نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص. ۱۱۶۳-۱۱۵۱

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1151-1163

مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن‌آلی 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 کربن‌آلی در مدیریت و پایداری خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، پایش میزان دی‌اکسیدکربن هوا، پیش بینی مکانی کربن‌آلی 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 داده های آنالیز سطح زمین می باشد. 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 ۱۰-۰ سانتی‌متری انجام شد. میزان کربن‌آلی نمونه‌های خاک جمع آوری شده، اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های پستی و بلندی از روی مدل رقومی‌ارتفاع منطقه در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر محاسبه شد. در نهایت مدل رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی بین این ویژگی‌ها و کربن‌آلی، برقرار و سپس به وسیله‌ی نقاط اضافی نمونه‌برداری شده (۲۵ نقطه)، مدل های به دست آمده اعتبارسنجی شدند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل رگرسیونی توانست ۶۰ درصد از تغییرات مکانی کربن‌آلی 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 ۰/۰۰۶ و ۰/۰۲۷ می باشند، مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزار قدرتمندتری در پیش بینی کربن‌آلی نسبت به آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره عمل می‌کند.

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

مقدمه

کربن‌آلی از مهمترین مؤلفه های 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 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 کربن‌آلی 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

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)

باعث می‌شود تا این سیستم نقش مهمی در کنترل میزان دی‌اکسیدکربن اتمسفر داشته باشد (۱۹و۲۵).

اکوسیستم‌های مرتعی به دلیل اینکه نیمی از کل اراضی جهان را در برگرفته‌اند، 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 ماده‌آلی 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 و۷). لذا برآورد مکانی و تغییرات کربن‌آلی در اکوسیستم‌های مختلف حائز اهمیت است. یکی از دقیق‌ترین و مرسوم ترین روش‌های ارزیابی کربن‌آلی خاک، پایش زمینی و نمونه‌برداری مستقیم خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی است (۵).

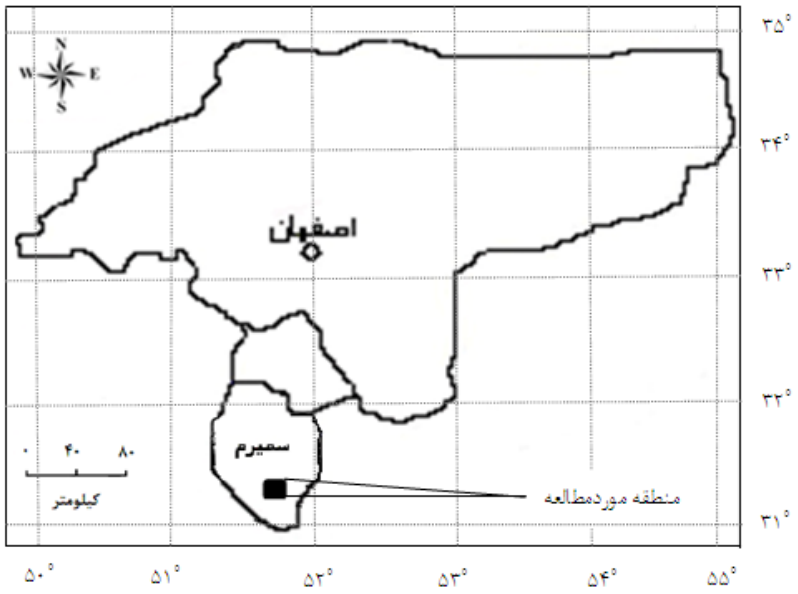
هزینه‌های زیاد جمع‌آوری نمونه‌های خاک، غیرقابل دسترس بودن برخی نقاط منطقه مورد مطالعه و هزینه‌های سنگین تجزیه نمونه‌های خاک، ارائه روش‌هایی را به منظور برآورد غیرمستقیم کربن‌آلی طلب می‌کند. نمونه‌ای از این روش‌های غیرمستقیم ، استفاده از فاکتورهای توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع و مدل رگرسیون خطی است (۱۲).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

ارتباط بین خصوصیات توپوگرافی نظیر ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، انحنای افقی و انحنای عمودی با کربن‌آلی 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 کربن‌آلی با ویژگی‌های پستی و بلندی به دست آوردند. چن و همکاران (۷) رابطه کمی بین کربن‌آلی خاک و مشخصات عوارض زمین حاصل از مدل‌های رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) را بدست آوردند. ضرایب همبستگی بین مقدار کربن‌آلی خاک و مشخصات عوارض زمین مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که شاخص رطوبتی بهترین پارامتر تخمین زننده برای پهنه‌بندی مقدار کربن‌آلی 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 پیش بینی توزیع خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که داشتن این اطلاعات می‌تواند دقت پیش بینی 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، نقشهٔ کربن 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. ژیو 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 برگیرنده ضرایب فراوان برای تنظیم فرمول‌ها می باشد، 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 برآن 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 کربن‌آلی 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 کربن‌آلی، 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 کربن‌آلی در مراتع انجام شده است. لذا این مطالعه به منظور توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه برای تخمین کربن‌آلی و مقایسه مدل رگرسیونی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد مکانی کربن‌آلی خاک با استفاده از خصوصیات و پارامترهای سطح زمین و همچنین تعیین مهمترین فاکتورهای توپوگرافی مؤثر بر بر مقدار کربن‌آلی خاک در اراضی تپه ماهوری منطقه ضرغام آباد سمیرم استان اصفهان انجام گرفته است.



شکل۱- 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 ´۱۸ °۳۱ 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 زمین شناسی می‌باشد.

نمونه برداری به صورت شبکه‌بندی سیستماتیک صورت گرفت. به این منظور با توجه به ابعاد منطقه مورد مطالعه(۳ km×۸) تعداد ۱۲۵ نقطه طراحی گردید. موقعیت محل نمونه برداری توسط GPS شناسایی شد (شکل۲). در هر نقطه از افق سطحی از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری اقدام به نمونه‌برداری گردید. در مرحله آزمایشگاهی مقدار ماده آلی به روش سوزاندن تر محاسبه شد (۱۷).

مدل رقومی‌ارتفاع منطقه با میان‌یابی (Interpolation) خطوط میزان نقشه توپوگرافی رقومی در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر در محیط نرم افزار Illwis 3.3 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 شاخص های توپوگرافی

شاخص‌های اولیه (شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای قائم و افقی، انحنای سطح زمین، انحنای‌مماسی، سایه‌اندازی پستی و بلندی، مساحت حوزه‌آبخیز) به طور مستقیم از مدل رقومی محاسبه گردید و ویژگی‌های ثانویه یا مرکب از ترکیب ویژگی ها یا شاخص‌های اولیه حاصل شد که می‌تواند به عنوان شاخصی از فرآیندهای ویژه، مانند انتقال آب و رسوب مورد استفاده قرار گیرد (۱۳و۱۴). 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 و Z مشخصات بردار طول و عرض و ارتفاع باشد، مشتقات لازم برای محاسبه شاخص های توپوگرافی به شرح ذیل است (۱۴).

$$f_{yy} = \partial^2 Z/\partial y^2 \quad (۱)$$

$$f_{xy} = \partial^2 Z/\partial x \partial y \quad (۲)$$

$$f_{xx} = \partial^2 Z/\partial x^2 \quad (۳)$$

$$f_y = \partial Z/\partial y \quad (۴)$$

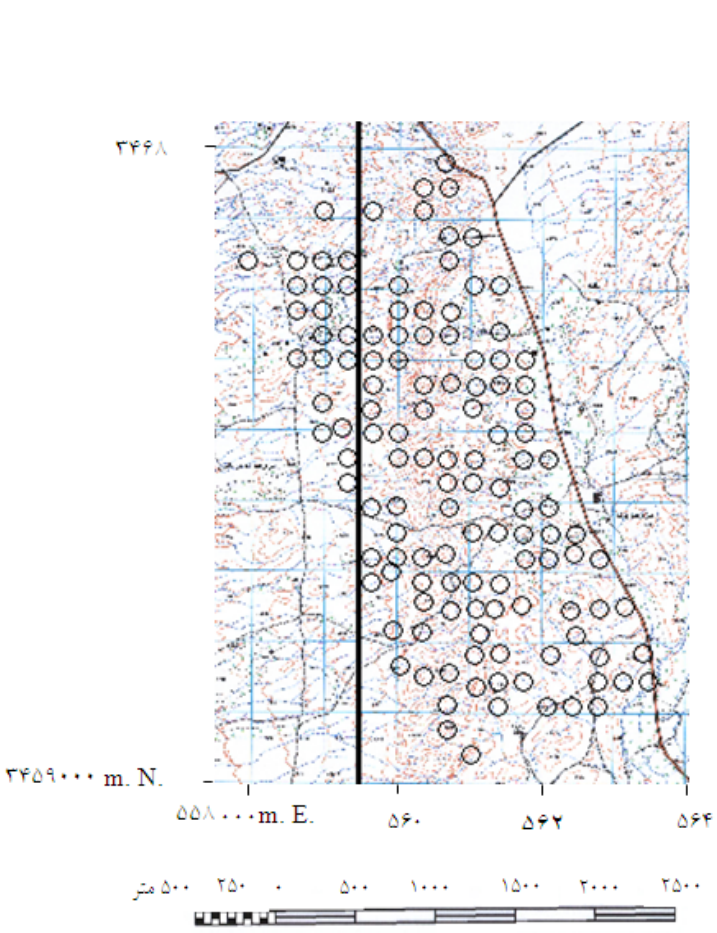
$$f_{yy} = \partial^2 Z/\partial y^2 \quad (۵)$$

$$P = f^2{}_x + f^2{}_y \quad (۶)$$

$$q = p + 1 \quad (۷)$$

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

$$\Phi = \left(f_{xy} + f^2{}_x + 2f_{xy}f_x f_y + f_y f^2{}_y\right) q^{3/2} \quad (۸)$$



شکل۲- پراکنش مکانی نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

جدول۱- اطلاعات کلی توپوگرافی منطقه

شاخص	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	دامنه
انحنای قائم	1/m	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳
شاخص قدرت جریان	-	-۹۲	۱۱۶۳	۳۴/۶۷	۱۲۵۵/۹۱
شیب	-	۰	۰/۶	۰/۱۲	۰/۶
شاخص حمل رسوب	-	۰	۲۴/۹	۴/۳۲	۲۴/۹
شاخص رطوبت	-	۴/۱۳	۱۲/۹۴	۶/۷۸	۸/۸۱
انحنای افقی	1/m	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۵
جهت شیب	RAD	۰/۱۱	۶/۲۸	۳/۶۱	۶/۱۷
انحنای سطح زمین	1/m	-۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۸
انحنای مماسی	1/m	-۳/۸۶	۱/۵۶	-۰/۰۷	۵/۴۲
سایه اندازی پستی و بلندی	1/m	۰/۲۸	۰/۶۶	۰/۵	۰/۳۸
سطح ویژه حوزه	m^2m^{-1}	۱۰/۰۱	۶۲۳۶/۳۶	۱۷۱/۶	۶۲۲۶/۳۴
ارتفاع	m	۲۲۲۲/۶	۲۴۴۷/۱۲	۲۳۵۲/۷۱	۲۲۴/۵۲
مساحت حوزه آبخیز	m^2m^{-1}	۹۸/۹۶	۱۷۳۱۴۰/۲۸	۴۶۷۶/۸	۱۷۳۰۴۱/۳۲
قدرت جریان نسبی	-	۰	۳۳۶/۶	۱۳/۴۶	۳۳۶/۶

$$\beta = \arctan(p1/2) \quad (۹)$$

$$\varphi = 180 - \arctan(f_y/f_x) + 90(d_x/|f_x|) \quad (۱۰)$$

$$\omega = \left(f_{xy}f^2_x - 2f_{xy}f_xf_y + f_yf^2_y\right)p^{3/2} \quad (۱۱)$$

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):

$$W = Ln(A_s/tan\beta) \quad (۱۲)$$

شاخص قدرت جریان (Ω) نمایشی از قدرت فرسایندگی جریان‌های سطحی است (۱۴):

$$\Omega = A_s \tan\beta \quad (۱۳)$$

$$A_s = A/W \quad (۱۴)$$

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:

$$\Gamma = (A_s/22.13)^m(Sin\beta/0.0896)^n \quad (۱۵)$$

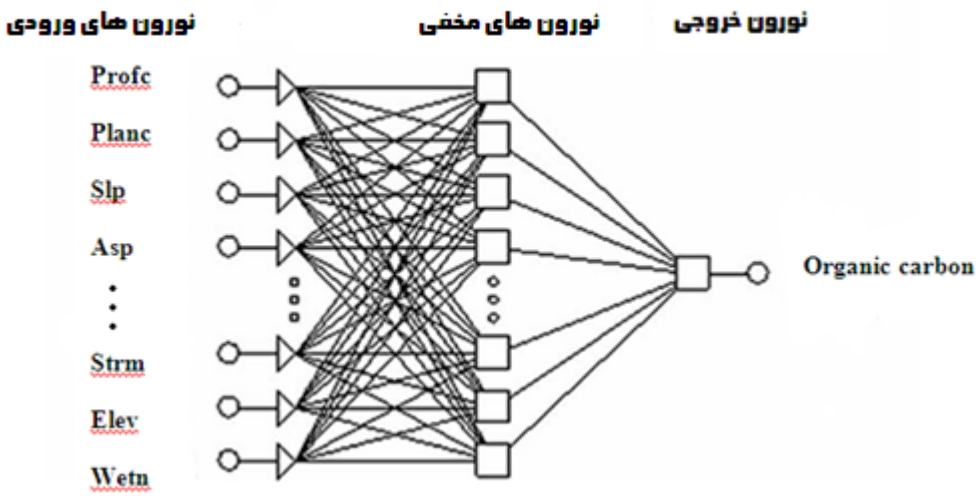
در این معادله A_s و β همان پارامترهای قبلی و $m = 0.6$ و $n = 1.3$ پارامترهای ثابت اند (۱۴).

مدل سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی

بسط و توسعه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی مستلزم طراحی اجزاء فنی تشکیل‌دهنده 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 کربن‌آلی از آنالیز حساسیت استفاده شد. در نهایت جهت انتخاب مدل مناسب و بهینه از شاخص‌های R^2 و RMSE استفاده گردید.

اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. 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 وزن‌ها می‌گردد (۱۸).

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی جهت طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون می‌باشند. از داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای، استفاده می‌گردد. از داده‌های اعتبارسنجی به منظور کنترل و نظارت بر یادگیری صحیح شبکه استفاده می‌شود و از داده‌های آزمون برای ارزیابی عملکرد شبکه پیشنهادی استفاده می‌گردد. در این پژوهش ۶۰، ۲۰ و ۲۰ درصد کل داده‌ها، به ترتیب برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل اختصاص یافت.



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

به منظور طراحی شبکه، پارامترهای پستی و بلندی زمین به عنوان پارامترهای ورودی و مقدار کربن‌آلی خاک به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند (شکل۳). شبکه‌ای 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 Matlab7.6، شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند آموزش که شامل تغییر وزن بین لایه‌های مختلف در طول زمان آموزش است، انجام گردید تا جایی که تفاوت بین داده‌های واقعی (برای داده‌های آزمون) و داده‌های پیش‌بینی شده به حداقل برسد. و در نهایت بهترین ساختارهای شبکه برای کربن‌آلی خاک بر اساس کمترین میزان ریشه میانگین مربع خطا و بیشترین R^2 انتخاب گردیدند (۱۱). برای ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل از داده‌های آزمون استفاده گردید.

ایجاد مدل آماری و اعتبارسنجی آن

بعد از محاسبه شاخص‌های اولیه و ثانویه پستی و بلندی در نقاط مورد مطالعه، بین پارامترهای مزبور و کربن‌آلی خاک، آنالیز رگرسیون چندمتغیره خطی به روش رگرسیون گام‌به‌گام (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 نرم‌افزار SPSS انجام شد. جهت اعتبارسنجی مدل ها از ۲۵ نقطه استفاده شد. بدین‌منظور با استفاده از مشخصات پستی و بلندی که از مدل‌رقومی‌ارتفاع استخراج شده و با کمک مدل رگرسیونی و مدل شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده، کربن‌آلی در نقاط موردنظر 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 (۱۶،۴و۱۹).

$$ME = \sum \left[Z^*(si) - Z(si) \right] / n \qquad (۱۶)$$

$$RMSE = \left\{ \sum \left[Z^*(si) - Z(si) \right]^2 / n \right\}^{1/2} \qquad (۱۷)$$

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^{n} [Z(si) - Z^*(si)]^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N} [Z(si) - \bar{Z}(si)]^2 \qquad (۱۸)$$

که $Z^*(si)$، $Z(si)$ و $\bar{Z}(si)$ به ترتیب مقدار پیش بینی، اندازه گیری شده و میانگین مقدار اندازه‌گیری شده کربن‌آلی خاک و n تعداد نقاط مطالعاتی می باشد. مقدار تخمین زده شده شاخص ME 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. وR^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 می‌دهد. با شناسایی میزان تأثیر متغیرهای ورودی بر دقت پیش‌بینی مدل، می‌توان متغیرهای کم‌اثر را از شبکه حذف و مدل ساده‌تری را بسط و توسعه داد. در این پژوهش برای انجام آنالیز حساسیت مدل از روش Statsoft (۲۱) استفاده گردید. بدین‌صورت 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 می‌آید. 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.

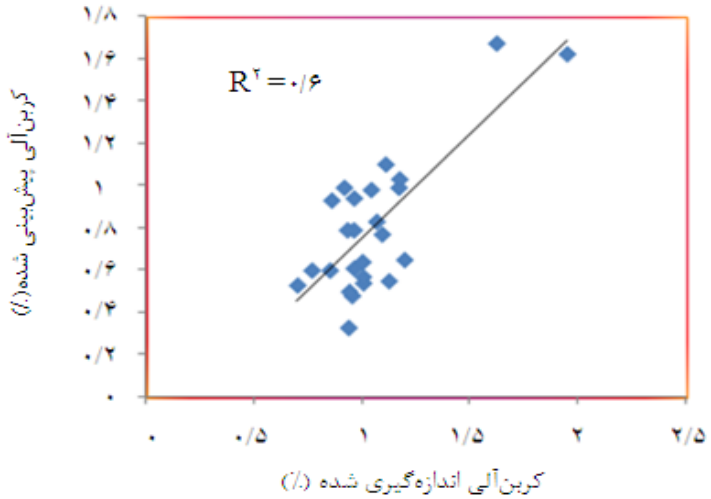
مدل مزبور توانسته است ۶۰ درصد از تغییرات کربن آلی سطحی خاک را در منطقه توجیه نماید (شکل۴). به نظر می‌رسد این مقدار توجیه واریانس توسط چنین مدلی، قابل‌قبول باشد. در نهایت حدود ۴۰ درصد از تغییرپذیری کربن‌آلی خاک در این منطقه تبیین نگردید که این موضوع به دلیل وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها می‌باشد که در مدل رگرسیونی در نظر گرفته نمی‌شود. هر چند می‌توان برای ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرات بیشتری از کربن‌آلی خاک در سطح-حوزه را پیش‌بینی کند، از فواصل کمتر نمونه‌برداری و ابعاد کوچکتر پیکسل‌های DEM استفاده کرد.

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

تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	درصدضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
۱۲۵	۰/۳۳	۲/۲۰	۰/۸۱	۳۴	۰/۲۹	۴/۴۶

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

$$O.C\ \% = -۲/۲۸۹ + ۰/۰۲۷(Wet) + ۰/۰۰۱(Elev) - ۳/۸۶۶(Curv) + ۷/۶۱۱E\text{-}۶(Cathm)$$



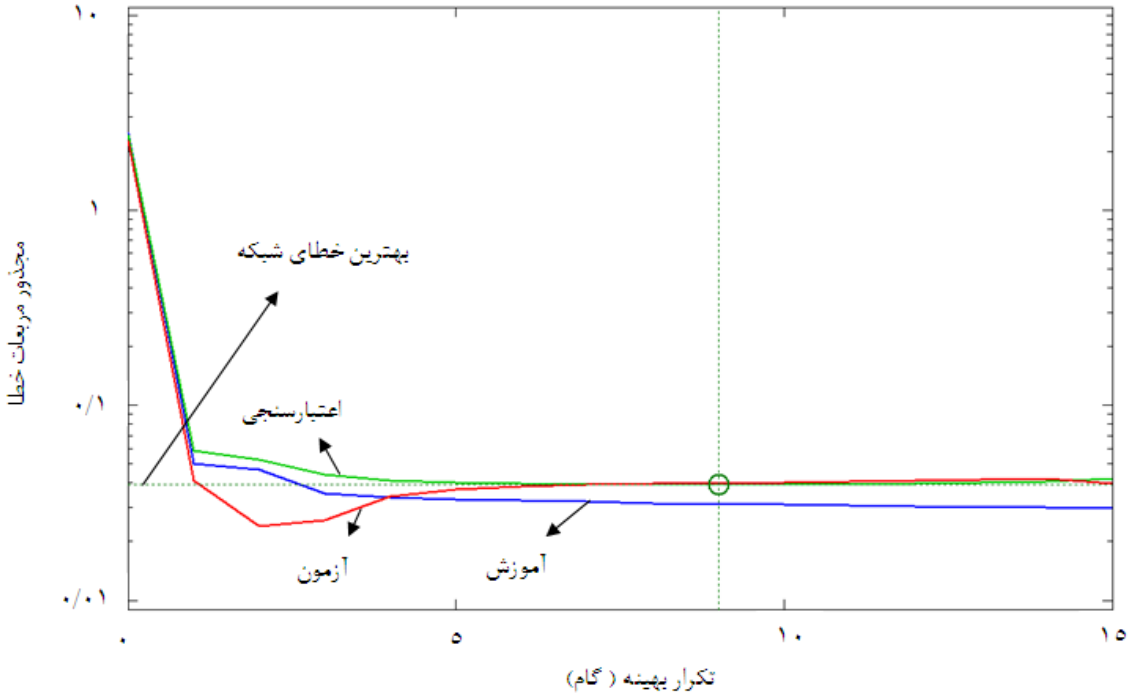
شکل ٤- ارتباط بین کربن آلی اندازه گیری شده و کربن آلی پیش بینی شده (٪) در مدل رگرسیون چندمتغیره خطی

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 قابل‌قبول برآورد می‌باشد. همانطور که در مدل مشاهده می شود رابطه‌ی بین مقدار کربن آلی با شاخص رطوبت، ارتفاع و مساحت حوزه آبخیز، مستقیم و با انحنای سطح زمین غیرمستقیم می باشد. 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 کربن‌آلی خاک افزایش می یابد. ایوبی و علیزاده (۱) از مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای برآورد کربن آلی بر اساس ویژگی های پستی و بلندی در ۳ واحد سنگ شناسی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل می تواند 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 است.

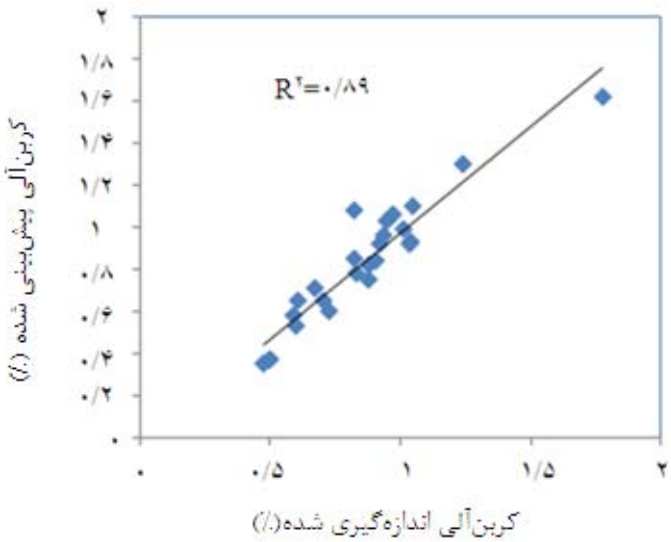
در همین ارتباط سومفلس و داتمن (۲۲) از داده‌های عوارض زمین برای پیش‌بینی توزیع خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که فاکتور شیب و شبکه آبراهه‌ای در مدل رگرسیون خطی وارد شده است و این مدل می‌تواند فقط ۳۵ درصد تغییرات کربن‌آلی را توجیه کند. بروج و همکاران (۶) نیز با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره و آنالیز سطح زمین توانستند ۴۷ درصد از تغییرات کربن‌آلی 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) کربن‌آلی 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 پیش بینی کنند.

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 می‌باشد. همچنین تکرار بهینه در ساختار به دست آمده به وسیله شبکه‌عصبی‌مصنوعی برای پارامتر کربن‌آلی ۱۰۰۰ و کارآترین تابع انتقال برای ساختار شبکه عصبی مصنوعی Tansig می‌باشد. شکل ۵ تغییرات مقدار میانگین مربعات خطای (MSE) شبکه در گام‌های مختلف نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، بهترین خطای شبکه که با خط‌چین 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 پایین‌تر باشد و دو خطی که روند اعتبارسنجی و آزمون را نشان می دهد نیز به هم نزدیک باشند.



شکل۵- شمایی از تغییرات مقدار میانگین مجذور خطای شبکه



شکل٦- ارتباط بین کربن‌آلی اندازه‌گیری شده و کربن آلی پیش‌بینی شده (٪) در مدل شبکه عصبی مصنوعی

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 می باشد، شبکه عصبی‌مصنوعی نسبت به روش‌های رگرسیونی در پیش‌بینی پارامتر کربن‌آلی خاک در منطقه مورد مطالعه دارای دقت بیشتری می باشد (شکل۶). دلیل این امر در نظر گرفتن روابط غیر-خطی بین پدیده‌ها در روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مدل توسعه یافته شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی کربن‌آلی خاک در منطقه مورد مطالعه ۸۹ درصد از تغییرپذیری در سطح زمین نما را توجیه نمود و در نهایت حدود ۱۱ درصد از تغییرپذیری کربن‌آلی 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 کربن‌آلی 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.

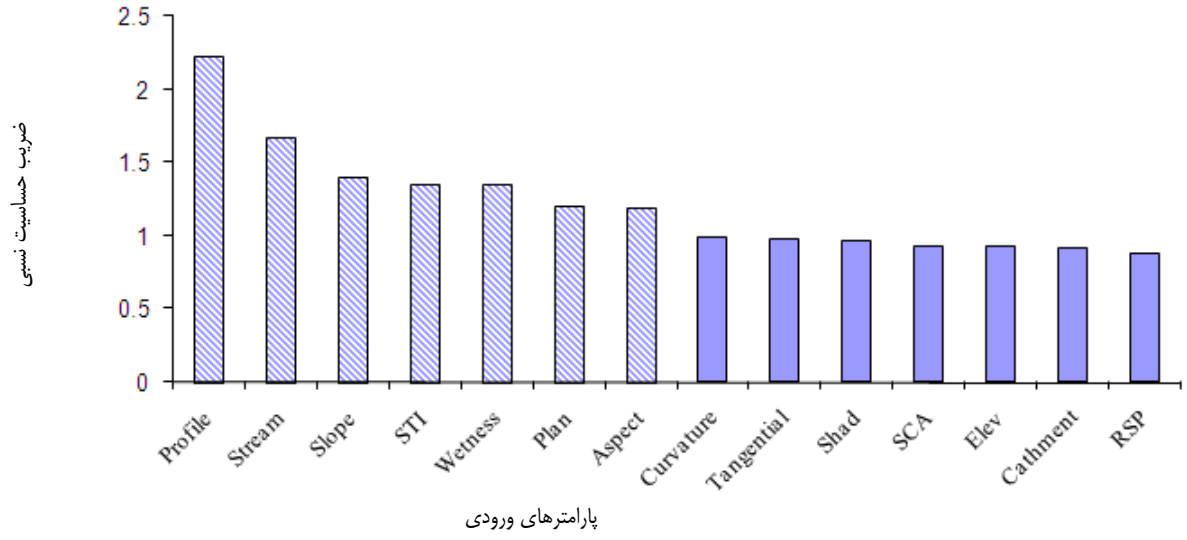
مدل شبکه عصبی‌مصنوعی به دلیل درنظرگرفتن روابط غیرخطی موجود میان شاخص‌های پستی و بلندی و میزان کربن‌آلی و به دنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی کربن آلی باشد. با این وجود روش شبکه عصبی‌مصنوعی نیز با مشکلاتی از قبیل آزمون اجزای مختلف 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 کربن‌آلی 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 کربن‌آلی در منطقه مورد مطالعه شناخته شد.



شکل۷- نتایج آنالیز حساسیت کربن آلی خاک به روش Statsoft بر اساس آنالیز شبکه عصبی مصنوعی

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

پارامتر انحنای قائم، مشخصه‌ای از میزان تغییرات پتانسیل نظیر تغییرات سرعت جریان آب و فرآیندهای انتقال رسوب را منعکس می‌نماید (۲۵) و به عنوان مهمترین فاکتور تأثیرگذار بر میزان کربن‌آلی می‌باشد. میانگین انحنای سطح زمین، تمرکز یا پخشیدگی جریان آب سطحی را تعیین می‌کند به گونه‌ای که در سطوح مقعر جریان آب متمرکز شده و نفوذ افزایش می‌یابد در حالی که در وضعیت‌های محدب جریان آب پخشیده شده و نفوذ کاهش می‌یابد.

شاخص قدرت‌جریان که نشان‌دهنده قدرت فرسایش جریان آب در سطح زمین‌نما می‌باشد (۲۴)، یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر بر پارامتر کربن‌آلی در این مطالعه می‌باشد. بیشترین مقادیر این پارامتر مربوط به مناطقی است که در سطح زمین‌نما در هر دو پارامتر شیب و سطح ویژه حوزه از مقادیر بالایی برخوردار هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که میزان کربن‌آلی در منطقه موردمطالعه به دو طریق به شاخص قدرت‌جریان مربوط می‌گردد: 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 می‌تواند بر روی جمعیت میکروبی و تجزیه کربن‌آلی تاثیرگذار باشد (۲۴). با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، در قسمت‌هایی که شیب کمی دارد و قدرت فرسایش جریان آب کم می‌شود از مقدار کربن‌آلی بیشتری برخوردار است.

شاخص انتقال‌رسوب که معادل فاکتور طول‌شیب در معادله جهانی‌فرسایش‌خاک می‌باشد، نشان‌دهنده‌ی فرآیندهای فرسایشی‌خاک است. نتایج آنالیز حساسیت کربن‌آلی نشان داد که فرآیندهای فرسایشی (فاکتور طول شیب و شیب) به عنوان یکی از عوامل‌مؤثر بر تغییرپذیری کربن‌آلی در این منطقه می‌باشند. به گونه‌ای که این فرآیندها باعث توزیع رطوبت و جابجایی خاک در سطح زمین‌نما می‌گردند و به دنبال این فرآیند تغییرپذیری مکانی در خصوصیات شیمیایی نظیر کربن‌آلی در سطح منطقه اتفاق می‌افتد. 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 تاثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان عنوان نمود که در منطقه موردمطالعه در این پژوهش نیز فرآیندهای فرسایشی حاکم در منطقه منجر به کاهش ضخامت خاک سطحی و در نتیجه کاهش کربن‌آلی در اراضی پرشیب و موقعیت های شانه شیب (Shoulder) می‌گردند.

شاخص رطوبتی بیان‌کننده تمایل زمین به تجمع آب در آن نقطه می‌باشد و برای مناطق با سطح ویژه حوزه مشابه، هر چه شیب منطقه کمتر باشد، این شاخص از مقدار بالایی برخوردار است (۲۴). بنابراین می‌توان عنوان نمود که این شاخص بیانگر فرآیندهای تجمع آب در سطح زمین‌نما است و به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما بوده و با افزایش شیب نسبت جریان آب سطحی افزایش و پتانسیل نفوذ کاهش می‌یابد که می‌تواند تاثیر زیادی بر روی میزان کربن‌آلی داشته باشد. فرآیندهای تجمع آب و رواناب عمدتاً به وسیله شکل و موقعیت زمین تعیین می‌گردند. بنابراین با توجه به شیب منطقه موردمطالعه 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 می‌باشد، نشان‌دهنده اثر تابش خورشیدی در جهت‌های مختلف شیب به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در میزان کربن‌آلی در این مطالعه می‌باشد، که می‌تواند در پراکنش مکانی پوشش گیاهی و همچنین تشکیل خاک و تجزیه کربن‌آلی تأثیرگذار باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در عرصه‌های طبیعی که مشکلات خاص نمونه‌برداری، هزینه‌های تجزیه و آنالیز نمونه ها در سطح زیاد وجود دارد، می توان از توابع انتقالی و به کمک داده های زودیافت 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 کربن‌آلی خاک نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره می‌باشد به گونه‌ای که مدل شبکه عصبی مصنوعی توانست ۸۹ درصد از تغییرات کربن‌آلی خاک و مدل رگرسیون چندمتغیره ۶۰ درصد از تغییرات کربن‌آلی خاک در افق سطحی اراضی مرتعی تپه ماهوری منطقه سمیرم اصفهان را توجیه نمودند. همچنین نتایج آنالیز حساسیت مدل توسعه‌یافته به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که انحنای قائم، شاخص قدرت‌جریان، شیب، شاخص حمل رسوب، شاخص رطوبت، انحنای افقی و جهت شیب، مهمترین فاکتورهای مؤثر بر مقدار کربن‌آلی خاک می‌باشند.

انتظار می‌رود در مطالعات آتی جهت ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از مقدار کربن‌آلی خاک در این منطقه را پیش‌بینی نماید، از نمونه‌برداری‌های متراکم‌تر، مدل رقومی ارتفاعی دقیق‌تر و تلفیق متغیرهای توپوگرافیکی و اطلاعات حاصل از تصاویر

ماهواره‌ای و اطلاعات محیطی جانبی مؤثر بر کربن‌آلی به نتایج رضایت بخش‌تری دست یافت.

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- معماریان‌فرد م. و بیگی‌هرچگانی ح. ۱۳۸۸. مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع انتقالی رگرسیونی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری. نشریه آب و خاک، شماره۴، 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 Acandinavica, 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 quantitive 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, NewYork. 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.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1151-1163

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص. ۱۱۶۳-۱۱۵۱

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 Proviance)

A.R. Pilevar Shahri[1] - Sh. Ayoubi[2*]- H. Khademi[3]
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 CO_2 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 km^2 in hilly regions of Zargham Ababd 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 modeless 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)