

مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به

کمک داده‌های آنالیز سطح زمین

(مطالعه موردی: منطقه ضرغام آباد سمیرم)

احمدرضا پیله‌ور شهری^۱ - شمس‌الله ایوبی^{۲*} - حسین خادمی^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۶

چکیده

با توجه به نقش کربن آلی در مدیریت و پایداری خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، پایش میزان دی‌اکسیدکربن هوا، پیش‌بینی مکانی کربن آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این مطالعه مقایسه مدل رگرسیون چندمتغیره و مدل هوشمند شبکه عصبی در برآورد کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین می‌باشد. منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۴ کیلومتر مربع در اراضی تپه ماهوری جنوب ضرغام‌آباد سمیرم اصفهان با کاربری مرتع انتخاب و نمونه‌برداری در ۱۲۵ نقطه از عمق ۱۰-۱ سانتی‌متری انجام شد. میزان کربن آلی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده، اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های پستی و بلندی از روی مدل رقمی ارتفاع منطقه در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر محاسبه شد. در نهایت مدل رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی بین این ویژگی‌ها و کربن آلی، برقرار و سپس به وسیله نقاط اضافی نمونه‌برداری شده (۲۵ نقطه)، مدل‌های به دست آمده اعتبارسنجی شدند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل رگرسیونی توانست ۶۰ درصد از تغییرات مکانی کربن آلی و مدل شبکه عصبی مصنوعی حدود ۸۹ درصد از تغییرات را در منطقه مورد مطالعه توجیه نماید. نتایج آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که انحنای قائم، شاخص قدرت جریان، شیب، شاخص حمل رسوب، شاخص رطوبت، انحنای افقی و جهت شیب به عنوان خصوصیات پستی و بلندی مهم در کنترل کربن آلی خاک در اراضی تپه ماهوری مورد مطالعه بودند. نتایج کلی مطالعه نشان داد که کربن آلی خاک در منطقه از خصوصیات پستی و بلندی و فرآیندهای هیدرولوژیکی مرتبط با آن تأثیر زیادی گرفته است. همچنین بر اساس معیارهای میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا که در مدل رگرسیونی به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۳ و در مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۲۷ می‌باشند، مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزار قدرتمندتری در پیش‌بینی کربن آلی نسبت به آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی خاک، شاخص‌های پستی و بلندی، رگرسیون خطی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

خاک، در بحث کشاورزی و محیط زیست و مرتع در نظر گرفته می‌شود (۱و۶).

با توجه به اینکه مراتع توانایی زیادی برای ترسیب کربن دارند و در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران از وسعت بالایی برخوردار هستند، مطالعه محتوای کربن آلی و تغییرات مکانی در اکوسیستم‌های مزبور حائز اهمیت می‌باشند. این موضوع می‌تواند در کشورهای در حال توسعه‌ای همچون ایران که با بحران فرسایش خاک مواجه هستند، منجر به ایجاد راهکاری شود که حفاظت اراضی، بهره‌وری بهینه از اراضی و همچنین اصلاح و احیای مراتع تخریب یافته را به دنبال داشته باشد. خاک منبعی برای ذخیره و ترسیب کربن در ارتباط با اتمسفر است. ظرفیت بالای خاک برای ترسیب و یا رها سازی کربن

کربن آلی از مهمترین مؤلفه‌های اکوسیستم‌های خاکی است و تغییر در فراوانی و ترکیب آن اثرات اساسی روی فرآیندهایی که در هر سیستم رخ می‌دهد، دارد (۳). مدیریت دقیق اکوسیستم خاک برای اهداف مختلف، مستلزم شناخت دقیق و کمی خصوصیات و فرآیندهای آن است. مقدار کربن آلی خاک از خصوصیات مهم در تعیین کیفیت خاک است و به عنوان یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* - نویسنده مسئول: ayoubi@cc.iut.ac.ir (Email)

باعث می‌شود تا این سیستم نقش مهمی در کنترل میزان دی‌اکسیدکربن اتمسفر داشته باشد (۱۹ و ۲۵).

اکوسیستم‌های مرتعی به دلیل اینکه نیمی از کل اراضی جهان را در بر گرفته‌اند، قابلیت بالایی در ترسیب کربن دارند. برآورد ذخیره کربن خاک در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی بیشترین اهمیت را در ارزیابی تغییرات چرخه کربن دارد. ذخیره کربن در خاک به شکل ماده آلی در مقیاس جهانی نه تنها باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق بهبود حاصلخیزی خاکها می‌گردد، بلکه باعث کاهش میزان دی‌اکسیدکربن هوا و در نتیجه نقصان اثرات سوء گلخانه‌ای می‌شود (۲۰).

ذخایر ماده آلی و کربن خاک، شاخص مناسبی از کیفیت خاک است که به تغییرات عملیات مدیریتی حساس می‌باشد و توسط محققین زیادی به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک معرفی شده است. جهت تولید محصولات کشاورزی در سطحی قابل قبول، افزایش میزان ماده آلی خاکها مورد توجه قرار گرفته است (۵ و ۷). لذا برآورد مکانی و تغییرات کربن آلی در اکوسیستم‌های مختلف حائز اهمیت است. یکی از دقیق‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های ارزیابی کربن آلی خاک، پایش زمینی و نمونه‌برداری مستقیم خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی است (۵).

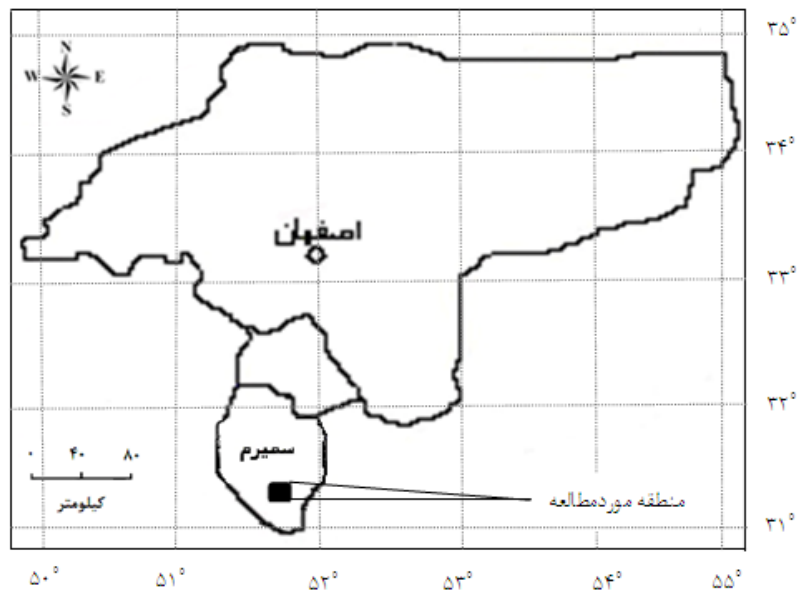
هزینه‌های زیاد جمع‌آوری نمونه‌های خاک، غیرقابل دسترس بودن برخی نقاط منطقه مورد مطالعه و هزینه‌های سنگین تجزیه نمونه‌های خاک، ارائه روش‌هایی را به منظور برآورد غیرمستقیم کربن آلی طلب می‌کند. نمونه‌ای از این روش‌های غیرمستقیم، استفاده از فاکتورهای توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع و مدل رگرسیون خطی است (۱۲). استفاده از این مدل‌ها، یک روش آسان، سریع، ارزان و قابل اعتماد برای پیش‌بینی کربن آلی خاک است.

ارتباط بین خصوصیات توپوگرافی نظیر ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، انحنای افقی و انحنای عمودی با کربن آلی روشن شده است. مور و همکاران (۱۳) طی مطالعه‌ای در کلرادو، مدل آماری خاک-چشم‌انداز را براساس تعیین ارتباط بین برخی خصوصیات سطحی خاک نظیر کربن آلی با ویژگی‌های پستی و بلندی به دست آوردند. چن و همکاران (۷) رابطه کمی بین کربن آلی خاک و مشخصات عوارض زمین حاصل از مدل‌های رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) را بدست آوردند. ضرایب همبستگی بین مقدار کربن آلی خاک و مشخصات عوارض زمین مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که شاخص رطوبتی بهترین پارامتر تخمین زنده برای پهنه‌بندی مقدار کربن آلی خاک است. ایوبی و علیزاده (۱) خصوصیات سطحی خاک (درصد شن، رس، ماده آلی، سنگریزه، رطوبت وزنی خاک و مقدار جرم مخصوص ظاهری) را در حوزه آبخیز مهر سبزوار مورد مطالعه قرار دادند و سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، ویژگی‌های پستی و بلندی را محاسبه نمودند. و به این نتیجه رسیدند که

خصوصیات پستی و بلندی با خصوصیات خاک ارتباط داشته است. مطالعات مشابهی نیز توسط بروج و همکاران (۶) در سال ۲۰۰۵ چنین ارتباطاتی را تایید کرده است. سومفلس و داتمن (۲۲) از اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های عوارض زمین برای پیش‌بینی توزیع خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که داشتن این اطلاعات می‌تواند دقت پیش‌بینی خصوصیات خاک را به طور مشخص افزایش دهد. مولر و پیرس (۱۵) مقایسه‌ای بین تکنیک‌هایی که از اطلاعات مکانی ثانویه شامل مشخصات عوارض زمین در مقیاس‌های متفاوت استفاده کرده بودند و روش‌هایی که بدون استفاده از این اطلاعات، نقشه کربن آلی خاک را تهیه کردند، انجام دادند. نتایج نشان داد روش‌هایی که در آنها از مشخصات عوارض زمین استفاده شده بود، نقشه‌هایی با کیفیت بالاتری تولید نمودند. ژبو و همکاران (۸) برای برآورد کربن آلی خاک از خصوصیات توپوگرافی استفاده کردند و با استفاده از مدل رگرسیون خطی توانستند ۲۹/۶ درصد از تغییرات کربن آلی را نشان دهند.

به دلیل پیچیدگی و روابط غیر خطی کربن آلی و خصوصیات توپوگرافی، بهتر است از انجام تحلیل‌های معین که در برگرفته ضرایب فراوان برای تنظیم فرمول‌ها می‌باشد، چشم‌پوشی شده و از روش‌های محاسباتی نرم (Soft computing) یا هوش مصنوعی (Artificial intelligence) که از قدرت انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است، استفاده شود. لذا فرض بر آن است که با انتخاب پارامترهای توپوگرافی از جمله شیب، شاخص رطوبت و غیره به عنوان متغیرهای ورودی به سامانه شبکه عصبی، می‌توان به یک مدل تعمیم یافته (Generalized) دست یافت. بدین طریق در مدل به دست آمده بیشترین وزن را آن متغیر ورودی خواهد داشت که بیشترین تأثیر را در خروجی آن دارد (۲). اینگل بای و کوروو (۱۰) برای پیش‌بینی میزان کربن آلی از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و نتایج آن را با مدل رگرسیون چندمتغیره مقایسه نمودند. هولمبرگ و همکاران (۹) از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان کربن آلی، نیتروژن و فسفر استفاده کردند.

متأسفانه در کشور ما با وجود وسعت زیاد مراتع و توانایی عظیم در ترسیب کربن و با توجه به نقش کربن آلی خاک در پایداری و کیفیت خاک و جلوگیری از فرسایش، تا به حال تحقیقات کاربردی محدودی در زمینه توزیع مکانی کربن آلی در مراتع انجام شده است. لذا این مطالعه به منظور توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه برای تخمین کربن آلی و مقایسه مدل رگرسیونی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد مکانی کربن آلی خاک با استفاده از خصوصیات و پارامترهای سطح زمین و همچنین تعیین مهمترین فاکتورهای توپوگرافی مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک در اراضی تپه ماهوری منطقه ضرغام آباد سمیرم استان اصفهان انجام گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۴۰۰ هکتار در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری جنوب شهر سمیرم واقع گردیده است. این منطقه در طول جغرافیایی ۳۹° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱° ۱۸' شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه هوای آن ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد است. اراضی شیبدار و تپه ماهوری مورد مطالعه عمدتاً از جنس آهکی و از رسوبات واریزه‌ای فرسایش یافته مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی می‌باشد. نمونه برداری به صورت شبکه‌بندی سیستماتیک صورت گرفت.

به این منظور با توجه به ابعاد منطقه مورد مطالعه (۸×۳ km) تعداد ۱۲۵ نقطه طراحی گردید. موقعیت محل نمونه برداری توسط GPS شناسایی شد (شکل ۲). در هر نقطه از افق سطحی از عمق ۱۰۰۰ سانتی‌متری اقدام به نمونه‌برداری گردید. در مرحله آزمایشگاهی مقدار ماده آلی به روش سوزاندن تر محاسبه شد (۱۷).

مدل رقومی ارتفاع منطقه با میان‌یابی (Interpolation) خطوط میزان نقشه توپوگرافی رقومی در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر در محیط نرم افزار 3.3 Illwis تهیه شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی با استفاده از محاسبات روی مدل رقومی ارتفاع به کمک نرم افزارهای Illwis و Digem تعیین گردید.

محاسبه شاخص‌های توپوگرافی

شاخص‌های اولیه (شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای قائم و

افقی، انحنای سطح زمین، انحنای مماسی، سایه‌اندازی پستی و بلندی، مساحت حوزه‌آبخیز) به طور مستقیم از مدل رقومی محاسبه گردید و ویژگی‌های ثانویه یا مرکب از ترکیب ویژگی‌ها یا شاخص‌های اولیه حاصل شد که می‌تواند به عنوان شاخصی از فرآیندهای ویژه، مانند انتقال آب و رسوب مورد استفاده قرار گیرد (۱۳ و ۱۴). اطلاعات کلی توپوگرافی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. شاخص‌های فوق با رستری کردن یک شبکه سلولی ۳×۳ محاسبه شدند.

اگر در شبکه سلولی، فاصله بین نقاط متوالی λ باشد و X و Y از مشخصات بردار طول و عرض و ارتفاع باشد، مشتقات لازم برای محاسبه شاخص‌های توپوگرافی به شرح ذیل است (۱۴).

$$f_{yy} = \partial^2 Z / \partial y^2 \quad (1)$$

$$f_{xy} = \partial^2 Z / \partial x \partial y \quad (2)$$

$$f_{xx} = \partial^2 Z / \partial x^2 \quad (3)$$

$$f_y = \partial Z / \partial y \quad (4)$$

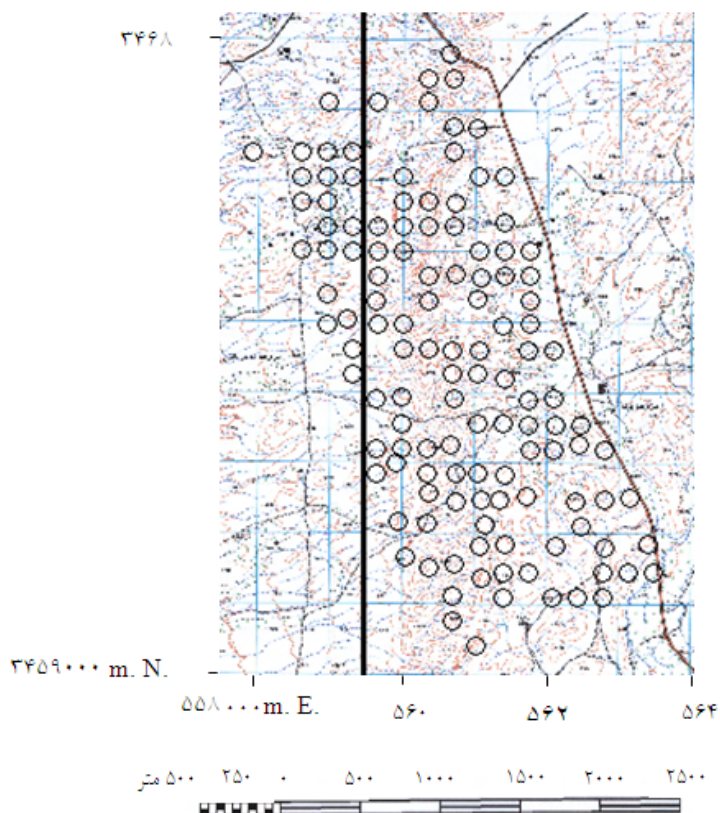
$$f_{yy} = \partial^2 Z / \partial y^2 \quad (5)$$

$$P = f_x^2 + f_y^2 \quad (6)$$

$$q = p + 1 \quad (7)$$

ماکزیمم شیب بر حسب درجه (β)، جهت شیب (ϕ)، انحنای افقی (σ)، انحنای قائم (ρ) عبارتند از:

$$\phi = \left(f_{xy} + f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_yf_y^2 \right) q^{2/2} \quad (8)$$



شکل ۲- پراکنش مکانی نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- اطلاعات کلی توپوگرافی منطقه

شاخص	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	دامنه
انحنای قائم	1/m	-0/01	0/02	0/0001	0/03
شاخص قدرت جریان	-	-92	1163	34/67	1255/91
شیب	-	0	0/6	0/12	0/6
شاخص حمل رسوب	-	0	24/9	4/32	24/9
شاخص رطوبت	-	4/13	12/94	6/78	8/81
انحنای افقی	1/m	-0/01	0/02	0/0004	0/05
جهت شیب	RAD	0/11	6/28	3/61	6/17
انحنای سطح زمین	1/m	-0/04	0/04	0/0005	0/08
انحنای مماسی	1/m	-3/86	1/56	-0/07	5/42
سایه اندازی پستی و بلندی	1/m	0/28	0/66	0/5	0/38
سطح ویژه حوزه	m ² m ⁻¹	10/01	6236/36	171/6	6226/34
ارتفاع	m	2222/6	2447/12	2352/71	224/52
مساحت حوزه آبخیز	m ² m ⁻¹	98/96	173140/28	4676/8	173041/32
قدرت جریان نسبی	-	0	336/6	13/46	336/6

$n = 1.3$ پارامترهای ثابت اند (۱۴).

مدل سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی

بسط و توسعه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی مستلزم طراحی اجزاء فنی تشکیل دهنده آن است. جهت دستیابی به اهداف موردنظر از شبکه های عصبی با ساختارهای مختلف همانند پرسپترون سعی گردید تا بهترین و کارآترین شبکه با تعیین مقدار خطای آن انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد. همچنین جهت دستیابی به فاکتورهای مؤثر بر کربن آلی از آنالیز حساسیت استفاده شد. در نهایت جهت انتخاب مدل مناسب و بهینه از شاخص های R^2 و RMSE استفاده گردید. اصولاً وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود. برای اجتناب از چنین شرایطی و همچنین یکسان نمودن ارزش داده ها، قبل از آموزش شبکه عصبی، داده های ورودی به آن بایستی استاندارد شوند. این کار مانع کوچک شدن بیش از حد وزن ها می گردد (۱۸).

مدل های شبکه عصبی مصنوعی جهت طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون می باشند. از داده های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی ها و خروجی های مشاهده ای، استفاده می گردد. از داده های اعتبارسنجی به منظور کنترل و نظارت بر یادگیری صحیح شبکه استفاده می شود و از داده های آزمون برای ارزیابی عملکرد شبکه پیشنهادی استفاده می گردد. در این پژوهش ۶۰، ۲۰ و ۲۰ درصد کل داده ها، به ترتیب برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل اختصاص یافت.

$$\beta = \arctan(p1/2) \quad (9)$$

$$\varphi = 180 - \arctan(f_y/f_x) + 90(d_x/|f_x|) \quad (10)$$

$$\omega = (f_{xy}f_x^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_yf_y^2)p^{2/2} \quad (11)$$

شاخص رطوبتی شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم انداز زمین است که به وسیله معادله ذیل قابل محاسبه می باشد. مقدار A_s در این معادله سطح ویژه حوزه آبخیز (m^2/m) و β درجه شیب می باشد (۱۴):

$$W = Ln(A_s/\tan\beta) \quad (12)$$

شاخص قدرت جریان (Ω) نمایشی از قدرت فرساینده گی جریان های سطحی است (۱۴):

$$\Omega = A_s \tan\beta \quad (13)$$

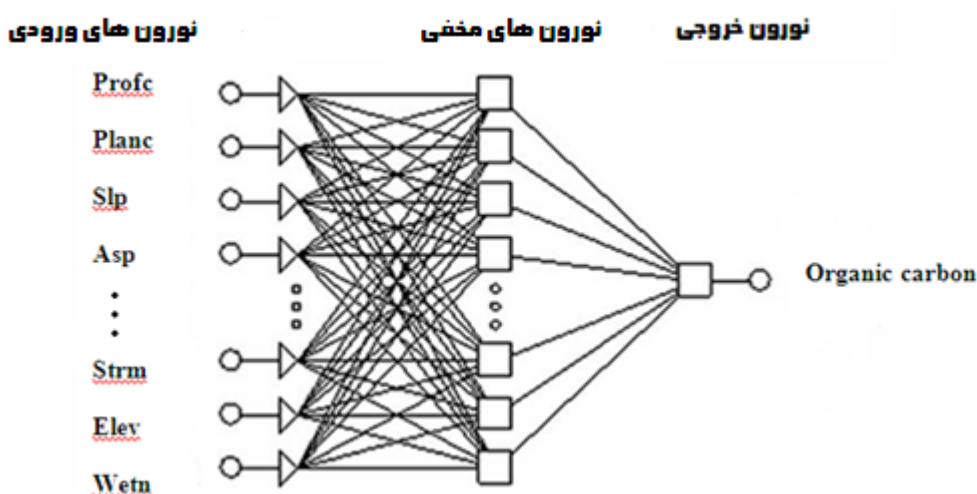
$$A_s = A/W \quad (14)$$

که در این فرمول A_s سطح ویژه حوزه آبخیز و A مساحت و W شاخص عرض جریان می باشد.

شاخص حمل رسوب (Sediment transport index) (Γ): نمایانگر فرآیندهای فرسایش و رسوب بوده و به طور عمده تاثیر شیب بر فرسایش را نشان می دهد (۱۲). طبق نظر مور و ویلسون (۱۲) این شاخص با فاکتور شیب- طول شیب یعنی فاکتور LS در مدل جهانی برآورد فرسایش خاک (USLE) (Universal Soil Loss Equation) یکسان می باشد:

$$\Gamma = (A_s/22.13)^m (\sin\beta/0.0896)^n \quad (15)$$

در این معادله A_s و β همان پارامترهای قبلی و $m = 0.6$



شکل ۳- شمائی از طرح شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی کربن آلی با استفاده از خصوصیات پستی و بلندی

نشانگر درجه اریب بودن تخمین است که باید حتی المقدور نزدیک صفر باشد و RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که برای یک تخمین نا اریب باید تا حد امکان حداقل باشد. و R^2 نیز یکی از آماره هایی است که در مقالات شبکه های عصبی به فراوانی از آن استفاده شده است.

آنالیز حساسیت

فرآیند آنالیز حساسیت اطلاعات ارزشمندی درباره میزان حساسیت مدل به متغیرهای ورودی آن را در اختیار طراح و معمار مدل قرار می دهد. با شناسایی میزان تأثیر متغیرهای ورودی بر دقت پیش بینی مدل، می توان متغیرهای کم اثر را از شبکه حذف و مدل ساده تری را بسط و توسعه داد. در این پژوهش برای انجام آنالیز حساسیت مدل از روش Statsoft (۲۱) استفاده گردید. بدین صورت که مقادیر ضریب حساسیت متغیرهای ورودی در این روش از تقسیم نمودن خطای کل شبکه در غیاب یک متغیر بر خطای کل شبکه در حضور تمامی متغیرهای ورودی، به دست می آید. بر اساس این روش اگر مقدار ضریب حساسیت یک متغیر بیش تر از یک باشد، آن متغیر سهم زیادی در توضیح متغیر وابسته دارد (۲۱).

نتایج و بحث

بررسی رابطه رگرسیونی بین پارامترهای پستی و بلندی

با کربن آلی

نتایج آمار توصیفی کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که کربن آلی تغییرپذیری نسبتاً زیادی از خود نشان می دهد. آزمون نرمالیته کولموگروف-اسمیرونوف نشان داد که متغیر کربن آلی دارای توزیع نرمال می باشد. نتایج ضریب چولگی کربن آلی خاک (بین +۱ و -۱) مؤید این مطلب است.

مدل مزبور توانسته است ۶۰ درصد از تغییرات کربن آلی سطحی خاک را در منطقه توجیه نماید (شکل ۴). به نظر می رسد این مقدار توجیه واریانس توسط چنین مدلی، قابل قبول باشد. در نهایت حدود ۴۰ درصد از تغییرپذیری کربن آلی خاک در این منطقه تبیین نگردید که این موضوع به دلیل وجود روابط غیرخطی بین پدیده ها می باشد که در مدل رگرسیونی در نظر گرفته نمی شود. هر چند می توان برای ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرات بیشتری از کربن آلی خاک در سطح حوزه را پیش بینی کند، از فواصل کمتر نمونه برداری و ابعاد کوچکتر پیکسل های DEM استفاده کرد.

به منظور طراحی شبکه، پارامترهای پستی و بلندی زمین به عنوان پارامترهای ورودی و مقدار کربن آلی خاک به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند (شکل ۳). شبکه ای با ۱۴ نرون در لایه ورودی (خصوصیات پستی و بلندی زمین) و یک نرون در لایه خروجی طراحی گردید. به منظور آموزش شبکه عصبی، با استفاده از نرم افزار Matlab 7.6، شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند آموزش که شامل تغییر وزن بین لایه های مختلف در طول زمان آموزش است، انجام گردید تا جایی که تفاوت بین داده های واقعی (برای داده های آزمون) و داده های پیش بینی شده به حداقل برسد. و در نهایت بهترین ساختارهای شبکه برای کربن آلی خاک بر اساس کمترین میزان ریشه میانگین مربع خطا و بیشترین R^2 انتخاب گردیدند (۱۱). برای ارزیابی دقت پیش بینی مدل از داده های آزمون استفاده گردید.

ایجاد مدل آماری و اعتبارسنجی آن

بعد از محاسبه شاخص های اولیه و ثانویه پستی و بلندی در نقاط مورد مطالعه، بین پارامترهای مزبور و کربن آلی خاک، آنالیز رگرسیون چندمتغیره خطی به روش رگرسیون گام به گام (Stepwise regression) صورت گرفت. آنالیزهای آماری مختلف نظیر محاسبه آماره های توصیفی شامل میانگین، حداقل، حداکثر، ضریب تغییرات، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی و همچنین آنالیز رگرسیون چندمتغیره توسط نرم افزار SPSS انجام شد. جهت اعتبارسنجی مدل ها از ۲۵ نقطه استفاده شد. بدین منظور با استفاده از مشخصات پستی و بلندی که از مدل رقومی ارتفاع استخراج شده و با کمک مدل رگرسیونی و مدل شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده، کربن آلی در نقاط مورد نظر برازش گردید و سپس معیارهای میانگین خطا (Mean Error) (ME) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (Root Mean Square Error) و ضریب تبیین (R^2) به شکل زیر محاسبه شده اند (۱۹، ۴، ۱۹۶).

$$ME = \sum [Z^*(si) - Z(si)] / n \quad (16)$$

$$RMSE = \left\{ \sum [Z^*(si) - Z(si)]^2 / n \right\}^{1/2} \quad (17)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z(si) - Z^*(si)]^2}{\sum_{i=1}^N [Z(si) - \bar{Z}(si)]^2} \quad (18)$$

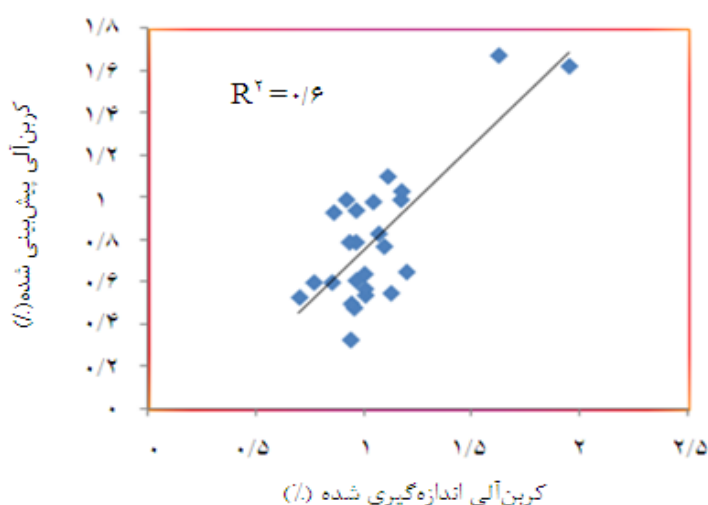
که $Z^*(si)$ ، $Z(si)$ و $\bar{Z}(si)$ به ترتیب مقدار پیش بینی، اندازه گیری شده و میانگین مقدار اندازه گیری شده کربن آلی خاک و n تعداد نقاط مطالعاتی می باشد. مقدار تخمین زده شده شاخص ME

جدول ۲- آمار توصیفی از کربن آلی (درصد) در اراضی تپه ماهوری ضرغام آباد سمیرم استان اصفهان

تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	درصد ضریب تغییرات	چولگی	کشیدهگی
۱۲۵	۰/۳۳	۲/۲۰	۰/۸۱	۳۴	۰/۲۹	۴/۴۶

مدل رگرسیونی چندمتغیره بین کربن آلی و پارامترهای توپوگرافی در زیر ارائه شده است.

$$O. C \% = -2/289 + 0/027(Wet) + 0/001(Elev) - 3/866(Curv) + 7/611E-6(Cathm)$$



شکل ۴- ارتباط بین کربن آلی اندازه گیری شده و کربن آلی پیش بینی شده (%) در مدل رگرسیون چندمتغیره خطی

است.

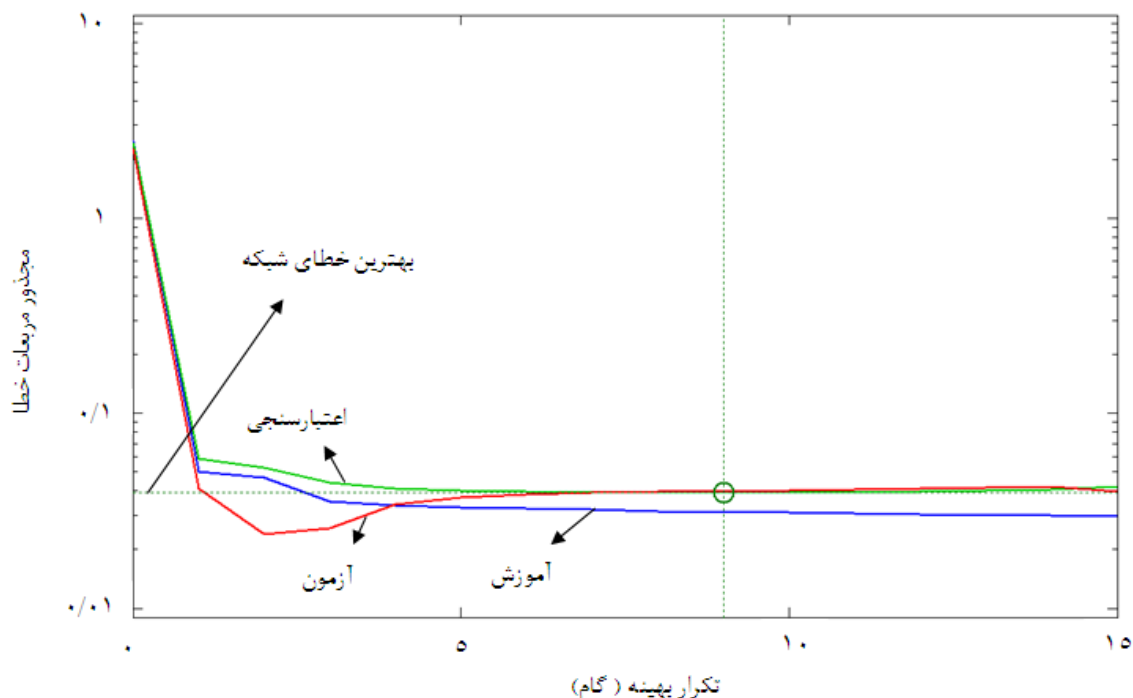
در همین ارتباط سومفلس و داتمن (۲۲) از داده‌های عوارض زمین برای پیش‌بینی توزیع خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که فاکتور شیب و شبکه آبراه‌ای در مدل رگرسیون خطی وارد شده است و این مدل می‌تواند فقط ۳۵ درصد تغییرات کربن آلی را توجیه کند. بروج و همکاران (۶) نیز با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره و آنالیز سطح زمین توانستند ۴۷ درصد از تغییرات کربن آلی را توجیه کنند و همچنین نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که مقدار ME و RMSE به ترتیب برابر با صفر و ۰/۲۷ بود. مولر و پیرس (۱۵) کربن آلی را با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و آنالیز سطح زمین پیش‌بینی کردند و نتایج نشان داد که برای فواصل نمونه‌برداری ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ متری، ضریب تبیین مدل از ۶۶ درصد به ۸۹ درصد افزایش یافت و فاکتورهای شیب، انحنای افقی، انحنای قائم و ارتفاع وارد مدل شدند. تامسون و همکاران (۲۳) نیز با مدل رگرسیون- زمین نما توانستند ۷۰ درصد از تغییرات کربن آلی را پیش‌بینی کنند.

نتایج اعتبارسنجی مدل نیز نشان می‌دهد که مقدار ME مدل نزدیک به صفر بوده و این امر مؤید این مطلب است که برازش، توسط مدل ایجاد شده ناریب بوده است. مقدار RMSE پایین مدل نیز نشان‌دهنده دقت مناسب و قابل قبول برآورد می‌باشد. همانطور که در مدل مشاهده می‌شود رابطه‌ی بین مقدار کربن آلی با شاخص رطوبت، ارتفاع و مساحت حوزه آبخیز، مستقیم و با انحنای سطح زمین غیرمستقیم می‌باشد. مقدار کربن آلی خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به شدت متأثر از مقدار رطوبت خاک است. طبق این مدل با کاهش انحنای سطح زمین، تجمع رطوبت بیشتر و در نتیجه درصد کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. ایوبی و علیزاده (۱) از مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای برآورد کربن آلی بر اساس ویژگی‌های پستی و بلندی در ۳ واحد سنگ شناسی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل می‌تواند ۲۸ تا ۳۵ درصد از تغییرات کربن آلی خاک را در منطقه توجیه نماید و همچنین نتایج نشان داد که فاکتورهای پستی و بلندی مهم که با کربن آلی ارتباط داشتند و در مدل رگرسیونی نیز وارد شده، به طور عمده شامل شیب و جهت آن، ارتفاع، شاخص قدرت جریان و شاخص حمل رسوب بوده

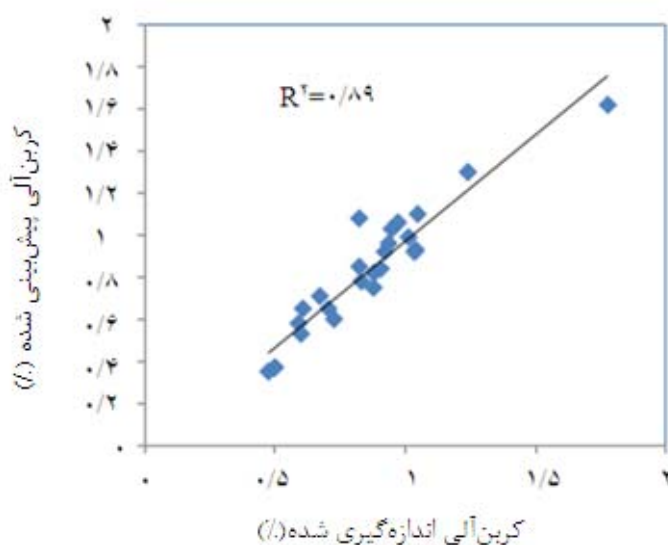
نتایج مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

ساختار به دست آمده به وسیله شبکه عصبی مصنوعی برای پارامتر کربن آلی دارای ۱۴ گره در لایه ورودی و ۱ گره در لایه خروجی می باشد. همچنین تکرار بهینه در ساختار به دست آمده به وسیله شبکه عصبی مصنوعی برای پارامتر کربن آلی ۱۰۰۰ و کارآترین تابع انتقال برای ساختار شبکه عصبی مصنوعی Tansig می باشد. شکل ۵ تغییرات مقدار میانگین مربعات خطای (MSE) شبکه در

گام های مختلف نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، بهترین خطای شبکه که با خط چین نمایش داده شده است، برابر ۰/۰۳۹ در گام ۹ می باشد. زمانی روند آموزش شبکه صحیح می باشد که مقدار میانگین مربعات خطای (MSE) شبکه از بهترین خطای شبکه پایین تر باشد و دو خطی که روند اعتبارسنجی و آزمون را نشان می دهد نیز به هم نزدیک باشند.



شکل ۵- شمایی از تغییرات مقدار میانگین مجذور خطای شبکه



شکل ۶- ارتباط بین کربن آلی اندازه گیری شده و کربن آلی پیش بینی شده (%) در مدل شبکه عصبی مصنوعی

آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی کربن آلی باشد. با این وجود روش شبکه عصبی مصنوعی نیز با مشکلاتی از قبیل آزمون اجزای مختلف ساختار شبکه نظیر قانون یادگیری، توابع انتقال مورد استفاده در لایه‌های پنهان و خروجی، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون در لایه پنهان به روش سعی و خطا نیز همراه می‌باشد.

پارامترهای توپوگرافی مؤثر بر توزیع کربن آلی در منطقه مورد مطالعه

برای شناخت پارامترهای مهم و مؤثر بر میزان کربن آلی و در نتیجه استفاده از این پارامترها به منظور دستیابی به تخمین بهتر، آنالیز حساسیت به روش Statsoft انجام شد که نتایج آن به صورت هیستوگرام در شکل ۷ ارائه شده است.

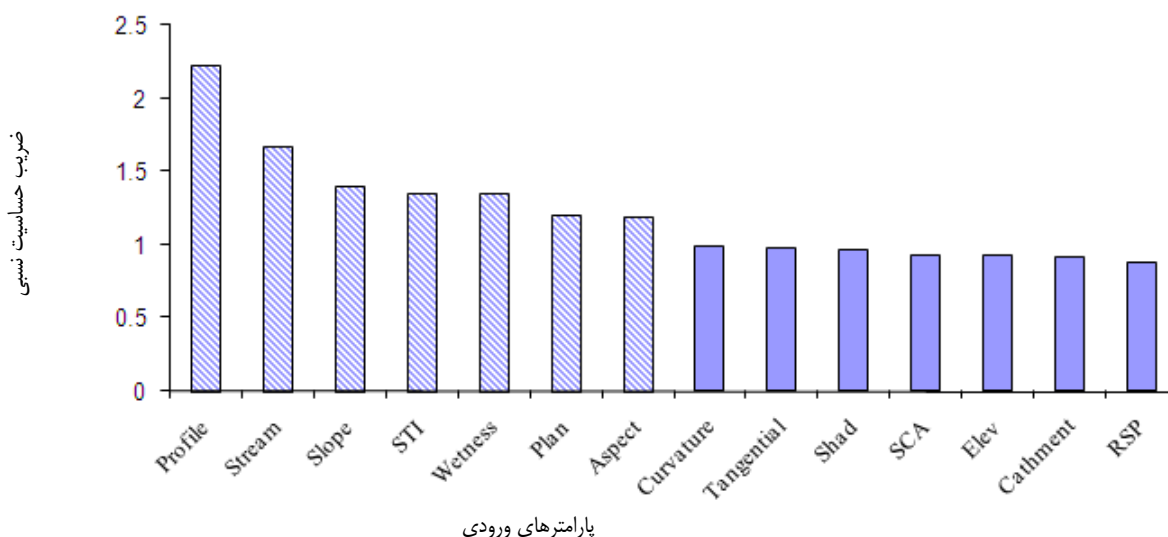
Profile: انحنای قائم زمین، Stream: شاخص قدرت جریان، Slope: شیب، STI: شاخص حمل رسوب، Wetness: شاخص رطوبت، Plan: انحنای افقی زمین، Aspect: جهت شیب، Curvature: انحنای سطح زمین، Tangential: انحنای مماسی زمین، Shad: سایه اندازی پستی و بلندی، SCA: سطح ویژه حوزه، Elev: ارتفاع، Cathment: مساحت حوزه آبخیز، RSP: قدرت جریان نسبی

همانطور که شکل ۷ نشان می‌دهد، انحنای قائم به عنوان مهمترین پارامتر مؤثر بر میزان کربن آلی در منطقه مورد مطالعه شناخته شد.

مقایسه نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل رگرسیونی

هر چه ضریب تبیین از مقدار بالاتر و ME و RMSE از مقدار کمتری برخوردار باشد، نشان دهنده دقت بالاتر مدل می‌باشد. بنابراین با توجه به ME و RMSE که برای مدل شبکه عصبی به ترتیب برابر ۰/۰۰۶ و ۰/۰۲۷ و برای مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برابر ۰/۲۵ و ۰/۳ می‌باشد، شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های رگرسیونی در پیش‌بینی پارامتر کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه دارای دقت بیشتری می‌باشد (شکل ۶). دلیل این امر در نظر گرفتن روابط غیر-خطی بین پدیده‌ها در روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مدل توسعه یافته شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه ۸۹ درصد از تغییرپذیری در سطح زمین نما را توجیه نمود و در نهایت حدود ۱۱ درصد از تغییرپذیری کربن آلی خاک در این منطقه تبیین نگردید که این موضوع تا اندازه زیادی به دلیل در نظر نگرفتن و عدم اندازه‌گیری پارامترهای مدیریتی و به ویژه عوامل اقلیمی مثل بارندگی و انسانی مؤثر بر میزان کربن آلی خاک در سطح زمین نما می‌باشد. در همین ارتباط اینگل بای و کوروو (۱۰) پس از مقایسه مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد کربن آلی خاک، با توجه به مقدار مجموع مربعات خطا (SSE) که در مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیونی چندمتغیره به ترتیب ۵/۴۳ و ۶/۲۳ بودند، به برتری مدل شبکه عصبی پی بردند.

مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان شاخص‌های پستی و بلندی و میزان کربن آلی و به دنبال



شکل ۷- نتایج آنالیز حساسیت کربن آلی خاک به روش Statsoft بر اساس آنالیز شبکه عصبی مصنوعی

سطحی و در نتیجه کاهش کربن آلی در اراضی پرشیب و موقعیت های شانه شیب (Shoulder) می گردند.

شاخص رطوبتی بیان کننده تمایل زمین به تجمع آب در آن نقطه می باشد و برای مناطق با سطح ویژه حوزه مشابه، هر چه شیب منطقه کمتر باشد، این شاخص از مقدار بالایی برخوردار است (۲۴). بنابراین می توان عنوان نمود که این شاخص بیانگر فرآیندهای تجمع آب در سطح زمین نما است و به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین نما بوده و با افزایش شیب نسبت جریان آب سطحی افزایش و پتانسیل نفوذ کاهش می یابد که می تواند تاثیر زیادی بر روی میزان کربن آلی داشته باشد. فرآیندهای تجمع آب و رواناب عمدتاً به وسیله شکل و موقعیت زمین تعیین می گردند. بنابراین با توجه به شیب منطقه مورد مطالعه و انحنای سطح زمین، شاخص رطوبتی و در نتیجه مقدار کربن آلی قابل تغییر است.

شاخص جهت شیب که یک عامل مهم در تغییر خصوصیات اکوسیستم می باشد، نشان دهنده اثر تابش خورشیدی در جهت های مختلف شیب به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در میزان کربن آلی در این مطالعه می باشد، که می تواند در پراکنش مکانی پوشش گیاهی و همچنین تشکیل خاک و تجزیه کربن آلی تأثیرگذار باشد.

نتیجه گیری

نتایج کلی پژوهش نشان می دهد که در عرصه های طبیعی که مشکلات خاص نمونه برداری، هزینه های تجزیه و آنالیز نمونه ها در سطح زیاد وجود دارد، می توان از توابع انتقالی و به کمک داده های زود یافت نظیر پارامترهای توپوگرافیکی اولیه و ثانویه برای تخمین کربن آلی سود جست.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بیشتری در برآورد مقدار کربن آلی خاک نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره می باشد به گونه ای که مدل شبکه عصبی مصنوعی توانست ۸۹ درصد از تغییرات کربن آلی خاک و مدل رگرسیون چندمتغیره ۶۰ درصد از تغییرات کربن آلی خاک در افق سطحی اراضی مرتعی تپه ماهوری منطقه سمیرم اصفهان را توجیه نمودند. همچنین نتایج آنالیز حساسیت مدل توسعه یافته به وسیله شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که انحنای قائم، شاخص قدرت جریان، شیب، شاخص حمل رسوب، شاخص رطوبت، انحنای افقی و جهت شیب، مهمترین فاکتورهای مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک می باشند.

انتظار می رود در مطالعات آتی جهت ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از مقدار کربن آلی خاک در این منطقه را پیش بینی نماید، از نمونه برداری های متراکم تر، مدل رقومی ارتفاعی دقیق تر و تلفیق متغیرهای توپوگرافیکی و اطلاعات حاصل از تصاویر

به عبارتی دیگر میزان کربن آلی در این منطقه، حساسیت زیادی به این پارامتر نشان داد. دیگر پارامترهای مهم و مؤثر بر میزان کربن آلی به ترتیب شامل شاخص قدرت جریان، شیب، شاخص حمل رسوب، شاخص رطوبت، انحنای افقی و جهت شیب می باشد. میزان کربن آلی در منطقه مورد مطالعه حساسیت کمی به دیگر پارامترهای توپوگرافی دارد و این پارامترها سهم کمی در توضیح تغییرپذیری میزان کربن آلی در این منطقه دارد.

پارامتر انحنای قائم، مشخصه ای از میزان تغییرات پتانسیل نظیر تغییرات سرعت جریان آب و فرآیندهای انتقال رسوب را منعکس می نماید (۲۵) و به عنوان مهمترین فاکتور تأثیرگذار بر میزان کربن آلی می باشد. میانگین انحنای سطح زمین، تمرکز یا پخشیدگی جریان آب سطحی را تعیین می کند به گونه ای که در سطوح مقعر جریان آب متمرکز شده و نفوذ افزایش می یابد در حالی که در وضعیت های محدب جریان آب پخشیده شده و نفوذ کاهش می یابد.

شاخص قدرت جریان که نشان دهنده قدرت فرسایش جریان آب در سطح زمین نما می باشد (۲۴)، یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر بر پارامتر کربن آلی در این مطالعه می باشد. بیشترین مقادیر این پارامتر مربوط به مناطقی است که در سطح زمین نما در هر دو پارامتر شیب و سطح ویژه حوزه از مقادیر بالایی برخوردار هستند. بنابراین به نظر می رسد که میزان کربن آلی در منطقه مورد مطالعه به دو طریق به شاخص قدرت جریان مربوط می گردد: یکی در مناطق با شیب زیاد که همراه با فرآیندهای فرسایشی است و دیگری در مناطقی که سطح ویژه حوزه بالایی دارند و در این مناطق رطوبت زیاد است و می تواند بر روی جمعیت میکروبی و تجزیه کربن آلی تأثیرگذار باشد (۲۴). با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، در قسمت هایی که شیب کمی دارد و قدرت فرسایش جریان آب کم می شود از مقدار کربن آلی بیشتری برخوردار است.

شاخص انتقال رسوب که معادل فاکتور طول شیب در معادله جهانی فرسایش خاک می باشد، نشان دهنده فرآیندهای فرسایشی خاک است. نتایج آنالیز حساسیت کربن آلی نشان داد که فرآیندهای فرسایشی (فاکتور طول شیب و شیب) به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییرپذیری کربن آلی در این منطقه می باشند. به گونه ای که این فرآیندها باعث توزیع رطوبت و جابجایی خاک در سطح زمین نما می گردند و به دنبال این فرآیند تغییرپذیری مکانی در خصوصیات شیمیایی نظیر کربن آلی در سطح منطقه اتفاق می افتد. فاکتور شیب بر روی سرعت جریان سطحی و زیرسطحی آب و به دنبال آن مقدار آب خاک، پتانسیل فرسایش اراضی، تشکیل و تکامل خاک و دیگر فرآیندهای مهم در خاک تأثیر می گذارد. بنابراین می توان عنوان نمود که در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش نیز فرآیندهای فرسایشی حاکم در منطقه منجر به کاهش ضخامت خاک

منابع

- ۱- ایوبی ش.، علیزاده م.ح. ۱۳۸۵. برآورد خصوصیات افق سطحی خاک با استفاده از مدل رقومی پستی و بلندی زمین (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز مهر سبزوار استان خراسان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره دوم، صفحه ۸۵-۹۶.
- ۲- رضایی ع.، مهدوی م.، لوکس ک.، فیض نیا س. و مهدیان م.ح. ۱۳۸۶. مدل سازی منطقه‌ای دبی‌های اوج در زیر حوزه‌های آبخیز سد سفیدرود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره اول (الف)، صفحه ۲۵-۳۹.
- ۳- علوی پناه ک. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۷۸ صفحه.
- ۴- معماریان فرد م. و بیگی هرچگانی ح. ۱۳۸۸. مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع انتقالی رگرسیونی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری. نشریه آب و خاک، شماره ۴، صفحه ۹۰-۹۹.
- ۵- ملکوتی م. و گلچین ا. ۱۳۸۳. نگهداری و پویایی موادآلی در خاک. مجله علوم خاک و آب، شماره ۱، صفحه ۴۰-۵۲.
- 6- Broge N.H., Greve M.H., and Larsen R. 2005. Estimating topsoil organic matter content in two experimental fields in Denmark using multi-spectral aerial imagery and topographic data. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*. 105(2):1-14.
- 7- Chen F., West L.T., Kissel D.E., Clark R., and Adkins W. 2008. Field-scale mapping of soil organic carbon with soil-landscape modeling. *Proceedings of the 8th international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Shanghai, P. R. China*, pp. 294-301.
- 8- Guo P.T., Liu H.B., and Wu W. 2009. Spatial prediction of soil organic matter using terrain attributes in a hilly area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. Wuhan, CHINA*. 3:759-762.
- 9- Holmberg M., Forsius M., Starr M., and Huttunen M. 2006. An application of artificial neural networks to carbon, nitrogen and phosphorus concentration in three boreal streams and impacts of climate change. *International Society for Ecological Information 3rd Conference. Grottaferrata, Roma, ITALIE*. 195:51-60.
- 10- Ingleby H.R., and Crowe T.G. 2001. Neural network models for predicting organic matter content in Saskatchewan soils. *Canadian Biosystems Engineering*. 43:71-75.
- 11- Liu J., Goering C.E., and Tian L. 2001. A neural network for setting target yields. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 44: 705-713.
- 12- Moore I.D., and Wilson J.P. 1992. Length- slope factors in the revised universal soil lossequation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 47:423- 429.
- 13- Moore I.D., Gessler P.E., and Nielson G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 57:443-452.
- 14- Moore I.D., Grayson R.B., and Landson A.R. 1991. Digital terrain modeling. A review of hydrological, geomorphological, and applications. *Hydrological Processes*. 5: 3-30.
- 15- Mueller T.G., and Pierce F.J. 2003. Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. *Soil Science Society of America Journal*. 67:258-267.
- 16- Norouzi M., Ayoubi S., Jalalian A., Khademi H., and Dehghani A.A. 2009. Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agriculture Scandianavica, Section B – Soil and Plant Science*. In press.
- 17- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1992. *Methods of Soil Analysis. Part II, Chemical and Mineralogical Properties*. 2nd edition., Soil Science Society of America publisher., Madison. 1159pp.
- 18- Sajikumara N., and Thandaveswra B.S. 1999. A non linear rainfall- runoff model using an artificial neural network. *Journal of Hydrology*. 216: 32-55.
- 19- Sinowski W., and Auerswald K. 1999. Using relief parameters in a discriminate analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. *Geoderma* 89:113-128.
- 20- Somaratne S., Seneviratne G., and Coomaraswamy U. 2005. Prediction of soil organic carbon across different land-use patterns: A neural network approach. *Soil Science Society of America Journal*. 69:1580-1589.

- 21- StatSoft Inc. 2004. Electronic statistics textbook (Tulsa, OK, USA). <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
- 22- Sumfleth K., and Duttmann R. 2008. Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators. *Ecological Indicators*. 8:485-501.
- 23- Thompson J.A., and Kolka R.K. 2005. Soil carbon storage estimation in a forested watershed using quantitative soil-landscape modeling. *Soil Science Society of America Journal*. 69:1086-1093.
- 24- Wilson J.P., and Gallant J.C. 2000. *Terrain analysis*. Wiley & Sons, New York. 479 p.
- 25- Zevebergen, L. W., and Thorne, C. R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes Landforms*. 12:47-56.
- 26- Zhanga C., and McGrath D. 2004. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. *Geoderma*. 119:261-275.

Comparison of Artificial Neural Network (ANN) and Multivariate Linear Regression (MLR) Models to Predict Soil Organic Carbon Using Digital Terrain Analysis (Case Study: Zargham Abad Semirom, Isfahan Province)

A.R. Pilevar Shahri¹ - Sh. Ayoubi^{2*} - H. Khademi³

Received: 10-3-2010

Accepted: 28-8-2010

Abstract

Spatial prediction of soil organic carbon is a crucial proxy to manage and conserve natural resources, monitoring CO₂ and preventing soil erosion strategies within the landscape, regional, and global scale. The objectives of this study was to evaluate capability of artificial neural network and multivariate linear regression models in order to predict soil organic carbon using terrain attributes. A study area of 24 km² in hilly regions of Zargham Abad in south of Semirom under natural rangeland uses, was selected and then 125 soil samples (0-10 cm depth) were collected. Soil organic carbon was measured for the collected soil samples. Topographic attributes were calculated by a digital elevation model with 10 m spacing. Finally, multiple linear regression (MLR) analysis and ANN models were developed for soil organic carbon estimation in the study area and then the developed models were validated by additional samples (25 points). The results showed that the MLR and ANN models explained 60 and 89 % of the total variability of SOC, respectively, in the study area using terrain attributes. Sensitivity analysis based upon the ANN models, revealed that the profile curvature, stream power index, slope, sediment transport index, wetness index, plan curvature and aspect were identified as the important topographic attributes influencing the SOC distribution within the selected hillslope. The overall results indicated that topographic attributes and hydrological process control a significant variability of SOC. Prediction of the statistical studied models in the study area resulted in mean error and root mean square error values of 0.25, 0.3 in MLR equation and 0.006, 0.027 in ANN, respectively. Therefore, the ANN model could provide superior predictive performance when compared with developed MLR model.

Keywords: Soil organic carbon, Terrain attributes, Linear regression, Artificial neural network

1 2,3- MSc Student, Assistant Professor and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Respectively
(*-Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)