نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۹، شماره ۲ ، سال ۱۳۹۰، ص ۳۰۰-۲۹۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 9, No. 2, 2011, p. 294-300

ارزیابی تغییرات مکانی و تخمین کربن آلی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از توابع انتقالی و امکان سنجی آن با داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه نیشابور)

مرجان قائمی [۱*]- علیرضا آستارایی [۲]- سید حسین ثنایی نژاد [۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۶
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۶

چکیده

مناطق خشک و نیمه خشک بخش وسیعی از اراضی دنیا را تحت پوشش قرار می‌دهند و بخش اعظم ایران در این مناطق واقع شده است. متاسفانه مطالعات انجام شده و یافته‌های موجود در رابطه با وضعیت مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل وسعت آن‌ها و و جود شرایط دشوار برای بررسی‌های میدانی و صحرایی بسیار اندک می‌باشد. با استفاده از داده های سنجش از دور می توان با صرف و قت و هزینه کمتر به اطلاعات دقیقتر و قابل اطمینان‌تری در رابطه با ویژگی‌ها ی محیط و تغییرات آن‌ها در مکان و زمان دست یافت. از این رو در تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره ای با انگیزه ی دستیابی به مدلی مناسب برای پایش و مطالعه کربن آلی خاک منطقه خشک و نیمه خشک نیشابور و بررسی رابطه آن با خصوصیات خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. روابط این پارامترها از طریق تجزیه و تحلیل رقومی ارزش‌های طیفی تصویر بررسی شدند نتایج نشان داد که انعکاس حاصل از کربن آلی خاک به دلیل مقدار کمتر از ۲ درصد ناچیز بوده و بنابراین مدل حاصل از داده‌های زمینی برای تخمین قابل قبولی از آن مورد سنجش قرار گرفت. همچنین مدل پیشنهادی OC=1.98 -0.2 pH+ 0.01 Clay با GMER= ۰/۸۶ و GSDER= ۱/۲۳ در محدوه ماده آلی خاک کمتر از ۲ درصد برای خاک های منطقه مورد مطالعه از قابلیت ارزیابی بالایی برخوردارند.

واژه های کلیدی: توابع انتقالی، سنجش از دور، لندست، ماده آلی خاک

مقدمه

در دهه‌های اخیر تحقیقات بیشماری در خصوص امکان استفاده ار فن آوری‌های نوین در فعالیت‌های کشاورزی به منظور اجرای راهکارهای مدیریتی دقیق تر صورت گرفته است. تکنیک هایی چون تحلیل تغییر مکانی تولید محصول و استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)،سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های سنجش از دور (RS) برمبنای اطلاعات و داده‌های کشاورزی منجر به بهبود قابل توجهی در فعالیت های کشاورزی شده است (۲ و ۹). استفاده از فن آوری‌های نوین دسترسی بشر را به اطلاعات با حجم و دقت بیشتر در زمان کمتر امکان پذیر ساخته و این ویژگی های منحصر به فردکاربرد آن را در علوم مختلف روز به روز گسترش می‌دهد. در این راستا یکی از علومی که سنجش از دور توانسته است کمک شایانی به پیشرفت آن نماید، علوم خاک است (۱۵). از طرفی استفاده از توابع انتقالی خاک، به عنوان راهی آسان و با صرف هزینه کمتر جهت تخمین خصوصیات با روش‌های اندازه گیری مشکل و زمان بر (خصوصیات دیر یافت خاک) با استفاده از خصوصیات با اندازه گیری ساده تر (خصوصیات زود یافت خاک) کاربر زیادی دارد. توابع انتقالی خاک به عنوان روشی غیر مستقیم در برآورد خصوصیاتی از قبیل هدایت هیدرولیکی، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از سایر خصوصیات زودیافت خاک مانند فراوانی نسبی ذرات معدنی، درصد کربنات کلسیم، درصد کربن آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک استفاده می شوند (۴).

ماده آلی خاک به عنوان یکی از خصوصیات مهم خاک تحت تاثیر عواملی از جمله پوشش گیاهی، خصوصیات خاک و اقلیم منطقه بوده و در صورتی که میزان آن در خاک از ۲٪ بیشتر باشد می‌تواند به عنوان یک عامل غالب در تعیین رفتار طیفی خاک موثر باشد (۱۳ و ۱۶). افزایش رطوبت خاک و میزان ماده آلی منجر به کاهش در مقادیر بازتابی از سطح زمین می‌شود. بر اساس یافته‌های به دست آمده باندهای مادون قرمز نزدیک (µm ۰/۹-۰/۷۶) بیشترین

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mghaemi270@gmail.com)
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

همبستگی را با خصوصیات طیفی ماده آلی نشان دادند. همچنین بافت خاک نیز مانند رطوبت و ماده آلی اثرا ت معنـی داری را بـر الگوهـای انعکاسی حاصـله نشـان داده و شـاخص روشـنی ارتبـاط مسـتقیم بـا تغییرات ماده آلـی خـاک دارد. بنـابراین مـی‌تـوان از آنهـا بـه عنـوان شاخصی مفید در تعیین مقـدار تغییـر پـذیری خصوصـیات مزرعـه ای استفاده کرد (۱۳). بارنز و همکاران (۳) نیز نشان دادند کـه مـاده آلـی بیشترین همبستگی را در ناحیه طیف مرئی دارد.

به منظور تعیین روابط بـین خصوصـیات خـاک و بازتـاب طیفـی حاصل از تکنیک های سنجش از دور، از شاخص هایی مانند شـاخص بازتاب، شاخص هیو، شاخص روشنی، آنالیزهای PCAو غیره استفاده می‌شود. براساس مطالعات انجام شده شاخص روشنی معرف ماده آلـی خاک اسـت (۱۳). هنـگ و همکـاران (۸) نیـز نشـان دادنـد کـه PC باند های ۲ و ۴ بـا خصوصـیات شـیمیایی خـاک از قبیـل مـاده آلـی، محتوای منیزیم و پتاسیم همبستگی زیادی دارند.

هندرسـون و همکـاران (۷) در برزیـل بـا اسـتفاده از داده هـای سنجنده ETM^+ و با هدف تخمین کـربن رایـج و کـربن پتانسـیل در مقیاس وسیع و بررسی پتانسیل مخازن کربن آلی خاک مراتـع درجـه همبستگی بین کربن آلی خاک و شاخص سطح برگ (LAI)، کـربن آلی خاک و بازتاب های حاصل از مرتع در ۶ بانـد طیفـی متفـاوت در محدوده nm ۲۳۵۰-۴۵۰ بررسی کردند. نتایج ایشـان نشـان داد کـه کربن آلی خاک همبستگی زیادی با LAI براساس رابطـه رگرسـیونی بـا R^2 =۰/۹۷ دارد. دنیـل و همکـاران (۵) نیـز بـا انجـام مطالعـات آزمایشگاهی و زمینی براساس اثر طیفـی مـاده آلـی خـاک در ناحیـه پتانانیکم تایلند روش جدیدی را برای گسترش مدل های پـیش بینـی اثرات طیفی ماده آلی خاک ارائه کردند.

با توجه به این موضوع که مناطق خشک و نیمـه خشـک بخـش وسیعی از اراضی دنیا را تحت پوشش قرار مـی‌دهنـد و بخـش اعظـم ایران در این مناطق واقع شده است پایش و بررسی خصوصیات خاک و اقلیم این مناطق اهمیت ویژه ای دارد. به طوری که مطالعات انجـام شده و یافته‌های موجود در رابطه بـا وضـعیت ایـن منـاطق بـه دلیـل وسعت آن‌ها و و جـود شـرایط دشـوار بـرای بررسـی‌هـای میـدانی و صحرایی بسیار اندک است. در این تحقیق سعی بـر آن اسـت کـه بـا استفاده از بررسی رابطه ماده آلی خاک با داده هـای تصـاویر مـاهواره ای و سایر خصوصیات خاک، بهترین مـدل رگرسـیونی بـا بکـارگیری اطلاعات سنجش از دور به منظور پایش و مطالعـه مـاده آلـی خـاک منطقه ی نیشابور به عنوان یکی از منـاطق واقـع در اقلـیم خشـک و نیمه خشک ارائـه گـردد. همچنـین پتانسـیل داده هـای مـاهواره ای سنجنده +ETM جهت ارائه مدل مناسب با توجه به میزان کـم مـاده آلی خاک در این منطقه نیز بررسـی گردیـد. از طرفـی کـارایی توابـع انتقالی خاک، به عنوان راهی مناسب برای تخمین کـربن آلـی خـاک منطقه نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و مشخصات خاک

ابتدا منطقه مورد مطالعه با توجه به اهداف مـورد نظـر بخشـی از دشت نیشابور به عنوان منطقه ای با قلیم خشک و نیمه خشک واقـع در استان خراسان رضـوی در بـین طـول جغرافیـایی ۵۸ درجـه و ۳۴ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۸ دقیقه شرقی (۶۴۰۸۱۱ تـا ۶۹۳۴۵۱ UTM) و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی (۳۹۷۱۱۵۸ تا ۴۰۱۳۰۴۶ UTM) انتخاب گردید. بر اساس نقشه های کاربری اراضی،این منطقه با متوسط درجه حـرارت سـالانه آن حـدود ۱۴/۵ در جه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه حـدود ۲۵۰ میلیمتـر جزء اراضی شور شناخته شده و از طرفی دارای اراضی کشاورزی فعالی نیز می باشد (۱). همچنین بر اساس سیستم تاکسـونومی خـاک (۱۷) خاک های این منطقـه در رده اریدیسـول (Aridisols) و انتـی سـول (Entisols) قـرار دارنـد. افـق سـطحی خـاک هـا، بیشـتر اکریـک (Ochric) و افـق زیـر سـطحی کمبیـک (Cambic) و کلسـیک (Calcic) در بیشتر پروفیل ها شناسایی شده است. برخـی پروفیـل هـا فاقد افق مشخصه زیر سطحی هستند. رژیم حرارتی منطقـه، ترمیـک (Thermic) و رژیـم رطـوبتی اریـدیک (Aridic) و زریـک (Xeric) می‌باشد.

در این تحقیق تصـاویر چنـد طیفـی مـاهواره لندسـت، سـنجنده ETM^+ شامل ۶ باند طیفی(با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متـر) و یـک باند حرارتی (با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر) و باند پانکروماتیـک (بـا قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) از مسیر ۱۶۰ و ردیف ۳۵ مربوط به ۱۰ جولای سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۰ تیر ۱۳۸۱ مورد اسـتفاده قـرار گرفـت. تصحیحات اولیه هندسی و رادیومتری تصاویر مورد مطالعـه در سـطح سیستمی انجام شد ه بود. با این حال برای حصـول اطمینـان از عـدم وجود خطاهـای هندسـی و رادیـومتری، تصـاویر مـاهواره ای قبـل از اعمال هر نوع پردازش از نظـر هندسـی و رادیـومتری در هـر یـک ار باندهای انعکاسی (۵- ۱ و ۷) مورد بازبینی قرار گرفتند. جهت انجام این پژوهش ابتدا منطقه مـورد مطالعـه بازدیـد شـد. پـس از بررسـی تصاویر ماهواره ای و نقشـه ارزیـابی منـابع و قابلیـت اراضـی اسـتان خراسان رضوی با مقیاس ، با توجه به وضعیت تغییـرات خصوصـیات خاک و پوشش گیاهی آن و موقعیت و پراکنش خاکهای شور، بخشـی از دشت نیشابور با وسعت ۷۶۵ کیلومتر مربع بـرای انجـام آزمایشـات زمینی مشخص گردید. در این محـدوده شـبکه ای بـه ابعـاد ۱۴۷۹× ۱۸۸۱پیکسل بر روی تصاویر ماهواره ای تعریف و جـدا گردیـد. نقـاط نمونه برداری با استفاده از شناسایی اولیه منطقه، نقشه هـا و آمارهـای رسمی و تصاویر رنگی کاذب از منطقه انتخـاب شـدند. سـپس بـرای نمونه بـرداری از خـاک ابتـدا نقـاط اصـلی نمونـه بـرداری در محـل شناسایی شده و در چندین مرحلـه بازدیـدهای صـحرایی از محـدوده

مورد مطالعه تکرار شد. بر این اساس نمونه های خاک (داخل هر شبکه ۱۰۰۰ متری سه نقطه با فاصله ۱۰۰ متر) جهت نمونه برداری از خاک سطحی انتخاب شدند. درمجموع تعداد ۲۷۷ نقطه جهت نمونه برداری از خاک سطحی انتخاب شدند. برای نمونه برداری خاک روش نمونه برداری سیستماتیک انتخاب و در یک شبکه منظم در هر مکان، نمونه برداری از خاک انجام شد. مختصات نقاط تعیین شده وارد دستگاه GPS Garminn شد. با کمک این نقاط عملیات میدانی انجام و سپس موقعیت واقعی نقاط نمونه برداری در صحرا توسط همان GPS ثبت گردید. نمونه‌های خاک در هر نقطه در پلاتی به ابعاد ۲۰ در ۲۰ سانتی متر از عمق سطحی خاک (۱۵-۰ سانتی متری) با مختصات معلوم برداشت شدند و پس از ثبت خصوصیات محیطی در هر نقطه، در مجموع حدود یک کیلوگرم نمونه خاک برای انجام آنالیرهای آزمایشگاهی به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد.

سنجش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خا ک

در ابتدا جهت اندازه گیری پارامترهای مختلف عملیات آماده سازی بر روی نمونه‌های خاک انتقال یافته به آزمایشگاه انجام شد. بدین ترتیب که خاک‌ها پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی متری، برای اندازه گیری پارامترهای فیزیکی وشیمیایی مانند اسیدیته خاک گل اشباع با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی سطحی عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۱۹)، فراوانی نسبی ذرات معدنی خاک به روش استاندارد هیدرومتری، Caو Mg محلول به روش تیتراسیون ۰/۰۱ نرمال، سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAYPFP7)، کربنات و بی کربنات به روش تیتر با H_2SO_4 ۰/۰۱ نرمال، کلر محلول به روش تیتراسیون با نیترات نقره ۰/۰۱ نرمال و سولفات محلول به روش توربیدومتری مورد استفاده قرار گرفتند (۱۰).

آزمون آماری و ارزیابی اعتبار (Reliability) مدل

ویژگی‌های آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منطقه مورد مطالعه در نر م افزار آماری JMP4 بررسی شد و بر این اساس امکان وجود رابطه ای بین مقدار ماده آلی خاک با ارزش‌های رقومی تصاویر ماهواره ای و خصوصیات خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از بررسی ضرایب همبستگی مناسبترین متغیرها به عنوان متغیر مستقل برای برآورد و میزان تغییرپذیری ماده آلی خاک به عنوان متغیر مستقل از آنالیز رگرسیون تک متغیره و چند متغیره استفاده شد. معنی داری کلیه ضرایب همبستگی در سطح ۵٪ نیز مورد سنجش قرار گرفت. برای سنجش اعتبار روابط حاصل نیز ۳۰ نمونه خاک که در ایجاد مدل به کار نرفته بودند، استفاده گردید. دو پارامتر GMER (Geometric Mean Error Ratio)) و GSDER (Geometric Standard Deviation of the Error Ratio) برای اعتبارسنجی به صورت زیر محاسبه شدند (۱۸).

$$\varepsilon = \frac{\varphi_p}{\varphi_m} \qquad (۱)$$

$$GMER = \exp[(\frac{1}{n})\sum_{i=1}^{n}\ln(\varepsilon)] \qquad (۲)$$

$$GSDER = \exp[(\frac{1}{n-1})\sum_{i=1}^{n}(\ln(\varepsilon)-\ln(GMER))^2]^{0.5} \qquad (۳)$$

n : تعداد نمونه¬ها

ε: نسبت خطا

ϕ m : مقادیر اندازه¬گیری

φp: مقادیر برآورد شده

GMER: میانگین هندسی نسبت خطا

$GSDER$: میانگین هندسی انحراف معیار نسبت خطا

بر اساس این روابط GMER برابر با مقدار یک بیانگر انطباق بین مقادیر برآورد شده و مقادیر اندازه گیری شده است. به طوری که GMER کوچکتر از یک نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده کمتر از مقادیر واقعی (Under estimation) و GMER بیشتر از یک تخمین بیشتر (Over estimation) از مقادیر اندازه گیری شده می باشد. از طرفی GSDER مساوی یک نشان دهنده انطباق مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه گیری شده است ولی با افزایش خطای برآورد، GSDER نیز افزایش می یابد. بنابراین مدلی از اعتبار بالاتری برخوردار است که GMER نزدیک به یک و GSDER کوچک داشته باشد (۱۸).

نتایج و بحث

در این تحقیق نتایج حاصل از اندازه گیری‌های آزمایشگاهی نشان داد که مقادیر ماده آلی در خاک منطقه مورد مطالعه کمتر از حد مورد نیاز برای ارزیابی‌های طیفی تصاویر ماهواره ای می‌باشند. در همین زمینه تحقیقات رای و همکاران (۱۳) و استفن و همکاران (۱۶) نشان داد در صورتی که میزان ماده آلی در خاک از ۲ درصد بیشتر باشد می‌تواند به عنوان یک فاکتور غالب در تعیین رفتار طیفی خاک موثر باشد. در غیر این صورت، الگو های انعکاسی به شدت تحت تاثیر سایر خصوصیات خاک خواهند بود. مطالعات دیگری نشان دادند که ماده آلی بیشترین همبستگی را در ناحیه طیف مادون قرمز و مرئی دارد (۳ و ۱۳). بر این اساس برای تخمین میزان ماده آلی منطقه چگونگی رابطه آن با سایر خصوصیات خاک و در صورت امکان ارائه مدلی از داده‌های زمینی با استفاده از توابع انتقالی مورد بررسی قرار

گرفت. بر این اساس ابتدا ویژگی‌های آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی شدند (جدول ۱). نتایج حاصل حاکی از آن بود که خصوصیات منطقه مورد مطالعه از نظر مکانی دارای تغییرپذیری زیادی می‌باشد و مطالعات وایلدینگ (۲۱) نیز نشان داد که خصوصیات خاک با CV بیش از ۰/۳۵ دارای تغییرپذیری زیاد هستند که براساس این میزان تغییرپذیری در محدوده مورد مطالعه اعمال راهکارهای مدیریتی مختلفی را می‌توان نتیجه گیری نمود.

سپس به منظور تعیین مقدار سهم خصوصیات مختلف در میزان تغییرپذیری ماده آلی خاک، ضرایب همبستگی پیرسون بین ماده آلی خاک و خصوصیات فیزیکی شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که پارامترهای هدایت الکتریکی (R^2=0.42)، درصد اندازه ذرات رس (R^2=0.48)، اسیدیته خاک (R^2=0.64) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (R^2=0.35) بیشترین تاثیر را دارند. این موضوع نشان می‌دهد که میزان ماده آلی در خاک‌های سنگین با میزان شوری زیاد به مراتب بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. رابطه مستقیم افزایش مقدار ماده آلی با میزان شوری می‌تواند به کاهش فعالیت بیولوژیکی خاک و تجمع ماده آلی در خاک مربوط باشد (۱۲). همچنین همبستگی بالای آن با اسیدیته خاک که این پارامتر به شدت تحت تاثیر تغییرات pH در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین کاهش تجزیه ماده آلی خاک با افزایش یون‌های خاک و غالبیت مقدار رس همراه است که با نتایج وانگ (۲۰) مطابقت دارد. از طرفی سایر خصوصیات از قبیل درصد رس، شن و مجموع سیلت و رس نیز همبستگی خوبی را نشان دادند که رابطه مستقیم بافت را با ماده آلی خاک نشان می دهد (جدول ۲).

مناسب ترین ترکیب از متغیر های مستقل برای برآورد ماده آلی در منطقه نیشابور به صورت معادله رگرسیون چند متغییره خطی، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که pH خاک و درصد رس مناسبترین پارامترها از بین متغییرهای مستقل برای برآورد ماده آلی می باشند. همچنین این پارامترها در سطح ۰/۰۵ معنی دار بودند. برای تعیین موثرترین عامل در تخمین کربن آلی استاندارد بتا نیز برای این معادله محاسبه گردید. براساس مقادیر استاندارد بتا pH با مقدار ۰/۵۸ بیشترین نقش را در میزان تغییرپذیری کربن آلی دارد و پس از آن درصد رس با ۰/۳۹ در این تغییرپذیری نقش ایفا می کنند. همان طور که نتایج استاندارد بتا و ضرایب تخمینی نشان می‌دهند، pH خاک همبستگی منفی با میزان کربن آلی خاک دارد و بیانگر این موضوع است که خاک‌های با pH بالا (خاک‌های آهکی و قلیایی) از نظر مقدار ماده آلی خاک فقیر می‌باشند در حالی که افزایش درصد رس با ویژگی ظرفیت نگهداری بالای آب آن رابطه ای مستقیم با مقدار ماده آلی خاک دارد و با افزایش این خصوصیت کربن آلی خاک هم افزایش می‌یابد، نتایج فوق مشابه مطالعات دیوکسیبری و همکاران (۶) است.

جدول ۱- حدود تغییرات خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

پارامتر اندازه گیری شده	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	کمترین مقادیر	بیشترین مقادیر	میانگین مقادیر
OC (%)	۰/۳	۳۷	۰/۱۵	۱/۶۳	۰/۸۹
CEC (meq/100gr)	۴/۷۷	۵۵/۱۴	۰/۲۱	۲۶/۴۵	۸/۶۶
HCO_3 (meq/l)	۱/۹۵	۴۱/۸۵	۱	۱۳	۴/۶۸
CO_3 (meq/l)	۰/۶۶	۱۲۸/۴۴	۰	۶/۵	۰/۵۱
SO_4 (meq/l)	۴۶/۳۱	۱۷۶/۹۹	۰	۲۷۲	۲۶/۱۶
Cl (meq/l)	۱۴۳/۰۲	۲۷۳/۱۴	۱	۱۰۳۵	۵۲/۳۶
سدیم محلول (meq/l)	۷۳/۱۹	۲۶۰/۲۷	۰/۲	۸۱۳	۲۸/۱۲
کلسیم محلول (meq/l)	۱۷/۱۷	۱۲۲/۰۲	۱	۱۷۰	۱۴/۰۷
منیزیم محلول (meq/l)	۱۵/۹۶	۱۵۱/۸۳	۰	۱۶۵	۱۰/۵۱
هدایت الکتریکی (ds/m)	۷/۰۸	۱۵۲/۷۶	۰/۳۲	۴۸/۹	۴/۶۳
pH	۰/۱۷	۲/۳۷	۶/۹۸	۷/۸۸	۷/۴۲
رس (٪)	۸/۵۶	۳۱/۹۶	۸/۹۶	۵۶/۹۶	۲۶/۷۹
سیلت (٪)	۷/۸۱	۱۸/۳۷	۱۴	۶۲	۴۲/۵۴
شن (٪)	۱۲/۳۶	۴۰/۳۵	۸/۶	۶۸	۳۰/۶۵
مجموع سیلت و رس (٪)	۱۲/۳۶	۱۷/۸۳	۳۱/۳۲	۹۱/۴	۶۹/۳۴

جدول ۲- مقایسه ضریب همبستگی بین کربن آلی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

پارامتر	r	احتمال	پارامتر	r	احتمال
شن (٪)	۰/۲	۰/۰۰۰۷	EC (dsm^{-1})	۰/۴۲	۰/۰۴۸
سیلت(٪)	۰/۱۲	۰/۰۱	pH	۰/۶۴	۰/۰۰۵
رس (٪)	۰/۴۸	۰/۰۰۰۳	Na (meq/l)	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹
سیلت و رس (٪)	۰/۳۶	۰/۰۰۰۷	Mg (meq/l)	۰/۰۰۱	۰/۰۲
HCO_3	۰/۲۶	<۰/۰۰۰۱	Ca (meq/l)	۰/۰۰۱	۰/۰۲
CO_3	۰/۳۱	<۰/۰۰۰۱	CEC	۰/۳۵	۰/۰۰۵
SO_4	۰/۲۲	۰/۰۱	Cl	۰/۰۱	۰/۳

جدول ۳- مقایسه خطای استاندارد، مجموع مربعات و احتمال متغییرهای معادله کربن آلی

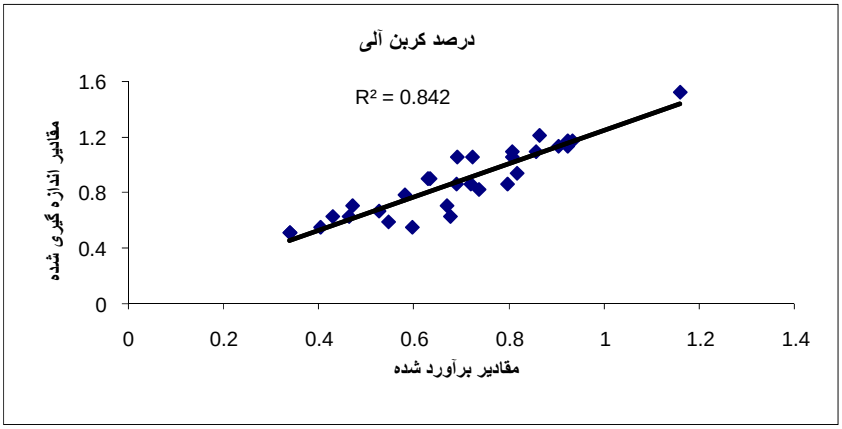
متغیر	ضریب تخمین	خطای استاندارد	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Std Beta	احتمال
pH	-۰/۲	۰/۰۰۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۲۵/۷	-۰/۵۸	۰/۰۰۴
Clay	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۲	۲	۹۱/۳۵	۰/۳۹	۰/۰۰۰۱<

بر این اساس ارائه بهترین مدل آماری به روش رگرسیون گام به گام با ۲۴۷ داده انجام شد. براین اساس مدل ۱ با R^2= ۰/۷۵ و RMSE=0.14 می‌تواند ۷۵ ٪ تغییرات کربن آلی منطقه را توجیه نماید.

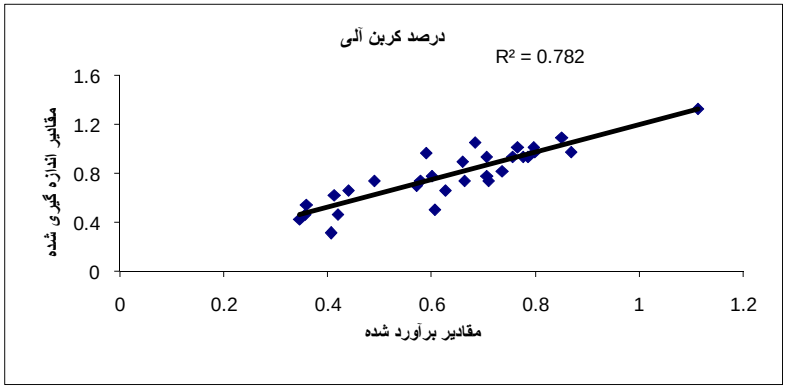
$$OC=1.98 -0.2\ pH+ 0.01Clay \quad (۱)$$

به منظور آگاهی از کارایی مدل فوق و تعمیم نتایج آن ها برای مناطق مشابه، اعتبارسنجی مدل با ۳۰ داده برداشت شده صحرایی انجام گرفت. همبستگی حاصله بین مقادیراندازه گیری شده و برآورد شده نیز نشان داد که مدل حاصل از کارایی بالایی برای تخمین کربن آلی برخوردار بوده و بیانگر قابلیت توابع انتقالی جهت ارزیابی خصوصیات خاک می باشد (۱۱). ضریب تبیین بالا برای درصد کربن آلی (R2=0.84) بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده در نمونه های مورد استفاده در تهیه تابع و نیز برای کربن آلی R^2= ۰/۷۸ بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده در نمونه های استفاده نشده در تهیه تابع و همچنین مقادیر GMER نزدیک به یک (GMER=0.86) و GSDER کم (GSDER=1.23) بیانگر اعتبار بالای مدل حاصله برای داده های مشابه می باشد (شکل ۱ و۲).

نتایج این اعتبارسنجی بیانگر مناسب بودن تخمین‌های حاصل از مدل مذکور برای برآورد کربن آلی منطقه است. مدل بهینه بایستی دارای شاخص های حداقل میانگین خطا (ME) و یا ریشه دوم میانگین مجذور انحرافات (RMSE) باشد. ریورو و همکاران (۱۴)، در تخمین فسفر خاک با انحراف استاندارد ۳۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم با داده های ETM^+ به روش رگرسیون خطی مقدار RMSE برابر با ۳۵۶/۱ به دست آوردند.



شکل ۱- همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر برآورد شده از تابع که در تهیه تابع استفاده شد



شکل ۲- همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر برآورد شده از تابع که در تهیه تابع استفاده نشد

بر این اساس انحراف معیار و ضریب تغییرات داده‌های واقعی در این تحقیق (به ترتیب ۰/۳ و ۳۷ درصد) مطلوب می‌باشند، همچنین تخمین‌های حاصل از مدل با مقادیر واقعی درصد کربن آلی سطحی، روند خطی و ضریب تبیین نسبتا خوبی R^2= ۰/۷۸ را نشان می‌دهند (شکل۳) که با نتایج ریورو و همکاران (۱۴) مطابقت دارد.

نتیجه گیری

ارزیابی تغییرات مکانی و تخمین ماده آلی خاک به دلیل مقادیر کمتر از حد مطلوب به عنوان فاکتوری غالب بر رفتار طیفی خاک و اثر سایر عوامل دخیل بر بازتاب‌ها با استفاده از داده های تصاویر ماهواره ای نتایج قابل اطمینانی را در اختیار قرار نمی دهد. از این رو پتانسیل داده‌های سنجنده ETM^+ برای ارزیابی ماده آلی خاک به دلیل مقادیر کمتر از ۲ درصد در منطقه خشک و نیمه خشک نیشابور محدود ارزیابی می شوند. از طرفی مطالعه خصوصیات خاک این مناطق نیز دشوار می‌باشد به طوری که به دلیل تعامل این خصوصیت با سایر پدیده ها، انعکاس طیفی خاک‌ها نمی تواند تنها به یکی از خصوصیات خاک نسبت داده شود. بنابر این می توان اظهار داشت که مدل به دست آمده از داده های زمینی در مواردی که برآورد تقریبی کربن آلی مورد نیاز باشد در محدوه کربن آلی کمتر از ۲ درصد برای خاک های منطقه مورد مطالعه از قابلیت ارزیابی بالایی برخوردار است و می توان از آن برای مدل سازی کربن آلی سایر مناطق با خصوصیات مشابه استفاده کرد.

منابع

۱- بنیاد مطالعات، پژوهش و توسعه نیشابور.http://neyshabur.org/index.php ، بازدید شده ۱۳۸۸/۴/۲۵.

2- Al-Ashwal, A.H.H.M. 2000. Land Evaluation using remote sensing and GIS technology for major crops grown in Amran valley, Yemen Republic, Department of Geography, University of Pune India.

3- Barnes, E,M., Sudduth, K.A., Hummel, J.W., Lesch, S.M., Corwin, D.L., Yang, C., Daughtry C.S.T., and Bausch, W.C. 2003. Remote and ground-Based sensore techniques to map soil properties, photogrammetric engineering and remote sensing, 69(6): 619-630.

4- Bouma, J. and H. A. J. Van Lanen. 1987. Transfer functions and threshold values from soil characteristics to land qualities. In: Beek, K., P. A. Barrough and D. D Mc Cormack (Editors), Proc. Workshop by ISSS/SSSA on Quantified land evaluation procedures, ITC publication No. 6, Enschede, The Netherlands, pp: 106-111.

5- Daniel, K., Tripathi, N.K., Honda K., and Apisit, E. 2001. Analysis of spectral reflectance and absorption patterns of soil organic matter. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5- 9 November, Signapore.

6- Duxbury, J.M., Smith, M.S. and Doran, J.W. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In D.C. Coleman, J.M. Oades & G. Uehara, eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystem, pp. 33–67. USA, University of Hawaii Press.

7- Henderson, T.L., Szilagyi, A., Baumgardner, M.F., Chen, C.C.T., and Landgrebe, D.A. 1989. Spectral band selection for classification of soil organic-matter content. Soil Science Society of America Journal, 53(6): 1778-1784.

8- Hong, S.Y., Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Palm, H.L., and Wiebold, W.J. 2002. Estimating

within field variations in soil properties from airborne hyperspectral images. Pecora Conference Land Satellite Information in the Next Decade. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland.
9- Inan, H.I., and S, Reis, 2005. The Need of a Parcel-Based Information System to Support Agricultural Sector. FIG Working Week 2005 and GSDI-8, April 16-21, Cairo, Egypt.
10- Klute, A. 1986. Method of soil analysis part 1: physical and mineralogical methods. 2nd edition. ASA.SSSA. Madison. Wisconsin.USA.
11- Mac Donalld, K. B. 1998. Development of pedotransfer functions for southern Ontario soils. Report from Greenhouse and Processing Crops Research Center Harrow, Ontario. 01686-8-0436. pp: 1-23.
12- Muhamad, S. 2005. Microbial Phosphorus dynamic by the decomposition of organic substrates, especially in saline and alkaline soils of Pakistani Punjab. PhD.thesis, Kassel University.
13- Ray, S.S., Singh, J.P., Dasa, G., and Panigrahy, S. 2004. Use of high resolution remote sensing data for generating sitespecific soil mangement plan. Proceedings of The 4th International Society for Photogrammetry and Remote sensing congress. July 12-23, Istanbul, Turkey
14- Rivero, R.G., Grunwald, S., Bruland, G.L. 2007. Incorporation of spectral data into multivariate geostatistical models to map soil phosphorus variability in a Florida wetland, Geoderma. In press.
15- Saxsena, R.K., Verma, K.S., Rajeev Srivastava, Janardan Yadav, N.K. Patel., Nasre R.A., Barthwal A.K., Shiwalkar A.A., and Londhe, S. L. 2003. Spectral reflectance properties of some dominant soils occurring on different altitudinal zones in Uttarancha Himalayas. Agropedology. 13(2): 35-43.
16- Stephens, SC., Rasmussen, VP., Ramsey, RD., Whitesides, RE., Searle, GS., and Newhall, RL. 2005. Remote sensing organic carbon in soil. USU/NASA SGEP Projects; available online (15-09-05), www.extnasa.usu.edu/link_pages/downloads/remote_sensing_carbon.pdf.
17- USDA. 1998. Keys to Soil Taxonomy. Eight edition. United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 326 p.
18- Wagner, B., V. R. Tarnawaski, V. Henning, V. Muller, G. Wessolek and R. Plagge. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. Geoderma, 102: 275- 297.
19- Walkely, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
20- Wang, V. 2007. The effects of salinity and sodicity on soil organic carbon stocks and fluxes. PhD. Thesis, the Australian National University.
21- Wilding, L.P. 1985. Spatial variability Its documentation, accommodation and implication to soil survey. In D, R. Nielsen and J. Bouma (eds.). Soil Spatial Variability, Pudoc, Wagenigen, the Netherlands.