نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۳۹۸، ص. ۱۴۷۰-۱۴۶۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1460-1470

پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای و تحلیل حساسیت پارامترهای مدیریتی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

سالومه سپهری[1*]، فریبرز عباسی[2]، محمد مهدی نخجوانی مقدم[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰

چکیده

افزایش روزافزون تقاضای محصولات کشاورزی و کاهش دسترسی به منابع آب متعارف لزوم مدیریت صحیح منابع آب مصرفی در بخش کشاورزی را بیش از گذشته نمایان کرده است. از طرفی مشکلات اندازه‌گیری و دستیابی به داده‌های میدانی ضرورت به کارگیری مدل‌هایی کارآ که قادر به پیش-بینی دقیق عملکرد محصولات و تحلیل حساسیت عملکرد نسبت به پارامترهای گوناگون باشند را روشن می‌سازد. لذا در این تحقیق اثرات پارامترهای مختلف بر میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطح کشور سنجیده شده و کارآیی مدل شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد عملکرد محصول نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای شوری آب آبیاری، شوری خاک، طول دوره رشد گیاه، میزان آب مصرفی و تعداد دفعات آبیاری مربوط به ۱۰۴ مزرعه در ۸ استان کشور که طی مطالعات میدانی گردآوری شده‌اند، به منظور توسعه مدل‌ها در شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین با برآورد میزان آب مورد نیاز مزارع منتخب، عملکرد مورد انتظار با استفاده از مدل بهینه انتخاب شده، برآورد شده و با عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان و ساختار نهایی ۱-۱۵-۱۹-۵ قادر است با دقت مطلوبی (R^2=۰/۸۵) عملکرد محصول را برآورد کند. نتایج تحلیل حساسیت مدل بهینه انتخاب شده نشان داد که پارامترهای تعداد دفعات آبیاری و طول دوره رشد گیاه به ترتیب اثرگذارترین و کم‌اثرترین پارامترها بر عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای می‌باشند. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که بین عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع و عملکرد قابل انتظار شکافی وجود داشته و در صورت اعمال نیاز کامل آبیاری می‌توان عملکرد ذرت علوفه‌ای در مناطق مورد مطالعه را به طور متوسط به میزان ۱۲/۵ تن در هکتار افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرسپترون چند لایه، شکاف عملکرد، مدلسازی

مقدمه

ارزیابی کلی از پتانسیل بخش کشاورزی نشان می‌دهد که سطح زیرکشت و زمین‌های موجود کشاورزی چندان توسعه‌پذیر نیستند و تأمین تمام حجم آب مورد نیاز این بخش نیز قطعاً در پتانسیل اقلیمی کشور وجود ندارد. درنتیجه بهترین راه مقابله با چنین بحران قریب-الوقوعی، تلاش در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح همراه با مدیریت صحیح مصرف آب کشاورزی و بالا بردن راندمان مصرف آب است. متأسفانه در حال حاضر به دلیل عدم آشنایی کشاورزان با اصول صحیح مدیریت مصرف آب، مقدار قابل توجهی از این نهاده اصلی به هدر می‌رود. بهبود مدیریت کاربرد آب در مزرعه باعث صرفه‌جویی درآب، نیروی کار و حفاظت از خاک شده و علاوه بر آن موجبات افزایش محصول را فراهم می‌سازد. از اینرو بایستی به کشاورزان آگاهی و امکانات داده شود تا به نحو صحیح از منابع آب استفاده کنند. ذرت علوفه‌ای از جمله گیاهان علوفه‌ای است که نقش بسزایی در امنیت غذایی و به‌خصوص تولید پروتئین و فرآورده‌های غذایی دارد. علوفه ذرت به دلیل عملکرد بالا، مواد غذایی مناسب و سهولت سیلو شدن یکی از مهم‌ترین علوفه‌های مورد استفاده در صنعت دامپروری است (خدابنده، ۱۳۸۸). سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای در کشور در سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۱۵۸/۵ و ۲۲۵/۵ هزار هکتار و میانگین عملکرد علوفه‌تر و دانه به ترتیب ۵۰/۵ و ۷/۴ تن بوده است (بی‌نام، ۱۳۹۶). ذرت از مهمترین گیاهان زراعی است که عملکرد آن همبستگی بالایی با قابلیت دسترسی به آب دارد (Kresovic et al., 2016; Markovic et al., 2017; Daryanto et al., 2016). گرچه فاکتورهای دیگری مثل مصرف کود نیز بر عملکرد پتانسیل

۱-استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.sepehri@aeri.ir)

مؤثر هستند (نصرا..زاده و همکاران، ۱۳۹۵)، ولی این عوامل اصولاً با توجه به مقدار آبی که گیاه در طی فصل رشد در دسترس خواهد داشت تنظیم می‌شوند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴). پایرو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که زمان آبیاری تأثیر مهمی در مقدار ماده خشک ذرت دارد و حساسیت ذرت به آب در زمان پرشدن و خمیری‌شدن دانه می‌باشد. حیدری سورشجانی و همکاران (۱۳۹۴) نتیجه گرفتند که در شرایط عدم محدودیت منابع آبی، بیشترین عملکرد ذرت در منطقه شهرکرد با مصرف آب به میزان ۷۸۲ میلی‌متر در طی دوره رشد ذرت) به دست آمد. همچنین نتایج آنالیز اقتصادی نشان داد که در شرایط محدودیت منابع آبی، عمق آب مصرفی بهینه برای ذرت علوفه‌ای در منطقه مذکور در حدود ۵۸۰ میلی‌متر (معادل ۸۶ درصد عمق آبیاری کامل) بود. کریمی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که عملکرد ذرت علوفه‌ای در تیمارهای آبیاری کامل و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی تفاوت معنی‌داری نداشت. باغانی و خوشبزم (۱۳۸۶) گزارش نمودند که با تغییر سیستم آبیاری سطحی به سیستم آبیاری قطره‌ای در مزارع کشاورزان استان خراسان رضوی بیشترین کاهش آب مصرفی در زراعت‌های ذرت علوفه‌ای با ۴۹٪ اتفاق افتاد. نتایج تحقیق رضائی استخروئیه و همکاران (۱۳۹۰) در آبیاری جویچه‌ای نشان داد که تأمین آب مورد نیاز در مرحله رویشی تأثیر زیادی در عملکرد گیاه ذرت علوفه‌ای دارد (با ۳۵ درصد صرفه‌جویی در آب آبیاری، کاهشی برابر ۶۹ درصد در عملکرد علوفه حاصل شد).

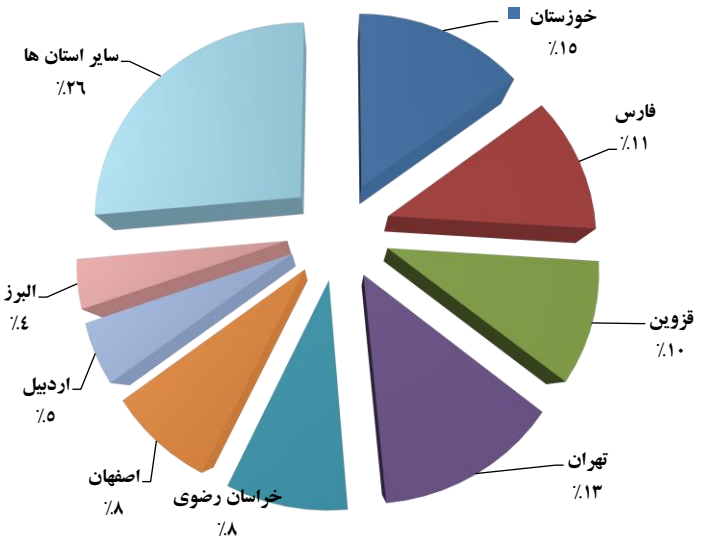
شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] به دلیل آنکه پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه داده و در عین حال بسیار ساده‌تر از مدل‌های فرآیند محور هستند، به یک تکنیک محبوب در علوم کشاورزی و زیستی تبدیل شده‌اند. این شبکه‌ها در واقع روش‌های تحلیلی انطباقی مبتنی بر ساختارهای عصبی و پردازش مغز انسان می‌باشند که قادر به یادگیری روابط میان پارامترهای مختلف می‌باشند (Ozesmi et al., 2006). آلوارز با به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، متوسط عملکرد گندم را در منطقه پامپاس آرژانتین برآورد کرد. وی در تحقیق خود با استفاده از پارامترهای خاک و همچنین پارامترهای هواشناسی و به کارگیری مدل‌های رگرسیون، روش‌شناسی سطح پاسخ (RSM[2]) و شبکه عصبی، میزان عملکرد گندم را برآورد نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد محصول به‌ترتیب به پارامترهای ظرفیت نگهداشت آب در خاک و محتوای کربن آلی خاک وابستگی بیشتری داشته است. وی گزارش نمود که مدل شبکه عصبی با دقت بسیار خوبی نسبت به مدل‌های رگرسیون و RSM عملکرد را برآورد کرده و چنانچه داده‌های مورد استفاده در این مدل در بازه زمانی ۴۰-۶۰ روز قبل از برداشت گندم موجود باشند، می‌توان از این مدل به منظور برآورد دقیق عملکرد گندم در منطقه استفاده کرد (Alvarez, 2009). کائول و همکاران عملکرد ذرت دانه‌ای و سویا در منطقه مریلند آمریکا را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل کردند. آنها از داده‌های بارش منطقه و رده‌بندی خاک‌ها با استفاده از استاندارد سازمان حفاظت خاک آمریکا به منظور توسعه مدل‌ها استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو پارامتر به منظور تخمین دقیق عملکرد گیاه ذرت مهم بوده و مدل شبکه عصبی دقت بیشتری نسبت به مدل رگرسیون داشته است(Kaul et al., 2005). میائو و همکاران با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی، عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت ذرت دانه‌ای در ایالت ایلینویز آمریکا را بررسی کردند. فاکتورهای مورد بررسی در این مطالعه خصوصیات خاک و ارقام بذر ذرت بود. نتایج این تحقیقات نشان داد که رقم مورد استفاده و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به ترتیب مؤثرترین پارامترها بر کیفیت و عملکرد محصول بودند. همچنین بیان نمودند که بر اساس نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی، چنانچه از نظر مدیریتی، صرفاً تولید محصول با کیفیت مدنظر باشد، فاکتور رقم بذر مورد استفاده بسیار مهم‌تر از سایر پارامترها می باشد (Miao et al., 2006). علیرغم کاربرد گسترده شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدلسازی داده‌های مرتبط با بخش کشاورزی، تا کنون مطالعه‌ای در مورد ارزیابی تأثیر پارامترهای مدیریتی بر میزان عملکرد محصولات مهم زراعی ایران از جمله ذرت علوفه‌ای انجام نشده است. بنابراین اهداف مطالعه حاضر عبارتند از: ۱) بررسی قابلیت استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای، ۲) تحلیل حساسیت عملکرد ذرت علوفه‌ای نسبت به پارامترهای مدیریتی و ۳) پیش‌بینی عملکرد قابل انتظار ذرت علوفه‌ای در صورت اعمال نیاز آبی کامل گیاه.

مواد و روش‌ها

پایگاه داده‌ها

اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه شامل مقادیر حجم آب مصرفی و عملکرد ذرت علوفه‌ای و کمیت‌های مربوط به این دو شاخص در مزارع ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت زارعین (تعداد ۱۰۴ مزرعه) در استان‌های البرز، تهران، قزوین، اردبیل، اصفهان، فارس، خراسان رضوی و خوزستان است که در یک تحقیق میدانی برداشت شده‌اند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). استان‌های مذکور بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (شکل ۱) دارای بیشترین سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در کشور بوده و حدود ۷۰ درصد سطح زیرکشت و تولید این محصول در کشور را پوشش می‌دهند (بی‌نام، ۱۳۹۶). کمیت‌های اندازه‌گیری شده شامل شوری آب آبیاری، طول دوره رشد گیاه، شوری عصاره اشباع خاک، تعداد دفعات آبیاری، عملکرد ذرت علوفه‌ای و حجم آب مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای بود.

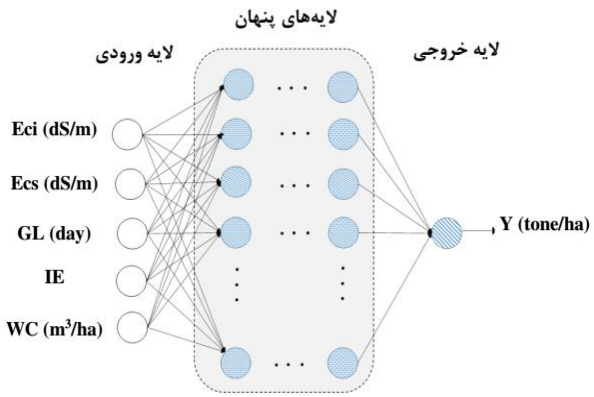
1- Artificial Neural Networks (ANN)
2- Response Surface Methodology



شکل ۱- وضعیت سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در استان‌های مورد مطالعه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤

مدل‌سازی و تحلیل حساسیت

مدل‌سازی عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای (Y) از طریق کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده از ۱۰۴ مزرعه در ۸ استان (البرز، تهران، قزوین، اردبیل، اصفهان، فارس، خراسان رضوی و خوزستان) انجام گرفت . ورودی‌های مورد استفاده در تعیین شبکه عصبی مصنوعی بهینه عبارتند از: شوری آب آبیاری (Eci (dS/m))، شوری خاک (Ecs (dS/m))، طول دوره رشد گیاه (روز) (GL)، تعداد دفعات آبیاری (IE) و میزان آب مصرفی (WC (m^3/ha)) و عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای نیز به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی عملکرد محصول ذرت در شکل ۲ نمایش داده شده‌است.



شکل ۲- ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای

برای نرمال کردن داده‌ها به منظور افزایش سرعت و دقت شبکه از رابطه ۱ استفاده شد (Tayfur and Singh, 2005). در نهایت می‌توان خروجی‌های شبکه را با معکوس نمودن الگوریتم استانداردسازی، به حالت اولیه برگرداند.

$$x_n = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (۱)$$

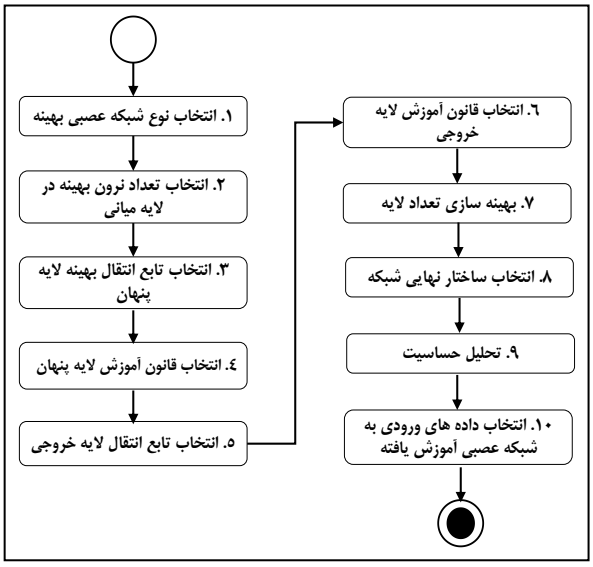
در این رابطه، x_n مقدار نرمال شده، x_i متغیر مورد نظر، x_{min} و x_{max} نیز به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر می‌باشند.

برای بررسی و آزمون اعتبار شبکه‌ها، از دو پارامتر R^2 و MSE استفاده شد. میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد.

$$MSE = \frac{\sum_1^n (exp-cal)^2}{N} \quad (۲)$$

در این رابطه، N= تعداد داده‌ها، exp: داده‌های مشاهداتی و cal: داده‌های محاسباتی متناظر با exp هستند.

در این تحقیق مجموع ۱۰۴ داده اندازه گیری شده از ۱۰۴ مزرعه، به سه دسته برای آموزش (۶۰٪)، برازش متقابل (۱۵٪) و صحت-سنجی شبکه عصبی مصنوعی (۲۵٪)، تقسیم شدند. بهینه‌سازی شبکه با استفاده از روش سعی و خطا و با کاربرد نرم‌افزار NeuroSolutions (V.5) انجام شد. جهت بهینه‌سازی گام به گام شبکه عصبی مصنوعی مطابق چارت ارائه شده در شکل ۳ گام‌ها به صورت متوالی دنبال شدند. ابتدا برای تعیین الگوریتم آموزش بهینه سه الگوریتم MLP[1] (پرسپترون چند لایه)، GFF[2] و RBF[3] مورد بررسی قرار گرفتند. سایر پارامترهای مؤثر در این مرحله ثابت در نظر گرفته شدند. الگوریتمی که مقادیر بیشتر R^2 و مقادیر کمتر MSE را به همراه داشت به عنوان الگوریتم بهینه جهت انجام ادامه مطالعات در نظر گرفته شد. در گام دوم با به کارگیری الگوریتم بهینه انتخاب شده در مرحله قبل و ثابت گرفتن سایر پارامترهای شبکه، تعداد نرون در لایه میانی بهینه‌سازی شد. به این منظور، محاسبات از تعداد ۳ نرون در لایه پنهان آغاز شد و تا زمانی که مقدار MSE تغییر قابل توجهی نکند، ادامه یافت. برای بهینه‌سازی تابع انتقال بهینه لایه پنهان از توابع انتقال رایج (تانژانت، سیگموئید، خطی، تانژانت خطی و سیگموئید خطی) و برای تعیین بهترین قانون آموزش لایه پنهان از قوانین (لونبرگ– مارکوارت، مومنتوم و دلتا بار دلتا) استفاده شد. در ادامه مشابه بند سوم، انتخاب تابع انتقال لایه خروجی با توجه به شرایط بهینه شده در بندهای پیشین انجام شد. در مرحله بعد، مشابه بند چهارم قوانین لونبرگ– مارکوارت، مومنتوم و دلتا بار دلتا برای تعیین قانون آموزش بهینه برای لایه خروجی مقایسه شدند. در گام انتخاب تعداد لایه پنهان بهینه، از سایر پارامترهای شبکه که در مراحل قبل بهینه‌سازی شدند، استفاده شد. بدین منظور با افزایش تعداد لایه‌ها مقادیر R^2 و MSE مربوط به هر شبکه بررسی شد. سپس با توجه به انتخاب تعداد لایه پنهان، نرون‌های بهینه‌سازی شده در گام ۲، در لایه‌ها توزیع شده و در هر شبکه، مقادیر MSE و R^2 مقایسه شد. در نهایت با توجه به شرایط بهینه‌سازی شده در مراحل قبلی، اقدام به تعیین ساختار نهایی شبکه شد. به منظور ارزیابی حساسیت مدل به پارامترهای ورودی از تکنیک حذف داده ورودی استفاده شد (Yesilnacar et al., 2008). این پروسه به جهت حذف ورودی‌های نامربوط (کم اثر) و در نتیجه کاهش اندازه‌گیری و جمع-آوری داده‌ها و نیز برای بهبود یا ارتقاء احتمالی عملکرد شبکه با استفاده از الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اصلی کاربرد دارد. بنابراین، به منظور تحلیل حساسیت مدل بهینه انتخاب شده، با توجه به اینکه در مرحله قبل بهترین شبکه ممکن برای تخمین عملکرد محصول ذرت آموزش داده و دقت آن سنجیده شد، حساسیت خروجی مدل نسبت به هر یک از پارامترهای ورودی بررسی شد. بعد از انجام تحلیل حساسیت برای آنکه بیشتر به تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی پی برده شود، ترکیبات مختلفی از پارامترها به عنوان ورودی در شبکه انتخاب شد تا بتوان ترکیب مناسبی از پارامترهایی که نقش بیشتری در برآورد خروجی دارند را انتخاب نمود. بدین منظور تمامی ترکیب-های ممکن از داده‌های ورودی در نظر گرفته شد. به عنوان مثال در ابتدا شبکه‌هایی با تنها یک ورودی ارزیابی شدند. با توجه به وجود ۵ داده ورودی، در مرحله اول ۵ ساختار در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن شبکه‌هایی با دو پارامتر ورودی تعداد ۱۰ ساختار از شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. و به همین ترتیب تمامی حالت‌های ممکن در ترکیب داده‌های ورودی و تأثیر آنها بر پارامتر خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۳- مراحل بهینه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

برآورد عملکرد بهینه ذرت علوفه‌ای در صورت اعمال نیاز کامل آبیاری

بخش قابل توجهی از کشاورزان در مدیریت منابع آب در دسترس خود بعضاً سلیقه‌ای برخورد نموده و ممکن است آبیاری دقیقاً مطابق با نیاز آبی گیاه انجام نگرفته و شاهد بیش آبیاری یا کم آبیاری در مزارع باشیم. در این مطالعه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بهینه که در مراحل قبل به منظور تخمین عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای انتخاب شد، مقدار عملکرد محصول در صورت اعمال میزان نیاز کامل آبیاری گیاه، برآورد شده و با عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع مقایسه شد. مقادیر تبخیر– تعرق گیاه مرجع با استفاده از نرم‌افزار ETo-Calculator به روش فائو پنمن مانتیث (Raes, 2012) و با استفاده

1- Multilayer Perceptron
2- Generalized Feed Forward
3- Radial Basis Function

از اطلاعات هواشناسی نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به مناطق مورد مطالعه محاسبه گردید. در ادامه پس از تعیین ضرایب گیاهی ذرت علوفه‌ای (با توجه به مراحل چهارگانه رشد در مزارع منتخب)، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل ذرت علوفه‌ای (نیاز آبی خالص) تعیین گردید. همچنین با احتساب مقادیر راندمان کاربرد، نیاز آبیاری (ناخالص) در هر کدام از مزارع تعیین شد.

نتایج و بحث

انتخاب مدل بهینه و تحلیل حساسیت

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، پارامترهای شوری آب آبیاری، شوری خاک، طول دوره رشد، تعداد دفعات آبیاری و میزان آب مصرفی که در ۱۰۴ مزرعه اندازه گیری شده‌اند، به عنوان ورودی برای تعیین مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول (۱) محدده تغییرات این پارامترها ارائه شده است. نتایج حاصل از مراحل مدل‌سازی عملکرد گیاه ذرت در جدول ۲ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترهای مختلف و عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای

پارامتر	شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر)	طول دوره رشد (روز)	تعداد دفعات آبیاری	میزان آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد محصول (تن در هکتار)
حداقل	۰/۲۶	۰/۴۲	۶۱	۴	۳۱۲۰	۲۴/۵
حداکثر	۵/۲۳	۷/۰	۱۰۵	۴۲	۱۴۷۳۳/۳	۱۳۰
متوسط	۱/۵۲	۲/۲۱	۹۷/۵	۱۳/۵	۷۸۴۰/۷۵	۵۶/۷

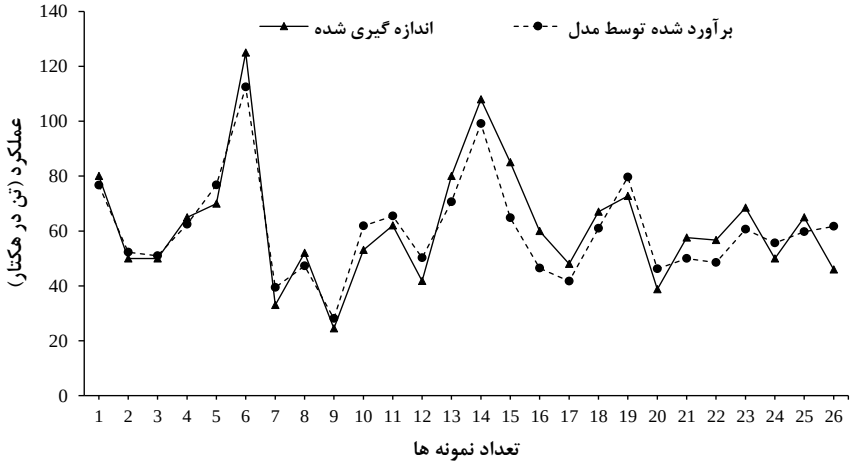
جدول ۲- مراحل مختلف انتخاب شبکه عصبی بهینه در مدل‌سازی عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای

گام های انتخاب مدل بهینه / پارامترهای شبکه	الگوریتم	R^2	MSE
۱- انتخاب نوع شبکه عصبی بهینه	MLP	۰/۹۹۱ *	۰/۰۱۸
	GFF	۰/۸۸۷	۰/۲۰۹
	RBF	۰/۷۰۶	۰/۵۳۴
۲- انتخاب تعداد نرون بهینه در لایه میانی		۳۴	
۳- انتخاب تابع انتقال بهینه لایه پنهان	تانژانت	۰/۸۸۴	۰/۱۴۳
	سیگموئید	۰/۹۲۲ *	۰/۱۰۶
	خطی	۰/۶۲۲	۰/۶۹۷
	تانژانت خطی	۰/۷۳۱	۰/۴۹۹
	سیگموئید خطی	۰/۶۷۵	۰/۵۹۷
۴- انتخاب قانون آموزش بهینه لایه پنهان	لونبرگ-مارکوارت	۰/۹۱۹ *	۰/۱۲۸
	مومنتوم	۰/۶۰۹	۰/۸۰۱
	دلتا بار دلتا	۰/۸۰۱	۰/۳۵۷
۵- انتخاب تابع انتقال بهینه لایه خروجی	تانژانت	۰/۹۴۴ *	۰/۰۹۸
	سیگموئید	۰/۶۳۲	۰/۶۷۳
	خطی	۰/۸۲۱	۰/۱۸۹
	تانژانت خطی	۰/۷۵۱	۰/۴۷۰
	سیگموئید خطی	۰/۵۶۶	۰/۹۳۷
۶- انتخاب قانون آموزش بهینه لایه خروجی	لونبرگ-مارکوارت	۰/۶۶۷	۰/۶۰۱
	مومنتوم	۰/۷۸۹	۰/۴۲۹
	دلتا بار دلتا	۰/۹۷۲ *	۰/۰۲۵
۷- بهینه سازی تعداد لایه		۲	
۸- انتخاب ساختار نهایی شبکه		۵-۱۹-۱۵-۱	

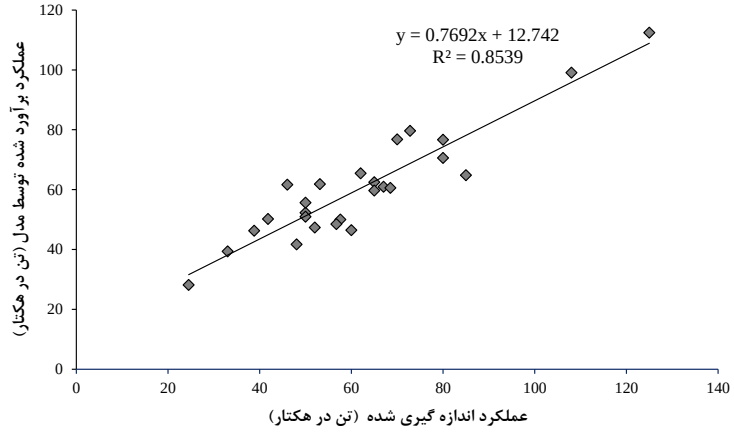
*: نشان‌دهنده بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار MSE می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۲، الگوریتم MLP با داشتن مقادیر بیشتر R^2 و مقادیر کمتر MSE، به عنوان الگوریتم بهینه جهت انجام ادامه مطالعات در نظر گرفته شد. در خصوص انتخاب تعداد نرون مناسب لایه میانی، نتایج نشان داد که با افزایش تعداد نرون‌ها تا ۳۴، مقدار MSE کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت. لیکن بعد از این تعداد با افزایش بیشتر تعداد نرون‌ها کاهش بسیار کمی در MSE مشاهده شد. با توجه به جدول ۲، بهترین تابع انتقال و قانون آموزش لایه پنهان به ترتیب تابع سیگموئید و قانون لونبرگ- مارکوارت می باشند. همچنین بهترین تابع انتقال و قانون آموزش لایه پنهان بر اساس مقادیر بیشتر R^2 و مقادیر کمتر MSE به ترتیب تابع تانژانت و قانون دلتا بار دلتا بودند (جدول۲). در گام انتخاب تعداد لایه پنهان بهینه، نتایج نشان داد که با افزایش تعداد لایه‌ها به ۲، مقدار MSE کاهش یافت. با افزایش تعداد لایه‌ها به ۳ لایه، مقادیر MSE کمی کمتر شد. لیکن برای ساده‌سازی شبکه‌های مورد مطالعه و جلوگیری از بیش برازش شبکه‌ها، تعداد ۲ لایه به عنوان مقدار بهینه برای شبکه مورد مطالعه، در نظر گرفته شد. در نهایت با توجه به شرایط بهینه‌سازی شده در مراحل قبلی، ساختار نهایی شبکه عصبی بهینه برای تخمین عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای عبارتست از: شبکه عصبی MLP، تابع انتقال سیگموئید برای لایه پنهان و تانژانت برای لایه خروجی، قانون آموزش لونبرگ- مارکوارت برای لایه پنهان و دلتا بار دلتا برای لایه خروجی و ساختار نهایی ۱-۱۵-۱۹-۵.

در شکل ۴ مقایسه بین نتایج خروجی مدل بهینه انتخاب شده با داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای که برای آزمون در شبکه عصبی انتخاب شده‌اند، نمایش داده شده است. رابطه رگرسیون بین داده‌های آزمون و خروجی مدل نیز در شکل ۵ نمایش داده شده است. با توجه به مقدار R^2= ۸۵٪، مدل شبکه عصبی مصنوعی انتخاب شده انطباق قابل قبولی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد.



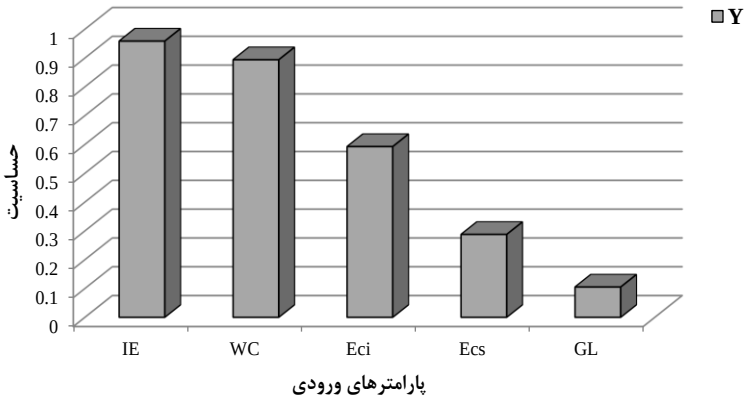
شکل ٤- مقایسه نتایج خروجی مدل استفاده شده در شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های آزمون



شکل ٥- رابطه رگرسیونی بین داده‌های آزمون و خروجی مدل

نتایج تحلیل حساسیت مدل بهینه انتخاب شده، در شکل ۶ نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که پارامترهای مؤثر بر مدل‌سازی عملکرد محصول به ترتیب عبارتند از: تعداد دفعات آبیاری، حجم آب مصرفی، شوری آب آبیاری، شوری خاک و نهایتاً طول دوره رشد. نکته حائز اهمیت این است که تعداد دفعات آبیاری تأثیرگذاری بیشتری نسبت به حجم آب مصرفی بر عملکرد گیاه داشته است و متعاقب آن شوری آب آبیاری نیز اهمیت بیشتری نسبت به شوری خاک دارد. دلیل این امر را می‌توان مربوط به جلوگیری از ایجاد تنش خشکی در فواصل کوتاه آبیاری دانست.

همچنین نتایج حاصل از مدلسازی با استفاده از ترکیبات مختلف پارمترهای ورودی نشان داد که با حذف هر یک از داده‌های ورودی دقت مدل تا حدی کاهش یافت. بنابراین علیرغم آنکه برخی از داده‌های ورودی دارای تأثیرگذاری کمتری در تخمین داده خروجی می‌باشند، لیکن حضور تمامی داده‌های ورودی برای افزایش دقت مدل لازم می‌باشد. از این رو در نهایت شبکه بهینه تعیین شده در گام هشتم (جدول ۲) با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای ورودی به عنوان شبکه مناسب برای تخمین عملکرد ذرت علوفه‌ای انتخاب شد.



شکل ٦- تحلیل حساسیت مدل بهینه نسبت به پارامترهای ورودی (شوری آب آبیاری (Eci)، شوری خاک (Ecs)، طول دوره رشد گیاه (GL)، تعداد دفعات آبیاری (IE) و میزان آب مصرفی WC)

برآورد عملکرد علوفه تر ذرت علوفه‌ای در صورت تأمین نیاز کامل آبیاری

در شکل ۷ میزان آب مصرفی اندازه‌گیری شده در مزارع و نیاز آبیاری محاسبه شده برای هر یک از مزارع منتخب ذرت علوفه‌ای ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که از مجموع ۱۰۴ مزرعه مورد مطالعه، در ۷۷ مزرعه میزان آب مصرفی کمتر از تأمین نیاز کامل گیاه بوده و در ۲۷ مزرعه باقی‌مانده، آبیاری در حد نیاز یا بیشتر از حد مورد نیاز انجام شده است. به عبارتی دیگر در حدود ۷۴ درصد از مزارع کم‌آبیاری و در ۲۶ درصد مزارع آبیاری کافی یا بیش‌آبیاری صورت گرفته است. ضمن آنکه که درصد کم‌آبیاری صورت گرفته در مزارع متفاوت و بین ۰/۱ تا ۵۴ درصد متغیر بود. میانگین درصد کم آبیاری صورت گرفته در مزارع در حدود ۲۵ درصد بود. همچنین درصد بیش آبیاری صورت گرفته در مزارع متفاوت و بین ۵ تا ۷۷ درصد متغیر بود. میانگین درصد بیش‌آبیاری صورت گرفته در مزارع در حدود ۲۳ درصد بود. با وارد کردن میزان نیاز کامل آبیاری به عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه انتخاب شده در مراحل قبل، مقادیر عملکرد قابل انتظار برآورد شد.

نتایج مدلسازی مربوط به ۱۰۴ مزرعه در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اعمال نیاز کامل آبیاری در تمامی ۱۰۴ مزرعه، سبب افزایش عملکرد ذرت به طور میانگین به میزان ۱۲/۵ تن در هکتار خواهد شد. بیشترین افزایش عملکرد به میزان ۴۸/۵ تن در هکتار بود، ضمن آنکه در حدود ۲۰ درصد از مزارع افزایش عملکرد ناچیز (صفر و یا کمتر از ۲ تن در هکتار) داشتند. شکاف عملکرد (اختلاف بین عملکرد اندازه‌گیری شده و عملکرد قابل انتظار) در مزارع ذرت علوفه‌ای مورد مطالعه، متغیر و بین ۰ تا ۴۸/۵ تن در هکتار متغیر بود. شکاف عملکرد در مزارع مورد مطالعه به عوامل مختلفی از جمله عدم انتخاب صحیح زمان آبیاری، تأخیر در تاریخ کاشت، کمبود رطوبت، شوری آب و شوری خاک بستگی دارد. به عنوان مثال بیشترین شکاف عملکرد در مزرعه‌ای مشاهده شده است که شوری خاک آن زیاد و تعداد دفعات آبیاری بسیار کم بوده و کم آبیاری نیز صورت گرفته است. تأخیر در کاشت ذرت علوفه‌ای موجب کوتاه شدن دورهٔ رشد رویشی گیاه و تسریع در ورود گیاه به مرحله رشد زایشی شده و در این صورت گیاه فرصت کافی برای رشد رویشی و تولید برگ بیشتر را ندارد که در نتیجه منجر به کاهش فتوسنتز، کاهش

ماده ذخیره‌ای و در نهایت موجب افت عملکرد محصول می‌گردد. حجم آب مصرفی نیز بر توسعه برگ‌ها و نمو زایشی گیاه تأثیر داشته و از طریق اثر بر روی تعادل عرضه و تقاضای آب و نیتروژن در طول مرحله رشد زایشی محصول بر میزان عملکرد گیاه مؤثر است (Wolfe et al., 1988).

شکل ۷- مقایسه میزان آب مصرفی اندازه‌گیری شده (کاربردی) و نیاز کامل آبیاری در مزارع ذرت علوفه‌ای

شکل ۸- برآورد عملکرد علوفه تر ذرت علوفه‌ای در صورت تأمین کامل نیاز آبی

سادراس و کالیونو گزارش نمودند که در حدود ۷۶ درصد تغییرات عملکرد ذرت مربوط به کمبود آب است (Sadras and Calvino, 2001). در مطالعات مختلف به اهمیت نقش پارامتر کیفیت آب آبیاری بر میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای و اثر شوری آب و خاک بر کاهش عملکرد محصول اشاره شده است (Kresovic et al., 2016; Azizian and Kang et al, 2010; Markovic et al., 2017 ; Sepaskhah, 2014). عبود گزارش نمود که شوری آب آبیاری ذرت باعث کاهش نرخ رشد گیاه شده و ظهور گل‌های نر و ماده را به تأخیر می‌اندازد (Abood et al., 1978). همچنین محققین مختلف گزارش نموده‌اند که کاهش عملکرد ذرت در اثر افزایش شوری آب و خاک بستگی به مدیریت مصرف آب دارد (Azizian and Sepaskhah, 2014؛ نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس نشریه شماره ۲۹ فائو، حد شوری آب آبیاری قابل تحمل ذرت علوفه‌ای با ۱۰٪ کاهش عملکرد محصول برابر ۲/۱ میلی موس بر سانتی متر می‌باشد (Ayers and Westcot, 1985). در ۱۰۴ مزرعه مورد مطالعه تعداد ۸۳ مزرعه دارای شوری آب آبیاری کمتر از حد آستانه مذکور بودند. نتایج نشان داد که در مجموع این ۸۳ مزرعه، تنها ۳۲ مزرعه با

کاهش عملکرد کمتر از ۱۰٪ مواجه شده‌اند. این مسئله نشان می‌دهد که مدیریت مصرف آب مهمتر از شوری آب آبیاری بوده و در مزارعی که شوری آب کمتر از حد آستانه مذکور نیز بوده است، به دلیل مدیریت نامناسب، کاهش عملکرد قابل توجهی گزارش شده است. از عوامل مهم در تعدیل اثر منفی شوری آب آبیاری، اعمال تعداد دفعات آبیاری بیشتر و در نظر گرفتن نیاز آبشویی می‌باشد. به طور کلی بررسی نیاز آبشویی در همه مزارع نشان داد که از مجموع ۱۰۴ مزرعه تنها ۳۹ مزرعه (۳۸٪ مزارع) نیاز آبشویی را رعایت نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

اعمال مدیریت صحیح آبی و زراعی در مزارع، می تواند منجر به استفاده بهینه از نهاده‌های موجود و افزایش عملکرد محصولات گردد. پارامترهایی مانند طول دوره رشد گیاه، شوری آب، شوری خاک، میزان نیاز آبی و تعداد دفعات آبیاری از جمله مهمترین پارامترهای مدیریتی در مزارع می‌باشند، که اعمال مدیریت بهینه درباره این پارامترها نقش تعیین کننده در تطبیق با شرایط واقعی در مزارع و بهره‌گیری صحیح از امکانات موجود را خواهد داشت. با توجه به دستاوردهای تحقیق حاضر، تکنیک استفاده از شبکه عصبی مصنوعی قادر است با توجه به شرایط موجود در مزارع، نقاط قوت و ضعف مدیریتی کشاورزان را شناسایی کرده و پارامترهایی که حساسیت بیشتری در عملکرد نهایی مزارع دارند را مشخص سازد. با توجه به نتایج بدست آمده از مدلسازی داده‌های اندازه‌گیری شده از ۱۰۴ مزرعه در ۸ استان کشور، مدل مطلوب به منظور برآورد دقیق عملکرد ذرت علوفه‌ای، مدل شبکه عصبی MLP با تابع انتقال سیگموئید برای لایه پنهان و تانژانت برای لایه خروجی، قانون آموزش لونبرگ‌مارکوارت برای لایه پنهان و دلتا بار دلتا برای لایه خروجی و ساختار نهایی ۱-۱۵-۱۹-۵ می باشد. با استناد به نتایج تحلیل حساسیت مدل مشخص شد که پارامتر تعداد دفعات آبیاری بیشترین تأثیر و طول دوره رشد کمترین اثر را بر عملکرد محصول داشته‌اند. همچنین نتایج مدلسازی نشان داد که بین عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع و عملکرد قابل انتظار در صورت اعمال نیاز کامل آبیاری شکافی وجود دارد. این مسأله ناشی از مسائل متعددی می‌باشد. به عنوان مثال کم آبیاری در مزارع (کم آبیاری در ۷۴٪ مزارع مورد مطالعه مشاهده شد)، به تأخیر انداختن زمان کاشت و در نتیجه کاهش دوره رشد رویشی، استفاده از آب شور برای آبیاری در شرایطی که خاک شور بوده و نیاز آبشویی مناسب اعمال نگردیده است (عدم اعمال نیاز آبشویی در ۶۲٪ مزارع مورد مطالعه) و مهمتر از همه عدم استفاده صحیح از میزان آب موجود به علت اعمال دوره های آبیاری نامناسب. به این ترتیب با استفاده از مدل پیشنهادی، می‌توان برای هر مزرعه با توجه به نقاط ضعف آن، دستورالعمل مدیریتی مناسبی اعمال کرد. در نهایت توصیه می‌گردد که حتی الامکان تعداد دفعات آبیاری افزایش یافته و همچنین آبیاری به صورت کامل صورت پذیرد تا گیاه دچار تنش آبی نگردد. همچنین با توجه به شرایط شوری آب آبیاری و خاک در مزارع حتماً نیاز آبشویی در نظر گرفته شده و در نهایت با اعمال تاریخ مناسب کاشت ذرت علوفه‌ای در مناطق مختلف، فرصت کافی به منظور تکمیل دوره رویشی گیاه تأمین گردد.

منابع

باغانی، ج. و خوشبزم، ر. ۱۳۸۶. بررسی تولید و کارآیی مصرف آب آبیاری در محصولات زراعی چغندرقند، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در روش‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی. گزارش پژوهشی نهایی شماره ثبت ۱۳۶۶/۸۶، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

بی‌نام، ۱۳۹۶. آمار نامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی.

حیدری سورشجانی، س.، شایان‌نژاد، م.، نادری، م. و حقیقتی، ب. ۱۳۹۴. تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای (رقم NS) و تعیین عمق بهینه آبیاری آن در شرایط کمبود آب. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۹. ۷۳: ۱۳۷-۱۲۵.

خدابنده، ن. ۱۳۸۸. زراعت گیاهان علوفه‌ای. نشر علم کشاورزی ایران.۳۱۰ ص.

رضائی استخروئیه، ع.، س. برومند نسب، ع. هوشمند و خانجانی، م. ج. ۱۳۹۰. تأثیرکم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۶: ۷۶-۶۷.

عباسی، ف.، نخجوانی، م. م.، سلامتی، ن.، خرمیان، م.، دهقانیان، س. ا.، جلینی، م.، اسلامی، ع. ر.، اخوان، ک.، گمرکچی، ه. ی و فرزام‌نیا، م. ۱۳۹۶. تعیین آب مصرفی ذرت علوفه‌ای در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۳۰۵۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

کریمی، م.، اصفهانی، م.، بیگلوئی، م.، ربیعی، ب و کافی قاسمی، ع. ۱۳۸۸. تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی رشت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۲. ۲ : ۱۰۹-۹۱.

کوچکی، ع.، حسینی، م و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک و گیاه در گیاهان زراعی. چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ ص.

نصرا.. زاده، ص.، شیرخانی، ع. زهتاب سلماسی، س و چوگان، ر. ۱۳۹۶. اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های برگ ذرت در شرایط آبیاری متفاوت. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۲۹. ۴: ۸۶-۷۲.

نصرالهی، ع. ح.، هوشمند، ع و برومند نسب، س. ۱۳۹۶. بررسی واکنش ذرت به شوری تحت شرایط آبیاری قطره‌ای و مدیریت آبیاری. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸. ۴: ۳۲-۲۵.

Abood, M.A.A. 1978. Analysis of corn yield components for salinity and moisture treatments. Dissertation Abstracts International. 38: (12): 5683.

Alvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. European Journal of Agronomy. 30: 70-77.

Ayers, R.S and Westcot, D. W. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1, U.N. Rome.

Azizian, A and Sepaskhah, A.R. 2014. Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: Agronomic behavior. International Journal of Plant Production. 8 (1):107-130.

Daryanto, S., Wang, L and Jacinthe, P. 2017. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. Agricultural Water Management. 179: 18-33.

Kang, Y.H., Chen, M. and Wan, S.Q. 2010. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (Zea mays L. var. ceratina Kulesh) in North China Plain. Agricultural Water Management, 97: 1303–1309.

Kaul, M., Hill, R.L and Walthall, C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural Systems. 85: 1-18.

Kresovic, B., Tapanarova, A., Tomic, Z., Ljubomirzivotic, L and Gaji, B. 2016. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. Agricultural Water Management. 169: 34-43.

Markovic, M., Josipovic, M., Sostaric, J., Jambrovic, A and Brkic, A. 2017. Response of maize (*Zea mays* L.) grain yield and yield components to irrigation and nitrogen fertilization. Journal of Central European Agriculture. 18(1): 55-72.

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.

Ozesmi, S.L., Tan, C.O and Ozesmi, U. 2006. Methodological issues in building, training, and testing artificial neural networks in ecological applications. Ecological Modelling. 195, 83–93.

Payero, J. O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D and Petersen, J. L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management. 96: 1387–1397.

Raes, D. 2012. The ETo calculator, evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual. Version 3.2. FAO. 00153 Rome, Italy.

Sadras, V.O and Calvino, P.A. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. Agronomy Journal. 93: 577–583.

Tayfur, G and Singh, V.P. 2005. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial neural network. Journal of Hydraulic Engineering. 131. 11: 991–1000.

Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C and Alvino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. Agronomy Journal. 80: 859-864.

Yesilnacar, M. I., Sahinkaya, E., Naz, M and Ozkaya, B. 2008. Neural network prediction of nitrate in groundwater of Harran plain, Turkey. Environmental Geology. 56: 19-25.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1460-1470

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۳۹۸، ص. ۱۴۷۰-۱۴۶۰

Prediction of Forage Maize Yield and Sensitivity Analysis of Management Parameters using Artificial Neural Network Models

S. Sepehri[1*], F. Abbasi[2], M.M. Nakhjavanimoghaddam[3]
Recived: Apr.16, 2019 Accepted: Nov.01, 2019

Abstract

The growing demand for agricultural products and the reduction of access to conventional water resources have highlighted the need for proper management of water resources in agricultural sector. On the other hand, measuring and acquiring field data problems make it necessary to employ efficient models that can accurately predict yield and sensitivity analysis of yield over various parameters. Therefore, in this research, the effects of different parameters on the yield of forage maize in the country have been investigated and the effectiveness of the artificial neural network models to predict forage maize yield has been evaluated. The parameters of irrigation water salinity, soil salinity, plant growth period, water consumption and number of irrigation of 104 farms in 8 provinces that were collected during field studies were used to develop models in the artificial neural network. Also, by estimating the water requirements of selected farms, the expected yield was estimated using the optimal selected model and compared with the measured yield in the farms. The results showed that the artificial neural network model with two hidden layers and the final structure of 1-15-19-5 can accurately estimate forage maize yield (R^2=0.85). The results of the sensitivity analysis of the selected optimal model showed that the parameters of irrigation events and plant growth period were the most effective and least effective parameters on the forage maize yield, respectively. Also, the results of the modeling showed that there is a gap between the measured yield in the farms and the expected yield, and if the full irrigation requirement is applied, the forage maize yield in the studied areas can be increased by an average of 12.5 tons per hectare.

Keywords: Irrigation, Modeling, Multilayer Perceptron, Yield Gap

1- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: s.sepehri@aeri.ir)