

پیش‌بینی و تعیین پارامترهای موثر بر پراکنش حلزون‌های خاکزی با استفاده از مدل‌های خطی و غیر خطی در اکوسیستم جنگلی

سمانه تاجیک^۱، شمس‌الله ایوبی^{۲*}، محمدمهدی درویشی^۳ و حسین خادمی^۴

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- کارشناس ارشد گروه انگل‌شناسی دانشکده دامپزشکی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵	<p>حلزون‌های خاکزی، بخش مهمی از اکوسیستم جنگل را شامل می‌شوند و نقش مهمی در تجزیه لاش برگ و غلظت کلسیم خاک دارند. این مطالعه با هدف بررسی ویژگی‌های خاک و پارامترهای توپوگرافی موثر بر فراوانی حلزون‌های خاکزی و هم‌چنین پیش‌بینی پراکنش فراوانی آن‌ها در بخشی از اراضی جنگلی استان گلستان آن‌جا گردید. تعداد ۱۵۳ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر جمع‌آوری شد؛ سپس حلزون‌های خاکزی جمع‌آوری و تاسطح رده شناسایی و طبقه‌بندی شدند. ویژگی‌های خاک از طریق آنالیزهای آزمایشگاهی و پارامترهای توپوگرافی، با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع منطقه و تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمدند. بر طبق نتایج حاصل مدل غیر خطی جنگل تصادفی دارای ضریب تبیین ۰/۴۹ و خطا ۱/۸۲ است و دقت بالاتری نسبت به مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۰/۲۸ و خطا ۲/۱۳ در پیش‌بینی فراوانی حلزون‌ها دارد. نتایج به‌دست آمده از آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز حساسیت نشان دادند که کربنات کلسیم معادل، pH، EC و کربن آلی، از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی موثر بر فراوانی حلزون‌ها هستند. پارامترهای توپوگرافی دارای روابط خطی با فراوانی حلزون‌های خاکزی نداشته‌اند اما در مدل غیر خطی به خوبی نقش آن‌ها نشان داده شده است. جهت شیب، ارتفاع و دمای سطح زمین از جمله مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر فراوانی حلزون‌ها بوده‌اند که احتمالاً تأثیر آن‌ها به دلیل تأثیر بر ویژگی‌های خاک مانند کربنات کلسیم و رطوبت خاک بوده است.</p>

* عهده دار مکاتبات

Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جنگل‌ها از جمله منابع مهم تنوع زیستی در جهان هستند که توجه بسیاری را جلب کرده‌اند. تنوع زیستی، فاکتور ضروری برای ایفای نقش‌های جنگل است که حفاظت و مدیریت آن در طراحی جنگل مهم خواهد بود و می‌تواند ابزار مناسبی در جهت تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت جنگل‌ها به شمار آید (۷). جنگل‌های پهن برگ شمال کشور به عنوان بخش مهمی از منابع تجدید شونده، دارای بی‌مهرگان بی‌شماری هستند. تنوع زیستی و جانوران ساکن این جنگل‌ها منبع بسیار مهم و با ارزشی هستند که حفظ آن‌ها برای حفظ تعادل گازهای گلخانه‌ای، تنظیم چرخه هیدرولوژیکی و مواد غذایی و هم‌چنین حفظ ثبات اکوسیستم حائز اهمیت است.

حلزون‌های خاکزی بخش مهمی از اکوسیستم جنگل را شامل می‌شوند. از نظر تعداد گونه، شاخه مولوسکا^۱ که حلزون‌های خاکزی متعلق به آن می‌باشند، بعد از شاخه بندپایان بزرگ‌ترین شاخه جانوران می‌باشند (۲۹). حلزون‌های خاکزی نقش مهمی در فرآیند تجزیه لاش برگ، بازیافت عناصر غذایی و غلظت کلسیم موجود در خاک دارند؛ به طوری که در محیط‌هایی با غلظت اندک کلسیم، حلزون‌ها مهم‌ترین منبع کلسیم برای دیگر جانوران هستند. هم‌چنین حلزون‌های خاکزی منبع غذایی مهم برای دیگر جانوران مانند پرندگان می‌باشند. از آنجایی که حلزون‌ها دارای طول عمر کوتاه و قدرت پراکنندگی کم هستند و به تغییرات اقلیمی و اکولوژیکی بسیار حساس می‌باشند (۲۹)، به عنوان یکی از بهترین شاخص‌های زیستی شناخته شده‌اند (۲۶).

پراکنندگی و فعالیت حلزون‌های خاکزی، به عوامل متعددی مانند بارندگی، pH و کلسیم خاک و تراکم پوشش گیاهی بستگی دارد. کلسیم، یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده و حیاتی برای این جانوران خاکزی است (۲). تحقیقات نشان داده است که در مناطقی که

تحت ریزش باران‌های اسیدی هستند، تعداد حلزون‌های خاکزی کاهش یافته است که این کاهش تعداد حلزون‌ها بر چرخه غذایی جنگل تاثیر معنی‌داری داشته است (۲۴). سن و همکاران بیان کردند که حلزون‌های خاکزی در خاک‌های اسیدی، دارای غنای گونه‌ای زیاد و فراوانی کم هستند (۲۹).

یکی از جنبه‌های اساسی در نقشه‌برداری رقومی خاک، استفاده از مدل‌های مختلف به منظور ساده‌سازی پیچیدگی‌های موجود در سامانه طبیعی خاک است. بر این اساس، مدل‌های خاک-زمین‌نما^۲، بیانگر شکل ساده شده‌ای از روابط پیچیده موجود بین خاک و زمین ریخت^۳ می‌باشند که فرآیندهای تکاملی خاک و الگوی پراکنش آن را نشان می‌دهند (۱۴). از آنجایی که مکانیسم‌هایی که اجتماع جانوران خاکزی را کنترل می‌کنند بسیار پیچیده هستند، الزام استفاده از مدل‌های پیشرفته و قوی و به دست آوردن اطلاعات لازم در زمینه مکانیسم و فاکتورهای موثر در الگوی تغییرات مکانی و زمانی این تغییرات ضروری به نظر می‌رسد (۲۳). برای جانوران خاک تنها الگوی واضح در زمینه پراکنش مکانی جانوران به این صورت است که تنوع زیستی در طول شیب عرضی زیاد است و این تنوع زیستی به سمت قطب کاهش می‌یابد (۳) در مقیاس محلی الگوی تغییرات جانداران خاکزی توسط تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مانند رطوبت خاک، کربن و نیتروژن در دسترس و ویژگی‌های گیاهان غالب در منطقه که کمیت و کیفیت مواد ورودی به خاک را تعیین می‌کنند، کنترل می‌شود. در یک اکوسیستم، در مقیاس منطقه‌ای و قاره‌ای، دیگر پارامترها نظیر اقلیم، توپوگرافی، pH، کربنات مقدار عناصر غذایی اهمیت بیش‌تری دارند (۳). پارامترهای توپوگرافی از جمله مهم‌ترین پارامترهای ورودی در فرآیند مدل‌سازی هستند و اطلاعات با ارزشی را فراهم می‌کند که توسط آن می‌توان قسمت زیادی از تغییرات خصوصیات خاک در

2- Landscape
3- Landform

1- Mollusca

از آنجایی که مطالعات اندکی به بررسی روابط بین توزیع و فراوانی حلزون‌های خاکی با پارامترهای محیطی پرداخته‌اند، هم‌چنین در کشور ما هیچ گونه اطلاعات کاملی در زمینه ارتباط بین ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با فراوانی حلزون‌های خاکزی وجود ندارد، مطالعه حاضر (۱) به بررسی تاثیر ویژگی‌های خاک و پارامترهای توپوگرافی بر فراوانی حلزون‌های خاکزی، (۲) پیش‌بینی پراکنش و فراوانی حلزون‌های خاکزی با استفاده از مدل رگرسیون خطی و مدل جنگل تصادفی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) واقع در مجموعه یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (جنگل آموزشی پژوهشی منطقه شصت کلاته) در جنوب شرقی شهر گرگان در استان گلستان است. این منطقه در شیب شمالی کوه‌های البرز، در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده است که به صورت شرقی-غربی در امتداد دریای خزر قرار دارد و مساحت آن ۳۷۱۶ هکتار می‌باشد. ارتفاع این منطقه کوهستانی از سطح دریا بین ۲۸۰ تا ۷۰۶ متر متغیر است. منطقه مورد مطالعه دارای ماده مادری لسی است و از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای آب و هوای گرمسیری و اقلیم نیمه مرطوب سرد با میزان بارندگی سالیانه ۶۴۹ میلی-متر است که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند. برای آن‌جام این تحقیق ۱۵۳ پلات انتخاب شدند. نمونه‌برداری خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر توسط قالب فلزی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت. پس از انتقال نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه، نمونه‌های جمع‌آوری شده هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. یک قسمت از نمونه‌های هوا خشک شده برای آن‌جام آنالیزهای آزمایشگاهی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفتند. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، اندازه‌گیری pH و EC در عصاره ۱:۲/۵ آب به

طول یک زمین‌نما را توضیح داد. اگرچه تفسیر اثرات متقابل اکوسیستم پیچیده است با این وجود استفاده از مدل‌های کارآمد این امکان را فراهم می‌کند که اطلاعات مفیدی در زمینه ارتباط بین پارامترهای مختلف محیطی به دست آورد.

از جمله مدل‌های کاربردی در بررسی روابط بین ویژگی‌های خاک، پارامترهای توپوگرافی و موجودات زنده مدل رگرسیون خطی و مدل جنگل تصادفی^۱ می‌باشند. مدل رگرسیونی، یک روش آماری برای پیش‌بینی مقادیر یک یا چند متغیر وابسته از مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای مستقل است. از این تحلیل برای ارزیابی اثرات متغیرهای مستقل روی متغیرهای وابسته استفاده می‌شود. هم‌چنین برای تعیین میزان تغییرات یک متغیر تابع به ازای هر واحد تغییرات از متغیر دیگر استفاده می‌گردد.

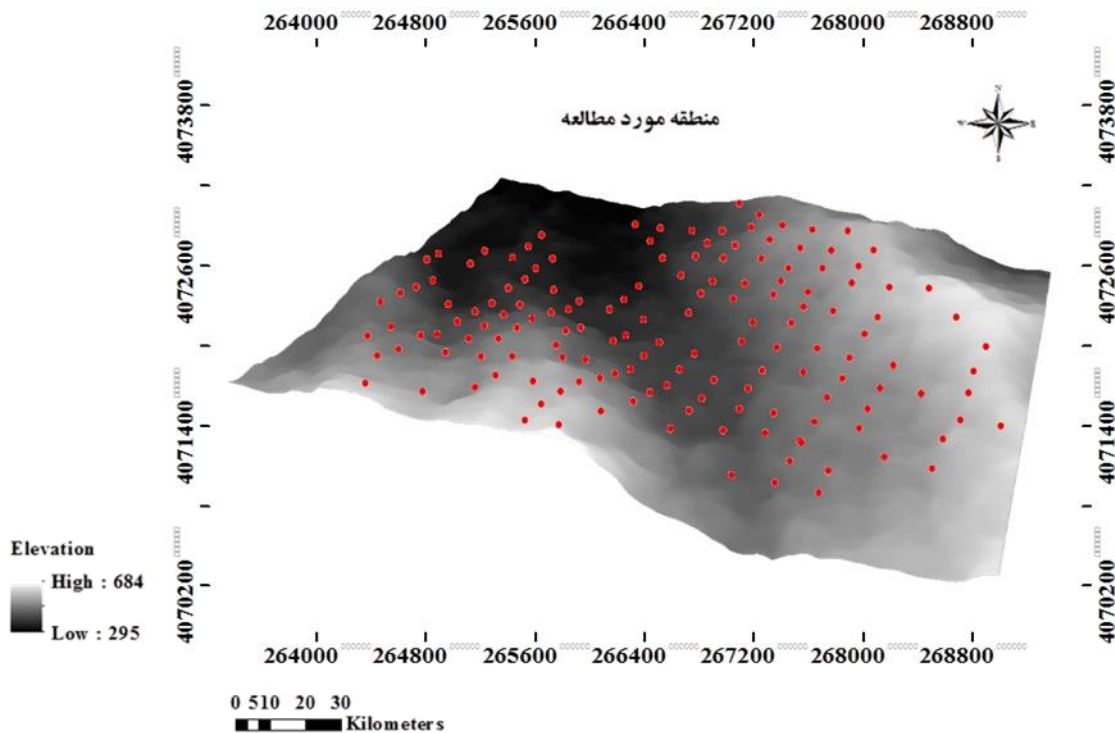
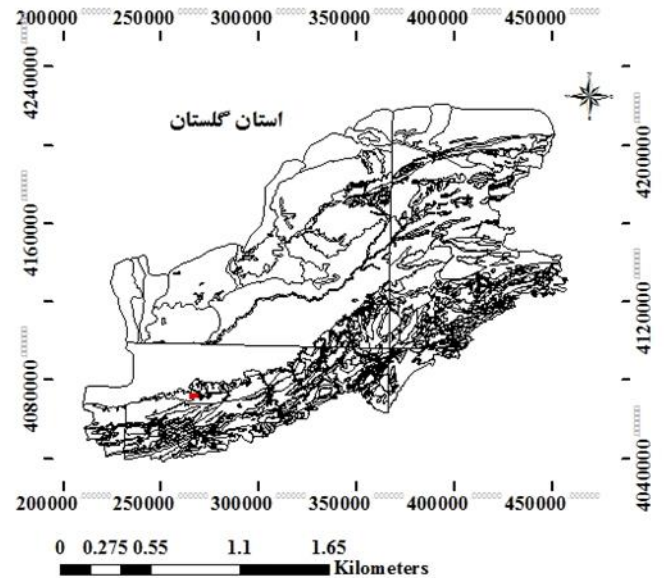
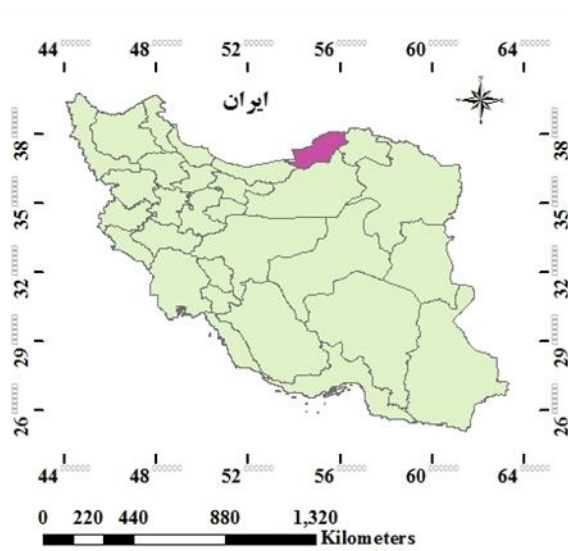
مدل جنگل تصادفی، یک مدل مشهور یک الگوریتم بسیار کاربردی است که برای موارد رگرسیون و طبقه‌بندی توسط بریمن در سال ۲۰۰۱ معرفی شده است (۴). در واقع مدل جنگل‌های تصادفی یک روش آماری غیر پارامتریک است که به هیچ فرضیه توزیعی نیاز ندارد. اساس کار جنگل تصادفی، ترکیبی از چندین درخت تصمیم است که در ساخت آن چندین نمونه‌ی خودراه-انداز^۲ از داده‌ها شرکت دارند و در ساخت هر درخت به طور تصادفی تعدادی از متغیرهای ورودی شرکت می‌کنند؛ به عبارت دیگر، این روش غیر خطی و قوی، دقت پیش‌بینی را توسط اختصاص دادن مجموعه‌ای از درختان در برآورد تخمین‌های مدل بهینه‌سازی می‌نماید. با وجود پیچیدگی درختان به کار رفته در بهینه‌سازی مدل، جنگل تصادفی به دلیل دقت خیلی بالا، به عنوان یکی از پرکاربردترین مدل‌ها شناخته شده است (۱۰). مطالعات مختلفی از مدل جنگل تصادفی، به منظور بررسی و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک (۱۸)، کربن آلی (۳۰) و بافت خاک (۶) استفاده کرده‌اند.

1- Random forest
2- Bootstrap

تاجیک و همکاران: پیش‌بینی و تعیین پارامترهای موثر بر...

بلک (۱۹)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۶) و تنفس میکروبی به روش تیتراسیون (۲۲).

خاک توسط دستگاه pH متر و EC متر، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (۲۵)، کربن آلی به روش والکلی



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری
 Figure (1) Location of the study area and spatial variability of sampling points.

بیش تر در مدل سازی و تعیین مهم ترین پارامترهای تاثیر گذار بر پراکنش حلزون ها مدل های رگرسیونی و جنگل تصادفی اعتبارسنجی و ارزیابی شدند.

به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل های به دست آمده و تعیین بهترین مدل از روش ارزیابی متقابل^۱ ۱۰- مرتبه^۲، با تکرار^۳ استفاده می شود؛ به این صورت که در زمان آن جام مدل سازی به صورت تصادفی مجموعه داده های ورودی به ۱۰ قسمت شکسته شده و در هر بار مدل سازی بخشی از ورودی ها به مدل سازی وارد نشده و در مرحله آزمایش مورد استفاده قرار می گیرند. مدل سازی با سه تکرار آن جام می شود و در انتها براساس مقدار شاخص های R2 (ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، مدل نهایی گزارش می شود (۳۱):

(۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{xi}^* - Z_{xi}]^2}{n}}$$

که در آن RMSE= ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین، Z_{xi}^* = متغیر پیش بینی شده، Z_{xi} = متغیر اندازه گیری شده، n = تعداد نمونه می باشد.

در هر دو مدل رگرسیون و جنگل تصادفی پس از به دست آمدن بهترین مدل، آنالیز حساسیت با استفاده از تئوری هیل (۲۰) و با استفاده از تابع varImp انجام گرفت (۱۲) و مهم ترین پارامترهای تاثیر گذار در فراوانی حلزون های خاکزی به دست آمدند؛ به این صورت که ضریب حساسیت نسبی از طریق تقسیم ضریب حساسیت هر متغیر زمانی که آن متغیر ۱۰ درصد کاهش می یابد، بر حداکثر ضریب حساسیت محاسبه می شود. بیش ترین ضریب حساسیت نسبی برابر ۱۰۰ و کم ترین آن صفر

پس از انتقال نمونه های تهیه شده به آزمایشگاه و قبل از خشک شدن و ازدست رفتن رطوبت خاک، جداسازی حلزون های خاکزی با روش جداسازی با دست (Hand-sorting) آن جام شد. در این روش، ابتدا نمونه های خاک روی یک سطح صاف پهن شدند؛ سپس توسط چراغ مطالعه سطح نمونه کاملاً روشن گردید و با استفاده از قلم مو و گیره کوچک، نمونه های که با چشم قابل رویت بودند، جدا شدند و در الکل ۹۶٪ قرار داده شدند. پس از جداسازی، تمامی حلزون های جمع آوری و در سطح کلاس (رده) Gastropoda طبقه بندی و شمارش شدند. هم چنین به منظور به دست آوردن تاثیر ویژگی های توپوگرافی، بر فراوانی حلزون های خاکزی، پارامترهای توپوگرافی شامل ارتفاع (Elevation)، شیب (Slope)، جهت شیب (Aspect)، شاخص رطوبت (Wetness Index (WI)) توسط نرم افزار SAGA GIS با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) دارای دقت ۳۰ متر محاسبه گردیدند. از آنجایی که سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای، اطلاعات ارزشمندی در زمینه ویژگی های سطحی خاک و پوشش گیاهی سطح زمین فراهم می کنند. هم چنین می توان با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای، شاخص های گیاهی را محاسبه نمود که برای تبعیض و تشخیص گیاهان، تراکم پوشش گیاهی و پیش بینی پوشش گیاهی مفید و کاربردی هستند (۲۸).

بنابراین دمای سطح زمین ((Land Temperature و شاخص تفاوت گیاهی تفاضلی نرمال شده ((land.temp Normalized Difference Vegetation Index)) با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ تهیه گردیدند
به منظور تعیین روابط بین پارامترهای مورد نظر و فراوانی حلزون های خاکزی از آنالیز تجزیه به مولفه های اصلی (PCA)، مدل خطی رگرسیون و مدل غیر خطی جنگل تصادفی استفاده گردید. در این بررسی، از پکیج های FactoMineR و randomForest در نرم افزار R software Ver. 3.2.4 استفاده شد. به منظور دقت

1-Cross validation

2- K-fold=10

3- CV repeat=3

نتایج به دست آمده از آنالیز مولفه های اصلی در جدول ۲ ارائه شده است. آنالیز مولفه های اصلی منجر به ایجاد ۴ مولفه اصلی گردید که حدود ۸۳ درصد تغییرات را توجیه کرده اند، که اولین و دومین مولفه بیشترین واریانس (به ترتیب حدود ۳۸ و ۲۱ درصد) را توجیه کردند و به تدریج در سایر مولفه ها این درصد کاهش می یابد. نقش متغیرهای مستقل و کمکی در توجیه واریانس در مولفه اول و دوم در جدول ۳ نشان داده شده است. در مولفه اول پارامترهای EC، کربن آلی، نیتروژن کل، pH و سیلت مهم ترین متغیرها هستند و در مولفه دوم کربنات کلسیم، رس، کربن آلی، شن و EC مهم ترین متغیرها می باشند. در هر دو مولفه ی اول و دوم پارامترهای توپوگرافی، در مقایسه با ویژگی های خاک نقش اندکی در توجیه واریانس داشتند. دمای سطح زمین، ارتفاع، NDVI و شاخص رطوبت از مهم ترین پارامترهای توپوگرافی در فراوانی حلزون های خاکی هستند.

خواهد بود. بنابراین متغیرهایی با ضریب حساسیت ۱۰۰ به عنوان متغیر مهم در نظر گرفته می شود و متغیرهایی با ضریب حساسیت نسبی کم تر، متغیرهای در درجات بعدی اهمیت محسوب می شوند. در انتها با توجه به نتایج اعتبارسنجی و ارزیابی، بهترین مدل در پیش بینی پراکنش حلزون های خاکی مشخص و نقشه پراکنش ترسیم گردید.

نتایج و بحث

خلاصه ای از ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و پارامترهای توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که نتایج آمار توصیفی نشان می دهد، منطقه مورد مطالعه دارای بافت لومی رسی سیلتی و پهاش منطقه مورد مطالعه اسیدی تا خنثی است. کربنات کلسیم و هدایت الکتریکی دارای ضریب تغییرات زیادی بودند و دمای سطح زمین دارای کم ترین ضریب تغییرات بوده است. هم چنین ارتفاع منطقه بین ۳۲۱ تا ۶۵۸ متر متغیر بوده است.

جدول (۱) خلاصه آماری ویژگی های خاک و پارامترهای توپوگرافی

Table(1) Statistical summary of soil properties and topographic parameters at the study area.

متغیرها	Unit	Minimum	Maximum	Mean	coefficient of variation	Skewness	kurtosis
pH	-	5.20	7.60	6.38	7.25	0.22	-0.01
EC	(μ Siemens/cm)	129	967	480	33.12	0.31	-0.21
CEE	%	0.00	22.00	3.58	103.86	2.93	9.71
OC	%	2.05	13.16	5.67	26.63	0.79	2.52
TN	%	0.14	0.65	0.40	26.22	0.19	-0.21
Clay	%	30.42	63.33	44.74	11.99	-0.06	0.57
Silt	%	21.50	56.50	41.40	14.14	-0.04	0.57
Sand	%	2.92	38.17	13.86	39.73	1.56	4.64
Respiration	mgCO ₂ /kgsoil.day	243	809	460	23.82	0.49	0.58
Aspect	degree	4.90	360	216	48.93	-0.86	-0.51
Elevation	m	321	658	462	17.03	0.28	-0.61
Slope	degree	0.95	36.26	13.09	54.23	0.58	0.05
WI	-	7.79	14.16	9.97	12.35	1.09	1.42
NDVI	-	0.40	0.48	0.45	3.73	-0.19	-0.43
Land.temp	centigrade	27.74	29.76	28.68	1.32	0.21	-0.05

جدول (۲) نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی

Table (2) the results of principle component analysis results

Cumulative%	Variance%	Total	PCA
37.97	37.97	3.80	PC1
58.75	20.78	2.08	PC2
71.77	13.03	1.03	PC3
82.82	11.05	1.10	PC4

جدول (۳) متغیرهای مهم در توجیه واریانس مولفه‌های اصلی اول و دوم. (EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، Resp: تنفس میکروبی، Aspect: جهت شیب، Elevation: ارتفاع، Slope: شیب، WI: شاخص رطوبت، NDVI: شاخص پوشش گیاهی، Land.temp: دمای سطح زمین)

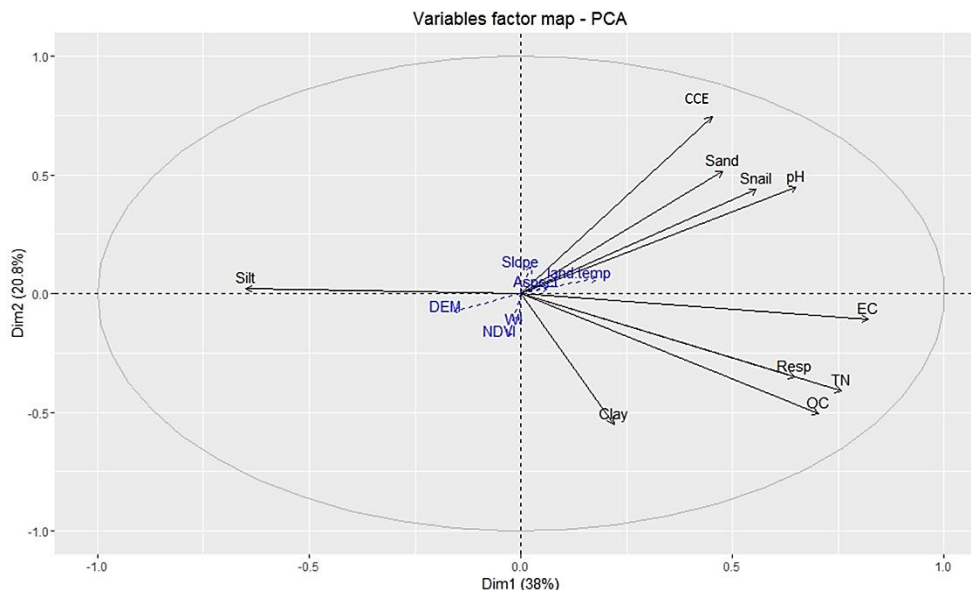
Table(3) Important parameters in explaining PC1 and PC2. (EC: Electrical conductivity, CCE: Calcium carbonate equivalent, OC: Organic carbon, TN: Total nitrogen, Resp: Respiration, Aspect: Slope aspect, WI: Wetness index, NDVI: Normalized difference vegetation index, Land. temp: Land surface temperature)

Topographic parameters			Soil properties		
وزن (PC2)	وزن (PC1)	Variables	وزن (PC2)	وزن (PC1)	Variables
0.03	0.07	Aspect	0.45	0.65	pH
-0.07	-0.16	Elevation	-0.11	0.82	EC
0.11	0.02	Slope	0.75	0.45	CCE
-0.13	-0.00	WI	-0.51	0.70	OC
-0.18	-0.03	NDVI	-0.41	0.76	TN
0.07	0.18	Land.temp	-0.55	0.22	Clay
			0.02	-0.65	Silt
			0.51	0.48	Sand
			-0.35	0.65	Resp

نتایج اعتبارسنجی به دست آمده از مدل‌سازی خطی و غیر خطی (جدول ۴) نشان دادند که مدل رگرسیون خطی و جنگل تصادفی، به ترتیب دارای ضریب تبیین برابر با ۰/۲۸ و ۰/۴۹ هستند. هم‌چنین مقدار خطا در دو مدل مورد استفاده به ترتیب ۲/۱۳ و ۱/۸۲ می‌باشند. مقدار انحراف معیار ضریب تبیین برای مدل رگرسیون ۰/۲۲ و برای مدل جنگل تصادفی ۰/۲۳ می‌باشد. مقدار انحراف معیار خطا برای هر دو مدل ۰/۶۹ است. بنابراین به نظر می‌رسد مدل جنگل تصادفی، به دلیل ضریب دقت بالاتر و مقدار خطا کم‌تر، دارای توانایی بیش‌تری در پیش‌بینی پراکنش حلزون‌ها و هم‌چنین تعیین مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر فراوانی آن‌هاست.

به منظور مطالعه صحیح‌تر ارتباط بین حلزون‌های خاکریزی با ویژگی‌های خاکی و توپوگرافی مورد مطالعه با استفاده از مولفه‌های اصلی اول و دوم، نمودار همبستگی تهیه گردید (شکل ۲). بر طبق نمودار، متغیرهای گروه‌بندی شده کنار یکدیگر، دارای همبستگی و ارتباط مثبت با یکدیگر هستند. متغیرهایی که در جهت مخالف از یکدیگر قرار دارند، دارای ارتباط منفی با یکدیگر می‌باشند. متغیرهایی که در فاصله زیادی از مرکز قرار دارند، دارای تاثیر بیش‌تری می‌باشند. بنابراین کربنات کلسیم، شن و pH خاک دارای بیش‌ترین همبستگی با فراوانی حلزون‌های خاکریزی هستند. EC، تنفس میکروبی، کربن آلی و نیتروژن کل بر فراوانی آن‌ها تاثیر دارند.

تاجیک و همکاران: پیش‌بینی و تعیین پارامترهای موثر بر...



شکل (۲) نمودار همبستگی بین متغیرهای مستقل و کمکی با فراوانی حلزون خاکزی. (EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، Resp: تنفس میکروبی، Aspect: جهت شیب، Elevation: ارتفاع، Slope: شیب، WI: شاخص رطوبت، NDVI: شاخص پوشش گیاهی، Land.temp: دمای سطح زمین)

Figure(2) Correlation among independent and auxiliary variables with abundance of soil snails. (EC: Electrical conductivity, CCE: Calcium carbonate equivalent, OC: Organic carbon, TN: Total nitrogen, Resp: Respiration, Aspect: Slope aspect, WI: Wetness index, NDVI: Normalized difference vegetation index, Land. temp: Land surface temperature).

جدول (۴) اعتبارسنجی مدل‌های استفاده شده در پیش‌بینی پراکنش حلزون‌های خاکزی

Table(4) Validation of used models in prediction of soil snail distribution.

R ² SD	RMSE SD	R ²	RMSE	Models
0.22	0.69	0.28	2.13	Linear regression
0.23	0.69	0.49	1.82	Random forest

حلزون‌های خاکزی ایفا می‌کند. در واقع مناطقی با کلسیم فراوان زیستگاه بسیار عالی برای حلزون‌ها هستند. مارتین و سامر (۲۴) گزارش کردند که pH و مقدار کلسیم در خاک، به طور نزدیکی به یکدیگر مرتبط هستند. pH و رطوبت، از جمله پارامترهای موثر در فراوانی حلزون‌های خاکزی می‌باشند. هم‌چنین از آنجایی که حلزون‌ها مقدار زیادی کلسیم در صدف خود استفاده می‌کنند، بنابراین مقدار کلسیم موجود در لاش‌برگ و خاک و یا مقدار pH به عنوان فاکتورهای تعیین کننده در غنای گونه‌ای و تراکم حلزون‌های خاکزی در نظر گرفته شده‌اند (۲۴). اوندینا و

نتایج آنالیز حساسیت توسط مدل جنگل تصادفی (شکل ۳) نشان داد که کربنات کلسیم، pH، EC، کربن آلی، جهت شیب، ارتفاع و دمای سطح زمین از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر پراکنش حلزون‌های خاکزی می‌باشند. این نتایج نشان دادند که فراوانی و پراکنش حلزون‌های خاکزی به مقدار زیادی تحت تاثیر ویژگی‌های خاک هستند؛ به طوری که کربنات کلسیم معادل، مهم‌ترین نقش را در پراکنش و فراوانی آن‌ها داشته است. هم‌چنین از آنجایی که pH خاک ارتباط قوی با مقدار کلسیم در خاک دارد، بنابراین نقش مهمی در پراکنش و فراوانی

پارامترهای توپوگرافی به صورت مستقیم از طریق رطوبت، دما و به صورت غیر مستقیم از طریق تاثیر بر ماده آلی، کربنات کلسیم، pH و دیگر ویژگی های خاک بر فراوانی حلزون های خاکزی تاثیر دارند.

یکی از پارامترهای شیمیایی خاک که به طور قوی تحت تاثیر توپوگرافی موجود در منطقه می باشد، کربن آلی است (۱۶)؛ و بنابراین می توان بیان کرد که پارامترهای توپوگرافی، مانند جهت شیب، ارتفاع و دمای سطح زمین از طریق تاثیر بر مقدار کربن آلی خاک بر فراوانی و پراکنش حلزون ها تاثیر داشته اند. تحقیقات نشان داده است که بین پارامترهای توپوگرافی، نظیر شاخص رطوبت و مقدار کربنات کلسیم خاک همبستگی مثبتی وجود دارد. هم چنین شیب و ارتفاع به صورت منفی با مقدار کربنات کلسیم ارتباط دارند؛ به گونه ای که بیش ترین مقدار کربنات کلسیم در قسمت انتهایی شیب و کم ترین مقدار آن در قسمت شانه شیب وجود دارد (۱). هم چنین با توجه به وجود بارش نسبتا مناسب در منطقه مورد مطالعه و آبتشویی کربنات کلسیم در موقعیت های مختلف، به نظر می رسد مقدار کربنات کلسیم در عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری در موقعیت شانه شیب بیش ترین و در موقعیت های پای و پنجه شیب کم ترین باشد. بنابراین با توجه به نقشه پراکنش فراوانی حلزون های خاکزی (شکل ۴)، می توان مشاهده کرد که تقریبا تطابق قابل قبولی بین مقدار واقعی نقاط نمونه برداری و مقادیر فراوانی پیش بینی شده توسط مدل جنگل تصادفی وجود دارد. نتایج به دست آمده از نقشه پراکنش کربنات کلسیم در منطقه مورد مطالعه (شکل ۵) تاییدکننده نتایج حاصل از آنالیز حساسیت می باشند؛ به طوری که الگوی تغییرات پراکنش حلزون های خاکزی تطابق قابل قبولی با پراکنش کربنات کلسیم معادل در منطقه دارند. هم چنین به نظر می رسد که پراکنش کربنات کلسیم و حلزون های خاکزی تحت تاثیر توپوگرافی منطقه بوده اند و الگوی تغییرات فراوانی حلزون ها تابع توپوگرافی بوده است؛ به طوری که در قسمت های انتهایی شیب که احتمالا دارای بیش ترین مقدار رطوبت، کربنات کلسیم و کربن آلی هستند، فراوانی

همکاران^۱ (۲۷) بیان کردند که هدایت الکتریکی کاتیون-های قابل تبادل، مانند پتاسیم، منیزیم و کلسیم از جمله پارامترهای تاثیر گذار بر فراوانی حلزون های خاکزی هستند. مارتین و سامر^۲ (۲۴) بیان کردند که رطوبت خاک یکی از پارامترهای مهمی است که بر تنوع منطقه ای، غنای گونه ای و فراوانی حلزون های خاکزی در بین پلات های مختلف نقش دارد. هم چنین هورساک و همکاران^۳ (۲۱) گزارش کردند که افزایش در مقدار کلسیم و رطوبت خاک منجر به افزایش فراوانی حلزون های خاکزی شده است.

در مطالعات مختلفی گزارش شده است که پارامترهای توپوگرافی مانند ارتفاع، شاخص رطوبت و ... نقش موثری در تغییرات فراوانی و تنوع گونه های مختلف دارند (۱۱) و (۸). در این مطالعه نتایج آنالیز حساسیت نشان دادند که پارامترهای توپوگرافی، مانند جهت شیب، ارتفاع و دمای سطح زمین بر فراوانی حلزون های خاکزی تاثیر گذار هستند. بنابراین ما فرض کردیم، احتمالا پارامترهای توپوگرافی به صورت غیر مستقیم و از طریق تاثیر بر خصوصیات خاک بر پراکنش و فراوانی حلزون های خاکزی تاثیر داشته اند.

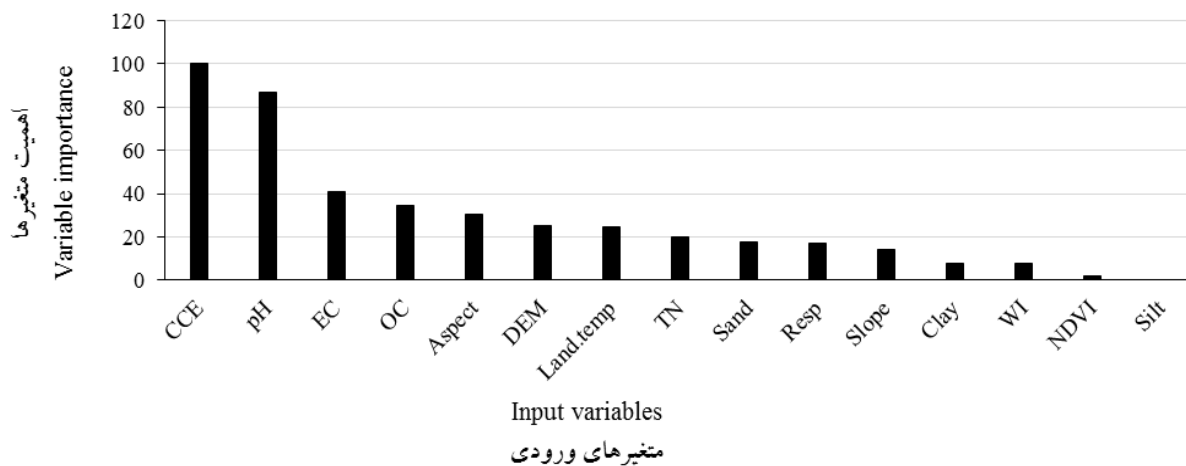
جهت شیب از جمله مهم ترین پارامترهای توپوگرافی است که نقش موثری در فرآیندهای پدوژنیک دارد و احتمالا به صورت غیر مستقیم از طریق تاثیر بر دما، پوشش گیاهی و pH خاک بر فراوانی حلزون های خاکزی تاثیر داشته است (۸). به همین ترتیب، احتمالا ارتفاع از طریق تاثیر بر pH، رطوبت، دما، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل بر فراوانی حلزون ها تاثیر داشته اند (۱۳). دمای سطح زمین از دیگر پارامترهای تاثیر گذار بر فراوانی حلزون های خاکزی می باشد که خود تحت تاثیر دیگر پارامترهای توپوگرافی نظیر ارتفاع، پوشش گیاهی و جهت شیب می باشد. این شاخص به صورت مستقیم و غیر مستقیم از طریق تاثیر بر مقدار کربن آلی، رطوبت و پوشش گیاهی بر فراوانی حلزون ها تاثیر دارد (۱۷). بنابراین به نظر می رسد که

1- Ondina *et al.*2- Martin *et al.*3- Horskák *et al.*

تاجیک و همکاران: پیش‌بینی و تعیین پارامترهای موثر بر...

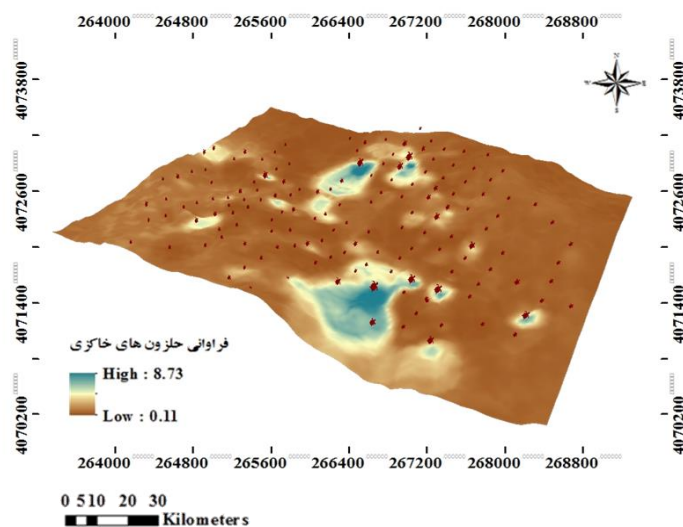
از مدل رگرسیون خطی تاثیر پارامترهای خاکی و توپوگرافی بر پراکنش حلزون‌های خاکزی را بررسی کردند و بیان داشتند که PH، کربنات کلسیم و پارامترهای توپوگرافی تاثیر معنی‌داری بر پراکنش حلزون‌های خاکزی دارند (۱۵).

حلزون‌ها بیش‌تر بوده است و برعکس، س در قسمت‌های مسطح‌تر و بالای شیب فراوانی کم‌تری نشان داده‌اند. مشابه با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، نانس و سانتوس گزارش کردند که فراوانی حلزون‌های خاکزی تحت تاثیر شرایط محیطی مانند دما، رطوبت و عمق لایه لاش‌برگ بوده است (۲۶). هم‌چنین گوتمارک و همکاران با استفاده



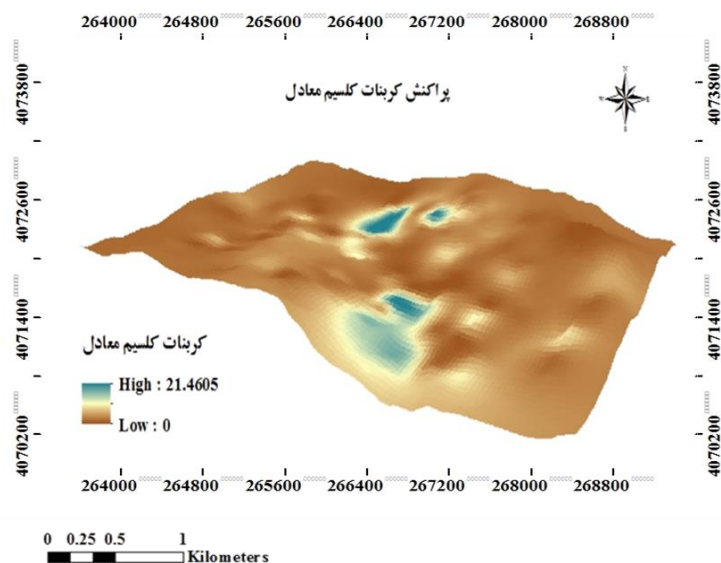
شکل (۳) آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی مدل غیر خطی جنگل تصادفی. (EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، Resp: تنفس میکروبی، Aspect: جهت شیب، Elevation: ارتفاع، Slope: شیب، WI: شاخص رطوبت، NDVI: شاخص پوشش گیاهی، Land.temp: دمای سطح زمین)

Figure(3) Sensitive analysis input parameters in nonlinear random forest model. (EC: Electrical conductivity, CCE: Calcium carbonate equivalent, OC: Organic carbon, TN: Total nitrogen, Resp: Respiration, Aspect: Slope aspect, WI: Wetness index, NDVI: Normalized difference vegetation index, Land. Temp: Land surface temperature)



شکل (۴) نقشه پیش‌بینی فراوانی حلزون‌های خاکزی با استفاده از مدل جنگل تصادفی. اندازه حلزون‌های نشان داده شده در نقشه بیانگر مقدار فراوانی حلزون‌ها در نقطه نمونه‌برداری است.

Figure(4) Prediction map of soil snail abundance using random forest model. Snail size showed in the map express the abundance of soil snails in the sampling plot.



شکل (۵) نقشه پراکنش کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه.

Figure (5) spatial distribution of Equivalent calcium carbonate in the study area

بر پراکنش حلزون‌های خاکزی بودند؛ به عبارت دیگر، پارامترهای توپوگرافی از طریق تاثیر بر کربنات کلسیم، میکروکلیم^۱ و ایجاد شرایط رطوبتی و دمای مناسب بر فراوانی و پراکنش حلزون‌های خاکزی تاثیر دارند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به عنوان یکی از معدود مطالعات انجام شده در زمینه پراکنش و فراوانی حلزون‌های خاکزی در کشور به بررسی روابط خطی و غیر خطی بین فراوانی حلزون‌های خاکزی با ویژگی‌های خاک و پارامترهای توپوگرافی پرداخته است. از آنجایی که در آنالیز مولفه اصلی و معادلات رگرسیونی، روابط خطی مورد بررسی قرار می‌گیرد، وهم‌چنین طبق تحقیقات مختلف روابط بین پارامترهای توپوگرافی و موجودات زنده به صورت غیر خطی است، از این رو به نظر می‌رسد نقش پارامترهای توپوگرافی به درستی نشان داده نشده است؛ و بنابراین مدل رگرسیونی و آنالیز مولفه‌های اصلی در مقایسه با مدل جنگل تصادفی دقت کم‌تری در تعیین روابط بین پارامترهای ورودی و فراوانی حلزون‌ها و نیز برآورد و تخمین پراکنش حلزون‌ها داشته است. نتایج نشان دادند کربنات کلسیم، pH، EC و کربن آلی از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی موثر بر فراوانی حلزون‌ها هستند. هم‌چنین جهت شیب، ارتفاع و دمای سطح زمین از مهم‌ترین پارامترهای توپوگرافی تاثیرگذار

منابع

1. Alijani, Z. and Sarmadian, F. 2014. The role of topography in changing of soil carbonate content. *Indian Journal Science Research*, 6:263–271.
2. Aravind, N. A., Rajashekhar, K. P. and Madhyastha, N. A. 2005. Species diversity, endemism and distribution of land snails of the Western Ghats, India. *Records of Western Australian Museum*, 68:31–38.
3. Bardgett, R. D. and van der Putten, WH. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515:505–511.
4. Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45:5–32.
5. Bremner, J.M. and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen—total (American Society of Agronomy, Soil Science Society of America).
6. Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J.S., Zissimos, A.M., Christoforou, I.C and Bruggeman, A., 2017. A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization. *Geoderma*, 285, 35–49.
7. Carlsson, M. 1999. A method for integrated planning of timber production and biodiversity: a case study. *Canadian Journal of Forest Research*, 29:1183–1191.
8. Chu, H., Xiang, X., Yang, J., Adams, J. M., Zhang, K., Li, Y. and Shi. Y. 2016. Effects of Slope Aspects on Soil Bacterial and Arbuscular Fungal Communities in a Boreal Forest in China. *Pedosphere*, 26:226–234.
9. Coblenz, D.D. and Riitters, K. H. 2004. Topographic controls on the regional-scale biodiversity of the south-western USA. *Journal of Biogeography*, 31:1125–1138.
10. Ehrlinger, J. 2014. *ggRandomForests : Random Forests for Regression*. Cleveland: Cleveland Clinic, (Breiman 2001).
11. Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1979. Particle Size Analysis by Hydrometer: A Simplified Method for Routine Textural Analysis and a Sensitivity Test of Measurement Parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 43:1004–1007.
12. Gevrey, M., Dimopoulos, I and Lek, S., 2003. Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecological Modelling*, 160, 249–264.
13. Griffiths, R. P., Madritch, M. D. and Swanson AK. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management*, 257:1–7.
14. Grunwald, S. 2016. *Environmental soil-landscape modeling: Geographic information technologies and pedometrics* (CRC Press).

15. Gotmark, F., Von Proschwitz, T and Franc, N., 2008. Are small sedentary species affected by habitat fragmentation? Local vs. landscape factors predicting species richness and composition of land molluscs in Swedish conservation forests. *Journal of Biogeography*, 35, 1062–1076.
16. Hattar, B. I. Taimeh, A.Y. and Ziadat, F.M. 2010. Catena Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena*, 83:34–45.
17. He, X., Hou, E., Liu, Y. and Wen, D. 2016. Altitudinal patterns and controls of plant and soil nutrient concentrations and stoichiometry in subtropical China. *Scientific Reports*, 6:24261.
18. Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Kempen, B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Shepherd, K.D., Sila, A., MacMillan, R.A., De Jesus, J.M., Tamene, L and Tondoh, J.E., 2015. Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. *PLoS One*, 10, 4–7.
19. Hesse, P. R. 1971. *A Text Book of Soil Chemistry Analysis*. John Murray Ltd. London.
20. Hill, M. C. 2000. Methods and guidelines for effective model calibration. *Building Partnerships*, pp 1–10.
21. Horsák, M., Tajovská, E. and Horsáková, V. 2017. Calcareous forest seepages acting as biodiversity hotspots and refugia for woodland snail faunas. *Acta Oecologica*, 82:16–22.
22. Jenkinson, D. S. and Powlson, D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: a method for measuring soil biomass. *Soil biology and biochemistry*, 8(3):209–213.
23. Korboulewsky, N., Perez, G., and Chauvat, M. 2016. How tree diversity affects soil fauna diversity: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 94:94–106.
24. Martin, K. and Sommer, M. 2004. Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. *Journal of Biogeography*, 31:531–545.
25. Nelson, R. E. 1982. *Carbonate and gypsum* (American Society of Agronomy, Soil Science Society of America).
26. Nunes, G. K. M. and Santos, S. B. dos. 2012. Environmental factors affecting the distribution of land snails in the Atlantic Rain Forest of Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72:79–86.
27. Ondina, P., Mato, S., Hermida, J. and Outeiro, A. 1998. Importance of soil exchangeable cations and aluminium content on land snail distribution. *Applied Soil Ecology*, 9:229–232.

28. Payero, J.O., Neale, C.M.U and Wright, J.L., 2004. Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 385–393.
29. Sen, S., Ravikanth, G. and Aravind, N. A. 2012. Land snails (Mollusca: Gastropoda) of India: status, threats and conservation strategies. *Journal of Threatened Taxa*. 4:3029–3037.
30. Sreenivas, K., Dadhwal, V.K., Kumar, S., Harsha, G.S., Mitran, T., Sujatha, G., Suresh, G.J.R., Fyzee, M.A and Ravisankar, T., 2016. Digital mapping of soil organic and inorganic carbon status in India. *Geoderma*, 269, 160–173.
31. Tajik, S., Ayoubi, S. and Nourbakhsh, F. 2012. Prediction of Soil Enzymes Activity by Digital Terrain Analysis: Comparing Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models. *Environmental Engineering Science*, 29:798–806.