



مقایسه شاخص های گیاهی و تبدیل تسلدکپ در برآورد میزان کربن آلی خاک با استفاده از تصاویر سنجنده لندست-۸ OLI در مراتع نیمه استپی

معصومه آقابابایی^{۱*}، عطاالله ابراهیمی^۲، پژمان طهماسبی^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۰ آبان ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ آبان ۱۳۹۷

واژه های کلیدی:

کربن آلی خاک

شاخص گیاهی

باندروشنایی تسلدکپ

منطقه کرسنک

چکیده

در این تحقیق، قابلیت داده سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه کربن آلی مراتع نیمه استپی استان چهارمحال و بختیاری ارزیابی شده است. بدین منظور، در خردادماه سال ۱۳۹۲ به روش نمونه برداری سیستماتیک- تصادفی در ۲۴ سایت با استقرار ۳ ترانسکت و در طول هر ترانسکت ۵ پلات نمونه های خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری برداشت شده و میزان کربن آلی خاک اندازه گیری شد. به منظور مقایسه مقادیر کربن آلی برداشت شده با مقادیر متناظر بازتابش پیکسل های ثبت شده، از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (خردادماه سال ۲۰۱۳) استفاده شد. شاخص های گیاهی و تبدیل تسلدکپ پس از انجام تصحیحات لازم (هندسی و اتمسفری) برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و استخراج گردید. مقادیر شاخص های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ (متغیر وابسته)، در مقابل کربن آلی خاک (متغیر مستقل) در محل هر سایت وارد نرم افزار SPSS گردید. شاخص های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ جهت تهیه مدل رگرسیونی و بهترین مدل برازش شده جهت تهیه نقشه کربن آلی انتخاب شدند. شاخص PVI ($R=0/53$) در میان شاخص های گیاهی و باند روشنایی حاصل از تسلدکپ ($R=0/63$) بیشترین همبستگی را با مقادیر مواد آلی خاک نشان دادند. نهایتاً با محاسبه برازش رگرسیون خطی دو جمله ای نقشه های کربن آلی تهیه شد. نتایج اعتبار سنجی مدل نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده های زمینی مواد آلی خاک و داده های حاصل از شاخص های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ است. بنابراین داده های طیفی تصاویر سنجنده لندست-۸ منبع ارزشمندی برای تعیین تغییرات کربن آلی در چنین مناطقی است.

*Aghababaei@stu.sku.ac.ir: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

کربن آلی خاک یکی از حیاتی‌ترین فاکتورها در فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک بوده و اطلاعات مفیدی از تغییرات حاصلخیزی خاک و تخریب اراضی فراهم می‌آورد (۲۴). فعالیت‌های بشری به‌خصوص استفاده از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و صنعتی شدن منجر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده است. در نتیجه نیاز به شناخت استراتژی‌هایی جهت کاهش اثرات گرمایش جهانی که از عوامل اصلی تغییرات اقلیم بوده، لازم و ضروری است. دو استراتژی اصلی جهت کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیم پیشنهاد می‌شود که شامل جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای و ضبط و ذخیره دی‌اکسید کربن اتمسفر است (۲۵). اکوسیستم‌های زمینی نقش مهمی در ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن اتمسفر دارند و تاکنون پنج منبع مهم ذخیره کربن در اکوسیستم‌های زمینی شناخته شده که شامل زیتوده سطحی زمین، زیتوده زیرزمین، لاشبرگ، باقی‌مانده‌های چوب و عناصر آلی خاک است. از میان این منابع ذخیره کننده، کربن بیوماس سطحی زمین مهم‌ترین منبع ذخیره کربن بوده و نقش آن در کاهش تغییرات اقلیمی کانون توجهات قرار گرفته است. ولی نقش سایر منابع ذخیره کننده کربن به‌خصوص کربن آلی خاک کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۱). برای تعیین توزیع کربن آلی در خاک، تکنیک‌های مختلفی نظیر نمونه‌برداری شبکه‌ای و یا منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که نمونه‌برداری خاک از نظر فنی دشوار و پرهزینه بوده و آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه و تحلیل زمان‌بر است، لذا همواره از خاک رخ تعدادی محدود نمونه برداشت می‌شود (۱۹). بنابراین، بیان میزان کربن آلی خاک در اراضی در قالب یک کمیت عددی همچون میانگین کلی میزان کربن آلی خاک، کافی نیست و نیاز مبرم به روش‌های کم‌هزینه و دقیق‌تر طلب می‌کند (۱۵). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنجش‌ازدور، به علت توانایی در شناسایی پدیده‌ها همواره مورد توجه بوده است (۱، ۲، ۴ و ۷). برای

بررسی توانایی فناوری سنجش‌ازدور در تخمین کربن آلی خاک، پیله‌ور و همکاران (۳) از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه در دو سایت جنگل و مرتع استفاده نمودند. از داده‌های سنجش‌ازدور ماهواره لندست ETM^+ باندهای یک، دو، پنج و هفت و ترکیب باند سه و چهار برای محاسبه ضریب NDVI در هر دو سایت استفاده شد. نتایج این تحقیق مؤید این بود که باندهای یک، دو و NDVI مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در برآورد تغییرپذیری کربن آلی در دو سایت جنگل و مرتع است. دیناکارن و کرشنایا (۱۰) در بررسی‌های خود در گوجارات هند به این نتیجه رسیدند که نوع پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی لایه سطحی تا عمق ۱/۵ متری خاک می‌گذارد. مقدار کربن آلی خاک در خاک‌های تحت پوشش انبوه خیلی بالا بود که این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای ذخیره کربن آن‌هاست. تفاوت پوشش گیاهی نه تنها در مقدار کربن آلی لایه سطحی خاک، بلکه در لایه‌های پایین‌تر نیز تأثیر گذاشته بود ولی تغییرات کاربری اراضی میزان کربن آلی خاک را به شدت کاهش داده بود. عباس‌نژاد و خواجه‌الدین (۴) به تأثیر جنگل‌کاری شهری در مناطق خشک کشور بر میزان کربن ترسیب شده در خاک از تصویر ماهواره‌ای استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان ترسیب کربن در لایه‌های سطحی خاک بیشتر بود و با افزایش عمق کاهش یافت. همچنین میزان ترسیب کربن بسته به نوع گونه‌های کاشته شده متفاوت بوده و میزان ترسیب کربن در مناطقی که گونه‌های سوزنی‌برگ کشت شده‌اند، بیشتر از مناطق پهن‌برگ بود. ماچنا (۱۶) به مقایسه میزان کربن موجود در بیوماس سطحی زمین و میزان کربن ذخیره شده در خاک با تکنیک سنجش‌ازدور پرداختند. نمونه‌های خاک از پنج نقطه برای برآورد میزان کربن آلی خاک نمونه‌برداری شد. شاخص‌های گیاهی سنجش‌ازدور شامل NDVI, SAVI, RVI نیز از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج شدند. آنالیزهای همبستگی و رگرسیونی جهت کمی کردن ارتباط بین کربن آلی خاک، کربن بیوماس سطحی زمین و شاخص‌های گیاهی حاصله از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که

وجود روابط رگرسیونی بین شاخص‌های مرتبط با میزان کربن آلی خاک به دست آمده از سنجش‌ازدور با مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی در آزمایشگاه می‌توان سرعت و دقت تهیه نقشه‌های کمی کربن آلی را افزایش داد (۲۰). بر این اساس، در این تحقیق سعی شده است تغییرپذیری طیفی کربن آلی منطقه بر روی تصویر با استفاده از شاخص‌های مختلف گیاهی و تصاویر حاصل از تبدیل تسلدکپ ارزیابی و مقایسه گردد. همچنین علاوه بر انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌ها برای بررسی و طبقه‌بندی کربن آلی خاک در این منطقه، انتخاب مناسب‌ترین باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ نیز مورد آزمون قرار گرفته است.

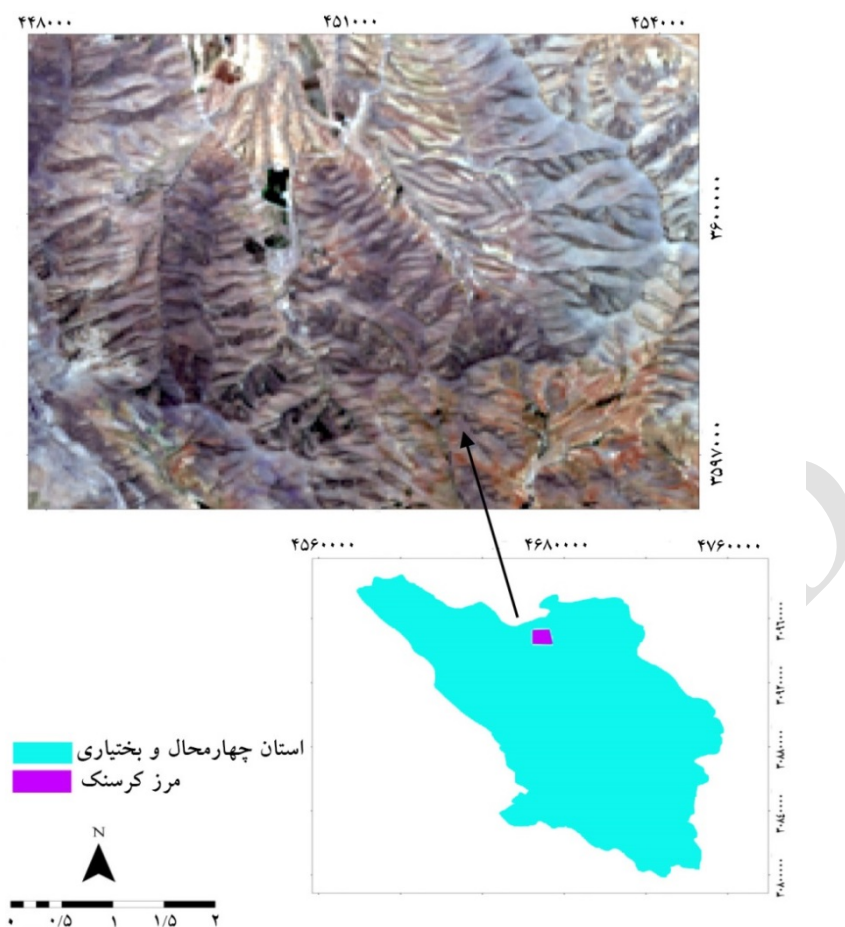
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه کرسنگ یکی از مناطق نیمه استپی استان چهارمحال و بختیاری با ناحیه‌ای کوهستانی و مرتفع با ارتفاع متوسط ۲۶۰۳/۱ متر از سطح دریا، وسعتی معادل ۵۷۶ هکتار بین مختصات جغرافیایی "۴ ۲۶' ۵۶° تا "۳۳' ۲۷' ۵۶° طول شرقی، و "۳۰' ۳۰' ۳۲° تا "۳۳' ۳۲' ۳۲° عرض شمالی انجام گرفته است (شکل ۱). این محدوده در بخش غربی شهرستان شهرکرد واقع شده و فاصله آن از مرکز استان ۶۷ کیلومتر است. در این مطالعه از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ که از گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۸ بود، استفاده شد.

میزان کربن بیوماس سطحی زمین رابطه معنی‌داری با کربن آلی در لایه‌های بالایی عمق خاک (۰ تا ۱۵ سانتی‌متری) داشت ولی ارتباط معنی‌داری با کربن لایه‌های زیرین خاک (۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) نداشت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که وجود رابطه مثبت بین میزان کربن بیوماس سطحی زمین و کربن آلی خاک نشان می‌دهد که کربن بیوماس سطحی زمین می‌تواند به عنوان نماینده کربن آلی خاک در لایه‌های بالایی عمق خاک باشد ولی شاخص‌های گیاهی سنجش‌ازدور با میزان کربن آلی ذخیره شده در خاک بدون در نظر گرفتن لایه‌های عمقی خاک رابطه معنی‌داری نداشتند که دلیل اصلی آن را مربوط به اکوسیستم‌های خشک و باز تابش‌های شدید سطحی خاک می‌دانند که باعث کاهش توانایی سنجش‌ازدور برای برآورد کربن آلی خاک می‌شود. ولی در اکوسیستم‌های مرطوب و نیمه‌خشک قابلیت سنجش‌ازدور و شاخص‌های گیاهی در برآورد کربن آلی خاک به اثبات رسیده است. جالیوس و همکاران (۱۳) برای دسترسی سریع و آسان میزان ذخیره کربن آلی خاک در مراتع تخریب یافته در برزیل، از تکنیک سنجش‌ازدور استفاده کردند. همبستگی بالایی بین کربن آلی خاک حاصله از LAI میدانی ($R=0/980$) و LAI تصاویر ماهواره‌ای ($R=0/981$) حاصل شد. مناسب بودن میزان شاخص LAI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین میزان کربن آلی خاک نشان داد که ابزار سنجش‌ازدور می‌تواند به عنوان بهترین و مناسب‌ترین تکنیک جهت برآورد کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های طبیعی باشد.

با توجه به کمی بودن داده‌های سنجش‌ازدور و همچنین



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی کرسنگ از توابع استان چهارمحال و بختیاری

روش تحقیق

برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. برای آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های خاک، پس از در هوا خشک شدن، کوبیده شدن و جدا نمودن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، نمونه‌ها آسیاب و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. مقدار کربن آلی نمونه‌های خاک آماده‌شده با روش والکی-بلاک اندازه‌گیری شد. در این روش، خاک با اسیدسولفوریک غلیظ و دی کرومات پتاسیم مخلوط و پس از اتمام واکنش اکسایش و کاهش باقی‌مانده دی کرومات پتاسیم با فروآلمونیوم سولفات تیتر شد.

$$OC (gm/kg) = 10000 \times \%OC \times Bd \times E \quad [1]$$

در این رابطه؛ %OC کربن آلی، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب gr/cm^3 و E عمق نمونه‌برداری برحسب سانتی‌متر است.

برای انجام این تحقیق، در خردادماه ۱۳۹۲ ابتدا ۲۴ محل نمونه‌برداری بر روی کل منطقه مورد مطالعه جهت نمونه‌برداری انتخاب شد. در هر منطقه نمونه‌برداری سه ترانسکت مستقر و در طول هر ترانسکت از ۵ پلات 2×2 مترمربعی به منظور آماربرداری استفاده شد. فاصله بین پلات‌های نمونه‌برداری در هر منطقه نمونه‌برداری برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۶۰ پلات ۲ مترمربعی نمونه‌برداری شد. موقعیت هر پلات نمونه‌برداری به وسیله GPS دستی ثبت شد. به منظور تدقیق ثبت موقعیت پلات‌ها، مختصات تمامی نقاط نمونه‌برداری در محل مراکز پلات‌ها ثبت شد. در برداشت میدانی به منظور حذف خطای ناشی از برداشت‌های GPS فواصل بین پلات‌های نمونه‌برداری برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شد. در هر پلات از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد سپس

برآورد میزان کربن آلی خاک از تصاویر ماهواره‌ای

تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه توسط سنجنده لندست OLI اخذ شده است. این ماهواره دارای قدرت تفکیک ۳۰ متری است. بنا به اهمیت نزدیک بودن نمونه‌برداری به زمان تصویربرداری سعی شد که نزدیک‌ترین تصویر به تاریخ نمونه‌برداری خاک اخذ شود و از تصاویر خردادماه ۱۳۹۲ استفاده شد. تصحیحات هندسی و اتمسفری تصاویر: بررسی تطابق هندسی تصاویر ماهواره‌ای و نقاط کنترل زمینی نشان داد که به دلیل دقت بالای تصاویر لندست ۸ از نظر هندسی نیازی به انجام تصحیح هندسی تصاویر وجود نداشت. در این مطالعه تصحیحات اتمسفری به روش (Dark Object Subtraction; DOS) و بر مبنای اطلاعات فراداده پیوست به تصویر انجام گرفت. مقدار تابش انحرافی (Path Radiance) با استفاده از ارزش‌های موجود در پهنه‌های آبی خالص برآورد شد.

محاسبه شاخص‌های طیفی گیاهی و تبدیل تسلدکپ

پس از اطمینان از صحت موقعیت مکانی تصاویر و انجام تصحیحات اتمسفری، به منظور بررسی تغییرپذیری طیفی کربن آلی خاک به کمک داده‌های سنجنده لندست OLI از دو سری داده شامل شاخص‌های گیاهی و باندهای روشنایی، سبزی‌نگی و نمناکی حاصل از تبدیل تسلدکپ استفاده شد. در این تحقیق علاوه بر شاخص‌های طیفی معمول، از شاخص‌های طیفی کم کننده اثر خاک زمینه مانند PVI و شاخص‌های مقاوم به شرایط جوی مانند ARVI، همچنین شاخص طیفی مقاوم به شرایط جوی و بازتاب حاصل از خاک مانند SARVI استفاده شد. شاخص‌های طیفی مختلف پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر با ترکیب باندهای ۲ (باند آبی در صورت لزوم)، ۴ (باند قرمز) و ۵ (باند مادون‌قرمز) با استفاده از نرم‌افزار TerrSet ایجاد گردید. در شاخص‌های مبتنی بر خط خاک، پس از تعیین مناطق عاری از پوشش گیاهی، خط خاک محاسبه و تعیین شد. بدین منظور، نخست تعدادی از پیکسل‌هایی که دارای خاک لخت بودند و هیچ پوشش گیاهی

نداشتند، در سطح منطقه جدا شدند. در مرحله بعد، ارزش پیکسل‌های جدا شده در باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک استخراج و معادله رگرسیونی بین ارزش پیکسل‌ها در این دو باند محاسبه و ضرایب خط خاک استخراج شد. تبدیل تسلدکپ یک نوع تبدیل خطی ساده است و آشکارسازی تغییرات بر اساس سه باند انجام می‌گیرد. طیف‌های حاصله شامل باند روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت (نمناکی) می‌باشند. در این تحقیق نیز این سه عامل مبنای آشکارسازی تغییر کربن آلی خاک قرار گرفته است.

تعیین همبستگی جهت تهیه نقشه ارزیابی کربن آلی از شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ

برای تعیین مقادیر شاخص‌های گیاهی و تبدیل تسلدکپ در محل‌های نمونه‌برداری زمینی با استفاده از دستور Extract مقادیر متناظر نقشه‌های شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ به صورت جدول در نقاطی که نمونه‌برداری زمینی نیز صورت گرفته بود، استخراج گردید. سپس همبستگی آماری بین مقادیر شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ (مقادیر وابسته) و مقادیر کربن آلی خاک (مقادیر مستقل) محاسبه گردید. سپس به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص طیفی گیاهی و بهترین باند تبدیل تسلدکپ در برآورد کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه، مقادیر ارزش ۲۰ شاخص گیاهی و سه باند روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت حاصل از تبدیل تسلدکپ استخراج شده در محل مناطق نمونه‌برداری (۲۴ منطقه) به عنوان متغیرهای مستقل در برابر ارزش‌های اندازه‌گیری شده (کربن آلی خاک) همان منطقه به عنوان متغیر وابسته قرار داده شد. شاخص ضریب همبستگی (R) و سطح معنی‌داری (Sig.) برای تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های طیفی و باندهای تسلدکپ جهت تهیه نقشه کربن آلی استفاده شد. جهت به دست آوردن مدل رگرسیونی مناسب به منظور پیش‌بینی میزان کربن آلی در منطقه مورد مطالعه اقدام به ایجاد مدل‌های رگرسیونی مناسب بین مقادیر شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ برگزیده با مقادیر کربن آلی شد. بدین

اعتبار سنجی مدل

به منظور بررسی اعتبار مدل‌های به دست آمده، مقادیر کربن آلی برآورد شده توسط مدل رگرسیونی حاصل از شاخص گیاهی PVI که به عنوان بهترین شاخص تشخیص داده شد و باند روشنائی حاصل از تبدیل تسلدکپ با مقادیر تنوع اندازه‌گیری شده زمینی با آزمون تی- جفتی (Paired Samples T-test) به طور جداگانه مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج

مقدار کربن آلی در ۲۴ سایت اندازه‌گیری شده بین ۹ تا ۱۹ (gm/kg) و با میانگین ۱۲/۶۶ و انحراف از معیار ۲/۵۸۱ و ضریب تغییرات ۲۰/۳۸۴ درصد است. نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ با کربن آلی نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری ($P < 0.05$) بین متغیر کربن آلی خاک و تمامی شاخص‌های گیاهی ذکر شده در جدول به جز شاخص SAVI مشاهده گردید (جدول ۱).

منظور در این مرحله مقادیر شاخص‌های طیفی و باندهای تبدیل تسلدکپ محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای هر یک به طور جداگانه به عنوان مقادیر مستقل و مقادیر کربن آلی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. سپس به منظور ایجاد لایه رقمی کربن آلی منطقه، شاخص‌های طیفی و باندهای تبدیل تسلدکپ که با کربن آلی رابطه بهتری داشتند (مقادیر R، R^2 بیشتر و Sig. کمتر) انتخاب و بر مبنای رابطه رگرسیونی مذکور، رابطه محاسبه مقادیر کربن آلی بر اساس شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ برگزیده برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. به بیانی دیگر پس از تعیین مناسب‌ترین برازش بین متغیرهای مستقل (شاخص‌های طیفی و باندهای تبدیل تسلدکپ) و متغیر وابسته (کربن آلی)، مقادیر متغیر وابسته در مکان‌های با مقادیر مجهول از رابطه رگرسیونی حاصله بر مبنای شاخص‌های طیفی و باندهای تبدیل تسلدکپ (مقادیر معلوم) محاسبه گردید. در این فرایند هم از آنالیز رگرسیون خطی و هم آنالیز رگرسیون غیرخطی استفاده گردید. در نهایت نقشه حاصله، پس از فیلترگذاری با کرنل 3×3 با فیلتر غالبیت مد (Mode) طبقه‌بندی گردید.

جدول ۱. همبستگی بین شاخص‌های طیفی گیاهی و باندهای تسلدکپ با کربن آلی خاک

شاخص‌های طیفی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	شاخص‌های طیفی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی
NRVI	۰/۰۱۲	۰/۵۲	RVI	۰/۰۱۵	-۰/۴۹
RATIO	۰/۰۱۱	۰/۵	TTVI	۰/۰۱۴	۰/۴۹
NDVI	۰/۰۱۲	۰/۵	TVI	۰/۰۱۴	۰/۴۹
ARVI	۰/۰۲۸	۰/۴۴	DVI	۰/۰۰۹	-۰/۵۲
AVI	۰/۰۱۶	۰/۴۸	MSAVI1	۰/۰۱۲	۰/۵
CTVI	۰/۸۲	۰/۴۷	PVI ₂	۰/۰۰۹	۰/۵۲
PVI	۰/۰۰۸	۰/۵۳	PVI3	۰/۰۰۹	۰/۵۲
PVI ₁	۰/۰۰۹	۰/۵۲	MSAVI2	۰/۰۱۴	۰/۴۹
SAVI	۰/۹	۰/۰۷	Brightness	۰/۰۰۱	-۰/۶۳۷
WDVI	۰/۰۰۹	۰/۵۲	Wetness	۰/۰۰۷	-۰/۵۳۵
TSAVI ₁	۰/۰۱۸	۰/۴۸	Greenness	۰/۰۰۱	۰/۶۲۷
TSAVI ₂	۰/۰۰۱	-۰/۵۱			

رگرسیون بین شاخص‌های گیاهی و باندهای تبدیل تسلدکپ با کربن آلی خاک

نتایج حاصل از رگرسیون بین متغیر مستقل شاخص‌های طیفی (PVI) و باند روشنایی تبدیل تسلدکپ (Brightness) و متغیر وابسته کربن آلی در جدول ۲ نشان می‌دهد که شاخص PVI با مدل رگرسیونی دوجمله‌ای با ضریب تبیین ۰/۵۴ تغییرات کربن آلی را تا حدود زیادی توجیه می‌کند. این در حالی است که مدل معکوس با ضریب تبیین ۰/۳۳ از دقت پائین‌تری برخوردار است. همچنین باند روشنایی تبدیل تسلدکپ نیز با مدل رگرسیونی دوجمله‌ای با ضریب تبیین ۰/۵۳ تغییرات کربن آلی خاک را نسبت به دو باند دیگر یعنی باند سبزیگی و رطوبت بهتر توجیه می‌کند. سایر مدل‌های خطی، لگاریتمی و سه‌جمله‌ای با مقدار ضریب تبیین کمتری کربن آلی خاک را پیش‌بینی می‌کنند.

در میان این شاخص‌ها، شاخص PVI با ضریب همبستگی ۰/۵۳ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۸، نسبت به شاخص‌های دیگر بیشترین همبستگی را با کربن آلی خاک نشان می‌دهد. همچنین هر سه باند روشنایی، رطوبت و سبزیگی حاصله از تبدیل تسلدکپ رابطه معنی‌داری با کربن آلی خاک دارند. در میان این باندها، باند روشنایی با ضریب همبستگی ۰/۶۳۷ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، نسبت به دو باند دیگر بیشترین همبستگی را دارد و بعد از آن باند سبزیگی با ضریب همبستگی ۰/۶۲۷ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، بیشترین همبستگی را با کربن آلی خاک نشان می‌دهد. در صورتی که باند رطوبت کمترین میزان همبستگی (ضریب همبستگی ۰/۵۳۵) را با کربن آلی خاک دارد.

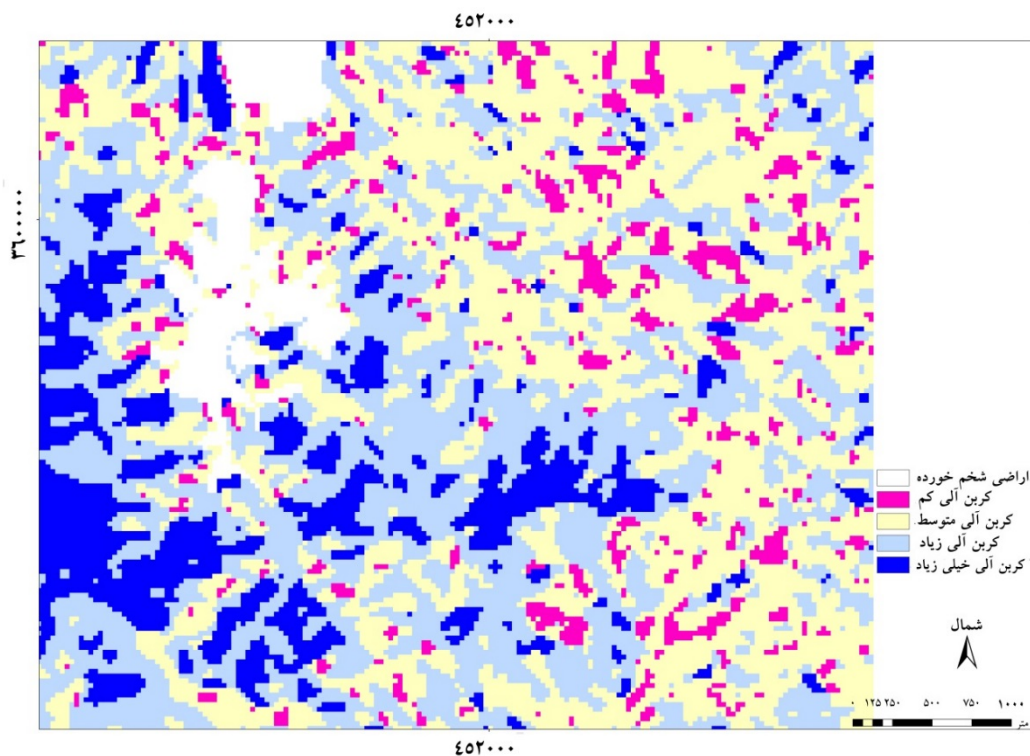
جدول ۲. نتایج حاصل از روابط رگرسیون خطی و غیرخطی بین کربن آلی با شاخص گیاهی PVI و باند روشنایی تبدیل تسلدکپ

روابط	شاخص گیاهی	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	S.E	سطح معنی‌داری	رابطه
خطی	PVI	۰/۶۱	۰/۴۸	۲/۰۷	۰/۰۰۱	Y=16.252-71.440(PVI)
	باند روشنایی	۰/۶۲	۰/۳۹	۲/۰۵	۰/۰۰۱	Y=34.205-56.155 (Bright)
معکوس	PVI	۰/۵۸	۰/۳۳	۲/۱۴	۰/۰۰۳	Y=11.962+1/PVI (.018)
	باند روشنایی	۰/۶۵	۰/۴۳	۱/۹۹	۰/۰۰	Y=-10.095+1/ Bright (8.684)
دوجمله‌ای	PVI	۰/۷۳	۰/۵۴	۱/۸	۰/۰۰	Y=19.641+-234.061 (PVI)+ 1592.683(PVI) ² Y=167.492-
	باند روشنایی	۰/۷۲	۰/۵۳	۱/۸	۰/۰۰۱	747.575(Bright)+891.839(Bright) ² Y=19.101-176.405(PVI)+176.342(PVI) ² +9493.978 (PVI) ³
سه‌جمله‌ای	PVI	۰/۷۲	۰/۵۳	۱/۸	۰/۰۰۱	Y=178.064-1710.575 (Bright)+ 437.85(Bright) ² -22.807(Bright)
	باند روشنایی	۰/۷۱	۰/۵۱	۱/۸	۰/۰۰۱	

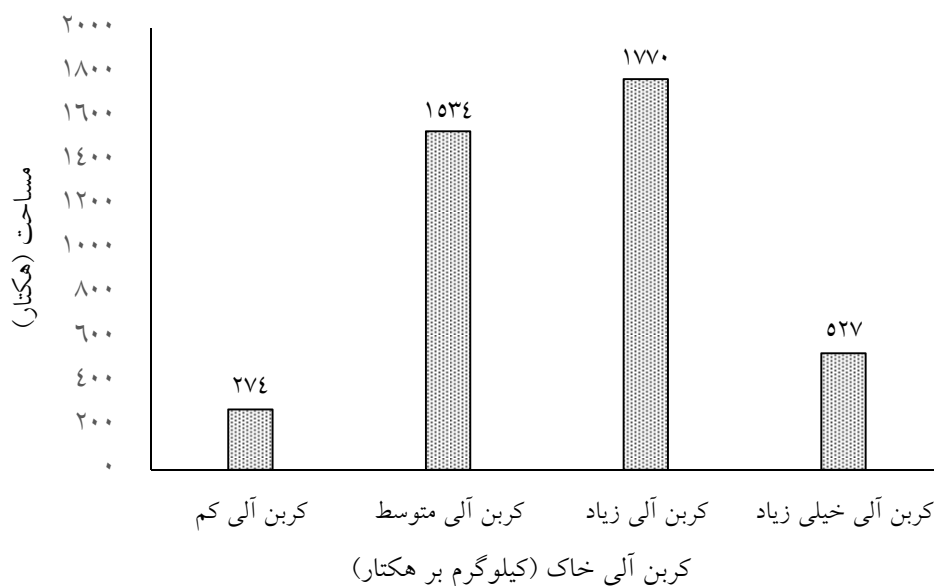
بالاترین طبقات کربن (کربن آلی زیاد) قرار گرفته است در صورتی که کمترین طبقات کربن آلی خاک (کربن آلی کم) فقط ۲۷۴ هکتار از کل منطقه را شامل می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). چنانچه در شکل ۲ یعنی کربن آلی خاک حاصل از شاخص گیاهی PVI مشاهده می‌شود، هر چه از قسمت‌های شمالی منطقه به سمت مرکز منطقه پیش می‌رویم، میزان کربن آلی افزایش می‌یابد. عمده مناطق دارای کربن آلی زیاد تا خیلی زیاد (رنگ‌های آبی کم‌رنگ و آبی پررنگ) در قسمت مرکزی

برای کربن آلی خاک با استفاده از شاخص گیاهی PVI چهار طبقه کربن شامل طبقه کربن آلی کم، طبقه کربن آلی متوسط، طبقه کربن آلی زیاد و طبقه کربن آلی خیلی زیاد مشخص شده است (شکل ۲). این طبقات بر اساس مقادیر برآورد شده حاصل از شاخص گیاهی PVI در منطقه مورد مطالعه بوده است. سپس به صورت هکتار مقایسات چهار طبقه نشان داده شده است (شکل ۳). بیشترین مساحت منطقه یعنی حدود ۱۷۷۰ هکتار از کل ۴۱۰۵ هکتاری منطقه در

تصویر و با فاصله‌ای از اراضی کشاورزی و مستثنایت (اراضی شخم‌خورده) منطقه مشاهده می‌شوند، این در حالی است که قسمت‌های شمالی و تا حدودی شمال شرقی منطقه دارای کربن آلی متوسط تا کم هستند (رنگ‌های زرد و قرمز).



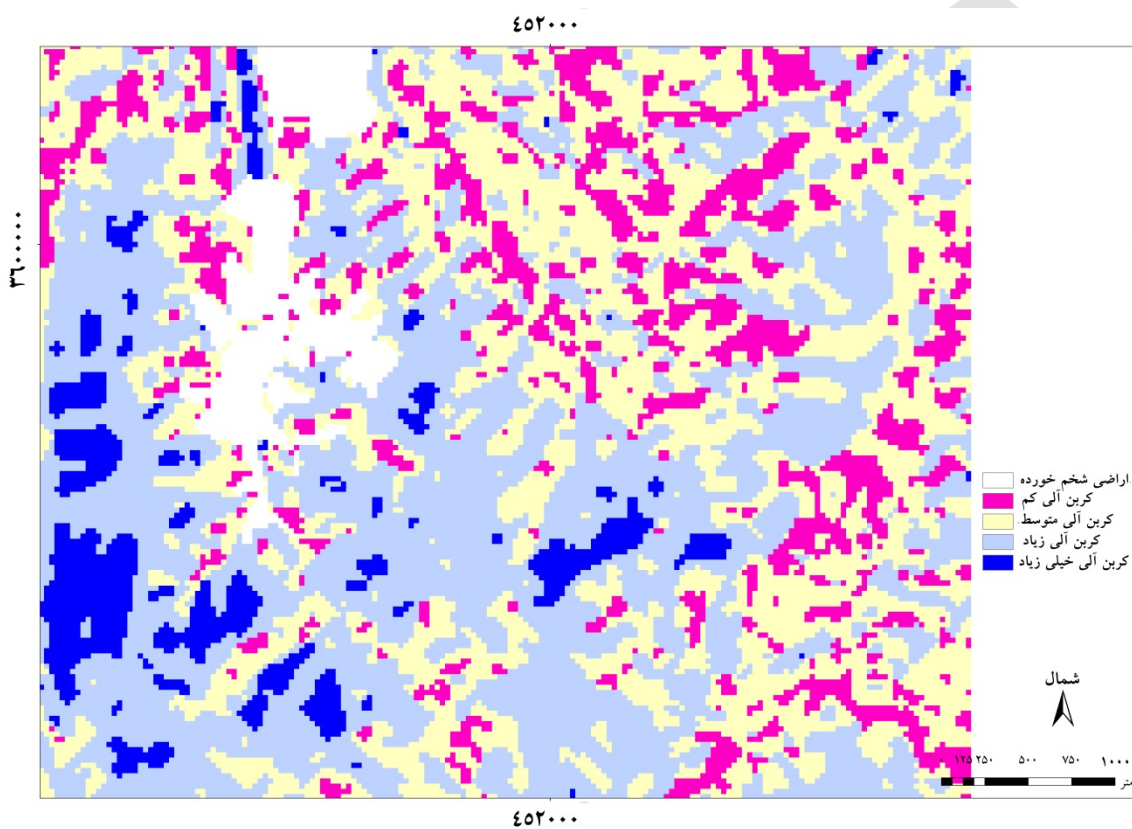
شکل ۲. نقشه حاصل از برازش مدل دوجمله‌ای برآورد کربن آلی خاک با استفاده از شاخص PVI



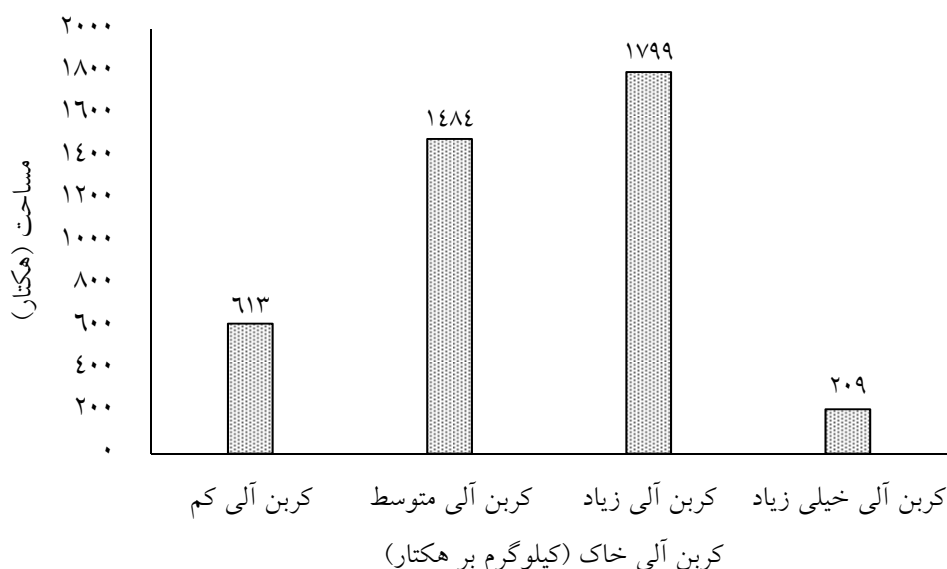
شکل ۳. نمودار کربن آلی خاک به دست آمده از نقشه مدل برازشی بین کربن خاک و شاخص گیاهی PVI

قابل مشاهده است، بیشترین مساحت منطقه یعنی حدود ۱۷۹۹ هکتار از کل ۴۱۰۵ هکتاری منطقه در بالاترین طبقات کربن یعنی کربن زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است در صورتی که پایین‌ترین طبقات تنوع یعنی کربن کم فقط ۶۱۳ هکتار از کل منطقه را شامل می‌شود. الگوی کلی طبقات کربن آلی خاک که از شاخص گیاهی PVI و باند روشنایی حاصل از تسلدکپ استخراج شده است تا حدود زیادی مشابه است (شکل‌های ۲ و ۴).

نقشه کربن آلی که از باند روشنایی حاصل از تبدیل تسلدکپ استخراج شده است (شکل ۴) نیز گویای آن است که در قسمت جنوب غربی و مرکزی منطقه بیشترین بازتاب کربن آلی وجود دارد (آبی کم‌رنگ و آبی پررنگ). این در حالی است که بخش‌های شمال و شمال شرقی منطقه کربن آلی کمتری را نشان می‌دهند (رنگ‌های زرد و قرمز). آمار حاصل از شکل ۴ که در چهار طبقه کربن آلی طبقه‌بندی گردیده است، در شکل ۵ مشخص شده است. چنانچه در این شکل



شکل ۴. نقشه حاصل از برازش مدل دو جمله‌ای برآورد کربن آلی خاک با استفاده از باند روشنایی تبدیل تسلدکپ



شکل ۵. نمودار کربن آلی خاک به دست آمده از نقشه مدل باندهای روشنایی تبدیل تسلدکپ

نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل

تبدیل تسلدکپ با بخشی از داده‌ها که به عنوان آزمون اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی در نظر گرفته شد، برای مقادیر کربن آلی خاک و کربن آلی اندازه‌گیری شده زمینی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P \geq 0/05$; جدول ۳).

برحسب نتایج حاصل از آزمون تی-جفتی (Paired Samples T-test) بین مقادیر کربن آلی برآورد شده توسط مدل رگرسیونی حاصل از شاخص PVI و باندهای روشنایی حاصل از

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون تی-جفتی بین مقادیر کربن آلی برآورد شده توسط مدل‌ها و مقادیر کربن آلی اندازه‌گیری شده

	t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
کربن آلی - PVI	۰/۵۲	۲۳	۰/۴۸
کربن آلی - باندهای روشنایی تسلدکپ	۱/۰۸	۲۳	۰/۶۱

بحث و نتیجه‌گیری

آشفته‌گی‌های طبیعی را کاهش دهد (۲۲). از آنجایی که تخریب مراتع باعث تغییرات و کاهش پوشش گیاهی منطقه می‌شود، ضمن افزایش رواناب و فرسایش شدید، مواد آلی و ذخایر کربن خاک را کاهش داده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تغییر در میزان و نوع پوشش گیاهی و بقایای آلی، سبب تغییر در کیفیت و کمیت کربن آلی ورودی به خاک را فراهم می‌کند (۲۳). با توجه به اینکه جمع‌آوری اطلاعات میدانی کربن آلی خاک معمولاً به صورت نقطه‌ای صورت می‌گیرد و از طرفی دیگر نیازمند هزینه و نیروی انسانی زیادی است (۱۸) لذا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این

کربن آلی خاک یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی کیفی خاک است. افزایش میزان کربن آلی خاک می‌تواند شرایط خاکی را به لحاظ تراکم خاک، سرعت نرخ نفوذپذیری در خاک و ذخیره نزولات جوی بهبود دهد. در مناطق نسبتاً خشک آب یکی از فاکتورهای مهم رشد گیاهان بوده و بیشتر تحت تأثیر مواد آلی و میزان کربن آلی خاک است. مدیریت کربن آلی خاک می‌تواند قابلیت بهره‌وری خاک و کیفیت زیست‌محیطی را ارتفاع داده و میزان خسارات ناشی از

تیبین ۰/۵۳) بهترین نتایج را نشان داده است. شاخص‌هایی چون PVI_1 ، PVI_2 ، PVI_3 ، DVI و $WDVI$ به‌طور خاص برای محاسبه اثر پس‌زمینه خاک توسعه یافته‌اند و در این تحقیق PVI ارتباط قوی‌تری با کربن آلی خاک با استفاده از باندهای ۳، ۴ و ۵ در ماهواره لندست ۸ دارد. نکته قابل توجه این است که در تهیه نقشه کربن آلی خاک با روش مدل‌های رگرسیونی در منطقه مورد مطالعه باند سه، مورد استفاده قرار گرفته است که این باند شدت بازتاب طول موج قرمز را نشان می‌دهد و بیشترین همبستگی را با کربن آلی خاک دارد که مطالعات عباس‌نژاد و خواجه‌الدین (۴)، آگبو و همکاران (۵) و باجوا و همکاران (۶)، کتس‌هیسا و همکاران (۱۴) نیز این نتایج را تأیید می‌نماید. از آنجاکه به‌جز شاخص $SAVI$ همه شاخص‌های گیاهی ارتباط معنی‌داری را با کربن آلی خاک نشان می‌دهند و با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود و پوشش انبوهی ندارد، دلیل آن را می‌توان کاهش بیوماس منطقه و اثرات زمینه‌ای خاک بر ارتباط بین کربن آلی خاک و شاخص‌های گیاهی دانست که در برخی از شاخص‌های جدیدتر مانند PVI اثرات زمینه‌ای خاک حذف شده و پوشش‌های کم و تنک و میزان تغییرات کربن آلی خاک را بهتر تخمین می‌زند.

در آنالیز تبدیل تسلدکپ نیز از میان سه باند روشنایی، رطوبت و سبزی‌نگی، باند روشنایی برای کربن آلی خاک (با ضریب تیبین ۰/۶۳-) بهترین نتیجه را داد. بعد از آن شاخص سبزی‌نگی (با ضریب تیبین ۰/۶۲) بهترین نتیجه را نشان داد. دلیل این امر و بالاتر بودن ارتباط بین باند حاصل از انجام تسلدکپ بر روی داده‌های ماهواره لندست ۸ و ارتباط آن با کربن آلی خاک در مقایسه با شاخص‌های گیاهی و حتی PVI که بهترین شاخص در این خصوص بوده است را شاید بتوان تا حدودی ناشی از این امر دانست که محاسبه مقادیر تسلدکپ از شش باند ماهواره (شامل باندهای ۷-۲) استفاده می‌شود و هر یک از سه باند حاصل از آن (روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت)، به‌نوعی خلاصه‌ای از شش باند فوق‌الذکر است. این در حالی است که شاخص‌های گیاهی فقط ترکیبی از دو باند

خصوص در صورت امکان برآورد کربن آلی خاک توسط تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند راهگشا باشد که هدف اصلی این تحقیق بررسی این موضوع است. این امر اطلاعات دقیقی از چگونگی بهره‌برداری و مدیریت‌های اعمال‌شده در سال‌های گذشته را در اختیار ما قرار می‌دهد. نگاهی به نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در بررسی‌های همبستگی بین ارزش‌های طیفی و باندهای تبدیل تسلدکپ با مقادیر کربن آلی خاک که در جدول ۱ نشان داده شده است، اغلب شاخص‌های گیاهی و باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ به‌خوبی قادرند که به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های مقادیر کربن آلی در سطح زمین مورد استفاده قرار گیرند. چراکه از بین ۲۰ شاخص گیاهی مطالعه شده در این تحقیق ۱۹ شاخص و در آنالیز تبدیل تسلدکپ نیز هر سه باند روشنایی، رطوبت و سبزی‌نگی به‌خوبی و در سطح معنی‌داری توانسته‌اند مقادیر کربن آلی را با همبستگی بالایی ($P \geq 0/05$) پیش‌بینی کنند و تنها شاخص گیاهی $SAVI$ نتوانسته به‌خوبی مقادیر کربن آلی را پیش‌بینی نماید. همبستگی مکانی دقیقی که بین نمونه‌های برداشت‌شده زمینی با ارزش‌های شاخص‌های گیاهی متناظرشان برقرار است گویای آن است که شاخص‌های گیاهی که نسبتی یا ترکیبی از باندهای مختلف هستند به‌خوبی بیانگر مقادیر کربن آلی خاک هستند. در بین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده که تنوعی از شاخص‌های نسبتی، ترکیبی و فاصله مینا وجود دارند، مشاهده می‌شوند که از هر سه گروه شاخص‌ها، رابطه معنی‌داری با مقادیر کربن آلی مشاهده می‌گردد. از آنجاکه اعتبار مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی‌کننده متغیر وابسته در مرحله نخست به معنی‌داری همبستگی بین داده‌های متغیر مستقل (پیش‌بینی‌کننده) و متغیر وابسته (پیش‌بینی شونده) است، لذا تا اینجا برحسب نتایج جدول ۱ می‌توان گفت که شاخص‌های گیاهی و باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ ارزیابی قابل قبولی را از مقادیر کربن آلی به دست می‌دهند. با توجه به قابلیت‌های ماهواره لندست ۸ (قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیت و قدرت تفکیک طیفی ۱۲ باند) چنین نتایجی کاملاً مورد انتظار است. شاخص گیاهی PVI برای کربن آلی خاک (با ضریب

قرمز و مادون قرمز که این باندها نیز در ترکیبات تسلدکپ حضور دارند، می‌باشند. به همین دلیل، کربن آلی خاک در شش باند در مقایسه با دو باند مذکور نمود بیشتری یافته و در نتیجه با باند روشنایی تسلدکپ که خود خلاصه‌ای از شش باند است، ارتباط بهتری را نشان می‌دهد. این امر خصوصاً در منطقه مورد مطالعه که در منطقه‌ای با دوره نسبتاً طولانی خشک همراه است (ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مهر، خرداد، تیر و مرداد، شهریور) و پوشش گیاهی نیز نسبتاً پراکنده و تنک است، مورد انتظار است که شاخص گیاهی روشنایی که بیشتر نمودی از خاک و آنچه در سطح آن قرار گرفته است (مواد لاشبرگ و کربن خاک) را بهتر از سایر شاخص‌های گیاهی و باندهای سبزی‌نگی و رطوبت حاصل از تسلدکپ را با کربن آلی خاک نشان دهد. نکته دیگر قابل ذکر از نتایج این است که پس از باند روشنایی باند سبزی‌نگی به‌عنوان بهترین پیشگو کننده میزان کربن آلی خاک است این امر را می‌توان ناشی از همجواری پوشش گیاهی سبز که عمدتاً در باند سبزی‌نگی نمود می‌یابد را با کربن آلی خاک که عمدتاً ناشی از ریزش شاخ و برگ در اثر خزان سالیانه و لاشبرگ تجزیه شده گیاهان است و معمولاً در مجاورت گیاهان نیز دفن می‌شوند، دانست. به همین دلیل است که ارتباط معنی دار ($R^2=0/627$) بین شاخص سبزی‌نگی با کربن آلی خاک مشاهده می‌گردد.

در روابط رگرسیونی بین مقادیر متغیر وابسته (مقادیر کربن آلی خاک در پهنه‌های زمینی که مجهول است) و متغیر مستقل (شاخص گیاهی و باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ) که در جدول ۲ نشان داده شده است قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه کربن آلی خاک در مراتع نیمه استپی کرسنک در استان چهارمحال و بختیاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این بررسی مدل‌های ساده خطی تک‌جمله‌ای، معکوس، دو جمله‌ای و سه جمله‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج گویای آن است که تمامی مدل‌های حاصله خطی ساده، دو جمله‌ای، سه جمله‌ای و مدل معکوس برای برآورد کربن آلی خاک رابطه معنی‌داری ($P \leq 0/05$) را نشان می‌دهند. با این وجود، از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل

دوجمله‌ای هم با باند روشنایی در تبدیل تسلدکپ (با ضریب تبیین معادل ۰/۷۲، خطای معیار میانگین ۱/۸، و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱) و در بین شاخص‌های گیاهی با شاخص PVI (با ضریب تبیین معادل ۰/۷۳ و خطای معیار میانگین ۱/۸ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰) برای نشان دادن مقادیر کربن آلی خاک بهترین نتیجه را در برداشت. سایر معادلات خطی و سه جمله‌ای و معکوس با اندکی دقت کمتر، میزان کربن آلی خاک را برآورد کرده‌اند. نهایتاً با توجه به نتایج فوق، از مدل دوجمله‌ای با شاخص PVI و باند روشنایی تبدیل تسلدکپ نقشه کربن آلی خاک به‌طور جداگانه برای هر کدام ساخته شد. کتس هیسا و همکاران (۱۴)، نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که از طریق روابط رگرسیونی و میزان بازتابش تصاویر ماهواره‌ای می‌توان نقشه کربن آلی سطحی زمین را تهیه نمود که با میزان کربن آلی ذخیره شده در لایه‌های عمقی خاک رابطه معنی‌داری دارد.

نقشه‌های حاصل از برازش مدل خطی برآورد کربن آلی خاک با استفاده از شاخص طیفی PVI و باند روشنایی حاصل از تبدیل تسلدکپ نشان می‌دهد که برای هر دو شاخص، چهار کلاس کربن آلی حاصل شده است که بیشترین مساحت منطقه در طبقات کربن زیاد قرار گرفته است. به طوری که از کل مساحت ۴۱۰۵ هکتاری منطقه مورد مطالعه، شاخص PVI مساحتی حدود ۱۷۷۰ هکتار و باند روشنایی مساحتی حدود ۱۷۹۹ هکتار را در طبقات کربن آلی زیاد نشان می‌دهند. علیرغم اینکه مقادیر این دو شاخص باهم تا حدودی متفاوت هستند ولی نتایج کلی و مناطقی که به‌عنوان مناطق با وضعیت کربن آلی نسبتاً زیاد تا کم را نشان می‌دهند، در هر دو نقشه الگوی پراکنش مکانی یکسانی را نشان می‌دهند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سنجش از دور چند طیفی خصوصاً با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ ابزار مناسبی برای برآورد کربن آلی خاک است. از آنجاکه نتایج اعتبار سنجی مدل‌های پیش‌بینی کننده میزان کربن آلی خاک بر مبنای شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای و باند روشنایی تبدیل تسلدکپ با مشاهدات زمینی تفاوت معنی‌داری ($P \geq 0/05$) را نشان نمی‌دهد، می‌توان

روشنایی تبدیل تسلدکپ برای برآورد کربن آلی و تغییرات آن در عرصه وسیع مراتع به دلیل امکان دسترسی آسان و در اختیار قرار دادن اطلاعات تکراری از یک منطقه در دوره‌های زمانی کوتاه توسط این سنجنده‌ها استفاده شود. بنابراین می‌توان بیان داشت، استفاده از دورسنجی، راهکاری مناسب جهت بازنگری در مدیریت‌های به کار گرفته شده و جلوگیری و کنترل تخریب خاک و پوشش گیاهی مراتع به‌ویژه ارزیابی کربن آلی خاک است که نتایج این تحقیق، نیز به‌نوعی بیانگر این موضوع و قابلیت این تصاویر در بیان میزان پراکنش مکانی کربن آلی خاک که عامل مهمی در کارکرد اکوسیستم‌های مرتعی است.

منابع مورد استفاده

1. اختری، د. و ا. اسدی می‌آبادی. ۱۳۹۵. تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تحلیل طیفی داده‌های سنجنده OLI و داده‌های میدانی (مطالعه موردی: جنوب دشت ملایر). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰۰-۸۷: (۲)۷.
2. پیشنماز احمدی، م.، م. ح. رضائی مقدم و ب. فیضی‌زاده. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: دلتای آجی چای). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹۶-۸۵: (۱)۸.
3. پیله‌ور شهری، ا. ر.، ش. ایوبی و ح. خادمی. ۱۳۸۹. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین (مطالعه موردی: منطقه ضرغام آباد سمیرم). نشریه آب و خاک. ۲۴(۶): ۱۱۵۱-۱۱۶۳.
4. عباس‌نژاد، ب. و س. ج. خواجه‌الدین. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر جنگل‌کاری شهری در مناطق خشک بر میزان کربن ترسیب شده در خاک با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷۵-۸۸: (۲)۵.
5. Agbu PA, Fehrenbacher DJ, Jansen IJ. 1990. Soil property relationships with SPOT satellite digital data in east central Illinois. Soil Science Society of America Journal, 54(3): 807-812.

به‌دقت پیش‌بینی متغیر وابسته که همان کربن آلی خاک است از شاخص‌های گیاهی و آنالیز تسلدکپ (متغیر مستقل) اعتماد نمود. مشاهدات عینی محققین در منطقه مورد مطالعه نیز گویای این واقعیت است که چنانچه در شکل‌های ۳ و ۵ مشاهده می‌گردد، میزان کربن آلی خاک در بخش‌های جنوب غربی منطقه و بخش‌های مرکزی و مراتع اطراف مناطق مستثنیات بیشتر است. حال آنکه در بخش شمالی به دلیل نزدیکی به روستا و سهل‌الوصول بودن منطقه از شدت چرای بیشتی برخوردار بوده و با کاهش میزان پوشش گیاهی و بیوماس منطقه، میزان کربن ترسیبی خاک نیز کاهش یافته است. بر اساس نتایج این تحقیق، برآورد کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های سنجنده لندست-۸ OLI، به دو روش محاسبه شاخص‌های گیاهی و تبدیل تسلدکپ نتایج رضایت بخشی را در پی داشت. برای شاخص‌های گیاهی نیز شاخص‌هایی که ضرایب خط خاک را در نظر می‌گیرند، نسبت به سایر شاخص‌ها از رابطه قوی‌تری با ترسیب کربن منطقه برخوردارند. لذا با توجه به یافته‌های این تحقیق و تحقیقات دیگر از جمله؛ محیمد و همکاران (۱۷) که در قسمت‌های جنوبی عراق انجام دادند، استفاده از مدل‌های همبستگی آماری حاصله از شاخص‌های طیفی تصاویر لندست (SAVI, EVI, MNLI, GDVI)، برای پیش‌بینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک را روشی موفق بیان کردند. چرایس و همکاران (۸) در تحقیقی از داده‌های تصاویر ۲۸ ساله ماهواره لندست در ۲۰۰۰ هکتار از مراتع بکار گرفتند و شاخص گیاهی EVI را بهترین شاخص جهت پیش‌بینی کربن آلی سطحی زمین از عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری معرفی کردند. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بالا بودن میانگین شاخص سطح برگ نشان‌دهنده بالا بودن کربن آلی خاک است و سنجش‌ازدور پوشش گیاهی می‌تواند در پیش‌بینی میزان کربن آلی خاک نقش مهمی داشته باشد. همچنین هنریکسون و کویسکس (۱۱)، همل و همکاران (۱۲)، دیمت و همکاران (۹)، عباس‌نژاد و خواجه‌الدین (۴)، جالیوس و همکاران (۱۳)، توصیه می‌شود از داده‌های سنجش‌ازدور و ترجیحاً شاخص‌هایی نظیر PVI و باند

6. Bajwa SG, Tian L, Bullock D, Sudduth K, Kitchen N, Palm H. 1998. Soil characterization in agricultural fields using hyperspectral image data. In: 2001 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, pp 1-8.
7. Bongiovanni MD, Lobartini JC. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136(3-4): 660-665.
8. Chris HW, Caughlin TT, Rifai SW, Boughton EH, Mack MC, Flory SL. 2017. Multi-decadal time series of remotely sensed vegetation improves prediction of soil carbon in a subtropical grassland. *Ecological Applications*, 27(5): 1646-1656.
9. Demattê JAM, Epiphanyo JCN, Formaggio AR. 2003. Influence of organic matter and iron oxides on the spectral reflectance of tropical soils. *Bragantia*, 62(3): 451-464.
10. Dinakaran J, Krishnayya N. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current Science*: 1144-1150.
11. Hendrickson O, Kubiseski T. 1991. Soil microbial activity at high levels of carbon monoxide. *Journal of environmental quality*, 20(3): 675-678.
12. Hummel J, Sudduth K, Hollinger S. 2001. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor. *Computers and electronics in agriculture*, 32(2): 149-165.
13. Julius SGG, Cerri CC, Herpin U, Bernoux M. 2011. Assessing soil carbon stocks under pastures through orbital remote sensing. *Scientia Agricola*, 68(5): 574-581.
14. Katsuhisa N, Yokobori J, Hongo C, Nagata O. 2011. Estimating soil carbon stocks in an upland area of Tokachi District, Hokkaido, Japan, by satellite remote sensing. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(2): 283-293.
15. López-Granados F, Jurado-Expósito M, Peña-Barragán JM, García-Torres L. 2005. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23(3): 279-289.
16. Muchena R. 2017. Estimating soil carbon stocks in a dry miombo ecosystem using remote sensing. *Chesa Forest Research Station*, 6: 2-6.
17. Muhaimeed SA, Auras MT. 2017. Using remote sensing and GIS techniques for predicting soil organic carbon in southern Iraq. *Global Symposium on Soil Organic Carbon*. 21-23 March, Rome, Italy, 1-5.
18. Podwojewski P, Poulénard J, Nguyet ML, De Rouw A, Pham QH, Tran DT. 2011. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, 87(2): 226-239.
19. Senthilkumar S, Kravchenko A, Robertson G. 2009. Topography influences management system effects on total soil carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 73(6): 2059-2067.
20. Simbahan GC, Dobermann A, Goovaerts P, Ping J, Haddix ML. 2006. Fine-resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. *Geoderma*, 132(3-4): 471-489.
21. Sørensen L, Dalsgaard S. 2005. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1): 159-167.
22. Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, Minasny B, McBratney AB, De Courcelles VdR, Singh K. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164: 80-99.
23. Sudheer TK, Saha SK, Kumar S. 2015. Prediction modeling and mapping of soil carbon content using artificial neural network, hyperspectral satellite data and field spectroscopy. *Advances in Remote Sensing*, 4(01): 63.
24. Wang B, Waters C, Orgill S, Cowie A, Clark A, Li Liu D, Simpson M, McGowen I, Sides T. 2018. Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. *Ecological Indicators*, 88: 425-438.
25. Winowiecki L, Vagen T-G, Massawe B, Jelinski NA, Lyamchai C, Sayula G, Msoka E. 2016. Landscape-scale variability of soil health indicators: effects of cultivation on soil organic carbon in the Usambara Mountains of Tanzania. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 105(3): 263-274.



Comparison vegetation indices and tasseled cap transformation for estimates of soil organic carbon using Landsat-8 OLI images in a semi-steppe rangelands

M. Aghababaie^{1*}, A. Ebrahimi², P. Tahmasebi³

1. PhD Student of Rangeland Sciences, Department of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University

2. Assoc. Prof. College of Range and Watershed Management, Department of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University

3. Assoc. Prof. College of Range and Watershed Management, Department of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 November 2017

Accepted 19 May 2018

Available online 21 November 2018

Keywords:

Soil organic carbon

Vegetation index

Tasseled cap transformation

Karsank area

ABSTRACT

In this research, the capability of Landsat-8 OLI data for generating a soil organic carbon (SOC) map is investigated in a semi-steppe rangeland of Chaharmahal-va- Bakhtiari province. To do so, in the June 2013 ground sampling was performed based on a systematic-random scheme in 24 sampling sites within each site 3 transects was established and along each transect 5 soil samples were chosen and collected from 0 to 20 cm depth and SOC content of the samples was measured. In order to compare, on ground sampled values of SOC with the corresponding and Landsat-8 OLI data (June 2013), vegetation indices and tasseled cap transformation bands were calculated and extracted from the study area. The values of vegetation indices and tasseled cap transformation bands (dependent variable) were regressed against organic carbon values (independent variable) at site level in SPSS software. Finally, the SOC map was drawn based on the best-fitted model between the independent and dependent variable. The results showed that amongst vegetation indices, PVI and Brightness band have the most significant correlation with SOC. Finally, the SOC maps of the study area were drawn by the quadratic linear regression after finding the best regression fit between SOC and vegetation index as well as the tasseled cap. The results of the validation test show that between vegetation indices the PVI index ($R=0.53$) and tasseled cap transformation bands ($R=0.63$) showed the highest correlation with soil organic carbon (SOC). Finally, by calculating the fitting of binary linear regression, organic carbon maps were prepared. The validation results of the model indicate that there is no significant difference between ground sampled SOC and extracted values of vegetation indices and tasseled cap. Therefore, the spectral data of the Landsat-8 satellite images (OLI) are a valuable source for determining the soil organic carbon changes in such areas.

* Corresponding author e-mail address: Aghababaei@stu.sku.ac.ir