش De Nicola و همکاران (2014) مورد تأیید قرار گرفت. انحنای نیمرخی نشان‌دهنده مقعر (مقادیر منفی) یا محدب بودن (مقادیر مثبت) دامنه شیب است که به نوبه خود بر مقدار رطوبت سطحی خاک تأثیر مستقیم می‌گذارد (Famiglietti *et al.*, 1998) بنابراین بر روند تجزیه لاشریزه و تغییرات فرم‌های ثانویه هوموس تأثیرگذار است.

سه متغیر ضخامت لایه بستر جنگل، قطر برابرینه نزدیک‌ترین درخت و رویه زمینی درختان مجاور نقطه نمونه در مجموع ۲۰/۸ درصد اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند که در بین آن‌ها ضخامت لایه بستر جنگل مهم‌ترین متغیر است. ضخامت لایه بستر جنگل بیانگر انباشت لاشریزه است که خود تفاضل فرآیند لاشریزی از تجزیه است. در پژوهش Ponge و همکاران (2011) درصد تاج‌پوشش به عنوان متغیری غیر تأثیرگذار در رده‌بندی هوموس معرفی شد. با توجه به آنکه درصد تاج‌پوشش بر فرآیند لاشریزی تأثیرگذار است به نظر می‌رسد با توجه به اهمیت ۲۰/۸ درصدی ضخامت لایه بستر جنگل بر رده‌بندی فرم‌های ثانویه هوموس، تأثیر فرآیند تجزیه بسیار بیشتر است. همچنین می‌دانیم فرآیند تجزیه در مقیاس محلی بسیار متأثر از اقلیم (حرارت و رطوبت) است (Berg, 2000)؛ بنابراین به نظر می‌رسد در مقیاس این پژوهش فرآیند تجزیه لاشریزه که تعیین‌کننده ضخامت لایه انباشت است نقش تعیین‌کننده‌ای بر رده‌بندی

فرم‌های هوموس تحت تأثیر مستقیم نوع گونه‌های جنگلی است (Mobaied *et al.*, 2012)، قسمتی از حافظه جنگل است (Galvan *et al.*, 2008)، در تبدیل مواد آلی شرکت دارد (Horwath, 2007) و نشان‌دهنده وضعیت حفاظتی اکوسیستم است (Topoliantz and Ponge, 2000) که این موارد بیانگر اهمیت هوموس است. مول فراوان‌ترین فرم اصلی هوموس در منطقه پژوهش بود. پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل‌های هیرکانی نشان داده است که در بین فرم‌های هوموس، مول گسترش بیشتری نسبت به دیگر فرم‌ها دارد (Waez-Mousavi and Habashi, 2012). نتایج پژوهش نشان داد که از شش متغیری که ۶۰/۷ درصد اهمیت را در رده‌بندی فرم‌های ثانویه هوموس داشتند سه متغیر از ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی و سه متغیر مرتبط با نقطه نمونه هستند. دو نکته مهم در این نتیجه دیده می‌شود. ابتدا متغیرهایی مانند سنگ مادر و نوع خاک که در پژوهش‌های قبلی (De Nicola, Ponge *et al.*, 2011, Ponge *et al.*, 2014, *et al.*, 2011) به عنوان متغیرهای مهم در رده‌بندی معرفی شده بودند، در این پژوهش تنها ۵/۵ درصد اهمیت را به خود اختصاص دادند. دلیل این موضوع به سطح یا مقیاس بررسی مربوط می‌شود که در این پژوهش در سطح یک سری به وسعت ۱۷۰۰ هکتار انجام شده است اما پژوهش‌های مذکور در سطوح وسیع (حتی قاره اروپا) بررسی انجام شده است. نکته دوم حضور پرننگ و بااهمیت متغیرهای توپوگرافی در نتایج این پژوهش است که سه متغیر ارتفاع از سطح دریا، انحنای نیمرخی و جهت شیب ۳۳/۹ درصد اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. متغیر ارتفاع از سطح دریا پیشتر به عنوان متغیر مهم معرفی شده بود (Ponge *et al.*, 2014). جهت

از نوع پیوسته، اسمی و طبقه‌ای وارد مدل‌سازی شدند. به دلیل ایجاد تعداد زیاد درخت و میانگین‌گیری در اجرای جنگل تصادفی این رده‌بندی‌کننده به نتایج با تعصب اندک و تغییرپذیری کم، ولی پیش‌بینی‌های دقیق منجر می‌شود. این راهبرد به‌طور معنی‌داری بهتر از رده‌بندی‌کننده‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی است و در برابر بیش‌برازش مقاوم است. بریمن با استفاده از قانون قوی اعداد بزرگ نشان داد که هرچه تعداد درخت‌های یک جنگل افزایش می‌یابد خطای پیشگویی جنگل همگرا به یک مقدار کم می‌شود (Breiman, 2001). افزون بر این جنگل تصادفی فقط دو شاخص اصلی (تعداد متغیرها در هر گره و تعداد درختان در جنگل) دارد و معمولاً به ارزش‌های آن‌ها چندان حساس نیست. با توجه به این مزایا کاربرد الگوریتم جنگل تصادفی در رده‌بندی متغیرهای مهم در جنگل‌های هیرکانی توصیه می‌شود. با توجه به دارا بودن دقت بیشتر الگوریتم رده‌بندی رگرسیون درختی به دلیل حساسیت این روش به متغیرهای ورودی، نیازمند بودن به روش هرس مناسب و آشنایی کامل با روش تحلیل آن استفاده از این روش با احتیاط بیشتری توصیه می‌شود. در نهایت مشخص شد توپوگرافی، تجزیه لاشریزه و خصوصیات درختان مجاور نقطه نمونه متغیرهای تأثیرگذار بر رده‌بندی این هفت فرم ثانویه هوموس هستند. الگوریتم‌های رده‌بندی جنگل تصادفی و تقویت‌شده درختی برای رده‌بندی متغیرهای پیوسته، اسمی و طبقه‌ای مناسب و دقیق معرفی شدند.

تشکر و قدردانی

اعتبار انجام این مقاله از محل گرنت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب طرح پژوهشی داخل دانشگاه تأمین شده است.

فرم‌های ثانویه هوموس دارد. دو متغیر قطر برابرسینه نزدیک‌ترین درخت و رویه زمینی درختان مجاور نقطه نمونه نشان‌دهنده وضعیت پوشش گیاهی در مجاور نقطه نمونه است که نشان می‌دهد در مقیاس محلی تأثیر پوشش گیاهی بر تغییرات فرم‌های ثانویه هوموس بیشتر از متغیرهایی مانند سنگ مادر یا نوع خاک است. معیار چهارم پروتکل مونترال پروسس (The Montréal Process) که مرتبط با حفاظت و نگهداری منابع آب‌وخاک است تأکید بر روابط متقابل خاک، آب، اقلیم، توپوگرافی و فعالیت‌های زیستی مؤثر بر سلامت اکوسیستم جنگل است. به‌طور متقابل فعالیت‌های انسان در جنگل در قالب طرح جنگلداری موجب تغییر معنی‌دار کیفیت خاک، آب و زیستگاه خواهد شد. در این راستا شاخص ۴,۲ این پروتکل تأکید بر سطح و درصد اراضی جنگلی دارد که خاک دچار اضمحلال معنی‌داری شده است (The Montréal Process, 2015). نتایج این پژوهش نشان داد که از طریق اندازه‌گیری ضخامت لایه بستر جنگل می‌توان به‌خوبی در خصوص تغییرات فرم هوموس اظهارنظر کرد؛ بنابراین به‌عنوان نتیجه‌ای کاربردی پیشنهاد می‌شود در شرح خدمات تهیه طرح جنگلداری پایدار به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری شود. در این پژوهش از سه روش رده‌بندی جنگل تصادفی، رده‌بندی رگرسیون درختی و رگرسیون چندگانه آداپتو اسپلین برای تعیین متغیرهای مهم بر رده‌بندی فرم‌های ثانویه هوموس استفاده شد. از مزایای روش رده‌بندی جنگل تصادفی می‌توان به عدم نیاز به هرس درختان در موقع مدل‌سازی یا رده‌بندی، افزایش صحت رده‌بندی و پیش‌بینی در عین حفظ خصوصیات درخت که تفسیر را آسان می‌سازد، اشاره کرد. نکته دوم آنکه در رده‌بندی جنگل تصادفی متغیرهای ورودی می‌تواند پیوسته یا طبقه‌ای باشد که در این پژوهش متغیرهایی

References

- Bahramnia, H., 1995. Forestry Plan, education Forests of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource. 252 pp.
- Baratt, B. C., 1964. Classification of humus form and micro- fabrics of temperate grasslands, *Journal of Soil Science*, 15(2): 342-356.
- Bayranvand, M., Y. Kooch, S. M. Hosseini & G. Alberti, 2017. Humus forms in relation to altitude and forest type in the Northern mountainous regions of Iran, *Forest Ecology and Management*, 385: 78-86.
- Berg, B., 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils, *Forest Ecology and Management*, 133(1-2): 13-22.
- Breiman, L., 1984. Classification and regression trees CA, Wadsworth International Groups. 368 p.
- Breiman, L., 2001. Random Forests, *Machine Learning*, 45(1): 5-32.
- Cheraghi, J., M. Heydari, M. Mirab-balou & R. Omidipour, 2018. Efficiency of numerical and parametrical indices to evaluate biodiversity of soil and litter arthropods mesofauna in different physiographic positions in Zagros oak forests, *Journal of Forest Research and Development*, 3(4): 377-394.
- De Nicola C., A. Zanella, A. Testi, G. Fanelli & S. Pignatti, 2014. Humus forms in a Mediterranean area (Castelporziano Reserve, Rome, Italy): classification, functioning and organic carbon storage, *Geoderma*, 6(33): 90- 99.
- Famiglietti, J., J. Rudnicki & M. Rodell, 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas, *Journal of Hydrology*, 210(1-4): 259-281.
- Florinsky, I. V., 2005. Artificial lineaments in digital terrain modeling: Can operators of topographic variables cause them?, *Mathematical Geology*, 37(4): 357-372.
- Galvan, P., J. F. Ponge, S. Chersich & A. Zanella, 2008. Humus components and soil biogenic structures in Norway spruce ecosystems, *Soil Science Society of America Journal*, 72(2): 548-557.
- Genuer, R., J. M. Poggi & Ch. Tuleau, 2008. Random Forest: some methodological insights. IRNIA, Institut National De Recherche En Informatique Et En Automatique, 36 p.
- Green, R. N., R. L. Trowbridge & K. Klinka, 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms, *Forest Science*, 29(1): 1-49.
- Habibi Kaseb, H., 1993. Forest soils. Tehran University, 424 p.
- Hastie T., R. Tibshirani & J. Friedman, 2009. The elements of statistical learning: data mining inference and prediction, 2nd ed, California, Springer, 533 p.
- Hoover, M. D. & H. A. Lunt, 1952. A key for the classification of forest humus types. A report of the Committee on Forest Humus Classification, Forest Soils Subdivision, *Soil Science Society of America*, 16(4): 368-370.
- Horwath, W., 2007. Carbon cycling and formation of soil organic matter, In: Paul, Eldor A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, pp: 303-339.
- Kramer, H., 1988. Wald wachstumslehre, Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin, 374 p.
- Lawrence, H. & A. Phipps, 1985. Comparing partitions, *Journal of Classification*, 2(1): 193-218.
- Mobaied, S., J. F. Ponge, S. Salmon, A. Lalanne & B. Riera, 2012. Influence of the spatial variability of soil type and tree colonization on the dynamics of *Molinia caerulea* (L.) Moench in managed heathland, *Ecological Complexity*, 11: 118-125.
- Piccolo, A., 1996. Humic substances in terrestrial ecosystems. Elsevier Science, 675 p.
- Ponge, J. F., B. Jabiol & J. C. Gégout, 2011. Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests, *Geoderma*, 162(1-2): 187-195.
- Ponge, J. F., G. Sartori, A. Garlato, F. Ungaro, A. Zanella, B. Jabiol S. Obber & J. C. Gégout, 2014. The impact of parent material, climate, soil type and vegetation on Venetian forest humus forms: A direct gradient approach, *Geoderma*, 226: 290-299.
- Rand, W. M., 1971. Objective criteria for the evaluation of clustering methods, *Journal of the American Statistical Association*, 66(336): 846-850.
- Sajedi T., Gh. Zahedi Amiri & M. R. Marvie Mohajer, 2004. Variation of humus forms and nutrient properties in pure and mixed beech stands in north of Iran. Proceeding of 7th International Beech Symposium

- “Improvement and silviculture of beech”, 105– 113.
- The Montréal Process., 2015. Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests. FAO, 31 p.
 - Topoliantz, S. & J. F. Ponge, 2000. Influence of site conditions on the survival of *Fagus sylvatica* seedlings in an old-growth beech forest, *Journal of Vegetation Science*, 11(3): 369-374.
 - Waez-Mousavi, S. M. & H. Habashi, 2012. Evaluating humus forms variation in an unmanaged mixed beech forest using two different classification methods, *iForest, Biogeosciences and Forestry*, 5: 272-275.
 - Warrens, M. J., 2008. On the Equivalence of Cohen’s Kappa and the Hubert-Arabie Adjusted Rand Index, *Journal of Classification*, 25(2): 177-183.
 - R. de Waal, B. Van Delft, U. Graefe, N. Cools, K. Katzensteiner, H. Hager & M. Englisch, 2011. A European morpho-functional classification of humus forms, *Geoderma*, 164(3-4): 138-145.
 - Zarrinkafsh, M., 2000. Forest soils. Research institute of forest and rangeland. 361 p.

Variables influencing humus forms differentiation in Hyrcanian forest in the local scale (Case study: Shast-Kalateh Gorgan)

H. Habashi^{*1} and F. Rafiee²

1- Associate Professor, Department of silviculture and Forest Ecology, Forest Sciences Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran. (habashi.hashem@gmail.com)

2- Ph. D. of Forestry, Forest Sciences Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran. (rafiee.f@gmail.com)

Received: 12.04.2018

Accepted: 23.07.2018

Abstract

This study aims to identify factors affecting the secondary humus forms differentiation in the East Hyrcanian forests. For this purpose, we select 189 sample points using a nested transect sampling design in the Dr-Bahramnia forest. Humus forms identified based on morpho-functional classification and adjacent trees characteristics were recorded and then forest type were determined. Primary and secondary topographic attributes and land forms were extracted from digital elevation model due to the geographical location of sample points. Random forest classification, boosted tree classification and multiple adaptive regression Spline classification were applied as modelling tools to analyse important variables influencing differentiation humus forms. The seven secondary humus forms were differenced include Dysmull, Eumull, Mezomull, Hemimoder, Dysmoder, Eumoder and Eumacroamphi. The highest accuracy and agreement between the observed and predicted were boosted tree classifier while adjusted rand index and Cohen's kappa coefficient were 0.76 and 96.3 percent respectively. The results showed that humus forms variability were dependent on the characteristics of the surrounding trees of sample points and topography.

Keywords: AMPHI, Humus forms, Forest floor, Mull, Moder.

* Corresponding author

Tel: +989113701070