Archive of SID



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

سمانه تاجیک[۱]، شمس الله ایوبی[۲*]، محمدمهدی درویشی[۳] و حسین خادمی[۴]

۱- دانشجوی دکترای گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- کارشناس ارشد گروه انگل شناسی دانشکده دامپزشکی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

**تاریخچه مقاله**

دریافت:۱۳۹۶/۰۸/۰۴

پذیرش نهایی:۱۳۹۶/۱۲/۲۵

***کلمات کلیدی:***
***ویژگی‌های خاک،***
***توپوگرافی،***
***مدل‌سازی،***
***رگرسیون،***
***جنگل تصادفی***

* عهده دار مکاتبات
Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

**چکیده**

**حلزون‌های خاکزی، بخش مهمی از اکوسیستم جنگل را شامل می‌شوند و نقش مهمی در تجزیه لاش‌برگ 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 دربخشی از اراضی جنگلی استان گلستان آن‌جام 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 تاثیرگذار بر فراوانی حلزون‌ها بوده‌اند که احتمالا تاثیر آن‌ها به دلیل تاثیر بر ویژگی‌های خاک مانند کربنات کلسیم و رطوبت خاک بوده است.**

www.SID.ir

Archive of SID


**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 وبا ارزشی هستندکه 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 تعدادگونه، شاخه مولوسکا[1] که حلزون‌های خاکزی متعلق به آن می‌باشند، بعد از شاخه بندپایان بزرگ‌ترین شاخه جانوران می‌باشند (۲۹). حلزون¬های خاکزی نقش مهمی در فرآیند تجزیه لاش‌برگ، بازیافت عناصر غذایی و غلظت کلسیم موجود در خاک دارند؛ به‌طوری‌که 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 آن‌جایی‌که حلزون‌ها دارای طول عمر کوتاه و قدرت پراکندگی کم هستند و به تغییرات اقلیمی و اکولوژیکی بسیار حساس می‌باشند (۲۹)، به عنوان یکی از بهترین شاخص‌های زیستی شناخته شده‌اند (۲۶).

پراکندگی و فعالیت حلزون‌های خاکزی، به عوامل متعددی مانند بارندگی، pH و کلسیم خاک و تراکم پوشش گیاهی بستگی دارد. کلسیم، یکی ازمهم‌ترین عوامل محدود کننده و حیاتی برای این جانوران خاکزی است (۲). تحقیقات نشان داده است که در مناطقی که تحت ریزش بارآن‌های 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، داری 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[2]، بیانگر شکل ساده شده‌ای از روابط پیچیده موجود بین خاک و زمین ریخت[3] می‌باشند که فرآیندهای تکاملی خاک و الگوی پراکنش آن را نشان می‌دهند (۱۴). از آن‌جایی‌که مکانیسم‌هایی که اجتماع جانوران خاکزی را کنترل می‌کنند بسیار پیچیده هستند، الزام استفاده از مدل‌های پیشرفته و قوی و به‌دست 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 دردسترس 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

1- Mollusca

2- Landscape
3- Landform

www.SID.ir

Archive of SID


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

از جمله مدل‌های کاربردی در بررسی روابط بین ویژگی‌های خاک، پارامترهای توپوگرافی و موجودات زنده مدل رگرسیون خطی و مدل جنگل تصادفی[1] 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 خودراه‌انداز[2] 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 وقوی، دقت پیش‌بینی را توسط اختصاص دادن مجموعه‌ای از درختان در برآورد تخمین‌های مدل بهینه‌سازی می‌نماید. باوجود پیچیدگی درختان به‌کار 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.

از آن‌جایی‌که 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 (شکل۱) واقع در مجموعه یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (جنگل آموزشی پژوهشی منطقه شصت کلاته) در جنوب شرقی شهر گرگان دراستان 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 آن۳۷۱۶ 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 میلی‌متر است که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند.

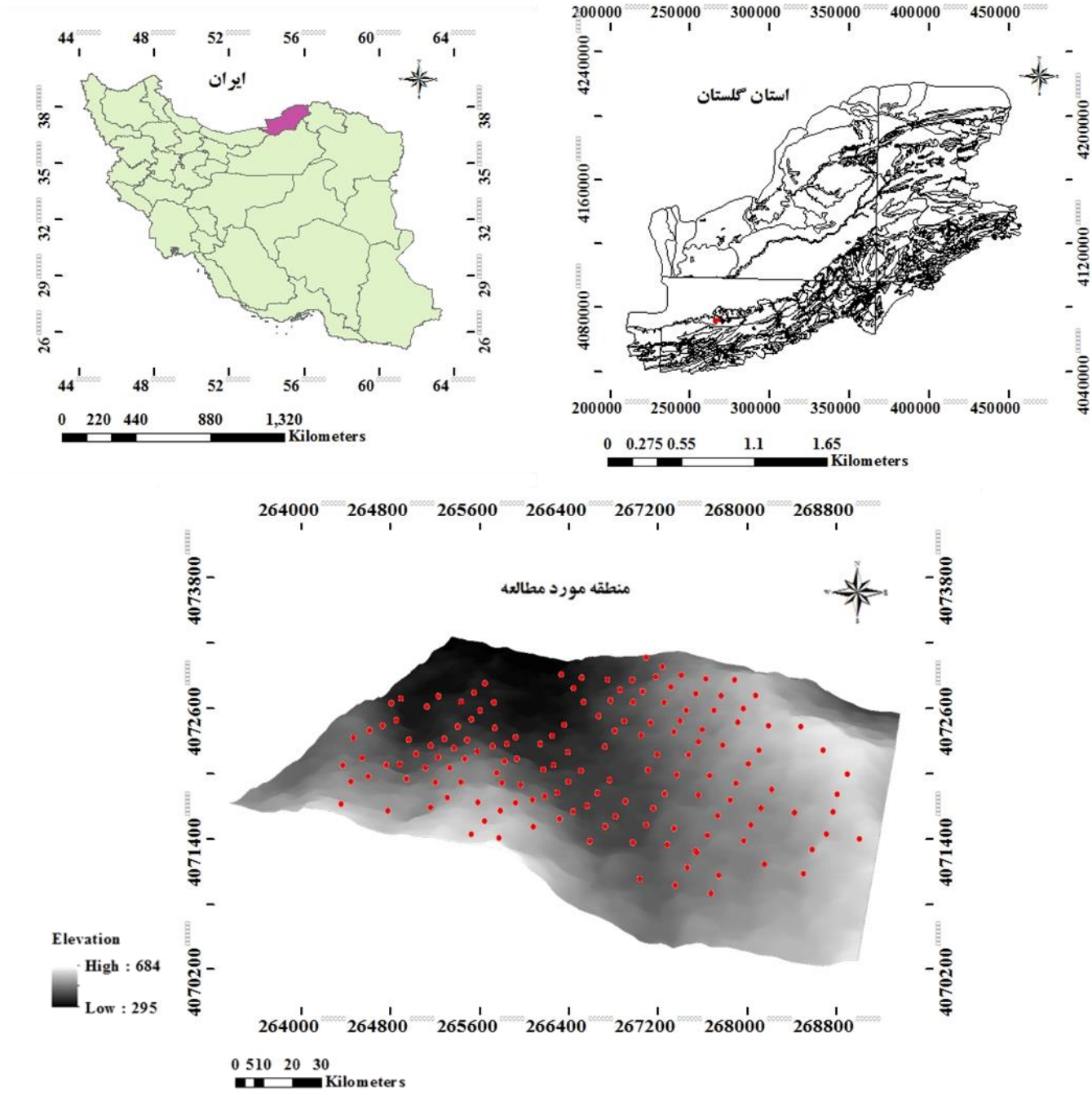
برای آن‌جام این تحقیق ۱۵۳ پلات انتخاب شدند. نمونه‌برداری خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر توسط قالب فلزی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت. پس از انتقال نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه، نمونه‌های جمع‌آوری شده هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. یک قسمت از نمونه‌های هوا خشک شده برای آن‌جام آنالیزهای آزمایشگاهی 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

1- Random forest
2- Bootstrap

www.SID.ir

Archive of SID

خاک توسط دستگاه pH متر و EC متر، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (۲۵)، کربن آلی به روش والکلی بلک (۱۹)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۶) و تنفس میکروبی به روش تیتراسیون (۲۲).




**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.**

www.SID.ir

Archive of SID


پس از انتقال نمونه‌های تهیه شده به آزمایشگاه و قبل از خشک شدن و ازدست رفتن رطوبت خاک، جداسازی حلزون‌های خاکزی با روش جداسازی با دست (Hand-sorting) آن‌جام شد. در این روش، ابتدا نمونه‌های خاک روی یک سطح صاف پهن شدند؛ سپس توسط چراغ مطالعه سطح نمونه کاملا روشن گردید و با استفاده از قلم مو و گیره کوچک، نمونه‌های که با چشم قابل رویت بودند، جدا شدند و در الکل ۹۶٪ قرار داده شدند. پس از جداسازی، تمامی حلزون‌های جمع‌آوری و در سطح کلاس (رده) Gastropoda طبقه‌بندی و شمارش شدند. هم‌چنین به منظور به‌دست آوردن تاثیر ویژگی‌های توپوگرافی، بر فراوانی حلزون‌های خاکزی، پارامترهای توپوگرافی شامل ارتفاع (Elevation)، شیب (Slope)،جهت شیب (Aspect)، شاخص رطوبت ((Wetness Index (WI)) توسط نرم‌افزار SAGA GIS با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) دارای دقت ۳۰ متر محاسبه گردیدند. . از آن‌جایی که سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات ارزشمندی در زمینه ویژگی‌های سطحی خاک و پوشش گیاهی سطح زمین فراهم می‌کنند. هم‌چنین می‌توان با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی را محاسبه نمود که برای تبعیض و تشخیص گیاهان، تراکم پوشش گیاهی و پیش‌بینی پوشش گیاهی مفید و کاربردی هستند (۲۸). بنابراین دمای سطح زمین (( Land Temperature land.temp)) و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (( Normalized Difference Vegetation Index NDVI))) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه گردیدند

به منظور تعیین روابط بین پارامترهای مورد نظر و فراوانی حلزون‌های خاکزی از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، مدل خطی رگرسیون و مدل غیر خطی جنگل تصادفی استفاده گردید. در این بررسی، از پکیج‌های FactoMineR و randomForest در نرم افزار R software Ver. 3.2.4 استفاده شد. به منظور دقت بیش‌تر در مدل‌سازی و تعیین مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر پراکنش حلزون‌ها مدل‌های رگرسیونی و جنگل تصادفی اعتبارسنجی و ارزیابی شدند.

به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌های به‌دست آمده و تعیین بهترین مدل از روش ارزیابی متقابل[1] ۱۰- مرتبه[2] ، با تکرار[3] ۳ استفاده می‌شود؛ به این صورت که در زمان آن‌جام مدل‌سازی به صورت تصادفی مجموعه داده‌های ورودی به ۱۰ قسمت شکسته شده و در هر بار مدل‌سازی بخشی از ورودی‌ها به مدل‌سازی وارد نشده و در مرحله آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌سازی با سه تکرار آن‌جام می‌شود و درانتها براساس مقدار شاخص‌های R2 (ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، مدل نهایی گزارش می‌شود (۳۱):

(۱)

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

که در آن RMSE= ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین، Z*xi= متغیر پیش بینی شده، Zxi= متغیر اندازه‌گیری شده، n= تعداد نمونه می‌باشد.

در هر دو مدل رگرسیون و جنگل تصادفی پس از به‌دست آمدن بهترین مدل، آنالیز حساسیت با استفاده از تئوری هیل (۲۰) و با استفاده از تابع varImp انجام گرفت (۱۲) و مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در فراوانی حلزون‌های خاکزی به‌دست آمدند؛ به این صورت که ضریب حساسیت نسبی از طریق تقسیم ضریب حساسیت هر متغیر زمانی که آن متغیر ۱۰ درصد کاهش می‌یابد، بر حداکثر ضریب حساسیت محاسبه می‌شود. بیش‌ترین ضریب حساسیت نسبی برابر ۱۰۰ و کم‌ترین آن صفر

1-Cross validation
2- K-fold=10
3- CV repeat=3

www.SID.ir

Archive of SID


خواهد بود. بنابراین متغیرهایی با ضریب حساسیت ۱۰۰ به عنوان متغیر مهم در نظر گرفته می‌شود و متغیرهایی با ضریب حساسیت نسبی کم‌تر، متغیرهای در درجات بعدی اهمیت محسوب می‌شوند. در انتها با توجه به نتایج اعتبارسنجی و ارزیابی، بهترین مدل در پیش‌بینی پراکنش حلزون‌های خاکزی مشخص و نقشه پراکنش ترسیم گردید.

## نتایج و بحث

خلاصه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و پارامترهای توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طورکه نتایج آمار توصیفی نشان می‌دهد، 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 کم‌ترین ضریب تغییرات بوده است. هم‌چنین ارتفاع منطقه بین ۳۲۱ تا ۶۵۸ متر متغیر بوده است.

نتایج به‌دست آمده از آنالیز مولفه های اصلی در جدول ۲ ارائه شده است. آنالیز مولفه‌های اصلی منجر به ایجاد ۴ مولفه اصلی گردید که حدود ۸۳ درصد تغییرات را توجیه کرده‌اند، که اولین و دومین مولفه بیش‌ترین واریانس (به ترتیب حدود ۳۸ و ۲۱ درصد) را توجیه کردند و به‌تدریج در سایر مولفه‌ها این درصد کاهش می‌یابد. 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 مهم‌ترین متغیرها هستند و در مولفه دوم کربنات کلسیم، رس، کربن آلی، شن و EC مهم‌ترین متغیرها می‌باشند. در هر دو مولفه‌ی اول و دوم پارامترهای توپوگرافی، در مقایسه با ویژگی‌های خاک نقش اندکی در توجیه واریانس داشتند. دمای سطح زمین، ارتفاع، NDVI و شاخص رطوبت از مهم‌ترین پارامترهای توپوگرافی در فراوانی حلزون‌های خاکی هستند.

**جدول(۱) خلاصه آماری ویژگی‌های خاک و پارامترهای توپوگرافی**

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

| kurtosis | Skewness | coefficient of variation | Mean | Maximum | Minimum | Unit | متغیرها |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -0.01 | 0.22 | 7.25 | 6.38 | 7.60 | 5.20 | - | pH |
| -0.21 | 0.31 | 33.12 | 480 | 967 | 129 | (µSiemens/cm | EC |
| 9.71 | 2.93 | 103.86 | 3.58 | 22.00 | 0.00 | ٪ | CEE |
| 2.52 | 0.79 | 26.63 | 5.67 | 13.16 | 2.05 | ٪ | OC |
| -0.21 | 0.19 | 26.22 | 0.40 | 0.65 | 0.14 | ٪ | TN |
| 0.57 | -0.06 | 11.99 | 44.74 | 63.33 | 30.42 | ٪ | Clay |
| 0.57 | -0.04 | 14.14 | 41.40 | 56.50 | 21.50 | ٪ | Silt |
| 4.64 | 1.56 | 39.73 | 13.86 | 38.17 | 2.92 | ٪ | Sand |
| 0.58 | 0.49 | 23.82 | 460 | 809 | 243 | $mgCO_2$/kgsoil.day | Respiration |
| -0.51 | -0.86 | 48.93 | 216 | 360 | 4.90 | degree | Aspect |
| -0.61 | 0.28 | 17.03 | 462 | 658 | 321 | m | Elevation |
| 0.05 | 0.58 | 54.23 | 13.09 | 36.26 | 0.95 | degree | Slope |
| 1.42 | 1.09 | 12.35 | 9.97 | 14.16 | 7.79 | - | WI |
| -0.43 | -0.19 | 3.73 | 0.45 | 0.48 | 0.40 | - | NDVI |
| -0.05 | 0.21 | 1.32 | 28.68 | 29.76 | 27.74 | **centigrade** | Land.temp |

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول(۲) نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی**

**Table (2) the results of principle component analysis results**

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

**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 explaing 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)**

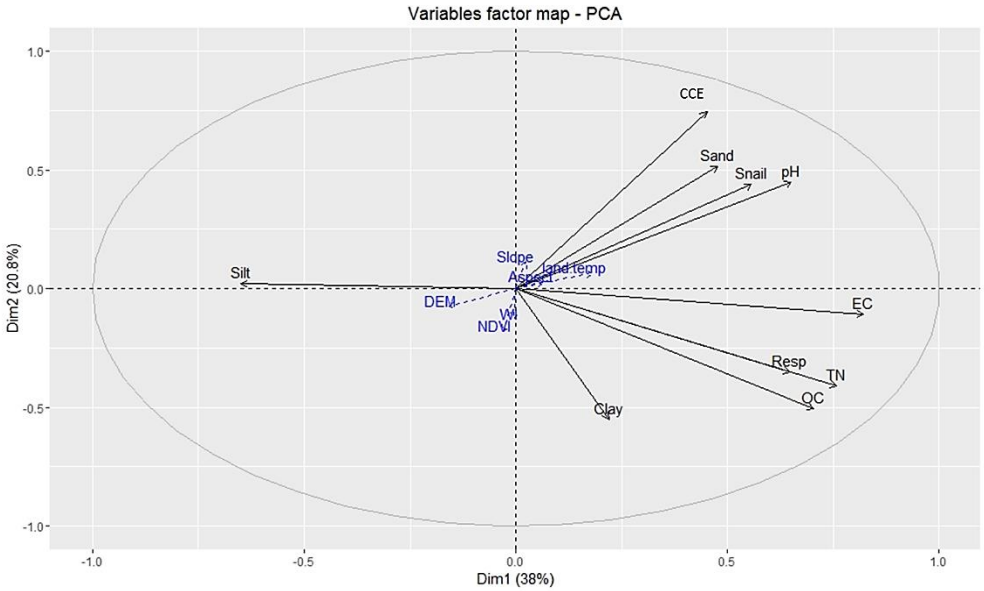
| Topographic parameters | | | Soil properties | | |
|---|---|---|---|---|---|
| وزن (PC2) | وزن (PC1) | Variables | وزن (PC2) | وزن (PC1) | Variables |
| 0.03 | 0.07 | Aspect | 0.45 | 0.65 | pH |
| -0.07 | -.16 | Elevation | -0.11 | 0.82 | EC |
| 0.11 | 0.02 | Slope | 0.75 | 0.45 | CCE |
| -0.13 | -0.00 | 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 |

به منظور مطالعه صحیح‌تر ارتباط بین حلزون‌های خاکزی با ویژگی‌های خاکی و توپوگرافی مورد مطالعه با استفاده از مولفه‌های اصلی اول و دوم، نمودار همبستگی تهیه گردید (شکل۲). بر طبق نمودار، متغیرهای گروه‌بندی شده کنار یکدیگر، دارای همبستگی و ارتباط مثبت با یکدیگر هستند. متغیرهایی که در جهت مخلف 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 خاکزی هستند. EC، تنفس میکروبی، کربن آلی و نیتروژن کل بر فراوانی آن‌ها تاثیر دارند.

نتایج اعتبارسنجی به‌دست 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 به‌ترتیب 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.

www.SID.ir

Archive of SID




**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(٤) 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 |

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؛ به‌طوری‌که کربنات کلسیم معادل، مهم‌ترین نقش را در پراکنش و فراوانی آن‌ها داشته است. هم‌چنین از آن‌جایی‌که pH خاک ارتباط قوی با مقدار کلسیم در خاک دارد، بنابراین نقش مهمی در پراکنش و فراوانی 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 آن‌جایی‌که 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

www.SID.ir

Archive of SID


همکاران[1] (۲۷) بیان کردند که هدایت الکتریکی کاتیون-های قابل تبادل، مانند پتاسیم، منیزیم وکلسیم از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر فراوانی حلزون‌های خاکزی هستند. مارتین و سامر[2] (۲۴) بیان کردند که رطوبت خاک یکی از پارامترهای مهمی است که بر تنوع منطقه‌ای، غنای گونه‌ای و فراوانی حلزون‌های خاکزی در بین پلات‌های مختلف نقش دارد. هم‌چنین هورساک و همکاران[3] (۲۱) گزارش کردند که افزایش در مقدار کلسیم و رطوبت خاک منجر به افزایش فراوانی حلزون‌های خاکزی شده است.

در مطالعات مختلفی گزارش شده است که پارامترهای توپوگرافی مانند ارتفاع، شاخص رطوبت و ... نقش موثری در تغییرات فراوانی و تنوع گونه‌های 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 حلزون‌های خاکزی تاثیرگذار هستند. بنابراین ما فرض کردیم، احتمالا پارامترهای توپوگرافی به صورت غیر مستقیم و از طریق تاثیر بر خصوصیات خاک بر پراکنش و فراوانی حلزون‌های خاکزی تاثیر داشته‌اند.

جهت شیب از جمله مهم‌ترین 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 حلزون‌های 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 حلزون‌ها تاثیر داشته‌اند (۱۳). دمای سطح زمین از دیگر پارامترهای تاثیر گذار بر فراوانی حلزون‌های خاکزی می‌باشد که خود تحت تاثیر دیگر پارامترهای توپوگرافی نظیر ارتفاع، پوشش گیاهی و جهت شیب می‌باشد. این شاخص به صورت مستقیم و غیر مستقیم از طریق تاثیر بر مقدار کربن آلی، رطوبت و پوشش گیاهی بر فراوانی حلزون‌ها تاثیر دارد (۱۷). بنابراین به نظر می‌رسد که 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 ویژگی‌های خاک بر فراوانی حلزون‌های خاکزی تاثیر دارند.

یکی از پارامترهای شیمیایی خاک که به طور قوی تحت تاثیر توپوگرافی موجود در منطقه می‌باشد، کربن آلی است (۱۶)؛ و بنابراین می‌توان 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 حلزون‌ها تاثیر داشته‌اند. تحقیقات نشان داده است که بین پارامترهای توپوگرافی، نظیر شاخص رطوبت و مقدار کربنات کلسیم خاک همبستگی مثبتی وجود دارد. هم‌چنین شیب و ارتفاع به صورت منفی با مقدار کربنات کلسیم ارتباط دارند؛ به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار کربنات کلسیم در قسمت انتهای شیب و کم‌ترین مقدار آن در قسمت شانه شیب وجود دارد (۱). هم‌چنین با توجه به وجود بارش نسبتا مناسب در منطقه مورد مطالعه و آبشویی کربنات کلسیم در موقعیت های مختلف، به نظر می رسد مقدار کربنات کلسیم در عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری در موقعیت شانه شیب بیش‌ترین و در موقعیت‌های پای و پنجه شیب کم‌ترین باشد.

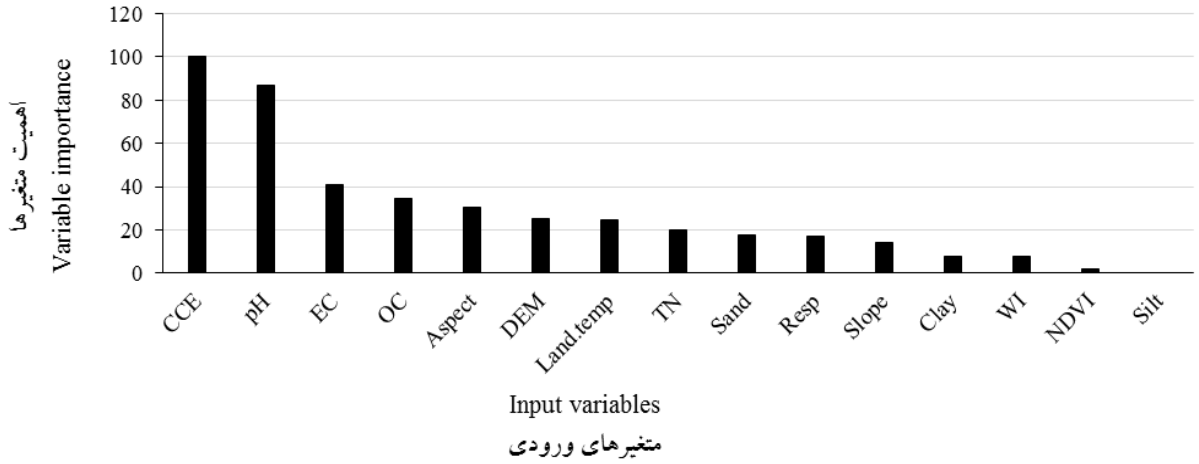
بنابراین با توجه به نقشه پراکنش فراوانی حلزون‌های خاکزی (شکل ۴)، می‌توان مشاهده کرد که تقریبا تطابق قابل قبولی بین مقدار واقعی نقاط نمونه‌برداری و مقادیر فراوانی پیش‌بینی شده توسط مدل جنگل تصادفی وجود دارد. نتایج به‌دست آمده از نقشه پراکنش کربنات کلسیم در منطقه مورد مطالعه (شکل ۵) تاییدکننده نتایج حاصل از آنالیز حساسیت می‌باشند؛ به‌طوری‌که الگوی تغییرات پراکنش حلزون‌های خاکزی تطابق قابل قبولی با پراکنش کربنات کلسیم معادل در منطقه دارند. هم‌چنین به نظر می‌رسد که پراکنش کربنات کلسیم و حلزون‌های خاکزی تحت تاثیر توپوگرافی منطقه بوده‌اند و الگوی تغییرات فراوانی حلزون‌ها تابع توپوگرافی بوده است؛ به‌طوری‌که در قسمت‌های انتهای شیب که احتمالا دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت، کربنات کلسیم و کربن آلی هستند، فراوانی

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

www.SID.ir

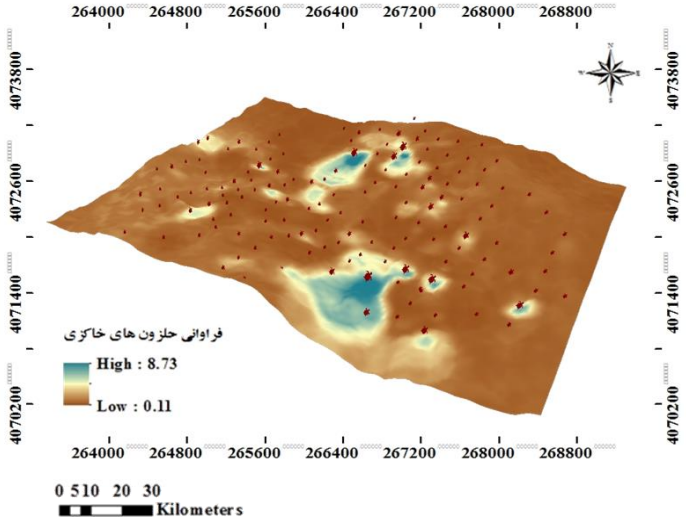
Archive of SID

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 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).




**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)**

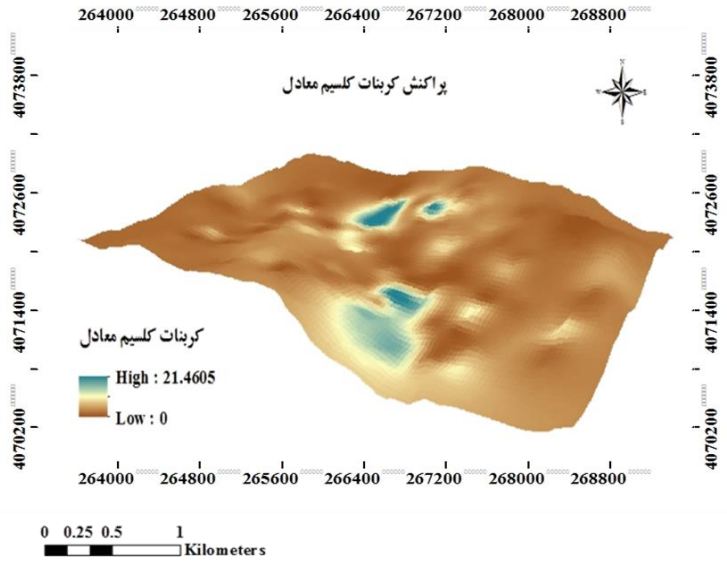



**شکل(٤) نقشه پیش‌بینی فراوانی حلزون‌های خاکزی با استفاده از مدل جنگل تصادفی. اندازه حلزون‌های نشان داده شده در نقشه بیانگر مقدار فراوانی حلزون‌ها در نقطه نمونه‌برداری است.**

**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.**

www.SID.ir

Archive of SID


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

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

## نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به عنوان یکی از معدود مطالعات آن‌جام 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 آن‌جایی‌که 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 به‌درستی 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 بر پراکنش حلزون‌های خاکزی بودند؛ به‌عبارت دیگر، پارامترهای توپوگرافی از طریق تاثیر بر کربنات کلسیم، میکروکلیما[1] و ایجاد شرایط رطوبتی و دمای مناسب بر فراوانی و پراکنش حلزون‌های خاکزی تاثیر دارند.

1- Microclimate

www.SID.ir

Archive of SID



## 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 Austraian 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. Coblentz, 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 Parameters1. 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).

www.SID.ir

Archive of SID


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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir