نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۷
۱۱-۲۶
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.14153.2077

پیش‌بینی اقلیمی استوکستیکی عملکرد چهار گیاه گندم، جو، سیب‌زمینی و ذرت دانه‌ای در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در راستای توسعه برنامه‌ریزی کشاورزی

لاله پرویز[1]* و مهسا پیمایی[2]

[1]استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان،
[2]دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: برآورد کارآمد عملکرد محصول در تصمیم‌گیری‌های مربوط به سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی کشاورزی از اهمیت چشمگیری برخوردار است. همچنین از دغدغه‌های اصلی کشورهای در حال توسعه، آگاهی از میزان عملکرد محصول با دید کلی از عوامل موثر بر عملکرد می‌باشد. هدف تحقیق پیش‌بینی عملکرد برخی از محصولات کشاورزی با رویکرد اقلیمی، استوکستیکی است. روش ترکیبی براساس مفاهیم دو رویکرد استوکستیکی و اقلیمی است.

مواد و روش‌ها: کارایی سه رویکرد پیش‌بینی عملکرد محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی (شهرستان‌های جلفا، تبریز، مراغه، اهر، میانه، ماکو، خوی، ارومیه، مهاباد، تکاب) در طی دوره آماری ۱۳۶۶-۱۳۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. تخمین عملکرد محصول با رویکرد اقلیمی براساس داده‌های معنی‌دار اقلیمی با تحلیل رگرسیون انجام گرفت، به‌طوری‌که تعیین داده‌های موثر بر عملکرد محصولات بر اساس معنی‌داری ضریب همبستگی عملکرد محصولات و داده‌های هواشناسی انجام گرفت. در رویکرد استوکستیکی با مدل خود همبسته تجمعی میانگین متحرک (ARIMA)، مدلسازی سری زمانی براساس تحلیل اولیه، شناسایی مدل، تخمین پارامتر و آزمون نکویی برازش مدل انجام گرفت. از روش تفاضل‌گیری برای ایستایی سری‌های زمانی استفاده شد. در رویکرد نهایی داده‌های هواشناسی براساس رویکرد استوکستیکی برآورده شدند و سپس با تحلیل رگرسیون، عملکرد محصولات تخمین زده شدند.

یافته‌ها: داده‌های هواشناسی موثر در هر دو استان شامل مجموع ساعات آفتابی، کمینه رطوبت نسبی، دمای بیشینه، دمای کمینه، میانگین سرعت باد، بیشینه رطوبت و متوسط دما بودند. بررسی وجود روند و نرمال بودن سری‌های زمانی از مراحل اولیه تحلیل بودند که نمودار احتمال سری زمانی حاکی از نرمال بودن سری‌ها بود. مدل‌هایی که آزمون نکویی برازش شامل نرمال و مستقل بودن باقی‌مانده‌ها را گذراندند شامل استان آذربایجان شرقی: گندم ARIMA(0,1,1)، جو ARIMA(1,1,1)، سیب‌زمینی ARIMA(0,1,2)، ذرت دانه‌ای ARIMA(3,1,2)، آذربایجان غربی: گندم ARIMA(0,1,3)، ذرت دانه‌ای ARIMA(1,1,1) بودند. مقایسه متوسط آماره‌های خطا برای تمام محصولات در هر دو استان حاکی از کاهش ۴۷/۰۸ درصد RMSE از روش تحلیل رگرسیون به روش استوکستیک و ۲۶/۱۶ درصد از روش توام به استوکستیک، ۴۹/۵۳ درصد MAE از روش تحلیل رگرسیون به روش استوکستیک و ۳۰/۳۲ درصد از روش توام به استوکستیک بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در اکثر موارد دارای بیش‌برآورد هستند مگر روش‌های تحلیل رگرسیون و توام رگرسیون- استوکستیک محصولات ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی که دارای کم‌برآورد هستند. همچنین اگر از خطای (NRMSE-MARE) سه روش شبیه‌سازی برای کل محصولات میانگین گرفته

*مسئول مکاتبه: laleh_parviz@yahoo.com

شود، میزان خطای مربوط به گندم بیشترین و سیب‌زمینی کمترین خواهد بود، به‌طوری که میزان کاهش NRMSE از گندم به سیب‌زمینی ۴۴/۶۸ درصد و MARE ۴۱/۶۶ درصد بود.

نتیجه‌گیری: تامین غذا برای جمعیت در حال رشد بدون توسعه کشاورزی پایدار امکان‌پذیر نیست. افزایش معنی‌دار روند داده‌های میانگین سرعت باد، دمای کمینه و بیشینه در نتایج می‌تواند ناشی تغییرات اقلیمی باشد که یکی از اثرات آن در بیلان آبی دریاچه ارومیه کاملا آشکار شده است. با توجه به تحقیقات بسیار اندک در زمینه برآورد عملکرد محصولات با رویکرد استوکستیک در ایران، مدلسازی وابستگی زمانی و روند پردازش سری زمانی منجر به بهبود نتایج شده است. روش ترکیبی زمانی که پارامترهای دخیل در آن با دقت بالایی برآورد شوند از کارایی بالایی برخوردار است. با توجه به نتایج در روش توام باید محدوده‌ای از دقت در برآورد عملکرد محصول مدنظر قرار گیرد که استفاده از این محدوده کارایی روش توام را افزایش می‌دهد. بهینه‌سازی تخمین ضرایب، کارایی روش را نیز افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، رویکرد، ترکیبی، ARIMA.

مقدمه

نظام کشاورزی پیچیده است زیرا متاثر از عوامل مختلف است. روش‌های زیادی برای شناسایی تقابلات بین عوامل موثر بر عملکرد محصولات مورد ارزیابی قرار گرفته است (۴). با توجه به اینکه یکی از چالش‌های پیشرو در سال‌های اخیر افزایش جمعیت و بالتبع آن افزایش تقاضای روز افزون محصولات کشاورزی می‌باشد. در این میان برآورد دقیق عملکرد محصول بخصوص به علت تاثیرات اقلیمی از اهمیت چشمگیری برخوردار است (۱۳ و۷). بنابراین نیاز به مدلسازی سری زمانی عملکرد محصول با روشی کارآمد و با توجه به عوامل مهم و موثر بر عملکرد محصول آشکار می‌شود.

پیش‌بینی عملکرد محصول از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی، عرضه مواد غذایی، تجارت بین المللی غذا، پایداری سیستم‌های بوم‌شناختی، امنیت غذایی خانوارهای روستایی برخوردار است (۱۱). نیاز به اطلاعات زیاد در آزمایش‌های انجام شده در محیط‌های کنترل شده، پرهزینه بودن مطالعات، نیاز به ابزار بسیار حقیقی جهت اجرا و مشکل گردآوری اطلاعات میدانی، نیاز به روش‌های مدلسازی را آشکار ساخته است. توسعه روش‌های مدلسازی جایگزینی مناسب و کم هزینه برای این نوع مطالعات است (۱۴). امین و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تاثیرات تغییر اقلیمی بر عملکرد محصول، برنج (سه رقم) وگندم در بنگلادش پرداختند (۲). داده‌های هواشناسی موردمطالعه شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش، رطوبت و ساعات آفتابی بودند که تاثیر معنی‌داری برعملکرد محصول داشتند. اگرچه معنی‌داری داده‌ها با توجه به نوع محصول و نوع رقم متفاوت بود. چیکودزی (۲۰۱۶) به بررسی حساسیت عملکرد محصولات نسبت به تغییرات اقلیمی در زیمباوه پرداخت (۶). براساس آزمون من- کندال[1] دمای کمینه دارای روند معنی‌داری بود. نتیجه نهایی تحقیق بررسی و انتخاب محصولاتی با کمینه حساسیت نسبت به داده‌های اقلیمی و توصیه و تشویق کشاورزان نسبت به انتخاب این نوع محصولات بود. حسینی و همکاران (۲۰۰۷) کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره را در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه قروه استان کردستان را مورد بررسی قرار دادند (۹). نتایج این محققان نشان داد که در میزان تولید گندم، مقدار

1- Mann-Kendall

و نحوه پراکنش بارش و میانگین دمای بیشینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با کوچکترین تغییر در هر یک از آنها عملکرد محصول تغییر می‌کند. رحمانی و همکاران (۲۰۰۸) عملکرد محصول جو را در آذربایجان‌شرقی با استفاده از ده داده هواشناسی و هشت شاخص خشکسالی در قالب مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند. از بین مدل‌های تهیه شده مدل با پنج ورودی شامل متوسط دمای کمینه، تعداد ساعات آفتابی، شاخص تبخیر-تعرق سالانه بر بارش سالانه (نگوین)، شاخص خشکی[1]، شاخص بارش استاندارد شده[2] ۲۴ ماهه و شاخص ناهنجاری بارش[3]، بیشترین همبستگی را با عملکرد محصول داشتند (۱۷). زارع ابیانه (۲۰۱۳) به پیش‌بینی عملکرد چهار محصول دیم شامل گندم، جو، هندوانه و نخود در منطقه مشهد و بیرجند براساس ده داده هواشناسی و هفت شاخص خشکسالی در قالب سه مدل رگرسیون خودکار، گام به گام و ریج پرداخت (۲۱). از بین متغیرهای هواشناسی دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد بیشترین همبستگی را با عملکرد محصول داشتند. دامنه تغییرات میانگین مجذور مربعات خطای نرمال[4] در هر دو منطقه و برای هر چهار محصول ۰/۰۹ تا ۰/۴۸ بدست آمد. نتایج بیانگر بیشترین دقت پیش‌بینی برای محصول گندم در مشهد و نخود در بیرجند و کمترین دقت پیش‌بینی برای محصول هندوانه در بیرجند و مشهد بود. شعبانی و همکاران (۲۰۱۳) به مدلسازی و پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه ماهانه دشت مشهد با استفاده از مدل‌های سری زمانی پرداختند (۱۸). دوره آماری مشترک از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ بود. مدل $SARIMA(0,0,0)(0,1,1)_{12}$[5] برای دمای بیشینه ماهانه و مدل $SARIMA(0,0,0)(2,1,1)_{12}$ برای دمای کمینه ماهانه به‌عنوان الگوهای نهایی تعیین شدند. ضریب همبستگی بالا در مرحله واسنجی مدل-ها گویای انطباق قابل قبول مقادیر مشاهداتی و مدلسازی بود (۱۸). ورما و همکاران (۲۰۱۲) به برآورد عملکرد محصول گندم زمستانه و بهاره، جو بهاره و زمستانه، نیشکر و ذرت با استفاده از مدل ARIMA پرداختند (۱۹). مدل‌های منتخب برای محصولات مختلف شامل گندم ARIMA(0,1,1)، جو و ذرت ARIMA(1,1,0)، نیشکر ARIMA(2,1,0) بودند. نتایج حاکی از کارایی بالای مدل ARIMA به علت خطای کم بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی بخصوص در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بود (۱۹). بیسواس و همکاران (۲۰۱۴) به پیش‌بینی میزان تولید گندم با استفاده از مدل ARIMA در پنجاب پرداختند. مدل منتخب عملکرد محصول ARIMA(0,1,1) با معیار آکائیک[6] برابر با ۷۹۰/۶۹ و RMSE برابر با ۱۸۵/۱۵بود. براساس خروجی‌های مدل ARIMA میزان تولیدات گندم از ۱۵۸۴۴/۷ هزارتن در سال ۲۰۱۰-۱۱ تا ۱۸۲۷۱/۷ هزارتن در ۲۰۲۰-۲۱ افزایش خواهد یافت (۵). احمد و همکاران (۲۰۱۷) به پیش-بینی برخی از پارامترها مانند سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد محصولات ذرت، پنبه، برنج، نیشکر و گندم با مدل ARIMA پرداختند (۱). مدل‌های مربوط به عملکرد ذرت و گندم به‌ترتیب ARIMA(2,1,4) و ARIMA(1,1,2) بود. نتایج حاکی از افزایش روند پارامترهای مورد بررسی در دوره‌های مطالعاتی بجز عملکرد نیشکر بود (۱).

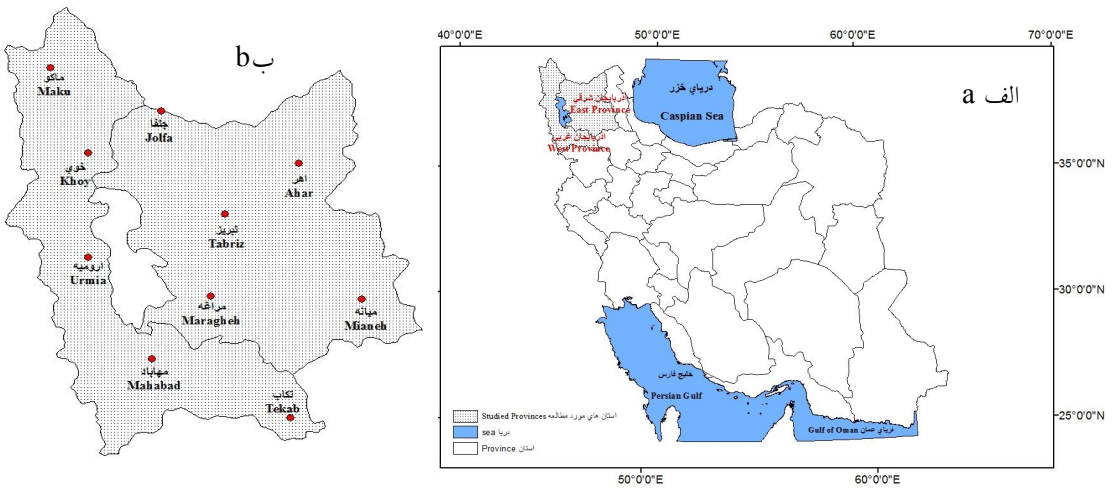
1- Aridity Index
2- Standardized Precipitation Index
3- Rainfall Anomaly Index
4- Normal Root Mean Square Error (NRMSE)
5- Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average
6- Akaike Information Criterion (AIC)

با توجه به اهمیت برآورد و تخمین عملکرد محصول، در این راستا بیشتر تحقیقات در کشور ایران در زمینه برآورد عملکرد محصول مربوط به بررسی نقش عوامل اقلیمی بر تغییرپذیری عملکرد محصول و یا به‌عبارت دیگر رویکرد اقلیمی بوده است. اما علاوه بر رویکرد اقلیمی از عامل وابستگی زمانی در قالب رویکرد استوکستیکی جهت تخمین عملکرد محصول استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت دو عامل بیان شده، در این تحقیق از ترکیب این دو عامل نیز جهت تخمین عملکرد محصول استفاده شده است.

هدف اصلی تحقیق پیش‌بینی عملکرد محصولات گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgaer* L.)، ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی براساس رویکرد اقلیمی و استوکستیکی است، به‌طوری‌که با استفاده از تاثیرات دو رویکرد در دوره‌های آتی و استفاده از مدل کارآمد امکان پیش‌بینی عملکرد محصول و آگاهی از آن در برنامه‌ریزی آتی کشاورزی ممکن خواهد شد. بررسی این محصولات به‌عنوان کشت غالب در منطقه و در دو استان مهم از نظر تاثیر پذیری تغییرات اقلیمی از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در رویکرد اقلیمی برآورد عملکرد محصولات براساس تحلیل رگرسیون با استفاده از داده‌های هواشناسی معنی‌دار انجام می‌شود. در رویکرد استوکستیکی با تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی عملکرد محصولات، به مدلسازی و پیش‌بینی عملکرد محصول پرداخته می‌شود. رویکرد نهایی مربوط به استفاده ترکیبی (توام) دو رویکرد اقلیمی و استوکستیکی است، به‌طوری‌که داده‌های هواشناسی براساس رویکرد استوکستیکی برآورده شدند و سپس با تحلیل رگرسیون، عملکرد محصولات تخمین زده شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان‌های آذربایجان‌شرقی و غربی جزء استان‌های مورد بررسی تحقیق بودند. داده‌های اقلیمی تحقیق مربوط به ده ایستگاه هواشناسی بود که موقعیت مکانی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

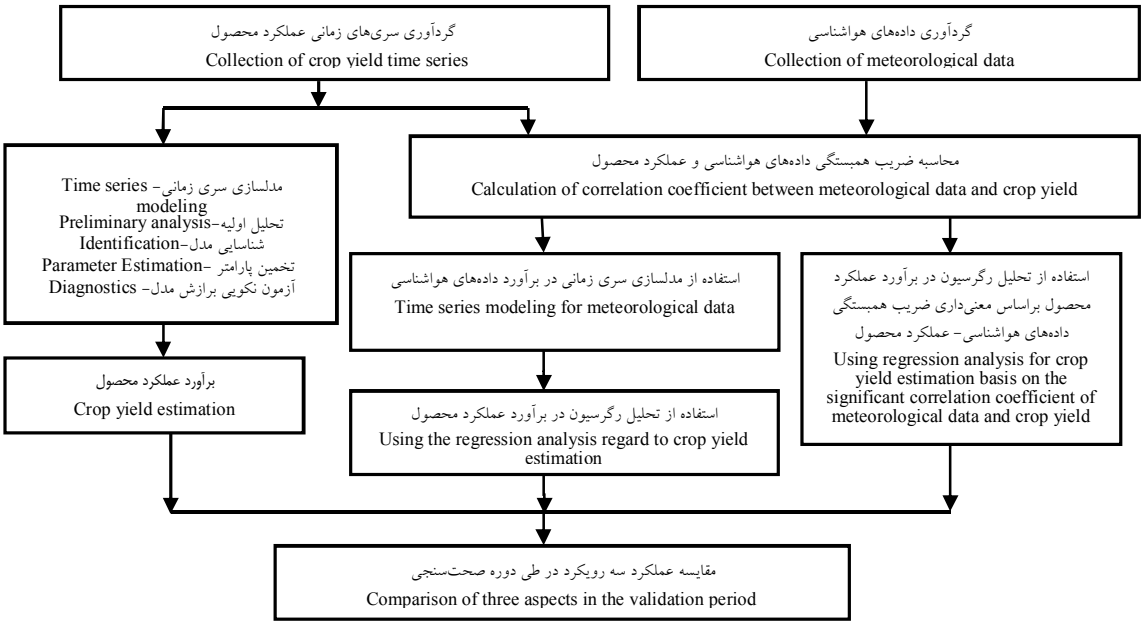


شکل ۱- موقعیت مکانی استان‌ها (الف) و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده تحقیق (ب)

Figure 1. The location of the provinces (a) and synoptic stations (b) used in research.

محصولات مورد بررسی در دو استان شامل گندم آبی، جو آبی، ذرت‌دانه‌ای و سیب‌زمینی بود که به‌عنوان کشت غالب در منطقه می‌باشند و سطح کشت وسیعی را بخود می‌گیرند. داده‌های عملکرد محصولات از سازمان جهاد کشاورزی استان‌های مربوطه تهیه شد. میانگین عملکرد گندم آبی، جو آبی، ذرت‌دانه‌ای و سیب‌زمینی در طی دوره مطالعاتی در استان آذربایجان شرقی به‌ترتیب ۲/۷۳، ۲/۳۲، ۲۷/۰۷، ۴/۷۱ تن بر هکتار و در استان آذربایجان غربی به‌ترتیب ۲/۷۴، ۲/۳۷، ۲۱/۵۷، ۵/۱۳ تن بر هکتار برآورد شد. داده‌های هواشناسی مورد بررسی شامل متوسط دمای هوا، دمای بیشینه و کمینه هوا، مجموع ساعات آفتابی، سرعت باد، رطوبت نسبی، بارش، دمای نقطه شبنم می‌باشند که آمار مربوطه از سازمان هواشناسی استان‌های مربوطه تهیه شد. دوره آماری مورد بررسی ۱۹۸۷– ۲۰۱۶ (۱۳۶۶– ۱۳۹۵) در نظر گرفته شد که دوره واسنجی و صحت‌سنجی شامل ۲۰۰۷–۱۹۸۷ و ۲۰۱۶–۲۰۰۸ بود. اقلیم استان‌های مورد بررسی در طی ۳۰ سال دوره آماری براساس روش دومارتن، ایوانف و تورنت وایت در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی به‌ترتیب نیمه‌خشک، صحرایی، نیمه‌خشک می‌باشد. بنابراین با توجه به اقلیم حاکم بر منطقه استفاده از رهیافتی با دقت بالا و خطای کم جهت برآورد میزان عملکرد محصول ضروری بنظر می‌رسد که آگاهی از مقادیر عملکرد محصول در اخذ و استراتژی‌های مربوط به برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و در نهایت توسعه کشاورزی پایدار کمک شایانی خواهد کرد.

مدلسازی عملکرد محصول: به‌علت پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرآیندهای فیزیکی در طبیعت، ساخت مدل‌های آماری و گسترش آنها برای بیان این فرآیندها همیشه مورد توجه بوده است (۱۰). با توجه به این که هدف اصلی مقاله برآورد عملکرد محصول براساس مدلسازی می‌باشد، مدلسازی عملکرد محصولات به‌صورت استفاده از تحلیل رگرسیون با داده‌های هواشناسی، استفاده از تحلیل استوکستیک و در نهایت استفاده توام استوکستیک و رگرسیون (ترکیبی) در نظر گرفته شد که در شکل ۲ روندنمای انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲- روندنمای انجام تحقیق

Figure 2. Flowchart of research.

تحلیل رگرسیون: تحلیل رگرسیونی یکی از روش‌های آماری برای تحلیل و مدل‌بندی داده‌های چند عاملی است که حوزه کاربرد آن بیشترین وسعت را دارد. چنانچه در نظر باشد که میزان وابستگی یک متغیر مستقل به چند متغیر وابسته دیگر مورد سنجش قرار گیرد می‌توان از رگرسیون چندگانه استفاده کرد. در حالت کلی ممکن است متغیر پاسخ به p متغیر پیش‌بینی x_1، x_2،...x_p مربوط باشد، بنابراین مدل رگرسیونی به‌صورت معادله ۱محاسبه شد(۱۰).

رابطه (۱) $Y = B_0 + \sum_{i=1}^{p} B_i X_i$

X_ii: امین متغیر پیش‌بینی، B_j:(p، ... و ۱،۰=j) ضرایب رگرسیون.

رگرسیون چندگانه مربوط به بکارگیری بیش از یک متغیر می‌باشد، بنابراین ضرایب رگرسیون تحقیق شامل برخی از داده‌های اقلیمی می‌باشند که انتخاب آنها براساس معنی‌داری ضریب همبستگی داده‌های هواشناسی با عملکرد محصول است.

تحلیل سری زمانی (استوکستیک): اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرآیندهای تصمیم‌گیری بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری زمانی بوده است. اگر یک سری زمانی دارای میانگین ثابت نبوده؛ اما تغییرات یا تفاضل تغییرات این پارامتر ایستا باشد، می‌توان با استفاده از عملگر تفاضل آن سری زمانی را ایستا نمود. استفاده از اولین، دومین یا به‌طورکلی d امین تفاضل سری و مدلسازی آن با ARMA(p,q) منجر به پیدایش سری جدیدی از مدل‌های آماری موسوم به مدل‌های ARIMA غیرفصلی ((ARIMA(p,q)) شد. فرم کلی مدل براساس رابطه ۲ است.

رابطه (۲) $\phi_p(B)\,(1-B)^d Z_t = \theta_q(B)\varepsilon_t$

Z_t: سری اصلی، ε_t: سری تصادفی، p: مرتبه مدل خودهمبسته، q: مرتبه مدل میانگین متحرک، B: عملگر تفاضل، ∇^d: d امین تفاضل، ϕ: پارامتر مدل خودهمبسته، θ: پارامتر مدل میانگین متحرک.

تحلیل اولیه، شناسایی، تخمین پارامترها، آزمون‌های نکویی برازش و انتخاب مناسب‌ترین مدل از مراحل مدلسازی سری‌های زمانی می‌باشند. در تحلیل اولیه سری‌های زمانی از نظر نرمال بودن، تصادفی بودن، ایستایی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در اغلب روش‌های تخمین پارامترهای آماری فرض بر این است که سری زمانی مورد مطالعه از توزیع نرمال پیروی می‌کند. بنابراین لازم است تا با استفاده از یک سری توابع انتقالی، سری‌های زمانی قبل از مدلسازی نرمال شوند. همبستگی‌نگار[1] یکی از ابزارهای آماری بیانگر وابستگی یک سری به زمان می‌باشد. همبستگی‌نگار تغییرات ضرایب خودهمبستگی یک سری زمانی را در تاخیرهای مختلف نشان می‌دهد. آزمون استقلال در زمان اندرسون نیز برای تعیین مستقل بودن سری زمانی کارایی دارد. به‌طوری‌که ضرایب خودهمبستگی که خارج از محدوده احتمال قرار گیرند دارای وابستگی زمانی هستند و مستقل نمی‌باشند.

از آزمون‌های مختلفی برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی استفاده می‌شود که آزمون من-کندال نیز در این زمینه کاربرد زیادی داشته است. در صورت وجود روند در سری‌های زمانی، نیاز به استفاده از روشی برای حذف روند است و از روش‌های مرسوم می‌توان به تفاضل‌گیری در مدل‌های ARIMA اشاره کرد (۱۰). در شناسایی مدل، هدف تعیین مرتبه‌های مدل است که از همبستگی‌نگار در این زمینه می‌توان استفاده کرد. پس از شناسایی مدل، پارامترهای آن بایستی به‌نحو مناسبی برآورد شوند. روش‌های استخراج آماره‌های ریاضی برای پارامترهای تخمینی از مدل‌هایی که معرف متغیرهای تصادفی هستند، تکنیک برآورد نامیده می‌شود. در مدلسازی سری‌های زمانی معمولا فرض می‌شود که جزء استوکستیکی

1- Correlogram

پس از حذف اجزاء دوره‌ای (فصلی) و ساختار وابستگی زمانی یک سری مستقل و دارای توزیع نرمال می‌باشد. بنابراین یکی از مراحل مدلسازی سری‌های زمانی مربوط به آزمون‌های نکویی برازش است که شامل آزمون استقلال در زمان و آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها می‌باشد (١٠). مدلسازی سری زمانی با تعداد پارامترهای مختلف امکان‌پذیر است، اما از آنجا که برآورد پارامترها معمولا همراه با خطا است در نتیجه داشتن پارامترهای کمتر میزان خطای مدل را کم می‌کند و در صورتی که چندین مدل مناسب آزمون های نکویی برازش را بخوبی گذرانده باشند و از نظر دقت یکسان باشند طبق اصل امساک مدلی که دارای پارامترهای کمتری است بر دیگر مدل‌ها ارجحیت خواهد داشت. آزمون معیار آکائیک در این زمینه کاربرد دارد. مدلی که معیار آکائیک کمتری داشته باشد به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌شود (١٠-١٢).

رابطه (٣)

$$AIC\ (p,q) = N \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p+q)$$

N: تعداد اطلاعات سری زمانی، σ_ε^2: واریانس خطای باقی مانده‌های سری زمانی.

آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد رویکرد اقلیمی و استوکستیکی در برآورد عملکرد محصول در روابط ۴-۷ آورده شده است. مقدار کمتر آماره‌ها، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است.

رابطه (۴) RMSE[1]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}$$

رابطه (۵) NRMSE[2]

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|O_i - S_i|}{n}$$

رابطه (۶) MRE[3]

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}}{\overline{O}}$$

رابطه (۷) MARE[4]

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{O_i - S_i}{O_i}\right|}{n}$$

O_i: مقادیر مشاهداتی، S_i: مقادیر شبیه‌سازی، n: تعداد داده‌ها، $\overline{O}$: میانگین مقادیر مشاهداتی، MARE: میانگین خطای نسبی (٢١ و ٢٠). نرم‌افزارهای مورد استفاده این تحقیق شامل SPSS 17 در محاسبه ضرایب همبستگی، MINITAB 14 در محاسبات سری زمانی، Excel 2010 در بخش‌های زیادی از جمله محاسبات معادلات خطاها بودند.

نتایج و بحث

با توجه به هدف اصلی تحقیق، یعنی برآورد عملکرد محصول براساس رویکرد اقلیمی و استوکستیکی در بخش‌های بعدی نتایج تحلیل رگرسیون با داده‌های هواشناسی، تحلیل سری زمانی و روش ترکیبی بیان خواهد شد.

تحلیل رگرسیون: در این بخش جهت تعیین داده‌های موثر بر عملکرد محصول، از محاسبه ضریب همبستگی بین عملکرد محصولات و داده‌های هواشناسی در دو استان استفاده شد که نتایج در جدول ١ آورده شده است.

1- Root Mean Square Error
2- Normalized Root Mean Square Error
3- Mean Absolute Error
4- Mean Absolute Relative Error

جدول ۱- ضریب همبستگی بین عملکرد محصول و داده‌های هواشناسی در استان‌های آذربایجان شرقی (آزش) و غربی (آزغ)

Table 1. The correlation coeficient between crop yield and meterological data in East (EAZ) and West (WAZ) Azerbaijan Provinces.

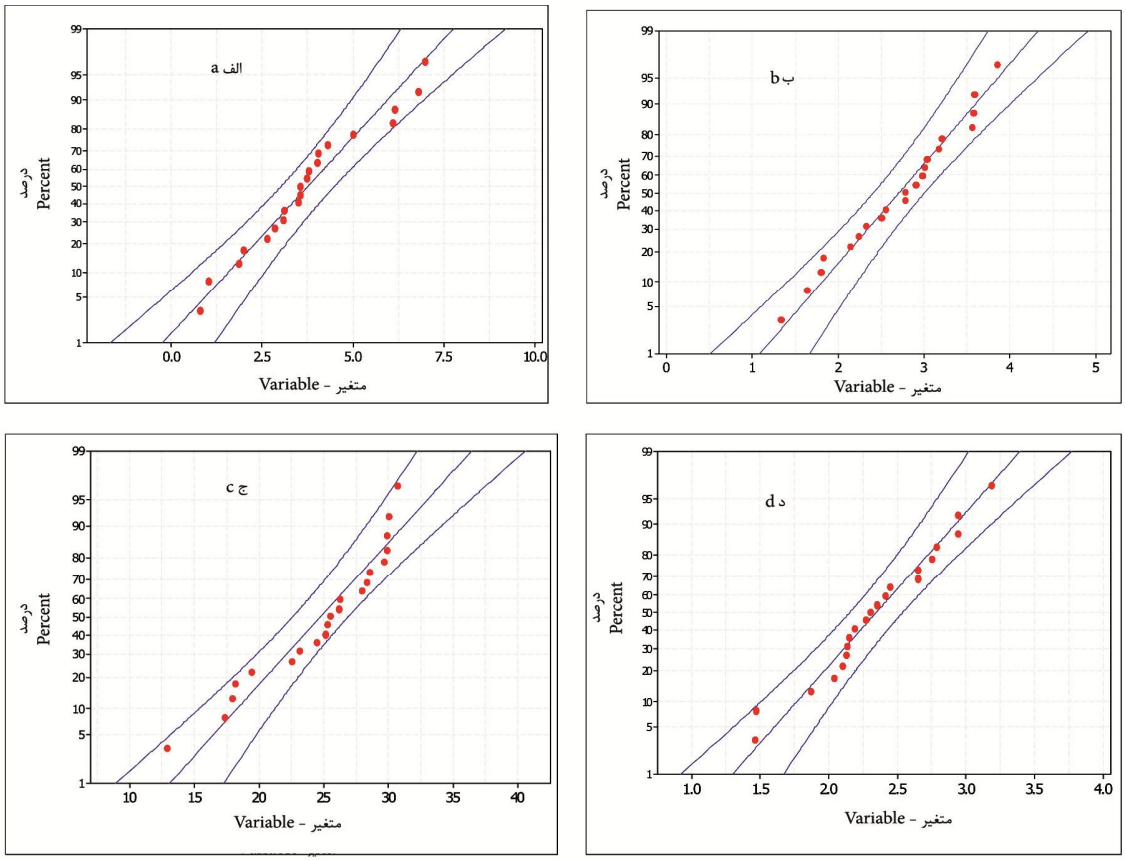
محصولات Crop	مجموع ساعات آفتابی Total sunshine hours	بارش Precipitation	کمینه رطوبت Minimum relative humidity	بیشینه رطوبت Maximum relative humidity	میانگین سرعت باد Wind speed	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity	دمای نقطه شبنم Dew point temperature	متوسط دما Mean temperature	دمای بیشینه Maximum temperature	دمای کمینه Minimum temperature
گندم Wheat (آزش) (EAZ)	0.45*	-0.03	-0.26	-0.14	0.46*	-0.10	0.17	0.30	0.34	0.21
جو Barely (آزش) (EAZ)	-0.38*	-0.02	0.25	-0.06	0.69**	-0.07	0.25	0.29	0.41*	0.22
سیب زمینی Potato (آزش) (EAZ)	0.48**	-0.03	-0.28	0.01	0.73**	-0.03	0.46**	0.39*	0.52**	0.39*
ذرت دانه‌ای Maize (آزش) (EAZ)	0.45*	-0.56	-0.37*	-0.12	0.75**	-0.15	0.48**	0.50**	0.62**	0.32
گندم Wheat (آزغ) (WAZ)	0.49**	-0.19	-0.47**	-0.24	0.17	-0.24	-0.06	0.24	0.39*	0.48**
جو Barely (آزغ) (WAZ)	0.53**	-0.25	-0.42*	-0.20	0.11	-0.23	-0.22	0.10	0.26	0.27
سیب زمینی Potato (آزغ) (WAZ)	0.27	-0.04	-0.33	-0.13	0.50**	-0.13	0.24	0.33	0.46**	0.57**
ذرت دانه‌ای Maize (آزغ) (WAZ)	0.40**	-0.10	-0.53**	-0.39*	0.72**	-0.35	0.17	0.52**	0.70**	0.77**

*معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

* and ** significant at 0.05 and 0.01 level of probability, respetively.

با توجه به جدول ۱ و بر اساس معنی‌داری ضریب همبستگی عملکرد محصولات و داده‌های هواشناسی، داده‌های موثر بر محصولات در هر دو استان شامل مجموع ساعات آفتابی، کمینه رطوبت، دمای بیشینه، دمای کمینه، میانگین سرعت باد، بیشینه رطوبت و متوسط دما می‌باشند که در هر محصول و هر استان متفاوت است. حسینی و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای بیشینه روزانه در ماه‌های میانی و انتهایی رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۹). مساعدی و کاهه (۲۰۰۸) در تحقیق خود متوجه شدند که تاثیر افزایش یا کاهش بارندگی سالانه بر عملکرد جو بدون روند می‌باشد (۱۵). در تحقیق پارک و ساریانارایانا (۲۰۱۲) دمای کمینه، بیشینه و رطوبت نسبی بیشترین تاثیر را بر عملکرد محصول داشتند (۱۶). امین و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود دریافتند که دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت و ساعات آفتابی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول دارد (۲). بعد از انتخاب داده‌های هواشناسی موثر براساس معنی‌داری ضریب همبستگی داده‌های هواشناسی- عملکرد محصول، اقدام به شبیه‌سازی عملکرد محصولات با رویکرد اقلیمی شد. مدلسازی آماری در این قسمت براساس رگرسیون چندگانه انجام گرفت.

تحلیل سری زمانی : بررسی نرمال بودن سری‌های زمانی با استفاده از آزمون چولگی و نمودار احتمال سری زمانی انجام شد که به‌عنوان نمونه نمودار احتمالاتی سری‌های زمانی عملکرد محصولات مورد بررسی در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- نمودار احتمال سری زمانی ذرت دانه‌ای آذربایجان شرقی (الف)، گندم آذربایجان غربی (ب) سیب‌زمینی آذربایجان شرقی (ج) جو آذربایجان غربی (د)

Figure 3. Probability plot of maize time series in East Azarbaijan (a), Wheat in West Azarbiajan (b). Potato in East Azarbaijan (c), Barley (d) in West Azarbiajan

با توجه به شکل ۳، قرارگیری نقاط مربوطه در محدوده‌های اطمینان حاکی از نرمال بودن سری‌های زمانی است. تمام سری‌های زمانی مورد بررسی تحقیق نیز براساس آزمون چولگی و نمودار احتمال نرمال می‌باشند. بررسی روند سری‌های زمانی مورد بررسی با استفاده از آزمون من-کندال انجام گرفت که نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

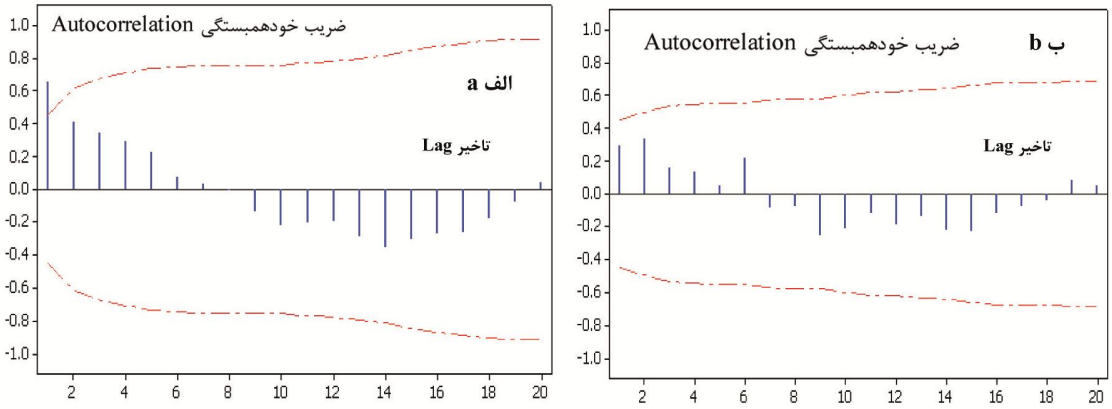
جدول ۲- نتایج آزمون من - کندال عملکرد محصولات

Table 2. Results of Mann-Kendal test of crop yield.

Province استان	Wheat گندم	Barley جو	Potato سیب‌زمینی	Maize ذرت‌دانه‌ای
آذربایجان‌شرقی East Azarbaijan	A	A	A	A
آذربایجان‌غربی West Azarbaijan	A	A	A	A

A: روند مثبت معنی‌دار A: The positive significant trend.

با توجه به جدول ۲ عملکرد محصولات دارای روند معنی‌داری مثبت در طی دوره آماری است. ولی مقایسه آماره حاصل از آزمون من-کندال استان آذربایجان‌شرقی با غربی حاکی از کاهش مقادیر آماره‌ها در استان آذربایجان غربی است. یکی از دلایل احتمالی کاهش میزان روند عملکرد محصولات در استان آذربایجان‌غربی را می‌توان ناشی از اثرات اقلیمی حاکم در منطقه دانست که خشک‌شدن دریاچه ارومیه نیز یکی از نشانه‌های تغییرات اقلیمی در منطقه است. با توجه به وجود روند در سری‌های زمانی با استفاده از آزمون من-کندال، روشی برای ایستایی سری‌های زمانی ضروری بوده و در این تحقیق از روش تفاضل‌گیری استفاده شد. از خصوصیات اولیه سری‌های زمانی برای مدلسازی، غیرتصادفی بودن داده‌ها است. بررسی مستقل بودن داده‌ها با استفاده از آزمون استقلال در زمان اندرسون با رسم همبستگی نگار سری‌های زمانی بدست آمدند که به‌عنوان نمونه همبستگی‌نگار با محدوده‌های اطمینان ۹۵ درصد برای سری‌های زمانی گندم و جو در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ٤- همبستگی‌نگار سری زمانی گندم آذربایجان شرقی(الف) - جو آذربایجان‌غربی(ب)

Figure 4. Correlogram Wheat time series in East Azarbaijan (a), Barley in West Azarbaijan (b).

با توجه به همبستگی‌نگار سری زمانی گندم آذربایجان‌شرقی به‌علت این که ضرایب خودهمبستگی در خارج از محدوده احتمال قرار دارند دارای وابستگی زمانی هستند ولی در مورد سری زمانی جو آذربایجان‌غربی به علت عدم خروج ضرایب خودهمبستگی در خارج از محدوده احتمال، تصادفی می‌باشند. از بین سری‌های زمانی مورد بررسی، سری‌های جو و سیب‌زمینی در استان آذربایجان‌غربی تصادفی می‌باشند، بنابراین استفاده از رویکرد استوکستیکی در این طول دوره آماری ممکن نیست. بعد از تحلیل اولیه سری‌های زمانی، تعیین مرتبه‌های مدل برای شبیه‌سازی از مراحل بعدی مدلسازی است. به‌منظور شناسایی بهتر مناسب‌ترین مدل، کلیه مدل‌های ARIMA(p,d,q) با مرتبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که به‌عنوان نمونه مقادیر معیار آکائیک سری زمانی گندم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر معیار آکائیک سری زمانی عملکرد محصول گندم آذربایجان‌شرقی با مرتبه‌های مختلف

Table 3. The AIC criteria of wheat crop yield time series in East Azarbaijan with different orders.

	ARIMA(p,0,q)					ARIMA(p,1,q)			
	q=0	q=1	q=2	q=3		q=0	q=1	q=2	q=3
P=0	-	-31.80	-29.85	-29.91	P=0	-	-36.99	-34.41	-38.40
P=1	-30.56	-31.38	-32.55	-30.12	P=1	-26.41	-34.75	-33.45	-33.58
P=2	-28.62	-26.81	-31.60	-	P=2	-27.72	-31.87	-36.96	-32.68
P=3	28.05	-29.09	-30.86	-26.63	P=3	-26.63	-29.73	-33.72	-
	ARIMA(p,2,q)					ARIMA(p,3,q)			
	q=0	q=1	q=2	q=3		q=0	q=1	q=2	q=3
P=0	-	-26.08	-28.43	-30.04	P=0	-	-11.60	-14.29	-14.40
P=1	-15.43	-28.64	-	-28.90	P=1	1.05	-15.48	-15.26	-18.27
P=2	-19.32	-25.66	-26.81	-26.23	P=2	-6.23	-15.20	-18.45	-17.06
P=3	-19.04	-21.91	-26.98	-	P=3	-5.96	-5.64	-14.14	-21.59

در انتخاب مدل برتر علاوه بر کم بودن معیار آکائیک، مدل باید آزمون نکویی برازش شامل نرمال و مستقل بودن باقی‌مانده‌ها را هم گذرانده باشد. در این میان مدل‌هایی که آزمون نکویی برازش را گذرانده‌اند با کشیدن خط زیر معیار آکائیک مشخص شده‌اند. در نهایت مدل‌های منتخب براساس معیارهای بیان شده برای سری‌های زمانی عملکرد محصول در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ٤- مدل منتخب سری‌های زمانی براساس معیار آکائیک و آزمون نکویی برازش

Table 4. The selected models of time series based on AIC criteria and diagnostics.

Province استان	Wheat گندم	Barley جو	Potato سیب‌زمینی	Maize ذرت دانه‌ای
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	ARIMA(0,1,1)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(0,1,2)	ARIMA(3,1,2)
آذربایجان غربی West Azarbaijan	ARIMA(0,1,3)	-	-	ARIMA(1,1,1)

مدل سری زمانی گندم در استان آذربایجان شرقی مدل ARIMA(0,1,1) است، که این مدل در تحقیق ورما و همکاران (۲۰۱۲) و بیسواس و همکاران (۲۰۱۳) برای سری زمانی گندم نیز مشاهده شد (۱۹ و ۵). براساس مدل‌های منتخب اقدام به شبیه‌سازی عملکرد محصول می‌شود که ارزیابی نتایج آن براساس معیارهای خطا در ادامه آورده خواهد شد. در مرحله دیگر از تاثیر توام رویکرد استوکستیکی و اقلیمی برای شبیه‌سازی عملکرد محصول استفاده شد. به‌این صورت‌که براساس تحلیل سری زمانی، داده‌های اقلیمی معنی‌دار در دوره صحت‌سنجی برآورد شدند و سپس براساس داده‌های اقلیمی تخمینی، اقدام به برآورد عملکرد محصول براساس تحلیل رگرسیون شد. نتایج روند سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی در جدول ۵ آورده شده است.

نتایجی که از جدول ۵ بدست آمده نشان می‌دهد که درداده‌های هواشناسی‌استان آذربایجان‌شرقی مجموع ساعات آفتابی، میانگین سرعت باد، دمای بیشینه، دمای کمینه و در استان آذربایجان‌غربی دمای بیشینه، دمای کمینه و میانگین سرعت باد دارای روند معنی‌دار می‌باشد. در تحقیق قره‌خانی و قهرمان (۲۰۱۰)، سری‌های زمانی دمای نقطه شبنم در تبریز فاقد روند معنی‌دار بود

(۸). در تحقیق آذرخشی و همکاران (۲۰۱۳) سری‌های زمانی دمای کمینه در تبریز دارای روند معنی‌دار می‌باشد (۳). سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی نرمال می‌باشند. براساس ترسیم همبستگی‌نگار داده‌های دمای کمینه و دمای نقطه شبنم در استان آذربایجان‌شرقی و داده‌های مجموع ساعات آفتابی و میانگین دما، سری‌های زمانی تصادفی می‌باشند، بنابراین بجای استفاده از تحلیل استوکستیک در برآورد آنها از داده‌های واقعی استفاده شد. بعد از تحلیل اولیه سری‌های زمانی، اقدام به تعیین مرتبه‌های مدل براساس معیار آکائیک شد و در نهایت مدل‌های منتخب در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۵- نتایج آزمون من- کندال داده‌های اقلیمی

Table 5. The results of Mann-Kendal test of meterological data.

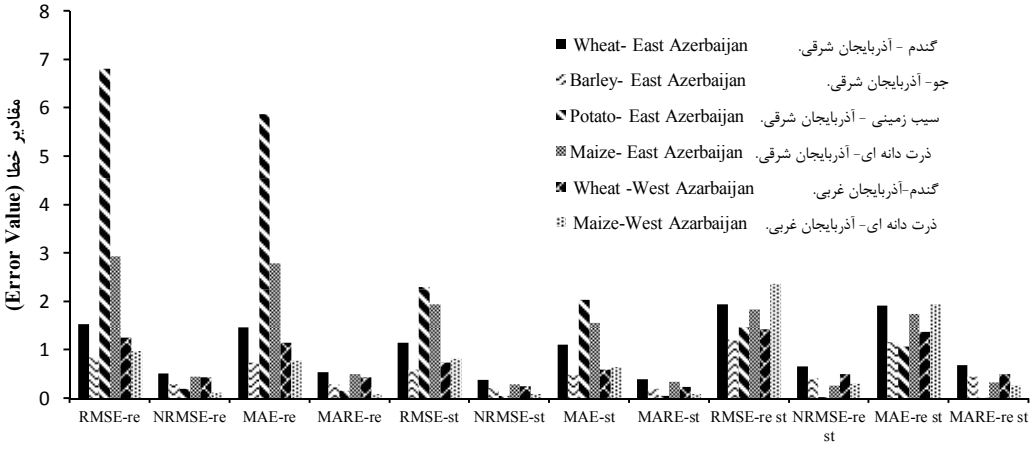
استان Province	دمای نقطه شبنم Dew point temperature	متوسط دما Mean temperature	بیشینه رطوبت Maximum relative humidity	میانگین سرعت باد Wind speed	دمای کمینه Minimum temperature	دمای بیشینه Maximum temperature	کمینه رطوبت Minimum relative humidity	مجموع ساعات آفتابی Total sunshine hours
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	C	C	-	A	A	A	C	A
آذربایجان غربی West Azarbaijan	-	C	C	A	A	A	C	C

A: Positive trend C: No trend C: بدون روند A: روند مثبت

جدول ٦- مدل منتخب سری‌های زمانی براساس معیار آکائیک و آزمون نکویی برازش

Table 6. The selective model of time series based on AIC criteria and diagnostic

استان Province	بیشینه رطوبت Maximum relative humidity	متوسط دما Mean temperature	میانگین سرعت باد Wind speed	دمای کمینه Minimum temperature	دمای بیشینه Maximum temperature	کمینه رطوبت Minimum relative humidity	مجموع ساعات آفتابی Total sunshine hours
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	-	ARIMA(3,0,3)	ARIMA(1,1,3)	-	ARIMA(0,1,3)	ARIMA(1,0,0)	ARIMA(0,1,2)
آذربایجان غربی West Azarbaijan	ARIMA(0,0,3)	-	ARIMA(0,1,3)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(0,1,2)	ARIMA(0,0,1)	-

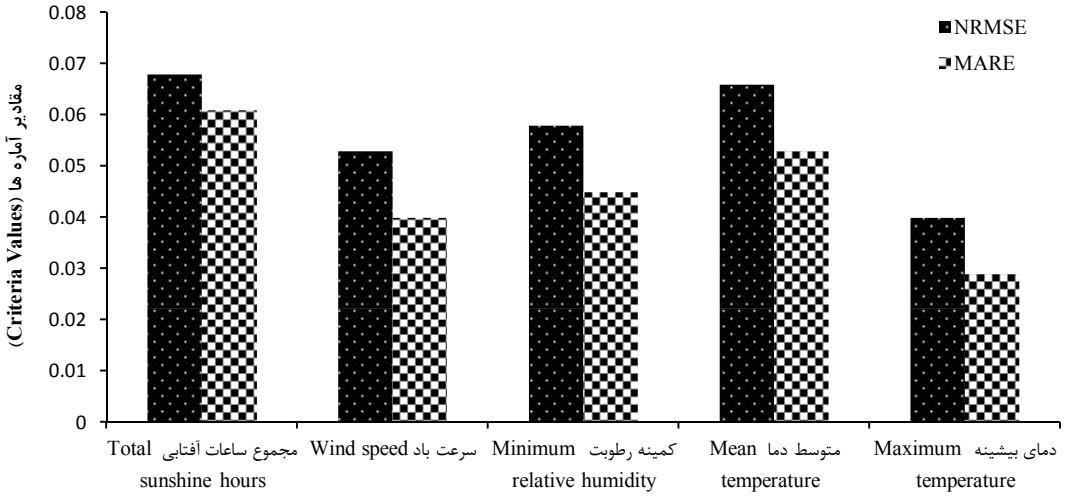


شکل ۵- ارزیابی کارایی روش‌های برآورد عملکرد محصول در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی

Figure 5. Evaluation the performance of crop yield estimation methods in East and West Azerbaijan Provinces.

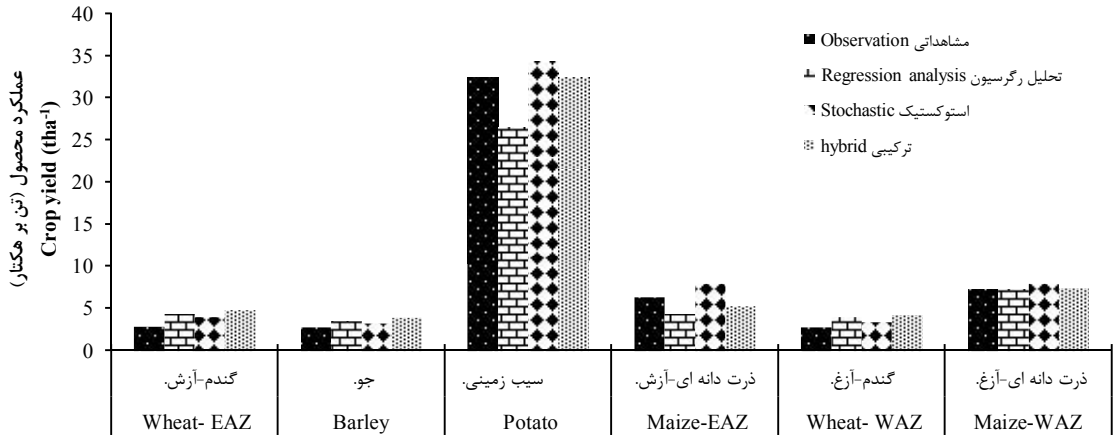
در نهایت با توجه به مدل‌های منتخب اقدام به شبیه‌سازی عملکرد محصولات شد. ارزیابی عملکرد محصولات براساس معیارهای خطا در شکل (۵) آورده شده است.

با توجه به شکل ۵ و مقادیر آماره‌های خطا، میزان عملکرد محصول با روش استوکسیتک نسبت به روش تحلیل رگرسیون دارای خطای کمتری است. این مساله دقت بالای تحلیل سری زمانی را در برآورد محصول نشان می‌دهد. مقایسه متوسط آماره‌های خطا برای تمام محصولات در هر دو استان حاکی از کاهش ۴۷/۰۸ درصد RMSE از روش تحلیل رگرسیون به روش استوکستیک و ۲۶/۱۶ درصد از روش توام به استوکستیک، ۴۹/۵۳ درصد MAE از روش تحلیل رگرسیون به روش استوستیک و ۳۰/۳۲ درصد از روش توام به استوکستیک بود. در مقایسه روش توام استوکستیک – اقلیمی با روش استوکستیک در اکثر مواقع روش استوکستیک دارای دقت بالایی است بجز برآورد عملکرد محصول سیب‌زمینی و ذرت دانه‌ای در استان آذربایجان‌شرقی. یکی از دلایل این مساله می‌تواند ناشی از دقت برآورد داده‌های هواشناسی باشد که نتایج برآورد در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل (۶) داده‌های سرعت باد و دمای بیشینه دارای کمینه مقدار خطا می‌باشند. با مروری بر معادلات حاصل از تحلیل رگرسیون و ضرایب حاصل از آن، این دو داده که دارای کمینه خطا می‌باشند در هر دو معادله وجود دارند و در معادلات حاصل از تحلیل رگرسیون ضرایب این داده‌ها دارای مقادیر بالایی هستند. بنابراین روش توام زمانی که داده‌های دخیل در آن با دقت بالایی برآورد شوند، از کارایی بالایی برخوردار است. همچنین مقایسه‌ای بین میانگین عملکرد محصول مشاهداتی و شبیه‌سازی حاصل از سه روش انجام گرفت که نتایج در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ٦- ارزیابی کارایی مدلسازی سری زمانی در برآورد پارامترهای هواشناسی

Figure 6. Evaluation the performance of time series modeling regard to meteorological parameters estimation.



شکل ۷- مقایسه میانگین عملکرد محصول مشاهداتی و شبیه‌سازی در دو استان (آذربایجان شرقی: آزش، آذربایجان غربی: آزغ)

Figure 7. Mean comparison of observation and simulation crop yield in two provinces (East Azerbaijan: EAZ, d WestAzerbaijan (WAZ).

با توجه به شکل (۷) نتایج حاصل از شبیه‌سازی در اکثر موارد دارای بیش‌برآورد هستند مگر روش‌های تحلیل رگرسیون و توام رگرسیون-استوکستیک محصولات ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی که دارای کم‌برآورد هستند. همچنین اگر از خطای (NRMSE-MARE) سه روش شبیه‌سازی برای کل محصولات میانگین گرفته شود، میزان خطای مربوط به گندم بیشترین و سیب‌زمینی کمترین خواهد بود،به‌طوری که میزان کاهش NRMSE از گندم به سیب‌زمینی ۴۴/۶۸ درصد و MARE ۴۱/۶۶ درصد بود.

نتیجه‌گیری کلی

پیش‌بینی عملکرد محصولات با روشی کارآمد با توجه به افزایش تقاضای روزافزون جمعیت در بخش تامین ماده غذایی دارای نقش مهمی است. در این تحقیق کارایی رویکردهای اقلیمی، استوکستیکی، اقلیمی- استوکستیکی در تخمین برآورد محصول مورد استفاده قرار گرفتند. افزایش معنی‌دار روند داده‌های میانگین سرعت باد، دمای کمینه و بیشینه می‌تواند ناشی تغییرات اقلیمی باشد که یکی از اثرات آن در بیلان آبی دریاچه ارومیه کاملاً آشکار می‌شود. بنابراین روند عملکرد محصولات استان آذربایجان غربی کمتر از آذربایجان شرقی است. تحلیل اولیه سری‌های زمانی نیز از مسایل بسیار مهمی بود، چرا که حذف ناایستایی سری زمانی با استفاده از عملگر تفاضل میزان دقت مدلسازی را بالا می‌برد. در اکثر موارد رویکرد استوکستیکی دارای خطای کمی بود. با توجه به تحقیقات بسیار اندک در زمینه برآورد عملکرد محصولات با رویکرد استوکستیک در ایران، مدلسازی وابستگی زمانی و روند پردازش سری زمانی منجر به بهبود نتایج شده است. روش توام زمانی که داده‌های دخیل در آن با دقت بالایی برآورد شوند از کارایی بالایی برخوردار است، به‌طوری‌که مقایسه متوسط خطا در محصولات مختلف حاکی از کمینه مقدار خطا در محصول سیب‌زمینی است. با توجه به نتایج در روش توام باید محدوده‌ای از دقت در برآورد عملکرد محصول مدنظر قرار گیرد که استفاده از این محدوده کارایی روش توام را افزایش می‌دهد. همچنین یکی از عوامل افزایش دقت روش توام می‌تواند مربوط به بهینه‌سازی پارامترهای تخمینی

باشد، چرا کـه ضـرایب مربوطـه نقـش مسـتقیمی در برآورد عملکرد محصول با این روش داشتند. بنابراین پیش‌بینی و بـرآورد عملکـرد محصـول مـی‌توانـد در برنامه‌ریزی‌هـای آتـی کشـاورزی، تعیـین اعتبـار لازم توسط دولت برای خرید محصول، تعیین میـزان انبـار محصول، تعیین قیمت خرید با هـدف تـامین بهتـرین منابع کشور، برنامه‌ریزی مالی بخش کشاورزی کمـک شایانی بنماید.

منابع

1. Ahmad, D., Chani, M.I., and Humayon, A.A. 2017. Major crops forecasting area, production and yield evidence from agriculture sector of Pakistan. Sarhad J. Agric., 33(3): 385-396.
2. Amin, M.R., Zhang, J., and Yang, M. 2015. Effects of climate change on the yield and cropping area of major food crops: A case of Bangladesh. Sustain., 7: 898-915.
3. Azarakhsh, M.J., Farzadmehr, M., Eslah, M., and Sahabi, H. 2013. Investigation of annual and seasonal changes in precipitation and temperature parameters in different climate zones of Iran. J. Range Watershed Manag., 66(1): 1-16. (In Persian)
4. Bejo, S.K., Mustaffha, S., and Wan Ismail, W.I. 2014. Application of Artificial Neural Network in Predicting Crop Yield: A Review. J. Food Sci. Engin., 4: 1-9.
5. Biswas, B., Dhaliwal, L.K., Singh, S.P., and Sandhu, S.K. 2014. Forecasting wheat production using ARIMA model in Punjab. Int. J. Agric. Sci., 10(1): 158-161.
6. Chikodzi, D. 2016. Crop yield sensitivity to climatic variability as the basis for creating climate resilient agriculture. American J. Climate Change., 5: 69-76.
7. Eini Narghese, H., Deihim Fard, R., Sofizadeh, S., Haghigat, M., and Nori, O. 2015. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. J. Crop Prod., 8(4): 203-224. (In Persian)
8. Gharekhani, A., and Ghahreman, N. 2010. Seasonal and annual trend of relative humidity and dew point temperature in several climatic regions of Iran. J. Water Soil, 24(4): 636-646. (In Persian)
9. Hossaini, M.T., Siosemarde, A., Fathi, P., and Siosemarde, M. 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. Agric. Res., 7(1): 41-54. (In Persian)
10. Karamouz, M., and Araghinejad, S. 2006. Advanced hydrology. 2nd ed. Amirkabir University of Technology, Tehran, 464p. (In Persian)
11. Kumar Paul, R., and Sinha, K. 2016. Forecasting crop yield: a comparative assessment of arimax and narx model. RASHI., 1(1): 77-85.
12. Malmir, M. 2006. Low streamflow time series forecasting. MSc. Thesis in Water Resource Management, Tehran University. (In Persian)
13. Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar, B., and Hajarpoor, A. 2014. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province. J. Crop Prod., 7(4): 1-22. (In Persian)
14. Moradi, R., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2013. Effect of climate change on maize production and shifting of planting date as adaptation strategy in Mashhad. Agric. Sci. Sustain. Prod., 23(4): 111-130. (In Persian)
15. Mosaedi, A., and Kahe, M. 2008. The assessing precipitation effects on yield productions of wheat and barley in Golestan Province. J. Agric. Sci. Natur. Resour., 15(4): 206-218.
16. Parek, F.P., and Suryanarayana, T.M.V. 2012. Impact of climatological parameters on yield of wheat using neural network fitting. Int. J. Modern engine. Res., 2(5): 3534-3537.
17. Rahmani, E., Khalili, A., and Liaghat, A. 2008. Quantitative survey of drought

effects on barley yield in east azerbaijan by classical statistical methods. J. Water Soil., 12 (44): 25-36. (In Persian)
18. Shabani, B., Mousavi Baygi, M., Jabari Noghabi, M., and Ghareman, B. 2013. Modeling and prediction of monthly max & mintemperatures of Mashhad plain using time series models. J. Water Soil., 27(5): 896-906. (In Persian)
19. Verma, U., Koehler, W., and Goyal, M. 2012. A study on yield trends of different crops using ARIMA analysis. Environ. Ecol., 30(4A): 1459-1463.
20. Yang, G., Bowling, L.C., Cherkauer, K.A., Pijanowski, B. C., and Niyogi, D. 2009. Hydroclimatic response of watersheds to urban intensity: An observational and modeling-based analysis for the White River Basin, Indiana. J. Hydrometeorol., 11: 122-138.
21. Zare Abyaneh, H. 2013. Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand J. Water Soil Sci., 23(1): 39-56. (In Persian)