

پیش بینی عملکرد مزارع نیشکر با استفاده از سیستم فازی- عصبی تطبیقی

مریم احمدوند^{۱*}، عبدالرحیم هوشمند^۲ و عبدعلی ناصری^۳

- ۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز .
 ۲- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
 ۳- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۴

چکیده

پارامترها و عوامل مختلفی از قبیل عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین، شوری بخش اشباع خاک، عمق آب آبیاری، نوع خاک، رقم و سن گیاه بر عملکرد مزارع نیشکر تأثیر می‌گذارند. با بررسی این پارامترها و تعیین میزان اثر هر یک از آنها بر عملکرد مزارع نیشکر، می‌توان راهکارهایی ارائه داد که با بهره‌گیری از امکانات و شرایط موجود حداکثر عملکرد را در مزارع نیشکر به دست آورد. بدین منظور در این تحقیق سعی شد با استفاده از روش بدیع سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی عملکرد مزارع نیشکر مدل‌سازی گردد. داده‌های مورد نیاز جهت انجام این تحقیق مربوط به یک دوره سه ساله می‌باشد که از کشت و صنعت میرزا کوچک خان تهیه گردید. نتایج نشان داد مدل پیشنهاد شده با ضریب همبستگی برابر 0.978 ، RMSE $1/35$ و میزان خطای $3/2$ دارای دقت بالایی در پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مزارع نیشکر، پیش‌بینی عملکرد، سیستم استنتاجی فازی-عصبی تطبیقی.

مقدمه

در سال اول (۲۰۰۳) و گیاه بازرویی دوم (۲۰۰۵) انجام دادند و میزان ساکارز را در نی‌های غرقاب شده با نی‌های غرقاب نشده مقایسه کردند. میزان ساکارز در نی‌هایی که زود برداشته شده بودند در دو حالت (غرقاب و بدون غرقاب بودن) به ترتیب $9/6$ و $11/7$ تن در هکتار، در نی‌هایی که به موقع برداشت شده بودند به ترتیب $9/2$ و $12/8$ تن در هکتار و برای نی‌هایی که دیر برداشت شده بودند $7/8$ و $12/3$ تن در هکتار بود، همچنین کاهش عملکرد نی بیشتر از ساکارز بود و رقم CP72-2086، ۱۸ تا ۲۸ درصد ساکارز بیشتری نسبت به رقم CP80-1743 تولید کرده بود (۴).

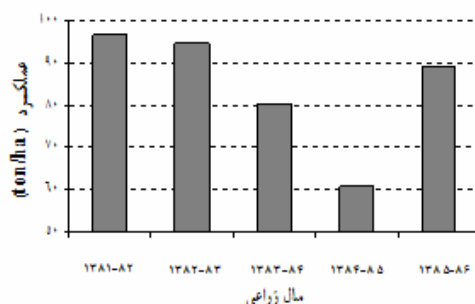
در خوزستان نیز تحقیقات نشان داده است که کنترل سطح ایستابی و شوری خاک می‌تواند عملکرد نیشکر را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. جعفری و همکاران در مقایسه بین عملکرد نیشکر در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ بیان داشتند که کاهش عملکرد در سال ۱۳۸۴ به علت بالا بودن سطح ایستابی و صعود موینگی بوده است. در سال ۱۳۸۴ در اکثر دوره رشد عمق سطح ایستابی در کمتر از ۹۰ سانتی‌متری بوده در حالی که در سال ۱۳۸۳ سطح ایستابی در عمقی بیش از ۱۲۰ سانتی‌متری بوده است (۱). هدف از انجام این تحقیق، پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر بر اساس پارامترهای ذکر شده می‌باشد اما پارامترها و عوامل مختلف تأثیرگذار بر این پدیده تحلیل آن را مشکل می‌سازند.

نیشکر از جمله گیاهان گرمسیری است که به عنوان یکی از دو گیاه عمده تولید کننده قند، بیشترین مقدار قند مصرفی مردم جهان را تأمین می‌کند و موقعیت ممتازی در بین گیاهان زراعی دارا می‌باشد. این گیاه یک گیاه چهار کرنبه و مخصوص مناطق با آب و هوای گرم بوده و در کشور ما عمدتاً در استان خوزستان کشت می‌گردد که علاوه بر دارا بودن دمای بالا از آب کافی نیز بهره‌مند است.

نیشکر به طور قابل توجهی نسبت به شوری خاک حساس می‌باشد. منصوری در تحقیقی علت کاهش عملکرد برخی مزارع نیشکر در واحد امیرکبیر را شوری خاک و بالا بودن سطح ایستابی بیان می‌کند. وی در این مزارع با نصب زهکش‌های اضافی در وسط فاصله زهکش‌های قبلی و در عمق کمتر، سطح ایستابی و شوری خاک در عمق ریشه را کنترل کرد و عملکرد را به میزان $9/2$ تن در هکتار افزایش داد (۲).

بر اساس تحقیقات انجام‌شده، غرقاب شدن عملکرد نیشکر را کاهش می‌دهد. گیلبرت و همکاران^۱ آزمایشی در بل‌گلا^۲ فلوریدا به منظور بررسی اثر سه ماه غرقاب بودن در تابستان روی عملکرد دو رقم CP72-2086 و CP80-1743 بر روی نیشکر کشت شده

1- Gilbert et al.
 2- Belle Glade



شکل ۱- عملکرد در سال‌های زراعی مختلف در واحد میرزا کوچک خان

عمومی شمالی- جنوبی منطقه، همواره در معرض نشت آب‌های زیرزمینی از واحدهای شمالی به خصوص واحد امیرکبیر و بالآمدگی سطح ایستابی و شوری خاک می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی این واحد بدین شرح است: حد شمالی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه، حد جنوبی ۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه، حد شرقی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه (رودخانه کارون)، حد غربی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه (جاده اهواز- خرمشهر). کل مساحت کشت و صنعت میرزا کوچک خان در حدود ۱۴۰۰۰ هکتار است که نزدیک به ۱۲۰۰۰ هکتار آن به مزارع ۲۵ هکتاری شبکه‌بندی شده است.

منبع تأمین آب مورد نیاز این واحد از رودخانه کارون است و نحوه برداشت آب از طریق ایستگاه پمپاژ است. کل آب مورد نیاز این کشت و صنعت بالغ بر ۶۴۳ میلیون متر مکعب در سال است که حدود ۳۷۹ میلیون متر مکعب آن برای آبیاری اراضی تحت کشت در نظر گرفته شده است. حداکثر دبی مورد نیاز شرکت در مرداد ماه ۳۲ متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

اراضی واقع در محدوده مورد مطالعه از شیب بسیار کمی برخوردارند. متوسط شیب اراضی بین ۰/۱۵ تا ۰/۱ در هزار می‌باشد. متغیرهای در نظر گرفته شده برای انجام این تحقیق عبارتند از عمق آب آبیاری، عمق سطح ایستابی، شوری خاک، وارپته گیاه، سن گیاه، نوع خاک، دمای هوا، مقدار کود مصرفی و میزان بارندگی. با توجه به متغیرهای در نظر گرفته شده، اطلاعات مورد نیاز از واحد کشت و صنعت میرزا کوچک خان در دوره سه ساله (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷) تهیه گردید. جهت دستیابی به تغییرات رقوم سطح ایستابی در بازه‌های زمانی و مکانی، از اطلاعات چاهک‌های مشاهداتی درون واحد استفاده گردید. داده‌های استفاده شده در این تحقیق صرفاً از طریق قرانت سطح آب در چاهک‌های مشاهداتی انجام گرفته است. لازم به ذکر است به جز عمق سطح ایستابی و شوری که به صورت متوسط فصلی و در سه فصل کشت در مدل وارد گردید سایر داده‌ها به صورت متوسط سالانه به مدل داده شدند. تعداد چاهک‌های مشاهداتی مورد مطالعه ۳۹۰ عدد است که ۲۴۶ چاهک در داخل محدوده کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان و تعداد

در این تحقیق با استفاده از مدل انفیس^۱ پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر پرداخته شده و به منظور بررسی بیشتر توانایی این سیستم هوشمند، نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی با نتایج مدل انفیس مقایسه گردیده است.

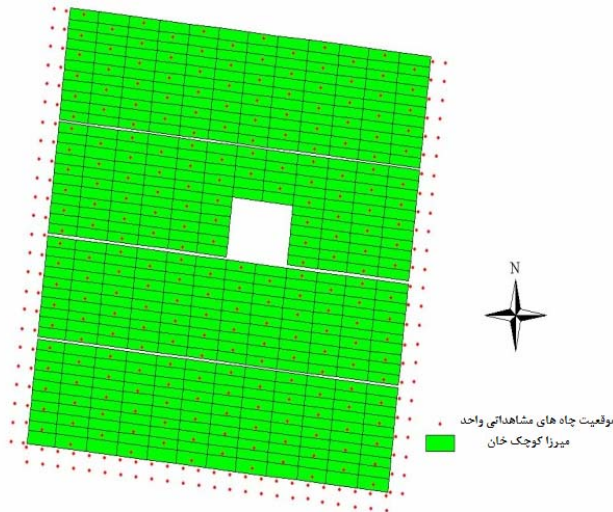
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مزرعه مورد مطالعه واحد کشت و صنعت میرزا کوچک خان واقع در جنوب استان خوزستان است. اختلاف عملکرد در واحد سطح مزارع نیشکر در این واحد به خوبی مشهود است (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد در بعضی موارد این اختلاف عملکرد به بیش از ۳۰ تن در هکتار می‌رسد. آنچه بیش از هر موضوعی مشهود است کاهش شدید عملکرد در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ است. عملکرد در این سال در حدود ۶۰ تن در هکتار است که با سال قبل از آن در حدود ۲۰ تن در هکتار اختلاف دارد. در این راستا در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ برای کنترل بهتر سطح ایستابی و شوری مزارع چاهک‌هایی حفر گردید. اثر این اقدام به خوبی در شکل (۱) مشخص است. با کنترل سطح ایستابی و شوری مزارع عملکرد سال ۸۶-۱۳۸۵ نسبت به سال قبل به طور چشمگیری (۲۹ تن در هکتار) افزایش یافته است.

کشت و صنعت میرزا کوچک خان یکی از شرکت‌های هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است. از این هفت کشت و صنعت، پنج کشت و صنعت در جنوب اهواز و یک کشت و صنعت در شمال اهواز و شرکت دیگر در منطقه شعبیه شوشتر واقع شده‌اند. از پنج واحد جنوبی دو واحد در ساحل راست رودخانه کارون و سه شرکت در ساحل چپ آن قرار دارند.

کشت و صنعت میرزا کوچک خان، جنوبی‌ترین واحد از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است و در اراضی ساحل راست رودخانه کارون واقع شده که فاصله آن تا اهواز در حدود ۷۵ کیلومتر است. این کشت و صنعت به علت شیب



شکل ۲- موقعیت چاهک‌های مشاهداتی واحد میرزا کوچک

شده و به صورت موفقیت آمیزی در مسائل مختلف به کار گرفته شده است. مشکل اصلی منطق فازی این است که روند سینماتیک برای طراحی یک کنترل کننده فازی وجود ندارد. به بیان دیگر، یک شبکه عصبی این توانایی را دارد که از محیط آموزش ببیند (جفت‌های ورودی- خروجی)، ساختارش را مرتب کند و با شیوه‌ای تعامل خود را تطبیق دهد. بدین منظور جنگ و همکاران (۴) مدل انفیس را ارائه کردند که قابلیت ترکیب توانایی دو روش مذکور را داشت.

انفیس قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه بندی دارد و همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد و به طور تطبیقی یک قاعده - بنیاد می‌سازد. علاوه بر این، می‌تواند تبدیل پیچیده هوش بشری به سیستم‌های فازی را تنظیم کند.

ساختار مدل مربوط به این تحقیق با ۱۳ متغیر ورودی و چهار تابع عضویت گوسی ساده برای هر ورودی، به صورت شکل (۳) در می‌آید. این مدل دارای ۵۷ قانون فازی بوده و ۲۲۸۰ پارامتر را تعیین می‌کند.

آزمون‌های آماری

هدف از کاربرد آزمون‌های آماری در این تحقیق، برآورد میزان خطا در محاسبات و تعیین الگو و ساختاری است که کمترین میزان خطا را در پیش‌بینی عملکرد مزارع داشته باشد. آزمون‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

۱- آزمون خطای ریشه میانگین مربعات خطا:

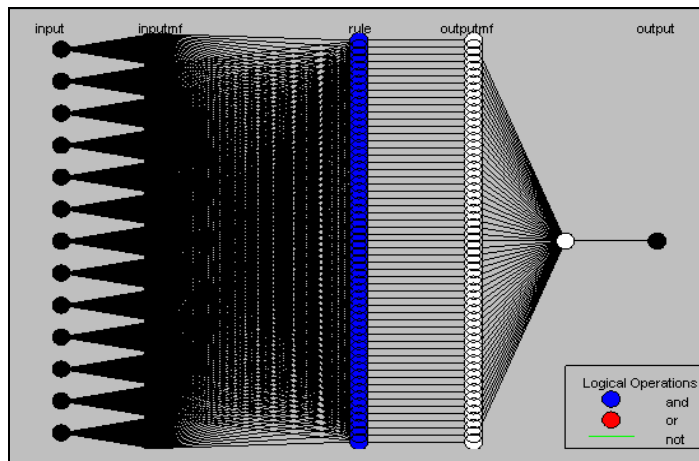
۱۴۴ عدد در خارج از محدوده طرح قرار دارند. به همین منظور با در نظر گرفتن توصیه‌های سازمان خواروبار جهانی فائو^۱ و با توجه به بافت خاک واحد مورد مطالعه و فاصله بین لترال‌ها مقرر گردید به ازای هر ۵۰ هکتار سطح زیر کشت، یک پیرومتر در فاصله بین دو لترال که بیانگر بالاترین سطح ایستابی در آن محدوده می‌باشد، به گونه‌ای انتخاب شود که این پیرومترها در مزارع به صورت یک در میان و به شکل زیگزاگ قرار گیرند.

به منظور تعیین جهت شیب هیدرولیکی آب‌های تحت-الارضی، یک شبکه پیرومتری در حاشیه اراضی کشت و صنعت ایجاد گردید. این شبکه به صورت دو نوار به موازات مزارع کشت و صنعت و به فواصل ۱۰۰ و ۵۰۰ متری از حاشیه آنها به طوری که فاصله آنها از یکدیگر ۵۰۰ متر باشد، احداث گردید (شکل ۲).

در داخل مزارع چاهک‌ها به عمق ۲ متر و با استفاده از آگر به قطر ۱ اینچ و در خارج واحد به دلیل پایین‌تر بودن سطح آب زیرزمینی چاهک‌هایی به عمق ۲/۵ متر و قطر ۲ اینچ احداث گردید. برای بررسی تأثیر شوری بر میزان محصول، از نتایج شوری قرائت شده در چاهک‌های مشاهده‌ای استفاده گردید. اطلاعات مربوط به دما و میزان بارندگی از ایستگاه هواشناسی منطقه تهیه گردید. در این واحد چهار رقم نیشکر با سن‌های مختلف از کشت تا بازرویی در سال ششم در سطح وسیعی از کل مزارع کشت می‌گردند که عبارتند از: CP48، CP57، CP69 و SP70.

سیستم‌های عصبی-فازی تطبیقی

از زمانی که عسگرزاده (۵) تئوری منطق فازی را به منظور توصیف سیستم‌های پیچیده پیشنهاد داد، این منطق بسیار مشهور



شکل ۳- ساختار مدل ANFIS برای پیش‌بینی میزان محصول

جدول ۱- نتایج حاصل از به‌کارگیری توابع عضویت مختلف

تابع عضویت	ضریب همبستگی	RMSE
مثلی	۰/۸۸۲	۲/۴۲۷
دوزنقه‌ای	۰/۸۳۷	۲/۲۷۱
گوسی ساده	۰/۹۷۲	۱/۳۲۵
گوسی دوطرفه مرکب	۰/۹۲۲	۱/۵۱۳
زنگی شکل	۰/۹۱۷	۲/۷۴۸
سیگموئیدی تفاضلی	۰/۸۶۴	۲/۴۶۰
سیگموئیدی انبوهشی	۰/۸۸۱	۲/۲۷۰
شکل Pi	۰/۸۴۰	۲/۸۲۷
شکل S	۰/۸۹۷	۳/۱۲۵
شکل Z	۰/۸۳۹	۳/۰۶۷

۳- ضریب همبستگی (R^2)

$$RMSE = \left[\frac{\sum (y_m - y_p)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (1)$$

نتایج و بحث

در این مرحله از تحقیق با استفاده از اطلاعات موجود به پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر با استفاده از مدل انفیس پرداخته شد. به منظور اجرای مدل‌ها از محیط ویرایش‌گر انفیس در نرم‌افزار جامع متلب استفاده گردید. همچنین توابع عضویت مختلفی از جمله توابع عضویت مثلی (trimf)، دوزنقه‌ای (trapmf)، گوسی ساده (gaussmf)، گوسی دوطرفه مرکب (gauss2mf)، زنگی شکل (gbellmf)، سیگموئیدی (sigmf)، سیگموئیدی تفاضلی (dsigmoid)، سیگموئیدی انبوهشی (psigmoid)، شکل pi (pimf)، شکل s (smf) و شکل Z (zmf) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج موجود در جدول (۱) نشان می‌دهد تابع عضویت گوسی ساده بهترین نتایج را ارائه می‌دهد.

y_m : محصول مشاهده شده، y_p : محصول پیش‌بینی شده و n : تعداد سری داده‌ها.

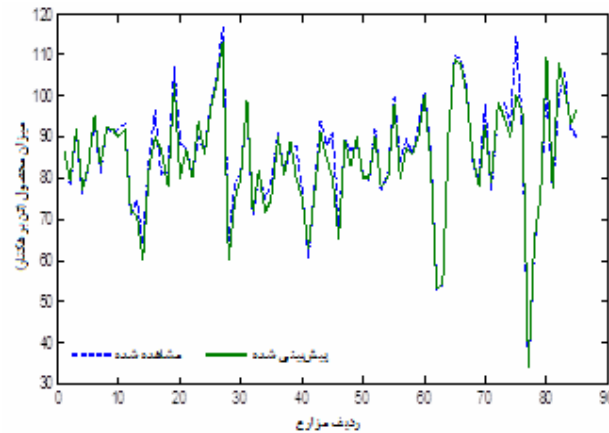
۲- آزمون درصد متوسط خطای مطلق پیش‌بینی:

$$E_r = \frac{\sum |y_m - y_p|}{\sum y_m} \times 100 \quad (2)$$

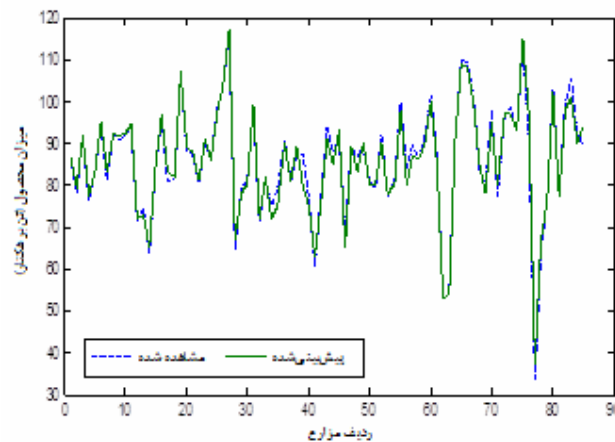
پارامترهای این رابطه همانند پارامترهای رابطه بالا می‌باشند.

جدول ۲- نتایج حاصل از پیش‌بینی میزان محصول در مرحله آموزش و آزمون

ANFIS			
تست		آموزش	
RMSE	ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی
۱/۳۵۱	۰/۹۷۸	۱/۳۲۵	۰/۹۳۸۴



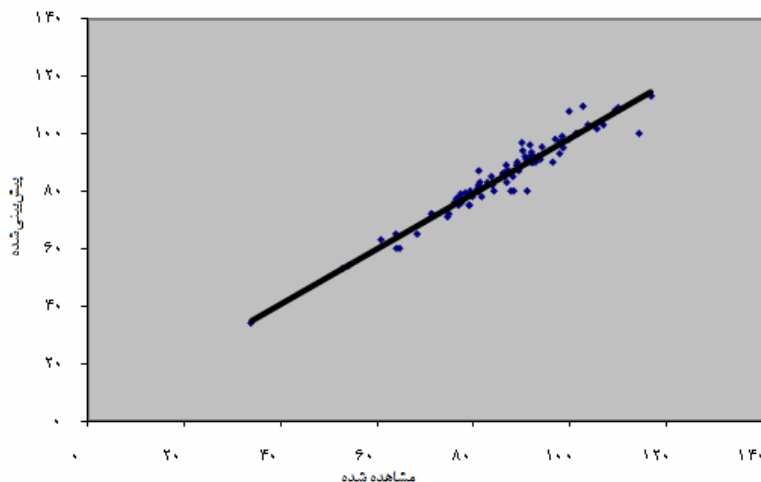
شکل ۴- مقایسه محصول مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله آموزش مدل انفیس



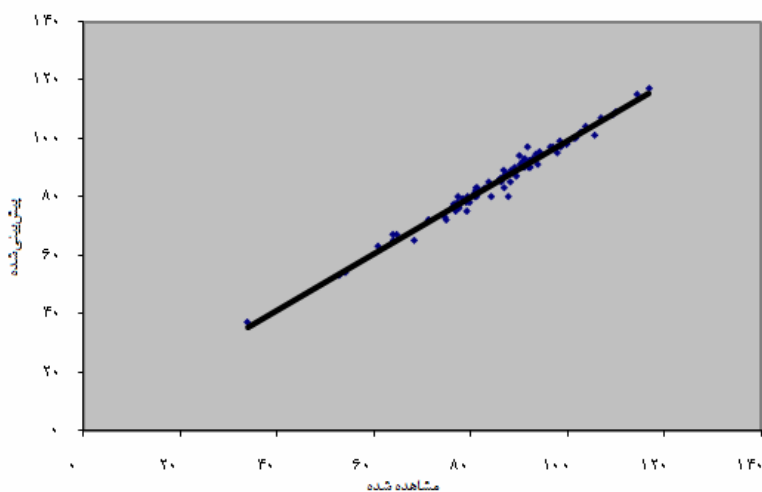
شکل ۵- مقایسه محصول مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون مدل انفیس

مزارع و محور عمودی میزان محصول را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها نیز مشاهده می‌شود پیش‌بینی محصول دارای دقت بسیار بالایی بوده و دو منحنی تقریباً برهم منطبق می‌باشند. شکل‌های (۶) و (۷) نیز همبستگی بین محصول پیش‌بینی و مشاهده شده توسط این مدل را به ترتیب در مراحل آموزش و آزمون نشان می‌دهند.

جدول (۲) نتایج حاصل از پیش‌بینی میزان محصول با استفاده از مدل انفیس را در مرحله آموزش و آزمون نشان می‌دهد. در این مدل داده‌ها به صورت خودکار توسط مدل برای مراحل مختلف آموزش و آزمون انتخاب می‌شوند. نتایج موجود در جدول (۲) در مرحله‌ی آموزش و آزمون نشان دهنده توانایی بسیار بالای سیستم استنتاج فازی-عصبی در پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر می‌باشد. شکل‌های (۴) و (۵) محصول مشاهده و پیش‌بینی شده را در هر مزرعه توسط مدل انفیس به ترتیب در مراحل آموزش و آزمون نشان می‌دهد. محور افقی ردیف



شکل ۶- همبستگی بین محصول مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله آموزش مدل انقباض



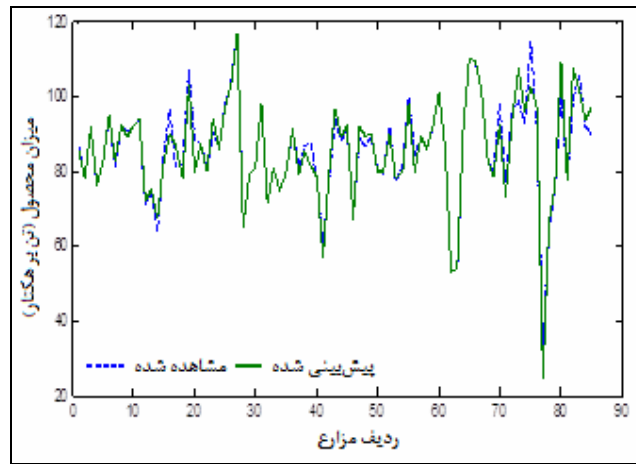
شکل ۷- همبستگی بین محصول مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون مدل انقباض

جدول ۳- نتایج حاصل از پیش‌بینی عملکرد نیشکر با استفاده از تحلیل رگرسیون

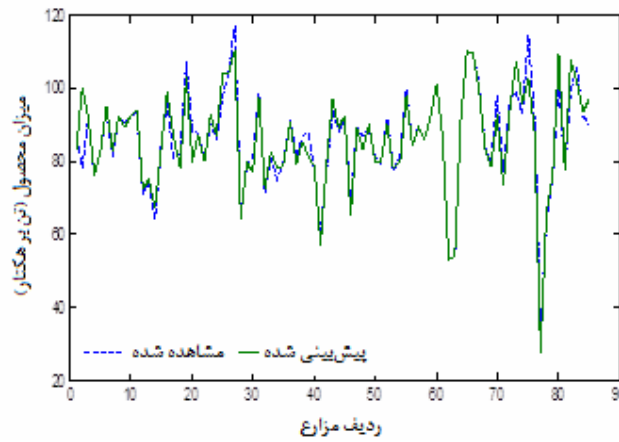
رگرسیون			
صحت‌سنجی		واسنجی	
RMSE	ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی
۳/۲۱۳	۰/۹۱۵	۳/۵۳۵	۰/۹۴۷

بین محصول پیش‌بینی و مشاهده شده توسط تحلیل رگرسیونی را در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهند. شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نیز همبستگی بین محصول مشاهده و پیش‌بینی شده در این مراحل را توسط تحلیل رگرسیونی نشان می‌دهند.

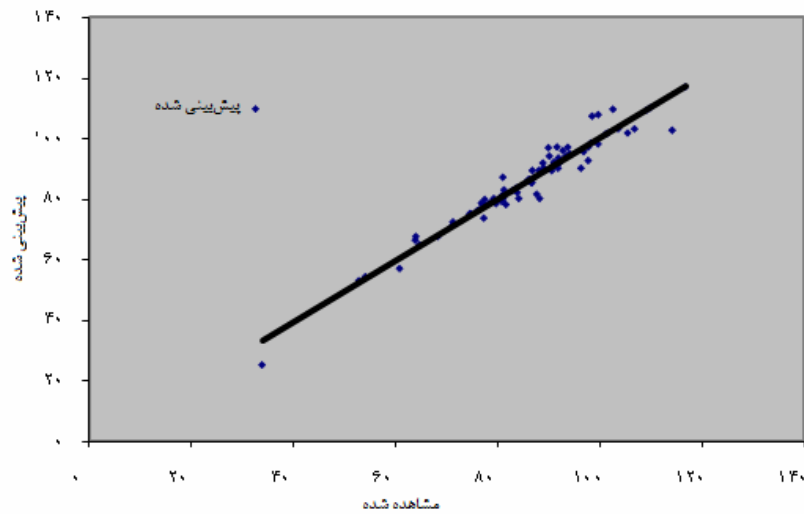
در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۵ نیز به پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر با استفاده از تحلیل رگرسیونی پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل رگرسیونی جهت پیش‌بینی میزان محصول در جدول (۳) ارائه گردیده است. شکل‌های (۸) و (۹) مقایسه



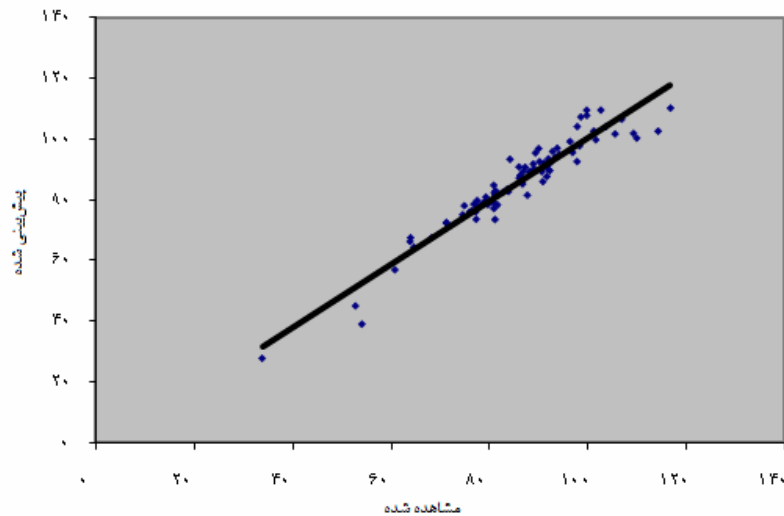
شکل ۸- مقایسه محصول مشاهده و پیش‌بینی شده توسط تحلیل رگرسیونی در مرحله واسنجی



شکل ۹- مقایسه محصول مشاهده و پیش‌بینی شده توسط تحلیل رگرسیونی در مرحله صحت‌سنجی



شکل ۱۰- همبستگی بین محصول مشاهده و پیش‌بینی شده توسط تحلیل رگرسیونی در مرحله واسنجی



شکل ۱۱- همبستگی بین محصول مشاهده و پیش‌بینی شده توسط تحلیل رگرسیونی در مرحله صحت‌سنجی

جدول ۴- مقایسه نتایج روش‌های مختلف

E_t (%)	$Y_p = a Y_o$	R^2	RMSE	
۳/۲	$Y_p = 0.997 Y_o$	۰/۹۷۸	۱/۳۵	انفیس
۱۰/۹	$Y_p = 0.967 Y_o$	۰/۹۱۵	۳/۲۱	رگرسیون

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج نشان داد سیستم فازی-عصبی تطبیقی در پیش‌بینی عملکرد مزارع نیشکر توانایی بالایی داشته و میزان محصول واقعی مزارع و محصول به دست آمده از مدل کاملاً بر هم منطبق می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه خطای مدل انفیس نسبت به روش‌های رگرسیون خیلی کمتر بوده، این روش بر روش‌های رگرسیونی برتری دارد.

سیاسگزاری

از واحد توسعه نیشکر میرزا کوچک خان که اطلاعات مورد نیاز را در اختیار قرار داده‌اند کمال تشکر و امتنان را دارد.

با در اختیار داشتن مدل انفیس آموزش دیده و معادله‌های استخراج شده از روش رگرسیون و با استفاده از داده‌های مربوط به آموزش و آزمون، همبستگی بین مقادیر محصول مشاهده و پیش‌بینی شده تعیین گشته و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین مقدار درصد خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شد.

در این تحقیق سعی گشت توابع همبستگی و خطا، توأمان جهت ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی و تحلیل رگرسیونی استفاده گردند. در رابطه $Y_p = a Y_o$ ، هر چه a به مقدار یک نزدیک‌تر باشد خروجی مدل، پیش‌بینی درست‌تری از واقعیت داشته است. Y_p محصول پیش‌بینی شده و Y_o محصول مشاهده شده می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول (۴)، ضریب a و مقدار R^2 مدل انفیس به مقدار یک نزدیک‌تر و مقدار خطای این مدل از تحلیل رگرسیونی کمتر یا با عبارتی به مقدار صفر نزدیک‌تر می‌باشد.

منابع

- ۱- جعفری، س.، ناصری، ع.، ع. بنی‌عباسی، ن. و ج. حمدی. ۱۳۸۵. بررسی اثرات آبیاری و زهکشی نامناسب بر کاهش رشد نیشکر. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۶ صفحه.
- ۲- منصور، ف. ۱۳۸۴. بررسی پارامترهای طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در پروژه آبیاری و زهکشی طرح توسعه نیشکر (مطالعه موردی واحد امیرکبیر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۱۳ صفحه.

- 4- Gilbert, R. A., Rainbolt, C. R., Morris, D. R., and J. M. McCray. 2008. Sugarcane growth and yield responses to a 3-month summer flood. *Agricultural Water Management*, 95: 283–291.
- 5- Jang, J. S. R., Sun, C. T. and E. Mizutani, 1997. *Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice-Hall International, New Jersey.