پژوهش‌های آبخیزداری شماره ۱۰۴، پاییز ۱۳۹۳
(پژوهش و سازندگی)

پیش‌بینی تغییرات کربن آلی خاک دیمزارها و آنالیز حساسیت متغیرهای تخمین‌گر

یحیی پرویزی
استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه (نویسنده مسئول)
محمدحسین مهدیان
استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: فروردین ماه ۱۳۹۳
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۳۰۶۴۱۱
E-mail: yparvizi1360@gmail.com

چکیده
از آنجا که کربن آلی خاک نقش کلیدی در تولید و باروری خاک دارد، جایگاه منحصر به فردی در مدیریت پایدار خاک و مدیریت صحیح کشت بویژه در شرایط کشور ما دارد. از میان اجزاء تشکیل دهنده خاک، ماده آلی خاک تنهی جزئی است که تغییرات آن در میان مدت صرفا تابع شرایط مدیریتی است. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات عوامل مدیریتی و فیزیکی بر تغییرات کمی کربن آلی خاک در کاربری زراعت دیم حوزه نیمه خشک مرگ در غرب کشور انجام شد. نمونه برداری به روش سیستماتیک تصادفی انجام و شبیه سازی و تحلیل اثرات عوامل فیزیکی و مدیریتی و آنالیز حساسیت متغیرهای تخمین‌گر به کمک شبکه های عصبی مصنوعی صورت پذیرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در شبکه‌های عصبی مصنوعی اجرا شده ، شبکه با دو لایه مخفی و تعداد دو نورون در هر لایه با حداقل خطای MSE بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۷ (با ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی)، بهترین کارائی را نشان داد. تابع تبدیل به کار رفته برای فرآیند کردن ورودی‌ها در لایه مخفی تابع تانژانت هیپربولیک بود. همچنین شبکه اجرا شده با استفاده از ۳۱ متغیر فیزیکی و مدیریتی توانسته است ۷۸درصد تغییرات کربن را درسطح حوزه پیش بینی نماید. بیشتر این توانمندی مربوط به متغیرهای مدیریتی، بوده است.. همچنین نتایج آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی شبکه عصبی نشان داد که در بین متغییرهای مدیریتی، متغییرهای مربوط به سناریوی خاکورزی، سناریوی مدیریت بقایای محصول و سناریوی نظام تناوب به ترتیب با کنترل ۲۴و ۲۴ و ۱۸ درصد تغییرات کربن آلی خاک دارای بالاترین اولویت تاثیرگزاری بر تغییرپذیری کربن آلی خاک می‌باشند.

کلمات کلیدی: شبکه های عصبی مصنوعی، کربن آلی خاک، کاربری دیم، آنالیز حساسیت.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 104 pp: 31-38

Estimate Soil Organic Carbon Variability of Rainfed lands and Sensitivity Analysis of Predictor Variables

By: Y. Parvizi: Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management, Agriculture and Natural Resource Research Center of Kermanshah. *(Corresponding Author; Tel: +989181306411). M. H. Mahdian:* Professor, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran

Since Soil organic carbon (SOC) has a key role in production and soil productivity, it has also important role in sustainable soil and crop specially in our country. Among soil particles, SOC variability in medium time scale is a management based practice. This research was conducted to investigate the effects of physical and management variables on SOC variations and to quantify the relative importance of these variables on SOC distribution in a rainfed watershed by use of artificial neural networks (ANNs) technique. Sampling was done based on randomized systematic method and simulation, analysis of physical and management factors impacts and sensitivity analysis of predictor variables were don using artificial neural networks (ANNs). Results indicated that among ANNs that applied to simulate SOC, those with 2 hidden layers and two nodes in each layer with than transfer function have high efficiency with MSE=0.04 – 0.07 in SOC prediction. ANN models with management exploratory variable were able to distinguish SOC contents more efficient. Best ANN model with all 31 exploratory variables can estimate about 78 percent of SOC variability. Sensitivity analysis showed that tillage, crop residue and rotation related prediction variables by controlling about 24, 24 and 18 of SOC variability, respectively, have greatest effects.

Keyword: Soil organic carbon, Artificial Neural Networks, Rainfed, Sensitivity analysis

مقدمه

توانائی خاک در کارکردهای حیات‌بخش خود، نظیر فراهم نمودن عناصر غذائی برای گیاهان، توزیع و ذخیره آب، کاهش گازهای گلخانه‌ای، تصفیه آلاینده‌ها، مقاومت در برابر تخریب، و تولید محصول در چهارچوب یک مدیریت پایدار، به شدت متاثر از ماده آلی می‌باشد(ریس و همکاران ۲۰۰۰).

تاکنون مطالعات گسترده‌ای به صورت نقطه‌ای و آزمایشگاهی در خصوص نقش و چگونگی کارکرد ماده آلی خاک و تاثیر تغییرات محیطی از جمله تغییرات اقلیمی و فیزیکی و نیز عوامل مدیریتی در کم و کیف آن صورت پذیرفته است. روشن است که تعمیم نتایج پژوهش‌های نقطه‌ای و آزمایشگاهی به دلیل پیچیدگی‌ها و نیز ماهیت متفاوت مدیریت خاک در عرصه و در مقیاس حوزه، دقت و قابلیت تعمیم نخواهد داشت. محققین مختلفی سعی نموده‌اند روابط بین کربن آلی و دیگر متغیّرهای خاک و محیط را با روش‌های آماری چندمتغیّره خطی و غیرخطی شبیه‌سازی کنند(اسپنسر و همکاران ۲۰۰۶، وانگ و همکاران ۲۰۰۸، مولر و پیرس ۲۰۰۳ و آرویوس و همکاران ۲۰۰۱). سومارتنه و همکاران(۲۰۰۹) رابطه بین برخی خصوصیات چشم‌انداز و محیط (نظیر شیب، جهت شیب، ارتفاع، متوسط بارندگی و دمای سالانه را با مقادیر کربن آلی خاک در ۶ الگوی کاربری اراضی در محیط شبکه‌های عصبی شبیه‌سازی کردند و نتیجه را با روش رگرسیون چندمتغیّره خطی(MLR) مقایسه کردند. نتایج اجرای شبکه نشان داد که روش ANNs با دقت بالاتر و حداقل انحراف، کربن آلی خاک را نسبت به روش MLR برآورد نمود.

اسپنسر و همکاران(۲۰۰۶) با استفاده از داده های ورودی اقلیم، لندفرم، تصاویر رقومی طیفی لندست، لیتولوژی و کاربری و نیز استفاده از روش‌های MLR، ANNs و مشتقات آن و درخت تصمیم (DT) کربن آلی خاک را شبیه‌سازی کردند و این روش‌ها را با هم مقایسه نمودند. نتایج آنها نشان داد که ANNs چه در شبیه‌سازی و چه در طبقه‌بندی کارایی بهتری نسبت به دو روش دیگر داشت.

ملیس و هانلی(۲۰۰۵) در تحقیقی به الگوسازی جریان تصعید کربن از خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و نیز استفاده از متغیّرهای میکرومتئورولوژی به عنوان متغیّرهای پیش‌بینی کننده، پرداختند. نتایج آنها نشان داد که الگوی موجود با موفقیت و بویژه در دو عرصه جنگل و زراعت گندم جریان خروجی دی‌اکسیدکربن از خاک را به عنوان تلفات کربن از خاک پیش‌بینی کند.

پارک و ولک (۲۰۰۲) امکان پیش بینی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک را با استفاده از سه رهیافت شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، رگرسیون درختی (RT) و مدل‌های خطی متداول بررسی نمودند. پارامتر های روئیدنی‌ها، نوع خاک و عمق نمونه‌برداری و پارامترهای هندسه زمین متغیّرهای مستقل یا ورودی آنها بودند.. نتایج نشان داد که روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و سپس مدل‌های خطی معمول، دقیق‌ترین نتایج را ارائه می‌نمایند، ضمن آنکه ویژگی‌های هندسه زمین بهترین پیش‌بینی کننده‌های خصوصیات خاک بودند.

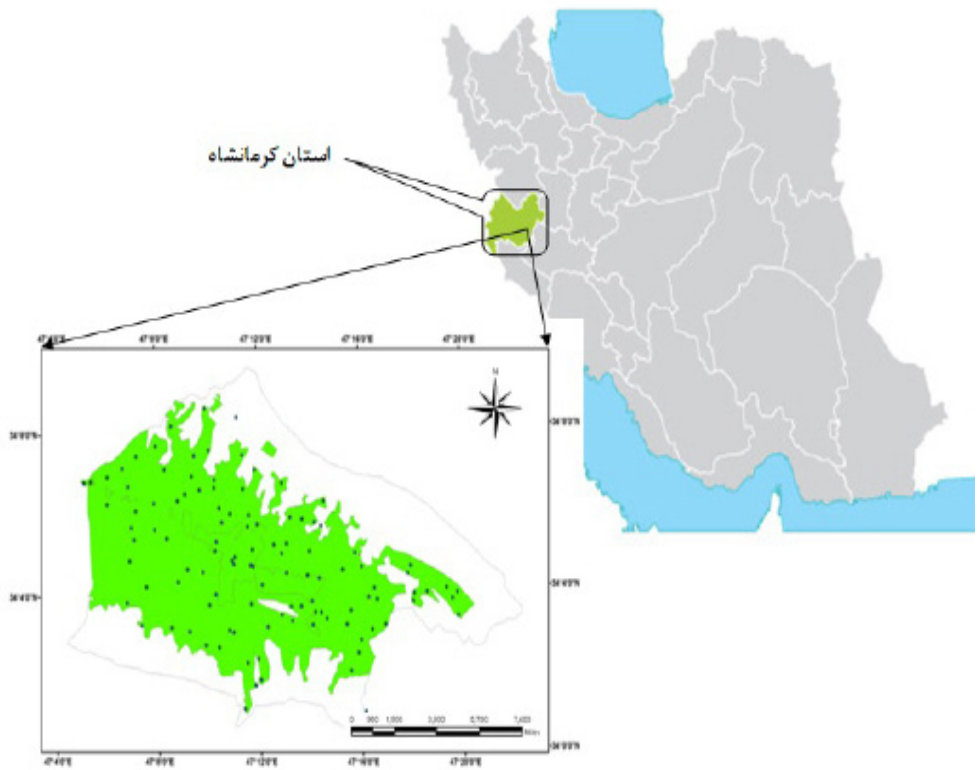
سوابق بررسی‌های انجام شده عمدتا متمرکز به تحلیل و کمی سازی اثرات عوامل فیزیکی بر کمیت کربن آلی خاک بوده است. لذا مطالعه جامعی در خصوص تعیین و کمی سازی اثرات توام عوامل فیزیکی و مدیریتی آن هم در مقیاس حوزه در سطح جهان بطور عام

و در شرایط کشور ما بطور خاص انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات متغیرهای فیزیکی و مدیریتی بر تغییرات کربن آلی خاک در کاربری زراعت دیم در حوزه مرگ کرمانشاه به عنوان یک حوزه نیمه خشک و تخمین مقادیر کربن آلی خاک با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی انجام شد. همچنین اولویت اثر متغیر های فیزیکی و مدیریتی بر تغییرات کربن آلی خاک با آنالیز حساسیت متغیرهای فیزیکی و مدیریتی تعیین گردید

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه عرصه ۱۴۴۰۰ هکتاری کاربری زراعی حوزه آبخیز مرگ در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمانشاه با متوسط ارتفاع ازسطح دریا ۱۶۶۶متر بود. در عرصه‌های زراعت دیم که دشت‌سرهای فوقانی و تحتانی حوزه را تشکیل می‌دهند نوع خاک غالب شامل Typic Calcixerpts, Vertic Calcixerpts, Fluventic Haploxerepts و Chromic Calcixererts است. گیاهان زراعی منطقه شامل: گندم، جو و نخود می‌باشد که به صورت دیم در دشت‌سرهای منطقه کشت می‌شوند.

برای نمونه‌برداری از خاک، سیستم نمونه برداری به شکل سیستماتیک تصادفی اعمال شد. برای تهیه نقشه واحدهای کاری از تلفیق نقشه‌های طبقه بندی اقلیم با روش آمبرژه، خاک، شیب، جهت و کاربری استفاده گردید. موقعیت جغرافیائی نقاط نمونه برداری در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه ها از خاک سطحی و در عمق (۰-۲۵ سانتی‌متر) تهیه گردیدند. بدین ترتیب ۱۱۳ نمونه خاک سطحی برداشته شد. بعلاوه در نقاط نمونه‌برداری، برخی اطلاعات از اختصاصات مدیریت اراضی نظیر ترکیب کشت، نظام کشت و تناوب، سیستم خاکورزی و نوع ادوات مربوطه در طول دوره تناوب، مقادیر مصرف نهاده‌ها و انرژی ماشین، سیستم کود-دهی و نیز نحوه مدیریت بقایای محصول، تراکم دام در پس‌چر مزارع و وضعیت فرسایش، و همچنین اختصاصات فیزیکی خاک، جهت کمی نمودن شاخص‌های مدیریتی که در ادامه تشریح خواهند شد، ثبت گردید.



شکل ۱- عرصه کاربری دیمزار در حوزه مرگ و موقعیت جغرافیائی نقاط نمونه برداری در سطح حوزه

از آن‌جا که شاخص‌هایی که برای این طرح در نظر گرفته شد، مرتبط با دینامیک کربن آلی خاک بودند، باید با اطلاعات جمع‌آوری شده، این شاخص‌ها اندازه‌گیری می‌شد و با مطالعه و بررسی‌های میدانی با مقادیر واقعی راستی‌آزمائی می‌گردید تا در نهایت توزیع و

پراکندگی هر شاخص تعیین می‌شد. شاخص‌هائی که اندازه‌گیری و ثبت شدند در مجموع ۳۱ شاخص فیزیکی و مدیریتی را شامل می‌شد

شاخص‌های فیزیکی: شاخص‌های فیزیکی در سه دسته هندسی، اقلیمی وخاک طبقه‌بندی شدند:

شاخص‌های هندسی زمین شامل مقادیر شیب و ارتفاع با GPS در محل نمونه‌برداری ثبت شد. بعلاوه سه شاخص هندسی دیگر شامل انحناء (Curvature)، شاخص جهت شیب تغییر یافته (Transposed Aspect(Ta)) که توسط بیرز و همکاران (۱۹۶۶) تعریف شده و یک شاخص ترکیب شیب-جهت(TAP) (که برای کمی کردن اثر متقابل شیب وجهت در میزان تشعشع دریافتی است) محاسبه گردید. این شاخص از حاصل‌ضرب مقدار TA در سینوس زاویه شیب بر حسب درجه محاسبه شد، فرمول محاسبه TA به صورت زیر است:

$$Ta=\cos(45 - Aspect) \quad (1)$$

مقادیر Aspect یا جهت شیب و انحناء با استفاده از نقشه DEM حوزه، که از رقومی کردن خطوط ارتفاعی با گام ۲۰ متر تهیه گردید، محاسبه شدند. برای محاسبه این شاخص‌ها از الگوریتم بورگ و مک دونال(۱۹۹۸) و در محیط نرم‌افزاری ARC-GIS استفاده شد.

شاخص‌های اقلیمی که با توجه به اهداف طرح، مقادیر آن‌ها در هر نقطه مشخص شد شامل: میانگین بارندگی سالانه به میلی متر (AR)، متوسط درجه حرارت سالانه به درجه سانتی‌گراد (MAT)، متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی‌متر در سال (ETP) و نوع اقلیم (CT) بود برای تعیین مقادیر این شاخص‌ها از نقشه های اقلیمی هم‌دما، همباران، هم‌تبخیر و نقشه طبقه‌بندی اقلیمی با اقلیم‌نمای آمبرژه استفاده شد (APERI, 2005).

شاخص‌های خاک که در تغییرپذیری کربن موثرند، در آزمایشگاه بر روی هر نمونه تعیین گردید. این شاخص‌ها شامل مقادیر درصد رس، سیلت و شن، درصد مواد خنثی شونده، درصد رطوبت اشباع (SP)، و درصد حجمی سنگریزه (Gravel) بودند.

شاخص‌های مدیریتی: در بخش مدیریت ۱۲ شاخص خام و سه شاخص کلاسه‌بندی محاسبه و استخراج شد. شاخص‌های خام شامل: عرصه مالکیت یا اندازه قطعات اراضی به هکتار (Oh)، کود دهی دامی (Manu)، وجود لگوم در تناوب (Legr)، سامانه سنتی آیش زمستانه یا چله بری (Fw)، وجود یا عدم پس چر مزارع (Ps)، برداشت کاه کلش از مزارع (Sh)، سوزاندن بقایا (Sb)، شاخص مصرف انرژی ماشین (E) بر حسب مگاژول در هکتار در سال، شاخص خاکورزی (Tindex)، جهت شخم (Td)، تراکم دام (Cd) و فرسایش (Erosion). شاخص‌های E و Tindex با روش فرارو و گرسا(۲۰۰۷) تعیین شدند. شاخص‌های مدیریتی عنوان شده، یاپیوسته و کمی و یا باینری(صفر و یک) هستند. فقط شاخص فرسایش به روش کیفی و با رتبه‌بندی اشکال و شدت فرسایش در ۵ کلاس دسته‌بندی و ارائه گردید.

همچنین با تلفیق شاخص های فوق بر اساس ماهیت شاخص ها، به روش کلاسه بندی فیشر یا کلاس-بندی K-means، سه سناریو مدیریتی به عنوان شاخص، در سه بخش نظام تناوب و کشت (CRsen)، مدیریت بقایای گیاهی(Ssen) و سیستم خاکورزی (Tsen) به شکل کلاسه بندی تعریف گردید.

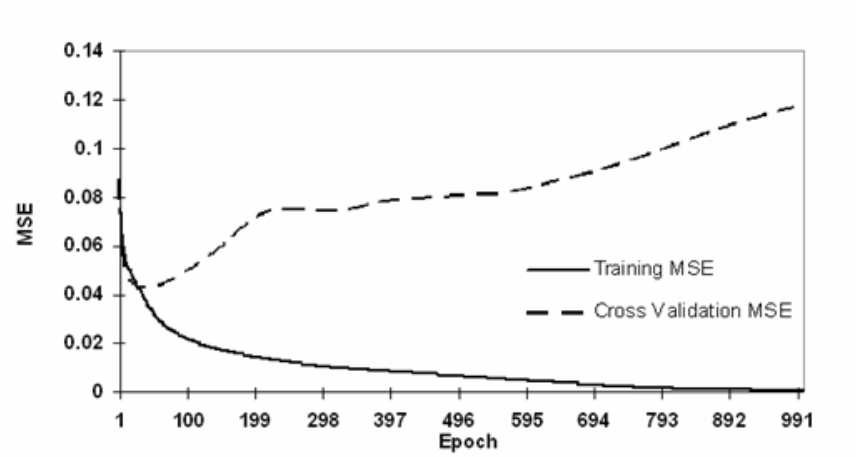
برای طراحی توپولوژی مناسب شبکه و اجرای آن از محیط نرم افزار NeuroSolution استفاده شد

نتایج و بحث

ساختار و توپولوژی شبکه های ANN: با هدف تعیین تابع پیش‌بینی یا تخمین مقادیر کربن آلی خاک از یک شبکه با ۳۱ نورون در یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک نورون در یک لایه خروجی که مقادیر کربن آلی خاک شبیه سازی شده می باشد، استفاده شد. لایه پنهان شامل چندین نورون برای تبیین ساختار غیرخطی شبکه می‌باشد. نوع تابع، تعداد نورون‌ها در لایه پنهان و تعدادها با روش سعی و خطا و با کمینه‌سازی شاخص MSE در هر مرحله و هر لایه و بیشینه‌سازی ضریب همبستگی در مرحله اعتبارسنجی تقاطعی کل شبکه تعیین گردیدند. ورودی‌ها بدون تبدیل و فقط با افزودن با یاس‌هایی که به طور تصادفی توسط شبکه به آنها افزوده می‌شد به اولین لایه مخفی وارد می‌شدند. تابع فعال‌سازی به کار رفته در لایه‌های پنهان تانژانت هیپربولیک بود.تابع تبدیل به کار رفته در فرآیند نمودن ورودی‌های نورون خروجی از نوع Axon بود. این درحالی است که در تحقیق سومارتنه و همکاران(۲۰۰۹) تابع تانژانت سیگموئیدی برای تبدیل در نورون ژنهان و شبیه‌سازی کربن آلی خاک مناسب تشخیص داده شده بود. روش یا الگوی یادگیری مبتنی بر GDM بود. منحنی یادگیری ترکیب متغیرهای ورودی فیزیکی در شکل ۳ نشان داده شده است. روش تصحیح اوزان با استفاده از Bp خطای محاسبه یا پخش رو به عقب خطا بود

بهترین تعداد نورون در این لایه، تعداد نورونی است که باعث حداقل MSE برای شبکه در مرحله CV شود. در شکل(۳) مقادیر MSE در مقابل تعداد نورون در لایه پنهان نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود در این شبکه، تعداد نورون بهینه در لایه پنهان در سری CV و Training به ترتیب دو و ۹ نورون می باشد. توپولوژی مناسب شبکه در دو مرحله ذکر شده در ترکیبات مختلف متغیرهای پیش بینی کننده در جدول (۱) همراه با شاخص‌های ارزیابی شبکه بهینه در ترکیبات متفاوت متغیرهای پیش بینی کننده نشان داده شده است.

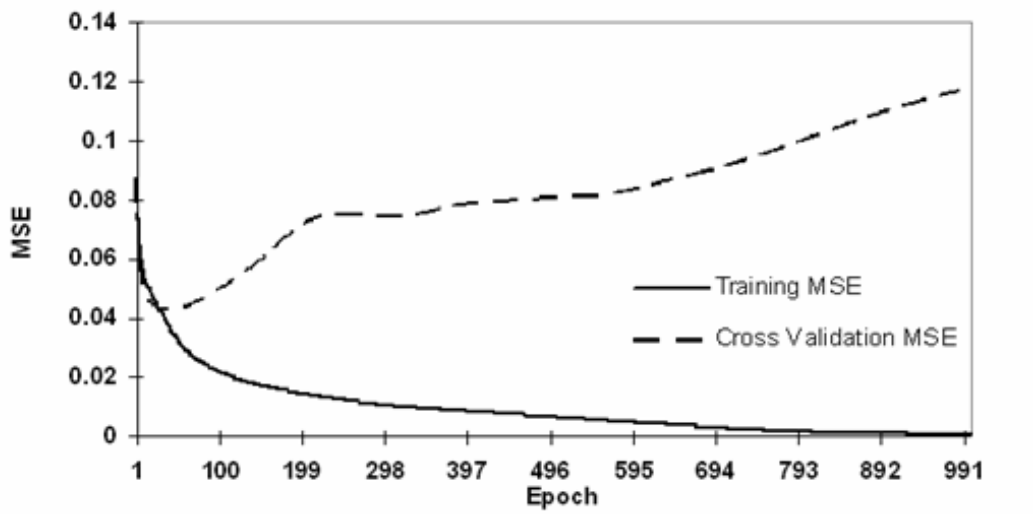
کمینه‌سازی مقدار MSE در تعداد Epoch مبنای توقف شبکه و مقدار مربوطه تعداد تکرار مطلوب محاسبات شبکه را نشان می دهد (شکل ۴). شکل ۴ برای حالتی که متغیرهای فیزیکی ورودی های شبکه را تشکیل می دهند به دست آمده است. در این حالت تعداد Epoch بهینه که حداقل MSE رخ داده است معادل ۱۵ می باشد. به همین شیوه تعداد Epoch بهینه در دو سری داده Training و CV برای ترکیبات دیگر متغیرهای پیش بینی کننده یا ورودی محاسبه و در جدول(۱) ارائه گردیده است. بسته به ترکیب متغیرهای پیش‌بینی کننده، حداقل مقادیرMSE درEpoch های متفاوتی رخ داده است.



شکل ۳- نمودار مقادیر MSE با افزایش تعداد نرون در لایه پنهان در سری داده های ارزیابی (CV) و آزمون (Training)

ارزیابی عملکرد شبکه‌های ANN: شاخصهای ارزیابی به کار رفته جهت تعیین کارائی شبکه های با ترکیبات متفاوت متغیرهای ورودی شامل میانگین مربعات خطای تخمین، متوسط خطای مطلق تخمین شبکه(MAE)، میانگین خطای اریب(MBE) و ضریب همبستگی بین مقادیر برآوردی شبکه و مقادیر اندازه گیری شده یا واقعی می باشد. مقادیر این شاخص ها در جداول (۱ و ۲) برای ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی نشان داده شده است. ملاحظه می شود استفاده از کلیه متغیرهای تاثیر گذار در تغییر پذیری کربن آلی خاک بالاترین مقادیر شاخص های ارزیابی را نشان می دهد. در این بین اثرمتغیرهای مدیریتی نقش تعیین کننده‌تری داشته است. به طوری که استفاده از داده‌های مدیریتی، در تخمین کربن آلی خاک، میزان خطای تخمین را در مرحله آزمون حدود ۰/۱۹ درصد نشان داد که کمترین مقدار خطای برآورد نسبت به دیگر ترکیبات متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بود. به عبارت دیگر تغییرات کربن را با خطای کمتری پیش‌بینی می‌نمود.

میانگین خطای اریبی (MBE) که معیاری از بیش برآورد یا کم برآورد مدل را ارائه می دهد در ترکیبات مختلف متغیرهای پیش بینی کننده در جدول (۲) ارائه گردیده است. نتایج نشان می دهد که شبکه ANN مدل شده با متغیرهای مدیریتی حدود ۰/۱۲ درصد بیش برآورد در تخمین کربن آلی در سری آزمون داشته است. اما در شبکه اجرا شده با استفاده ازمتغیرهای فیزیکی به همین میزان کم برآورد، مشاهده می شود. در مجموع استفاده از کلیه متغیرها میزان خطای اریبی را به اندکی بیش از صفر رسانده است.



شکل ۴- مقادیر MSE در مقابل Epoch های مختلف در ترکیب کلیه متغیرهای تخمینگر

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی و توپولوژی بهینه شبکه در ترکیبات متغیرهای پیش بینی کننده مدیریتی، فیزیکی و کلیه متغیرها در کاربری زراعت

ترکیب ورودی شبکه		آموزش	ارزیابی	آزمون		آموزش	ارزیابی	توپولوژی
متغیرهای فیزیکی	MSE	۰/۱۲۱	۰/۰۸۳	۰/۱۲۰	Hidden PEs	۹	۲	۱-۲-۱۵
	MAE	۰/۱۹۹	۰/۳۰۵	۰/۲۷۵	Epoch #	۵۹۴	۳۷۶	
	ρ	۰/۶۵۱	۰/۳۷۶	۰/۶۳۱	Final MSE	۰/۰۱۲۳	۰/۰۴۱۳	
متغیرهای مدیریتی	MSE	۰/۰۹۴	۰/۰۷۷	۰/۱۱۳	Hidden PEs	۱۰	۲	۱-۲-۱۶
	MSE	۰/۱۹۷	۰/۱۹۳	۰/۱۹۶	Epoch #	۵۰۰۰	۳۵۸	
	ρ	۰/۸۰۸	۰/۸۱۴	۰/۸۳۱	Final MSE	۰/۰۰۱۸	۰/۰۷۳۷	
کلیه متغیرها	MSE	۰/۰۰۰۷۳	۰/۱۱۸	۰/۱۰۷	Hidden PEs	۹	۲	۱-۲-۳۱
	MSE	۰/۱۶۶	۰/۱۲۰	۰/۲۳۱	Epoch #	۱۰۰۰	۴۶	
	ρ	۰/۸۶۰	۰/۸۶۱	۰/۸۸۳	Final MSE	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۳	

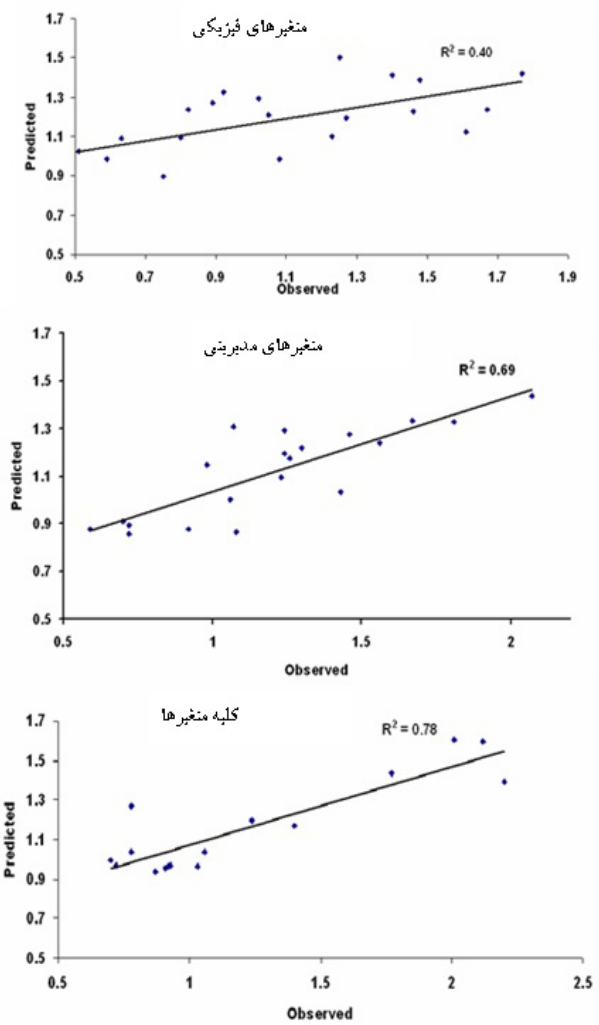
جدول ۲- مقادیر متوسط خطای اریبی(MBE) شبکه در ترکیبات مختلف متغیرهای پیش‌بینی کننده

شبکه با ترکیب ورودی	MBE		
	کلیه متغیرها	متغیرهای مدیریتی	متغیرهای فیزیکی
کل داده ها	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰,۰۰۳
سری آزمون (Test)	۰/۰۶	۰/۱۲	-۰/۱

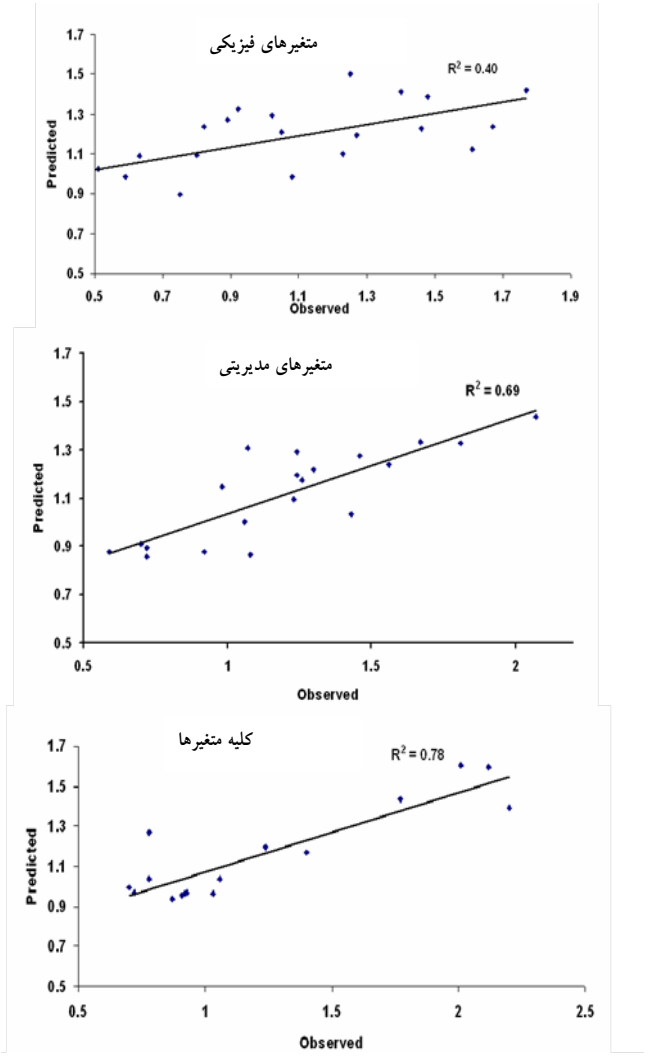
نمودار مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر مشاهده ای حاصل از اجرای چنین شبکه‌ای در سری داده های آموزس، آزمون و CV در کاربری زراعی در شکل(۵) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود استفاده از کلیه ۳۱ متغیر فیزیکی و مدیریتی و پوشش به‌عنوان ورودی شبکهANN در تعیین ساختار تغییرپذیری کربن آلی خاک توانسته است میزان۷۸ درصد تغییرات کربن آلی خاک را شناسایی کند.

شکل (۶) توانائی ترکیبات متفاوت متغیرهای پیش‌بینی کننده را در تخمین تغییرات کربن آلی خاک در سری آزمون را نشان می دهد. به این ترتیب استفاده از کلیه متغیرهای فیزیکی و مدیریتی توانسته است ۷۸درصد تغییرات کربن را درسطح حوزه پیش بینی نماید. بیشتر این توانمندی مربوط به متغیرهای مدیریتی به کاربرده شده، بوده است. چرا که با تفکیک این دو دسته متغیر تفاوت آنها را در تعیین تغییر پذیری کربن آلی خاک در دو گراف دیگر شکل ۶ نشان داده شده است. به بیان دیگر متغیر های مدیریتی تعریف شده نقش موثرتری در تعیین تغییر پذیری کربن در حوزه داشته اند. ولی در تحقیق پارک و ولک (۲۰۰۲) عوامل هندسه زمین متغیرهای تعیین کننده در تغییرات کربن آلی خاک معرفی شده اند. این تفاوت نتایج متاثر از آن می تواند باشد که در تحقیق حاضر عوامل مدیریتی با تفصیل بیشتری تحلیل و کمی گردیده است. لذا این امر منجر به آن شده است که ضمن افزایش دقت تخمین، سهم عوامل مدیریتی در تغییرات کربن آلی خاک به شکل بارزتری خود را نشان دهد.

آنالیز حساسیت: شبکه های ANN اجرا شده برای شبیه سازی تغییرات کربن آلی خاک نشان داد که این شبکه ها در سطح قابل قبولی موفق به ردیابی بخش مهمی از تغییرات کربن آلی خاک در سطح حوزه شده اند. به عبارت دیگر شبکه‌های ANN توانستند با استفاده از ردیابی و شناسائی اثرات و برهمکنش های غیر خطی بین یک سری متغیر مستقل با وضعیت کربن آلی خاک، اثرات این متغیرها را در کمیت کربن آلی خاک شناسائی کنند. همچنین می توان نتیجه گرفت متغیرهائی که در جریان این تحقیق تعریف و کمی گردیدند به شکل معنی داری در توصیف و کمی نمودن تغییرات کربن آلی خاک موفق بودند. برای اولویت بندی این متغیرها از تکنیک آنالیز حساسیت میانگین متغیرها در محیط شبکه‌های ANN استفاده شد. در این روش پاسخ خروجی شبکه، که مقادیر شبیه سازی شده کربن آلی خاک می باشد، نسبت به تغییرات هر یک از متغیرهای ورودی شبکه ردیابی می شود. در این مرحله مقادیر کلیه ورودیها ثابت نگه داشته شده و مقادیر یک ورودی بین دامنه یا حداکثر و حداقل مقادیر خودش تغییر داده می شود و در هر بار خروجی شبکه تعیین می شود. در نهایت دامنه تغییر خروجی در مقابل تغییر ورودی مورد نظر تعیین می شود. این کار برای کلیه ورودیها انجام می شود. به این ترتیب اولویت تاثیر گذاری ورودیها از آن متغیری خواهد بود که با تغییر آن بیشترین دامنه تغییر در خروجی حاصل شود.



شکل ۵- نمودار مقادیر مشاهده ای در مقابل برآوردی شبکه با استفاده از کلیه متغیرهای تخمینگر فیزیکی و مدیریتی در سه سری داده آموزش، آزمون و ارزیابی

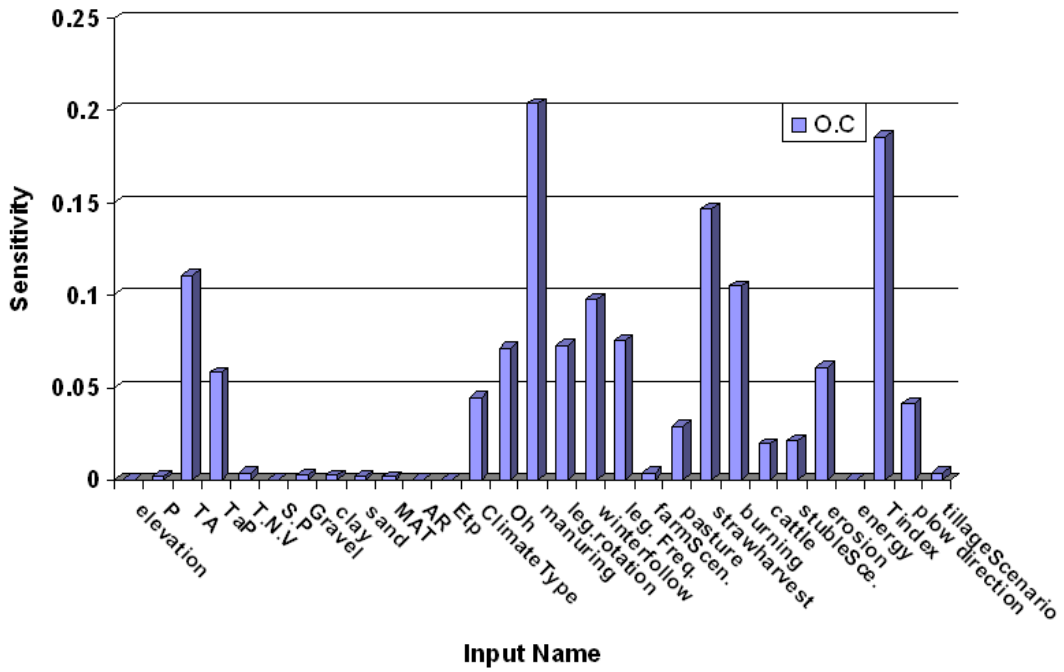


شکل ۶- نمودار مقادیر مشاهده ای در مقابل براوردی شبکه با ترکیبات مختلف متغیرهای پیش بینی کننده در سری آزمون

شکل (۷) نتیجه آنالیز حساسیت متغیرها یا نمودار تغییر در دامنه کربن آلی خاک با تغییر دامنه هر یک از متغیرهای ورودی شبکه ANN را نشان می دهد. ارقام این گراف نشان دهنده نسبت انحراف معیار خروجی شبکه به انحراف معیار هر یک از ورودی های شبکه در مرحله آنالیز حساسیت می‌باشد. وضعیت نمودار و ارقام جدول مذکور نشان می دهد که تغییر پذیری کربن آلی خاک در درجه اول تابع متغیرهای مدیریتی است. از میان این متغیرها نیز متغیر یا شاخص Tindex، برداشت کاه و کلش و کلش سوزانی و نظام تناوبی حاکم بر حوزه نقش تعیین کننده‌تری در تغییر پذیری کربن آلی در حوزه نشان داده اند. در میان متغیرهای فیزیکی تنها شاخصهای منعکس کننده جهت شیب و برهمکنش جهت با مقدار شیب توانسته اند اثر نسبتا معنی‌داری در تغییر پذیری کربن آلی خاک داشته باشند.

از میان متغیرهای اصلی تاثیرگزار بر تغییر پذیری کربن آلی خاک، ۱۵ متغیر مربوط به عوامل مدیریتی است و فقط دو متغیر مرتبط با جهت و مقدار شیب و متغیر خاکی درصد آهک از دسته متغیرهای فیزیکی می‌باشند.

با توجه به تاثیر کوددهی دامی در ارتقاء سطح کمی کربن آلی خاک و نیز با در نظر گرفتن فراوانی اندک این عامل در میان نمونه‌های ثبت شده می توان گفت که مهمترین عامل موثر بر کمیت کربن آلی خاک، در بخش زراعی حوزه، عامل خاکورزی و شاخص مرتبط با آن یعنی شاخص خاکورزی Tindex است. این شاخص متغیری است که تابعی از نوع ادوات و توالی عملیات خاکورزی در دوره تناوب بوده و به صورت میانگین سالانه محاسبه می شود. نوع مدیریت بقایا، بویژه برداشت سنتی کاه و کلش در زمان برداشت و کلش سوزانی باقیمانده‌ها در سطح زمین در رتبه دوم عوامل تاثیر گزار بر تغییرات کربن آلی خاک در بخش زراعی قرار دارند. همچنین سه شاخص نظام تناوبی یعنی آیش زمستانه، و فراوانی لگوم و توالی غلات در نظام تناوبی متغیرهای دیگری هستند که در مراتب بعدی اولویت تاثیر گذاری بر کربن آلی خاک می‌باشند.



شکل ۷- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی شبکه‌های عصبی

Elev.: ارتفاع از سطح دریا، S: درصد شیب، TA: جهت شیب تغییر یافته، TAS: حاصلضرب TA در سینوس زاویه شیب، Curv: درصد آهک، S.P: درصد اشباع، Gravel: درصد سنگریزه، Clay، Silt و Sand: درصدهای رس، سیلت و شن، M.A.T: میانگین دمای سالانه هوا، A.R: متوسط بارندگی سالانه، ET: تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه، و C.Type: کلاس یا نوع اقلیم، Er: درجه تخریب خاک، O(h): اندازه قطعات اراضی به هکتار، Mn.: کوددهی دامی، Leg.F: توالی لگوم در تناوب، Cer.F: توالی غلات در تناوب، Fw: آیش زمستانه، R.Scn.: الگوی تناوب زراعی، Pas:پس‌چر مزارع، S.H: برداشت بقایا، Burn: کلش سوزانی، D.dens: تراکم دام، S.Scn.: الگوی مدیریت بقایا، Energy: شاخص انرژی ماشین، Tindex: شاخص شخم، P.dir.: جهت شخم و Till.Scn: الگوی خاک‌ورزی

منابع مورد استفاده

۱. منهاج, محمد باقر. ۱۳۷۹. مبانی شبکه های عصبی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

2. APERI, 2005. Mahidasht-Sanjabi plain study:(phase 1) volume 4 ,3 ,2 and 5:climate, topography, soil and soil study. TAM consulting engineers, Ministry of Agriculture, Iran.

3. Arrouays D., W. Deslais and V. Badeau. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. Soil Use and Management. :17 11-7

4. Hengl T., B.M.H. Gerard, and A. Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma 93–120:75

5. Mueller T.G., and F. J. Pierce. 2003. Soil Carbon Maps: Enhancing Spatial Estimates with Simple Terrain Attributes at Multiple Scales. Soil Sci. Soc. Am. J. 267–67:258

6. Park S.J. and P.L.G. Vlek. 2002. Environmental correlation of three-dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques. Geoderma. 140 –117 :109.

7. Rees R.M., B.C. Ball,C.D. Campbell and C.A.Watson. 2000. Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing. ISBN 2 465 85199 0

8. Somaratne S., G.Seneviratne, and U. Coomaraswamy. 2005. Prediction of Soil Organic Carbon across Different Land-use Patterns: A Neural Network Approach. Soil Sci. Soc. Am. J. 1589–69:1580

9. Spencer M., J. McCullagh, T. Whitfort, and K. Reynard.2006. An Application into Using Artificial Intelligence for Estimating Organic Carbon. AI 2006, Springer-Verlag, 1238–1233

10. Wang Z.M., B. Zhang, K.S. Song, D.W. Liu, F. Li, Z.X. Guo, S.M. Zhang. 2008. Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China. PLANT SOIL ENVIRON. 427–420 :(10)54