



بررسی تأثیر جنگل کاری شهری در مناطق خشک بر میزان کربن ترسیب شده در خاک با استفاده از فناوری سنجش از دور

بهوش عباس نژاد^۱، سید جمال الدین خواجه الدین^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد مرتع داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱ مرداد ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۲ اسفند ۱۳۹۲

دسترسی اینترنتی: ۲۲ شهریور ۱۳۹۳

واژه‌های کلیدی:

ترسیب کربن خاک

جنگل کاری

سنجش از دور

کوئیک برد

چکیده

در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر جنگل کاری شهری در مناطق خشک کشور بر میزان کربن ترسیب شده در خاک از تصویر ماهواره Quick Bird استفاده گردید. در بازدیدهای میدانی نمونه‌های خاک از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری برداشت شده و میزان کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. ضمن بررسی ضرایب همبستگی بین باندها و شاخص‌های گیاهی با نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌های مکانی و بررسی داده‌ها با روش رگرسیون، بهترین مدل برازش شده جهت تهیه نقشه کربن ترسیب شده در خاک، به دست آمد. آنالیزهای صحت‌سنجی نشان می‌دهد که نقشه‌های تهیه شده از دقت و صحت بالایی برخوردار بوده و به خوبی واقعیت‌های زمینی را نشان می‌دهند. با بررسی نقشه‌ها تهیه شده مشخص گردید که جنگل کاری در اراضی بایر منطقه خشک اصفهان سبب افزایش ترسیب کربن در خاک شده است. همچنین میزان ترسیب کربن در لایه‌های سطحی خاک بسیار زیادتر بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. میزان ترسیب کربن خاک بسته به نوع گونه‌های کاشته شده متفاوت است و ترسیب کربن خاک در مناطقی که گونه‌های سوزنی‌برگ کشت شده‌اند، بیشتر از مناطق پهن‌برگ است.

مقدمه

سوزنی‌برگان باعث افزایش کربن در هر دو افق آلی و معدنی خاک می‌شوند.

بر اساس گزارش IPCC (۱۸) جنگل‌کاری در زمین‌های مخروطی و مدیریت بهتر آن‌ها می‌تواند ذخیره کربن آلی خاک را از طریق ترسیب کربن افزایش دهد. در سطح جهانی و در یک هکتار زمین جنگل‌کاری شده به طور متوسط ۵۰ تا ۱۲۰ تن کربن در بیومس بالای زمین ذخیره می‌شود توسعه جنگل‌کاری در زمین‌های بایر به عنوان روشی برای کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفری پیشنهاد شده است. استیونس و وسمیل (۳۵) تأثیر جنگل‌کاری و جنگل‌زدایی بر تغییرات کربن آلی خاک را در منطقه‌ای از بلژیک در طول یک و نیم قرن (۲۰۰۵ - ۱۸۶۸) مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که پس از کاهش جزئی اولیه کربن در طول سال‌های ۱۸۸۸ - ۱۸۶۸ به دلیل جنگل‌زدایی برای استفاده کشاورزی، میانگین کربن آلی خاک به طور پیوسته از سال ۱۹۹۰ به دلیل تبدیل جنگل‌های خزان‌کننده به جنگل‌های سوزنی‌برگ (در منطقه مورد مطالعه جنگل‌های خزان‌کننده کربن کمتری نسبت به جنگل‌های سوزنی‌برگ ذخیره می‌کنند) و احیای زمین‌های بایر افزایش یافت. سرانجام ذخیره کربن آلی خاک در اثر کاهش ترسیب جنگل‌های سوزنی‌برگ و برگرداندن مقداری از جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ به پهن‌برگ کاهش یافته است.

دیناکاران و کریشنایا (۱۲) 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 درختی خیلی بالا بود که این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای ذخیره کربن آن‌هاست. تفاوت پوشش گیاهی نه‌تنها در مقدار کربن آلی لایه سطحی خاک، بلکه در لایه‌های پایین‌تر نیز تأثیر گذاشته بود و تغییر کاربری اراضی پتانسیل ترسیب کربن خاک را به شدت کاهش داده بود. به هر حال گزارش‌های مختلف در خصوص تأثیر جنگل‌کاری در افزایش کربن آلی خاک متناقض هستند؛ برخی محققان در مطالعات نشان دادند که جنگل‌کاری در حقیقت ذخیره کل کربن آلی خاک را کاهش می‌دهد (۲۷ و ۳۶). درحالی‌که مطالعات دیگر هیچ‌گونه تغییری را نشان ندادند همچنین افزایش قابل توجه

در حال حاضر افزایش تدریجی میانگین گاز دی‌اکسید کربن در اتمسفر جای نگرانی دارد، چراکه موجب افزایش گرمای زمین، تشدید پدیده گلخانه‌ای، نابودی جنگل‌های استوایی، افزایش فعالیت‌های میکروبیولوژی خاک، ذوب شدن یخ‌های قطبی و متعاقب آن بالا رفتن سطح آب دریاها می‌گردد (۸). تغییر اقلیم تأثیر اساسی بر خصوصیات و فرآیندهای خاک از جمله ذخیره کربن آلی خاک دارد. میزان ماده‌آلی که عمدتاً به عنوان یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت خاک در مباحث زیست محیطی و کشاورزی در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه تغییرات اقلیمی و افزایش درجه حرارت جهانی کاهش می‌یابد (۱۹). کربن در بخش‌های مختلف اکوسیستم خاکی ذخیره می‌شود. که مهم‌ترین آن‌ها خاک می‌باشد. خاک جنگل‌ها با ذخیره کردن حدود ۷۰۰ میلیارد تن کربن در سال، بزرگ‌ترین مخزن ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی جهان محسوب می‌شود (۲۳). بخش بزرگی از کل ذخیره کربن آلی خاک، در خاک‌های توندرا، نیمه توندرا و تایگا انباشته شده است (۳۱). جنگل‌زدایی‌های پیاپی سبب کاهش چشم‌گیر ظرفیت ذخیره کربن آلی خاک، به میزان سالیانه ۲۱۲ میلیون تن کربن شده است. خاک‌ها ضمن حفظ تعادل با اکوسیستم جنگل، حاوی تراکم بالایی از کربن می‌باشند. تغییر کاربری اراضی به خصوص تبدیل جنگل به اکوسیستم کشاورزی، ذخیره کربن خاک را کاهش می‌دهد (۲۲).

بقایای گیاهی از مهم‌ترین اشکال ورود مواد آلی به خاک هستند: شامل برگ، شاخه، ریشه‌ها و ترشحات ریشه‌ای می‌شوند. بقایای گیاهی در جنگل‌های بارانی استوایی ۱۱ تن در هکتار در سال، در جنگل‌های گرمسیری ۶ تن در هکتار در سال، در علفزارهای گرمسیری ۳ تن و در بیابان‌ها کمتر از ۰/۰۵ تن در هکتار در سال، ماده‌آلی وارد خاک می‌کنند. محصول نهایی تمامی تجزیه‌های میکروبی مواد آلی خاک، دی‌اکسیدکربن است (۱۵).

تحقیقات کانل و دوار (۹) در جنگل‌های اسکاتلند نشان داد که ترکیب گونه‌های سوزنی‌برگان موجب افزایش تراکم لاشبرگ سطح خاک شده و به عبارت دیگر تنها کربن مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد در حالی‌که ترکیب پهن‌برگان و

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی $51^{\circ}26'47''$ و $51^{\circ}28'24''$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ}35'32''$ و $32^{\circ}38'24''$ در شمال غربی شهر اصفهان در ارتفاع متوسط از سطح دریای ۱۶۲۶ متر واقع شده است و دارای مساحتی برابر با ۲۲۷۰ هکتار می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه $122/8$ میلی‌متر و عمده بارش‌ها به صورت باران می‌باشد که در فصول پائیز و زمستان انجام می‌گیرد، میانگین دمای سالانه $16/2$ درجه سلسیوس، و اقلیم منطقه بر اساس شاخص دومارتن، خشک و بیابانی طبقه‌بندی می‌گردد.

خاک‌های منطقه، عمدتاً در دو رده Entisols و Aridisols و گروه‌های بزرگ Calcigypsis، Torriorthents، Haplocalcids قرار می‌گیرند. بافت خاک منطقه مورد مطالعه شنی لومی (LS) با جرم مخصوص ظاهری $1/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین pH $8/7$ و متوسط هدایت الکتریکی (EC) خاک $1/07$ دسی زیمنس بر متر می‌باشد.

پوشش گیاهی منطقه بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را مراتعی با تاج پوشش ضعیف و پراکنده تشکیل می‌دهد که $286/18$ هکتار از آن با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ درخت‌کاری شده است.

جمع‌آوری داده‌های صحرائی

در این مطالعه قبل از مراجعه به منطقه مطالعاتی، جهت جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز پوشش گیاهی و خاک، اقدامات ستادی صورت گرفت. که از آن جمله تصویر ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی منطقه در مقیاس $1:25000$ تهیه گردید. همچنین تعداد ۲ پنج‌مارک از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد. با استفاده از نقشه مذکور، تصویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی دید کلی از وضعیت پوشش گیاهی و عوارض منطقه بدست آمد. شناخت اولیه که با اولین بازدید صحرائی حاصل شد، شناسایی عوارض مختلف منطقه، جاده‌ها و دیگر مشخصات کلی منطقه جمع‌آوری گردید. از آنجایی که تصویر ماهواره‌ای در تاریخ $3/8/85$ اخذ شده بود، زمان مراجعه به منطقه و نمونه برداری‌ها نیز، تاریخ ۱۲ مهر تا ۱۸ آبان انتخاب شد. نمونه برداری به روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده

کربن آلی خاک نیز در برخی مطالعات اثبات شده است. به دلیل این تناقضات، بسیاری از مطالعات نیازمند ارزیابی پتانسیل واقعی ذخیره کربن آلی خاک توسط جنگل‌کاری‌های صورت گرفته در زمین‌های متروکه می‌باشد (۶ و ۱۴).

استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای با توجه به خصوصیاتی از قبیل دید وسیع و یکپارچه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال و تنوع اشکال داده‌ها، امکان بکارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای ویژه رایانه‌ای در سطح دنیا با استقبال زیادی روبرو شده است و به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی، اکتشاف، نظارت، کنترل و مدیریت منابع آب و خاک، جنگل و مرتع، کشاورزی و محیط زیست به کار گرفته شده و به مرور زمان بر دامنه وسعت کاربری آن افزوده گردیده است. با پیشرفت فناوری سنجنده‌ها، امروزه سنجش از دور طیف بسیار وسیعی از کاربردها را پیدا کرده است (۴). ماده‌آلی نقش مهمی در فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی خاک و همچنین اثر قابل توجهی روی ناحیه طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک NIR، مادون قرمز موج کوتاه SWIR دارد (۴ و ۷).

مونتگومری (۲۶) طی مطالعات خود به وجود یک رابطه منفی قوی بین کربن و بازتاب طیفی در ناحیه مادون قرمز نزدیک $0/9 - 0/67$ میکرومتر در خاک‌های ورتی‌سول منطقه آلاباما پی بردند.

با توجه به کمی بودن داده‌های سنجش از دور و همچنین وجود روابط رگرسیونی بین شاخص‌های مرتبط با میزان کربن آلی خاک بدست آمده از سنجش از دور با مقادیر اندازه‌گیری کربن آلی در آزمایشگاه می‌تواند سرعت و دقت تهیه نقشه‌های کمی کربن آلی خاک را افزایش دهد (۱۷).

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر جنگل‌کاری بر میزان ترسیب کربن خاک در مناطق خشک انجام گرفت. همچنین برای نیل به این هدف از فناوری سنجش از دور و سنجنده کوئیک برد استفاده شد تا کارآمد بودن این فناوری در مطالعات ترسیب کربن بررسی شود.

پردازش تصاویر

تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه توسط ماهواره Quick Bird اخذ شده است. این ماهواره دارای قدرت تفکیک ۰/۶۱ متر با سنجنده Pan و ۲/۴۴ متر با سنجنده MS می‌باشد که از لحاظ قدرت تفکیک زمینی یکی از پر قدرت‌ترین ماهواره تجاری می‌باشد.

تصحیح تصویر در این تحقیق از روش Haze removal جهت انجام تصحیحات اتمسفری استفاده شد. حین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که باید مد نظر قرار گیرد تصحیح هندسی یا ثبت داده‌های ماهواره‌ای به نقشه و واقعیت زمینی است. در این مطالعه تصویر ماهواره‌ای موجود از پیش ژئو کد شده بود و صحت آن به وسیله GPS و نقاط پنج مارک، طی مطالعات صحرایی تأیید شد (۴).

بارزسازی تصویر برای بارزسازی پدیده‌های مختلف از روش‌های افزایش کنتراست، فیلتر کردن و آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA، استفاده شد (۴). با استفاده از آنالیز PCA، چهار مؤلفه به دست آمد و میزان همبستگی این مؤلفه‌ها با میزان کربن ترسیب شده در خاک و پوشش گیاهی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی گردید.

استخراج اطلاعات رقومی جهت استخراج اطلاعات رقومی از مؤلفه‌ها، ابتدا مختصات نقاط GPS که طی بررسی میدانی در دستگاه ثبت شده بودند، بر روی تصویر تعیین گردید. سپس برای این نقاط ارزش رقومی پیکسل‌ها استخراج شد. این مرحله روی تمامی باندها و شاخص‌ها اعمال شد.

آنالیز آماری و انتخاب باند و شاخص مناسب پس از تهیه داده‌های میدانی، آنالیز تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. برای تعیین باند یا شاخص مناسب در تولید نقشه‌های موضوعی مختلف همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده میدانی و آزمایشگاهی با داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌ها بررسی شد. داده‌های زمینی و آزمایشگاهی به عنوان متغیرهای وابسته و اطلاعات رقومی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌ها به عنوان متغیرهای مستقل در آنالیزها معرفی شدند.

با استفاده از روش‌های رگرسیونی ساده، چند متغیره خطی و غیر خطی، روابط بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. که داده‌های زمینی و رقومی نقاطی که دارای

اجرا گردید. به طوری که ابتدا مناطق همگن، با توجه به پوشش گیاهی، خصوصیات سطحی خاک، نوع کاربری اراضی و ... در صحرا تعیین گردید. سپس در منطقه همگن، به طور تصادفی نقاط نمونه‌برداری شدند (۲۰).

جمع‌آوری داده‌های خاک برداشت نمونه‌های خاک پس از کنار زدن لایه لاشبرگ انجام گرفت، میزان کربن آلی خاک در اعماق بیش از ۳۰ سانتیمتری بسیار ناچیز بوده و افزایش معنی‌داری ندارد لذا نمونه برداری مرکب از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر برداشت شد، هر نمونه حمل شده به آزمایشگاه مخلوطی از ۹ نمونه است که از هر عمق در هر نقطه جمع‌آوری گردید. به این صورت که در هر نقطه ۹ نمونه خاک از sub-plotها در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر برداشت و پس از مخلوط کردن ۱ نمونه خاک به وزن تقریبی ۱ کیلوگرم داخل کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه آب و خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل گردید. در آزمایشگاه ابتدا وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد (۳۰).

اندازه‌گیری کربن خاک

آماده سازی خاک نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک گردید و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها و جدا نمودن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، آسیاب و از الک ۲ میلیمتری (مش ۲۰) عبور داده شد و مقدار سنگ و سنگ‌ریزه آن‌ها توزین و به صورت درصد محاسبه گردید.

میزان کربن خاک برای تعیین درصد کربن آلی خاک، از روش والکی‌بلک استفاده گردید.

$$OC(\%) = \frac{OC \times Bd \times E}{10000} \quad [1]$$

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

زمینی و تصاویر رنگی کاذب، نقشه‌های توپوگرافی موجود استفاده گردید. از روش حداکثر احتمال استفاده گردید.

ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های تولیدی بررسی دقت نقشه‌های تولیدی با بازدید از کل منطقه به عمل آمد. برای نقشه کاربری اراضی نقاط تصادفی انتخاب شد و با استفاده از GPS مختصات آن تعیین و موقعیت محل مشخص شد. این محل‌های کنترل به پیکسل‌های صحیح و غلط گروه‌بندی شد و بر روی نقشه‌های مورد نظر بررسی گردید. ضریب کاپا، صحت کاربر و صحت تولید کننده ب رای هریک از طبقات به طور جداگانه و صحت کلی و ضریب کاپای کلی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad [2]$$

که در آن P_o درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار می‌باشند (۳۳).

نتایج

نتایج به دست آمده از آنالیزهای خاک و پوشش گیاهی در هر کاربری اراضی در جدول ۱ آورده شده است. منظور از SOC_1 کربن ترسیب شده در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر، SOC_2 کربن ترسیب شده در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر، $TSOC$ کل کربن ترسیب شده در خاک عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، به ترتیب کاربری‌های جنگل و درخت‌زار بیشترین میزان ترسیب کربن در خاک و پوشش گیاهی را داشته‌اند. در جدول ۲ لیست گونه‌های غالب هریک از کاربری‌های جنگل، مرتع و درخت‌زار آورده شده است.

مختصات جغرافیایی یکسانی هستند با بررسی ضریب همبستگی به عمل آمد. سپس با معرفی متغیرهای وابسته مانند میزان درصد پوشش گیاهی و میزان کربن اعماق مختلف خاک به نرم‌افزار، ارتباط آن‌ها با باندها، مؤلفه‌های آنالیز PCA و شاخص‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های مختلف رگرسیونی نظیر رگرسیون پیش‌رونده، پس‌رونده، گام به گام و داخلی به کار گرفته شد و مدل‌های مختلف بر روی داده‌ها برازش گردید تا در نهایت بهترین مدل با توجه به ضریب همبستگی متغیرها و سایر پارامترهای آماری جدول تجزیه واریانس و مدل رگرسیون، انتخاب شدند. با بررسی معنی‌دار بودن مدل رگرسیون و ضرایب مدل رگرسیونی از بین مدل‌های ارایه شده، مدلی که دارای R^2 و R^2 تعدیل شده بالایی بودند، انتخاب گردیدند.

تهیه نقشه پایه پس از تعیین مدل مناسب با استفاده از باندها و شاخص‌ها، مدل بر روی تصاویر اعمال گردید. در مراحل بعد با استفاده از تکنیک‌های گروه‌بندی مجدد و تفکیک تاری، طبقه‌بندی گروه‌های مختلف اجرا گردید و نقشه‌های پایه تولید شدند. در گروه‌بندی مجدد با توجه به پراکنش و دامنه داده‌ها که از هیستوگرام داده‌ها قابل استخراج است، داده‌ها به طبقات مختلف گروه‌بندی و سپس با اختصاص رنگ به هر یک از طبقات، تفکیک تاری انجام شد.

طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای در این مطالعه از طبقه‌بندی نظارت شده به منظور تفسیر رقومی داده‌های ماهواره‌ای، استفاده شد. جهت انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده بر روی تصویر نمونه‌های تعلیمی مناسب انتخاب شد تا نماینده کاملی از پوشش اراضی مختلف باشد. برای این انتخاب، از اطلاعات

جدول ۱. میانگین میزان ترسیب کربن در خاک هر کاربری (kg/t)

نوع کاربری	SOC_1	SOC_2	$TSOC$
درخت‌زار	۳۷/۸۰	۲۰/۷۱	۵۸/۵۱
جنگل	۵۸/۸۸	۲۸/۷۱	۸۷/۵۹
مرتع	۱۳/۲۵	۶/۲۸	۱۹/۵۳

جدول ۲. لیست گونه‌های غالب هر کاربری اراضی

نام فارسی	نام علمی	نوع کاربری
پرنده	<i>Pteropyrum aucheri</i>	مرتع
علف شور	<i>Salsola spp</i>	
باد غلطانک	<i>Launaea acanthodes</i>	
اقاقیا	<i>Robinia psuedoacacia</i>	درخت‌زار
توت	<i>Morus alba</i>	
سنجد	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	
انار	<i>Punica granatum</i>	
زبان گنجشک	<i>Fraxinus</i>	
زیتون	<i>Olea europea</i>	
سرو خمره‌ای	<i>Platyclusus orientalis</i>	جنگل
سرو	<i>Cupressus sempervirens</i>	
کاج تهران	<i>Pinus eldarica</i>	

در کاربری جنگل، گونه‌های گیاهی کشت شده عمدتاً از سوزنی‌برگان هستند در حالی که گونه‌های کشت شده در کاربری درخت‌زار اکثراً از پهن‌برگان خزان‌کننده می‌باشند.

جدول ۳. ضرایب همبستگی مدل میزان کربن آلی خاک

مدل	R	R ^۲	تعدیل شده R ^۲	خطای استاندارد
۱	۰/۹۲۸	۰/۸۶۱	۰/۸۶۰	۰/۲۱۳

آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که فرض H_0 در آزمون معنی‌داری مدل رگرسیون در سطح ۹۹ درصد رد می‌شود و مدل به دست آمده معنی‌دار می‌باشد. بدین معنا که با مدل به دست آمده می‌توان رابطه مناسبی بین میزان کربن آلی خاک سطحی و ویژگی‌های طیفی خاک در باند ۳ و باند ۱، شاخص NDVI، مؤلفه ۳ و مؤلفه ۱ تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده برقرار کرد (جدول ۴).

نقشه کربن آلی خاک سطحی جهت انتخاب پارامترهایی که با میزان کربن آلی خاک سطحی همبستگی بالایی داشته و تغییرات آن را نشان دهد، از نتایج بررسی‌های میدانی و آنالیزهای آزمایشگاهی استفاده شده که به عنوان متغیر وابسته و باندهای اصلی تصویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی و چهار مؤلفه‌های آنالیز PCA به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. با استفاده از روش‌های رگرسیونی و همچنین برقرار بودن فرض‌های رگرسیون، براساس ضرایب همبستگی و همچنین R^2 و R^2 تعدیل شده، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد (جدول ۳).

جدول ۴. آنالیز واریانس مدل میزان کربن آلی سطحی خاک

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۳۲۲۹۴/۲۳	۵	۶۴۵۸/۸۴	۱۸۶ ۱۲۵	۰/۰۰**
باقیمانده	۴۸۷۵/۰۷	۹۵	۵۱/۳۱		
کل	۳۷۱۶۹/۳۰	۱۰۰			

جدول ۵ اعتبار ضرایب رگرسیونی را نشان می‌دهد که ضرایب به کار رفته در مدل، در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد و این نیز نشان دهنده مناسب بودن مدل انتخابی با ضریب تبیین ۸۶ درصد و رابطه آن با میزان کربن آلی خاک سطحی است. مدل به دست آمده با متغیرهای مستقل انتخاب شده در رابطه ۳ محاسبه شد و تصویری از میزان کربن آلی خاک سطحی تهیه شد. سپس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی مجدد، نقشه‌ای در شش طبقه از میزان کربن آلی خاک سطحی تهیه گردید (شکل ۱). آزمون صحت نقشه تولید شده نیز انجام شد؛ که نقشه تولیدی دارای صحت کلی ۸۷/۴ درصد و کاپای کلی ۰/۸۸ می‌باشد (جدول ۶).

نتایج این آنالیز نشان می‌دهند، بهترین مدل جهت برآورد میزان کربن آلی خاک سطحی رابطه ۳ است.

$$SOC = 10.4/368 - (0.136 B_1) - (0.062 B_2) + [3] \\ (43/169 NDVI) + (0.23 PCA_1) + (0.911 PCA_3)$$

در این رابطه؛ SOC مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر، B_۲ باند سنجنده در طول موج قرمز، B_۱ باند سنجنده در طول موج آبی، NDVI شاخص گیاهی، PCA_۱ مؤلفه‌ی اصلی ۱، PCA_۳ مؤلفه اصلی ۳.

جدول ۵. آنالیز رگرسیونی مدل میزان کربن آلی خاک سطحی (۰-۱۵cm)

مدل	ضرایب ثابت	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده	t	سطح معنی داری
	B	Std. Error	Beta		
	Constant	۳۶۸ ۱۰.۴	۹/۹۷۴	-	۱۰/۴۶۴ ۰/۰۰**
۱	B _۱	-۰/۱۳۶	۰/۰۷۳	-۰/۴۲۴	-۱/۸۵۹ ۰/۰۶۶**
	B _۲	-۰/۰۶۲	۰/۰۷۱	-۰/۳۶۸	-۰/۸۷۱ ۰/۳۸۶**
	NDVI	۴۳/۱۶۹	۳۰/۹۰۸	۰/۲۲۵	۱/۳۹۱ ۰/۱۶۶**
	Com _۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۲۰۵	۱/۱۲۴ ۰/۲۶۴**
	Com _۲	۰/۱۴۱	۰/۱۲۳	۰/۱۷۷	۱/۱۵۰ ۰/۲۵۳**

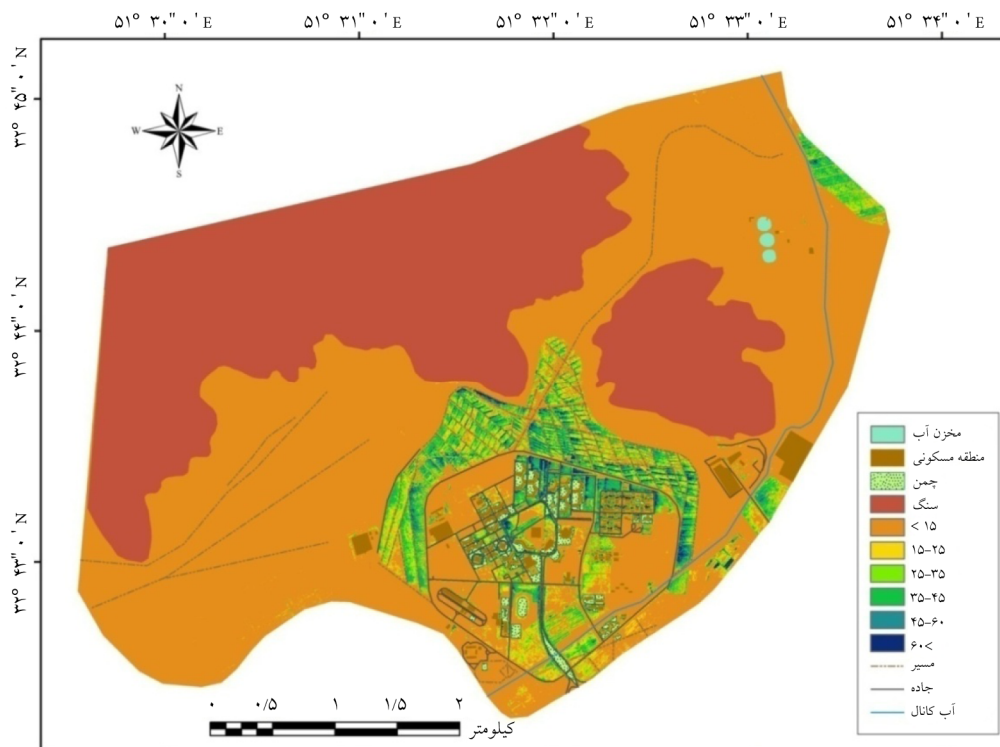
** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد.

جدول ۶. آزمون صحت نقشه کربن آلی خاک سطحی

ضریب کاپا	صحت کاربر	مجموع پیکسل‌ها	> ۶۰	۶۰ - ۴۵	۴۵ - ۳۵	۳۵ - ۲۵	۲۵ - ۱۵	< ۱۵	طبقات
۰/۹۴	۹۴/۲۰	۱۰۰۱	۰	۰	۰	۱۱	۵۸	۹۳۲	< ۱۵
۰/۸۳	۸۳/۲۲	۴۷۷	۰	۰	۳	۱۹	۳۹۴	۶۱	۱۵ - ۲۵
۰/۸۲	۸۲/۶۲	۲۱۳	۰	۳	۱۳	۱۷۳	۱۷	۷	۲۵ - ۳۵
۰/۸۱	۸۱/۵۳	۱۳۰	۶	۷	۱۰۳	۶	۵	۳	۳۵ - ۴۵
۰/۸۲	۸۱/۹۰	۱۰۵	۹	۸۴	۷	۳	۲	۰	۴۵ - ۶۰
۰/۸۶	۸۶/۴۸	۷۴	۶۲	۸	۲	۲	۰	۰	> ۶۰
		۲۰۰۰	۷۷	۱۰۲	۱۲۸	۲۱۴	۴۷۶	۱۰۰۳	مجموع پیکسل‌ها
			۸۰/۵۲	۸۲/۳۵	۸۰/۴۶	۸۰/۸۴	۸۲/۷۷	۹۲/۹۲	صحت تولید کننده

کاپای کلی = ۰/۸۸

صحت کلی = ۸۷/۴۰ درصد



شکل ۱. نقشه مقدار کربن آلی خاک سطحی

درصد می‌باشد. مدل میزان کربن آلی خاک در رابطه ۴ آورده شده است.

[۴]

$$SOC = 46.248 - (0.07 B_3) + (0.22 B_4) + (0.27 PCA_3)$$

که در این رابطه، SOC مقدار کربن آلی خاک در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر، B_3 باند سنجنده در طول موج قرمز، B_4 باند سنجنده در طول موج مادون قرمز و PCA_3 مؤلفه اصلی ۳ می‌باشد.

آنالیز واریانس نشان می‌دهد که فرض H_0 در آزمون معنی‌داری مدل رگرسیون در سطح ۹۹٪ رد می‌شود و مدل بدست آمده معنی‌دار می‌باشد. بدین مفهوم که با مدل به دست آمده می‌توان رابطه‌ای را بین میزان کربن آلی خاک عمقی و ویژگی‌های طیفی خاک در باند ۳، باند ۴ و مؤلفه اصلی ۳ به دست آورد (جدول ۸).

نقشه کربن آلی خاک عمقی جهت انتخاب پارامترهایی که با میزان کربن آلی خاک همبستگی بالایی داشته باشد، در آنالیز رگرسیون چند متغیره میزان کربن آلی خاک عمقی (۱۵-۳۰ cm) از داده‌های عملیات میدانی و آنالیزهای آزمایشگاهی به عنوان متغیر وابسته و باندهای اصلی تصویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی و مؤلفه‌های اصلی آنالیز PCA به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. با استفاده از روش‌های رگرسیونی و همچنین برقرار بودن فرض‌های رگرسیون، براساس ضرایب همبستگی و همچنین R^2 و R^2 تعدیل شده، مناسب‌ترین مدل جهت برآورد کربن آلی خاک عمق (۱۵-۳۰ cm) انتخاب شد (جدول ۷).

براساس آنالیزهای انجام شده باند ۳، باند ۴ و مؤلفه ۳ تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، بیشترین همبستگی را با میزان کربن آلی خاک عمق دارد. ضریب تبیین این مدل ۶۱

جدول ۷. ضرایب همبستگی مدل میزان کربن آلی خاک عمقی

مدل	R	R^2	تعدیل شده R^2	خطای استاندارد
۱	۰/۷۹۰	۰/۶۲۴	۰/۶۱۲	۶/۷۳۹۶

جدول ۸. آنالیز واریانس مدل میزان کربن آلی لایه عمقی خاک

سطح معنی داری	آماره F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مدل
۰/۰۰**	۵۳/۶۵	۲۴۷۶/۰۸	۳	۷۴۲۸/۲۴	رگرسیون
		۴۶/۱۴	۹۷	۴۴۷۶/۰۸	باقیمانده
			۱۰۰	۱۱۹۰۴/۳۲	کل

تکنیک‌های طبقه‌بندی مجدد، نقشه در شش طبقه میزان کربن آلی خاک عمقی تهیه شد (شکل ۲). آزمون صحت نقشه تولید شده نیز انجام شد که نقشه تولیدی دارای صحت کلی ۷۳/۳ درصد و کاپای کلی ۰/۶۱ می‌باشد (جدول ۱۰).

توجه به جدول ۹ اعتبار ضرایب رگرسیونی نشان می‌دهد که ضرایب مدل، در سطح ۹۹٪ معنی دار می‌باشند. لذا مناسب بودن مدل انتخابی با ضریب تبیین ۶۱ درصد و رابطه آن با میزان کربن آلی خاک عمقی تأیید می‌شود. رابطه ۴ تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه اعمال گردید و نقشه میزان کربن آلی خاک عمقی تهیه شد. با استفاده از

جدول ۹. آنالیز رگرسیونی مدل میزان کربن آلی خاک عمقی

مدل	ضرایب استاندارد شده			t	سطح معنی داری
	B	Std. Error	Beta		
Constant	۴۶۲۴۸	۶/۴۹	-	۷/۱۲۶	۰/۰۰**
۱ B _r	-۰/۰۷۹	۰/۰۱۲	-۰/۸۲۸	-۶/۸۳۶	۰/۰۰**
B _i	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶	۰/۱۵۳	۱/۳۹۶	۰/۱۶۶**
Com _r	۰/۰۲۷	۰/۰۷۴	۰/۰۵۹	۰/۳۶۱	۰/۷۱۹**

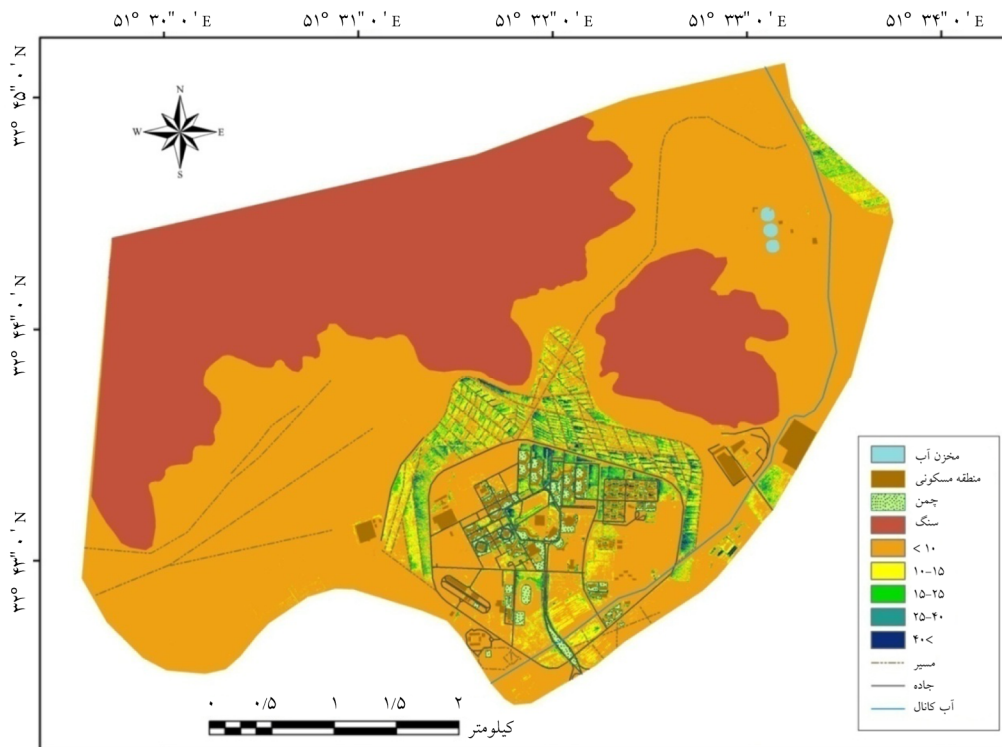
** معنی داری در سطح ۹۹ درصد.

جدول ۱۰. آزمون صحت نقشه کربن آلی خاک عمقی

ضریب کاپا	صحت کاربر	مجموع پیکسل‌ها	> ۴۰	۲۵-۴۰	۱۵-۲۵	۱۰-۱۵	< ۱۰	
۰/۸۳	۸۲/۳	۱۰۰۰	۰	۷	۲۶	۱۴۴	۸۲۳	< ۱۰
۰/۶۸	۶۷/۴۰	۵۴۶	۰	۴	۴۸	۳۶۸	۱۲۶	۱۰-۱۵
۰/۶۱	۵۸/۷۶	۲۹۱	۶	۲۱	۱۷۱	۵۱	۴۲	۱۵-۲۵
۰/۶۴	۵۹/۳۰	۱۱۳	۱۲	۶۷	۱۸	۱۶	۰	۲۵-۴۰
۰/۷۵	۷۶	۵۰	۳۸	۸	۴	۰	۰	> ۴۰
		۲۰۰۰	۵۶	۱۰۷	۲۶۷	۵۷۹	۹۹۱	مجموع پیکسل‌ها
			۶۷/۸۵	۶۲/۶۱	۶۴/۰۴	۶۳/۵۵	۸۳/۰۴	صحت تولید کننده

کاپای کلی = ۰/۷۴

صحت کلی = ۷۳/۳ درصد



شکل ۲. نقشه مقدار کربن آلی خاک عمقی

خاک بر میزان ترسیب کربن، به این نتیجه رسیدند که بین مقدار ترسیب کربن خاک در نواحی خشک و نیمه خشک و عمق خاک یک رابطه معکوس وجود دارد یعنی با افزایش عمق مقدار کربن ترسیب شده کاهش می یابد. این نکته با یافته های تحقیق حاضر مطابقت دارد. شومان و همکاران (۳۲) دلیل این کاهش را، روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس و تجمع آن در لایه سطحی ذکر کرده است.

نکته قابل توجه این که، در تهیه تمام نقشه های کربن آلی خاک با روش مدل های رگرسیونی در منطقه مورد مطالعه، باند ۳ مورد استفاده قرار گرفته است که این باند شدت بازتاب طول موج قرمز را در هر پیکسل نشان می دهد. باند آبی و باند قرمز بیشترین همبستگی را با میزان کربن آلی سطحی و باند قرمز بیشترین همبستگی را با میزان کربن آلی خاک عمقی، در منطقه مورد مطالعه دارد و مطالعات پورقیومی (۳۰)، آگبو و همکاران (۳) و باجوا و همکاران (۵) نیز این نتایج را تأیید می نماید. علت اصلی این امر جذب شدید دو طول موج قرمز و آبی توسط پیگمان های فعال برگ در فتوسنتز است که با افزایش میزان بیومس گیاهی نیز، جذب این دو طول موج طیف الکترومغناطیس تشدید می یابد. از آنجایی که با افزایش بیومس

بحث و نتیجه گیری

خصوصیات انعکاسی خاک همبستگی مؤثری با مواد موجود در آن دارد و به شدت تغییر می کند. این تغییرات می تواند ناشی از مقدار هوموس، گچ، املاح محلول در خاک و به خصوص کربن موجود در مواد آلی خاک باشد (۳۸). نقشه های تهیه شده در شکل های ۱ و ۲، تأثیر معنی دار کاشت درختان در افزایش ترسیب کربن خاک را نشان می دهند. مقایسه دو نقشه مذکور اختلاف میزان ترسیب کربن آلی خاک در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متری را نشان می دهد که با افزایش عمق خاک، میزان کربن ترسیب شده کاهش یافته است و همچنین میزان اختلاف طبقات کربن خاک نیز کاهش یافته است، به طوری که نقشه میزان کربن در عمق دوم نسبت به نقشه میزان کربن در عمق اول توزیع یکنواخت تر کربن را نشان می دهد. این امر بیانگر کاهش اختلاف میزان کربن خاک در اعماق بیشتر می باشد. نتایج تحقیقات پائول و کلارک (۱۳) نیز نشان داده که معمولاً بیشترین مقدار ماده آلی در لایه سطحی خاک ذخیره می شود و با افزایش عمق خاک مقدار آن کاهش می یابد. مک کارتی و ریچی (۲۴)، با مطالعه تأثیر عمق

عامل دیگر تأثیرگذار بر میزان ترسیب کربن خاک، نوع گونه‌های درختی کشت شده است. بسته به نوع گونه درختی، سرعت رشد، میزان تولید بیومس، میزان تولید لاشبرگ، میزان ترسیب کربن خاک تغییر می‌کند. در منطقه مورد مطالعه ترکیبی از سوزنی برگان و پهن‌برگان کاشته شده‌اند. بر اساس جداول ۱ و ۲، میزان ترسیب کربن خاک جنگل‌ها با غالبیت گونه‌های سوزنی برگ کشت شده، بیشتر از درخت‌زارها با ترکیبی از گونه‌های پهن برگ کشت شده است. علت این امر سازگاری بالای گونه‌های سوزنی برگ با شرایط منطقه خشک است. با توجه به این نکته فیزیولوژیکی مهم که گونه‌های مختلف در شرایط متفاوت محیطی سازگاری‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند، بهتر است به منظور درخت‌کاری در منطقه خشک مرکزی ایران، سازگاری گونه‌ها با ویژگی‌های خاک و اقلیم منطقه بررسی شود زیرا هیچ کدام از گونه‌های کشت شده در این مناطق بومی نبوده و به محل ایجاد فضای سبز معرفی شده‌اند.

با توجه به نتایج این مطالعه در جدول ۱، به خوبی روشن است که کاشت درختان در اراضی مرتعی منطقه خشک باعث افزایش چشم‌گیری در میزان ذخیره کربن آلی خاک شده است. آنالیز صحت نقشه‌ها در جداول ۱۰ و ۶ نشان می‌دهند که نقشه‌های تولیدی از صحت بالایی برخوردارند و واقعیت‌های زمینی را به خوبی نشان می‌دهند. کار با داده‌های سنجنده کوپیک-برد با تکنیک‌های سنجنش از دور در بررسی‌های ترسیب کربن بسیار مفید و کار آمد است و چون دقت زمینی داده‌های سنجنده مورد استفاده بالا است، لذا پیشنهاد می‌شود از این فناوری برای تولید نقشه‌های ترسیب کربن در پهنه‌های وسیع‌تر، و در مقیاس شهر اصفهان استفاده نموده و محل‌ها و گونه‌های مفید برای کنترل مقادیر آلاینده دی اکسیدکربن را مشخص نمایند، که برای مدیریت افزایش کیفیت محیط زیست ضروری است.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, N. 2005. Introducing carbon sequestration as an index to evaluating sustainable development of natural resources, 3rd conference of sustainable development approaches in agriculture and natural resources in Arak, 57-62

گیاهی که نتیجه فتوسنتز بیشتر است، دی‌اکسیدکربن بیشتری هم از اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهی به صورت کربن آلی تثبیت می‌گردد و قسمتی از این کربن هم در بخش خاک ذخیره می‌شود که نتیجه افزایش ریشه‌ها در خاک است و یا ریزش شاخ و برگ‌ها در اثر خزان سالیانه و تجزیه آن در خاک، افزایش ترسیب کربن خاک نیز تشدید می‌یابد. پس همبستگی شدید بین افزایش بیومس و جذب انرژی دو باند قرمز و آبی وجود دارد. با توجه به مدل‌های ارائه شده در تحقیق حاضر، رابطه باندهای آبی و قرمز با میزان کربن آلی خاک یک رابطه معکوس است که علت آن جذب شدید این دو طول موج توسط هوموس خاک است. این نکته نیز با نتایج به دست آمده از مطالعات هنریکسون و کویسکی (۱۶) و دیمت و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. علوی‌پناه (۴) نیز این جذب شدید در خاک‌های هوموس‌دار را بیان کرده که دلیل صحت مدل‌های تولیدی است. در تهیه نقشه کربن آلی خاک برای عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر ضرایب تبیین بالاتر از ۸۶ درصد، اما ضریب تبیین مدل برای عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر، ۶۲ درصد محاسبه شده که علت آن به تراکنش امواج الکترو مغناطیس طبیعی با خاک است که توانایی نفوذ به اعماق خاک را ندارد و بازتاب‌ها از سطح خاک می‌باشند. این نیز با نتایج مطالعات چن همکاران (۱۰) مطابقت دارد. به‌علاوه در تهیه نقشه کربن آلی سطحی (۰-۱۵ cm) شاخص گیاهی NDVI نیز با همبستگی مثبت در مدل ترسیب کربن خاک سطحی دخیل است؛ که این شاخص نیز یک نسبت عددی بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است. تغییرات این شاخص به تغییرات تاج پوشش گیاهی وابسته است که به دنبال افزایش حجم بیومس گیاهی افزایش بازتاب مادون قرمز نزدیک بدلیل ساختار برگ و کاهش بازتاب قرمز به علت جذب پیگمان‌های برگ را به دنبال دارد. بازتاب خاک با مقدار هوموس سطح خاک تغییر می‌کند که اگر میزان هوموس کمتر از ۲٪ باشد تأثیری ندارد ولی با رسیدن هوموس به بیش از ۵ تا ۱۵٪، کاهش بازتاب‌ها در بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک مشهود است کاراوانوا و همکاران (۳۸)، شی و کانتزاس (۳۴) و پورقیومی (۳۰) نیز طی مطالعات خود به نتایج مشابه با نتیجه این مطالعه رسیده‌اند.

15. Havlin, J.L., 2005. FERTILITY, in: Editor-in-Chief: Daniel, H. (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, Oxford, pp. 10-19.
16. Hendrickson, O.Q., Kubiseski, T., 1991. Soil microbial activity at high levels of carbon monoxide. *Journal of Environmental Quality* 20, 675-678.
17. Huang, C.H., Kronrad, G.D., 2001. The Cost of Sequestration Carbon on Private Forest Lands. *Forest Policy and Economics* 2, 133-142.
18. IPCC, 2000. Land Use, Land Use Change and Forestry. Special Report, Inter-Governmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 127-180.
19. Jenkinson, D.S., Harkness, D.D., Vance, E.D., Adams, D.E., Harrison, A.F., 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 24, 295-308.
20. khajeddin, s. j. a., 1995, survey of the plant communities of jazmurian iran using lansat MSS data, university of reading.
21. Kooran, p. 1994. Remote sensing, translated by Reza, H. Iran Institute Of Remote Sensing.
22. Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220, 242-258.
23. Landsberg, J.J., Gower, S.T., 1997. 2 - Forest Biomes of the World, *Applications of Physiological Ecology to Forest Management*, Academic Press, San Diego, pp. 19-1.
24. McCarty, g.w., Ritchie, J.C., 2000. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems, *Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements, and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina, October 3-5, 2000*.
25. Metting, F.B., Smith, J.L., Amthor, J.S., Izaurrealde, R.C., 2001. Science needs and new technology for increasing soil carbon sequestration. *Climatic Change* 51, 11-34.
26. 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, p. PHD Thesis.
27. Neufeldt, H., Resck, D.V.S., Ayarza, M.A., 2002. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma* 107, 151-164.
28. Noretto, M.D., Jobbagy, E.G., Paruelo, J.M., 2006. Carbon Sequestration in Semi-Arid Rangelands Arid Environments 67, 142-156.
29. Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation *Forest Ecology and Management*. 168, 241-257.
30. Purghaumi, H. 2012. Evaluation of vegetation function in carbon sequestration, using remote sensing, Master of science, Department Of Natural Resources, Isfahan University Of Technology.
2. Abdollahi, K., Guidry, M., Fellner, F., Negatu, A., 2000. Urban forest soil management effects on carbon storage and CO2 fluxes of *Quercus virginiana* canopy and rhizosphere. *Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements, and Monitoring Conference in Raleigh, North Carolina*.
3. Agbo, P.A., Fehrenbacher, D.J., Janson, I.I., 1990. Soil property relationships with SPOT satellite digital data in East Central Illinois. *Soil Science* 54, 807-812.
4. Alavipanah, s.k. 2003. Application of remote sensing in earth science, University of Tehran, 478 pages.
5. Bajwa, S.G., Tina, L., Bullock, D., Sudduth, K., Kitchen, N., Palm, H., 2001. Charrectrization in agricultural fields using hyperspectral image data. American society of Agricultural and Biological Engineers Annual inter national meeting, California, USA.
6. Bashkin, M.A., Binkley, D., 1998. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology* 79, 828-833.
7. Baumgardner, M.F., Silva, L.F., Biehl, L.L., Stoner, E.R., 1986. Reflectance Properties of Soils, in: Brady, N.C. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Academic Press, pp. 1-44.
8. Birdsey, R., Heath, I., Williams, D., 2000. Estimation of Carbon Budget Model of the United State Forest Sector, *Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference in Raleigh, ,, 2000, 51-59., North Carolina*.
9. Cannell, M.G.R., Dewar, R.C., 1994. Carbon Allocation in Trees: a Review of Concepts for Modelling, in: Begon, M., Fitter, A.H. (Eds.), *Advances in Ecological Research*, Academic Press, pp. 59-104.
10. Chen, F., Kissel, D. E., West, L. T., Adkins, W., Rickman, D. and Luall, J. C., 2005, "Mapping surface soil organic carbon for crop fields with remote sensing", *Soil Water Conserv*, Vol. 60, pp. 51-57
11. Dematte, J.A.M., Epiphanyo, J.C.N., Formaggio, A.R., 2003. Influences Of organic matter and Iron oxids on the spectral reflectance of tropical soils. *Bragantia*, vol 62, 451-464.
12. Dinakaran, J., Krishnayya, N.S.R., 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. *Current Science* 94, 1144-1150.
13. Paul, E. and F. Clark. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd Edition, Academic Press San Diego CA, 243pp.
14. Garten Jr, C.T., 2002. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA. *Biomass and Bioenergy* 23, 93-102.

31. Rapalee, G., Trumbore, S.E., Davidson, E.A., Harden, J.W., Veldhuis, H., 1998. Soil Carbon stocks and their rates of accumulation and loss in a boreal forest landscape. *Global Biogeochem. Cycles* 12, 687-701.
32. Schuman, G.E., Janzen, H., Herrick, J.E., 2002. Soil Carbon Information and Potential Carbon Sequestration by Rangelands. *Environmental Pollution* 116, 391-396.
33. Shalaby, A., Tateishi, R., 2007. Remote Sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use change in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography* 27, 28-41.
34. Shi, R., Kantzas, A., 2008. Enhanced heavy oil recovery on depleted long core system by CH₄ and CO₂, pp. 618-631.
35. Stevens, A., van Wesemael, B., 2008. Soil organic carbon stock in the Belgian Ardennes as affected by afforestation and deforestation from 1868 to 2005. *Forest Ecology and Management* 256, 1527-1539.
36. Turner, J., Lambert, M., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 133, 231-247.
37. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. 2009. Effectuality of Forestation on Soil Carbon Sequestration, *Iran Journal Of Forest*, vol:1 , page 25-35
38. Karavanova, E.I., Shrestha, D.P., Orlov, D.S. 2001. Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semiarid Uzbekistan. In: *Response to land degradation*. Ed. by E.M. Bridges. E.m., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr, S.Sombatpanit. Enfield: The Science publisher, pp 261-273.



Effect of urban reforestation on carbon sequestration in arid soils using remote sensing technology

B. Abbas Nejad ¹, S. J. Khajedin ^{2*}

1. MSc. of Range Management, College of Natural Resources, University of Isfahan

2. Prof. College of Natural Resources, University of Isfahan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 July 2013

Accepted 13 March 2014

Available online 13 September 2014

Keywords:

Soil carbon sequestration

Reforestation

Remote sensing

Quick Bird

ABSTRACT

In this study, the effect of urban reforestation on carbon sequestration in arid soils was evaluated, using the Quick Bird satellite image. Soil samples were collected (0-15, 15-30 cm) from the field visits and soil organic carbon content of the samples was measured. Correlation coefficients between the satellite bands and vegetation indices with the results obtained from the analysis of geospatial data and data analysis using regression method, the best fit model for preparation the soil carbon sequestration maps were obtained. The results of verified analysis showed the accuracy of the produced maps and corresponded well with the ground sampling points. The survey maps prepared to show that the reforestation on barren land area in Isfahan is caused of increased carbon sequestration in the dry land soil. Furthermore, a higher rate of carbon sequestration in the surface soil layers and decreases with increasing depth. Depending on the species planted in soil, the rate of carbon sequestration is varying. Soil carbon sequestration in areas that have been cultivated conifers species is greater than the hardwoods species.

* Corresponding author e-mail address: Khajedin@cc.iut.ac.ir