

مقایسه مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد عملکرد گندم دیم در مناطقی از زاگرس مرکزی

عبدالمحمد محنت کش^{۱*}، شمس‌الله ایوبی^۲، احمد جلالیان^۳، امیر احمد دهقانی^۴

۱- گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- گروه خاک‌شناسی دانشگاه آزاد واحد خوراسگان، خوراسگان، ایران

۴- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

چکیده

با توجه به اهمیت گندم در تغذیه انسان و سطح زیر کشت وسیع این محصول به صورت دیم در ایران، این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم (رقم سرداری)، در یک بررسی دو ساله اجرا شد. در دو منطقه از زاگرس مرکزی، ۲۰۲ نقطه نمونه برداری تحت کشت گندم دیم و در اجزای مختلف شیب شامل قله شیب، شانه شیب، شیب پستی، پای شیب و انتهای شیب انتخاب شد. در زمان برداشت گندم، از این نقاط نمونه خاک و نمونه عملکرد گندم جمع‌آوری شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه پستی و بلندی در هر نقطه، از مدل‌های رقومی ارتفاع استخراج و از داده‌های هواشناسی دو منطقه استفاده شد. ۵۴ خصوصیت مختلف خاک، پستی و بلندی، بارندگی و مدیریت به عنوان ورودی‌های هر مدل و عملکرد دانه و زیست‌توده گندم به عنوان خروجی‌های هر دو مدل در نظر گرفته شد. ضرایب تبیین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره خطی به ترتیب برای پیش‌بینی عملکرد دانه برابر ۸۴ و ۱۵ درصد و برای پیش‌بینی زیست‌توده هوایی برابر ۷۶ و ۶ درصد بود. ریشه دوم میانگین مربعات خطای (RMSE) این مدل‌ها نیز به ترتیب در پیش‌بینی عملکرد دانه برابر ۰/۰۳۳ و ۰/۰۹۲ و در پیش‌بینی زیست‌توده برای شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره خطی به ترتیب برابر ۰/۰۳۷ و ۰/۱۰۲ بود. نتایج نشان از توانایی بهتر شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم در مناطق مورد مطالعه داشت.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چند متغیره خطی، زاگرس، شبکه‌های عصبی مصنوعی، گندم دیم

مقدمه

در میان محصولات غذایی، گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات در تأمین غذا و امنیت غذایی در سطح جهان و به ویژه در سطح کشورهای در حال توسعه است. گندم به عنوان محصول استراتژیک برای تغذیه انسان در بسیاری از کشورها در مناطق نیمه خشک در شرایط دیم کشت می‌شود. از این رو پیش بینی عملکرد و تعیین عوامل مهم که تولید این محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهند، در این مناطق مهم است (Mallarino et al., 1999). در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده، دو روش امکان‌پذیر است. روش اول استنباط قوانین یا کمی کردن به شکل ریاضی، مانند مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل، یا کیفی‌تر کردن از طریق تجزیه و تحلیل ساختاری است. روش دوم تجزیه و تحلیل مستقیم روابط موجود در سری‌های زمانی چند متغیره تولید شده به وسیله خود سیستم است که نتیجه آن همان روش جعبه سیاه است (Rosa et al., 1999). روش‌های دیگری که روابط غیر خطی را در نظر می‌گیرند، می‌توانند با اندکی آموزش از رابطه موجود، تعیین کننده باشند. شبکه‌های عصبی می‌توانند رابطه غیر خطی بین ورودی و خروجی سیستم را مدل کنند. یک شبکه عصبی یک مکانیزم محاسباتی است که قادر است در یک فضای چند متغیره از اطلاعات، که به صورت یک مجموعه داده به آن ارائه می‌شود، کاوش نماید، محاسبه کند و یک نگاهت ارائه کند.

در طول چند سال گذشته، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است که این به دلیل پیشرفت‌ها در اجرای محاسبات و در

دسترس بودن بیشتر نرم‌افزارهای قدرتمند و قابلیت انعطاف شبکه‌های عصبی مصنوعی است (Norouzi et al., 2009). شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند در راستای توسعه مدل‌های تجربی با پایه زراعی مورد استفاده قرار گیرند (Kaul et al., 2005). اونو و همکاران (Uno et al., 2004) گزارش نمودند که اگر چه در مطالعات زیادی، شبکه‌های عصبی مصنوعی غالباً برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شده است، اما این روش پتانسیل بالایی برای پیش‌بینی متغیرهای پیوسته نشان می‌دهد.

گرین و همکاران (Green et al., 2007) شبکه عصبی تجزیه و تحلیل مکانی^۱ (SANN) را با رگرسیون خطی چندگانه^۲ (MLR) برای عملکرد دانه گندم دیم با استفاده از ویژگی‌های توپوگرافی از جمله ارتفاع، شیب، جهت، انحناء، سطح مشترک ویژه، و شاخص رطوبت به عنوان متغیرهای توضیحی مقایسه کردند. این محققین نشان دادند که تنها با استفاده از ویژگی‌های توپوگرافی به عنوان ورودی، حداقل مقادیر RMSE ۰/۵۹ برای SANN با پنج متغیر، و ۰/۷۲ برای MLR با چهار یا پنج متغیر توضیحی بدست آمد.

طی تحقیقی، نوروزی و همکاران (Nouruzi et al., 2009) به منظور پیش‌بینی تغییرات مکانی عملکرد زیست توده، دانه و مقدار پروتئین گندم دیم، سه مدل پس انتشار شبکه عصبی مصنوعی را طراحی و تنها خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و ویژگی‌های زمین را به عنوان عوامل ورودی در نظر گرفتند. نتایج مدل ANN منجر به حصول مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۰۲۱ برای زیست

1- Spatial Analysis Neural Network (SANN)

2- Multiple Linear Regression (MLR)

وجود داشته باشد، بنابراین، تحقیق حاضر با هدف در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر در عملکرد گندم (خاک، توپوگرافی، اقلیم و مدیریت) و مقایسه کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره خطی در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه خشک زاگرس مرکزی به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

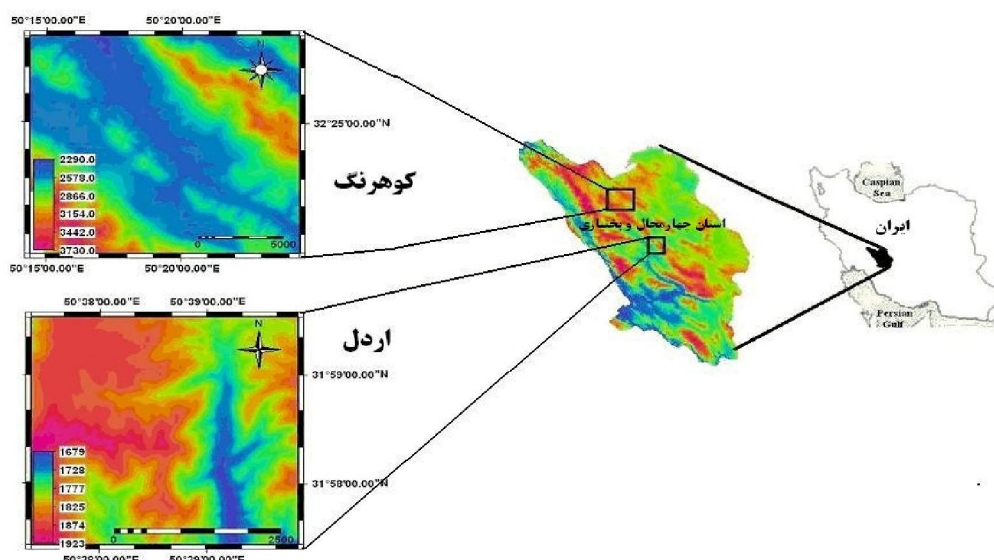
این تحقیق به مدت دو سال زراعی در دو سایت تحت شرایط دیم در زاگرس مرکزی ایران و در مناطق کوه‌رنگ و اردل استان چهارمحال و بختیاری، انجام شد (شکل ۱).

منطقه اول (کوه‌رنگ) بین ۲۰' و ۳۲' تا ۴۰' و ۳۲° عرض شمالی و ۱۵' و ۵۰' تا ۳۵' و ۵۰° طول شرقی با متوسط ارتفاع حدود ۲۵۱۰ متر واقع شده است. میانگین طولانی مدت درجه حرارت سالانه ۹/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه ۱۴۰۰ میلی‌متر است که این بارش عمدتاً به صورت برف و از آبان تا اردیبهشت ماه نازل می‌شود. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه به ترتیب تپیک زریک و مزیک است (بنایی، ۱۳۷۷). مزارع انتخابی در این سایت بر روی اراضی تپه‌ماهوری با مواد مادری مارن‌های الیگومیوسن واقع شده است. این تپه‌ها اغلب دارای شیب جانبی حدود ۲۰ درصد و بیشتر هستند که در اثر بریدگی‌های حاصل از فرسایش در طول دوران‌های گذشته زمین‌شناسی بوجود آمده است. براساس کلید رده‌بندی خاک امریکایی ۲۰۱۴، خاک‌های منطقه مورد مطالعه در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و ورتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند و بافت خاک سطحی اغلب آن‌ها رسی است.

توده، ۰/۸۹ و ۰/۶۳ برای عملکرد دانه و ۰/۹۵ و ۰/۲۲ برای پروتئین دانه بود. در این تحقیق فقط اطلاعات یک سال از منطقه در نظر گرفته شد و پارامترهای اقلیمی و شیوه‌های مدیریتی مد نظر قرار نگرفت.

مدل‌های رشد و عملکرد محصول بر اساس ترکیبی از متغیرهای خاک، آب و هوا و محصول وجود دارند (Kaul et al., 2005). فاکتورهای محیطی نظیر اطلاعات اقلیمی و همچنین خصوصیات از خاک که با عمق ریشه‌دهی غلات مرتبط هستند و قابلیت دسترسی ریشه گیاه به آب، از جمله فاکتورهای معنی‌دار برای مدل سازی عملکرد محصول می‌باشند (Mallarino et al., 1999). علاوه بر خصوصیات متعدد خاک، عوامل زیست محیطی مانند اطلاعات اقلیمی، عوامل مورد توجهی در مدل‌های گیاهی محسوب می‌شوند (Royo et al., 2004; Sepaskhah et al., 2006; Quanqi et al., 2010). بر اساس مطالعات قبلی، موقعیت شیب تأثیر قابل توجهی در تولید محصول دارد (Kravchenko and Bullock, 2000; Ayoubi et al., 2007; Jiang and Thelen, 2004; Norouzi et al., 2009). توپوگرافی یکی از مهم‌ترین خصوصیات در ایجاد تغییرپذیری مکانی خاک، هیدرولوژی سطحی و زیر سطحی، و تولید محصول در مزارع کشاورزی است و ویژگی‌های توپوگرافی با وضوح بالا، می‌تواند ارتباط خوبی با عملکرد مکانی محصول برقرار کند (Jiang and Thelen, 2004).

با توجه به این که تاکنون هیچ مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های هوشمند در مناطق نیمه خشک انجام نشده است که در آن فاکتورهای نسبتاً کاملی از عوامل مؤثر در تولید گندم دیم در مناطق تپه‌ماهوری



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دو سایت انتخاب شده

مزارع انتخابی در هر دو منطقه، تحت مدیریت کشاورز بوده و برای مدت طولانی تحت کشت گندم دیم زمستانه می‌باشند. عملیات تهیه زمین در این مزارع فقط شامل یک شخم نیمه عمیق در پاییز است و کشت گندم دیم رقم سرداری حدود ۲۰ آبان انجام می‌شود. بذر رقم مورد نظر تقریباً در تمام مزارع از منابع دولتی تأمین می‌شود. مصرف کودهای شیمیایی محدود به کودهای نیتروژن و فسفره است که در زمان کاشت (به صورت ۲۵ کیلوگرم نیتروژن و ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار) و در اوایل بهار (به صورت تنها ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مصرف می‌شود. در هر دو منطقه کوهرنک و اردل، با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی^۱ شده و با در نظر گرفتن پنج جزء شیب شامل قله، شانه، شیب پشتی، پا و پنجه شیب نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد. به ترتیب ۱۰۲ و ۱۰۰ نقطه در مناطق کوهرنک و اردل انتخاب و

منطقه دوم (اردل) بین ۵۸' و ۳۱' تا ۰۳' و ۳۲° عرض شمالی و ۱۲' و ۵۰' تا ۳۷' و ۵۰° طول شرقی با متوسط ارتفاع حدود ۱۸۶۰ متر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. میانگین بلند مدت درجه حرارت سالانه در این منطقه ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه که به صورت برف و باران است، ۶۰۰ میلی‌متر است. بارش‌ها از آبان تا اواخر فروردین اتفاق می‌افتد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک همچون سایت کوهرنک، به ترتیب تیپیک زیریک و مزیک است (بنایی، ۱۳۷۷). مزارع انتخابی این سایت بر روی تپه‌های با شیب جانبی ۲۵ درصد و بیشتر و با مواد مادری رسوبات ائوسن که در اثر فرسایش‌های شدید بوجود آمده‌اند، قرار داشت. بافت خاک سطحی در اغلب موارد رسی سیلتی و لوم رسی سیلتی بود. براساس کلید رده‌بندی خاک امریکایی ۲۰۱۴، خاک‌های منطقه مورد مطالعه در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و مالی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند.

1- Stratified Random Sampling

اسیدیته خاک در گل اشباع و با استفاده از الکتروود pH متر (McLean, 1982) و هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع با استفاده از EC متر اندازه گیری شد. علاوه بر این، بارش روزانه دو سایت از ایستگاه‌های هواشناسی کوه‌رنک و اردل مربوط به بازه زمانی از مهر ماه سال اول تا پایان شهریور سال دوم مورد استفاده قرار گرفت و میانگین بارش هفتگی محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل‌های رقومی پستی و بلندی

با استفاده از نرم افزار ILWIS از داده‌های ارتفاعی برای تولید مدل رقومی ارتفاع^۱ با دقت ۵×۵ متر استفاده شد (ITC, 1997). مدل‌های رقومی ارتفاع بدست آمده به نرم افزار TAS (Lindsay, 2005) منتقل و ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی با استفاده از این نرم افزار تولید شد. ویژگی‌های اولیه زمین، که به طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاع مشتق شده بودند، شامل ارتفاع^۲، درجه شیب^۳، جهت شیب^۴، عوارض ناهموار^۵، سطح ویژه حوزه^۶، انحنا^۷ سطحی^۷، انحنا^۸ عمودی^۸ و انحنا^۹ مماسی^۹ بود. بسیاری از این ویژگی‌ها توسط ویلسون و گالانت (۲۰۰۰) توصیف شده است. به عنوان مثال، سطح ویژه حوزه به شرح زیر محاسبه شد:

$$A_s = A/W \quad (1)$$

مختصات این نقاط با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب مکانی (GPS) ثبت شد. زمان رسیدگی محصول گندم، به ترتیب در منطقه کوه‌رنک مصادف با ۲۰ و ۲۱ و در منطقه اردل ۱ و ۲ تیر ماه در سال‌های مورد بررسی بود. در این روزها در نقاط انتخاب شده در پلاتی به ابعاد ۱×۱ متر برداشت گندم و در صورت وجود علف‌های هرز، به صورت قطع زیست توده هوایی گیاه از سطح خاک و با سه تکرار انجام شد. در همین زمان و در همان نقاط، به منظور نمونه‌برداری و کاهش تغییرپذیری خاک، نمونه برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نیز در سه تکرار انجام و یک نمونه مرکب خاک برای هر نقطه تهیه شد. داده‌های عملکرد زیست توده و دانه گندم و زیست توده علف‌های هرز براساس وزن خشک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

نمونه‌های خاک هوا خشک شده، از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و پس از حذف بقایای گیاهی، درصد حجمی سنگریزه آن‌ها تعیین شد. بافت خاک با روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986) اندازه گیری شد. نیتروژن کل خاک (TN) با روش کج‌جدال (Bremner and Mulvaney, 1982) و کربن آلی خاک (SOC) با استفاده از روش والکلی و بلک (۱۹۸۲) اندازه گیری شد. پتاسیم قابل دسترس (K_{ava}) با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال (Richards, 1954) و فسفر قابل دسترس (P_{ava}) با استفاده از روش اولسن (۱۹۸۲) اندازه گیری شد. مقدار CEC خاک با استفاده از استات سدیم یک نرمال (Page et al., 1987) و کربنات کلسیم معادل (CCE) با استفاده از روش برنارد (Black et al., 1965) اندازه گیری شد.

- 1- Digital elevation model (DEM)
- 2- Elevation
- 3- Slope
- 4- Aspect
- 5- Shaded Relief
- 6- Specific Catchment Area
- 7- Plan Curvature
- 8- Profile Curvature
- 9- Tangential Curvature

است، مقادیر عملکرد دانه و زیست توده گندم نیز با همین روش استاندارد شد.

به منظور توصیف کمی مقادیر عملکرد دانه و زیست توده گندم و همچنین ویژگی‌های زمین، خواص خاک، و وزن خشک علف هرز، شاخص‌های آماری کمینه، بیشینه، میانگین، ضریب تغییرات و چولگی برای هر یک از خصوصیات تعیین گردید.

توصیف روش‌های مدل‌سازی

معمول‌ترین شبکه در مسائل مهندسی و در رابطه با مسائل غیر خطی احتمالاً شبکه پرسپترون چند لایه^۳ لایه^۳ (MLP) با قاعده یادگیری پس انتشار^۴ (BP) است (Heykin, 1994). ساختار شبکه پیش‌خور پس‌انتشار برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. معمولاً برای آموزش شبکه، از یادگیری نظارت‌شده با استفاده از خروجی-های شناخته شده بیشتر از یادگیری بدون نظارت استفاده می‌شود. یادگیری پس‌انتشار نوعی از یادگیری نظارت‌شده است که در آن میزان خطا از طریق بازپس‌گرداندن، باعث تغییر وزن‌ها در راستای بهبود پیش‌بینی و کاهش خطا می‌شود (Kaul et al., 2005). الگوریتم استاندارد براساس قاعده آموزش دلتا (Rumelhart and McClelland, 1986) استوار است. برای طراحی ANN، از بسته نرم‌افزاری MATLAB (MATLAB, 2008) استفاده شد. ویژگی‌های توپوگرافی، خصوصیات خاک، وزن خشک علف هرز و بارش هفتگی، شامل ۵۴ پارامتر، به عنوان داده‌های ورودی و عملکرد دانه و زیست

که در آن: A_s سطح ویژه حوزه (متر مربع بر متر)، سطح (متر مربع)، W : عرض جریان (متر) است و ویژگی‌های ثانویه یا مرکب زمین که معمولاً از دو یا چند ویژگی اولیه محاسبه شده‌اند، شامل شاخص رطوبت^۱، قدرت نسبی جریان^۱ و شاخص ظرفیت حمل رسوب^۲ است. شاخص رطوبت به صورت زیر محاسبه شد:

$$WI=(A_s/\beta) \quad (2)$$

که در آن: I : شاخص رطوبت، A_s سطح ویژه حوزه و β زاویه شیب که از معادله زیر بدست می‌آید

$$\beta=\arctan(S) \quad (3)$$

که در آن: S درجه شیب به درصد است. پس از تعیین مقادیر خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، وزن علف‌های هرز، و بارش هفتگی، این مقادیر با استفاده از معادله زیر استاندارد شد:

$$X_S=(((X_i - X_{\text{mean}})/(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})) \times 0.5) + 0.5 \quad (4)$$

که در آن:

X_S : مقدار استاندارد شده، X_i مقدار واقعی، X_{mean} متوسط مقادیر، X_{max} مقدار حداکثر و X_{min} مقدار حداقل می‌باشد.

با این عمل، کلیه مقادیر به اعدادی در محدوده صفر تا یک تبدیل شده و این مقادیر استاندارد شده به عنوان ورودی مدل‌های ANN و MLR بکار گرفته شد. از آنجا که انتساب وزن‌های اتصال در مدل ANN به تفاوت در مقادیر متغیرهای ورودی حساس

3- Multilayer Perceptron

4- Back Propagation

1- Relative Stream Power

2- Sediment Transport Capacity Index

تعداد نرون در لایه پنهان، تکرار (دوره)، و در نهایت، بهترین مدل انتخاب شد.

مدل سازی رگرسیون خطی چندگانه

هدف کلی از مدل سازی رگرسیون خطی چندگانه^۱ پیدا کردن رابطه بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است. برای مدل سازی به این روش از نرم افزار SPSS استفاده شد. همچون مدل های شبکه عصبی مصنوعی، متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه و زیست توده گندم و متغیرهای مستقل شامل چهار گروه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، ویژگی های زمین، وزن خشک علف های هرز، و بارش هفتگی در قالب ۵۴ متغیر بودند. بنابراین، متغیرهای مستقل به عنوان ورودی های مدل و متغیرهای وابسته به عنوان خروجی های مدل در نظر گرفته شد. به این ترتیب داده های ورودی و داده های خروجی در هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی چند متغیره یکسان بود. مجموعه داده ها به طور تصادفی به دو دسته ۸۰ درصد و ۲۰ درصد به ترتیب برای آموزش و آزمایش تقسیم شد. معادلات رگرسیونی بدست آمده به عنوان مدل های آموزش دیده محسوب شد. سپس این مدل ها با داده هایی که برای مرحله آزمایش مدل شبکه عصبی استفاده شده بود، ارزیابی شد. بدین ترتیب نتایج بدست آمده از مدل های شبکه عصبی و مدل های رگرسیون قابل مقایسه بود. با توجه به این که داده های آزمایش مدل از داده های آموزش مدل مستقل بود، مدل های ارزیابی شده به عنوان مدل های معتبر برای پیش بینی عملکرد دانه و زیست توده در نظر گرفته شد. مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی با

توده هوایی گندم به عنوان داده های هدف یا خروجی در مدل های شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق در طول دو سال، ۴۰۴ نقطه اطلاعاتی به عنوان مجموعه اطلاعات جمع آوری شد. این مجموعه داده ها به طور تصادفی تقسیم شد به طوریکه ۶۰ درصد، ۲۰ درصد و ۲۰ درصد از آن ها برای به ترتیب برای آموزش شبکه، آزمون و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند آموزش با استفاده از روش BP در دو مرحله انجام شد، رو به جلو و رو به عقب (قاعده آموزش Levenberg-Marquardt). در گام به جلو، یک الگوی خروجی به شبکه ارائه شد و اثر آن از طریق شبکه لایه به لایه منتشر شد. سپس، خروجی نهایی محاسبه شده از شبکه با خروجی هدف مقایسه شد. در این مرحله، یک تابع عملگر (برای مثال میانگین مربع خطا) محاسبه شد و سپس مرحله دوم از الگوریتم BP با انتشار خطای شبکه به لایه قبل با استفاده از روش کاهش شیب آغاز شد. بدین ترتیب، وزن ها برای کاهش خطای شبکه تنظیم می شد. این روند ادامه داشت تا زمانی که خطای شبکه مجاز به دست آمد.

در بسیاری از مسائل، لایه پنهان نقش زیادی در بهبود عملکرد ایفا نمی کند و تنها تغییر در تعداد نرون های مخفی در لایه های مخفی کافی است (El-Din and Smith, 2002). از طریق واسنجی و چندین آزمون و خطا، تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون در لایه پنهان و تعداد تکرار (دوره) انتخاب شد. بهترین تابع برای شبکه tansigmoid بود. بر اساس R آزمایش رگرسیون بین خروجی اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مرحله آموزش، بهترین ترکیب

1- Multiple Linear Regression

سنگریزه دارای تنوع بالا ($CV < 35$)؛ درصد رس، درصد سیلت، و ظرفیت تبادل کاتیونی، دارای تنوع متوسط ($CV < 35$) و درصد اشباع و pH دارای تنوع کم ($CV > 15$) بودند. پایین ترین تنوع مربوط به pH ($CV = 1/82$)، و بالاترین مربوط به پتاسیم قابل دسترس ($CV = 75/11$) بود. این نتیجه با یافته‌های جیانگ و تِلن (Jiang and Thelen, 2004) و نوروزی و همکاران (Norouzi et al., 2009) منطبق است. خلاصه آماری از ویژگی‌های زمین (جدول ۴) نشان می‌دهد که پایین‌ترین و بالاترین ضریب چولگی به ترتیب به انحنا سطحی و قدرت نسبی جریان مربوط است.

در این تحقیق، تاثیر شیوه‌های مدیریتی با اندازه‌گیری زیست توده علف‌های هرز (جدول ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. دامنه تنوع زیست توده علف‌های هرز بین ۲/۶۹ تا ۱۰۵/۸۸ کیلوگرم در هکتار بود که این تنوع بالا به شیوه‌های مدیریتی متفاوت کشاورزان مربوط می‌شود.

مدل سازی ANN

به منظور پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم، بهترین ساختار ANN برای هر پارامتر بدست آمد (جدول ۶). هر یک از ساختارهای آموزش دیده دارای ۵۴ گره ورودی در ۴ گروه و یک گره خروجی بود. گره‌های لایه مخفی، ۹۰ و ۵۰، و مناسب‌ترین تعداد تکرار یادگیری براساس آزمون و خطا، ۹۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ به ترتیب برای عملکرد دانه و زیست توده تعیین شد.

مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی مبتنی بر مقایسه آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) حاصل از رگرسیون مدل‌ها بود.

نتایج و بحث

جدول ۱ خلاصه‌ای از میانگین خصوصیات مورد مطالعه خاک را در دو محل مورد بررسی ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین برخی از ویژگی‌های خاک در دو محل وجود داشت. این تفاوت برای میزان رس و پتاسیم در دسترس، قابل ملاحظه بود. بخشی از تنوع در عملکرد مشاهده شده احتمالاً به دلیل همین تفاوت در خصوصیات خاک بود.

آمار توصیفی عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم در سایت‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به مقادیر چولگی و ضریب کشیدگی توزیع هر دو عملکرد دانه و زیست توده از توزیع نرمال برخوردار است. ضریب تغییرات (CV) عملکرد دانه و زیست توده به ترتیب ۴۹/۷۱ و ۴۲/۹۷ درصد بود. به نظر می‌رسد دلیل این تنوع به موقعیت زمین‌نما و شیوه‌های مختلف عملیات مدیریتی در دو سایت مختلف مربوط می‌شود (Kravchenko and Bullock, 2000; Norouzi et al., 2009).

آمار توصیفی برای خصوصیات خاک‌های مختلف در جدول ۳ مشاهده می‌شود. براساس تنوع، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک را می‌توان در سه دسته طبقه‌بندی نمود (Wilding, 1985). در این تحقیق، درصد شن، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، مواد آلی، کربنات کلسیم معادل، و درصد

1- Root Mean Square Error

جدول ۱- میانگین خصوصیات خاک در دو منطقه کوهرننگ و اردل

EC	pH	P _{ava}	K _{ava}	CEC	CCE	SOM	TN	SP	Sand	Silt	Clay	Gravel	خصوصیت
d.S.m ⁻¹	-log[H ⁺]	mg. kg ⁻¹	cmol(+).kg ⁻¹					%					منطقه
۰/۵۸۶a	۷/۶۴a	۱۹/۹۴b	۴۵۵/۵۳a	۱۸/۱۱b	۱۸/۴۱b	۰/۹۵۴a	۰/۱۲۴a	۵۱/۹۲a	۱۴/۷۵a	۴۰/۴۳b	۴۲/۸۲a	۱۶/۱۸a	کوهرننگ
۰/۶۵۴a	۷/۵۲a	۲۷/۷۲a	۲۱۵/۷۸b	۲۴/۸۱a	۳۲/۵۵a	۱/۱۲۴a	۰/۱۰۲a	۴۶/۶۶a	۱۹/۹۲a	۵۱/۷۴a	۲۸/۳۴b	۱۲/۱۴a	اردل

TN: نیتروژن کل، SOM: ماده آلی خاک، CCE: کرنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، K_{ava}: پتاسیم قابل دسترس، P_{ava}: فسفر قابل دسترس، EC: هدایت الکتریکی

اعداد با حروف غیرمشابه در هر ستون تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن دارند.

جدول ۲- آمار توصیفی عملکرد دانه و زیست توده گندم (کیلوگرم در هکتار) در دو منطقه مورد مطالعه

عملکرد	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی	ضریب کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
عملکرد دانه	۲۱۵	۵۲۷۰	۱۷۵۷/۴۱	۰/۷۴	۰/۲۳	۸۷۳/۶۱	۴۹/۷۱
زیست توده	۴۶۲	۱۶۸۳۶	۵۳۶۵/۳۶	۰/۶۴	۱/۰۵	۲۳۰۵/۵۰	۴۲/۹۷

جدول ۳- آمار توصیفی خصوصیات خاک در دو منطقه مورد مطالعه

خصوصیت خاک	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
رس	۹/۰۰	۵۵/۰۰	۳۶/۵۶	-۰/۲۹	۱۰/۴۷	۲۸/۶۴
سیلت	۸/۹۳	۷۱/۰۰	۴۶/۱۱	-۰/۰۲	۹/۸۴	۲۱/۳۳
شن	۳/۸۱	۵۹/۰۰	۱۷/۳۳	۲/۶۵	۷/۹۹	۴۶/۱۲
نیتروژن کل	۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۱۱	۴/۳۱	۰/۰۴	۳۹/۰۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	۹/۱۵	۳۹/۴۴	۲۱/۴۶	۰/۵۲	۶/۲۸	۲۹/۲۷
درصد اشباع	۲۶/۵۹	۷۶/۵۶	۴۸/۸۹	۰/۳۳	۵/۲۹	۱۰/۸۳
پتاسیم قابل دسترس	۷۲/۱۸	۱۲۴۹/۲۳	۳۳۵/۷۰	۱/۴۴	۱۷۶/۲۴	۵۲/۵۰
فسفر قابل دسترس	۰/۳۵	۱۲۸/۷۶	۳۰/۲۸	۱/۳۶	۲۲/۷۴	۷۵/۱۱
ماده آلی	۰/۰۶	۳/۴۱	۱/۵۱	۰/۲۸	۰/۵۸	۳۸/۴۲
کرنات کلسیم معادل	۰/۴۵	۹۴/۹۵	۲۵/۴۵	۰/۴۱	۱۵/۳۶	۶۰/۳۶
اسیدیته	۷/۱۷	۷/۹۹	۷/۵۸	-۰/۳۹	۰/۱۴	۱/۸۲
هدایت الکتریکی	۰/۲۱	۱/۶۹	۰/۶۳	۱/۲۰	۰/۲۱	۳۳/۷۵
سنگریزه	۲/۰۰	۴۷/۰۰	۱۴/۱۴	۰/۹۵	۷/۹۷	۵۶/۳۹

جدول ۴- آمار توصیفی ویژگی‌های توپوگرافی در دو منطقه مورد مطالعه

ویژگی‌های توپوگرافی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین
ارتفاع	متر	۱۷۶۰	۲۷۷۳/۴۰	۲۱۷۸/۴۶
جهت شیب	درجه	صفر	۳۵۹/۹۹	۱۸۲/۰۸
سطح ویژه حوزه	متر مربع بر متر	۲۵	۱۵۳۱۸۷/۰۰	۱۶۴۳/۴۷
سطح پراکندگی	متر مربع	۲۵	۴۱۴۲۳/۵۵	۹۳۹/۸
انحنای افقی	درجه بر متر	۴۵/۸۳	۴۳/۷۳	۰/۲۲
انحنای عمودی	درجه بر متر	-۲/۰۲۱	۳/۳۶	۰/۰۱
شاخص ظرفیت حمل رسوب	-	صفر	۱۰۵/۰۳	۳/۷۱
پستی و بلندی‌های مشخص	-	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۵۰
شیب	درصد	صفر	۲۱/۱۷	۶/۹۳
قدرت نسبی جریان	-	صفر	۴۰۸۸/۰۳	۳۰/۸۱
انحنای مماسی	درجه بر متر	-۲/۵۳	۲/۹۵	۰/۰۱
شاخص رطوبت	-	۲/۶۸	۱۲/۸۶	۶/۰۴

جدول ۵- خلاصه نتایج توصیف زیست توده علف‌های هرز (کیلوگرم در هکتار) در دو منطقه مورد مطالعه

زیست توده علف‌های هرز	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی
منطقه کوهرننگ	۲/۶۹	۹۷/۱۳	۲۳/۸۶	۱/۵۸
منطقه اردل	۵/۷۳	۱۰۵/۸۸	۲۸/۵۴	۱/۶۷

است، احتمالاً ناشی از تفاوت در شیوه‌های مدیریتی کشاورزان است.

مدل‌سازی MLR

مقادیر R^2 و RMSE به دست آمده با استفاده از مدل MLR به ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۰۹۲ در پیش‌بینی عملکرد دانه و ۰/۰۰۶ و ۰/۱۰۲ برای زیست توده گندم بود. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل‌های MLR بدست آمده برای پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم توانسته است تنها ۱۵ و ۰/۶ درصد از تنوع در عملکرد دانه و زیست توده گندم را در سایت‌های انتخاب شده توصیف نماید. مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد دانه و زیست توده گندم با

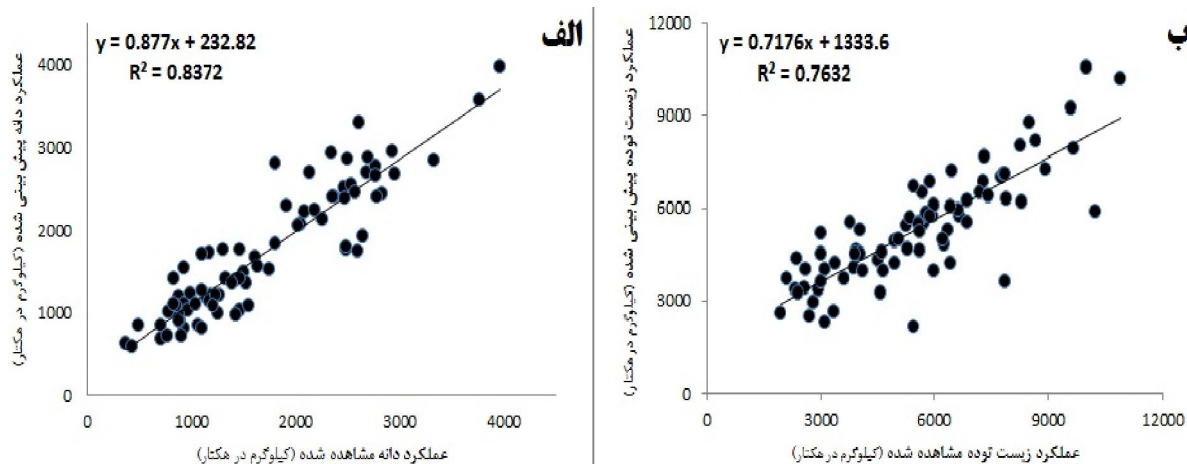
این مدل‌های ANN بدست آمده برای عملکرد دانه و زیست توده گندم به ترتیب دارای مقادیر R آزمون^۱ ۰/۹۲ و ۰/۸۷ بود. به منظور آزمون مدل‌های به‌دست آمده، مقادیر پیش‌بینی شده بدست آمده از این مدل‌ها در مقابل داده‌های واقعی (مشاهده شده) قرار گرفت، و ضرایب تبیین (R^2) محاسبه گردید (شکل ۲).

مدل‌های توسعه یافته ANN برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست توده گندم، توانست به ترتیب ۸۴ و ۷۶ درصد از تنوع در عملکرد دانه و زیست توده گندم را در دو سایت مورد مطالعه در مقیاس زمین‌نما توصیف نمایند. بخشی از تنوع که غیر قابل توصیف بوده

استفاده از مدل MLR در مقابل مقادیر مشاهده شده (واقعی) در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۶- خلاصه نتایج بهترین ساختار و پارامترهای مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم

پارامتر	تعداد لایه‌های مخفی	تعداد نرون‌های مخفی	معادله	تکرار (دوره)	ساختار ANN	R
عملکرد دانه	۱	۹۰	تانزانزات سیگموئید	۹۰۰۰	۵۴-۹۰-۱	۰/۹۲
عملکرد زیست توده	۱	۵۰	تانزانزات سیگموئید	۱۰۰۰۰	۵۴-۵۰-۱	۰/۸۷



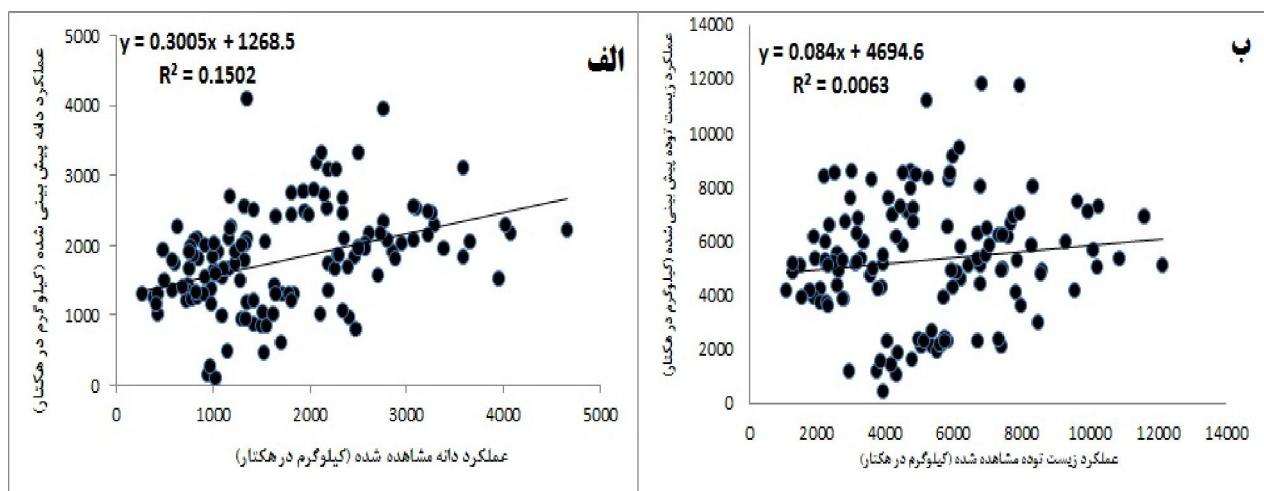
شکل ۲- مقادیر مشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (الف) و زیست توده (ب) گندم با مدل‌های ANN

دقت تخمین بالاتری دارد. مقایسه شاخص‌های آماری بدست آمده از مدل‌های ANN و MLR نشان داد که مدل‌های ANN طراحی شده با استفاده از پارامترهای انتخاب شده نسبت به مدل‌های MLR در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم بهتر عمل کرده و مدل‌های MLR توانایی کمتری در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم نسبت به مدل‌های ANN داشتند. مقادیر R^2 کم و RMSE بالا مشاهده شده در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده با استفاده از مدل MLR تایید این حقیقت است که روش MLR در پیش‌بینی عملکرد دارای قابلیت پایینی است.

مقایسه بین نتایج مدل ANN و MLR و نتیجه‌گیری
با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود که مقادیر R^2 بدست آمده برای عملکرد دانه گندم به ترتیب برای مدل‌های ANN و MLR برابر ۰/۸۴ و ۰/۱۵ و برای زیست توده گندم برابر ۰/۷۶ و ۰/۰۰۶ بود. همچنین مقادیر RMSE بدست آمده برای عملکرد دانه گندم به ترتیب برای مدل‌های ANN و MLR برابر ۰/۰۳۳ و ۰/۰۹۲ و برای زیست توده گندم برابر ۰/۰۳۷ و ۰/۱۰۲ بود. با توجه به مفاهیم موجود، هرچه مقدار ضریب رگرسیون مدل بیشتر و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا کم‌تر باشد، نشان دهنده دقت بالاتر و توانایی بیش‌تر مدل در پیش‌بینی بوده و مدل

هدف پردازند. از طرفی، در زمانی که تعداد متغیرهای ورودی زیاد باشد، برخی از متغیرها به دلیل اثر هم‌راستایی و برخی به دلیل اثر متقابل بر هم دیگر، از شرایط متغیر مستقل خارج شده و در این حالت شرط مستقل بودن برای متغیرهای ورودی از بین رفته و مدل‌های آماری به ویژه مدل‌های رگرسیون خطی نمی‌توانند شبیه‌سازی و پیش‌بینی دقیقی از متغیر وابسته حاصل نمایند.

یکی از دلایل عدم توانایی مدل‌های خطی (رگرسیون چندگانه) در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم، وجود طبیعت غیر خطی متغیرهای وابسته و عدم منظور نمودن اثرات غیر خطی این متغیرها در مدل‌های خطی است. در حالی که مدل‌هایی همچون شبکه عصبی مصنوعی قادر هستند این روابط را در حین آموزش خود کشف و بر مبنای آموزش فراگرفته به شبیه‌سازی بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر پارامتر



شکل ۳- مقادیر مشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (الف) و زیست توده (ب) گندم با مدل‌های MLR

جدول ۷- مقایسه شاخص‌های آماری در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم توسط دو مدل ANN و MLR

مدل	عملکرد دانه		زیست توده	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
ANN	۰/۰۳۳	۰/۸۴	۰/۰۳۷	۰/۷۶
MLR	۰/۰۹۲	۰/۱۵	۰/۱۰۲	۰/۰۰۶

متغیره می‌باشد به گونه‌ای که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی توانستند ۸۶ تا ۹۵ درصد از تغییرپذیری مؤلفه‌های عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را با استفاده از خصوصیات خاک و توپوگرافی پیش‌بینی نمایند. کول و همکاران (Kaul et al.,

نتایج بدست آمده از این تحقیق در راستای نتایج دیگر پژوهشگران است. نتایج نوروزی و همکاران (Norouzi et al., 2009) نشان داد که روش شبکه عصبی دارای دقت بیشتری در برآورد مؤلفه‌های عملکرد گندم دیم نسبت به روش رگرسیون چند

خروجی‌های مدل است که در روش ANN این رابطه با استفاده از توابع غیر خطی برآورد می‌شود. به عبارت دیگر، مدل‌های ANN قابلیت انعطاف پذیری بیشتری در برآورد روابط غیرخطی نسبت به مدل‌های رگرسیونی دارند. دقت پایین مدل‌های رگرسیونی در برآورد عملکرد دانه و زیست توده گندم همچنین ممکن است مربوط به توزیع نمونه، تنوع مکانی، و اثرات مقیاس در سایت‌های مورد مطالعه باشد. علاوه بر این، پیش‌بینی‌کنندگی بهتر روش ANN احتمالاً مربوط به توانایی بیشتر و قدرت تحمل خطای بیشتر این روش نسبت به روش MLR بود. به طور کلی مدل‌های شبکه عصبی به کار گرفته شده در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم دارای دقت و صحت عمل بیشتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره خطی بودند.

2005). در مقایسه مدل شبکه عصبی با مدل رگرسیون در پیش‌بینی عملکرد ذرت و سویا گزارش کردند که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل‌های رگرسیونی ارائه داده‌اند. مقدار R^2 و RMSE برای پیش‌بینی عملکرد ذرت به وسیله شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۷۷ و ۱۰۳۶ و به وسیله روش رگرسیون خطی ۰/۴۲ و ۱۳۵۶ بود. در پیش‌بینی عملکرد سویا نیز مقادیر R^2 و RMSE به وسیله شبکه عصبی مصنوعی ۰/۸۱ و ۲۱۴ و به وسیله روش رگرسیون غیر خطی ۰/۴۶ و ۳۱۲ بود. از نتایج به دست آمده، چنین استنباط می‌شود که روش ANN در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم دارای دقت پیش‌بینی بالاتر از روش MLR در منطقه مورد مطالعه است. دلیلی که برای این نتایج می‌توان بیان نمود، وجود رابطه احتمالاً غیرخطی بین پارامترهای ورودی و هدف‌های نسبت داده شده یا

منابع:

بنایی، محمد حسن. ۱۳۷۷. نقشه رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

- Ayoubi S, Mohammad Zamani S, Khormali F. 2007. Spatial variability of some soil properties for site specific farming in northern Iran. *International Journal of Crop Production* 1: 225-236.
- Black CA, Evans DD, White JL, Ensminger LE, Clark FE. 1965. *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph No. 9, Part II: Chemical and microbiological properties*, Am.Soc. Argon., Madison, WI, USA.
- Bremmer JM, Mulvaney CS. 1982. Total nitrogen. *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph No. 9, Part II: Chemical and microbiological properties*, Am.Soc. Argon., Madison, WI, USA.
- El-Din AG, Smith DW. 2002. A neural network model to predict the waste water inflow incorporating rainfall events. *Water Resources*. 36:15-26.
- Gee GW, Baurder JW. 1986. Particle-size analysis. *Method of Soil Analysis. Agronomy Monograph No. 9. Part 1*. ASA and SSSA, Madison. WI. USA.
- Green TR, Salas JD, Martinez A, Erskine RH. 2007. Relating crop yield to topographic attributes using spatial analysis neural networks and regression. *Geoderma* 139: 23-37.
- Heykin S. 1994. *Neural networks: A comprehensive foundation*. Macmillan, New York, NY.

- ITC. 1997. Reference Guide. ILWIS Department, ITC, Enschede, the Netherlands.
- Jiang P, Thelen KD. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. *Agronomy Journal* 96: 252-258.
- Kaul M, Hill RL, Walthall C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems* 85: 1-18.
- Kravchenko AN, Bullock DG. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal* 92: 75-83.
- Lindsay J. 2005. TAS Software. Manchester, UK.
- Mallarino AP, Oyarzabal ES, Hinz PN. 1999. Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agriculture* 1: 15-25.
- MATLAB. 2008. Neural Network TOOLBOX. Mathworks Inc., Natick, MA, USA.
- McLean EO. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph No. 9, Part II: Chemical and microbiological properties*, Am.Soc. Argon., Madison, WI, USA. pp. 199-233.
- Norouzi M, Ayoubi S, Jalalian A, Khademi H, Dehghani AA. 2009. Predicting rainfed wheat quality by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agr. Scand. B-S. P. 60*: 341-352.
- Olsen SR, Sommers LE. 1982. Phosphorus. *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph No. 9, Part II: Chemical and microbiological properties*, Am.Soc. Argon., Madison, WI, USA.
- Page MC, Sparks DL, Noll M, Hendricks GJ. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal Plain Soils. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1460-1465.
- Quanqi L, Baodi D, Yunzhou Q, Mengyu L, Jiwang Z. 2010. Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. *Agricultural Water Management* 97: 1676–1682.
- Richards LA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *USDA Handbook No. 60*. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 160 pp.
- Rosa D, Mayol F, Moreno JA, Bonson T, Lozano S. 1999. An expert system/neural network model (ImpelERO) for evaluating agricultural soil erosion in Andalusia region, southern Spain. *Agricultural Ecosystems Environments* 73: 211–226.
- Royo C, Aparicio N, Blanco R, Villegas D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 20: 419–430.
- Rumelhart DE, McClelland JL. 1986. Parallel recognition in modern computers, In *processing explorations in the microstructure of cognition*. Vol. 1. Foundations. MIT Press/Bradford Books, Cambridge, MA.
- Sepaskhah AR, Azizian A, Tavakoli AR. 2006. Optimal applied water and nitrogen for winter wheat under variable seasonal rainfall and planning scenarios for consequent crops in a semi-arid region. *Agricultural Water Management* 48: 113-122.
- Uno Y, Prasher SO, Lacroix R, Gelo PK, Karimi Y, Viau A, Patel RM. 2004. Artificial neural networks to predict corn yield from compact airborne spectrographic imager data. *Computer Electronic of Agriculture* 47: 149-161.

Walkey A, Black IA. 1982. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1: Experimental. Soil Science 79: 459-465.

Wilding LP. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In: Nilson DR, Bouma J. Soil Spatial Variability. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

Wilson JP, Gallant JC. 2000. Terrain analysis. John Wiley & Sons, New York, NY. 479pp.

Comparison of multivariate linear regression and artificial neural networks models for estimating of rainfed wheat yield in some central Zagros areas

A. Mehnatkesh^{*1}, S. Ayyubi², A. Jalalyan³, A.A. Dehgani⁴

1- Department of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2-Department of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3-Department of Agronomy, Khorasgan branch, Islamic Azad University, Khorasgan, Iran

4-Department of Irrigation engenering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Given the importance of wheat in human nutrition and its cultivation in large-area under rainfed in Iran, this study was aimed to evaluate the efficiency of artificial neural networks and linear multiple regression models to predict biomass and grain yields of wheat (cv. Sardari), in two-year study. In two stations (Koohrang and Ardal), 202 sampling points were selected in the various hillslopes includes summit, shoulder, back slope, foot slope and toe slope. At the harvesting stage, the soil and plant samples were collected. Primary and secondary terrain attributes were extracted from digital elevation models, and meteorological data were used in two regions. Topography, 54 different soil characteristics, rainfall and management as the inputs as well as biomass and grain yields were considered as the outputs of both models. Artificial neural networks and multiple linear regression models, respectively, accounted for 84% and 15% of variations (R^2) in grain yield prediction, and 76% and 6% in prediction of biomass yield. The root mean square error (RMSE) of the models also were equal to 0.033 and 0.092 to predict grain yield, and 0.037 and 0.102 to predict the biomass based on artificial neural network and multiple linear regression models, respectively. The results showed a better ability of artificial neural networks in comparison with multiple linear regression to estimate grain and biomass yields of wheat in the target areas.

Keywords: Artificial neural networks, multiple linear regressions, Zagros, rainfed wheat

* Corresponding author: a_mehnatkesh@yahoo.com Received: 2015/05/16 Accepted: 2017/02/21