



## طبقه‌بندی مهم‌ترین عوامل طیفی مستخرج از تصاویر لندست ۸ در تبیین کربن آلی خاک سطحی مراتع نیمه‌استپی با استفاده از تحلیل عامل اکتشافی

مقاله پژوهشی

سعیده ناطقی، رستم خلیفه‌زاده، مهشید سوری، مرتضی خداقلی

دریافت: ۲۹ آذر ۱۳۹۹ / پذیرش: ۳۰ دی ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۳۰ تیر ۱۴۰۰

### چکیده

پژوهش حاضر باهدف تعیین مهم‌ترین عوامل طیفی تأثیرگذار بر کربن آلی در افق سطحی خاک در دو مرتع بیلاقی لزور و آساران

مواد و روش‌ها پژوهش حاضر در دو مرتع بیلاقی لزور و آساران انجام شد. مرتع لزور به مساحت ۸۱۵۰ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۸۷۵ متر در محدوده طول‌های شرقی ۵۲/۵۱۴ تا ۵۲/۶۹۴ درجه و عرض‌های شمالی ۳۵/۸۵۵ تا ۳۵/۹۳۴ درجه در استان تهران و مرتع آساران به مساحت ۵۶۴۲ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۴۶۵ متر در محدوده طول‌های شرقی ۵۳/۲۶۵ تا ۵۳/۳۹۲ درجه و عرض‌های شمالی ۳۵/۸۰۴ تا ۳۵/۸۸۲ درجه در استان سمنان واقع شده است.

در این تحقیق از اطلاعات سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده شد. پس از انجام عملیات پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای مناطق مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی بازتابش بالای اتمسفر باندهای ۲ تا ۷ همراه با متغیرهای آلبدوی سطح، شاخص رس، شاخص کربنات، شاخص اندازه ذرات، NDVI، شاخص‌های روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ محاسبه شد. در هر یک از مناطق مورد نظر، با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه‌های شیب، جهت و طبقات ارتفاعی تهیه شد و از تلفیق سه لایه اخیر با یکدیگر، نقشه واحدهای همگن نمونه‌برداری حاصل گردید.

پیشینه و هدف کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی از کارکردهای متنوعی همچون افزایش حاصلخیزی خاک، کنترل فرسایش، افزایش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای برخوردار است. از این رو یک شاخص کلیدی در تعیین سلامت خاک محسوب می‌شود که تمامی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. وسعت زیاد مراتع کشور، استفاده از روش‌های سنتی در برآورد کربن آلی خاک را با چالش جدی مواجه می‌کند. در چنین شرایطی استفاده از قابلیت‌های دورسنجی می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای پایش کربن آلی خاک مراتع کشور مطرح باشد.

سعیده ناطقی<sup>۱</sup>، رستم خلیفه‌زاده<sup>۲</sup> (✉)، مهشید سوری<sup>۱</sup>، مرتضی خداقلی<sup>۳</sup>

۱. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع

کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲. دکتری علوم مرتع، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع

کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳. دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع

کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [khalifehzadeh.r@gmail.com](mailto:khalifehzadeh.r@gmail.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.2.5>

گیاهی و بافت خاک)، ۱۵/۱۴ درصد واریانس را تبیین کردند. نتیجه‌گیری نتایج این پژوهش مؤید وجود ارتباط معنی‌دار کربن آلی خاک سطحی با عوامل طیفی مستخرج از داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ در مراتع نیمه‌استپی مورد مطالعه است. با توجه به وسعت زیاد مراتع ایران، استفاده از روش‌های سنتی در برآورد کربن آلی خاک به دلیل نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد، امکان‌پذیر نیست و در چنین شرایطی استفاده از قابلیت‌های دورسنجی می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای پایش کربن آلی خاک مراتع کشور مطرح باشد. **واژه‌های کلیدی:** کربن آلی، سنجنش از دور، رنگ خاک، مرتع لزور، مرتع آساران

نمونه‌برداری از خاک، با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده انجام شد. بدین صورت که، در هر یک از واحدهای همگن با توجه به سطح آن، به شیوه تصادفی، چند نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری برداشت شد و میزان کربن آلی نمونه‌ها با استفاده از روش والکلی - بلاک اندازه‌گیری شد.

**نتایج و بحث** نتایج این تحقیق نشان داد متغیرهای طیفی مقادیر بازتابش بالای اتمسفر باندهای ۲ تا ۷ همراه با متغیرهای آلیبدوی سطح، شاخص رس، NDVI، شاخص‌های روشنایی، سبزیگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ، همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک دارند ( $p < 0.01$ ). همچنین نتایج تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک نشان داد کل واریانس تجمعی تبیین شده بوسیله ۱۲ متغیر مذکور، برابر ۹۱/۷۴ درصد است که این میزان واریانس بوسیله دو عامل توضیح داده شد. عامل اول (رنگ خاک)، ۷۶/۶ درصد واریانس و عامل دوم (پوشش

اکوسیستم‌های مرتعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وسعت زیاد مراتع کشور (۸۴/۷ میلیون هکتار)، استفاده از روش‌های سنتی و پرهزینه اندازه‌گیری کربن آلی را با چالش جدی مواجه کرده (۵ و ۱۷) و در این میان استفاده از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های دورسنجی می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری مناسب و قابل‌اجرا مطرح باشد. در این خصوص، اسکادافال و همکاران (۸) ضمن بررسی رابطه بین بازتاب طیفی سنجنده‌های Thematic Mapper (TM) و Multi Spectral Scanner (MSS) ماهواره لندست بارنگ خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به وجود همبستگی زیاد بین عوامل رنگ خاک (هیو، والیو و کروما) با داده‌های مذکور اشاره کردند. 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 صورت می‌گیرد (۱۱). هارتمینک و مک‌سوینی (۱۰)، نیز وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین کربن آلی خاک و درصد رس خاک را بیان کرده‌اند. وو و همکاران (۲۴) با انجام آنالیز همبستگی بین ماده آلی خاک با مقادیر ارزش عددی در باندهای یک تا پنج و هفت سنجنده ETM<sup>+</sup> در منطقه هاینینگ چین، عنوان داشتند که بیشترین همبستگی میان ماده آلی خاک و DN باند یک (آبی) وجود دارد. عباس‌نژاد و خواجه‌الدین (۱) نیز با استفاده از فناوری سنجش‌از‌دور و به‌کارگیری 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. و در نتایج خویش عنوان داشتند، میزان ترسیب کربن خاک در لایه‌های سطحی خاک بسیار زیادتر بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین با مقایسه ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) دو مدل میزان کربن‌آلی خاک در خاک‌های سطحی (۰-۱۵ سانتی‌متر) و خاک‌های عمقی (۱۵-۳۰ سانتی‌متر) دریافتند که دقت مدل تهیه‌شده برای کربن آلی خاک‌های سطحی در مقایسه با خاک‌های عمقی به‌طور معنی‌داری دقیق‌تر است. ایشان عامل این اختلاف را تراکنش امواج الکترومغناطیس

خاک بزرگ‌ترین منبع ذخیره کربن آلی در اکوسیستم‌های خشکی است که میزان ذخایر کربنی آن متناسب با شرایط اتمسفری، اقلیم و تغییرات پوشش اراضی متغیر است (۱۷). میزان ذخایر کربن آلی خاک یکی از خصوصیات مهم خاک محسوب می‌شود که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۸)، و در بسیاری از خدمات اکوسیستم نقش دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به تولید غذا، تعدیل اثرات تغییر اقلیم، تهویه خاک و غیره اشاره کرد (۲۲). کربن آلی سبب افزایش حاصلخیزی و کیفیت خاک، افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی و آنیونی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و بهبود شرایط ریش گیاه را به همراه دارد (۳ و ۶). از این‌رو میزان علاقه‌مندی به پژوهش‌های علمی در زمینه کربن آلی خاک در سراسر دنیا رو به افزایش نهاده است.

در روش‌های سنتی، نقشه‌های مربوط به خصوصیات خاک (از جمله نقشه کربن آلی)، به‌صورت پلی‌گونی تهیه می‌شوند که ویژگی‌های واحدهای نقشه مربوطه، برگرفته از اطلاعات پروفیل خاک است. تهیه این قبیل نقشه‌های سنتی عمدتاً پرهزینه و وقت‌گیر بوده و به‌روزرسانی آن‌ها دشوار است و استفاده از آن‌ها برای تهیه نقشه‌های مدیریت اکوسیستم، به دلیل نامناسب بودن رزولوشن مکانی، از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشند (۱۷). وقوع پیشرفت‌های چشم‌گیر در علم دورسنجی و به دنبال آن توسعه تکنیک‌های تولید نقشه‌های دیجیتالی خاک (Digital Soil Mapping) محققان را قادر ساخت تا با سرعت بیشتر، نمونه‌گیری کمتر، هزینه کمتر و رزولوشن مکانی مناسب، به پیش‌بینی مکانی ویژگی‌های کمی خاک بپردازند (۲۷). در DSM که امروزه به‌صورت گسترده توسط محققان امر مورد استفاده قرار می‌گیرد، با استفاده از یک مدل عددی یا آماری، به بررسی ارتباط متغیرهای کمی با ویژگی‌های خاک پرداخته‌شده و بر اساس نتایج حاصل، اطلاعات مکانی خاک با دقت و رزولوشن مناسب تهیه می‌شود (۲۶). با توجه به مطالب بالا، برآورد میزان ذخایر کربن آلی در

این قبیل شاخص‌ها با کربن آلی خاک در افق سطحی که بخش اعظم ذخایر کربن آلی خاک را در بردارد (۱۱)، در این تحقیق به بررسی ارتباط آماری عوامل مختلف طیفی حاصل از داده‌های سنجنده Operational Land Imager (OLI) لندست ۸ با کربن آلی خاک سطحی به‌منظور تعیین مؤثرترین شاخص‌های مذکور در برآورد کربن آلی خاک سطحی در دو مرتع بیلاقی لزور (استان تهران) و آساران (استان سمنان) که به لحاظ ویژگی‌های اقلیمی از شرایط نسبتاً مشابهی برخوردارند، پرداخته شد. استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند همراه با پارامترهای غیرطیفی مؤثر بر کربن آلی خاک سطحی، در تولید مدلی مناسب به‌منظور برآورد و پایش کربن آلی خاک سطحی مراتع بیلاقی کشور (در شرایط مشابه با مناطق مورد مطالعه) مورد استفاده قرار گیرد. گفتنی است، 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 زیر مدل مهم به‌منظور طراحی سایر مدل‌های پیچیده همچون تولید (بایومس) اکوسیستم‌های خشکی و مدل‌های فرسایش خاک مورد استفاده واقع شود.

### مواد و روش‌ها

#### ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه

این پژوهش در دو مرتع بیلاقی لزور (از توابع فیروزکوه استان تهران) و آساران (از توابع شه‌میرزاد استان سمنان) انجام شد. جدول ۱ ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه و شکل ۱ موقعیت آن‌ها در کشور را نشان می‌دهد.

#### روش تحقیق

مراحل کلی اجرای تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.

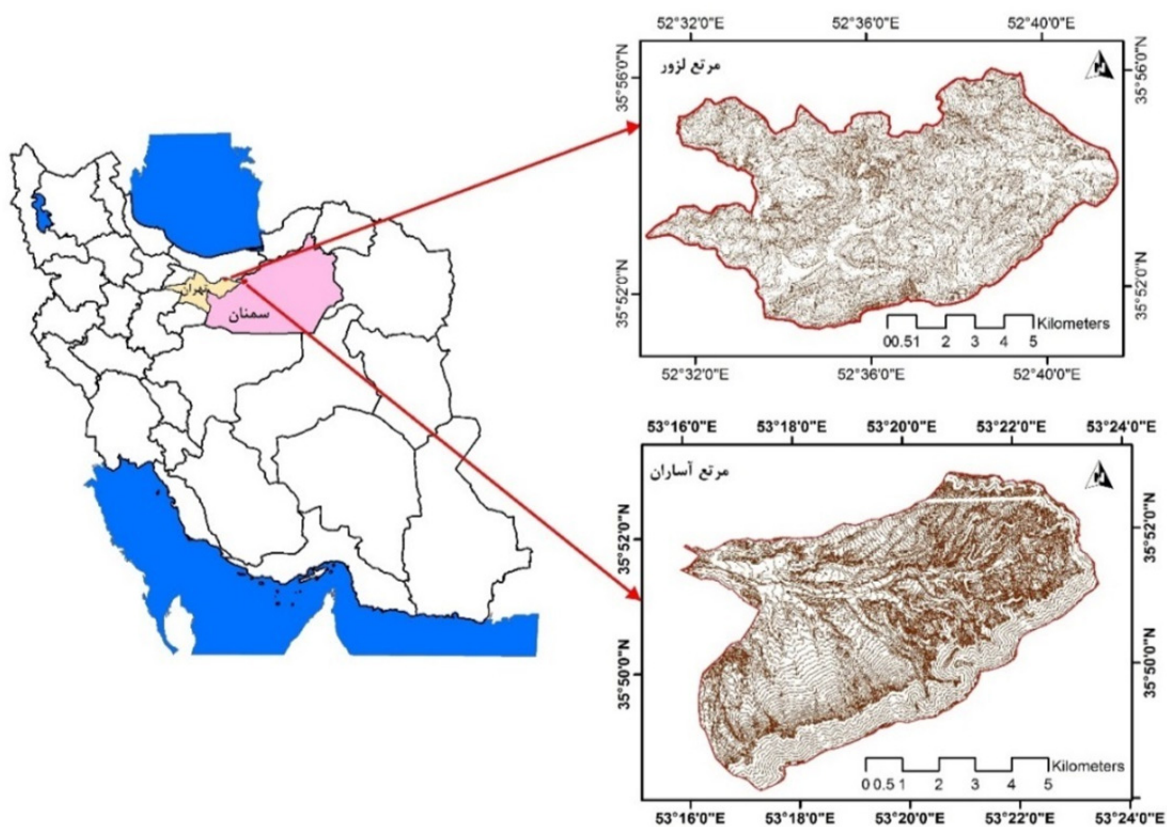
طبیعی با خاک بیان نمودند که توانایی نفوذ به اعماق خاک را ندارند و بازتاب‌ها از سطح خاک می‌باشند. شاخص‌های تبدیل تسلدکپ (روشنایی، سبزیگی و رطوبت) از جمله شاخص‌های طیفی مهم می‌باشند که برای برجسته‌سازی انواع ویژگی‌های سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۵). موهان و آروموگام (۲۰) نیز برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در افق سطحی در بخشی از حوزه رودخانه نارمادا در کشور هند، از شاخص‌های طیفی تبدیل تسلدکپ ( Tasseled cap transformation)، شاخص پوشش گیاهی Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)، شاخص وضعیت حرارتی پوشش گیاهی و برخی خصوصیات غیرطیفی شکل زمین استفاده کردند. عمادی و همکاران (۷) با استفاده از الگوریتم‌های ماشین لرنینگ ( Machine Learning Algorithms) و با به‌کارگیری اطلاعات ۱۰۵ متغیر کمکی به ارائه مدل پیش‌بینی کربن آلی خاک در استان مازندران پرداختند و متغیرهای متوسط بارندگی و شاخص پوشش گیاهی NDVI را به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر کربن آلی خاک معرفی کردند. فتح‌العلومی و همکاران (۹) با استفاده از شاخص‌های سنجنش‌ازدور، عوامل غیرطیفی حاصل از Digital Elevation Model (DEM) و تلفیقی از عوامل طیفی و غیرطیفی به مطالعه تغییرات کربن آلی خاک در حوزه آبخیز بالیخلی چای اردبیل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عوامل طیفی حاصل از تصاویر ماهواره لندست ۸ بیشترین سهم واریانس در تبیین میزان تغییرات کربن آلی در منطقه مورد مطالعه را دارا است. به‌طوری‌که ضریب دترمینان ( $R^2$ ) مدل در استفاده از عوامل غیرطیفی حاصل از DEM و عوامل طیفی حاصل از ماهواره لندست ۸، به ترتیب ۲۱ و ۴۷ درصد محاسبه شده است.

با توجه به تنوع زیاد شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نیز با توجه به وجود همبستگی بالا میان

جدول ۱. ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه

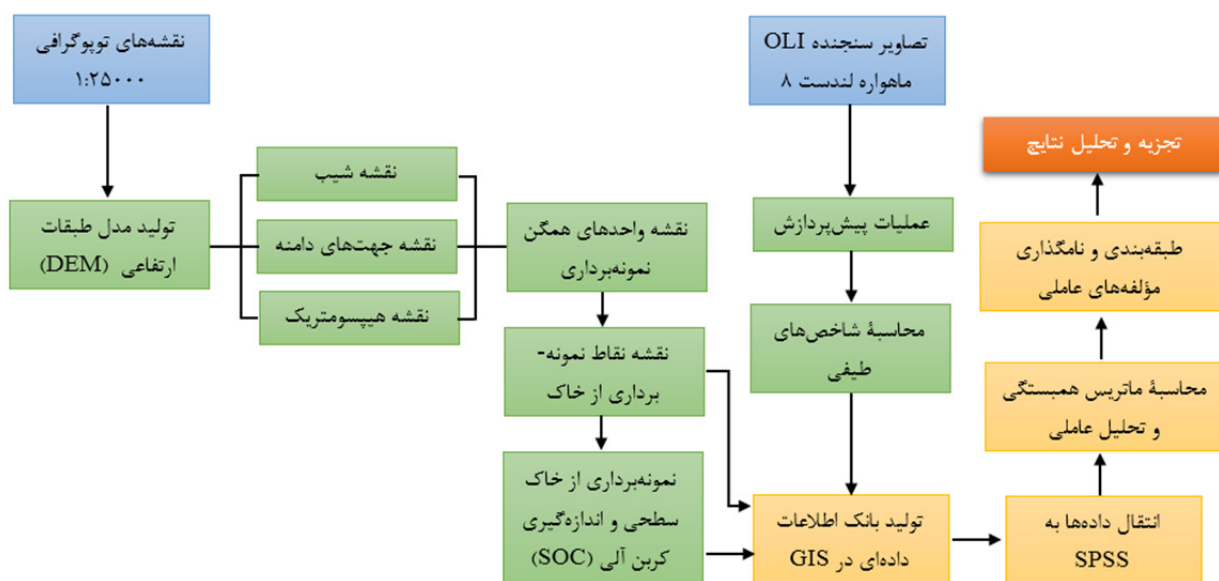
Table 1. Characteristics of the studied areas

نام مرتع	مساحت (هکتار)	حداقل طول (درجه)	حداکثر طول (درجه)	عرض (درجه)	حداکثر عرض (درجه)	ارتفاع متوسط (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)	متوسط دمای سالانه (سانتی گراد)	اقلیم (آمبرزه)
لزور	۸۱۵۰	۵۲/۵۱۴	۵۲/۶۹۴	۳۵/۸۵۵	۳۵/۹۳۴	۲۸۷۵	۳۳۰	۷/۵	نیمه خشک سرد
آساران	۵۶۴۲	۵۳/۲۶۵	۵۳/۳۹۲	۳۵/۸۰۴	۳۵/۸۸۲	۲۴۶۵	۲۸۰	۱۱/۸	نیمه خشک سرد



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان‌های تهران و سمنان، ایران

Fig. 1. Location of the studied areas in Tehran and Cemnan provinces, Iran



شکل ۲. مراحل اجرای تحقیق

Fig. 2. Research implementation steps

در این پژوهش از اطلاعات باندهای ۲ تا ۷ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (جدول ۲) در دو منطقه لزور (شماره گذر ۱۶۴ و شماره ردیف ۳۵) و آساران (شماره گذر ۱۶۳ و شماره ردیف ۳۵) مربوط به ۱۰ آگوست ۲۰۱۷ استفاده شد.

جدول ۲. مشخصات فنی باندهای سنجنده OLI لندست ۸ مورد استفاده در تحقیق

Table 2. Technical characteristics of the Landsat-8/OLI sensor reflective bands used in research

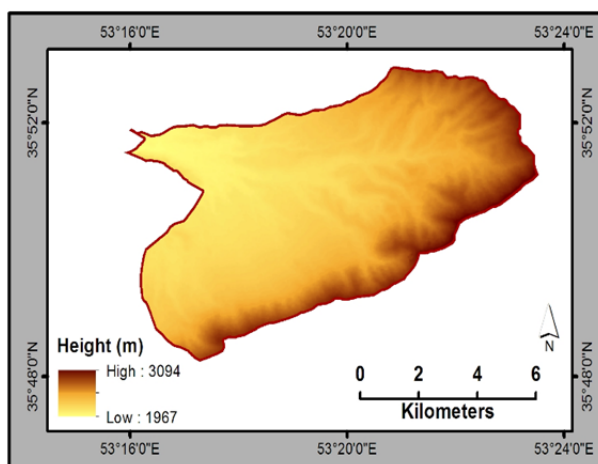
ردیف	شماره باند	نام باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)	محدوده طیفی (میکرومتر)
۱	باند ۲	آبی (مرئی)	۳۰	۰/۴۵۲-۰/۵۱۲
۲	باند ۳	سبز (مرئی)	۳۰	۰/۵۳۳-۰/۵۹۰
۳	باند ۴	قرمز (مرئی)	۳۰	۰/۶۳۶-۰/۶۷۳
۴	باند ۵	مادون قرمز (NIR)	۳۰	۰/۸۵۱-۰/۸۷۹
۵	باند ۶	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1)	۳۰	۱/۵۶۶-۱/۶۵۱
۶	باند ۷	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR2)	۳۰	۲/۱۰۷-۲/۲۹۴

از تلفیق سه لایه اطلاعاتی اخیر، نقشه واحدهای کاری همگن حاصل شد که پس از کسر واحدهای صخره‌ای، پرشیب و غیرقابل دسترسی، نقشه نهایی واحدهای کاری همگن برای نمونه برداری تعیین گردید (شکل‌های ۳ تا ۱۲) در هر یک از واحدهای همگن متناسب با سطح، بین ۵ تا ۱۰ نمونه خاک به صورت تصادفی برداشت شد. گفتنی است هر یک از نمونه خاک‌های برداشت شده، مخلوطی از خاک ۹ مشاهده بود که به

عملیات نمونه برداری از خاک در هر یک از مناطق مورد مطالعه (لزور و آساران)، با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده (Stratified random sampling pattern) انجام شد (۱۸). بدین منظور در هر یک از مناطق مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار ArcGIS و به کارگیری نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های طبقات ارتفاعی (سه طبقه)، شیب (پنج طبقه) و جهت‌های دامنه (چهار طبقه) تهیه شد. در هر منطقه،

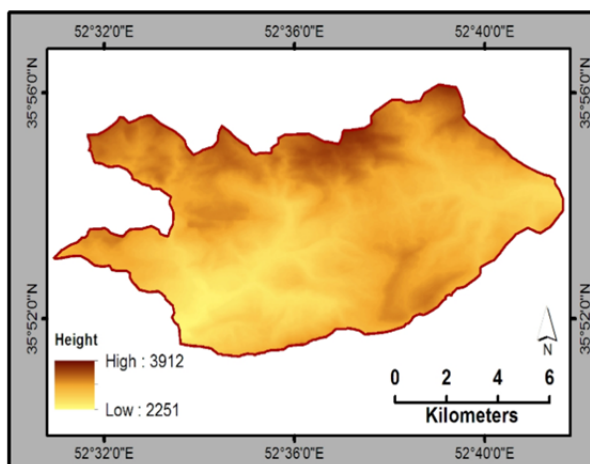
برداشت و به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. پس از هواخشک نمودن نمونه‌ها و عبور آن‌ها از الک ۲ میلی‌متری، محتوای کربن آلی نمونه‌ها با استفاده از روش تیتراسیون والکلی - بلاک تعیین گردید.

شعاع ۲۰ متری پیرامون نقطه تصادفی موردنظر، برداشت گردید (شکل ۱۳). بر این اساس در مرتع لزور، ۱۵۷ و در مرتع آساران ۱۴۵ نمونه خاک به صورت تصادفی با استفاده از متد خاکشناسی (اوگر) از خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی‌متر)



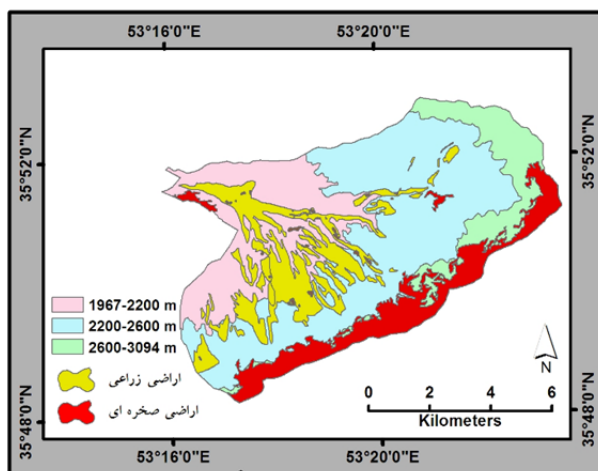
شکل ۴. مدل ارتفاعی رقومی (DEM) مرتع آساران

Fig. 4. Digital Elevation Model (DEM) of Asaran rangeland



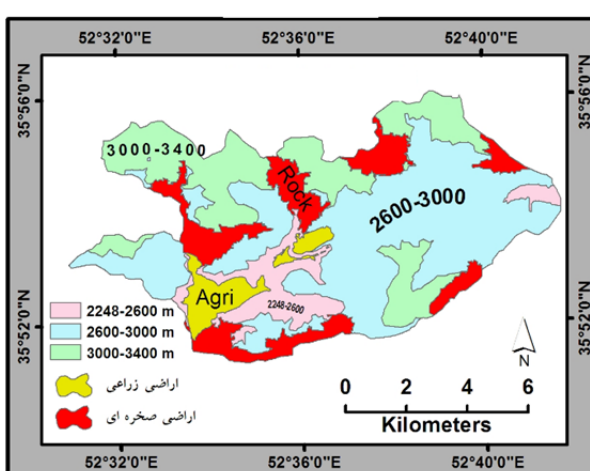
شکل ۳. مدل ارتفاعی رقومی (DEM) مرتع لزور

Fig. 3. Digital Elevation Model (DEM) of Lazour rangeland



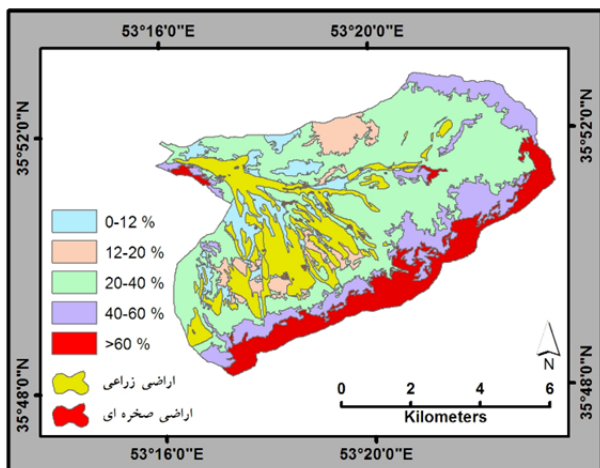
شکل ۶. نقشه طبقات ارتفاعی مرتع آساران

Fig. 6. Hipsometric map of Asaran rangeland



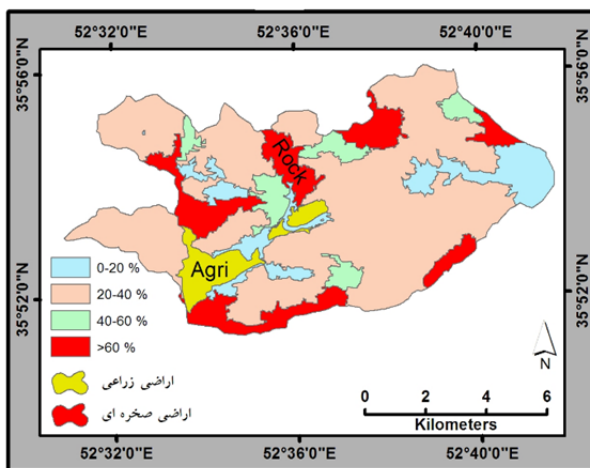
شکل ۵. نقشه طبقات ارتفاعی مرتع لزور

Fig. 5. Hipsometric map of Lazour rangeland



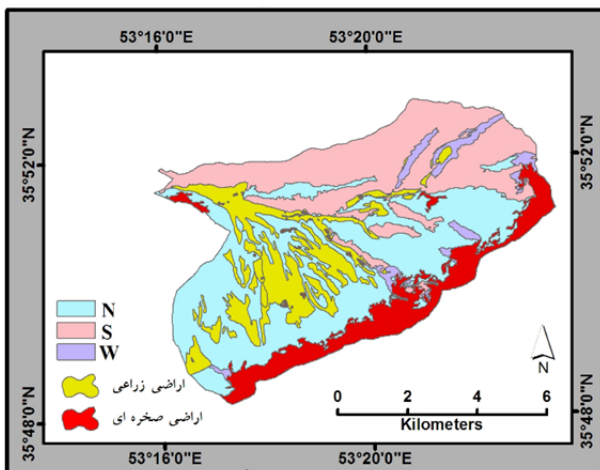
شکل ۸. نقشه شیب مرتع آساران

Fig. 8. Slope map of Asaran rangeland



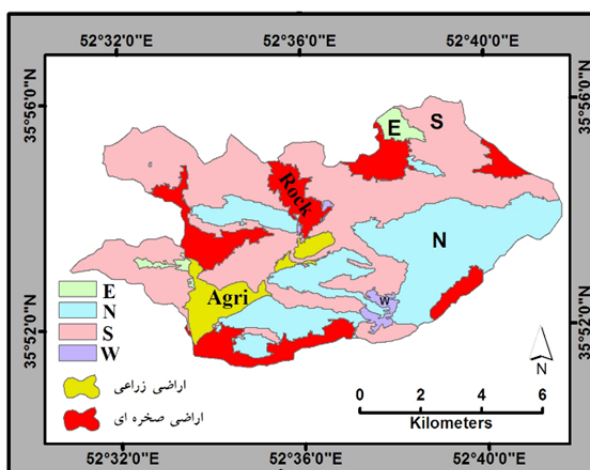
شکل ۷. نقشه شیب مرتع لزور

Fig. 7. Slope map of Lazour rangeland



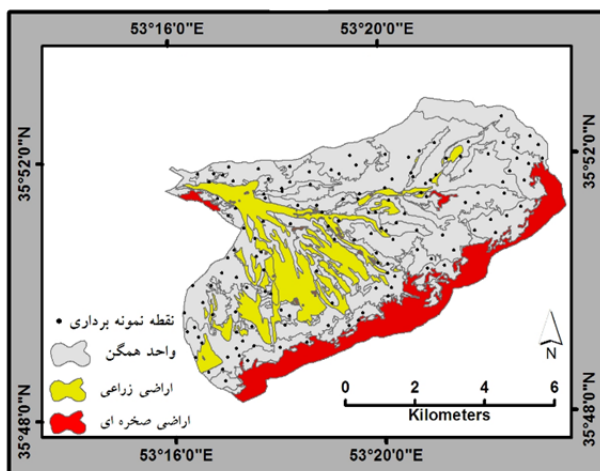
شکل ۱۰. نقشه جهت‌های دامنه‌ای مرتع آساران

Fig. 10. Aspect map of Asaran rangeland



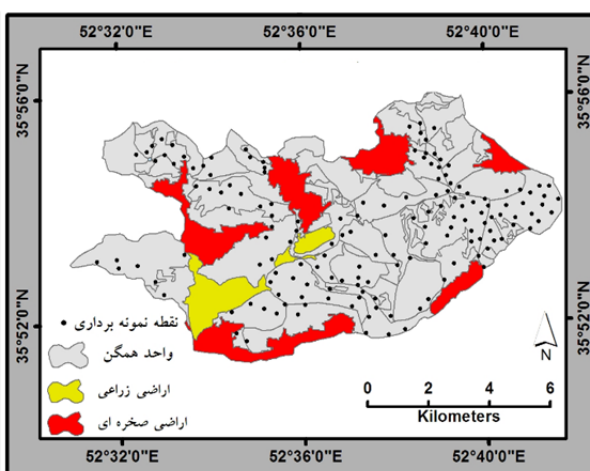
شکل ۹. نقشه جهت‌های دامنه‌ای مرتع لزور

Fig. 9. Aspect map of Lazour rangeland



شکل ۱۲. نقشه واحدهای همگن مرتع آساران

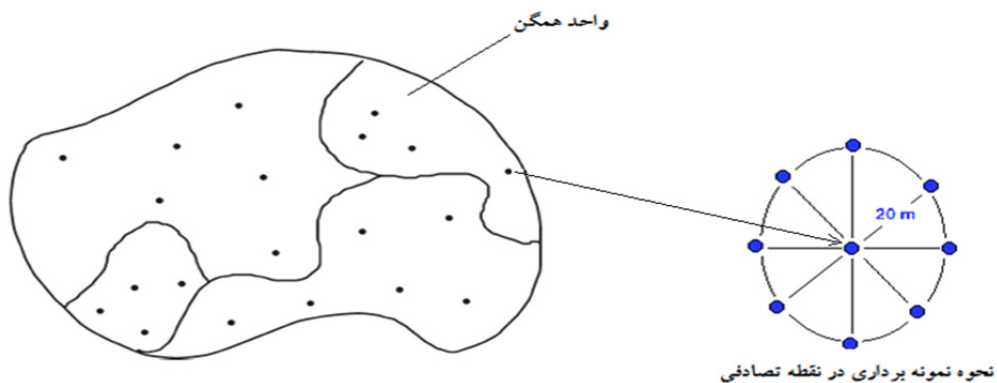
Fig. 12. Homogenous unites map of Asaran rangeland



شکل ۱۱. نقشه واحدهای همگن مرتع لزور

Fig. 11. Homogenous unites map of Lazour rangeland





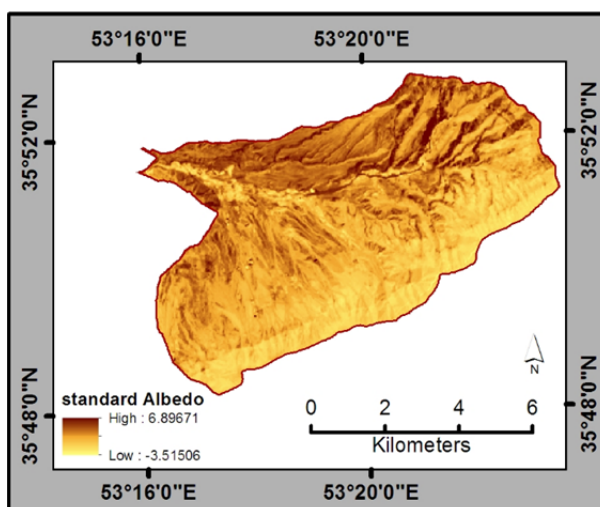
شکل ۱۳. الگوی کلی نمونه برداری به روش تصادفی طبقه بندی شده (اقتباس از (۱۸) با کمی تغییر)

Fig. 13. The schematic pattern of the stratified-random sampling (adapted from (18) with a slight change)

### متغیرهای طیفی

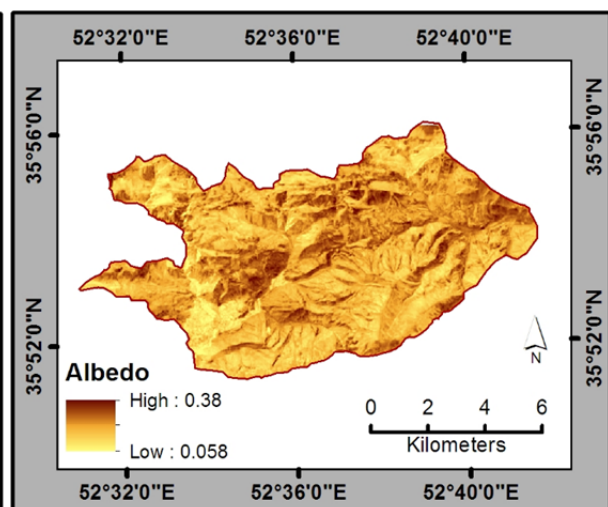
روشنایی، سبزیگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ (۲) محاسبه شد. بر این اساس در هر منطقه کاری ۱۴ لایه طیفی مشتمل بر باندهای دو تا هفت سنجنده OLI، آلبیدوی سطح، شاخص رس، شاخص کربنات، شاخص اندازه ذرات، NDVI و شاخص های روشنایی، سبزیگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ تهیه شد و اطلاعات طیفی محاسبه شده مربوط به نقاط نمونه برداری، به صورت جدول توصیفی نقشه استخراج شد. شکل های ۱۴ تا ۲۹ نقشه های شاخص های طیفی لزور و آساران را نشان می دهند.

پیش از محاسبه متغیرهای طیفی، با استفاده از نرم افزار ENVI، عملیات پیش پردازش در دو مرحله، مطابق با دستورالعمل سازمان زمین شناسی آمریکا (۲۳) انجام شد و بازتابش طیفی بالای اتمسفر هر یک از باندهای دو تا هفت سنجنده OLI لندست ۸ در مناطق مورد مطالعه محاسبه شد. با استفاده از تصاویر اصلاح شده مربوط به هر منطقه، هشت شاخص طیفی شامل آلبیدوی سطح (۱۴)، شاخص رس (۲۰)، شاخص کربنات (۴)، شاخص اندازه ذرات (۲۱ و ۲۵)، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (NDVI) (۲۰)، و شاخص های



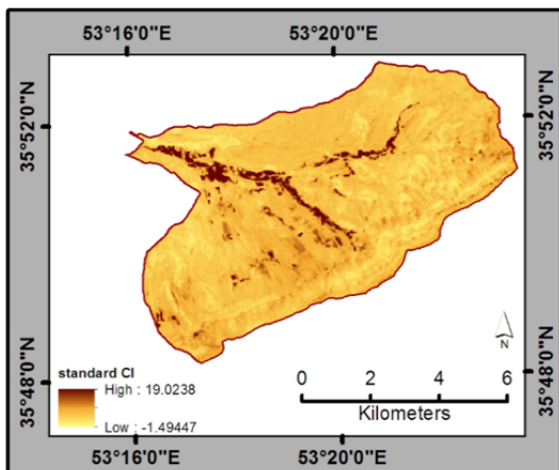
شکل ۱۵. نقشه آلبیدو مرتع آساران

Fig. 15. Albedo map of Asaran rangeland

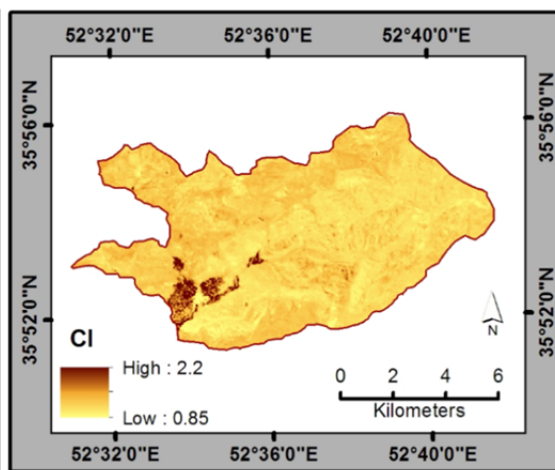


شکل ۱۴. نقشه آلبیدو مرتع لزور

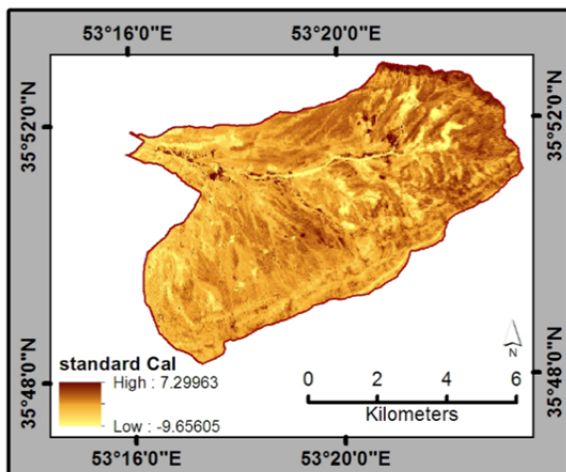
Fig. 14. Albedo map of Lazour rangeland



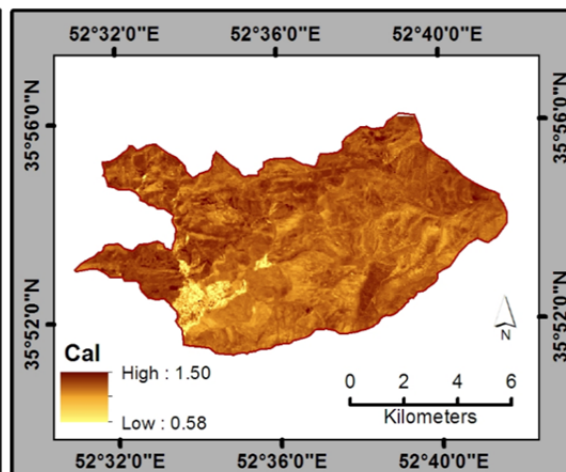
شکل ۱۷. نقشه شاخص رس مرتع آساران  
Fig. 17. Clay Index (CI) map of Asaran rangeland



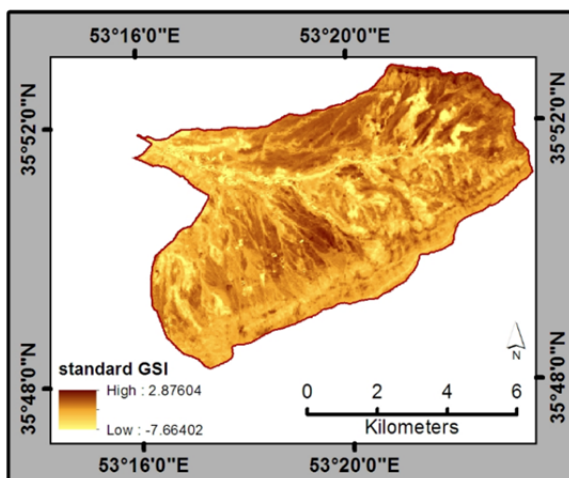
شکل ۱۶. نقشه شاخص رس مرتع لزور  
Fig. 16. Clay Index (CI) map of Lazour rangeland



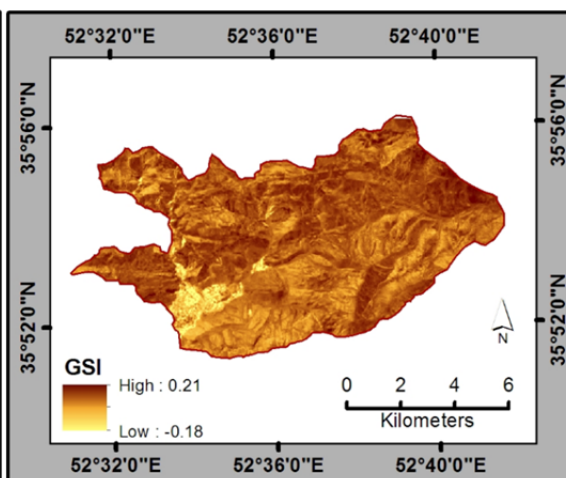
شکل ۱۹. نقشه شاخص کربنات مرتع آساران  
Fig. 19. Carbonate Index (Cal) map of Asaran rangeland



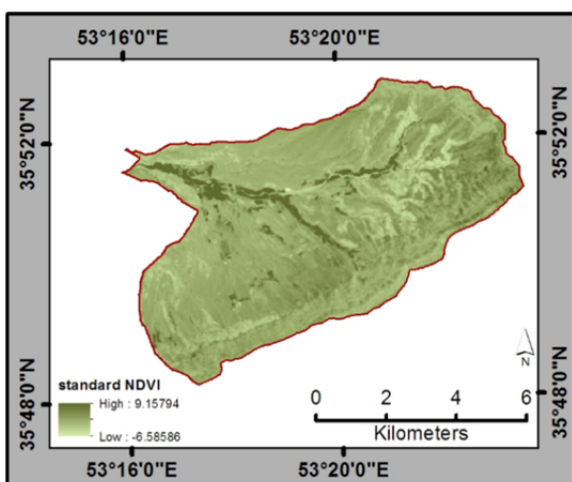
شکل ۱۸. نقشه شاخص کربنات مرتع لزور  
Fig. 18. Carbonate Index (Cal) map of Lazour rangeland



شکل ۲۱. نقشه شاخص اندازه ذرات مرتع آساران  
Fig. 21. Grain Size Index (GSI) map of Asaran rangeland

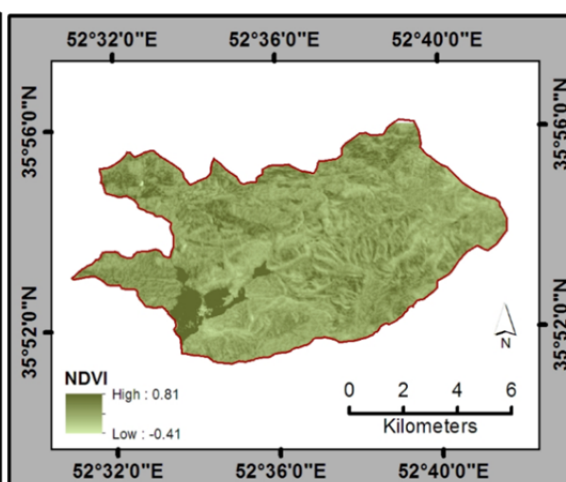


شکل ۲۰. نقشه شاخص اندازه ذرات مرتع لزور  
Fig. 20. Grain Size Index (GSI) map of Lazour rangeland



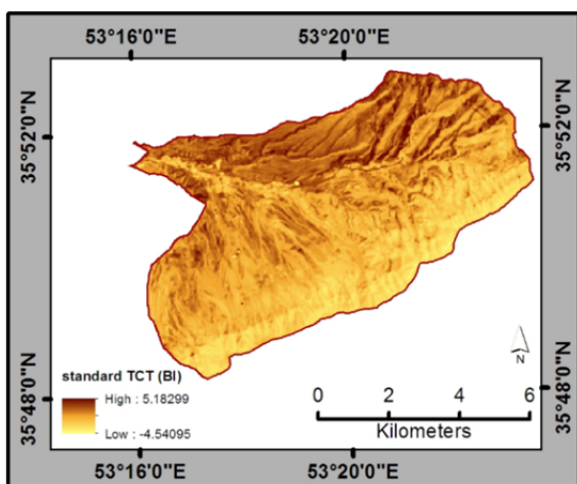
شکل ۲۳. نقشه NDVI مرتع آساران

Fig. 23. NDVI map of Asaran rangeland



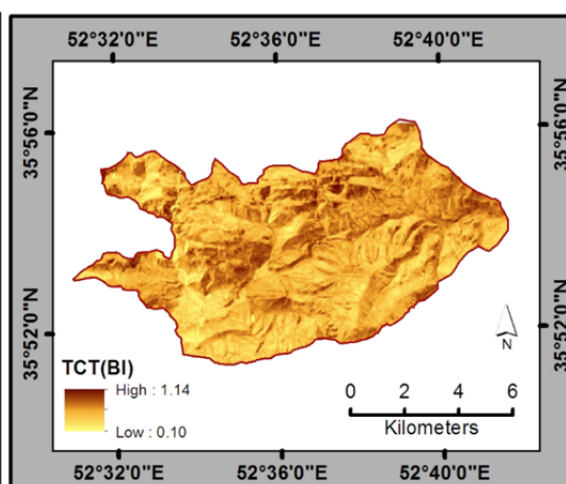
شکل ۲۲. نقشه NDVI مرتع لزور

Fig. 22. NDVI map of Lazour rangeland



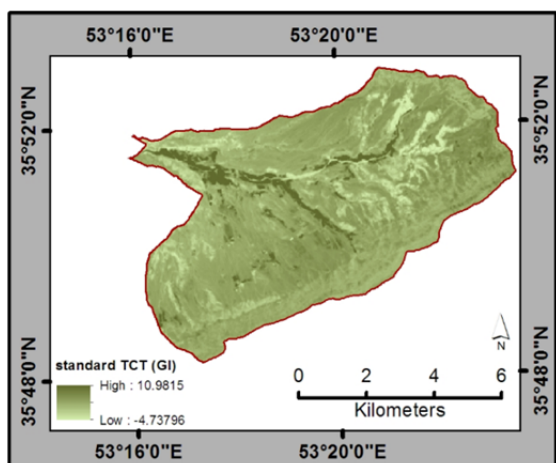
شکل ۲۵. شاخص روشنایی تبدیل تسلاکپ مرتع آساران

Fig. 25. Tasseled-Cap Transformation (BI) of Asaran rangeland



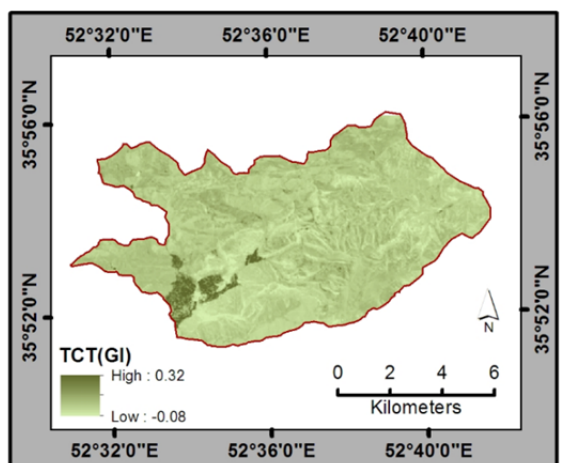
شکل ۲۴. شاخص روشنایی تبدیل تسلاکپ مرتع لزور

Fig. 24. Tasseled-Cap Transformation (BI) of Lazour rangeland



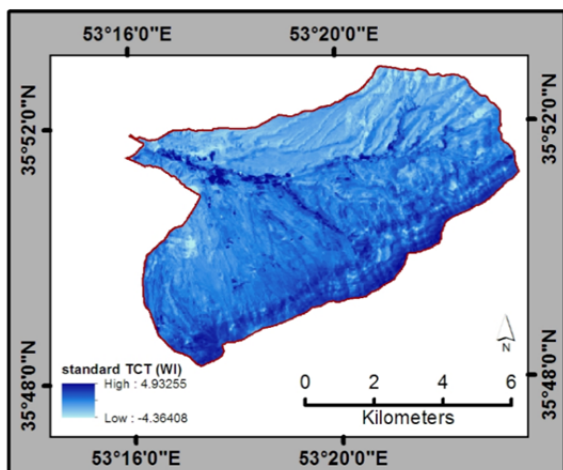
شکل ۲۷. شاخص سبزینگی تبدیل تسلاکپ مرتع آساران

Fig. 27. Tasseled-Cap Transformation (GI) of Asaran rangeland



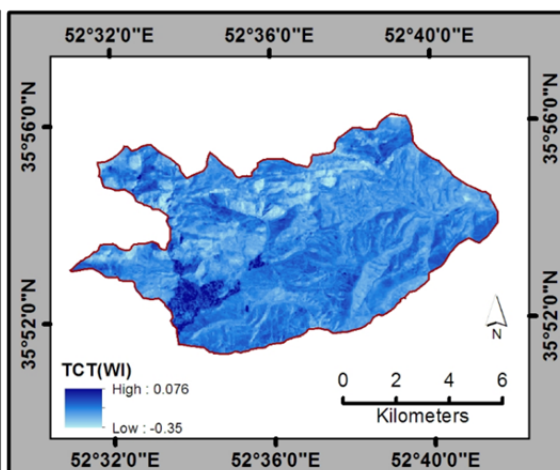
شکل ۲۶. شاخص سبزینگی تبدیل تسلاکپ مرتع لزور

Fig. 26. Tasseled-Cap Transformation (GI) of Lazour rangeland



شکل ۲۹. شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ مرتع آساران

Fig. 29. Tasseled-Cap Transformation (WI) of Asaran rangeland



شکل ۲۸. شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ مرتع لزور

Fig. 28. Tasseled-Cap Transformation (WI) of Lazour rangeland

تحلیل عاملی معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت توأم با حصول KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) حداقل ۰/۶ است (۱۰) 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 مجدد تجزیه عاملی الزامی است (۱۰)، لذا در این پژوهش تجزیه عاملی در چند مرحله انجام شد به طوری که ضمن معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت، KMO بیش از ۰/۶ حاصل گردد. رابطه ۱، نحوه محاسبه KMO را نشان می‌دهد.

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad i \neq j \quad [1]$$

در این رابطه؛  $r_{ij}$  ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای  $i$  و  $j$  و  $a_{ij}$  ضریب همبستگی جزئی متغیرهای  $i$  و  $j$  به شرط ثابت بودن سایر متغیرها است.

### نتایج

نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل با کربن آلی خاک سطحی نشان داد کلیه متغیرهای مورد بررسی به‌استثنای شاخص اندازه ذرات Grain Size Index (GSI) ارتباط معنی‌داری با متغیر پاسخ دارند که در این میان

### تجزیه عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی

تحلیل عاملی تکنیکی آماری برای تجزیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به‌ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. در تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، برای ایجاد عامل‌ها از تمام متغیرها استفاده‌شده و اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات به‌وسیله عوامل ارائه می‌شوند و محتوای اطلاعاتی پارامترهای اصلی از دست نمی‌رود (۱۹). 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 سه‌به‌یک تا ۲۰ به یک در نظر گرفته می‌شود (۱۹). از این‌رو در پژوهش حاضر، به‌منظور تقلیل متغیرهای مستقل و کنترل تناسب داده‌ها، پیش از اجرای تجزیه عاملی، با ایجاد ماتریس همبستگی پیرسون بین ۱۴ متغیر مستقل اولیه و کربن آلی خاک، آن دسته از متغیرهایی که همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک نداشتند ( $p > 0.05$ )، شناسایی و حذف شدند و تجزیه عاملی بر اساس متغیرهای واجد همبستگی معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) با کربن آلی خاک انجام شد. از آنجاکه شرط کفایت داده‌ها در

همبستگی آلبیدوی سطح با کربن آلی خاک بیش از سایر متغیرهای مورد مطالعه است (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج آزمون همبستگی پیرسون میان متغیرهای مستقل با کربن آلی خاک سطحی

Table 3. Pearson correlation test results among independent variables and topsoil organic carbon

ردیف	نام متغیر (علامت اختصاری)	تعداد مشاهدات	ضریب همبستگی پیرسون
۱	باند دو سنجنده OLI لندست ۸ (B2)	635#	03/7<6**#
۲	باند سه سنجنده OLI لندست ۸ (B3)	635#	03/7;:**#
۳	باند چهار سنجنده OLI لندست ۸ (B4)	635#	03/7:6**#
۴	باند پنج سنجنده OLI لندست ۸ (B5)	635#	03/755**#
۵	باند شش سنجنده OLI لندست ۸ (B6)	635#	03/789**#
۶	باند هفت سنجنده OLI لندست ۸ (B7)	635#	03/795**#
۷	آلبیدوی سطح (Albedo)	635#	03/7<:**#
۸	شاخص رس (CI)	635#	3/556**
۹	شاخص کربنات (CaI)	635#	3/449*
۱۰	شاخص اندازه ذرات (GSI)	635#	3/37# <sup>V</sup>
۱۱	شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (NDVI)	635#	3/675**
۱۲	شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ (BI)	635#	03/7;7**
۱۳	شاخص سزینگی تبدیل تسلدکپ (GI)	635#	3/658**
۱۴	شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ (WI)	635#	3/6;5**

\* معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\* معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، <sup>ns</sup> عدم اختلاف معنی دار

در این رابطه؛  $r_{ij}$  ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای  $i$  و  $j$  و  $a_{ij}$  ضریب همبستگی جزئی متغیرهای  $i$  و  $j$  به شرط ثابت بودن سایر متغیرها است. انجام تحلیل عامل بر روی ۱۲ متغیر منتخب نشان داد آزمون کرویت بارتلت معنی دار بود ( $p < 0.01$ ) و KMO آن برابر ۰/۷۶۸ است. لذا می توان گفت داده ها از کفایت لازم برای انجام تحلیل عاملی برخوردار هستند (۱۰). نتایج تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه های اصلی Principal Component Analysis (PCA) با مقادیر ویژه (Eigenvalue) بزرگ تر از یک نشان داد کل واریانس تجمعی تبیین شده، پس از چرخش عامل ها به روش واریمکس (Varimax) برابر ۹۱/۷۴ درصد است که این میزان واریانس بوسیله دو عامل توضیح داده می شود (جدول ۴).

بر اساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون (جدول ۳)، متغیر شاخص اندازه ذرات از مجموع متغیرها حذف شد. با انجام آزمون تحلیل عاملی بر روی ۱۳ متغیر مستقل باقیمانده و بررسی مقادیر اندازه دقت نمونه گیری (رابطه ۲) و حذف متغیر(های) با اندازه دقت نمونه گیری کوچک تر از ۰/۵، در نهایت تعداد ۱۲ متغیر شامل؛ باندهای دو تا هفت سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، آلبیدوی سطح، شاخص رس، شاخص های ۳ گانه تبدیل تسلدکپ و شاخص پوشش گیاهی NDVI، به عنوان متغیرهای مناسب و واجد صلاحیت برای ورود به مدل تحلیل عاملی انتخاب گردید.

$$MSA_i = \frac{\sum_{j \neq i} r_{ij}^2}{\sum_{j \neq i} r_{ij}^2 + \sum_{j \neq i} a_{ij}^2} \quad [2]$$

جدول ۴. کل واریانس تبیین شده با تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی

Table 4. Total variance explained with Factor Analysis (FA) using PCA method

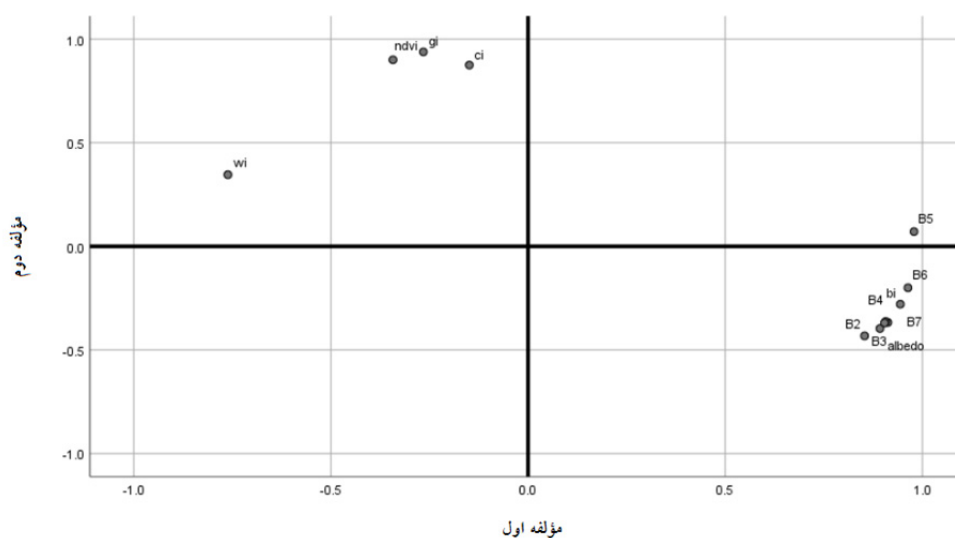
مجموع مجذورات بارهای عاملی			استخراج مجموع مجذورات			مقادیر ویژه			عامل
پس از چرخش واریمکس			بارهای عاملی						
درصد واریانس	درصد واریانس	کل	درصد واریانس	درصد واریانس	کل	درصد واریانس	درصد واریانس	کل	
تجمعی			تجمعی			تجمعی			
۶۳/۰۳	۶۳/۰۳	۷/۵۶	۷۶/۶	۷۶/۶	۹/۱۹۲	۷۶/۶	۷۶/۶	۹/۱۹۲	۱
۹۱/۷۴	۲۸/۷۱	۳/۴۵	۹۱/۷۴	۱۵/۱۴	۱/۸۱۷	۹۱/۷۴	۱۵/۱۴	۱/۸۱۷	۲
						۹۶/۳۹	۴/۶۵	۰/۵۵۸	۳
						۹۸/۲۴	۱/۸۶۱	۰/۲۲۳	۴
						۹۹/۱۵	۰/۹۰۴	۰/۱۰۸	۵
						۹۹/۶۵	۰/۵۰۶	۰/۰۶۱	۶
						۹۹/۷۷	۰/۱۱۲	۰/۰۱۳	۷
						۹۹/۸۶	۰/۰۹۷	۰/۰۱۲	۸
						۹۹/۹۴	۰/۰۷۶	۰/۰۰۹	۹
						۹۹/۹۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	۱۰
						۹۹/۹۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	۱۱
						۱۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱۲

ماتریس ضرایب امتیازات عوامل اول و دوم که با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) محاسبه شده، در جدول ۵ ارائه شده است. شکل ۳۰ نیز نمودار تحلیل عاملی مربوطه را نشان می‌دهد.

جدول ۵. ماتریس ضریب تأثیر امتیازات عاملی

Table 5. Factor scores coefficient matrix

عامل اول	عامل دوم	متغیر	عامل اول	عامل دوم	متغیر
۰/۱۱۹	-۰/۰۰۲	آبیدوی سطح	۰/۰۹۷	-۰/۰۳۹	باند ۲ (آبی)
۰/۱۲۹	۰/۳۶۹	شاخص رس	۰/۱۱۱	-۰/۰۱۶	باند ۳ (سبز)
۰/۱۴۴	۰/۰۴۶	روشنایی تسلدکپ	۰/۱۲۱	۰/۰۰۱	باند ۴ (قرمز)
۰/۱۱۷	۰/۳۷۶	سبزی‌نگی تسلدکپ	۰/۲۱۵	۰/۲۱۱	باند ۵ (NIR)
-۰/۰۹۴	۰/۰۱۷	رطوبت تسلدکپ	۰/۱۶۲	۰/۰۸۶	باند ۶ (SWIR 1)
۰/۰۹۴	۰/۳۴۵	شاخص NDVI	۰/۱۲۱	۰/۰۰۲	باند ۷ (SWIR 2)



شکل ۳۰. نمودار تحلیل عامل به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (نام کامل علائم اختصاری نمودار، در جدول ۳ ارائه شده است)

Fig. 30. Factor Analysis (FA) plot using PCA method (The full names of the acronyms shown in the plot are given in Table 3.)

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمون همبستگی نشان داد که کلیه متغیرهای طبیعی به‌استثنای شاخص اندازه ذرات (GSI)، همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک سطحی دارند که این امر مؤید ارتباط تنگاتنگ متغیرهای طبیعی با کربن آلی خاک سطحی است. مورد اخیر با نتایج تحقیقات موهان و آروموگام (۲۰)، پیکینی و همکاران (۲۱) و فتح‌العلومی و همکاران (۹) همخوانی دارد. همچنین بیشترین میزان همبستگی میان متغیرهای طبیعی مورد مطالعه با متغیر پاسخ (کربن آلی خاک سطحی)، مربوط به شاخص آلیبدوی سطح است. از آنجاکه آلیبدوی سطح بیانگر درصد بازتاب نور از سطح یک جسم است، لذا بارنگ خاک ارتباط مستقیم داشته و از ضریب همبستگی منفی این شاخص با کربن آلی خاک این‌گونه برمی‌آید که با افزایش ذخایر کربن آلی خاک، رنگ خاک تیره‌تر شده و این امر کاهش بازتاب طبیعی خاک را به همراه دارد. مورد اخیر با نتایج تحقیقات اسکادافال و همکاران (۸) مطابقت دارد.

اگرچه در پژوهش حاضر نتایج آزمون همبستگی 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 ( $r=0/223$ ). 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 (۱۶)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و رس موجود در خاک وجود دارد (۹ و ۱۲) اما این همبستگی مطابق نتایج تحقیقات جویاگی و جکسون (۱۲) تابعی از عمق خاک است، به طوری که در افق سطحی (تا ۲۰ سانتی‌متر) ارتباط مذکور ضعیف است اما با افزایش عمق خاک، بر میزان ارتباط و همبستگی کربن آلی خاک با درصد رس افزوده می‌شود.

نتایج تحلیل عاملی به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک نشان داد کل واریانس تجمعی تبیین‌شده، برابر ۹۱/۷۴ درصد است که این میزان واریانس بوسیله دو عامل توضیح داده می‌شود. عامل اول مشتمل بر ۹ متغیر (باندهای ۲ تا ۷، آلیبدوی سطح، شاخص روشنایی تسلدکپ و شاخص رطوبت تسلدکپ) است که مقدار ویژه آن ۹/۱۹ است و این میزان ۷۶/۶ درصد از کل واریانس تبیین‌شده توسط دو عامل را پوشش می‌دهد. سایر متغیرهای مستقل شامل شاخص رس، شاخص سبزینگی تسلدکپ و شاخص

خاک به دلیل نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد، صعب‌العبور بودن و عدم دسترسی به تمامی نواحی مورد مطالعه، غیریکنواخت بودن ویژگی‌های توپوگرافی و نیز عدم پویایی این قبیل اطلاعات، امکان‌پذیر نبوده و در چنین شرایطی می‌توان با استفاده از اطلاعات طیفی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، با صرف وقت و هزینه‌ای کم، اطلاعاتی دینامیک و پویا از تغییرات کربن آلی در افق سطحی خاک مراتع نیمه‌استپی کشور به دست آورد.

## References

1. Abbas Nejad B, Khajedin SJ. 2014. Effect of urban reforestation on carbon sequestration in arid soils using remote sensing technology. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(2): 75-88. [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_516644\\_516640.html?lang=en](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516644_516640.html?lang=en). (In Persian).
2. Arun M, Deepak K, Sananda K, Surajit M, Sandip M, Anirban M. 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1): 61-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.004>.
3. Baig MHA, Zhang L, Shuai T, Tong Q. 2014. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5): 423-431. doi:<https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>.
4. Bangroo SA, Najjar GR, Ephraim A, Phuong NT. 2020. Application of predictor variables in spatial quantification of soil organic carbon and total nitrogen using regression kriging in the North Kashmir forest Himalayas. *Catena*, 193: 104632. doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104632>.
5. Boettlinger JL, Ramsey RD, Bodily JM, Cole NJ, Kienast-Brown S, Nield SJ, Saunders AM, Stum AK. 2008. Landsat Spectral Data for Digital Soil Mapping. In: Hartemink AE, McBratney A, Mendonça-Santos MdL (eds) *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 193-202. [https://doi.org/110.1007/1978-1001-4020-8592-1005\\_1016](https://doi.org/110.1007/1978-1001-4020-8592-1005_1016).
6. David JB, Keith DS, Markus GW, M, Thomas GR. 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132(3): 273-290. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.025>.
7. Emadi M, Taghizadeh-Mehrjardi R, Cherati A, Danesh M, Mosavi A, Scholten T. 2020. پوشش گیاهی NDVI می‌باشند که مقدار ویژه این عامل ۱/۸ بوده و این میزان ۱۵/۱۴ درصد از کل واریانس تبیینی توسط دو عامل را پوشش می‌دهد. در این راستا، عمادی و همکاران (۷) نیز عامل پوشش گیاهی (NDVI) را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کربن آلی خاک معرفی کردند که ۱۲/۵ درصد واریانس مدل پیشنهادی آن‌ها را تبیین کرد. همان‌گونه که در دو پلاتی تجزیه مؤلفه‌های اصلی (شکل ۳۰) ملاحظه می‌شود، از مجموع ۹ متغیر مربوط به مؤلفه اول، ۸ متغیر مشتمل بر انعکاسات بالای اتمسفر باندهای ۲ تا ۷، آلبیدوی سطح و شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ که با بازتابش امواج الکترومغناطیس (EMR) ارتباط مستقیم دارند، با مؤلفه اول همبستگی مثبت نشان می‌دهند. اما از آنجا رطوبت موجود در خاک به‌عنوان جاذب امواج الکترومغناطیس عمل می‌کند، شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ با بازتابش امواج الکترومغناطیس رابطه معکوس داشته و این امر سبب ایجاد همبستگی منفی میان این متغیر با مؤلفه اول شده است. با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت عامل اول بیانگر درصد بازتاب نور از سطح یک پدیده است و بارنگ خاک در ارتباط است. بنابراین می‌توان عامل اول را بانام رنگ خاک نام‌گذاری کرد. در این خصوص کوپاکووا و همکاران (۱۴) عنوان داشتند هر چه میزان کربن آلی خاک بیشتر باشد، میزان جذب رطوبت خاک و نیز ظرفیت نگهداشت آب در خاک افزایش یافته، رنگ خاک تیره‌تر شده و میزان جذب انرژی تابشی توسط خاک افزایش می‌یابد. عامل دوم نیز که به‌صورت مشخص با سبزیگی گیاهان و میزان نسبی رس خاک ارتباط مستقیم دارد را می‌توان بانام پوشش گیاهی و بافت خاک نام‌گذاری کرد. به عبارتی با افزایش میزان پوشش گیاهی و سنگین شدن بافت خاک، میزان ذخایر کربن خاک سطحی افزایش می‌یابد (۱۳).



- Predicting and mapping of soil organic carbon using machine learning algorithms in Northern Iran. *Remote Sensing*, 12(14): 2234. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12142234>.
8. Escadafal R, Michel-Claude G, Dominique C. 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. doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90035-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90035-7).
  9. Fathololoumi S, Vaezi A, Alavipanah SK, Ghorbani A. 2020. Modeling Soil Organic Carbon Variations Using Remote Sensing Indices in Ardabil Balikhli Chay Watershed. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9): 2417-2429. doi:<https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.299509.668542>. (In Persian).
  10. Hartemink A, McSweeney K. 2014. *Soil Carbon*. Springer pub, 506 p.
  11. Howard MC. 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. doi:<https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1087664>.
  12. Jobbágy EG, Jackson RB. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2): 423-436. doi:[https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2).
  13. Kasel S, Singh S, Sanders GJ, Bennett LT. 2011. Species-specific effects of native trees on soil organic carbon in biodiverse plantings across north-central Victoria, Australia. *Geoderma*, 161(1): 95-106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.014>.
  14. Kopačková V, Jelének J, Koucká L, Fárová K, Píkl M. 2018. Modelling soil Organic Carbon and mineral composition using reflectance and emissivity data. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. p 14745.
  15. Liang S, Chad JS, Andrew LR, Hongliang F, Mingzhen C, Charles LW, Craig STD, Raymond H. 2003. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment*, 84(1): 25-41. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00068-8).
  16. Liu Q, Liu G, Huang C, 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. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2014.995274>
  17. Mahmoudi S, Hakimian M. 2006. *Fundamentals of soil sciences*. Tehran university press. 700 p. (In Persian).
  18. Mahmoudzadeh H, Matinfar HR, Taghizadeh-Mehrjardi R, Kerry R. 2020. Spatial prediction of soil organic carbon using machine learning techniques in western Iran. *Geoderma Regional*, 21: e00260. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00260>.
  19. McCoy RM. 2005. *Field methods in remote sensing*. Guilford Press. New York. 159 p.
  20. Mohan S, Arumugam N. 1996. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: Factor analysis approach. *Water Resources Management*, 10(1): 1-20. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00698808>.
  21. Piccini C, Alessandro M, Rosa F. 2014. Estimation of soil organic matter by geostatistical methods: Use of auxiliary information in agricultural and environmental assessment. *Ecological Indicators*, 36: 301-314. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.009>.
  22. Santanu M, Bhowmik T, Mishra U, Paul N. 2020. Mapping and prediction of soil organic carbon by an advanced geostatistical technique using remote sensing and terrain data. *Geocarto International*: 1-17. doi:<https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1815864>.
  23. United States Geological Survey (USGS). 2016. *Landsat 8 (L8) data users Handbook*. version 2.0. 106 p.
  24. Wu C, Wu J, Luo Y, Zhang L, DeGloria SD. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4): 1202-1208. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0045>.
  25. Xiao J, Shen Y, Tateishi R, Bayaer W. 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 27(12): 2411-2422. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160600554363>.
  26. Zhang Y, Guo L, Chen Y, Shi T, Luo M, Ju Q, Zhang H, Wang S. 2019. Prediction of Soil Organic Carbon based on Landsat 8 Monthly NDVI Data for the Jiangnan Plain in Hubei Province, China. *Remote Sensing*, 11(14): 1683. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11141683>.
  27. Zhou T, Yajun G, Jie C, Mengmeng L, Dagmar H, Angela L. 2020. Mapping soil organic carbon content using multi-source remote sensing variables in the Heihe River Basin in China. *Ecological Indicators*, 114: 106288. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106288>.



Original  
paper

## Classification of the most important spectral factors extracted from Landsat-8 images in explaining the topsoil organic carbon in semi-steppe rangelands using exploratory factor analysis (EFA)

Saeedeh Nateghi, Rostam Khalifehzadeh, Mahshid Souri, Morteza Khodaghli

Received: 19 December 2020 / Accepted: 4 January 2021

Available online 21 July 2021

### Abstract

**Background and Objective** Soil organic carbon in rangeland ecosystems has a variety of functions such as increasing soil fertility, controlling erosion, increasing soil water permeability and, reducing the effects of greenhouse gases. Therefore, it is a key indicator in determining soil health that affects all physical, chemical, and biological properties of soil. The large area of the country's rangelands causes a serious challenge to the use of traditional methods in estimating soil organic carbon. In such situations, the use of remote sensing capabilities can be considered as a suitable option for monitoring the organic carbon of the country's rangeland soils.

The aim of this study was to determine the most important spectral factors affecting topsoil organic carbon in two summer rangelands.

**Materials and Methods** This research was carried out in two summer rangelands of Lazour and Asaran. The first rangeland (Lazour) with an area of 8150 hectares and an average height of 2875 meters is located in the range of eastern longitudes 52.514 to 52.694 degrees and northern latitudes 35.855 to 35.934 degrees in Tehran province. The second Rangeland (Asaran) with an area of 5642 hectares and an average height of 2465 meters is located in the range of eastern longitudes 53.265 to 53.392 degrees and northern latitudes 35.804 to 35.882 degrees in Semnan province. In this research, the data of the OLI sensor of the Landsat 8 satellite were used. After pre-processing satellite imagery of the studied areas, Top of Atmosphere (TOA) reflectance layers of bands 2 to 7 along with the variables of surface albedo, Clay index, Carbonate index, Grain Size index, NDVI, brightness, greenness, and wetness index of Tasseled cap transformation were calculated. In each of the target areas, using Digital Elevation Model (DEM) maps, the slope, aspect, and hypsometric maps were prepared and by combining the last three layers with each other, a map of homogeneous sampling units was obtained.

S. Nateghi<sup>1</sup>, R. Khalifehzadeh(✉)<sup>2</sup>, M. Souri<sup>1</sup>, M. Khodaghli<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. PhD in Rangeland Sciences, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3. Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

e-mail: [khalifehzadeh.r@gmail.com](mailto:khalifehzadeh.r@gmail.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.2.5>

Soil sampling was performed using the stratified-random sampling pattern. In this way, in each of the homogeneous units, according to its area, several soil samples were randomly taken from a depth of zero to 20 cm and the amount of organic carbon of the samples was measured using the Walkley-Black method.

**Results and Discussion** The results of this study showed that the spectral variables of Top of Atmosphere (TOA) reflectance layers of bands 2 to 7 along with the variables of surface albedo, Clay index, NDVI, brightness, greenness, and wetness index of Tasseled cap transformation have a significant correlation with topsoil organic carbon ( $p < 0.01$ ). Also, the results of factor analysis by principal component analysis (PCA) with eigenvalues greater than one showed that the total cumulative variance explained by the 12 variables is 91.74%, which was explained by

two factors. The first factor (soil color) explained 76.6% of the variance and the second factor (vegetation and soil texture) explained 15.14% of the variance.

**Conclusion** The results of this study confirm the existence of a significant relationship between topsoil organic carbon and spectral factors extracted from Landsat 8 OLI sensor data in semi-steppe rangelands. Because of the large area of rangelands in Iran, the use of traditional methods in estimating soil organic carbon is not possible due to the need to spend a lot of time and money. And in such situations, the use of Remote sensing (RS) capabilities can be considered as a suitable option for monitoring the topsoil organic carbon in the rangelands.

**Keywords:** Organic carbon, Remote sensing, Soil color, Lazour rangeland, Asaran rangeland

Please cite this article as: Nateghi S, Khalifehzadeh R, Sourì M, Khodaghòli, M. 2021. Classification of the most important spectral factors extracted from Landsat-8 images in explaining the topsoil organic carbon in semi-steppe rangelands using exploratory factor analysis (EFA). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(2): 16-34. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.2.5>