

## پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی با تلفیق تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه در مراتع نیمه‌استپی لزور، فیروزکوه

رستم خلیفه‌زاده<sup>۱</sup>، رضا تمرتاش<sup>۲\*</sup>، محمدرضا طاطیان<sup>۳</sup> و محمدرضا سراجیان مارالان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۲\* - نویسنده مسئول، استادیار، گروه مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، پست الکترونیک: r.tamartash@sanru.ac.ir

۳- استادیار، گروه مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۴- استاد، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۲۹

### چکیده

کربن آلی خاک، یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت خاک است که تقریباً تمامی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر خود قرار داده و سبب حاصلخیزی خاک می‌شود. این شاخص نقش کلیدی در چرخه سراسری کربن دارد. هدف از انجام این پژوهش مطالعه رفتارهای طیفی و غیرطیفی خاک به‌منظور برآورد کربن آلی خاک سطحی با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه در مراتع نیمه‌استپی لزور فیروزکوه است. نمونه‌برداری از خاک، با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده انجام شد. تعداد ۱۵۷ سایت تعلیمی در واحدهای کاری همگن انتخاب شد. اطلاعات ۱۲۷ سایت برای واسنجی مدل و اطلاعات ۳۰ سایت برای اعتبارسنجی آن استفاده شد. در هر یک از سایت‌های تعلیمی به شیوه تصادفی، یک نمونه خاک متشکل از ۹ مشاهده از عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری خاک سطحی برداشت شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش تیتراسیون والکلی - بلاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد متغیرهای آلبدو، شاخص رس، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، شاخص‌های روشنایی و سبزیگی تبدیل تسلدکپ و ارتفاع نسبی همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک دارند. همچنین نتایج تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) با مقادیر ویژه بزرگتر از یک نشان داد که کل واریانس جمعی تبیین‌شده بوسیله شش متغیر مذکور، برابر ۸۱/۱۴۶ درصد بود که این میزان واریانس بوسیله دو عامل توضیح داده شد. رابطه رگرسیون تولید شده با دو عامل استخراج شده، از قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی برخوردار بود ( $R^2 = 0.789$ ). میانگین نسبی خطای مطلق (MARE) و ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) مدل پیشنهادی به ترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۲۴ محاسبه شد. با توجه به ارتباط مستقیم کربن آلی خاک با عوامل حاصلخیزی و مقاومت خاک در مقابل فرسایش، مدل توزیع مکانی کربن آلی خاک می‌تواند به‌عنوان یک زیرمدل مهم به‌منظور طراحی سایر مدل‌های پیچیده همانند تولید (با یومس) اکوسیستم‌های خشکی و مدل‌های فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی خاک، لندست ۸، پارامترهای مرفومتریک، تحلیل عاملی، رگرسیون خطی چندگانه.

### مقدمه

کربن آلی خاک در بیشتر عرصه‌های تولید اعم از اراضی زراعی و مرتعی، بسیار کم است (Dadgar et al., 2014).

در کشور ایران، صرف‌نظر از یک عرصه محدود، میزان

Esadafal و همکاران (۱۹۸۹)، رابطه بین بازتاب طیفی سنجنده‌های TM و MSS ماهواره لندست با رنگ خاک را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک عوامل رنگ خاک (هیو، والیو و کروما) با داده‌های مذکور همبستگی بالایی دارند. Huang و Kronrad (۲۰۰۱)، بیان نمودند که با توجه به کمی بودن داده‌های سنجنش از دور و نیز وجود روابط رگرسیونی بین شاخص‌های مرتبط با میزان کربن آلی خاک حاصل از سنجنش از دور با مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی در آزمایشگاه، می‌توان سرعت و دقت تهیه نقشه‌های کمی کربن آلی خاک را افزایش داد. برخی محققان نیز به وجود رابطه معکوس بین میزان کربن آلی خاک با عمق خاک اذعان داشته و نشان دادند که حداکثر تمرکز کربن آلی خاک در ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک سطحی انجام می‌شود (Troeh & McSweeney, 2005). Thompson, 2005 و Hartemink و McSweeney (۲۰۱۴) نیز وجود همبستگی مثبت معنی‌دار را بین کربن آلی خاک و درصد رس خاک بیان کرده‌اند. Wu و همکاران (۲۰۰۹)، با انجام آنالیز همبستگی بین ماده آلی خاک با مقادیر DN در باندهای یک تا پنج و هفت سنجنده ETM+، در منطقه هاینینگ چین، عنوان کردند که بیشترین همبستگی میان ماده آلی خاک و DN باند یک (آبی) وجود دارد. Piccini و همکاران (۲۰۱۴)، بیان کردند که محتوای مواد آلی و کربن آلی خاک به‌شدت به عواملی همانند نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اقلیم و پارامترهای شکل زمین وابسته است که می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و DEM آن را به صورت مدل ارائه کرد. Liu و همکاران (۲۰۱۵)، بیان کردند که روش تسلدکپ برای برجسته‌سازی انواع ویژگی‌های سطح زمین، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. تسلدکپ از سه شاخص روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت تشکیل شده که با توجه به خصوصیات بیوفیزیکی سطح زمین، اطلاعات طیفی موجود در تصاویر با باندهای متعدد را با کاهش باندها فشرده می‌کند. Mondal و همکاران (۲۰۱۷)، با تلفیق روش‌های رگرسیون و زمین‌آمار

کربن آلی خاک یک شاخص کلیدی و تأثیرگذار در چرخه جهانی کربن محسوب می‌شود (Marchant *et al.*, 2015) که تقریباً تمامی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و نیز میزان حاصلخیزی آن را تحت تأثیر خود قرار داده (Wu *et al.*, 2009) و یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت خاک به‌شمار می‌رود (Saha *et al.*, 2011). کربن آلی در اکوسیستم‌های خشکی از جنبه‌های گوناگونی همانند کاهش اثرهای گازهای گلخانه‌ای، افزایش عملکرد و حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش‌پذیری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی و غیره، حائز اهمیت است (NRCS, 2003). از این‌رو امروزه در زمره عوامل تعیین‌کننده سلامت خاک طبقه‌بندی شده است (Bouma & McBratney, 2013) و از آن با عناوینی همانند "قلب کشاورزی پایدار" (Mirza Shahi & Bazargan, 2015) و بخش حیاتی سامانه‌های تولید (Bidwell, 1989) یاد می‌شود که مدیریت آن به‌ویژه در خاک‌های با کربن آلی کمتر از یک درصد (بخش عمده خاک کشور ایران را شامل می‌شود)، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (Mirza Shahi & Bazargan, 2015). با توجه به نقش مهم مواد آلی در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی خاک و اثر قابل توجه آنها بر ناحیه طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه (Baumgardner *et al.*, 1986) و نیز اهمیت ویژه نحوه توزیع مکانی کربن آلی خاک در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای (Piccini *et al.*, 2014)، بسیاری از محققان با بکارگیری فنون سنجنش از دور و مدل‌سازی به پیش‌بینی ماده آلی خاک اقدام کرده‌اند.

Fang و همکاران (۲۰۱۲)، بیان کردند که توزیع کربن آلی خاک تحت تأثیر عوامل متعددی همانند تیپ خاک، اقلیم، عوامل توپوگرافیک، هیدرولوژی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و غیره تغییر می‌کند. Montgomery (۱۹۷۶)، به وجود یک رابطه منفی قوی بین کربن و بازتاب طیفی در ناحیه مادون قرمز نزدیک (۰/۶۷ تا ۰/۹ میکرومتر) در خاک‌های ورتی‌سول منطقه آلابامای آمریکا پی برد.

Tamartash و همکاران (۲۰۱۲)، با مقایسه ترسیب کربن گونه‌های غالب گیاهی در منطقه جلگه‌ای میانکاله شهرستان بهشهر دریافتند که با افزایش سطح تاج پوشش و درصد چوبی شدن، بر میزان ترسیب کربن گیاه افزوده می‌شود.

Jafarian و همکاران (۲۰۱۲)، در مقایسه ترسیب کربن در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و خاک پای گونه‌های *Stipa* و *Agropyron elongatum Artamisia Aucheri barbata* در مراتع نیمه‌خشک پشورت کیاسر دریافتند که توان ترسیب کربن در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و خاک *Artemisia Aucheri* با شکل رویشی بوته‌ای نسبت به دو گونه گراس مورد مطالعه، بیشتر است.

هدف این پژوهش، استفاده از قابلیت‌های تلفیق تحلیل عاملی و رگرسیون‌های چندگانه به منظور دستیابی به مدلی قابل قبول برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی در منطقه لزور فیروزکوه است. دستیابی به مدل توزیع مکانی کربن آلی خاک می‌تواند به‌عنوان یک زیرمدل مهم و تأثیرگذار در طراحی مدل‌های پیچیده‌ای همانند مدل تولید (بایومس) در اکوسیستم‌های خشکی و نیز مدل‌های حساسیت خاک به فرسایش و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

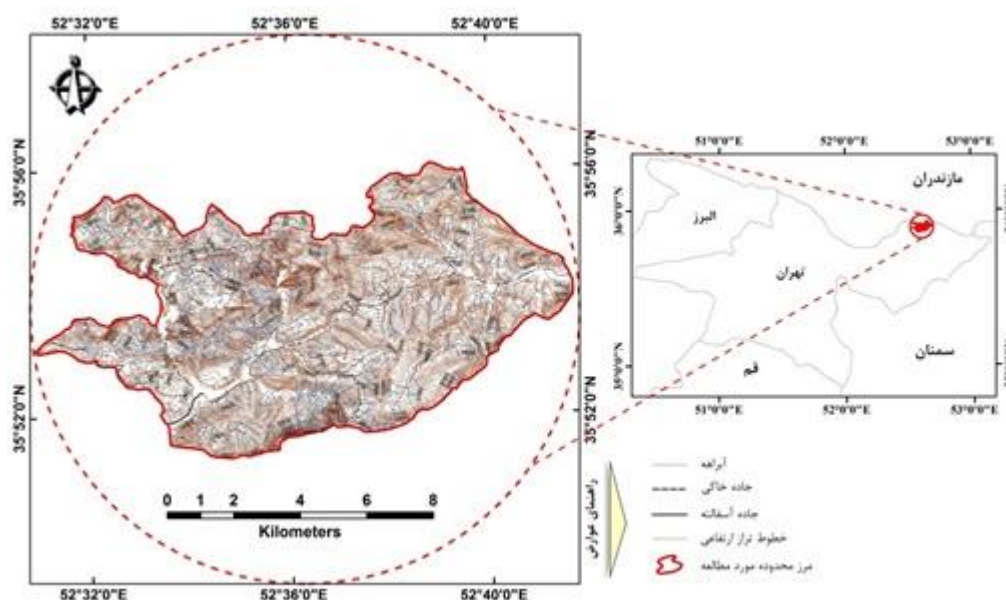
— ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، موسوم به لزور، بخشی از مراتع بیلاقی استان تهران است که با مساحت ۸۱۵۰ هکتار، در ۴۶ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان فیروزکوه و در محدوده طول‌های شرقی ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه و ۴۱ ثانیه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۸ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه واقع شده است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه از سطح تراز دریا به ترتیب ۲۲۴۸ و ۳۴۰۰ متر است. بر اساس میانگین آمار ۱۵ ساله (۲۰۱۴ - ۲۰۰۰) ایستگاه هواشناسی فیروزکوه، متوسط بارندگی و

به شیوه کریجینگ در بخشی از حوزه رودخانه نارمادا در نواحی مرکزی هند، به ارائه مدلی به‌منظور پیش‌بینی مقدار ماده آلی خاک پرداختند. آنان در این تحقیق از هشت متغیر پیش‌بینی شامل درخشندگی، سبزی‌نگی، رطوبت، شاخص پوشش‌گیاهی NDVI، شاخص وضعیت حرارتی پوشش‌گیاهی، مدل طبقات ارتفاعی، شیب و شاخص توپوگرافی استفاده کردند و به نتایج رضایت‌بخشی دست یافتند. Abbas Nejad و Khajedin (۲۰۱۳)، با استفاده از فناوری سنجش از دور و بکارگیری تصاویر ماهواره Quick Bird، به بررسی تأثیر جنگل‌کاری شهری در مناطق خشک واقع در شمال‌غرب شهر اصفهان بر میزان کربن ترسیب‌شده در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک پرداختند. بر اساس نتایج، میزان ترسیب کربن خاک در لایه‌های سطحی خاک بسیار زیادتر بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. آنان همچنین با مقایسه ضریب تبیین ( $R^2$ ) دو مدل میزان کربن آلی خاک در خاک‌های سطحی (۰-۱۵ سانتی‌متر) و خاک‌های عمقی (۱۵-۳۰ سانتی‌متر) دریافتند که دقت مدل تهیه شده برای کربن آلی خاک‌های سطحی در مقایسه با خاک‌های عمقی به‌طور معنی‌داری دقیق‌تر است. آنان عامل این اختلاف را تراکنش امواج الکترومغناطیس طبیعی با خاک بیان نمودند که توانایی نفوذ به اعماق خاک را ندارند و بازتاب‌ها از سطح خاک هستند. Sheidaye و Karkaj و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش تحلیل مسیر و رگرسیون گام به گام در مراتع استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که میزان تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک بر کربن آلی بسیار بیشتر از ویژگی‌های شیمیایی آن است. همچنین نتایج رگرسیون گام به گام کل متغیرهای خاک به‌منظور به‌دست آوردن مدل نهایی تخمین کربن آلی خاک نشان داد، فاکتورهای رس، سیلت، توان حفظ رطوبت، اسیدیته و هدایت الکتریکی در حدود ۵۷ درصد تغییرات کربن آلی خاک را تبیین می‌کنند.

روش دومارتن، نیمه خشک و با روش آمبرژه نیمه خشک سرد ارزیابی شده است.

دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۲۸۲/۳ میلی متر و ۵/۷ درجه سانتی گراد می باشد. اقلیم منطقه با



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (لزور) در استان تهران

روش تحقیق  
در این پژوهش از اطلاعات باندهای ۲ تا ۷ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (جدول ۱) با شماره گذر ۱۶۴ و شماره ردیف ۳۵ مربوط به ۱۰ آگوست ۲۰۱۷ (۱۹ مرداد ۱۳۹۶) و نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه به شماره های 6561 IV SW, 6561 IV NW, 6561 IV NE و 6561 IV SE استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات باندهای سنجنده OLI لندست ۸ مورد استفاده در تحقیق

شماره باندها	نام باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)	محدوده طیفی (میکرومتر)	ردیف
۱ باندها	آبی (مرئی)	۳۰	۰/۴۵۲-۰/۵۱۲	۱
۲ باندها	سبز (مرئی)	۳۰	۰/۵۳۳-۰/۵۹۰	۲
۳ باندها	قرمز (مرئی)	۳۰	۰/۶۳۶-۰/۶۷۳	۳
۴ باندها	مادون قرمز (NIR)	۳۰	۰/۸۵۱-۰/۸۷۹	۴
۵ باندها	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1)	۳۰	۱/۵۶۶-۱/۶۵۱	۵
۶ باندها	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR2)	۳۰	۲/۱۰۷-۲/۲۹۴	۶

که در رابطه فوق، OC کربن آلی خاک بر حسب درصد، M نرمالیته فروآمونیم سولفات، V1 و V2 به ترتیب فروآمونیم سولفات مصرفی برای شاهد و نمونه بر حسب میلی لیتر و S وزن خاک خشک شده در هوای آزاد بر حسب گرم است. گفتنی است از مجموع ۱۵۷ نمونه خاک اخذ شده، تعداد ۱۲۷ نمونه برای واسنجی مدل و بقیه (۳۰ نمونه) برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. به منظور برآورد کربن آلی خاک نیز از دو دسته متغیرهای کمکی مشتمل بر طیفی و غیرطیفی استفاده شد.

#### متغیرهای طیفی

پیش از محاسبه متغیرهای طیفی، با استفاده از نرم افزار ENVI5.1، عملیات پیش پردازش در دو مرحله، مطابق با دستورالعمل سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS, 2016) انجام شد و بازتابش طیفی بالای اتمسفر هر یک از باندهای دو تا هفت سنجنده OLI لندست هشت حاصل شد. با استفاده از تصاویر اصلاح شده، هشت شاخص طیفی شامل آلبدوی سطح (Liang et al., 2003)، شاخص رس (Boettinger et al., 2009)، شاخص کربنات (Hengle, 2008)، شاخص اندازه ذرات (Xiao et al., 2006) و شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (Piccini et al., 2014)، شاخص های روشنایی، (Rouse et al., 1974) (NDVI) و شاخص های روشنایی، سبزیگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ (Baig et al., 2014) محاسبه شد.

#### متغیرهای غیرطیفی

از آنجا که متغیرهای غیرطیفی شکل زمین (Morphometric parameters)، همگی مشتقاتی از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به حساب می آیند، از این رو میزان دقت پارامترهای مذکور تابعی از دقت DEM بوده و ارزش و دقت داده های اخیر می تواند تأثیر مستقیمی بر دقت تحلیل های ژئومرفیک بگذارد (Seif & Ebrahimi, 2012). در این پژوهش با توجه به عدم دسترسی به داده های مدل

نمونه برداری در واحدهای کاری همگن و با استفاده از روش تصادفی طبقه بندی شده (Stratified random sampling pattern) انجام شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 و بکارگیری نقشه های توپوگرافی منطقه، نقشه های طبقات ارتفاعی متناسب با پوشش گیاهی (سه طبقه)، شیب (پنج طبقه) و جهت های دامنه (چهار طبقه) تهیه شد. از روی هم اندازی سه لایه اطلاعاتی اخیر، نقشه واحدهای کاری همگن حاصل شد که پس از کسر واحدهای صخره ای، پرشیب و غیرقابل دسترس، تعداد ۱۵۷ واحد کاری همگن برای نمونه برداری تعیین شد. در هر یک از واحدهای اخیر، یک نقطه تصادفی به عنوان مرکز سایت تعلیمی تعیین گردید. آنگاه با استفاده از دستور Buffer، دایره ای به شعاع ۱۰ متر پیرامون مراکز سایت های تعلیمی ایجاد شد و بر روی محیط دایره مذکور، تعداد ۸ نقطه انتخاب شد. بر این اساس در هر واحد کاری همگن تعداد ۹ نقطه نمونه برداری (یک نقطه در مرکز سایت تعلیمی و ۸ نقطه در شعاع ۱۰ متری پیرامون آن) لحاظ گردید. نقاط گزینش شده پس از کدگذاری ذخیره شد و به حافظه دستگاه GPS منتقل شد. با مراجعه به عرصه و انجام پیمایش صحرائی، موقعیت مکانی کلیه نقاط نمونه برداری تعیین شد. در محل هر نقطه با استفاده از مته خاک شناسی یک نمونه از خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی متر) برداشت شد. نمونه های برداشت شده مربوط به هر سایت تعلیمی با هم مخلوط و یک نمونه دو کیلوگرمی از آن تهیه و پس از نصب برچسب مربوطه، به آزمایشگاه خاک شناسی منتقل گردید. پس از هوا خشک نمودن نمونه ها و عبور آنها از الک ۲ میلی متری، محتوای کربن آلی نمونه ها با استفاده از روش تیتراسیون والکلی - بلاک (رابطه ۱) تعیین شد (Walkley & Black, 1934).

$$\%OC = M * 0.39 * \left[ \frac{(V_1 - V_2)}{S} \right]$$

رابطه (۱)

موجود در مجموعه داده‌ها است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند (Goldasteh *et al.*, 2000). در تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، برای ایجاد عامل‌ها از تمام متغیرها استفاده شده و اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات به وسیله عوامل ارائه می‌شوند و محتوای اطلاعاتی پارامترهای اصلی از دست نمی‌رود (Mohan & Arumugan, 1996). در تجزیه عاملی کنترل تناسب داده‌ها (تعداد نمونه‌ها) از اهمیت زیادی برخوردار بوده و بنا به نظر بسیاری از محققان، ارتباط مستقیمی بین تعداد نمونه‌ها و تعداد متغیرهای مستقل وجود دارد. این نسبت، متناسب با میزان اشتراکات متغیرها تغییر می‌کند و از نسبت سه به یک تا ۲۰ به یک در نظر گرفته می‌شود (Fergusen & Cox, 1993). از این رو در این پژوهش، به منظور تقلیل متغیرهای مستقل و کنترل تناسب داده‌ها، پیش از اجرای تجزیه عاملی، با ایجاد ماتریس همبستگی پیرسون بین ۱۶ متغیر مستقل اولیه و کربن آلی خاک، آندسته از متغیرهایی که همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک نداشتند ( $P < 0.05$ )، شناسایی و حذف شدند و تجزیه عاملی بر اساس متغیرهای دارای همبستگی معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) با کربن آلی خاک انجام شد. از آنجا که شرط کفایت داده‌ها در تحلیل عاملی معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت توأم با حصول KMO حداقل ۰/۶ است (Howard, 2016) و در مواردی که آزمون کرویت بارتلت معنی‌دار بوده ولی مقدار KMO کمتر از ۰/۶ است، بررسی اشتراکات متغیرها و حذف متغیرهای با میزان اشتراکات کمتر از ۰/۴ و اجرای دوباره تجزیه عاملی الزامیست (Howard, 2016)؛ بنابراین در این پژوهش تجزیه عاملی در دو مرحله انجام شد؛ به طوری که ضمن معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت، KMO بیش از ۰/۶ حاصل گردید.

رقومی ارتفاعی سازمان نقشه‌برداری کشور، DEM منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از جعبه ابزار Arc Hydro در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3، عملیات پیش‌پردازش زمینی (Terrain Preprocessing) انجام و تا حد ممکن ایرادات متناسب به DEM برطرف شد و با استفاده از آن و بکارگیری نرم‌افزار ArcGIS 10.3، هشت متغیر غیرطیفی شامل ارتفاع نسبی (Relative Relief (RR))، شیب، آزیموت شیب (جهت دامنه)، انرژی تابشی خورشید (Solar radiation)، شکل عمومی انحنا (General Curvature (مقعر، محدب و یا مسطح)، انحنا افقی (Planform Curvature) (مبین شدت تغییرات جهت دامنه بوده و بیانگر آن است که هرزآب در عبور از سطح مورد نظر به صورت همگرا یا واگرا عمل می‌کند) و انحنا عمودی (Profile Curvature) (مبین شدت تغییرات شیب بوده و بیانگر آن است که سرعت جریان هرزآب در عبور از سطح مورد نظر افزوده می‌شود یا کاهش می‌یابد (Olaya, 2009) و شاخص رطوبت توپوگرافی (Topographic Wetness Index (TWI)) تولید شد. برای محاسبه شاخص اخیر از رابطه ۲ استفاده شد (Beven & Kirkby, 1979) که در آن  $A_s$  سطح ویژه حوزه و  $\beta$  مبین شیب است.

$$TWI = \ln \left( \frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در ضمن به منظور تبدیل پارامتر آزیموت شیب، از رابطه (۳) استفاده شد (Franklin *et al.*, 2000).

$$\text{Cosin}(\text{Aspect} - 225^\circ) \quad \text{رابطه (۳)}$$

تجزیه عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی تحلیل عاملی تکنیکی آماری برای تجزیه اطلاعات

## اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

$$\text{MARE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - P_i|}{O_i} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در روابط فوق،  $O_i$  میزان کربن آلی مشاهده شده (اندازه‌گیری شده) و  $P_i$  مقدار کربن آلی پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد مشاهدات است.

## نتایج

جدول ۲ نتایج آزمون همبستگی پیرسون را بر روی متغیرهای مستقل نشان می‌دهد.

برای اعتبارسنجی مدل از سه معیار ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده کربن آلی، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error (RMSE)) (رابطه ۴) و میانگین نسبی خطای مطلق (Mean Absolute Relative Error (MARE)) (رابطه ۵) استفاده شد.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی متغیرهای مستقل با کربن آلی خاک سطحی

ردیف	نوع متغیر	نام متغیر	تعداد مشاهدات	ضریب همبستگی پیرسون
۱	طیفی	آلبیدو (Albedo)	۱۲۷	-.۰/۸۲۸**
۲	طیفی	شاخص رس (CI)	۱۲۷	-.۰/۲۸۹**
۳	طیفی	شاخص کربنات (CaI)	۱۲۷	۰/۰۸۲ n.s
۴	طیفی	شاخص اندازه ذرات (GSI)	۱۲۷	-.۰/۳۴۸**
۵	طیفی	شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (NDVI)	۱۲۷	۰/۵۱۵**
۶	طیفی	شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ (BI)	۱۲۷	-.۰/۸۰۶**
۷	طیفی	شاخص سبزی‌نگی تبدیل تسلدکپ (GI)	۱۲۷	۰/۴۸۳**
۸	طیفی	شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ (WI)	۱۲۷	-.۰/۵۲۷**
۹	غیرطیفی	انرژی تابشی خورشید (Solar Radiation)	۱۲۷	-.۰/۰۶۶ n.s
۱۰	غیرطیفی	شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)	۱۲۷	-.۰/۰۹۷ n.s
۱۱	غیرطیفی	ارتفاع نسبی (Relative Relief)	۱۲۷	۰/۶۲۶**
۱۲	غیرطیفی	شیب	۱۲۷	۰/۱۶۱ n.s
۱۳	غیرطیفی	آزیموت شیب (جهت دامنه)	۱۲۷	۰/۰۲۳ n.s
۱۴	غیرطیفی	شکل عمومی انحنای دامنه (General Curvature)	۱۲۷	۰/۰۷۳ n.s
۱۵	غیرطیفی	انحنای عمودی دامنه (Profile Curvature)	۱۲۷	-.۰/۰۹۱ n.s
۱۶	غیرطیفی	انحنای افقی دامنه (Planform Curvature)	۱۲۷	۰/۰۴۵ n.s

اندازه ذرات (GSI) و شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ (WI) به ترتیب با وجوه اشتراک ۰/۲۷۷ و ۰/۳۵۴ به عنوان متغیرهای با کمترین میزان اشتراکات شناسایی و از مجموع متغیرها حذف شدند. اجرای دوباره تحلیل عاملی با شش متغیر باقیمانده، نتایج رضایت بخشی را به دنبال داشت. به طوری که آزمون کرویت بارتلت معنی دار بوده ( $p < ۰/۰۵$ ) و مقدار شاخص KMO به ۰/۶۶۲ ارتقاء یافت که این امر امکان اجرای تحلیل عاملی را تأیید می کند. نتایج تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه های اصلی (PCA) با مقادیر ویژه (eigenvalue) بزرگتر از یک نشان داد که کل واریانس تجمعی تبیین شده، پس از چرخش عاملها به روش واریمکس (Varimax) برابر ۸۱/۱۴۶ درصد است که این میزان واریانس بوسیله دو عامل توضیح داده می شود (جدول ۳).

مطابق جدول بالا، از میان ۱۶ متغیر مورد بررسی، تنها هشت متغیر آلبیدو، شاخص رس، شاخص اندازه ذرات، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، شاخص های روشنایی، سبزینگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ و ارتفاع نسبی همبستگی معنی داری را با کربن آلی خاک نشان می دهند. میزان KMO حاصل از انجام تحلیل ممیزی بر اساس هشت متغیر اخیر، برابر ۰/۴۴۵ بدست آمد. از آنجا که شرط کفایت داده ها در تحلیل عاملی معنی دار شدن آزمون کرویت بارتلت همراه با حصول KMO حداقل ۰/۶ بود (Howard, 2016)، از این رو داده ها از کفایت لازم برای انجام تحلیل عاملی برخوردار نبودند. برای رفع این معضل، ماتریس میزان اشتراکات متغیرهای هشت گانه در تبیین کربن آلی خاک با هدف شناسایی متغیر (های) با کمترین وجه اشتراک مورد بررسی قرار گرفت؛ که در نتیجه آن دو متغیر شاخص

جدول ۳- کل واریانس تبیین شده توسط تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه های اصلی

مجموع مجذورات بارهای عاملی			استخراج مجموع مجذورات			مقادیر ویژه			عامل
پس از چرخش واریمکس			بارهای عاملی						
درصد	درصد	کل	درصد	درصد	کل	درصد	درصد	کل	
واریانس	واریانس		واریانس	واریانس		واریانس	واریانس		
تجمعی	تجمعی		تجمعی	تجمعی		تجمعی	تجمعی		
۴۴/۴۰۹	۴۴/۴۰۹	۲/۶۶۵	۶۳/۱۵۵	۶۳/۱۵۵	۳/۷۸۹	۶۳/۱۵۵	۶۳/۱۵۵	۳/۷۸۹	۱
۸۱/۱۴۶	۳۶/۷۳۷	۲/۲۰۴	۸۱/۱۴۶	۱۷/۹۹۱	۱/۰۷۹	۸۱/۱۴۶	۱۷/۹۹۱	۱/۰۷۹	۲
						۹۴/۳۳۵	۱۳/۱۸۹	۰/۷۹۱	۳
						۹۹/۵۵۵	۵/۲۲۰	۰/۳۱۳	۴
						۹۹/۸۹۸	۰/۳۴۳	۰/۰۲۱	۵
						۱۰۰	۰/۱۰۲	۰/۰۰۶	۶

برای محاسبه امتیازات عاملی، از روش رگرسیونی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.



جدول ۴- ماتریس امتیازات عامل‌ها

عامل		
۲	۱	
۰/۴۵۴	۰/۰۸۵	آلبیدو
-۰/۳۹۰	-۰/۱۷۳	ارتفاع نسبی
۰/۲۳۱	۰/۴۵۱	شاخص رس
۰/۰۵	۰/۳۵۹	شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار
۰/۴۷۸	۰/۱۲۵	شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ
۰/۰۹۹	۰/۳۹۳	شاخص سبزینگی تبدیل تسلدکپ

دو عامل استخراج شده حاصل از تحلیل عاملی، به‌عنوان متغیرهای مستقل در تحلیل رگرسیونی چندگانه به روش Enter مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۶). جدول ۵ آنالیز واریانس رابطه رگرسیون مذکور را نشان می‌دهد.

رابطه (۶)  $R^2 = ۰/۷۹۸$

$$SOC = ۱/۸۹ + ۰/۰۶۳PC1 - ۰/۲۴۲ PC2 \quad R^2 = ۰/۷۹۸$$

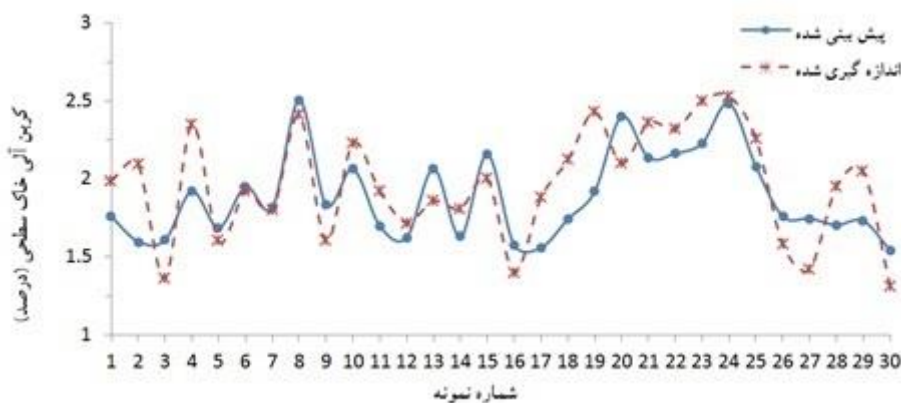
جدول ۵- آنالیز واریانس رابطه رگرسیون

F	میانگین مجذورات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۲۴۵/۵۲**	۳/۹۴۳	۷/۸۸۷	۲	رگرسیون
	۰/۰۱۶	۱/۹۹۲	۱۲۴	خطا
		۹/۸۷۸	۱۲۶	کل

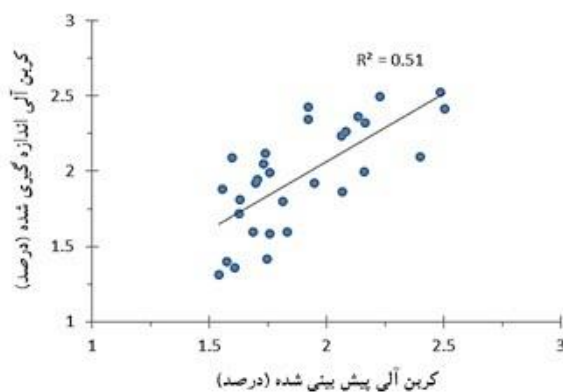
\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی را در ۳۰ نمونه مورد آزمون نشان می‌دهد. نمودار یک به یک مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده متغیر موصوف نیز در شکل ۳ ارائه شده است.

آزمون مدل رگرسیون با استفاده از ۳۰ مشاهده نشان داد که ضریب همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی کربن آلی برابر ۰/۷۱ بوده و ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) و میانگین نسبی خطای مطلق (MARE) به ترتیب برابر ۰/۲۴ و ۰/۱۰ است. شکل ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل ۲- نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی در ۳۰ نمونه مورد آزمون



شکل ۳- نمودار خط یک به یک مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی

## بحث

مستقیم داشته و از ضریب همبستگی منفی این شاخص‌ها با کربن آلی خاک اینگونه برمی‌آید که با افزایش ذخائر کربن آلی خاک، رنگ خاک تیره‌تر شده و این امر کاهش بازتاب طیفی خاک را به همراه دارد. مورد اخیر با نتایج تحقیقات Esadafal و همکاران (۱۹۸۹) همسو می‌باشد. با توجه به نقش رس در تشکیل کمپلکس‌های رس و هوموس و تثبیت ماده آلی برای مدت طولانی‌تر در خاک و نیز نقش آن در افزایش فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های خاک (Mahmoudi & Hakimian, 2006)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و رس موجود در خاک وجود دارد (Kasel *et al.*, Hartemink & McSweeney, 2014; 2011). اگرچه در این پژوهش نتایج آزمون همبستگی

نتایج آزمون همبستگی نشان داد که کلیه متغیرهای طیفی به استثنای شاخص کربنات، همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک دارند. از این رو می‌توان متغیرهای اخیر را به عنوان متغیرهای کمکی مهم و تأثیرگذار در تبیین کربن آلی خاک سطحی معرفی کرد. مورد اخیر مؤید نتایج تحقیقات Piccini و همکاران (۲۰۱۴) و Mondal و همکاران (۲۰۱۷) است. از دیگر نتایج آزمون همبستگی، وجود همبستگی بسیار قوی شاخص‌های آلبدوی سطح ( $r = -0.828$ ) و روشنایی تبدیل تسلدکپ ( $r = -0.806$ ) با کربن آلی خاک است. از آنجا که شاخص‌های مذکور بیانگر درصد بازتاب نور از سطح یک جسم هستند، بنابراین با رنگ خاک ارتباط

ارتفاع نسبی با کربن آلی خاک را به همراه داشته است. از دیگر نتایج این تحقیق، می‌توان به عدم ارتباط معنی‌دار بین پارامتر کربن آلی خاک با سایر متغیرهای غیرطیفی مورد استفاده در این پژوهش (انرژی تابشی خورشید، شاخص رطوبت توپوگرافی، شیب، آزیموت شیب، شکل عمومی انحناى دامنه و انحناى عمودى و افقى دامنه) اشاره کرد. از آنجا که متغیرهای اخیر با میزان رطوبت خاک ارتباط تنگاتنگی داشته و عامل رطوبت در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان مهمترین عامل محدودکننده در استقرار پوشش گیاهی و تولید لاشبرگ (عامل اصلی غنای ذخائر کربنی خاک) محسوب می‌شود؛ بنابراین انتظار می‌رود متغیرهای یادشده مطابق نتایج تحقیقات Piccini و همکاران (۲۰۱۴) و Mondal و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر معنی‌داری بر متغیر پاسخ (کربن آلی خاک) داشته باشند. در این راستا، وجود خطاهای زیاد در DEM مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی در مقایسه با واقعیت‌های زمینی، می‌تواند به‌عنوان مهمترین دلیل بروز چنین اختلافی مطرح باشد. از این‌رو استفاده از لایه‌های اطلاعاتی DEM که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور ارائه می‌شود و از قدرت تفکیک و دقت ارتفاعی مناسبی برخوردارند، می‌تواند نتایج کار را بهبود ببخشد.

با توجه به ارتباط مستقیم کربن آلی خاک با حاصلخیزی و نیز میزان مقاومت خاک در مقابل فرسایش (NRCS, 2003)، پیشنهاد می‌شود از مدل توزیع مکانی کربن آلی خاک به‌عنوان یک زیرمدل مهم در طراحی سایر مدل‌های پیچیده همانند تولید (بایومس) اکوسیستم‌های خشکی و مدل‌های فرسایش خاک استفاده شود.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از رئیس محترم مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (جناب آقای دکتر عادل جلیلی) و معاون محترم پژوهشی آن مؤسسه (سرکار خانم دکتر فاطمه سفیدکن) و

پیرسون مؤید همبستگی مثبت و معنی‌داری میان شاخص رس (CI) با کربن آلی خاک است؛ اما میزان این همبستگی قوی نبوده و ضریب همبستگی آن کوچک است ( $r=0/289$ ) که این امر را می‌توان به محدودیت قدرت تفکیک طیفی سنجنده OLI لندست هشت مورد استفاده در این پژوهش (هشت بیتی) نسبت داد که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا به صورت رایگان دریافت شده است. قدر مسلم آنکه، خرید تصاویر لندست هشت با قدرت تفکیک طیفی ۱۶ بیت و یا استفاده از تصاویر ابرطیفی همانند هایپریون که در مقایسه با تصاویر مورد استفاده در این پژوهش از توان تفکیک طیفی بیشتری برخوردارند، می‌تواند برآورد مناسب‌تری از محتوای رس خاک ارائه داده و ضریب همبستگی شاخص رس با کربن آلی خاک را بهبود بخشد.

نتایج آزمون همبستگی متغیرهای غیرطیفی با کربن آلی خاک، گویای آن است که از میان هشت متغیر غیرطیفی مورد مطالعه، تنها عامل ارتفاع نسبی با کربن آلی همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد ( $r=0/626$ ) و با افزایش ارتفاع بر میزان ذخائر کربن آلی خاک افزوده می‌شود. وجود اختلاف ارتفاع زیاد بین پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه موجود در منطقه مورد مطالعه (۱۱۵۲ متر)، سبب بروز تغییرات مشهود در شکل رویشی گیاهان منطقه شده است؛ به‌طوری‌که هر چه از نواحی پست به طرف ارتفاعات پیش می‌رویم، بر اهمیت نسبی گونه‌های بوته‌ای همانند چوبک برگه‌دار (*Acanthophyllum bracteatum*)، کلاه میرحسن (*Acantholimon sp.*)، درمنه کوهی (*Artemisia*) و گون‌هایی مانند *Astragalus aegobromus*، *Astragalus gossypinus*، *Astragalus lilacinus* و *Astragalus glaberrimus* افزوده می‌شود که این قبیل گونه‌ها در مقایسه با شکل‌های رویشی گراس و یهن‌برگان علفی از توان ترسیب کربن بالاتری برخوردارند (Tamartash Jafarian et al., 2012) و همین امر همبستگی مثبت و معنی‌دار (et al., 2012)؛

- Organic Carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Catena*, 88: 6-13.
- Ferguson, E. and Cox, T., 1993. Exploratory factor analysis: A users' guide, *International Journal of Selection and Assessment*, 1: 84-94.
  - Franklin, J., McCullough, P. and Gray, C., 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In Wilson J, Gallant J (Eds.) *Terrain analysis: principles and applications*. Wiley, New York, Chichester, Toronto and Brisbane, 331-353.
  - Goldasteh, A., Agha Mir Karimi, S., Khoda Rahmi, M., Torabi, M. and Asghari, R., 2000. User guide of SPSS 6.0 for windows. Hami press, 533 p.
  - Hartemink, A. E. and McSweeney, K., 2014. *Soil Carbon*, Springer Publication, 506p.
  - Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J. M. and Fernandez, L., 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Water Res.*, 34, 807-816.
  - Hengle, T., 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Amsterdam University Press, 293 p.
  - Huang, C. H. and Kronrad, G. D., 2001. The cost of Sequestration Carbon on Private Forest Lands. *Forest Policy and Economics*. 2:133-142.
  - Howard, M. C., 2016. A Review of Exploratory Factor Analysis Decisions and Overview of Current Practices: What We Are Doing and How Can We Improve?, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32 (1): 51-62.
  - Jafarian, Z., Tayefeh Seyyed Alikhani, L. and Tamartash, R., 2012. Investigation of Carbon Storage Potential of *Artemisia Aucheri*, *Agropyron elongatum*, *Stipa barbata* in Semi-arid Rangelands of Iran (Case study: Peshert Region, Kiasar). *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 65 (2): 191-202.
  - Kasel, S., Singh, S., Sanders, G. J. and Bennett, L. T., 2011. Species-specific effects of native trees on soil organic carbon in biodiverse plantings across north-central Victoria. *Geoderma*, 161: 95-106.
  - Liang, S., Shuey, C. J., Russ, A. L., Fang, H., Chen, M., Walthall, C. L. and Hunt, R., 2003. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment*, 84 (1): 25-41.
  - Liu, Q., Liu, G., Huang, C. and Xie, C., 2015. Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images. *International Journal of Remote Sensing*, 36(2): 417-441.
- نیز رئیس محترم بخش تحقیقات مرتع مؤسسه (جناب آقای مهندس محمد فیاض)، که با مساعدت‌های مادی و معنوی خود انجام این پژوهش را میسر کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.
- ### منابع مورد استفاده
- Abbas Nejad, B. and Khajedin, S. J., 2013. Effect of urban reforestation on carbon sequestration in arid soils using remote sensing technology. *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*, 3(4): 57-71.
  - Bouma, J. and McBratney, A. B., 2013. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. *Geoderma* 200-201:130-139.
  - Bidwell, O. W., 1989. Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. *American Journal of Alternative Agriculture*, 4: 91-92.
  - Baumgardner, M. F., Silva, L. F., Biehl, L. L. and Stoner, E. R., 1986. Reflectance properties of soils, in: Brady, N. C. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Academic press, pp. 1-44.
  - Boettinger, J. L., Ramsey, R. D., Bodily, J. M., Cole, N. J., Kienast\_Brown, S., Nield, S. J., Saundes, A.M. and Stum, A. K., 2008. Landsat spectral data for digital soil mapping. 193-203. In: Hartemink, A. E., McBratney, A. B., Mendonca Santos, M. L. (Eds.), *Digital Soil Mapping With Limited Data*. Springer science, Australia.
  - Baig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T. and Tong, Q., 2014. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*. 5 (5): 423-431.
  - Beven, K. and Kirkby, N., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrolog. Sci. Bull.* 24 n (1), 43-69.
  - Dadgar, M., Mahmoudi, S., Mahdian, M. H., Masih Abadi, M. H. and Sokooti Oskouie, R., 2014. Estimating soil organic carbon using pedotransfer functions in Damavand Rangelands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21 (3):409-415.
  - Department of the interior U.S. Geological Survey, (2016). *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK*. Version 2.0, 98 p.
  - Esadafal, R., Girard, M. C. and Courault, D., 1989. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of landsat MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*, 27 (1): 37-46.
  - Fang, X., Xue, Z., Li, B. and An. S., 2012. Soil

- impacts on SOC fractions and aggregate stability in typic ustochrepts of Northwest India. *Plant Soil* 339, 457–470.
- Seif, A. and Ebrahimi, B., 2012. Evaluation of the accuracy of the SRTM and GDEM Digital Elevation models using the NIDEM. *Iranian Remote Sensing & GIS journal*, 4(3): 81-98.
  - Sheidaye Karkaj, A., Sepehri, A., Barani, H. and Motamedi, J., 2017. Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan. *Journal of Rangeland*, 11(2): 125-138.
  - Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M. and Kouimtzis, Th., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Resources*, 37, 4119-4124.
  - Tamartash, R., Tatian, M. R. and Yousefian, M., 2012. The effect of the different vegetative species on the carbon sequestration in Miankaleh Plain Rangelands. *Journal of Environmental Studies*, 38 (62): 45-54.
  - Troeh, F. R. and Thompson, L. M., 2005. *Soils and soil fertility*. Blackwell Publication., 462 p.
  - United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS), 2003. *Managing Soil organic matter*. Technical note No. 5, 113p.
  - United States Geological Survey (USGS), 2016. *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK*, version 2.0, 106 p.
  - Walkley, A. and Black, I. A., 1934. An examination of the digestion method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sciences*, 37: 29-38.
  - Wu C., Wu J., Luo Y., Zhang L. and DeGloria S. D., 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4): 1202-1208.
  - Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, R. and Bayaer, W., 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 12(27): 2411–2422.
  - Mahmoudi, Sh. and Hakimian, M., 2006. *Fundamentals of soil sciences*. Tehran university press, 700p.
  - Marchant, P., Villanneaue, J., Arrouays, D., Sabyn, P. A. and Rawlins, B. G., 2015. Quantifying and mapping topsoil inorganic carbon concentrations and stocks: approaches tested in France. *Soil Use Manag.* 31, 29–38.
  - Mirza Shahi, K. and Bazargan, K., 2015. Management of soil organic matter. *Soil and Water Research Institute (SWRI) press, Technical Journal No. 535*, 20 p.
  - Mobasheri, M. R., 2010. *Fundamentals of Physics in Remote Sensing and Satellite Technology*. Khajeh Nasir Toosi University of Technology Press, The Second edition, 348p.
  - Mohan, S. and Arumugam, N., 1996. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: Factor Analysis approach, *Water Resources Management*, 10: 1-20.
  - Mondal, A., Khare, D., Kundu, S., Mondal, S., Mukherjee, S. and Mukhopadhyay, A., 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20(1): 61-70.
  - Montgomery, O. L., 1976. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soil Purde University, West Lafayette Indiana. Ph.D thesis, LCCN: 79-32236.
  - Olaya, V., 2009. *Basic Land-Surface Parameters. Geomorphometry Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. Elsevier B.V, Amsterdam, 33 p.
  - Piccini, C., Marchetti, A. and Francaviglia, R., 2014. Estimation of soil organic matter by geostatistical methods: use of auxiliary information in agriculture and environment assessment. *Ecol. Ind.* 36: 301-314.
  - Rouse, J. w., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natalral vegetation, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Maryland.
  - Saha, D., Kukal, S. and Sharma, S., 2011. Land use

## An estimation of topsoil organic carbon by combining factor analysis and multiple regression in semi-steppe rangelands of Lazour, Firouzkooh

R. Khalifehzadeh<sup>1</sup>, R. Tamartash<sup>2\*</sup>, M. R. Tatian<sup>3</sup> and M. R. Sarajian Maralan

1- Ph.D. Candidate in Rangeland Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2\*-Corresponding author, Assistant Professor, Rangeland Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: r.tamartash@sanru.ac.ir

3- Assistant Professor, Rangeland Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Professor, Remote Sensing Department, School of Surveying and Geospatial Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

Received:5/19/2018

Accepted:8/8/2018

### Abstract

Organic carbon is one of the most important soil quality indices, affecting almost all physical, chemical and biological properties of the soil. The purpose of this study was to investigate soil spectral and morphometric factors to estimate the organic carbon of topsoil, using factor analysis and multiple regression methods in semi-steppe rangelands of Lazour. Soil samples were taken with a stratified random method. For this purpose, 157 training sites were selected in homogeneous units. Of these, 127 sites were used to calibrate the model and 30 sites were used to validate the model. In each of the training site in a random manner, a soil sample including nine observations was taken from a depth of 0 to 20 cm of soil surface. Soil Organic Carbon (SOC) was measured using Walkley-Black titration method. The results showed that the variables of Albedo, Clay Index (CI), NDVI, Relative Relief and Tasseled-Cap's Brightness and Greenness indices had a significant correlation with the SOC ( $p < 0.05$ ). Also, the result of factor analysis by Principal Component Analysis (PCA) method with eigen-values greater than one indicated that the total cumulative variance, explained by the six variables, was equal to 81.1%. This variance was explained by two components. Using multiple regression model, an appropriate regression equation was calculated to predict SOC ( $R^2 = 0.789$ ). The Root Mean Square Error and the Mean Absolute Relative Error of the proposed model were calculated as 0.24 and 0.10, respectively. Due to the direct relationship between the SOC and the factors such as soil fertility and sustainability against erosion, a spatial distribution model of SOC could be an important sub-model to design other complex models such as the terrestrial ecosystems biomass and soil erosion models.

**Keywords:** Landsat 8, spectral factors, morphometric factors.