پیش‌بینی عملکرد سویا در شرایط دیم با استفاده از سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS)

سید جواد سجادی[۱*]، حسین صبوری[۲] و حسینعلی فلاحی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۹)

چکیده

یکی از روش‌های پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی دیم استفاده از مشخصات آب و هوایی می‌باشد. پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی نقش مهمی در سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی ایفا می‌کند. آشکارترین کاربرد آن، تعیین اعتبار لازم جهت خرید گیاهان زراعی و قیمت‌گذاری آن برای سال آینده می‌باشد. تاکنون از مدل‌های ریاضی شامل آنالیز رگرسیون و نیز شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی دیم استفاده شده است. در این پژوهش با استفاده از سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS) و داده‌های هواشناسی ۱۱ سال زراعی (۱۳۸۸ - ۱۳۷۷)، روشی جدید جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی سویای دیم در منطقه گنبد استان گلستان به‌کار گرفته شده است. مشخصات مورد استفاده به‌عنوان ورودی سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS) شامل میانگین هفتگی بارندگی، درجه حرارت، درصد رطوبت و تعداد ساعات آفتابی و خروجی آن میزان عملکرد گیاهان زراعی بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد. تحلیل رگرسیون چند مرحله‌ای پیش رو برای انتخاب مشخصات بهینه جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 و ایجاد، آموزش و آزمون سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS) با استفاده از نرم‌افزار Matlab R2011a انجام شد. ANFIS به‌کار گرفته شده در این پژوهش دارای تابع عضویت از نوع "constant" در لایه خروجی و تابع عضویت از نوع "gaussmf" در لایه ورودی می‌باشد. تعداد توابع عضویت برای هر کدام از ورودی ها ۳ تابع و برای لایه خروجی ۱ تابع بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که سیستم استنتاج نروفازی ارائه شده با ۲۱ قانون قادر به پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی سویای دیم با مقدار RSME برابر با ۱۰۲/۱۷۰ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سویا، سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS)، عملکرد، پیش‌بینی

---

۱ و ۲. به‌ترتیب مربی و استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

۳. استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: javad.sajadi@ghec.ac.ir

مقدمه

سویا (*Glycine max L.*) گیاهی است یک‌ساله از تیره نخود (*Fabaceae*) که به‌صورت بوته‌ای استوار و نسبتاً پر برگ رشد می‌کند و به‌دلیل روز کوتاه بودن بیش از هر گیاه زراعی دیگر نسبت به طول روز حساسیت نشان می‌دهد. سویا در گروه گیاهان گرما دوست قرار دارد و از این لحاظ تا حد زیادی مشابه ذرت است. به گرما و نور فراوان نیاز دارد و به سایه‌اندازی علف‌های هرز حساس است. سویا به خشکی حساس است. بذر در مرحله سبز شدن به زیادی رطوبت نیز حساسیت نشان می‌دهد. دانه خشک سویا ۱۴ تا ۲۰ درصد روغن و ۳۰ الی ۴۰ درصد پروتئین داد. (۶)

سویای دیم عمدتاً در استان‌های گلستان و مازندران مورد کشت قرار می‌گیرد. استان گلستان با در اختیار داشتن ۳۷ درصد سطح زیر کشت سویای کشور، ۷۷ درصد سویای ایران را تأمین می‌کند. سطح زیر کشت سویای دیم در استان گلستان ۵۰۷۸ هکتار و عملکرد آن در شرایط دیم ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

آب و هوا کمیت و کیفیت گیاهان زراعی زراعی را تحت‌تأثیر قرار داده و لذا یکی از عوامل مطرح در بازده اقتصادی زراعت و دسترسی به نیازهای غذایی جامعه است. میزان تولید گیاهان زراعی دیم صرف‌نظر از وابستگی به خصوصیات ژنتیکی رقم، شرایط خاک و فن‌آوری کاشت، داشت و برداشت به شدت تحت‌تأثیر روند وقوع عوامل اقلیمی است و در این میان کیفیت نزول بارش و چگونگی هم‌زمانی آن با دما، نوسانات دما در طول دوره رشد گیاه، رطوبت نسبی هوا و تعداد ساعات آفتابی در طول دوره رشد گیاه از اهمیت به‌سزایی برخوردار هستند. تحقیقات مربوط به پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی کشاورزی بیشتر بر پایه استفاده از تحلیل رگرسیونی استوار بوده است. در این تحقیقات با استفاده از داده‌های مختلف (حداقل ۱۰ سال) مدلی را جهت تخمین عملکرد گیاهان زراعی ارائه می‌کنند (۸).

در سال‌های اخیر از شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز در زمینه پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی دیم استفاده شده است. کائل و همکاران (۵) با استفاده از داده‌های هفتگی بارندگی بر اساس شبکه‌های عصبی عملکرد گیاهان زراعی سویا را با مقدار RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) برابر با ۲۱۴ پیش‌بینی کردند. حسینی و همکاران (۳) از شبکه‌های عصبی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم بر اساس داده‌های هواشناسی در منطقه قروه استان کردستان استفاده کردند. شبکه عصبی مورد استفاده دارای یک لایه مخفی، ۴ نرون در لایه مخفی، تابع آستانه سیگموئید، آهنگ یادگیری برابر با ۰/۲ و تعداد تکرار محاسباتی برابر با ۱۶ بود. ضریب تبیین بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی عملکرد برابر با ۰/۹۹۹ و شیب خط رگرسیون بین متغیرها برابر با ۱/۰۰۸ بوده است. رحمانی و همکاران (۹) با استفاده از پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی و استفاده از شبکه عصبی MLP چهار لایه با دقت ۹۳ و ۹۱ درصد در نقاط مختلف استان آذربایجان‌شرقی عملکرد جو را پیش‌بینی کردند. سجادی و صبوری (۱۰) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP عملکرد گیاهان زراعی کلزا را در منطقه گنبد استان گلستان با مقدار RMSE برابر با ۱۰۱/۲۳۵ با استفاده از متغیرهای آب و هوایی پیش‌بینی کردند.

سیستم فازی و منطق فازی نقش مهمی در روش‌های مدل سازی دارند. (۱۲) سیستم استنتاج نروفازی ابزاری جهت مدل کردن یک سیستم فازی است. سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی"شرط - نتیجه" است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند، ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی بر قواعد منطقی بوده و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، منجر به ارائه سیستم استنتاج نروفازی شده است. تحقیقات بسیار کمی در زمینه استفاده از سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS) برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی انجام شده است. تحقیقات بسیار کمی در زمینه

استفاده از سیستم استنتاج نروفازی (ANFIS) برای پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی کشاورزی انجام شده است. خاشعی و همکاران (۷) عملکرد گندم دیم را با استفاده از داده‌های هواشناسی توسط ANFIS در استان خراسان بررسی کردند. داده‌های هواشناسی مورد استفاده شامل داده‌های ۲۲ ساله ۹ ایستگاه سینوپتیک و شامل تبخیر – تعرق، دما (حداکثر، حداقل و نقطه شبنم)، میانگین رطوبت نسبی، تشعشعات و بارندگی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که عملکرد پیش‌بینی شده با استفاده از ANFIS آموزش داده شده با داده‌های دمایی (حداکثر، حداقل و نقطه شبنم) دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۷ می‌باشد. استتکیز و همکاران (۱۱) شبکه نروفازی و شبکه عصبی مصنوعی را در شرایط مختلف خاک و مدیریت مزرعه را برای پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی مقایسه کردند.

هدف از این تحقیق بررسی امکان پیش‌بینی عملکرد سویا با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل مقادیر درجه حرارت روزانه، بارندگی، تبخیر و رطوبت نسبی هوا طی ۱۱ سال زراعی با استفاده از شبکه‌های عصبی فازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های هواشناسی شهرستان گنبد گردآوری شده طی سال‌های زراعی ۱۳۷۷ – ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷ – ۱۳۸۸ شامل بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر، حداقل و حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی روزانه و میزان روزانه تشعشع خورشید برحسب تعداد ساعات آفتابی استفاده شد. داده‌های عملکرد گیاهان زراعی سویای دیم از داده‌های آمارنامه عملکرد گیاهان زراعی کشاورزی استان گلستان مربوط به سال‌های زراعی ۱۳۷۷–۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷ – ۱۳۸۸ استخراج شدند. این داده‌ها به‌عنوان خروجی مطلوب شبکه نروفازی در نظر گرفته شدند.

از آنالیز رگرسیون چند مرحله‌ای پیش‌رو (Forward Regression) برای انتخاب مشخصات بهینه جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی استفاده شد. در این آنالیز متغیر وابسته عملکرد گیاهان زراعی و متغیر مستقل میانگین هفتگی پارامترهای آب و هوایی ذکر شده در تمامی هفته‌های طول دوره رشد سویا می‌باشد. نتایج این آنالیز در جداول ۱ تا ۵ ذکر شده‌اند. خروجی این مرحله به‌عنوان ورودی شبکه نرو فازی در نظر گرفته شد.

سیستم استنتاج نروفازی

(Adaptive Neuro-Fuzzy System (ANFIS))

شبکه ANFIS به‌کارگرفته شده در این پژوهش دارای تابع عضویت از نوع "constant" (تابع عضویت ثابت) در لایه خروجی و تابع عضویت از نوع "gaussmf" در لایه ورودی می‌باشد. تابع عضویت "constant" برای هر قانون عدد ثابتی می‌باشد. تابع عضویت "gaussmf" برای هر ورودی x مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$f(x,\sigma,c)=\exp\left(\frac{-(x-c)^z}{2\sigma^2}\right) \qquad (۱)$$

پارامتر های σ و c تعیین کننده شکل تابع می‌باشند. تعداد توابع عضویت برای هر کدام از ورودی ها ۳ تابع و برای لایه خروجی ۱ تابع بود. مدل سازی با استفاده از ANFIS شامل دو مرحله آموزش و آزمایش با استفاده از داده‌های تجربی می‌باشد. داده‌های آموزش داده‌های پردازش شده آب و هوایی است. از مجموع داده‌ها ۵۵ درصد جهت آموزش و ۴۵ درصد باقی‌مانده جهت آزمایش شبکه برای تعیین دقت پیش‌بینی به‌کار رفتند.

به‌منظور بررسی کارآیی ANFIS در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی از معیار ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد (۲):

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(\hat{y}_t-y_t)^2}{n}} \qquad (۲)$$

در این رابطه y_t، $\hat{y}_t$ و n به‌ترتیب مقدار مشاهده واقعی (مقدار واقعی عملکرد گیاهان زراعی)، مقدار پیش‌بینی شده توسط ANFIS و تعداد مشاهدات (تعداد سال‌های مربوط به گروه آزمایش) می‌باشد.

جدول ۱. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی بارندگی در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸

مرحله	بردار ورودی		متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون جزء	خطای استاندارد	F	R^2 مدل
۱	۲	۲	میانگین هفتگی بارندگی از ۳ تیر تا ۹ تیر	۹۳۹/۰۳۳	۱۳۸/۶۳۹	۵/۲۷۱*	۶۰/۸
۲	۳	۳	میانگین هفتگی بارندگی از ۱۰ تا ۱۶ تیر	-۶۴۹/۸۴۷	۱۳۰/۵۴۳	۶/۴۲۸*	۷۸/۵
۳	۴	۴	میانگین هفتگی بارندگی از ۲۵ الی ۳۱ شهریور	۷۸/۲۸۷	۲۶/۶۹۰	۱۲/۴۶۷**	۹۱/۸
۴	۵	۵	میانگین هفتگی بارندگی از ۲۴ الی۳۰ تیر	-۵۲/۱۵۶	۳۰/۲۵۵	۱۲/۷۲۷**	۹۴/۶

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد. عرض از مبداء = ۱۲۶۹/۸۷۴

جدول ۲. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸

مرحله	بردار ورودی	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون جزء	خطای استاندارد	F	R^2 مدل
۱	۱	میانگین هفتگی دمای هوای روزانه از ۳۱ تیر الی ۶ مرداد	-۸۷/۶۶۷	۴۴/۴۹۲	۳/۸۸۳	۵۴/۹

عرض از مبداء = ۴۱۸۷/۹۶۰

نتایج و بحث

نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و هر کدام از پارامترهای آب و هوایی به‌عنوان متغیر مستقل در جداول ۱ تا ۵ آورده شده است.

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی بارندگی در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که میانگین هفتگی بارندگی هفته‌های سوم، چهارم، پانزدهم و ششم به‌ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۴/۶ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۱). نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که تنها میانگین هفتگی درجه حرارت روزانه هفته هفتم وارد مدل شده و توانست بیش از ۵۴/۹ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نماید (جدول ۲). نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی درصد رطوبت نسبی هوا در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که میانگین هفتگی درصد رطوبت نسبی هوا هفته‌های پنجم، یازدهم، نهم، پانزدهم و دوم به‌ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۸/۱ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۳).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی هفته‌های پنجم، نهم، دهم، چهاردهم، سوم، سیزدهم و هفتم به‌ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۹/۳ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی رطوبت نسبی هوا در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸

مرحله	بردار ورودی	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون جزء	خطای استاندارد	F	R^2 مدل
۱	۶	میانگین رطوبت نسبی هوا از ۱۷ الی ۲۳ تیر	۴۳/۹۰۲	۵/۶۸۹	۲/۹۱۲	۴۹/۴
۲	۷	میانگین رطوبت نسبی هوا از ۲۸ مرداد الی ۳ شهریور	۳۱/۳۵۸	۴/۱۷۲	۴/۴۵۷**	۷۲/۶
۳	۸	میانگین رطوبت نسبی هوا از ۱۴ الی ۲۰ مرداد	-۲۰/۱۶۳	۳/۵۸۳	۷/۹۴۷**	۸۷/۹
۴	۹	میانگین رطوبت نسبی هوا از ۲۵ الی ۳۱ شهریور	۱۷/۰۹۱	۴/۳۴۴	۹/۷۰۷**	۹۳/۱
	۱۰	میانگین رطوبت نسبی هوا از ۲۷ خرداد الی ۲ تیر	۱۸/۱۷۵	۵/۱۱۷	۲۵/۳۲۵**	۹۸/۱

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد. عرض از مبداء = -۳۷۹۵/۳۸۰

جدول ۴. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی تعداد ساعات آفتابی در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸

مرحله	بردار ورودی	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون جزء	خطای استاندارد	F	R^2 مدل
۱	۱۱	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۱۷ الی ۲۳ تیر	-۷۱/۲۸۴	۱۳/۶۶۷	۵/۱۵۴*	۶۰/۳
۲	۱۲	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۱۴ الی ۲۰ مرداد	۵۵/۱۶۸	۱۵/۷۳۲	۵/۲۹۲*	۷۵/۵
۳	۱۳	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۲۱ الی ۲۷ مرداد	-۲۸/۱۰۳	۱۰/۶۶۴	۶/۱۰۰*	۸۵/۰
۴	۱۴	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۱۸ الی ۲۴ شهریور	-۱۱۱/۷۷۰	۲۰/۹۲۹	۶/۴۳۲*	۹۰/۰
۵	۱۵	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۳ الی ۹ تیر	۵۸/۶۱۶	۱۰/۱۲۳	۸/۶۰۷*	۹۴/۷
۶	۱۶	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۱۱ الی ۱۷ شهریور	-۱۲۱/۴۰۲	۲۷/۹۱۴	۱۷/۳۲۱**	۹۸/۱
۷	۱۷	میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۳۱ تیر الی ۶ مرداد	-۲۵/۰۷۷	۱۱/۳۷۱	۲۹/۸۸۰**	۹۹/۳

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد. عرض از مبداء = ۳۴۸۹/۱۱۱

نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی تبخیر در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که میانگین هفتگی تبخیر پنجم، یازدهم، پانزدهم، دوم، اول و دهم به‌ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۷/۶ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۵).

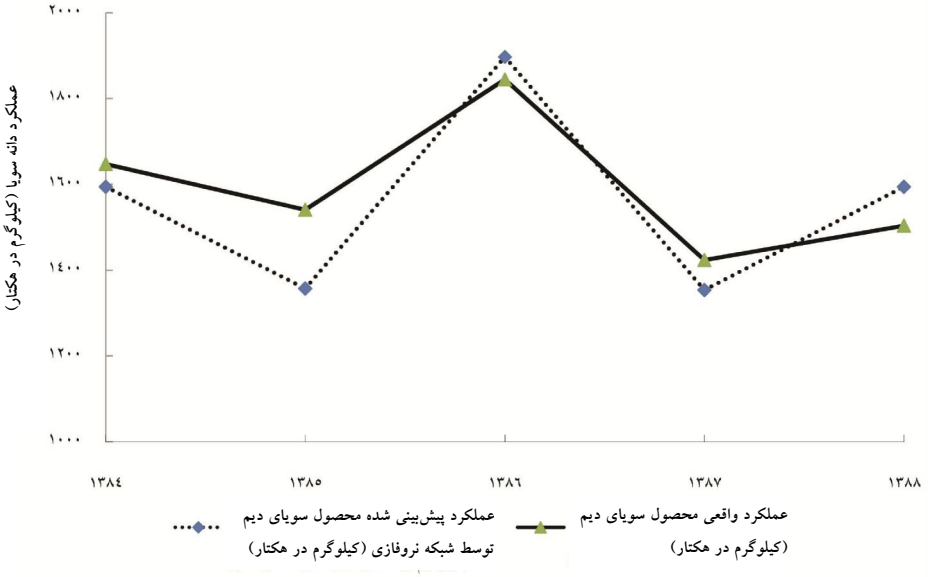
برای کاهش تعداد ورودی‌ها به‌منظور آموزش شبکه نتایج رگرسیون مرحله‌ای بین عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین هفتگی تبخیر در طول دوره رشد سویا به‌مدت ۱۵ هفته به‌عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که میانگین هفتگی تبخیر پنجم، یازدهم، پانزدهم، دوم، اول و دهم به‌ترتیب وارد مدل شده و توانستند بیش از ۹۷/۶ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمایند (جدول ۵).

برای کاهش تعداد ورودی‌ها به‌منظور آموزش شبکه نروفازی میانگین هر کدام از مشخصات به‌دست آمده از تحلیل رگرسیون به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد در نتیجه ANFIS با ۵ ورودی و یک خروجی ایجاد شد. شبکه ایجاد شده دارای ۲۴۳ قانون می‌باشد. با بهینه‌سازی شبکه مشخص شد ANFIS با ۲۱ قانون قادر به پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی با مقدار RMSE برابر با ۱۰۲/۱۷۰ می‌باشد. در شکل ۱ عملکرد

جدول ۵. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه سویا به‌عنوان متغیر وابسته و تبخیر در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸

مرحله	بردار ورودی	متغیر وارد شده به مدل	ضریب رگرسیون جزء	خطای استاندارد	F	R^2 مدل
۱	۱۸	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۱۷ الی ۲۳ تیر	-۲۸۷/۰۱۹	۱۸/۵۱۷	۹/۰۱۰*	۷۰/۷
۲	۱۹	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۲۸ مرداد الی ۳ شهریور	-۷۸/۵۱۱	۱۷/۷۴۷	۸/۲۸۲*	۸۲/۱
۳	۲۰	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۲۵ الی ۳۱ شهریور	۱۹۶/۷۱۴	۲۲/۳۹۱	۱۴/۳۷۹**	۹۲/۸
۴	۲۱	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۲۷ خرداد الی ۲ تیر	-۱۵۷/۸۱۰	۲۴/۷۶۹	۲۴/۷۶۱**	۹۷/۱
۵	۲۲	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۲۰ الی ۲۶ خرداد	-۴۶/۶۷۴	۱۳/۸۸۲	۳۰/۷۷۷**	۹۸/۴
۶	۲۳	میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۲۱ الی ۲۷ مرداد	-۵۹/۳۹۹	۱۹/۹۴۱	۶۷/۵۱۱**	۹۹/۵

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد عرض از مبداء = ۴۸۱۰/۸۷



شکل ۱. مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده گیاه زراعی سویای دیم توسط ANFIS و عملکرد واقعی آن

پیش‌بینی شده توسط ANFIS و عملکرد واقعی گیاه زراعی سویای دیم نشان داده شده است.

اولین مؤلفه بردار ورودی (درجه حرارت از دمای هوای روزانه از ۳۱ تیر الی ۶ مرداد) به‌دلیل گرما دوست بودن سویا تأثیر زیادی در عملکرد سویا دارد. دومین مؤلفه بردار ورودی (میانگین بارندگی از ۳ تیر تا ۹ تیر و ۱۰ تا ۱۶ تیر و ۲۵ الی ۳۱ شهریور و ۲۴ الی ۳۰ تیر) به‌دلیل حساس بودن سویا به خشکی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه اهمیت زیادی در تعیین عملکرد آن دارد. سومین مؤلفه بردار ورودی (میانگین رطوبت نسبی هوا از ۱۷ الی ۲۳ تیر و ۲۸ مرداد الی ۳ شهریور و ۱۴ الی ۲۰ مرداد و ۲۵ الی ۳۱ شهریور و ۲۷ خرداد الی ۲ تیر) به‌دلیل حساسیت زیاد سویا به رطوبت نقش مهمی در تعیین عملکرد گیاهان زراعی دارد. چهارمین مؤلفه بردار ورودی (میانگین تعداد ساعات آفتابی از ۱۷ الی ۲۳ تیر و از ۱۴ الی ۲۰ مرداد و از ۲۱ الی ۲۷ مرداد و از ۱۸ الی ۲۴ شهریور و از ۳ الی ۹ تیر و از ۱۱ الی ۱۷ شهریور و از ۳۱ تیر الی ۶ مرداد) به‌دلیل نیاز سویا به گرما و نور فراوان اهمیت زیادی در تعیین عملکرد گیاهان زراعی سویای دیم دارد. پنجمین مؤلفه بردار ورودی

(میانگین هفتگی تبخیر روزانه از ۱۷ الی ۲۳ تیر و ۲۸ مرداد الی ۳ شهریور و ۲۵ الی ۳۱ شهریور و ۲۷ خرداد الی ۲ تیر و ۲۰ الی ۲۶ خرداد و ۲۱ الی ۲۷ مرداد) به‌دلیل حساسیت زیاد سویا به رطوبت بسیار حائز اهمیت می باشد.

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با تحقیقات قبلی انجام شده در این زمینه هماهنگی نزدیکی دارد. مقدار RMSE در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی گندم دیم با استفاده از ANFIS توسط خاشعی و همکاران (۷) برابر با ۱۵۱/۹ و ورودی‌های آن تنها مشخصات دمایی گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد از آنجا که در این تحقیق از مشخصات آب و هوایی بیشتری استفاده شده مقدار RMSE کاهش یافته است. مقدار RMSE به‌دست آمده در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی سویا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط کائل و همکاران (۵) برابر با ۲۱۴ بوده است. کاهش مقدار RMSE از ۲۱۴ به ۱۰۲/۱۷۰ نشان‌دهنده کارایی بیشتر استفاده از ANFIS در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی سویا نسبت به استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس انجام گردیده است. لذا از حمایت‌های مدیریت پژوهشی و فناوری دانشگاه گنبد کاووس و کلیه همکاران گروه تولیدات گیاهی آن دانشگاه سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

1. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. 2009. Math Works, Inc.
2. Haykin, S. 1994. Neural Networks A Comperehensive Foundation. Macmillan, New York.
3. Hosaini, M. T., A. Siosemarde, P. Fathi and M. Siosemarde. 2007. Application of artificial neural network (ANN) and multiple regressions for estimating assessing the performance of dry farming wheat yield in Ghorveh region, Kurdistan province. *Agricultural Research* 7(1):41-54 (In Farsi)
4. Jang, J. 1993. ANFIS: adaptive-network- based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 23: 665-685.
5. Kaul, M., R. L. Hill and C. Waithall. 2005. Artifitial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems* 85:1-18.
6. Khajepour , M. 1385. Industrial Crops. Iranian Academic Center for Education, Culture & Research IUT Branch Press. Isfahan.
7. Khashei, A., M. Kouchakzadeh and B. Ghahraman. 2011. Predicting dryland wheat yield from meteorological data using expert system, Khorasan province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13:627-640.
8. Petr, J. 1991. Weather and Yield. Elsevier, Amsterdam and New York.
9. Rahmani, A., A. Liyaqat and A. Khalili. 2009. Predicting barely yield in Eastern Azarbayejan province using climate parameters and Drought indexes with neural networks. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 39(1):47-56 (In Farsi).
10. Sajadi, S. J. and H. Sabouri. 1391. Application of artificial neural networks in canola crop yield prediction. *Journal of Crop Production and Processing*. In press. (In Farsi).
11.Stathakis, D., I. Savina and T. Nègrea. 2006. Neuro-fuzzy modeling for crop yield prediction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34(3)
12. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy Sets. *Information Control* 8(3): 338–353