نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۶۶-۲۵۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 257-266

تعیین عوامل مؤثر در تولید گندم دیم به کمک آنالیز حساسیت در زاگرس مرکزی

عبدالمحمد محنت‌کش[1*]- شمس‌الله ایوبی[2]- امیراحمد دهقانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۰۳

چکیده

مدل‌سازی یکی از روش‌های نوین در پیش‌بینی پاسخ اراضی به کاربری مورد نظر است. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از مدل‌های کارآمد در شبیه‌سازی عملکرد و تعیین فاکتورهای مؤثر در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. در اراضی تپه‌ماهوری تحت کشت گندم دیم در زاگرس مرکزی ایران عوامل مختلفی بر تولید این محصول مؤثر است که این تحقیق به مدت دو سال با هدف تعیین مهم‌ترین این فاکتورها اجرا گردید. چهار گروه اقلیمی، خاک، توپوگرافی و مدیریت شامل ۵۴ فاکتور به‌عنوان متغیرهای ورودی، و عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم به‌عنوان خروجی‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد و پس از تعیین بهترین ساختار شبکه، پیش‌بینی عملکرد توسط مدل‌های به‌دست آمده انجام شد. به کمک آنالیز حساسیت به روش هیل، عکس‌العمل مدل به هر یک از متغیرهای ورودی بررسی و مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه و زیست توده تعیین گردید. نتایج نشان داد در حالی‌که متغیرهای بارش هفته‌های بیست و نهم و سی‌ام و دهم، علف‌های هرز، نیتروژن کل خاک، بارش هفته دوازدهم، بارش هفته بیست و پنجم، انحنای سطحی، بارش هفته سیزدهم و شاخص انتقال رسوب، به‌ترتیب ۱۰ متغیر اول مهم در تولید دانه گندم دیم بودند، زیست توده هوایی گندم دیم بیشترین حساسیت را به‌ترتیب به ۱۰ متغیر انحنای سطحی، بارش هفته‌های اول، چهارم و نهم، سطح ویژه حوضه، بارش هفته بیست و پنجم، پتاسیم قابل جذب خاک، انحنای عمودی، بارش هفته چهاردهم و بارش هفته بیست و یکم نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، زاگرس مرکزی، شبکه عصبی مصنوعی، گندم دیم، مدل‌سازی

مقدمه

امروزه تولید مواد غذایی پاسخگوی نیاز جمعیت رو به افزایش نیست، به‌طوری‌که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۶ میلیارد نفر خواهد گذشت. در حال حاضر قریب به ۸۰ درصد از اراضی قابل کشت جهان زیرکشت بوده و بقیه اراضی برای بهره‌وری نیاز به اقدامات اصلاحی داشته که معمولاً این اقدامات مقرون به صرفه نیستند (Ayoubi and Jalalian, 2006). بهترین روش به‌منظور استفاده صحیح از اراضی موجود، ارزیابی توان تولید آن‌ها در کاربری‌های مختلف و اختصاص اراضی به بهترین کاربری است.

یکی از روش‌های نوین در بررسی پاسخ اراضی به استفاده‌های مختلف، مدل‌سازی یا شبیه‌سازی کاربری مورد نظر است. یک مدل شکل ساده شده‌ای از واقعیت است که بعد از ایجاد آن می‌توان بدون اندازه‌گیری و آزمایش، رفتار یک پدیده را پیش‌بینی کرد (Ayoubi and Jalalian, 2006). هر مدل دارای تعدادی ورودی و چند خروجی می‌باشد. در یک مدل گیاه زراعی ورودی‌ها ممکن است شامل مشخصات محیط (خاک و اقلیم)، مشخصات رقم زراعی و مدیریت‌های زراعی و خروجی‌ها شامل عملکرد گیاه، سرعت رشد و غیره باشد (Norouzi Masear, 2008). در طول چند سال گذشته استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند در جهت توسعه مدل‌های تجربی با پایه زراعی مورد استفاده قرار گیرند (Kaul *et al*., 2005).

اولین مرحله در رسیدن به عملکرد محصول، تعیین یک رابطه دقیق بین فاکتورهای خاک، آب و هوا و مدیریت با عملکرد می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد سیستم‌های تولید محصول بسیار پیچیده هستند (Kaul *et al*., 2005). تحقیقات وسیعی در رابطه با نمایش، تشخیص، تشریح، آنالیز و مدیریت تغییرپذیری عملکرد انجام شده است. از آنجایی‌که تغییرپذیری عملکرد و کیفیت محصول درون مزرعه تحت تأثیر فاکتورهای زیادی است، جمع‌آوری داده و آنالیز داده‌ها مستلزم صرف هزینه‌های بالا، وقت زیاد و کاری دشوار است. با این حال قبل از اجرای عملیات کشاورزی دقیق لازم است مهم‌ترین فاکتورها شناسایی و روابط بین آنها درک گردد (Miao *et al*., 2006).

در مطالعات متعددی از تکنیک‌های مختلف برای درک روابط بین

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۲- استاد، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: a_mehnatkesh@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v15i2.37244

عملکرد محصول و خصوصیات خاک یا خصوصیات زمین‌نما استفاده شده است (Miao *et al*., 2006). به‌طور کلی در مورد هر خروجی مورد نظر، اگر رابطه بین متغیرها غیرخطی باشد که معمولاً این‌گونه است، مدل‌های خطی نمی‌توانند در پیش‌بینی آن موفق باشند، درصورتی‌که مدل‌های غیرخطی، روابط خطی و غیرخطی را به‌راحتی و با دقت بالا نمایش می‌دهند. شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی خصوصیات اراضی و میزان تولید، این روابط را شناسایی می‌کنند و ضمن یادگیری این روابط می‌توانند برای پیش‌بینی میزان تولید محصول در همان منطقه و یا شرایط مشابه با منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گیرند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی در ارزیابی اراضی، برقراری ارتباط بین خصوصیات و کیفیت‌های اراضی با میزان تولید محصول می‌باشد.

به‌منظور پیش‌بینی عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) و تعیین فاکتورهای تأثیرگذار بر عملکرد مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر بود با ۸۰ درصد دقت عملکرد ذرت را پیش‌بینی نماید. همچنین، مشخص شد که عملکرد محاسبه شده بیش‌تر به مقدار بارندگی (آخرین بارندگی ماه ژولای)، مقدار کود نیتروژن مصرفی و مقدار فسفر خاک حساسیت دارد (Liu *et al*., 2001). یک مدل شبکه عصبی برای ارزیابی اهمیت فاکتورهای خاک، زمین‌نما و گیاه روی عملکرد و کیفیت دانه ذرت به‌کار رفت. از خصوصیات خاک، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته، فسفر، پتاسیم و چند عنصر غذایی دیگر مثل کلسیم، منیزیم، گوگرد، منگنز، آهن و روی و از فاکتورهای زمین‌نما، ارتفاع و جهت شیب انتخاب شد (Miao *et al*., 2006). این محققین با استفاده از شبکه عصبی ۷ تا ۱۳ فاکتور مهم را شناسایی کردند که ۶۱ تا ۹۹ درصد تغییرات عملکرد یا کیفیت مشاهده شده را تشریح می‌کند. از فاکتورهای گیاهی، ژنتیک یا گونه گیاهی مهم‌ترین و مؤثرترین فاکتور تشخیص داده شد. ظرفیت تبادل کاتیونی و ارتفاع از فاکتورهای مهم و مؤثر خاک و زمین‌نما روی عملکرد و کیفیت محصول شناخته شد. به این ترتیب یکی از کاربردهای شبکه عصبی در ارزیابی اراضی، تعیین فاکتورهای مهم و مؤثر گیاه، خاک و زمین‌نما بر عملکرد می‌باشد. برای تعیین فاکتورهای مهم و مؤثر، ابتدا باید بهترین مدل شبکه عصبی مشخص شود.

تعداد زیادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر روی تولید محصول اثر دارند که شامل آب قابل دسترس برای گیاه، نفوذ پذیری، بافت خاک، ساختمان خاک، عمق خاک، لایه محدودکننده خاک، مواد آلی، شوری، مصرف کود، آفت‌کش‌ها، عناصر سنگین و یون‌های سمی می‌باشند (Corwin *et al*., 2003).

در مناطق خشک مقدار رطوبت خاک همبستگی بالایی با انحنای سطح اراضی دارد و بالاترین عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در موقعیت‌های مقعر شیب مشاهده می‌شود (Sinai *et al*., 1981). ضخامت لایه سطحی و زیر سطحی در عملکرد گندم بهاره تأثیر به‌سزائی دارد که این امر به‌دلیل تأثیر عمق خاک بر میزان عناصر غذایی قابل دسترس گیاه، ظرفیت نگهداری آب و عمق ریشه‌ها است (Miller *et al*., 1988). بین تولید زیست توده و اسیدیته خاک بر روی یک ردیف پستی و بلندی همبستگی مکانی بالایی وجود دارد (Boyer *et al*., 1990). عملکرد دانه گندم همبستگی معنی‌داری با طول بالای شیب و شاخص خیسی دارد، درحالی‌که انحنای سطحی تنها ۱۵درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید (Si and Farrell, 2004).

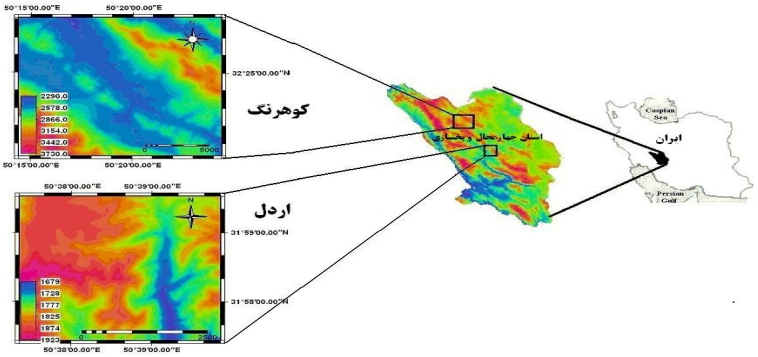
در ایران، در هر سال حدود ۶/۵ میلیون هکتار به کشت گندم اختصاص می‌یابد که ۶۲ درصد از این سطح در شرایط دیم است (Anonymous, 2007). بیشتر اراضی تحت کشت دیم در مناطق تپه‌ماهوری زاگرس واقع شده است که به‌دلیل دارا بودن شرایط مناسب رطوبتی و حرارتی برای کشت گندم دیم در نظر گرفته می‌شوند. استفاده از روش‌های نوین در ارزیابی اراضی زاگرس مرکزی به‌منظور برآورد توان تولید این اراضی می‌تواند در اختصاص اراضی مناسب به کشت و کار گندم دیم مفید باشد. از این رو پیش‌بینی عملکرد گندم دیم، که خود روشی برای طبقه‌بندی و ارزیابی اراضی است، و تعیین عوامل مهم که تولید محصول گندم دیم را در این اراضی تحت تأثیر قرار می‌دهند، اهمیت شایانی دارد. از طریق فرآیند آنالیز حساسیت می‌توان اطلاعات ارزشمندی درباره میزان حساسیت مدل به متغیرهای ورودی آن در اختیار طراح و معمار مدل قرار داد (Norouzi Masear, 2008). بر همین اساس این تحقیق با هدف تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید گندم دیم در منطقه زاگرس مرکزی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

این تحقیق به مدت دو سال و در دو منطقه کوهرنگ و اردل واقع در زاگرس مرکزی انجام شد (شکل ۱). منطقه کوهرنگ با زمین‌نمای تپه ماهوری و اقلیم معتدل سرد با تابستان‌های خنک و خشک واقع و در ارتفاع متوسط ۲۵۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه آن حدود ۱۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد و متوسط سالیانه دمای هوا ۹/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه به ترتیب تیپیک زریک و مزیک هستند. منطقه دوم انتخابی (اردل) با اقلیم نیمه‌گرمسیری با تابستان‌های گرم و خشک، واقع در اراضی تپه‌ماهوری با ارتفاع متوسط ۱۸۶۰ متر از سطح دریا و با متوسط بارندگی سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر و متوسط سالیانه دمای هوا ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه به‌ترتیب تیپیک زریک و ترمیک هستند. مزرعه‌های انتخابی در هر دو منطقه، شامل مزارع گندم دیم بود که

مدت طولانی است تحت کشت گندم دیم زمستانه رقم سرداری و تحت مدیریت کشاورزهای محلی است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه رقومی ارتفاعی دو منطقه کوهرنگ و اردل

Figure 1- Geographical position and digital elevation model of Koohrang and Ardal sites

داده‌های اقلیم، خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی و مدیریت به‌عنوان ورودی‌ها و عملکرد زیست توده هوایی و دانه گندم دیم به‌عنوان خروجی‌های مدل‌ها برای دو سال زراعی به‌کار گرفته شد. از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ برای منطقه کوهرنگ و ایستگاه سینوپتیک اردل برای منطقه اردل استفاده شد. آمار بارندگی روزانه ایستگاه‌های مذکور در بازه زمانی از تاریخ کاشت تا برداشت برای هر منطقه اخذ و این آمار به مجموع بارش هفتگی تبدیل گردید. در هر منطقه با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده[1] و با در نظر گرفتن پنج موقعیت شیب شامل قله، شانه، شیب پشتی، پای و پنجه شیب نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد به‌طوری‌که در هر منطقه ۱۰۲ نقطه انتخاب و مختصات این نقاط توسط سامانه موقعیت‌یاب مکانی ثبت گردید. برای هر منطقه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه‌های رقومی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ درمحیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ایلویس نسخه ۳ و در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر تهیه شد. از مدل‌های رقومی ارتفاع به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار TAS (Lindsay, 2005) ویژگی‌های توپوگرافی اولیه و ثانویه به صورت کمّی برای هر نقطه تعیین گردید. این ویژگی‌ها شامل ارتفاع[2]، درجه شیب[3]، جهت شیب[4]، عوارض ناهموار[5]، سطح پراکندگی[6]، سطح ویژه حوضه[7]، انحنای سطحی[8]، انحنای عمقی[9]، انحنای مماسی[10]، شاخص خیسی[11]، قدرت نسبی جریان[12] و شاخص ظرفیت حمل رسوب[13] بود.

در زمان رسیدگی محصول گندم، در نقاط ثبت شده در پلاتی به ابعاد ۱×۱ متر برداشت گندم و درصورت وجود، برداشت علف‌های هرز، به‌صورت قطع زیست توده هوایی گیاه از سطح خاک و با سه تکرار انجام و عملکرد زیست توده هوایی و دانه گندم براساس وزن خشک و برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

هم‌زمان با برداشت گیاه و در همان نقاط، نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نیز در سه تکرار انجام و یک نمونه مرکب خاک برای هر نقطه تهیه شد. بر روی نمونه‌های خاک درصد حجمی سنگریزه، درصد رس، سیلت و شن، ازت کل خاک (TN)، کربن آلی خاک (SOC)، پتاسیم قابل دسترس ($K_{ava.}$)، فسفر قابل دسترس ($P_{ava.}$)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، pH خاک در گل اشباع و هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع اندازه‌گیری شد.

از بین عوامل مختلف مدیریتی میزان علف‌های هرز موجود در نقاط نمونه‌برداری برحسب کیلوگرم وزن خشک زیست‌توده هوایی علف‌های هرز در هکتار به‌عنوان فاکتور مدیریتی در نظر گرفته شد.

به‌منظور هم‌ارزش شدن و در محدوده صفر تا یک قرار گرفتن داده‌ها، پس از به‌دست آوردن مقادیر بارش هفتگی، خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی و وزن علف‌های هرز و همچنین مقادیر عملکرد زیست توده و دانه گندم، این مقادیر با استفاده از معادله (۱) استاندارد شدند:

$$Xs= ((((X_i - X_{mean})/(X_{max} - X_{min}))*0.5)+0.5) \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

1- Stratified Random Sampling
2- Elevation
3- Slope
4- Aspect
5- Shaded Relief
6- Dispersal Area
7- Specific Catchment Area
8- Surface Curvature
9- Profile Curvature
10- Tangential Curvature
11- Wetness Index
12- Relative Stream Power
13- Sediment Transport Capacity Index

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

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی فرض بر این بود که بین فاکتورهای ورودی و فاکتورهای خروجی رابطه‌ای به شکل معادله (۲) برقرار است:

$$Y=f(CF,SF,TF,MF) \quad (۲)$$

در این معادله Y: مولفه‌های تولید محصول، CF: فاکتورهای اقلیمی، SF: فاکتورهای خاکی، TF: فاکتورهای توپوگرافی و MF: فاکتورهای مدیریتی بودند.

ساختار شبکه پیش‌خور پس‌انتشار برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. برای طراحی ساختار شبکه عصبی مصنوعی، از بسته نرم‌افزاری MATLAB (MATLAB, 2008) استفاده گردید. در هر دو حالتِ مدل‌سازی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، ویژگی‌های توپوگرافی، خواص خاک، بارش هفتگی و وزن خشک علف هرز، شامل ۵۴ پارامتر، به‌عنوان داده‌های ورودی و عملکرد زیست توده هوایی و دانه گندم به‌عنوان داده‌های هدف یا خروجی مورد استفاده قرار گرفتند. در مجموع دو سال، ۴۰۴ نقطه اطلاعاتی از دو سایت کوهرنگ و اردل به‌عنوان مجموعه داده‌ها جمع‌آوری گردید. این مجموعه داده‌ها به‌طور تصادفی تقسیم گردید به‌طوری‌که ۶۰ ، ۲۰ و۲۰ درصد از آنها به‌ترتیب برای آموزش شبکه[1]، تأیید[2] و آزمون[3] مورد استفاده قرار گرفت.

برای رسیدن به بهترین ساختار هر شبکه، با انجام بیش از چند صد بار اجرای[4] برنامه و آزمون و خطا، تعداد نرون در لایه پنهان و تعداد تکرار[5] (دوره) انتخاب شدند. بهترین تابع برای همه شبکه‌ها tansigmoid بود. پس از تعیین ساختار شبکه و به‌دست آمدن بهترین مدل شبکه عصبی، به‌منظور ایجاد رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده، فقط از داده‌های مرحله آزمون (۲۰ درصد از داده‌ها) استفاده گردید.

تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در عملکرد گندم از طریق آنالیز حساسیت

به‌منظور شناخت متغیرهای مؤثر در تولید، آنالیز حساسیت به روش هیل (Hill, 1998) انجام شد. این روش ضریب حساسیت نسبی[6] را از طریق تقسیم ضریب حساسیت هر متغیر زمانی که آن متغیر ۱۰ درصد کاهش می‌یابد بر حداکثر ضریب حساسیت محاسبه می‌نماید. بنابراین بیشینه ضریب حساسیت نسبی برابر یک خواهد بود. در این روش هر متغیری که دارای ضریب حساسیت بالاتر از ۰/۱ باشد به‌عنوان متغیر مهم و متغیری که دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت نسبی باشد، به‌عنوان مهم‌ترین متغیر و به‌همین ترتیب متغیرهای با ضریب حساسیت نسبی کم‌تر متغیرهای در درجات بعدی اهمیت محسوب می‌شوند.

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده هوایی گندم دیم توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، بهترین ساختار این شبکه‌ها برای هر کدام از مؤلفه‌های عملکرد به‌دست آمد (جدول ۱).

هر یک از ساختارهای آموزش دیده دارای ۵۴ گره ورودی در ۴ گروه و یک گره خروجی بود. تعداد گره‌های لایه مخفی، ۹۰ و ۵۰، و مناسب‌ترین تعداد تکرار یادگیری براساس آزمون و خطا، ۹۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ به‌ترتیب برای عملکرد دانه و زیست توده تعیین شد. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آمده برای عملکرد دانه و زیست توده گندم به‌ترتیب دارای مقادیر R آزمون ۰/۹۲ و ۰/۸۷ بود.

مدل‌های توسعه‌یافته شبکه عصبی مصنوعی توانست به‌ترتیب ۸۴ و ۷۶ درصد از تنوع در عملکرد دانه و زیست توده گندم را در دو منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمین‌نما توصیف نمایند. بخشی از تنوع که غیر قابل توصیف بوده است، احتمالاً ناشی از تفاوت در شیوه‌های مدیریتی کشاورزان است. مقادیر R^2 و RMSE به‌دست آمده با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۰۳۳ برای پیش‌بینی عملکرد دانه و ۰/۷۶ و ۰/۰۳۷ برای پیش‌بینی زیست توده هوایی گندم دیم بود.

نتایج تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در تولید محصول گندم دیم به کمک آنالیز حساسیت

متغیرهای مؤثر در عملکرد دانه گندم

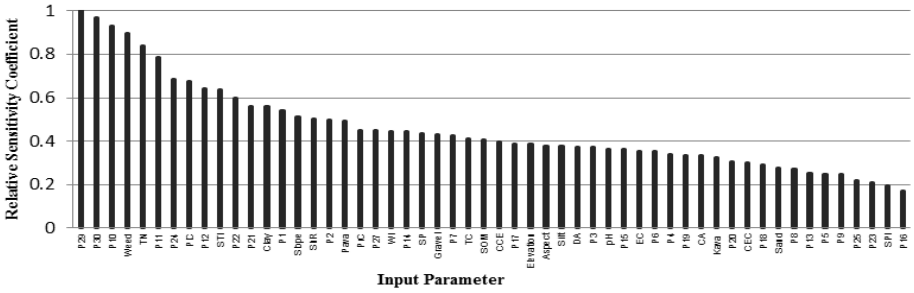
شکل ۲ ترتیب اهمیت پارامترهای مؤثر بر عملکرد دانه گندم دیم را به‌کمک آنالیز حساسیت روش هیل نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، کلیه متغیرهای ورودی به مدل شبکه عصبی دارای ضریب حساسیت نسبی بیش‌تر از ۰/۱ بودند. این نتیجه به معنی مؤثر بودن تمام پارامترهای در نظر گرفته شده بر عملکرد دانه گندم و تأثیر معنی‌دار تمام پارامترهای مورد بررسی در دقت مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد دانه گندم است. در بین این متغیرها، گروه پارامترهای بارش هفتگی از اهمیت بیش‌تری نسبت به دیگر پارامترها برخوردار بوده و بارش هفته‌های بیست و نهم و سی‌ام که مصادف با مرحله رسیدگی دانه گندم می‌باشد، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل شناخته شد. به‌عبارت دیگر، تولید دانه گندم بیش‌ترین حساسیت را نسبت به بارش هفتگی در هفته‌های مذکور داشت.

1- Training
2- Validation
3- Testing
4- Run
5- Iteration
6- Relative Sensitivity Coefficient

جدول ۱- خلاصه نتایج بهترین ساختار و مناسب‌ترین پارامترهای مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم در دو منطقه کوهرنگ و اردل

Table 1- Summary of the best results of the structure and optimum parameters of ANN for estimating grain and biomass yield of wheat in Koohrang and Ardal sites

مدل Model	تعداد نرون‌های ورودی No. of input neurons	تعداد لایه‌های مخفی No. of hidden layers	تعداد نرون‌های مخفی No. of hidden neurons	معادله Function	تکرار (دوره) Iteration	ساختار ANN ANN structure	آزمون R Testing R
دانه Grain	54	1	90	Tansig	9000	54-90-1	0.92
زیست توده Biomass	54	1	50	Tansig	10000	54-50-1	0.87



شکل ۲- نمودار مقادیر ضریب حساسیت نسبی پارامترهای ورودی در مدل پیش‌بینی عملکرد دانه گندم دیم در دو منطقه کوهرنگ و اردل

Figure 2- Relative sensitivity analysis coefficient values for rainfed wheat grain yield prediction in Koohrang and Ardal sites

P1 تا P30: بارش هفته یکم تا هفته سی‌ام، Weed: علف هرز، Elevation: ارتفاع، Aspect: جهت شیب، CA: سطح ویژه حوضه، PlC: انحنای سطحی، PrC: انحنای عمودی، TC: انحنای مماسی، SPI: شاخص قدرت جریان، STI: شاخص انتقال رسوب، Slope: شیب، WI: شاخص رطوبت، ShR: عوارض ناهموار، DA: سطح پراکندگی، SP: درصد اشباع، SOM: ماده آلی خاک، TN: ازت کل، P_{ava}: فسفر قابل جذب، K_{ava}: پتاسیم قابل جذب، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، pH: فعالیت یون هیدروژن، EC: هدایت الکتریکی خاک، Clay: رس، Silt: سیلت، Sand: شن و Gravel: سنگریزه

پس از این دو عامل بارش هفته دهم که مصادف با مرحله پنجه‌زنی گندم است، در درجه سوم اهمیت و دیگر پارامترهای مؤثر در تولید دانه گندم تا رده دهم شامل علف‌های هرز، نیتروژن کل خاک، بارش هفته دوازدهم، بارش هفته بیست و پنجم، انحنای سطحی، بارش هفته سیزدهم و شاخص انتقال رسوب بود. این نتایج نشان داد که در بین همه متغیرها، گروه بارش هفتگی مهم‌ترین عامل مؤثر در تولید دانه گندم دیم در دو منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بسیاری از مطالعات قبلی بین بارش و عملکرد گندم ارتباط‌هایی یافته‌اند (Gangopadhyaya and Sarker, 1965; Quanqi *et al*., 2010; Royo *et al*., 2004; Sepaskhah *et al*., 2006). در اکثر موارد زمان و توزیع بارش مهم‌تر از مجموع بارندگی بوده است. ۷۵ درصد از مجموع تغییرات در عملکرد گندم دیم توسط توزیع بارندگی توجیه می‌گردد (Gangopadhyaya and Sarker, 1965). عملکرد گندم و جو در کشور اسپانیا به‌طور قابل توجهی به بارش فصلی در فصل رشد به ویژه در ماه‌های نوامبر تا ژانویه و مارس تا می بستگی دارد (Austin *et al*., 1998).

درحالی‌که مقدار آب آبیاری در مراحل اولیه و میانی فصل رشد گندم کافی بود، توزیع عمودی تراکم ریشه به‌طور کامل توسعه نیافت (Li *et al*., 2010). در تحقیق حاضر در دو منطقه کوهرنگ و اردل، بارش‌ها معمولاً قبل و یا همزمان با کاشت گندم صورت می‌گیرد و تا اواسط فصل رشد ادامه دارد. به‌این ترتیب مقدار آب در لایه‌های سطحی خاک در مرحله رسیدگی به اندازه نیاز گیاه مهیا نیست، بنابراین مقدار بارش در مرحله رسیدگی مهم است.

با افزایش تبخیر و تعرق، مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری گندم زمستانه افزایش می‌یابد (Hong *et al*., 2006). در دو منطقه کوهرنگ و اردل در مراحل انتهایی رشد گندم، تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد درحالی‌که مقدار بارندگی کاهش می‌یابد، بنابراین مقدار آب مورد نیاز گیاه افزایش می‌یابد. از این رو اهمیت بارش در طول هفته‌های آخر رشد گیاه گندم مشخص می‌گردد. از طرف دیگر، بارندگی دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه است. تأثیر مستقیم آن از طریق فراهم نمودن آب در مراحل مختلف رشد گیاه و تأثیر غیرمستقیم آن نگهداری یا ذخیره آب در موقعیت‌های مختلف

شیب است. موقعیت‌های مختلف شیب آب قابل استفاده متفاوتی برای گیاه فراهم می‌نمایند. با توجه به این‌که مناطق مورد بررسی در این تحقیق جزء مناطق تپه‌ماهوری و با موقعیت‌های مختلف شیب بودند، به دلیل تغییر در عمق و دیگر خصوصیات خاک، مقدار آب قابل استفاده در این مناطق با موقعیت زمین‌نما تغییر کرده و این تغییرات دلیلی بر تغییر عملکرد دانه گندم در این شرایط است.

دومین گروه مؤثر در تولید دانه گندم گروه عملیات مدیریتی با نمایندگی علف‌های هرز بود و تأثیر این عامل حتی از تأثیر خصوصیات خاک و ویژگی‌های توپوگرافی نیز مهم‌تر بود. رقابت علف‌های هرز با گندم در مصرف نور، آب و عناصر غذایی فاکتور مهم محدود کننده رشد گیاه محسوب می‌گردد (Calado *et al*., 2010). در کرت‌هایی که علف‌های هرز با علف‌کش کنترل شدند، عملکرد دانه در مقایسه با کرت‌های بدون کنترل علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (Calado *et al*., 2010). بنابراین برخلاف تصور عمومی مبنی بر عدم اهمیت مبارزه با علف‌های هرز در مزارع گندم دیم، با این نتیجه مشخص می‌شود که از بین بردن علف‌های هرز در مزارع گندم دیم می‌تواند تا حد زیادی به افزایش تولید دانه گندم کمک نماید.

در بین خصوصیات خاک، عامل مهم مؤثر در تولید دانه گندم، میزان نیتروژن کل خاک تشخیص داده شد. این نتیجه اهمیت مصرف کودهای نیتروژنه در افزایش عملکرد دانه گندم دیم در مناطق مورد بررسی را نشان می‌دهد. نیتروژن معمولاً یک عامل کلیدی و عنصر اصلی در دستیابی به بازده مطلوب دانه غلات و به‌ویژه گندم محسوب می‌گردد (Bly *et* Norouzi *et al*., 2009; Alcoz *et al*., 1993; Grant *et al*.,1985; *al*., 2003). بهره‌وری گیاه در استفاده از نیتروژن در اندام هوایی به چند عامل از جمله: زمان مصرف، میزان نیتروژن مصرفی، بارش و دیگر متغیرهای مربوط به آب و هوا بستگی دارد (Alcoz *et al*., 1993). نتایج به‌دست آمده در راستای نتایج دیگر محققین است. به‌عنوان مثال گزارش شده است که در شرایط بدون آبیاری، مصرف کودهای نیتروژنه در مراحل اولیه رشد گیاه نسبت به مراحل آخر رشد گیاه، و همچنین سطوح پایین‌تر نیتروژن نسبت به سطوح بالاتر تأثیر بیش‌تری داشته است (Rieger *et al*., 2008). این محققین نشان دادند که مصرف نیتروژن در شرایط کمبود رطوبت در خاک، اثر نیتروژن را محدود می‌کند.

افزایش میزان آب قابل دسترس، جذب بیش‌تر نیتروژن توسط گیاه و افزایش غلظت نیتروژن در دانه را باعث خواهد شد (Albrizio *et al*., 2010). سهم زیادی از عملکرد گندم توسط فاکتور تعداد دانه گندم در واحد سطح توجیه می‌گردد که این عامل به‌طور عمده به مصرف کودهای نیتروژنه بستگی دارد (Albrizio *et al*., 2010). به هرحال میزان نیتروژن خاک می‌تواند به‌عنوان یکی از خصوصیات مهم خاک در تولید دانه گندم در نظر گرفته شود.

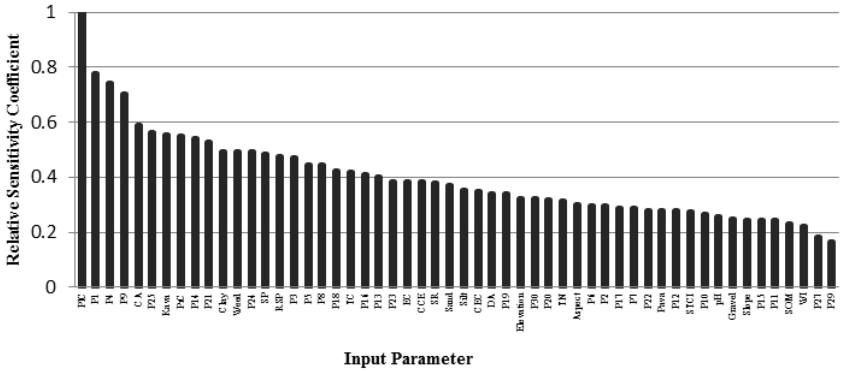
در گروه ویژگی‌های توپوگرافی، انحنای سطحی و شاخص انتقال رسوب در مناطق مورد مطالعه به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های توپوگرافی تعیین گردید. انحنای سطحی، انحنای سطح افقی خطوط تراز است که همگرایی و واگرایی توپوگرافیکی را نشان می‌دهد. بنابراین گرایش جریان آب به سمت گودی‌ها را در سراسر اراضی نشان می‌دهد (Wilson and Gallant, 2000). این پارامتر تأثیر مهمی در طبیعت حرکت آب در سراسر اراضی، خصوصیات خاک و مقدار آب خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (Norouzi *et al*., 2009). میزان آب قابل استفاده خاک تحت تأثیر درجه و جهت شیب، انحنای سطحی و عمقی در هر نقطه از زمین نما است و به‌طور قابل توجهی می‌تواند توزیع آب در هر نقطه از زمین نما و در نتیجه عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهد (Hanna *et al*., 1982). با انجام آنالیز حساسیت، مهم‌ترین خصوصیات خاک و توپوگرافی در تولید دانه گندم دیم تعیین و نیتروژن کل خاک به عنوان مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر عملکرد دانه گندم دیم اعلام شد (Norouzi Masear, 2008).

متغیرهای مؤثر در عملکرد زیست توده هوایی گندم

در شکل ۳ ترتیب اهمیت پارامترهای مؤثر بر عملکرد زیست توده هوایی گندم دیم نشان داده شده است.

در بین متغیرها، انحنای سطحی مهم‌ترین متغیر مؤثر در تولید زیست توده هوایی بود. پس از آن گروه پارامترهای بارش هفتگی از اهمیت بیش‌تری نسبت به دیگر پارامترها برخوردار بود به‌طوری‌که بارش هفته‌های اول، چهارم و نهم که مصادف با مرحله جوانه‌زنی و پنجه‌زنی دانه گندم می‌باشد، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل شناخته شدند. دیگر پارامترهای مؤثر در تولید زیست توده هوایی گندم تا رده دهم شامل سطح ویژه حوضه، بارش هفته بیست و پنجم، پتاسیم قابل جذب خاک، انحنای عمقی، بارش هفته چهاردهم و بارش هفته بیست و یکم بود.

نتایج نشان داد که انحنای سطحی بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد زیست توده گندم دیم دارد. این ویژگی توپوگرافی بر میزان آب خاک تأثیر می‌گذارد. در مناطق تپه‌ماهوری، میزان آب در موقعیت‌های متفاوت زمین‌نما متفاوت است و این تغییر در رطوبت خاک بر رشد گیاه تأثیر خواهد داشت. این پارامتر از طریق تعیین جریان آب به سمت نقاط مقعر و افزایش ذخیره رطوبتی در این نقاط به‌ویژه در سامانه‌های دیم می‌تواند بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر داشته باشد. با توجه به این‌که ذخیره رطوبتی خاک یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در رشد بهینه گیاه در شرایط دیم است، این ویژگی توپوگرافی در رأس متغیرهای مؤثر بر عملکرد زیست توده گندم دیم قرار گرفته است. این ویژگی توپوگرافی به‌عنوان چهارمین عامل مهم بر عملکرد کل گندم اعلام شده است (Norouzi Masear, 2008).



شکل ۳- نمودار مقادیر ضریب حساسیت نسبی پارامترهای ورودی در مدل پیش‌بینی عملکرد زیست‌توده هوایی گندم دیم در دو منطقه کوهرنگ و اردل

Figure 3- Relative sensitivity analysis coefficient values for rainfed wheat biomass yield prediction in Koohrang and Ardal sites

P1 تا P30: بارش هفته یکم تا هفته سی‌ام، Weed: علف هرز، Elevation: ارتفاع، Aspect: جهت شیب، CA: سطح ویژه حوضه، PlC: انحنای سطحی، PrC: انحنای عمودی، TC: انحنای مماسی، SPI: شاخص قدرت جریان، STI: شاخص انتقال رسوب، Slope: شیب، WI: شاخص رطوبت، ShR: عوارض ناهموار، DA: سطح پراکندگی، SP: درصد اشباع، SOM: ماده آلی خاک، TN: ازت کل، P_{ava}: فسفر قابل جذب، K_{ava}: پتاسیم قابل جذب، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، pH: فعالیت یون هیدروژن، EC: هدایت الکتریکی خاک، Clay: رس، Silt: سیلت، Sand: شن و Gravel: سنگریزه

متغیر بارش در هفته‌های مصادف با جوانه‌زنی بذر گندم (هفته اول و چهارم) و در هفته مصادف با پنجه‌زنی گندم (هفته نهم) و هفته مصادف با گلدهی گندم (هفته بیست و پنجم) به‌عنوان بارش‌های مهم‌تر از بین گروه بارش‌های هفتگی تعیین شد. این نتایج نشان می‌دهد که مراحل جوانه‌زنی بذر، پنجه‌زنی و گلدهی بیش‌ترین تأثیر را در تولید زیست توده هوایی گندم دارد. با توجه به این‌که تنها منبع تأمین رطوبت خاک در سامانه‌های دیم، بارندگی است، بنابراین آب مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد، تنها از این منبع تأمین می‌گردد و سه مرحله ذکر شده مهم‌ترین مراحل رشد گندم در تولید زیست توده هوایی هستند. به‌عبارت دیگر این نتایج نشان داد که حساسیت رشد گندم و تولید زیست توده به میزان رطوبت خاک در این سه مرحله است. با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی مصنوعی گزارش شده است که حساس‌ترین فاکتور در عملکرد ذرت دیم، بارندگی در اواخر ژولای است (Liu *et al*., 2001).

سطح ویژه حوضه به‌عنوان دیگر پارامتر مهم از ویژگی‌های توپوگرافی در عملکرد زیست توده گندم مؤثر شناخته شد. این پارامتر نسبت سطح بالادست هر نقطه به طول خط تراز تعریف شده است (Wilson and Gallant., 2000). این ویژگی نشان‌دهنده سطحی است که جریان آب به نقطه مورد نظر را تأمین می‌کند. بنابراین سطح بیش‌تر تأمین‌کننده آب بیش‌تر برای نقطه مورد نظر و در نتیجه برای گیاه کشت شده در آن نقطه است و از این طریق بر عملکرد گیاه در آن نقطه مؤثر است.

از بین خصوصیات خاک، پتاسیم به‌عنوان یکی از ده متغیر مهم اولیه در تولید زیست توده هوایی گندم دیم تعیین گردید. این عنصر از طریق تأثیر در جذب آب بیش‌تر توسط گیاه بر رشد سبزینگی گیاه و افزایش عملکرد زیست توده هوایی مؤثر است. انحنای عمقی نیز که یکی دیگر از ویژگی توپوگرافی است، به‌عنوان متغیر مهم در تولید زیست توده هوایی گندم دیم تعیین گردید. تأثیر این پارامتر نیز به نگهداری آب در خاک و افزایش ذخیره رطوبتی و در نتیجه افزایش عملکرد زیست توده مربوط می‌گردد (Norouzi *et al*., 2009).

تفاوت‌های طول فصل رشد تأثیر جزیی بر عملکرد گندم دارد ولی ظرفیت نگهداری آب خاک تأثیر قابل توجهی بر عملکرد داشته و این متغیر به‌عنوان عامل مهم در پیش‌بینی عملکرد تعیین گردید (Bandel and Heger, 1994). در مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان آب خاک محدودکننده‌ترین عامل در تولید محصولات زراعی محسوب می‌گردد و فرآیندهایی که توزیع آب در خاک را کنترل می‌کند، تولید محصول را نیز کنترل می‌کند (Afyuni *et al*., 1993; Si and Farrell, 2004).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی این تحقیق نشان داد که مقدار آب خاک مهم‌ترین عامل برای تولید دانه و زیست توده هوایی گندم دیم است و تمام متغیرهایی که مهم تشخیص داده شدند، به نوعی به مقدار آب در خاک مربوط می‌شوند. بارش و موقعیت شیب می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورها در ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه مهم‌ترین فاکتورها در تولید دانه و زیست توده هوایی گندم دیم محسوب گردند. علاوه بر این، از بین عناصر غذایی نیتروژن در تولید دانه و پتاسیم در تولید زیست‌توده مهم‌ترین عناصر غذایی شناخته شدند.

References

1. Afyuni, M. M., Cassel, D. K., and Robarge, W. P. 1993. Effect of landscape position on soil water and corn silage yield. Soil Science Society of America Journal. 57: 1573-1580.
2. Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., and Stellacci, A. M. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. Field Crop Research 115: 179-190.
3. Alcoz, M. M., Hons, F. M., and Haby. V. A. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. Agronomy Journal 85: 1198-1203.
4. Anonymous. 2007. The area under wheat cultivation in the country in each province, Ministry of Agriculture Executive wheat. Available at www.iranwheat.ir. (in Persian).
5. Austin, R. B., Martinez, C., Arrue, J., Playan, L. E., and Cano-Marcellan, P. 1998. Yield–rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. European Journal of Agronomy 8: 239-248.
6. Ayoubi, S., and Jalalian, A. 2006. Land Evaluation (Agriculture and Natural Resources Applications). Isfahan University of Technology Publ. (in Persian).
7. Bandel, V. A., and Heger, E. A. 1994. MASCAP Maryland's agronomic soil capability assessment program. Agronomy department and Cooperative Extension Service, University of Maryland.
8. Bly, A. G., and Woodard, H. G. 2003. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. Agronomy Journal 95: 335-338.
9. Boyer, D. G., Wright, R. J., Winant, W. M., and Perry, H. D. 1990. Soil water relations on a hilltop cornfield in central Appalachia. Soil Science 149: 383-392.
10. Calado, M. G., Basch, G., and Carvalho, M. 2010. Weed management in no-till winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Protection 29: 1-6.
11. Corwin, D. L., Lesh, S. M., Shouse, P. J., Sopee, R., and Ayars, J. E. 2003. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. Agronomy Journal 95: 352-364.
12. Gangopadhyaya, M., and Sarker, R. P. 1965. Influence of rainfall distribution on the yield of wheat crop. Agricultural Meteorology 2: 331-350.
13. Grant, C. A., Stobbe, E. H., and Racz, G. J. 1985. The effect of fall applied N and P fertilizer and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero-till land in Manitoba. Canadian Journal of Soil Science 65: 621-628.
14. Hanna, A. Y., Harlan, P. W., and Lewis, D. T. 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. Agronomy Journal 74: 999-1004.
15. Hill, M. C. 1998. Methods and guidelines for effective model calibration. U.S. Geological survey Water-Resources Investigations Report 98-4005.
16. Hong, Y. S., Chang, M. L., Xi, Y. Z., Yan, J. S., and Yong, Q. Z. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. Agricultural water management 85: 211-218.
17. Kaul, M., Hill, R. L., and Walthall, C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural Systems 85: 1-18.
18. Li, Q., Dong, B., Qiao, Y., Liu, M., and Zhang, J. 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.
19. Lindsay, J. 2005. TAS Software. Manchester, UK.
20. Liu, J., Georing, C. E., and Tian, L. 2001. A neural networks for setting target corn yields. American Society of Agricultural Engineering 44: 705-713.
21. MATLAB. 2008. Neural Network TOOLBOX. Mathworks Inc., Natick, MA, USA.
22. Miao, Y., Mulla, D. J., and Robert, P. C. 2006. Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. Precision Agriculture 7: 117-135.
23. Norouzi Masear, M. 2008. Prediction of rainfed wheat production using artificial neural network in Ardal area, Chaharmahal va Bakhtiari province, MSc thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian with English abstract).
24. Miller, M. P., Singer, M. J., and Nielsen, D. R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hill. Soil Science Society of America Journal- 52: 1133-1141.
25. Norouzi, M., Ayoubi, S., Jalalian, A., Khademi, H., and Dehghani, A. A. 2009. Predicting rainfed wheat quality by artificial neural network using terrain and soil characteristics. Acta Agriculturae Scandinavia, Section B- Soil & Plant Science 60: 341-352.
26. Quanqi, L., Baodi, D., Yunzhou, Q., Mengyu, L., and 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.
27. Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E., and Liedgens, M. 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilization. European Journal of Agronomy 28:405-411.
28. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 20: 419-430.
29. Sepaskhah, A. R., Azizian, A., and Tavakoli, A. R. 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.
30. Si, C., and Farrell, R. E. 2004. Scale-dependent relationship between wheat yield and topographic indices: A wavelet approach. Soil Science Society of America Journal 68: 577-587.
31. Sinai, G., Zaslavsky, D., and Golany, P. 1981. The effect of soil surface curvature on moisture and yield: Beer Sheba observation. Soil Science 132: 367-375.
32. Wilson, J. P., and Gallant, J. C. 2000. Terrain Analysis, principles and applications. John Wiley & Sons, INC, New York.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 257-266

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۶۶-۲۵۷

Determination of the Most Important Factors on Rainfed Wheat Yield by Using Sensitivity Analysis in Central Zagros

A. Mehnatkesh[1*]- Sh. Ayoubi[2]- A. A. Dehghani[3]

Received: 14-07-2014
Accepted: 25-04-2015

Introduction: Wheat (*Triticum aestivum* L.) as the most strategic crop for human nutrition is cultivated in many countries under rainfed conditions in semiarid regions. To be vital importance to predict rainfed wheat yield and determine the important factors which affect this crop. Modeling is one of the approaches to predict the response of land to land use. Artificial neural networks (ANN) are considered as one of the modeling approaches to yield prediction and determination of the most important parameters in crop productions. In rainfed wheat hilly land of central Zagros of Iran, there are various parameters that influence this crop production. Therefore, the objective of this study was to identify these important factors.

Materials and Methods: This study was conducted for two years and at two sites under rainfed conditions in Koohrang and Ardal districts in Chaharmahal and Bakhtiari provinces, central Zagros of Iran. At both sites, the study was made on farmer–operated winter wheat fields. At the Koohrang and Ardal sites, 102 and 100 sampling points were selected, respectively. 202 sampling points were chosen on the landscape covering summit, shoulder, backslope, footslope, and toeslope at two sites with varying climatic conditions. Four parameter groups including terrain attributes, soil physical and chemical properties, precipitation, and weed biomass, including 54 factors were used as the inputs, and wheat grain and biomass yield as the targets for ANN models. A feed-forward back-propagating ANN structure was used to develop yield prediction models. The data set was randomly shuffled; 60%, 20% and 20% of them were used for the learning network, testing and verification, respectively. After determination of the best structure of ANN model, crop yields were predicted by the ANN models. By the Hill sensitivity analysis method (Hill, 1998), response of each factor was studied and determined the most effective parameters on grain and biomass yield. This method calculates relative sensitivity coefficient by dividing the sensitivity coefficient of every variable when the variable is reduced 10% by the maximum sensitivity coefficient, therefore the maximum relative sensitivity coefficient is 1.

Results and Discussion: The descriptive statistics for various soil characteristics showed that, soil chemical and physical parameters can be classified into three orders. Sand, TN, $K_{ava.}$, $P_{ava.}$, SOM, CCE, and gravel showed high variability (CV>35); clay, silt, and CEC had moderate variability (35<CV>15); and SP and pH indicated low variability (CV<15). The lowest variability was attributed for pH, and the highest is for $P_{ava.}$. Summary statistics of terrain attributes show that the lowest and the highest skewness ascribed to plan curvature and relative stream power, respectively. In this study, the effect of management practices was evaluated by weed biomass. The data on weed biomass percentage ranged from 2.69 to 105.88 Kg ha^{-1} and this high variability most likely related to farmers' management practices. Coefficient of variation of grain yield and biomass yield were 49.71 and 42.97 %, respectively. It seems that this variability describes to landscape position, various management practices at the two different study sites.

The best structure of the ANN models was ascertained for each component yield. Each of the trained structures had 54 input nodes in 4 groups and one output node. The hidden-layer nodes were determined 90 and 50, and the optimum iteration learning rates based on trial and error 9000 and 10000 for grain and biomass yield, respectively. The ANN models for grain and biomass yield resulted in R values of 0.92 and 0.87, respectively, and explained 84% and 76% of the variability in grain and biomass yield, respectively.

For grain yield, the sensitivity analysis results showed that, in general, all of the considered parameters were important, but weekly precipitation group was more important for grain yield than the other groups, and precipitation of the 30^{th}, 29^{th}, 10^{th}, 12^{th}, 25^{th} and 13^{th} weeks of the growing season were identified as the most

1- Research Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Chaharmohal va Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran
2- Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3- Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: a_mehnatkesh@yahoo.com)

important weekly precipitations. The second important group was management group (weed wt), the third one was soil characteristics group (soil total nitrogen), and the forth one was terrain attributes (plan curvature and sediment transport capacity index). For biomass yield, all parameters were important, but the plan curvature was identified as the most important variable. After plan curvature, weekly precipitation during the 1st, 4th and 9th weeks, catchment area, 25th week, available potassium, profile curvature, 14th and 21th weeks precipitation were the ten top important parameters, respectively.

Keywords: Artificial neural network, Central Zagros, Modeling, Rainfed wheat, Sensitivity analysis