

## تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل جنگل تصادفی در حوضه آبخیز راونگ میناب

فهیمة ترکمانی<sup>۱</sup>، حسین پیری صحراگرد<sup>۲\*</sup>، محمدرضا پهلوان راد<sup>۳</sup> و محمد نهانی<sup>۲</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، گرگان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۹ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳	شناخت تغییرات مکانی کربن آلی خاک جهت مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح عملیات کشاورزی و منابع طبیعی ضروری است. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه توزیع مکانی کربن آلی خاک و تعیین مهمترین متغیرهای مؤثر بر پیش‌بینی آن در حوضه آبخیز راونگ شهرستان میناب با استفاده از مدل جنگل تصادفی انجام شد. برای این منظور، ابتدا متغیرهای محیطی از مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استخراج شد. نقشه‌های کاربری اراضی، ویژگی‌های خاک و pH نیز به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد. برای تعیین محل نقاط نمونه‌برداری از تکنیک ابر مکعب مربع لاتین مشروط استفاده شد. نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری لایه سطحی خاک در ۱۰۰ نقطه انجام و مقدار کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، متغیرهای مستخرج از مدل رقومی ارتفاع مانند ارتفاع، سطح پایه شبکه کانال و شیب و ویژگی‌های خاک مانند لای و ماسه خاک بیشترین تأثیر را در مدل‌سازی توزیع مکانی کربن آلی خاک در حوضه آبخیز راونگ دارند. علاوه بر این، در بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه مقدار کربن آلی خاک کمتر از ۰/۵ درصد است (میانگین ۰/۳۸). در مجموع نتایج بیانگر آن است که توزیع مکانی کربن آلی خاک از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است. بنابراین، برنامه‌ریزی جامع منابع آب و خاک منطقه جهت جلوگیری از تخریب و فرسایش بیشتر خاک در منطقه راونگ ضروری است.

### کلمات کلیدی:

کربن آلی خاک،

جنگل تصادفی،

نقشه‌برداری رقومی خاک،

منطقه راونگ

\* عهده دار مکاتبات

Email: hopiry@uoz.ac.ir

### مقدمه

و حفاظت از خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد

(۱۶). تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک تحت تأثیر

عوامل مختلفی از جمله اقلیم، رطوبت، بافت خاک،

توپوگرافی و کاربری اراضی قرار می‌گیرد (۲۱، ۳۲).

شناخت صحیح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

خاک نقش بسیار مهمی در تعیین درجه فرسایش

پذیری، تخریب خاک و مدیریت طرح‌های کشاورزی

متغیرهای کمکی و ویژگی‌های کلاس‌های مختلف خاک مورد استفاده قرار گرفته است. روش جنگل تصادفی یک روش گروهی است که الگوریتم‌های درختی را برای تولید یک پیش‌بینی مکرر از هر پدیده ترکیب می‌کند. این روش می‌تواند الگوهای پیچیده را یاد بگیرد و ارتباط غیرخطی بین متغیرهای توضیحی و متغیرهای وابسته را در نظر گیرد، همچنین می‌تواند برآوردی از این که کدام متغیرهای مهم در پیش‌بینی مدل مهم است را تشخیص دهد (۲۲). به عبارت دیگر، روش جنگل تصادفی شامل تعداد زیادی درخت است که در کاربرد آن به جای اندازه‌گیری مقادیر احتمال، ساختار اهمیت متغیرها مشخص می‌شود (۳۱). روش درخت رگرسیون جنگل تصادفی به‌ویژه در مواقعی که تعداد مشاهدات در مقایسه با تعداد پیش‌بینی کننده‌ها نسبتاً کم باشد یک روش کارآمد است (۳۲). هنگامی همکاران<sup>۳</sup> (۹) با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و درختان تصمیم‌گیری تصادفی نقشه کربن آلی، pH و اجزای بافت خاک را با بزرگنمایی ۲۵۰ متر تهیه کردند. نتایج نشان داد که روش جنگل تصادفی دارای عملکرد قابل قبولی در تهیه نقشه ویژگی‌های خاک است. ویری و همکاران (۳۸) از روش‌های مختلف نقشه‌برداری رقومی خاک برای تهیه نقشه ذخیره کربن آلی خاک، استفاده نمودند. نتایج نشان داد که نقشه‌های تهیه شده با این روش دارای دقت بالایی است. همچنین زراعت‌پیشه و همکاران<sup>۴</sup> (۴۰)، جهت پیش‌بینی مکانی ویژگی‌های خاک از جمله کربن آلی خاک، کربنات کلسیم معادل و رس از روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی عملکرد قابل قبولی است و متغیرهای کمکی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع مهم‌ترین متغیرها در پیش‌بینی رس خاک هستند. همچنین میلانسی و همکاران<sup>۵</sup> (۱۷) با بررسی

کربن با تأثیری که بر خواص و کیفیت خاک می‌گذارد نقش مهمی در عملکرد اکوسیستم‌ها دارد. درصد زیادی از کربن آلی در خاک ذخیره می‌شود که تغییرات کوچک در آن می‌تواند به‌طور قابل توجهی غلظت دی-اکسید کربن جو را تغییر دهد و به تغییرات آب و هوایی کمک کند (۴۱). علاوه بر آن، مواد آلی خاک نقش مهمی در حاصلخیزی و فرسایش‌پذیری خاک دارند (۱۱). گزارش شده است که تثبیت و افزایش کربن آلی خاک، اثرات مثبتی بر کیفیت و حاصلخیزی خاک، تخلخل، نفوذپذیری و حفاظت در برابر فرسایش آبی و بادی دارد (۱۸). برآورد دقیق اطلاعات کمی در تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در کشاورزی فشرده، توسعه پایدار و مدیریت منابع طبیعی اهمیت دارد (۱۱). به دلیل نقش کلیدی کربن آلی خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تهیه پیش‌ماده برای میکروارگانیزم‌ها، افزایش ظرفیت بافری و فراهمی عناصر غذایی و همچنین جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای، مطالعه تغییرات مکانی آن را حائز اهمیت ساخته است (۱۰).

با استفاده از نقشه‌برداری رقومی خاک می‌توان تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک از قبیل کربن آلی را مدل‌سازی کرد. نقشه‌برداری رقومی خاک<sup>۱</sup> عبارت است از ایجاد و جمع‌آوری سیستم‌های اطلاعات مکانی خاک با استفاده از مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی که با داده‌های محیطی از طریق ارتباطات کمی همراه شده‌اند. نقشه برداری رقومی خاک منجر به ایجاد خروجی به‌شکل نقشه رستری برآورد متغیر مورد نظر می‌شود. هر چند عدم قطعیت‌هایی را نیز با خود به همراه دارد (۲۴). به بیان دیگر، در نقشه‌برداری رقومی خاک، ویژگی‌های خاک بر اساس ارتباط آن‌ها با متغیرهای محیطی به‌شکل رقومی نقشه‌برداری می‌شود (۱۵). روش‌های مختلفی مانند هوش مصنوعی، درخت تصمیم و درختان تصمیم‌گیری تصادفی (جنگل تصادفی)<sup>۲</sup> جهت ایجاد ارتباط بین

3- Hengle et al.

4- Zeraatpisheh et al.

5- Milanese et al.

1- Digital soil mapping

2- Random forest

پوشش گیاهی فقیر است. متوسط بارندگی و دمای حوضه به ترتیب ۲۰۹ میلیمتر و ۲۶/۹ درجه سانتی گراد و اقلیم آن خشک است. از نظر زمین شناسی، رخنمون‌های سنگی مربوط به دوران سنوزوئیک و دشت‌های آبرفتی آن بر روی سازندهای کواترنری گسترش یافته‌اند. مراحل انجام پژوهش حاضر را به طور خلاصه می‌توان به چهار مرحله شامل استخراج داده‌های محیطی از منابع در دسترس، نمونه‌برداری از خاک و تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه، انجام مدل‌سازی و تعیین بهترین مدل جهت تخمین جهت تهیه نقشه توزیع مکانی کربن آلی خاک تقسیم کرد.

### جمع‌آوری اطلاعات پایه

پیچیدگی عوارض زمین به دلیل ماهیت مکانی سه بعدی و حتی گاه چهاربعدی باعث شده است تا سنجش و پایش عوارض زمین با شیوه سنتی که محدود به یک یا دو بعد است جای خود را به نمایش‌های سه بعدی و مشتقات مختلف آن با استفاده از مدل‌های ارتفاع رقومی<sup>۱</sup> بدهد. سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی علاوه بر ارتقاء ظرفیت پردازش و تجزیه و تحلیل عوارض زمین، باعث بوجود آمدن اطلاعات مبنایی شده که امکان تهیه مدل دقیق رقومی ارتفاع و استخراج متغیرهای کمکی را در قالب مجموعه متراکمی از داده‌ها در مقیاس‌های مناسب برای محققین فراهم نموده است (۳۹). ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاع هم از نظر منطقی و ریاضی و هم از نظر تجربی، دارای رابطه‌ی نزدیکی با ویژگی‌های محیطی و خاک هستند. استفاده از این ویژگی‌ها در شناسایی ویژگی‌های خاک می‌تواند تا حد زیادی بر دقت کار بیفزاید و از هزینه و زمان بکاهد. وایسو همکاران<sup>۲</sup> (۳۶)، آکسوی و همکاران<sup>۳</sup> (۱) و دبلّا-گیلو و همکاران<sup>۴</sup> (۴) از ویژگی-

کارایی مدل‌های مختلف، اعلام کردند که روش درختان رگرسیون بهبود یافته بالاترین مقادیر آماره‌های صحت سنجی را کسب کرده است، بنابراین نسبت به سایر روش‌ها از عملکرد بهتری برخوردار است. این گونه نتایج تأییدی بر استفاده از روش‌های مختلف نقشه‌برداری رقومی در تهیه نقشه ویژگی‌های خاک است.

با شناخت و ارزیابی توزیع مکانی کربن آلی خاک می‌توان اصلاح و احیاء اراضی را از دیدگاه شاخص ترسیب کربن دنبال نمود. این امر می‌تواند ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی شرایط خاک، راهکاری مؤثر در جهت دستیابی به توسعه پایدار منابع طبیعی و محیط زیست به شمار آید. حوضه آبخیز راونگ یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در منطقه است که اقتصاد غالب مردم این منطقه مبتنی بر کشاورزی نیمه‌مدرن و دامپروری سنتی است. چرای آزاد دام باعث نابودی پوشش گیاهی و کاهش میزان نفوذپذیری خاک منطقه شده است. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده و موقعیت حوضه آبخیز راونگ بررسی مکانی کربن آلی خاک به-عنوان یکی از عوامل اصلی در حفاظت از منابع آب و خاک و معیشت ساکنان ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به موارد ذکر شده، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک و شناخت مهمترین متغیرهای مؤثر بر پیش‌بینی آن با استفاده از نقشه برداری رقومی در حوضه آبخیز راونگ در استان هرمزگان انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز راونگ با وسعت ۱۳۸۲۱/۶ هکتار در استان هرمزگان، شهرستان میناب واقع شده است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع محدوده ۳۵۷ متر و حداقل ارتفاع در خروجی محدوده برابر ۳۳ متر است. رودخانه فصلی راونگ در داخل حوضه جریان دارد. کاربری‌های اصلی منطقه شامل اراضی زراعی آبی، باغ و مرتع است. به دلیل خشک بودن و در نتیجه کمبود بارش، منطقه از نظر

1- Digital Elevation Model

2-Vaysse et al.

3- Aksoy et al.

4-Debella-Gilo et al.

## نمونه برداری خاک با روش نمونه برداری ابرمکعب لاتین مشروط<sup>۱۷</sup> و مطالعات آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر محل ۱۱۰ نمونه خاک براساس روش هایپرکیوب تعیین شد. روش هایپرکیوب یک روش نمونه برداری طبقه بندی شده است که متغیرهای کمکی را به دسته های یکنواخت تقسیم بندی می کند. بر اساس این روش کاربر تصمیم می گیرد تا تعداد نمونه مشخصی را استفاده کند، هایپرکیوب داده های متغیرهای محیطی را به همان تعداد نمونه های خواسته شده به صورت خوشه تقسیم می کند و یک نمونه تصادفی از داده های ورودی مربوط به متغیرهای محیطی هر خوشه را انتخاب می کند و سعی می کند تا پوشش کاملی از هر متغیر را ایجاد کند (۱۷). در عملیات میدانی نمونه برداری از ۱۰۰ محل از عمق ۳۰-۰ سانتی متری لایه سطحی خاک انجام شد. نمونه ها در هوا خشک و پس از عبور از الک دو میلیمتری به آزمایشگاه منتقل و مقدار کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک اندازه گیری شد (۱۹). متغیرهای کمکی مورد استفاده در این تکنیک، به جز متغیرهای مربوط به ویژگی های خاک، همان متغیرهای مستخرج از مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره ای بودند که در قسمت قبلی به آنها اشاره شد. نقشه برخی از متغیرهای کمکی مورد استفاده در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

### مدل سازی مکانی

جهت مدل سازی توزیع مکانی کربن آلی خاک از مدل جنگل تصادفی استفاده شد. در این روش با استفاده از زیرمجموعه هایی از داده های در دسترس، درخت های رگزیونی بسیار زیادی توسعه یافته و علاوه بر آن هر زیرمجموعه در هر مدل درختی بر اساس زیرمجموعه های تصادفی از متغیرهای مستقل پیش بینی کننده ساخته می شود. در نتیجه صدها تا هزاران درخت تصمیم رشد کرده و برای دستیابی به پیش بینی درست، متغیرهای وابسته

های مدل رقومی ارتفاع در شناسایی ویژگی های خاک و محیطی استفاده کردند.

در مطالعه حاضر از ۲۴ متغیر محیطی که شامل ویژگی های زمین (۳۸ و ۹)، نقشه کاربری اراضی، نقشه ویژگی های خاک و شاخص های پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI<sup>۱</sup>) و شوری (NDSI<sup>۲</sup>) استخراج شده از تصاویر ماهواره ای لندست ETM<sup>+</sup> (۲۹ اردیبهشت ۹۶) بودند استفاده شد. ویژگی های زمین شامل شیب<sup>۳</sup>، طول شیب<sup>۴</sup>، موقعیت نسبی شیب<sup>۵</sup>، جهت شیب<sup>۶</sup>، اختلاف جزئی شیب<sup>۷</sup>، گرادیان شیب پایینی<sup>۸</sup>، سطح ویژه حوضه<sup>۹</sup>، حوضه<sup>۹</sup>، شبکه کانال ها<sup>۱۰</sup>، هیدرولوژی، شاخص همگرایی<sup>۱۱</sup>، اختلاف خمیدگی<sup>۱۲</sup>، ارتفاع<sup>۱۳</sup>، انحنای طولی<sup>۱۴</sup>، شاخص خیزی<sup>۱۵</sup>، عمق دره<sup>۱۶</sup>، فاصله عمودی از شبکه کانال ها و نقشه سایه روشن، از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر با استفاده از نرم افزار SAGA استخراج شدند. مقادیر رس، سیلت، ماسه و pH خاک نیز در نمونه های برداشت شده تعیین و نقشه آنها با روش جنگل تصادفی تهیه شد و این نقشه ها هم به عنوان متغیر کمکی استفاده شدند (۲۵). برای درک بهتر رابطه بین متغیرهای کمکی محیطی و کربن آلی خاک ضریب همبستگی بین آنها نیز تعیین شد.

- 1- Normalized Differential Vegetation Index
- 2- Normalized Differential Salinity Index
- 3- Slope
- 4- Slope length
- 5- Relative slope position
- 6- Aspect
- 7- Analytical hillshading
- 8- Down slope distance gradient
- 9- Catchment Area
- 10- Channel network base level
- 11- Convergence Index
- 12- Cross-sectional curvature
- 13- Elevation
- 14- Longitudinal curvature
- 15- Topographic wetness index
- 16- Valley depth

17- Latin hypercube sampling

اندازه نمونه یکسان تقسیم می‌شود که در هر بار اجرای مدل یک دسته از داده‌ها کنار گذاشته شده و برای محاسبه خطای مدل از آن استفاده می‌شود و فرآیند اعتبارسنجی دوجانبه برای  $k$  مرتبه تکرار می‌گردد.

در این مطالعه از روش اعتبارسنجی دوجانبه ۱۰- مرتبه جهت اعتبارسنجی عملکرد مدل بکار برده شده، استفاده شده است. همان‌گونه که اشاره شده با بکارگیری این روش چند نمونه مستقل آموزشی و اعتبارسنجی (۱۰ زیر مجموعه) از مجموعه داده اصلی ایجاد می‌شود و این اطمینان حاصل می‌شود که همه نقاط مشاهداتی حداقل یکبار در آموزش مدل‌ها و اعتبارسنجی شرکت داده شده‌اند. در این روش روند کار به این صورت می‌باشد که کل نمونه‌ها به ۱۰ مجموعه داده مساوی تقسیم می‌شوند، سپس به وسیله ۹ مجموعه داده مدل‌ها آموزش داده می‌شوند و با مجموعه بکار برده نشده اعتبارسنجی صورت می‌گیرد بدین ترتیب همه ۱۰ مجموعه داده یک بار به عنوان داده اعتبارسنجی و آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش هر تکرار به اصطلاح یک مرتبه (fold) نامیده می‌شود. خطای نهایی مدل، از میانگین خطاهای حاصل از اجرای  $k$  بار اجرای مدل به دست می‌آید.

جهت تعیین دقت مدل از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (بیانگر دقت میانگین پیش‌بینی است و شدت شدت خطا منتظره را نشان می‌دهد) (رابطه ۱)، خطای میانگین<sup>۳</sup> (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) (رابطه ۲) که واحد اندازه‌گیری‌شان درصد است استفاده شد. همچنین ضریب تبیین<sup>۴</sup> (رابطه ۳) نیز محاسبه شد.

در سرشاخه‌های این درخت‌ها قرار می‌گیرد و هر درخت یک پیش‌بینی را ارائه می‌کند. از نتایج پیش‌بینی‌های ارائه شده این جنگل، میانگین‌گیری می‌شود و نتیجه نهایی مدل حاصل می‌شود (۶). در این روش برای ایجاد یک درخت رشد، از بهترین متغیرها یا نقاط تقسیم‌بندی در داخل زیرمجموعه‌های متغیرها استفاده می‌شود که به صورت تصادفی از مجموعه‌ای از متغیرهای ورودی انتخاب شده‌اند و به این شکل خطای کلی مدل کاهش می‌یابد (۲).

مدل جنگل تصادفی شامل سه پارامتر تعریف شده توسط کاربر شامل تعداد متغیرهای مورد استفاده در ساخت هر درخت که قدرت هر درخت مستقل را بیان می‌کند، تعداد درختان جنگل تصادفی و حداقل تعداد گره‌های انتهایی است (۲۹). قدرت پیش‌بینی آن با افزایش قدرت درختان مستقل و کاهش همبستگی بین آن‌ها افزایش می‌یابد (۱۳). در این مدل از دو عامل میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی برای تعیین اهمیت متغیرها استفاده می‌گردد. استفاده از میانگین کاهش دقت در مقایسه با شاخص اهمیت جینی در تعیین اولویت عوامل مؤثر بهتر و پایدارتر است، به‌ویژه در شرایطی که بین فاکتورهای محیطی ارتباط وجود دارد (۲۰). در این پژوهش، مدل‌سازی با استفاده از تمام متغیرهای کمکی صورت گرفت و سپس متغیرهای کمکی با اهمیت نسبی کمتر از ۱۵ درصد کنار گذاشته شد و مدل نهایی با بقیه متغیرهای مؤثر اجرا شد.

### ارزیابی اعتبار مدل

به منظور ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل بکار برده شده، از روش ارزیابی اعتبارسنجی دوجانبه  $k$ -مرتبه<sup>۱</sup> استفاده شده است. در روش اعتبارسنجی دوجانبه یک نمونه بیرون، یک نمونه از مجموعه داده‌ها کنار گذاشته می‌شود سپس بقیه داده‌ها به منظور آموزش مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند و از نمونه بکارگرفته نشده جهت ارزیابی و بررسی دقت مدل آموزش داده شده استفاده می‌شود. بدین ترتیب این فرآیند برای همه نمونه‌ها انجام می‌شود. در صورتی که در اعتبارسنجی دوجانبه  $k$ -مرتبه مجموعه داده به  $k$  بخش (دسته) با

2- Root Mean Square Error

3- Mean Error

4- Coefficient of Determination

1 -k-fold Cross Validation

ترکمانی و همکاران: تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک...

در این روابط  $N$  تعداد نقاط،  $y_i$  مقدار تخمین زده شده و  $p_i$  مقدار واقعی است. همچنین پس از تهیه نقشه نهایی، مقادیر پیش‌بینی شده همه داده‌های نمونه‌برداری شده، استخراج و ضریب همبستگی آن‌ها با مقادیر مشاهده شده تعیین گردید. واریوگرام باقی‌مانده اجرای مدل نیز با استفاده از نرم افزار جی اس پلاس تهیه گردید. از طرف دیگر، به منظور فهم بهتر میزان دقت مدل جنگل تصادفی، نتایج این مدل با یک مدل ساده (مدل میانگین) نیز مقایسه شد. در مدل میانگین، مقادیر واقعی هر نقطه با مقدار میانگین نقاط اندازه‌گیری مقایسه و پارامتر RMSE تعیین شد.

(۱)

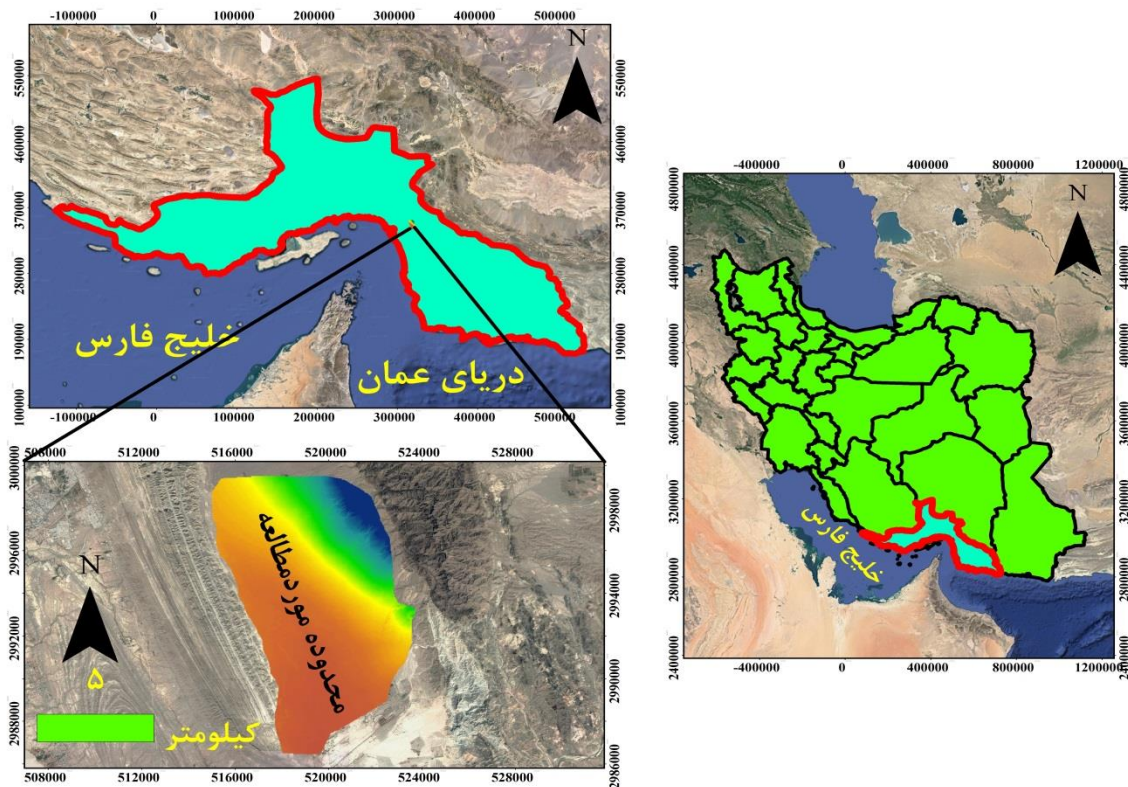
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - p_i)^2}$$

(۲)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - p_i|$$

(۳)

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Z(y_i) - \overline{Z(y_i)})(Z(p_i) - \overline{Z(p_i)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X(y_i) - \overline{X(y_i)})^2 (Z(p_i) - \overline{Z(p_i)})^2}} \right]^2$$



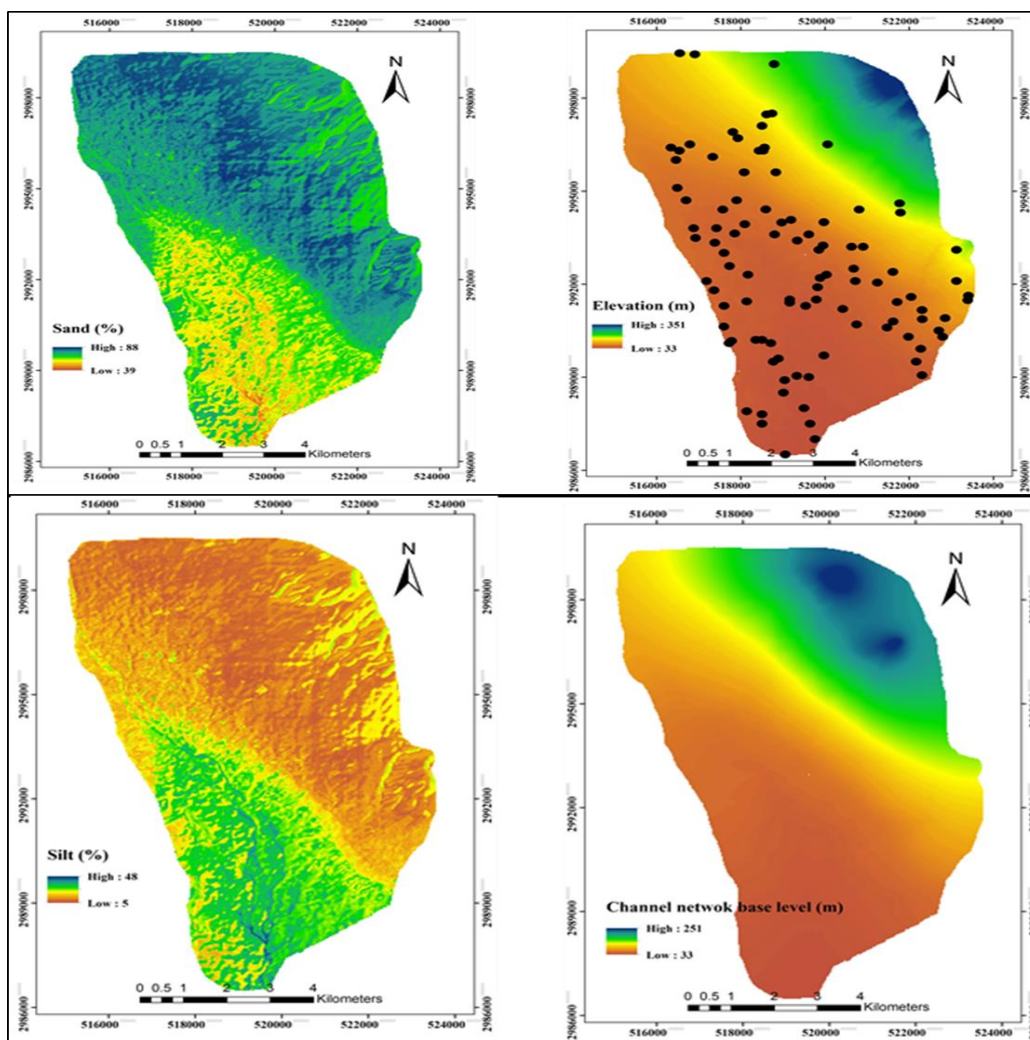
شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان و کشور ایران  
 Figure (1) Location of the studied area in Hormozgan province and Iran

منطقه بسیار پایین می‌باشد که علت آن می‌تواند اقلیم خشک منطقه و همچنین مدیریت نادرست منابع خاک باشد. نتایج ضریب همبستگی بین متغیرهای کمکی و کربن آلی در شکل شماره ۳ و جدول ۲ ارائه شده است. این نتایج نشان داد که کربن آلی با سیلت و شاخص پوش گیاهی همبستگی مثبت و با ارتفاع، سطح پایه شبکه کانال‌ها، ماسه و اسیدپته خاک همبستگی منفی دارد. اگرچه همبستگی بین متغیرها با کربن آلی خاک کم بود ولی مدل جنگل تصادفی این توانایی را دارد که روابط غیر خطی بین متغیرها را شناسایی کند.

### بحث و نتایج

#### خلاصه آماری داده‌ها

خلاصه ویژگی‌های آماری درصد کربن آلی خاک در جدول شماره ۱ ارائه شده است. بالا بودن ضریب تغییرات درصد کربن آلی خاک نشان‌دهنده تغییرات زیاد دامنه آن است که با تأثیر فعالیت‌های انسانی هماهنگی دارد. کشاورزی متراکم در بعضی مناطق و کاربرد سالانه کود حیوانی پوسیده و شن خیلی ریز باعث ایجاد تغییرات زیاد بین ۱/۸-۰/۰۳ درصد در دامنه کربن آلی خاک شده است. میانگین کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی ۰/۳۸ درصد است، که نشان می‌دهد میانگین خاک‌های



شکل (۲) نقشه برخی از متغیرهای کمکی مورد استفاده در مدل‌سازی  
Figure (2) Maps of some covariates used in modeling

ترکمانی و همکاران: تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک...

جدول (۱) خلاصه ویژگی‌های آماری کربن آلی خاک منطقه راوتنگ  
Table (1) Summary Statistical properties of soil organic carbon in area Ravang

ضریب تغییرات Coefficient of Variation	چولگی Skewness	انحراف معیار Standard Deviation	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	تعداد Number
0.9	2.4	0.4	0.38	1.8	0.40	100

کربن آلی (%)  
Organic Carbon

جدول (۲) همبستگی بین کربن آلی خاک و سایر متغیرهای کمکی مورد استفاده در مدل سازی  
Table (2) Correlation coefficient between SOC and other covariates used in modeling

ضریب همبستگی Correlation coefficient	متغیر کمکی Covariate
0.04	شیب Slope
0.21	NDVI
0.02	سایه و روشن Hill shading
0.02	شاخص هیدرولوژی Hydrology Index
-0.20	نقشه اسیدبته خاک Soil pH map
0.05	NDSI

عوامل، با افزایش بارش، به عنوان یکی از عوامل مهم اقلیمی، مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (۳۰).

شیب و سطح پایه شبکه کانال روی توزیع آب از دیگر متغیرهای مهم دیگر روی توزیع آب، سرعت رواناب، فرسایش و رسوب تأثیر دارند و به این دلیل سبب تأثیر بر تغییرات مکانی کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی می‌شوند. علاوه بر این، گیو و همکاران<sup>۱</sup>، لی و همکاران<sup>۲</sup> (۱۲) و گریم و همکاران<sup>۳</sup> (۷) در پژوهش‌های خود از ویژگی‌های توپوگرافی جهت پیش‌بینی مقدار ماده آلی استفاده نمودند و گزارش کردند که توپوگرافی مهمترین متغیر در تخمین و ذخیره کربن آلی است. همچنین وانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) نیز بر وجود ارتباط بین شاخص‌های توپوگرافی و ذخیره کربن تأکید کردند.

نقشه‌های لای و ماسه خاک دومین و سومین متغیر کمی بودند. مقدار کربن آلی خاک با مقدار رس خاک همبستگی

## اهمیت متغیرها در پیش‌بینی مکانی کربن آلی خاک

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، متغیرهای کمکی ارتفاع، نقشه‌های لای و ماسه خاک، سطح پایه شبکه کانال، شیب و شاخص پوشش گیاهی به ترتیب بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند (شکل ۴). ارتفاع، مهمترین متغیر کمکی در پیش‌بینی کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی بود. تغییرات ارتفاع در منطقه مورد مطالعه زیاد بوده و بین ۳۵۷ تا ۳۳ متر بالای سطح دریای آزاد تغییر می‌کند. این تغییرات ارتفاع روی دما و در نتیجه روی مقدار کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد. همسو با این یافته گزارش شده است که توزیع و مقدار کربن آلی خاک تابعی از عوامل مختلف نظیر اقلیم، ویژگی‌های خاک، پستی و بلندی و مدیریت است که در این میان نقش اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۳). دما و رطوبت از جمله عوامل اقلیمی مهمی‌اند که بر روی میزان کربن آلی مؤثر هستند. در این راستا، گزارش شده است که در صورت یکسان بودن بافت خاک، پوشش گیاهی و سایر

1- Guo *et al.*

2- Li *et al.*

3- Grimm *et al.*

4- Wang *et al.*



ویژگی‌های خاک، پستی و بلندی و مدیریت است که در این میان نقش اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۳). دما و رطوبت از جمله عوامل اقلیمی مهمی اند که بر روی میزان کربن آلی مؤثر هستند. در این راستا، گزارش شده است که در صورت یکسان بودن بافت خاک، پوشش گیاهی و سایر عوامل، با افزایش بارش، به عنوان یکی از عوامل مهم اقلیمی، مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (۳۰). شیب و سطح پایه شبکه کانال روی توزیع آب از دیگر متغیرهای مهم دیگر روی توزیع آب، سرعت رواناب، فرسایش و رسوب تأثیر دارند و به این دلیل سبب تأثیر بر تغییرات مکانی کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی می‌شوند. علاوه بر این، گیو و همکاران (۸)، لی و همکاران (۱۲) و گرم و همکاران (۷) در پژوهش‌های خود از ویژگی‌های توپوگرافی جهت پیش‌بینی مقدار ماده آلی استفاده نمودند و گزارش کردند که توپوگرافی مهمترین متغیر در تخمین و ذخیره کربن آلی است. همچنین وانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز بر وجود ارتباط بین شاخص‌های توپوگرافی و ذخیره کربن تأکید کردند.

نقشه‌های لای و ماسه خاک دومین و سومین متغیر کمی بودند. مقدار کربن خاک با مقدار رس خاک همبستگی مثبت و با ماسه همبستگی منفی دارد. علت قرار نگرفتن رس خاک به عنوان متغیر مهم می‌تواند به کم بودن رس خاک (میانگین ۹ درصد) در اراضی منطقه باشد. شاخص پوشش گیاهی نیز از دیگر متغیرهای مهم بود که نشان می‌دهد پوشش گیاهی روی توزیع مکانی کربن آلی خاک تأثیر داشته است. هیدرولوژی، شاخص شوری و کاربری اراضی نیز متغیرهای مهم در این مطالعه بودند. استور وگل و همکاران (۳۳)، در پژوهشی از متغیرهای مربوط به عوامل ژئومورفولوژی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی جهت پیش‌بینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک استفاده کردند. جیانگ و همکاران (۱۰) گزارش کردند که جهت و درجه شیب بر ویژگی‌های خاک مانند درصد رس، شن، کربن آلی و نیتروژن تأثیرگذار است. به‌طور کلی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که توپوگرافی پس از تنوع اقلیم دومین عامل

مثبت و با ماسه همبستگی منفی دارد. علت قرار نگرفتن رس خاک به عنوان متغیر مهم می‌تواند به کم بودن رس خاک (میانگین ۹ درصد) در اراضی منطقه باشد. شاخص پوشش گیاهی نیز از دیگر متغیرهای مهم بود که نشان می‌دهد پوشش گیاهی روی توزیع مکانی کربن آلی خاک تأثیر داشته است. هیدرولوژی، شاخص شوری و کاربری اراضی نیز متغیرهای مهم در این مطالعه بودند.

استور وگل و همکاران<sup>۱</sup> (۳۳)، در پژوهشی از متغیرهای مربوط به عوامل ژئومورفولوژی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی جهت پیش‌بینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک استفاده کردند. جیانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۱۰) گزارش کردند که جهت و درجه شیب بر ویژگی‌های خاک مانند درصد رس، شن، کربن آلی و نیتروژن تأثیرگذار است. به‌طور کلی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که توپوگرافی پس از تنوع اقلیم دومین عامل کنترل‌کننده میزان کربن آلی خاک است (۳۷). پزند و همکاران<sup>۳</sup> (۲۶) نیز گزارش کردند که تغییرات میزان کربن آلی خاک به‌عوامل بسیاری از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی، نوع و کیفیت خاک، مدیریت و کاربری اراضی مرتبط است.

### اهمیت متغیرها در پیش‌بینی مکانی کربن آلی خاک

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، متغیرهای کمکی ارتفاع، نقشه‌های لای و ماسه خاک، سطح پایه شبکه کانال، شیب و شاخص پوشش گیاهی به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند (شکل ۴). ارتفاع، مهمترین متغیر کمکی در پیش‌بینی کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی بود. تغییرات ارتفاع در منطقه مورد مطالعه زیاد بوده و بین ۳۵۷ تا ۳۳ متر بالای سطح دریای آزاد تغییر می‌کند. این تغییرات ارتفاع روی دما و در نتیجه روی مقدار کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد. همسو با این یافته گزارش شده است که توزیع و مقدار کربن آلی خاک تابعی از عوامل مختلف نظیر اقلیم،

1- Stoorvogel *et al.*

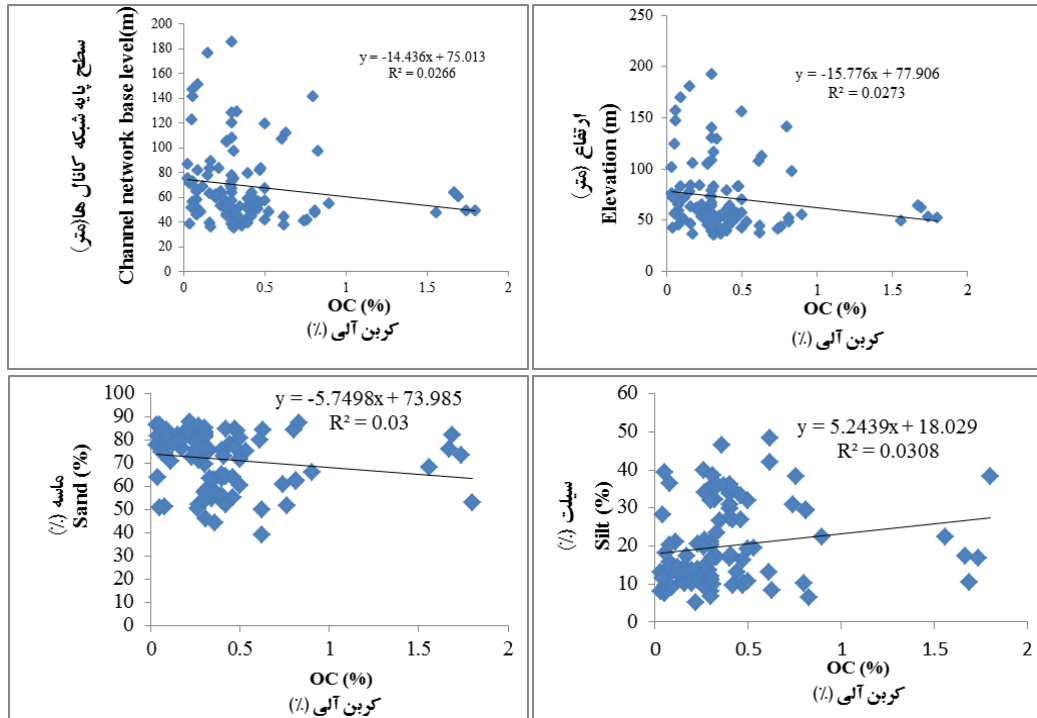
2- Jiang *et al.*

3- Pajand *et al.*

ترکمانی و همکاران: تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک...

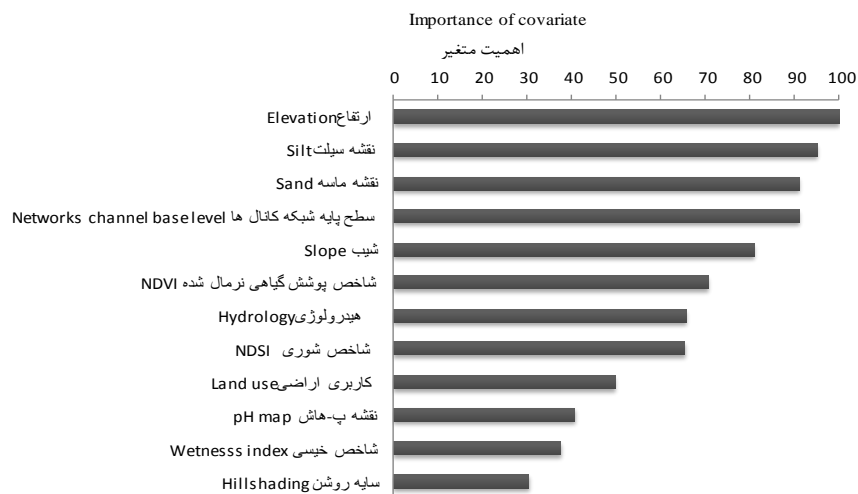
گیاهی، نوع و کیفیت خاک، مدیریت و کاربری اراضی مرتبط است.

کنترل کننده میزان کربن آلی خاک است (۳۷). بژند و همکاران (۲۶) نیز گزارش کردند که تغییرات میزان کربن آلی خاک به عوامل بسیاری از جمله توپوگرافی، پوشش -



شکل (۳) ضریب همبستگی بین برخی متغیرهای کمکی و کربن آلی خاک

Figure (3) Correlation coefficient between some of covariates and soil organic carbon



شکل (۴) اهمیت متغیرها (%) در پیش بینی مقدار کربن آلی با استفاده از مدل تصمیم گیری جنگل های تصادفی در

حوضه آبخیز راونگ

Figure (4) The covariates importance (%) in estimating soil organic carbon using Random Forest model in the Ravang watershed

## توزیع مکانی کربن آلی خاک

نقشه توزیع مکانی کربن آلی خاک در شکل ۵ ارائه شده است. براساس نقشه حاصل، بیشتر گستره منطقه مطالعاتی دارای کربن کمتر از ۰/۵ درصد است که نشان می‌دهد اکثر اراضی دارای کربن آلی بسیار پایینی هستند. بیشترین مقدار کربن آلی خاک با دامنه ۱-۱/۲ درصد و با سطح کم به صورت لکه‌ای در قسمت‌هایی از شمال شرق، شرق و جنوب غرب دیده می‌شود که از نظر کاربری اراضی، این مناطق در محدوده اراضی مرتعی قرار می‌گیرند. پس از آن در قسمت شرق و شمال شرقی منطقه مطالعاتی مقادیر کربن بین ۱-۰/۷ درصد نوسان دارد که وسعت این بخش نیز زیاد نیست. کمترین مقدار کربن آلی خاک (۰/۳-۰/۱ درصد) از قسمت‌های مرکزی تا شمال و شمال غرب منطقه مطالعاتی گسترش دارد، جایی که مقدار ماسه خاک بیشتر است. خاک‌های دارای مقادیر کربن ۰/۵-۰/۳ درصد در قسمت‌های مرکزی تا جنوبی جایی که مقدار سیلت خاک بیشتر است قرار دارند (شکل ۵). در مناطقی که مقدار رس خاک بیشتر بوده است مقدار کربن آلی خاک نیز بیشتر است. همسو با یافته این پژوهش، پاندی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۷)، نیز مؤثر بودن رس را بر تغییرات کربن آلی خاک مورد تاکید قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که میزان کاهش کربن در مناطق کشاورزی و مسکونی بیش از مناطقی است که آثاری از دست‌کاری انسان در طبیعت دیده نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان بهم خوردگی خاک، کوددهی، آبیاری و ایجاد شرایط برای تجزیه کربن آلی خاک توسط میکروارگانیسم‌های خاک دانست. همسو با یافته این پژوهش، دای و همکاران<sup>۲</sup> (۳) بیان داشتند که بیشترین تغییرات کربن مؤثر از فعالیت انسانی است. تأثیر نوع کاربری اراضی بر مقدار کربن آلی خاک در مطالعه ژائو و همکاران<sup>۳</sup> (۴۱) نیز گزارش شده است. در منطقه مورد مطالعه تغییر در وضعیت خاک در اراضی تحت شخم، باغات و اراضی تحت کشت و کار به فراوانی دیده

می‌شود. در نتیجه به دلیل برداشت مداوم محصول و عدم بازگشت مواد آلی این اراضی روز به روز ضعیف‌تر می‌شوند (۵). در راستای یافته این پژوهش، گزارش شده است که ترسیب کربن به مدیریت منابع هر منطقه و همچنین فعالیت‌های زیست محیطی بستگی دارد (۳۵).

## ارزیابی مدل

نتایج ارزیابی مدل (جدول ۳) نشان داد که مقدار ضریب تبیین برای تخمین کربن آلی خاک ۰/۳۸ است. همچنین مقدار ریشه مربعات خطا برابر ۰/۰۳۶ بود. نتایج ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده (مستخرج از نقشه تهیه شده) برای همه نقاط مشاهداتی (شکل ۶) نشان داد که مقدار آن برابر ۰/۸۷ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد اگرچه مقدار دقت مدل براساس اعتبارسنجی تقاطعی ۱۰ مرتبه، کم است ولی با نتیجه به دست آمده با روش دوم مشاهده می‌شود که نقشه تهیه شده دارای صحت قابل قبولی است. تفاوت دقت بدست آمده با دو روش نیز منطقی هست، زیرا دقت محاسبه شده توسط مدل، مربوط به پیش‌بینی داده‌های تست است که در مدل‌سازی استفاده نشده‌اند ولی در روش دوم از همه داده‌هایی که هم در آموزش و هم به‌عنوان تست استفاده شده‌اند برای محاسبه ضریب همبستگی استفاده شد.

همسو با یافته این پژوهش گزارش شده است که ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷ کم‌تر و ضریب تبیین پایین‌تر از ۰/۵ بیشتر معمول است (۳۴ و ۱۴). نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که پایین بودن ضریب تبیین خاک در منطقه راونگ نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد ویژگی‌های خاک در اثر دخالت‌های انسانی و فرسایش است که این امر باعث شد توزیع کربن آلی خاک دارای پراکنش مکانی مناسبی نباشد. نتایج RMSE برای مدل میانگین نشان داد که مقدار آن برای ۰/۰۴۱ برای این مدل بود که نشان‌دهنده صحت بیشتر مدل جنگل تصادفی است. نتایج باقی‌مانده‌های مدل در شکل ۷ یک واریوگرام تجربی مسطح را نشان می‌دهد که مبین عدم وجود ساختار مکانی بین باقیمانده‌های مدل است. این نتیجه با نتایج فام و همکاران<sup>۴</sup> (۲۹) مطابقت دارد.

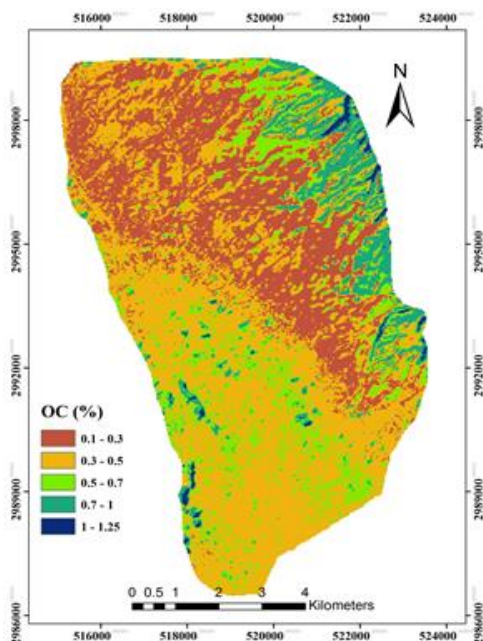
1- Pandey et al.

2- Dai et al.

3- Zhao et al.

4 - Pham et al.

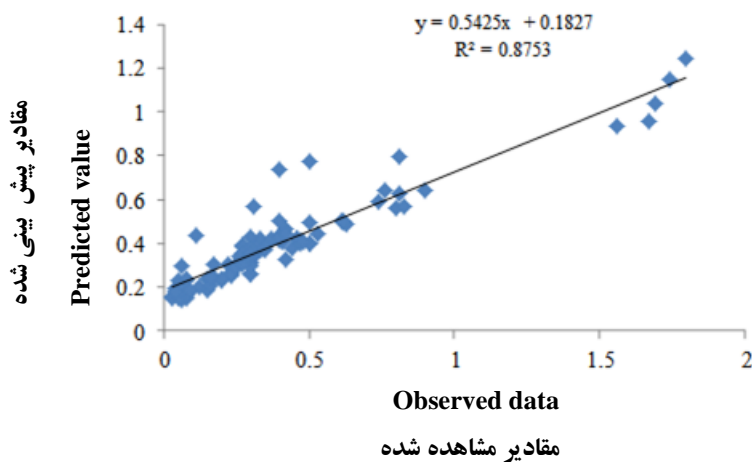
ترکمانی و همکاران: تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک...



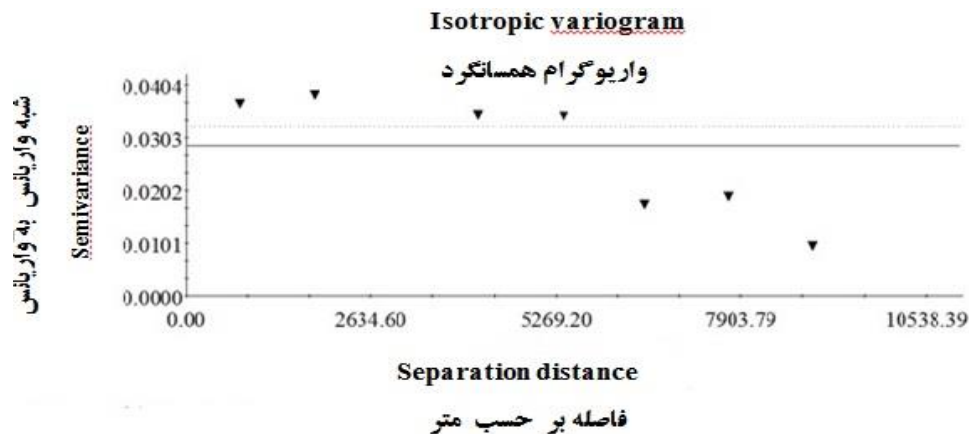
شکل (۵) نقشه پراکنش مکانی مقدار کربن آلی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری جنگل‌های تصادفی در حوضه آبخیز راونگ  
 Figure (5) Spatial distribution map of soil organic carbon using Random Forest model in the Ravng watershed

جدول (۳) نتایج اعتبارسنجی مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در حوضه آبخیز راونگ  
 Table (3) Results of of Random Forest model evaluation to estimating soil organic carbon in Ravng watershed

ضریب تبیین R <sup>2</sup>	میانگین خطای مطلق MAE	ریشه مربعات خطا RMSE	متغیر Variable
0.38	0.022	0.036	کربن آلی خاک Soil organic carbon



شکل (۶) همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک  
 Fig (6) Correlation between observed and predicted values of soil organic carbon



شکل (۷) واریوگرام باقیمانده‌های مدل پیش‌بینی برای کربن آلی خاک  
Fig (7) Variogram of residuals model for predicting SOC

همچنین تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز راونگ باشد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر بیان‌کننده وضعیت بحرانی کربن آلی خاک در منطقه راونگ میناب است که برای بهبود شرایط و افزایش ذخایر این متغیر مهم و تأثیرگذار در ساختمان خاک، اعمال یک مدیریت جامع جهت منابع آب و خاک منطقه از ضروریات است. از سوی دیگر، علیرغم عملکرد قابل قبول مدل جنگل تصادفی در این پژوهش، می‌توان بیان کرد که اگرچه مدل جنگل تصادفی دارای کارایی بالایی در تخمین ویژگی‌های خاک است ولی ممکن است تغییرپذیری زیاد برخی از ویژگی‌های خاک عملکرد مدل را تحت تأثیر قرار دهد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل (شماره گزنت: UOZ.GR.9618-83) انجام شده است؛ بدینوسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل سپاسگزاری می‌شود.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر، نتایج مربوط به تحلیل اهمیت متغیرها در مدل جنگل تصادفی در حوزه آبخیز راونگ نشان داد که متغیرهای ارتفاع، سطح پایه شبکه کانال، نقشه‌های لای و ماسه، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شیب از مهمترین عوامل مؤثر در تعیین مقدار کربن آلی خاک و در نتیجه پیش‌بینی پراکنش مکانی این متغیر در حوزه مورد مطالعه هستند. یافته‌های این پژوهش، به طور مؤکد، ارتباط بین میزان کربن آلی خاک با عوامل توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی را مورد تأیید قرار می‌دهد. به بیان دیگر، در حوزه آبخیز راونگ، پستی و بلندی از مهمترین مؤلفه‌های خاک سازی است که بر میزان و پراکنش مکانی کربن آلی خاک در سطح این منطقه تأثیرگذار است. بر این اساس، نتایج بررسی توزیع مکانی کربن آلی گویای آن است که به طور کلی توزیع مکانی کربن آلی خاک نشان‌دهنده پایین بودن مقدار کربن-آلی خاک در خاک‌های منطقه است که این امر می‌تواند متاثر از خشک بودن اقلیم منطقه، فقر پوشش گیاهی و

### منابع

1. Aksoy, E., and Dirim, M.S. 2009. Soil mapping approach in GIS using Landsat satellite imagery and DEM data. African Journal of Agricultural Research, 4(11): 1295-1302.
2. Breiman, L. 2001. Random forests. Machine Learning, 45 (1): 5-32.

3. Dai, E.F., Zhai, R.X., Ge, Q.S., and Wu, X. 2014. Detecting the storage and change on topsoil organic carbon in grasslands of Inner Mongolia from 1980s to 2010s. *Acta Geographica Sinica*, 24: 6. 1035-1046.
4. Debella-Gilo, M. and B. Etzelmuller. 2009. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vest fold County, Norway. *Catena*, 77 (1): 8-18.
5. Farage, P.K., Ardo, J., Olsson, L., Rienzi, E.A., Ball, A.S., and Pretty, J.N. 2007. The Potential of Soil Carbon Sequestration in Three Tropical Dryland Farming Systems of Africa and Latin America: A modelling approach. *Soil and Tillage Research*, 94 (2): 457- 472.
6. Franklin, J. 1995. Predictive Vegetation Mapping: Geographic Modelling of Bio spatial Patterns in Relation to Environmental Gradients, *Progress in Physical Geography*, 19(4): 474-499.
7. Grimm, R., Behrens, T., Marker, M., and Elsenbeer, H. 2008. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island - Digital soil mapping using random forests analysis. *Geoderma*, 146(1-2):102-113.
8. Guo, P.T., H.B. Liu., and Wu, W. 2009. Spatial prediction of soil organic matter using terrain attributes in a hilly area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, Wuhan, China. 3:762-759.
9. Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Kempen. B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Shepherd K.D., Sila, A., MacMillan, R.A., Jesus, J.M.D., 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(6): e0125814 doi:10.1371/journal.pone.0125814.
10. Jiang, P., and Thelen, K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn soybean cropping system. *Agronomy Journal*, 96: 252-258.
11. Kadkhodapur, M. A. Mirjalili, A.B., and Dashtkian, K. 2009. The study of the permeability status of Miankow aquifer field in natural and planted fields, *Watershed Research*, (84): 58-53.
12. Li, X., McCarty, G.W., Karlen, D.L., and Cambardella, C.A. 2018. Topographic metric predictions of soil redistribution and organic carbon in Iowa cropland fields. *Catena*, 160: 222-232.
13. Ließ, M., Glaser, B., and Huwe, B. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture comparison of regression tree and random forest models. *Geoderma*, 170: 70-79.
14. Malone B.P., McBratney A.B., Minasny B., and Laslett G.M. 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154: 138-152.
15. Mc Bratney, A.B., Santos, M.L.M., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.

16. Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., and Koch, M. 2008. Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils. *Geoderma*, 147 (3-4):126-132.
17. Milanesi, P., Holderegger, R., Caniglia, R., Fabbri, E., and Randi, E. 2016. Different habitat suitability models yield different least-cost path distances for landscape genetic analysis. *Basic and Applied Ecology*, 17(1): 61-7.
18. Mirakzahi, K.L., Shahriyari, L., Pahlavan Rad, M.R., and Bameri, A. 2015. Application random forest method in prediction of soil classes in low elevation (case study: Hirmand city). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24: 67-84.
19. Nelson, D.W. and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2)*, 539-579.
20. Nicodemus, K.K. 2011. Letter to the Editor: On the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. *Briefings in Bioinformatics*, 12: 369-373.
21. Niknahad Gharmakher, H., and M. Maramaei. 2011. Effects of land use changes on soil properties (Case study: the Kechik catchment). *Journal of Soil Management and Sustainable*, 1(2): 81-96. (In Persian).
22. Nourozi, P., Nadiri, A.A., Asghari Moqadam, A., and Qqareh Khani, M. 2015. Projection of aquifer capabilities of Malekan Palin. *Knowledge of Water and Soil*, 27(2): 61-75. (In Persian).
23. Naderi, H., Hedayati Zadeh, R., and Doroodi, H. 2007. Physiographic properties (elevation and gradient) on the amount of organic carbon and total nitrogen in soil, 10th Iranian soil science congress, Karaj, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.
24. Pahlavan Rad, M.R., Toumanian, N., and Khormalali, F. 2017. Introduction of digital mapping of soil. *Land Management*, 4.2 (2): 97-114.
25. Pahlavan Rad, M.R., Dahmardeh, K.H., and Brungard, C. 2019. Predicting soil organic carbon concentrations in a low relief landscape, eastern Iran. *Geoderma Regional*, 15. e00195.
26. Pajand, M.G., Imami, H., and Astaraie, A. 2014. Relationship between topography and some soil features. *Soil and Water Journal (Agricultural Sciences and Technology)*, 29(6): 1699- 1710.
27. Pandey, C.B., Chaudhari, S.K., Dager, J.C., Singh, G.B., and Singh, R.K. 2010. Soil N mineralization and microbial biomass carbon affected by different tillage levels in a hot humid tropic, *Soil and Tillage Research*, 11: 33-41.
28. Peters, J., Verhoest, N., Samaon, R., Boeckx, P., and De Baets, B. 2008. Wetland vegetation distribution modelling for the identification of constraining environmental variables. *Landscape Ecology*, 23: 1049-1056.

29. Pham, T.G., Kappas, M., Huynh, C.V., Nguyen, H. 2019. Application of ordinary kriging and regression kriging method for soil properties mapping in hilly region of central Vietnam. *International Journal of Geo-Information*, 8 (3), 147; doi:10.3390/ijgi8030147.
30. Post, W.M. 1993. Organic carbon in soil and global carbon cycle. P. 216-302. In: M. Heimann (ed). *The Global Carbon Cycle*, NATO ASI Series 1: Global Environmental Change. Springer, New York.
31. Schwender, H. 2008. Identification of SNP interactions using logic regression. *Biostatistics* 9(1):187-198.
32. Sidari, M., Ronzello, G., Vecchio, G., and Muscolo, A. 2008. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European Journal of Soil Biology*, 44: 364-372.
33. Stoorvogel, J.J., Kempen, B., Heuvelink, G.B.M., and de Bruin, S. 2009. Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. *Geoderma*. 149: 169-170.
34. Taghizadeh-Mehrjardi, R. 2016. *Modern concepts in Soil Science (Pedometric)*. Ardakan Univ. Press, 311p. (In Persian).
35. Teng, J., Xiang, T., Huang, Z., Wu, J., Jiang, P., Meng, C., Li, Y., and Fuhrmann, J.J. 2015. Spatial distribution and variability of carbon storage in different sympodial bamboo species in China. *Journal of Environmental Management*, 168: 46-52.
36. Vaysse, K. and P. Lagacherie. 2015. Evaluating Digital Soil Mapping approaches for mapping Global Soil Map soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Regional*, 4: 20-30.
37. Zhang, X.C., Zhang, J.L., and Li, S.J. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the loess plateau. *Pedosphere*, 19: 486-495.
38. Were, K., Bui, D. T., Disk, B., and Singl, B. R. 2015. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forest for predicting soil organic carbon stocks across an afro-montane landscape. *Ecological Indicator*, 394-403 .
39. Wilson, J.P., and Gallant, J.C. 2000. *Teain analysis, principle and applications*. John Wiley and Sons, Inc. NY.
40. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Tajik, S., and Finke, P. 2019. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma*, 338 (15): 445-452.
41. Zhao, B., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Cheng, Y., and Fang, Z. 2017. Spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors under the condition of ecological construction in a hilly-gully watershed of the loess plateau, china. *Geoderma*, 296:10-17.