

مقاله علمی-پژوهشی

آینده پژوهی نیازآبی گندم با الگوهای سری‌های زمانی در شرق دریاچه ارومیه

ابوالفضل ناصری^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳۰

چکیده

با توجه به شرایط موجود و چشم‌انداز وضعیت دریاچه ارومیه، آینده‌پژوهی متغیرهای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری از جمله تبخیر و تعرق گیاهان زراعی و باغی به منظور اصلاح الگوی کشت در شرق این دریاچه از اولویت‌های پژوهش کشاورزی است. در این پژوهش، سری زمانی نیازآبی گندم در شانزده منطقه استان آذربایجان شرقی واقع در شرق دریاچه ارومیه با استفاده از روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ و ضرایب گیاهی منطقه‌ای تعیین گردید. طول دوره تحلیل ۸۰ سال زراعی از سال ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۹۶-۹۷ بود که داده‌های ۵۰ سال (از سال زراعی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۷۹-۸۰) برای الگوبندی، از داده‌های ۱۷ سال (از سال ۱۳۸۰-۸۱ تا ۱۳۹۶-۹۷) برای آزمون و از داده‌های ۱۳ سال آینده (از سال ۱۳۹۷-۹۸ تا ۱۴۱۰-۱۴۰۹) برای آینده‌پژوهی استفاده گردید. مناسب‌ترین الگوی سری زمانی از بین هیجده الگوی ممکن برای نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم سرد از جمله آذرشهر، اسکو، بناب، تبریز، جلفا، مراغه، ملکان، مرند و میانه به صورت اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (۰،۱،۱) و برای مناطق با اقلیم فراسرد از جمله اهر، بستان‌آباد، سراب، شبستر، کلبر، هریس و هشترود به صورت الگوی روند نمایی بود. میانگین نیازآبی گندم در آذربایجان شرقی در ۶۷ سال گذشته ۴۷۸ میلی‌متر و در ۱۳ سال آینده ۵۰۰ میلی‌متر به دست آمد. یافته‌های پژوهش برای اصلاح الگوی کشت در شرق دریاچه ارومیه، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری در شرایط آبیاری کامل یا کم آبیاری و کاهش آسیب‌های خشک‌سالی قابل استفاده و مفید است.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، الگوی کشت، پنمن مانیتیت، مدیریت آبیاری، نیاز آبی

مقدمه

با توجه به وضعیت موجود دریاچه ارومیه، بهره‌برداری بهینه از منابع آب محدود موجود در شرق دریاچه از اولویت‌های اساسی مدیریت و برنامه‌ریزی کشاورزی پایدار در منطقه به شمار می‌رود. اولین گام در مسیر صیانت از منابع آب در شرق دریاچه، برنامه‌ریزی درست آبیاری و ترویج الگوی بهینه کشت محصولات زراعی و باغی است که این دو نیز مبتنی بر الگوبندی کمی، تحلیل روند و آینده‌پژوهی مقدار نیازآبی محصولات استراتژیک از جمله گندم است. الگوبندی و آینده‌پژوهی بسیاری از مؤلفه‌های چرخه آب در طبیعت به‌طور معمول با روش‌های سری‌های زمانی صورت می‌گیرد. زیرا این روش‌ها به‌عنوان ابزار قدرتمند گذشته‌نگر توانمندی و قابلیت خود را در الگوبندی و آینده‌پژوهی بسیاری از متغیرهای طراحی و مدیریت در

مهندسی آب نشان داده است. از مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص تحلیل نیازآبی گیاهان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. کریم‌زاده مقدم و قهرمان (Karimzadeh Moghaddam and Ghahraman, 2001) روند تغییرات نیازآبی گیاه مرجع در ایستگاه مشهد از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۹ را تحلیل نموده و گزارش نموده‌اند که این متغیر در ۷۵ درصد موارد (سه چارک انتهایی) به‌صورت افزایشی تغییر نموده است. تحلیل، الگوبندی و آینده‌پژوهی تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ایستگاه‌های مختلف استان فارس با الگوی فصلی ARIMA توسط فولادوند (Fouladmand, 2010) و در ایستگاه باجگاه توسط شیروانی و هنر (Shirvani and Honar, 2011) نشان داد روش‌های سری زمانی قابلیت و توانمندی ویژه‌ای در الگوبندی و آینده‌پژوهی این متغیر، دارند. نتایج پژوهش فولادوند (Fouladmand, 2010) نشان داد در ایستگاه‌های آباد، اقلید، داراب، زرقان، سد درودزن، شیراز، فسا و لار در استان فارس بین مقادیر محاسبه شده با پیش‌بینی شده تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. لذا با استفاده از مدل‌های سری زمانی برای هر ایستگاه مقادیر ماهانه تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع تا

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

Email: nasseri_ab@yahoo.com

مصنوعی پیش‌بینی نموده‌اند. فتح‌آبادی و همکاران (Fathabadi et al., 2008) با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و سری‌های زمانی دبی ماهانه طالقان‌رود را در گام زمانی آینده پیش‌بینی نموده‌اند و مناسب‌ترین الگو را ARIMA فصلی پیشنهاد نموده‌اند. نخعی و میراعرابی (Nakhaei and Mirarabi, 2010) با استفاده از سری داده‌های سال‌های گذشته دبی جریان در ایستگاه قره‌قانو و با الگوی فصلی ضربی باکس جنکینس به پیش‌بینی دبی رودخانه سومبار (در خراسان شمالی) پرداخته‌اند. در مورد بررسی حرکت آب در خاک، ناصری (Nasseri, 2004) با تحلیل سری‌های زمانی نفوذ آب از اراضی کشاورزی، سری نفوذ را به‌صورت ARIMA الگوبندی نموده است.

بررسی منابع نشان داد علیرغم اهمیت پیش‌بینی نیازآبی گیاهان زراعی و باغی در برنامه ریزی‌های منطقه‌ای، مطالعات محدودی در این خصوص انجام گرفته است. از سوی دیگر، توانمندی و قابلیت روش‌های سری زمانی به‌عنوان ابزار قدرتمند گذشته‌نگر در الگوبندی و آینده‌پژوهی بسیاری از متغیرهای طراحی و مدیریت در مهندسی آب تأیید شده است. بنابراین با توجه به ضرورت الگوبندی کمی و آینده‌پژوهی نیازآبی گندم در شرق دریاچه ارومیه به‌منظور بهره‌برداری پایدار از منابع آب موجود و محدود در حاشیه این دریاچه و نیز با عنایت به توانمندی روش‌های سری زمانی در آینده‌پژوهی متغیرهای طراحی و مدیریت آبیاری، اهداف این پژوهش عبارت بود از: الف) تحلیل و الگوبندی تغییرات زمانی نیازآبی گندم در شانزده منطقه از آذربایجان شرقی با استفاده از هیجده روش سری زمانی. ب) آینده‌پژوهی نیازآبی گندم در شرق دریاچه ارومیه برای سیزده سال آینده تا سال ۱۴۱۰. نوآوری مشخص پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر تبیین نمود:

الف) تحلیل زمانی نیازآبی گندم از سال ۱۳۳۰-۳۱ تا سال ۹۷-۱۳۹۶ در استان آذربایجان شرقی که برای اولین بار صورت می‌گیرد. ب) آینده‌پژوهی نیازآبی گندم از سال ۹۸-۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۰-۱۴۰۹ در آذربایجان شرقی.

یافته‌های پژوهش حاضر برای برنامه‌ریزی درست آبیاری، ترویج الگوی بهینه کشت و کاهش خسارات خشک‌سالی با هدف بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری در شرق دریاچه ارومیه می‌تواند بسیار مفید و سودمند باشد.

مواد و روش‌ها

الف) مشخصات جغرافیایی مناطق مورد بررسی

در این پژوهش تعیین و شناسایی روند و آینده‌پژوهی سری‌های زمانی نیازآبی گندم با استفاده از روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ و ضرایب گیاهی منطقه‌ای انجام گردید. این پژوهش برای شانزده شهرستان

سال ۱۴۰۳ پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داده روند تغییرات تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع پیش‌بینی شده در استان فارس صعودی است. نتایج پژوهش شیروانی و هنر (Shirvani and Honar, 2011) با الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک فصلی نشان داد مقادیر ماهانه تبخیر تعرق به مقادیر ماه قبل و مقادیر هفتگی به یک و دو هفته قبل وابسته بود. از این الگو می‌توان برای یافتن داده گم‌شده نیز استفاده نمود. زارع ایبانه و همکاران (Zare Abyaneh et al., 2014) نیز برای الگوبندی و آینده‌پژوهی نیازآبی گیاه مرجع از الگوی فصلی ARIMA در استان کرمانشاه استفاده نموده و توانمندی این روش را در پیش‌بینی این متغیر، تأیید نموده‌اند. علاوه بر تحلیل و آینده‌پژوهی تبخیر و تعرق گیاهان، برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها و کاربردهای سری‌های زمانی در علوم و مهندسی آب را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود. سالاس و همکاران (Salas et al., 1980) مناسب‌ترین الگو برای تحلیل مطالعات هیدرولوژی و اقلیمی را الگوی ARIMA معرفی نموده‌اند. همچنین سن (Sen, 1998) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده‌اند. بورلاندو و همکاران (Burlando et al., 1996) برای پیش‌بینی بارش از الگوی ARIMA استفاده کرده و گزارش نموده‌اند که افزایش طول مدت بارش موجب دقیق‌تر شدن نتایج الگوبندی گردیده است. همچنین قویدل رحیمی و زاهدی (Zahedi and Ghavidel Rahimi, 2002) با استفاده از الگوی هالت-وینترز، بارش در پهنه حوضه آبریز ارومیه را تا سال ۲۰۱۰ پیش‌بینی نموده‌اند.

در سال‌های اخیر روش‌های مختلف سری زمانی برای تحلیل، بررسی روند و آینده‌پژوهی سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته و کارایی آن مورد تأیید قرار گرفته است (Choubin et al., 2017; Gibrilla et al., 2018; Taweessin et al., 2018; Yang et al., 2017). سوی دیگر، در سال‌های اخیر پژوهشگران متعدد (Irvine et al., 2015; Vandersteen et al., 2015; Johnson et al., 2012; Adhikary et al., 2012; Rau et al., 2012; Rakhshandehroo and Amiri, 2012; Peterson et al., 2010; Cuthbert, 2010; Hatch et al., 2010; Cirkel et al., 2010)، مطالعات آب‌های زیرزمینی را با استفاده از سری‌های زمانی تحلیل نموده و یافته‌های موفقیت‌آمیز را گزارش نموده‌اند. Castellano-Mendez et al. (2004) با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و روش باکس-جنکینس رفتار روزانه و ماهانه رواناب رودخانه سالاس در کشور اسپانیا را پیش‌بینی نموده و نتایج را با روش شبکه عصبی مصنوعی مقایسه نموده‌اند. ترازکار و صدق آمیز (Tarazkar and Sedghamiz, 2008)

دبی رودخانه کرخه در دو ایستگاه جلوگیر و پای پل را براساس داده‌های ۴۵ ساله و با روش‌های سری زمانی ARIMA و شبکه

ران (Run) ارزیابی گردید.

سری نیازآبی گندم مجموعه ای از مقادیر نیازآبی گندم به مدت ۶۷ سال در شرایط اقلیمی شرق دریاچه ارومیه بود که برحسب سال زراعی مرتب شده و هدف از تحلیل آن، توصیف، الگوبندی، آزمون و آینده پژوهی بود. توصیف فرآیند شامل رسم نمودار تغییرات زمانی و مکانی داده ها، تشخیص ایستایی و نایستایی آن و تحلیل خودهمبستگی سری نیازآبی گندم بود. آینده پژوهی شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده های تاریخی ۶۷ سال گذشته بود. بنابراین از داده های ۵۰ سال (از سال زراعی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۷۹-۸۰) برای الگوبندی، از داده های ۱۷ سال (از سال ۱۳۸۰-۸۱ تا ۱۳۹۷-۹۸) برای آزمون و از داده های ۱۳ سال آینده (از سال ۱۳۹۷-۹۸ تا ۱۴۱۰-۱۴۰۹) برای آینده پژوهی نیازآبی گندم در آذربایجان شرقی استفاده گردید.

ج) نحوه برآورد نیازآبی گندم

سپس، نیازآبی گندم برای شرایط اقلیمی شانزده منطقه برای ماه های فصل رشد محصول ۶۷ سال گذشته با روش پنمن مانیت فائو ۵۶ و از رابطه های ۱ و ۲ به دست آمد (Allen et al., 1998; Alizadeh and Kamali, 2007):

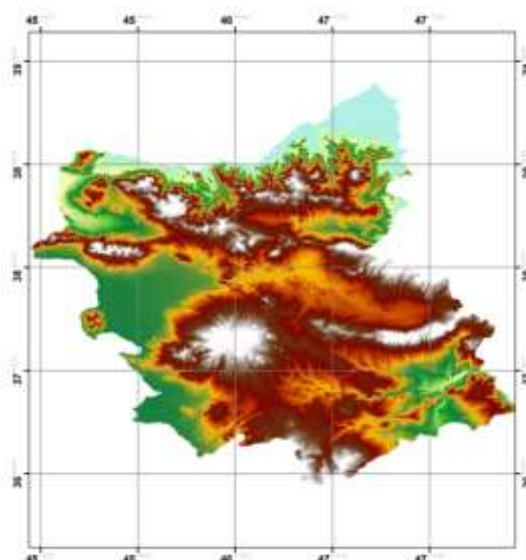
$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) \gamma \left[\frac{890}{T + 273} \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} U_2 (e_a - e_d) \quad (1)$$

$$ET_c = kc ET_o \quad (2)$$

(منطقه) استان آذربایجان شرقی واقع در شرق دریاچه ارومیه و با موقعیت جغرافیایی از ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی انجام شد (جدول ۱). برآورد، تحلیل و آینده پژوهی نیازآبی گندم با استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه های همدید واقع در شهرستان های آذرشهر، اسکو، اهر، بستان آباد، بناب، تبریز، جلفا، سراب، شبستر، کلیبر، مراغه، مرند، ملکان، میانه، هریس و هشترود و ضرایب گیاهی گندم در این مناطق صورت گرفت (شکل ۱). ضریب گیاهی برآیند چهار ضریب حاصل از پژوهش های منطقه ای (عنابی میلانی، ۱۳۸۸)، ضریب پیشنهادی در کتاب نیازآبی دکتر فرشی و همکاران (۱۳۷۶) و نشریه ۵۶ فائو (Allen et al., 1998) و توصیه ناصری و همکاران (۱۳۹۶) بود.

ب) نحوه پردازش داده ها

ابتدا داده های لازم برای برآورد نیازآبی گندم در طول دوره ۶۷ سال از سال زراعی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۹۶-۹۷، شامل میانگین دمای هوا، سرعت باد در ارتفاع دومتری، کمبود فشار بخار، شیب منحنی فشار بخار، ضریب رطوبتی، شار گرمایی خاک مزرعه، تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی و ضریب گیاهی گندم در شانزده منطقه از استان آذربایجان شرقی در محیط نرم افزاری اکسل (Excel) منظم و مرتب گردید. داده های گمشده، ناقص یا محدود در هر یک از مناطق به روش همبستگی بازسازی گردید. نرمال بودن توزیع داده ها با آزمون کلموگراف-اسمیرنف بررسی گردید. داده های خارج از محدوده $\bar{X} \pm 3\sigma$ به عنوان داده پرت شناسایی گردید. همگنی داده ها با آزمون



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد بررسی برای برآورد، تحلیل و آینده پژوهی نیازآبی گندم

جدول ۱- طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا و اقلیم برای مناطق مورد بررسی

ردیف	مناطق	اقليم منطقه (خلیلي، ۱۳۸۳)	طول جغرافيايی (درجه اعشار)	عرض جغرافيايی (درجه اعشار)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	آذرشهر	نیمه خشک سرد	۴۵/۹۷	۳۷/۷۵	۱۳۸۲
۲	اسکو	نیمه خشک سرد	۴۶/۱۲	۳۷/۹۲	۱۴۹۲
۳	اهر	نیمه خشک فراسرد	۴۷/۱۰	۳۸/۴۷	۱۳۴۲
۴	بستان آباد	نیمه خشک فراسرد	۴۶/۸۳	۳۷/۸۵	۱۷۳۰
۵	بناب	نیمه خشک سرد	۴۶/۰۵	۳۷/۳۳	۱۲۹۰
۶	تبریز	نیمه خشک سرد	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۴۰۲
۷	جلفا	نیمه خشک سرد	۴۵/۶۳	۳۸/۹۳	۷۰۷
۸	سراب	نیمه خشک فراسرد	۴۷/۵۷	۳۷/۹۵	۱۶۸۳
۹	شبستر	نیمه خشک فراسرد	۴۵/۷۰	۳۸/۱۸	۱۴۱۷
۱۰	کلیبر	نیمه خشک فراسرد	۴۷/۰۳	۳۸/۸۷	۱۱۱۱
۱۱	مراغه	نیمه خشک سرد	۴۶/۲۳	۳۷/۳۸	۱۴۵۱
۱۲	مرند	نیمه خشک سرد	۴۵/۷۷	۳۸/۴۳	۱۳۳۱
۱۳	ملکان	نیمه خشک سرد	۴۶/۱۰	۳۷/۱۳	۱۳۰۰
۱۴	میانه	نیمه خشک سرد	۴۷/۷۲	۳۷/۴۲	۱۱۰۱
۱۵	هریس	نیمه خشک فراسرد	۴۷/۱۲	۳۸/۲۵	۱۹۱۴
۱۶	هشتگرد	نیمه خشک فراسرد	۴۷/۰۵	۳۷/۴۷	۱۶۳۲

دوجزئی (Simple moving average of 2 terms)،
هموارسازی نمایی ساده (Simple exponential smoothing)،
هموارسازی نمایی خطی براون (Brown's linear exponential smoothing)،
هموارسازی نمایی خطی هالت (Holt's linear smoothing)،
هموارسازی نمایی خطی براون (exponential smoothing)،
هموارسازی نمایی کوادراتیک براون (Brown's quadratic exponential smoothing)،
هموارسازی نمایی وینتر (Winter exponential smoothing)،
الگوهای اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) شامل $(0, 1, 1)$ ،
 $ARIMA(1, 1, 1)$ ، $ARIMA(0, 1, 2)$ ، $ARIMA(1, 1, 2)$ ،
 $ARIMA(2, 1, 2)$ بودند.

برای تشخیص الگوی اولیه برای سری زمانی تبخیر و تعرق گندم از تابع خودهمبستگی نمونه (یا ACF_k) و تابع خودهمبستگی جزء (یا $PACF_k$) استفاده گردید (Brockwell and Davis, 1996; Chatfield, 1996). تابع خودهمبستگی نمونه در سری‌های تبخیر و تعرق گندم عبارت از همبستگی بین سری تبخیر و تعرق گندم با همان سری در تأخیر سال k است. مقدار ACF_k از رابطه ۳ برآورد گردید (Chatfield, 2016):

$$AC_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (ETc_t - \overline{ETc})(ETc_{t+k} - \overline{ETc})}{\sum_t (ETc_t - \overline{ETc})^2} \quad (3)$$

که در آن AC_k ضریب خودهمستگی، سری تنخیر و تعرق گندم

که در آن: $E T_o$ = نیاز آبی گیاه مرجع (mm d^{-1})

Δ = شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما در نقطه‌ای که دمای آن T باشد ($\text{Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

R_n = تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)

G = شار گرما به داخل خاک مزرعه ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)

γ = ضریب سایکرومتری ($\text{Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

T = دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($^\circ\text{C}$)

U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m s^{-1})

$e_a - e_d$ = کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری از سطح زمین (Kpa) که e_a و e_d به ترتیب فشار بخار واقعی آب و فشار واقعی اشباع (Kpa) است.

$$k_C = \text{ضریب گیاهی، گندم در منطقه}$$
$$ET_c = \text{نیاز آبی، گندم (mm d}^{-1}\text{)}.$$

(د) کاربرد سری‌های زمانی برای تحلیل، الگوبندی و آینده‌پژوهی نیازآنی گندم

در این پژوهش برای الگوبندی، آزمون و آینده‌پژوهی نیازآبی
کندم در شانزده شهرستان (منطقه) آذربایجان شرقی از هیجده روش
سری‌های زمانی استفاده گردید. این روش‌ها عبارت از گام تصادفی
(Random walk)، گام تصادفی با ضریب $0/44$ ، میانگین ثابت
(Constant mean) برابر با 468 ، روند خطی (Linear trend)،
روند کوادراتیک (Quadratic trend)، روند نمایی (Exponential
trend)، روند منحنی S (S-curve trend)، میانگین متحرک ساده

برآورد گردید:

$$AIC = \ln \sigma^2 + \frac{2}{T} (p + q) \quad (۸)$$

که در آن σ^2 واریانس داده ها بوده و بقیه متغیرها و پارامترها قبلاً معرفی شده است.

نتایج و بحث

تغییرات زمانی نیازآبی گندم در مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی از سال آبی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۹۶-۹۷ در شکل ۲ ارائه شده است. میانگین درازمدت (۶۷ ساله) نیازآبی گندم در استان از ۲۹۴ تا ۶۵۳ میلی متر در طول فصل رشد متغیر بود. تغییرات مکانی میانگین درازمدت نیازآبی گندم در شکل ۳ نشان داده شده است. ترتیب صعودی نیازآبی درازمدت گندم در طول فصل در مناطق مختلف به این صورت بود، کلپیر (۲۹۴ میلی متر)، بستان آباد (۳۷۵ میلی متر)، هشتروند (۳۸۱ میلی متر)، هریس (۴۰۸ میلی متر)، سراب (۴۲۴ میلی متر)، اهر (۴۵۲ میلی متر)، آذرشهر (۴۶۸ میلی متر)، ملکان (۴۶۸ میلی متر)، اسکو (۴۷۳ میلی متر)، شبستر (۵۱۷ میلی متر)، میانه (۵۱۷ میلی متر)، تبریز (۵۴۴ میلی متر)، مرند (۵۵۰ میلی متر)، مراغه (۵۵۵ میلی متر)، بناب (۵۶۶ میلی متر) و جلفا (۶۵۳ میلی متر) بود. بنابراین کمترین و بیشترین مقدار این متغیر در کلپیر و جلفا بود. دلیل این تفاوت به تفاوت دمای هوا، سرعت باد، تشعشعات خورشیدی، رویت نسبی هوا و تبخیر از سطح آزاد آب مرتبط است. میانگین درازمدت مقدار نیازآبی گندم در استان آذربایجان شرقی ۴۷۸ میلی متر در فصل رشد بود.

بر مبنای سری زمانی نیازآبی گندم در مناطق مختلف، تابع های خودهمبستگی (ACF) خودهمبستگی جزء (PACF) تا ۱۷ سال تأخیر بررسی گردید. نمودار ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء برای نیازآبی گندم در آذرشهر برای نمونه در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل، ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء به صورت ستون های عمودی و حدود بالا و پایین (محدوده اطمینان) در امتداد محور افقی (تعداد تأخیرها) رسم شده است. برای تمام مناطق موردبررسی، در هر دو نمودار با افزایش تعداد تأخیرها، روند کاهشی ضرایب و در نهایت میرایی قابل مشاهده است. تغییرات فصلی معنی دار در هیچ کدام از دو نمودار مشاهده نگردید. نتایج نشان داد ضرایب خودهمبستگی تا سال دوم و خودهمبستگی جزء در سال اول به ترتیب با ضرایب ۰/۴۵ و ۰/۵۱ معنی دار گردید. بنا بر معنی داری این ضرایب، هر دو الگوی اتو رگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) می تواند در الگوبندی سری نیازآبی گندم در مناطق مختلف نقش داشته باشند. از طرف دیگر، با توجه به روند موجود در تغییرات

در تأخیر k ، ETC_k میانگین سری تبخیر و تعرق گندم و ETC_t مقدار سری در زمان t و n تعداد مشاهدات سری (برحسب سال زراعی) می باشد. برای تابع خودهمبستگی جزء، دامنه بحرانی برابر $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$ پیشنهاد شده است (Chatfield, 2016).

تابع خودهمبستگی جزء (PAC_k) عبارت است از همبستگی بین سری تبخیر و تعرق گندم در زمان های $t+k$ و t وقتی که وابستگی خطی سری تبخیر و تعرق گندم در $t+1$ و $t+2$ و $t+3$ حذف شده باشد. تابع خودهمبستگی جزء برای تبخیر و تعرق گندم از رابطه ۴ برآورد گردید (Niroomand, 1997):

$$PAC_{kk} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & AC_1 & \dots & AC_1 \\ AC_1 & 1 & \dots & AC_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ AC_{k-1} & AC_{k-2} & \dots & AC_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & AC_1 & \dots & AC_1 \\ AC_1 & 1 & \dots & AC_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ AC_{k-1} & AC_{k-2} & \dots & 1 \end{vmatrix}} \quad (۴)$$

به صورت ویژه، ضرایب خودهمبستگی جزء برای تأخیرهای ۱ و ۲ به صورت رابطه ۵ برآورد گردید.

$$PAC_1 = AC_1 \quad (۵)$$

$$PAC_2 = (AC_2 - AC_1^2) / (1 - AC_1^2)$$

نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء تا تأخیرهای به تعداد یک سوم کل مشاهدات با خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار نشان داده می شود و در آن دامنه بحرانی به صورت خطوط موازی رسم می گردد.

با عنایت به الگوی نهایی و مناسب این پژوهش، الگوی اتو رگرسیو تلفیقی میانگین متحرک $ARIMA(p,d,q)$ و الگوی روند نمایی به صورت رابطه ۶ تشریح می شود. با عنایت به این که سایر الگوهای سری زمانی از نظر دقت دارای اولویت نبوده و به همین دلیل در این بخش تشریح نگردید.

$$ETC(t) = \rho_1 ETC(t-1) + \rho_2 ETC(t-2) + \dots + \rho_p ETC(t-p) + \theta_1 et-1 + \dots + \theta_q et-q \quad (۶)$$

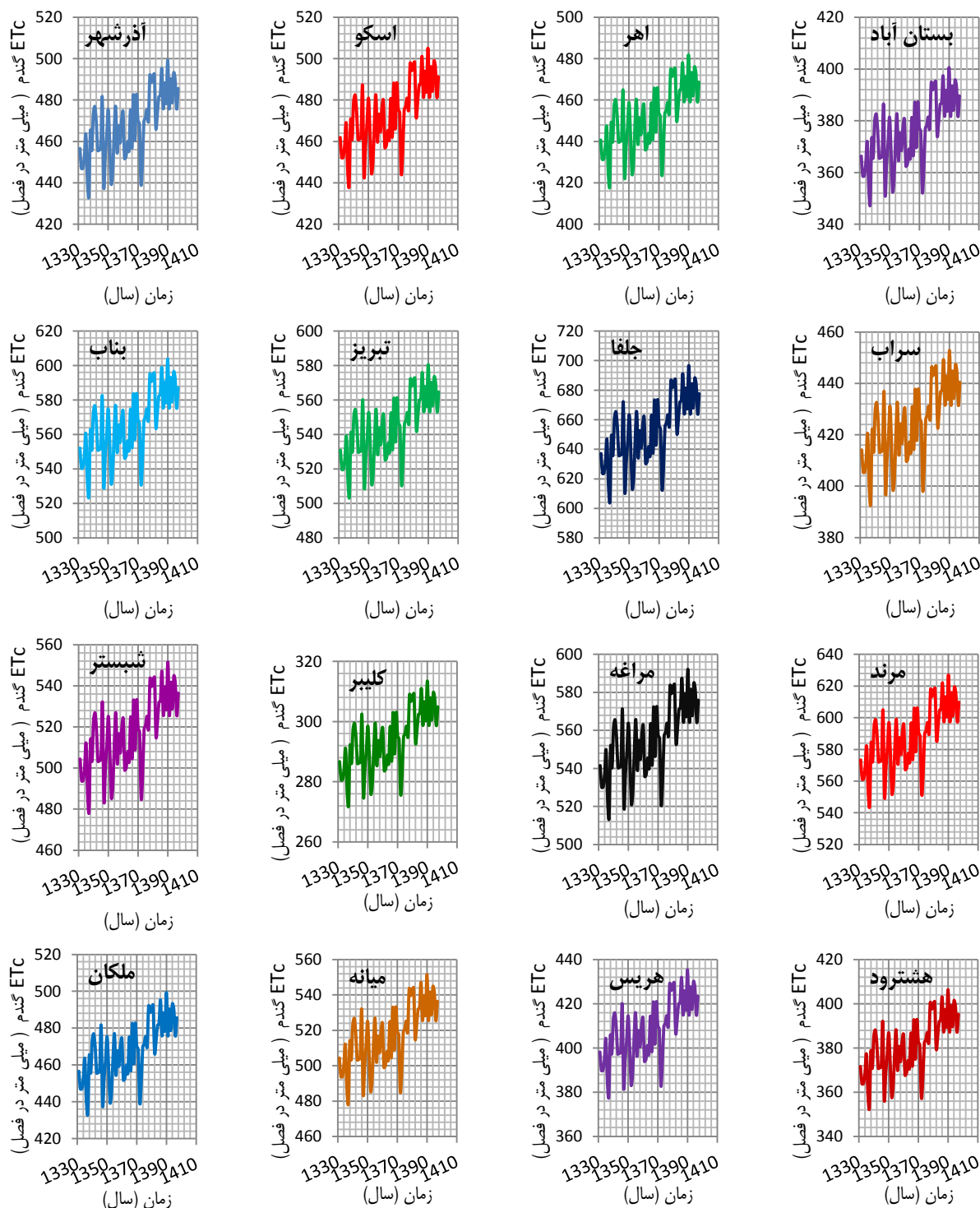
که در آن: p و q به ترتیب مراتب الگوی اتو رگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) و n تعداد مشاهدات سری است. ضرایب الگو یعنی ρ و θ با روش حداکثر درستنمایی با استفاده از نرم افزار MINITAB به دست آمد. الگوی روند نمایی به صورت رابطه ۷ می باشد.

$$ETC(t) = \text{Exp}(a + b t) \quad (۷)$$

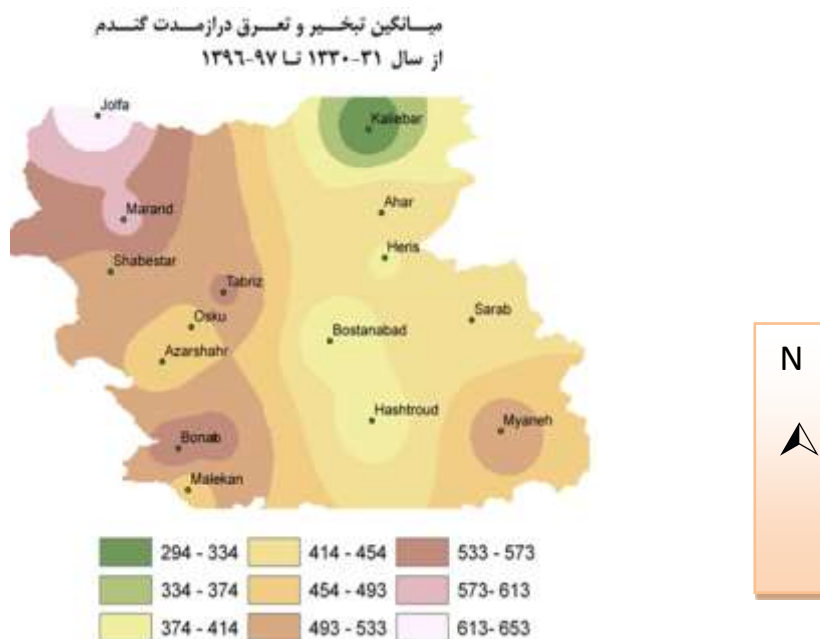
برای انتخاب بهترین الگوی سری زمانی از بین الگوهای مختلف، از شاخص معیار آگاهی آکائیک (AIC) به صورت رابطه ۸

تفکیک روند و ایستاسازی سری‌های نیازآبی از عمل یک‌بار تفاضلی استفاده گردید.

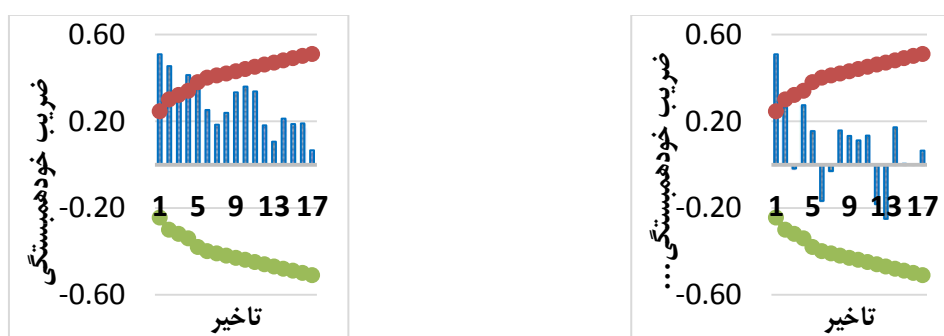
سری‌ها، الگوی رگرسیونی نیز احتمال دارد به‌عنوان الگوی مناسب اولیه پیشنهاد گردد. ارزیابی اولیه نشان داد سری نیازآبی گندم در مناطق مختلف در طول ۶۷ سال گذشته روند ناپایستایی داشت. برای



شکل ۲- سری زمانی نیازآبی گندم از سال آبی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۹۶-۹۷ در شهرستان‌های مختلف آذربایجان شرقی



شکل ۳- تغییرات مکانی میانگین درازمدت نیازآبی گندم (میلی متر در فصل رشد) در آذربایجان شرقی



شکل ۴- نمودار ضرایب خودهمبستگی (سمت چپ) و خودهمبستگی جزء (سمت راست) سری زمانی نیازآبی گندم در آذربایجان شرقی (برای نمونه شهرستان آذرشهر)

دست آمد.

بر مبنای آماره ارزیابی، سری زمانی برای نیازآبی گندم در مناطق آذرشهر، اسکو، بناب، تبریز و جلفا، مراغه، ملکان مرند و میانه الگوی $ARIMA(0, 1, 1)$ و برای سری زمانی داده‌ها در مناطق اهر، بستان‌آباد، سراب، شبستر، کلیبر، هریس و هشتروند الگوی روند نمایی به‌عنوان مناسب‌ترین الگو تشخیص داده شد. بنابراین مناسب‌ترین الگو برای سری نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم سرد استان به‌صورت $ARIMA(0, 1, 1)$ و در مناطق با اقلیم فراسرد استان الگوی روند نمایی بود.

پس از ارزیابی و تحلیل ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء، الگوی مناسب سری زمانی بر مبنای کمینه بودن آماره آگاهی آکائیک تشخیص داده می‌شود. تشخیص اولیه نشانگر برازش نسبی الگوهای اتورگرسیون، میانگین متحرک و نیز رگرسیون با سری زمانی نیازآبی گندم بود. معیار آگاهی آکائیک الگوهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. حداقل مقدار این معیار برای الگوهای مندرج در جدول ۳، برای مناطق آذرشهر $5/026$ ، اسکو $5/026$ ، اهر $4/989$ ، بستان‌آباد $4/609$ ، بناب $5/404$ ، تبریز $5/304$ ، جلفا $5/660$ ، سراب $4/868$ ، شبستر $5/270$ ، کلیبر $4/127$ ، مراغه $5/345$ ، مرند $5/337$ ، ملکان $5/026$ ، میانه $5/229$ ، هریس $4/796$ و هشتروند $4/632$ به

جدول ۲- معیار آگاهی اکاییک برای انتخاب مناسب‌ترین الگوی تخیرو و تعوق گدم در مناطق مختلف آذربایجان شرقی

آذرشهر	اسکو	اهر	پستان آباد	بناب	توبریز	جلقا	سراب	نسیستر	کلپور	مراغه	مرند	ملکان	میانه	هریس	هستروند	
۵/۵۳۷	۵/۵۵۲	۵/۴۴۵	۵/۰۸۱	۵/۹۲۵	۵/۸۳۹	۶/۱۹۲	۵/۳۵۲	۵/۲۷۸	۴/۶۰۲	۵/۸۸۲	۶/۰۰۱	۵/۵۳۷	۵/۲۷۸	۵/۲۶۸	۵/۸۰۲	گام تصادفی
۵/۵۸۱	۵/۵۷۷	۵/۵۰۹	۵/۱۲۶	۵/۱۷۰	۵/۸۸۳	۶/۳۳۹	۵/۳۶۸	۵/۷۹۲	۴/۶۴۷	۵/۹۲۸	۶/۰۴۶	۵/۵۸۱	۵/۷۹۲	۵/۳۱۳	۵/۱۳۹	گام تصادفی با ضریب ۰/۴۴
۵/۶۱۶	۵/۶۳۲	۵/۵۳۹	۵/۱۶۷	۵/۹۹۳	۵/۹۱۶	۶/۳۷۷	۵/۳۱۹	۵/۸۱۶	۴/۶۹۱	۵/۹۵۳	۶/۰۷۳	۵/۶۱۶	۵/۸۱۶	۵/۳۳۱	۵/۱۸۵	میانگین ثابت برابر ۴۶۸
۵/۰۶۴	۵/۰۷۶	۴/۹۸۹	۴/۶۱۰	۵/۴۵۰	۵/۳۶۷	۵/۷۲۳	۴/۸۶۹	۵/۲۷۰	۴/۱۲۸	۵/۴۰۵	۵/۵۲۳	۵/۰۶۴	۵/۲۷۰	۴/۷۹۷	۴/۶۳۳	روند خطی
۵/۰۸۱	۵/۰۹۴	۵/۰۰۸	۴/۶۲۵	۵/۲۶۸	۵/۳۸۲	۵/۳۲۸	۴/۸۸۹	۵/۲۸۸	۴/۱۲۳	۵/۲۲۳	۵/۵۹۱	۵/۰۸۱	۵/۲۸۸	۴/۸۱۳	۴/۶۵۱	روند کواریتیک
۵/۰۶۱	۵/۰۷۳	۴/۹۸۹	۴/۶۰۹	۵/۴۴۷	۵/۳۶۴	۵/۷۲۰	۴/۸۶۸	۵/۲۷۰	۴/۱۲۷	۵/۴۰۲	۵/۵۲۳	۵/۰۶۱	۵/۲۶۸	۴/۷۹۶	۴/۶۳۳	روند نمایی
۵/۵۵۶	۵/۵۶۹	۵/۴۷۷	۵/۱۰۴	۵/۹۲۳	۵/۸۵۶	۶/۲۱۶	۵/۳۵۶	۵/۷۵۴	۴/۶۳۳	۵/۸۱۲	۶/۰۰۹	۵/۵۵۶	۵/۷۵۴	۵/۲۸۰	۵/۱۲۴	روند منحنی S
۵/۳۶۶	۵/۳۸۵	۵/۳۰۱	۴/۹۱۰	۵/۷۵۵	۵/۶۶۹	۶/۰۲۶	۵/۱۸۰	۵/۵۷۴	۴/۳۳۳	۵/۷۱۵	۵/۸۳۳	۵/۳۶۶	۵/۵۷۴	۵/۱۰۰	۴/۹۳۳	میانگین متحرک ساده دوجزئی
۵/۱۵۳	۵/۱۶۸	۵/۰۸۲	۴/۶۹۸	۵/۵۲۰	۵/۴۵۲	۵/۸۱۰	۴/۹۶۱	۵/۳۵۹	۴/۳۱۷	۵/۴۹۵	۵/۶۱۳	۵/۱۵۳	۵/۳۵۹	۴/۸۸۲	۴/۷۲۳	هموارسازی نمایی ساده
۵/۱۵۹	۵/۱۷۳	۵/۰۸۸	۴/۷۰۳	۵/۵۴۶	۵/۴۶۰	۵/۸۱۶	۴/۹۶۸	۵/۳۶۶	۴/۳۳۱	۵/۵۰۱	۵/۶۱۹	۵/۱۵۹	۵/۳۶۶	۴/۸۸۱	۴/۷۳۰	هموارسازی نمایی خطی برون
۵/۱۴۹	۵/۱۶۲	۵/۰۷۶	۴/۶۹۳	۵/۵۳۶	۵/۴۵۱	۵/۸۰۷	۴/۹۵۵	۵/۳۵۵	۴/۳۱۱	۵/۴۹۰	۵/۶۰۸	۵/۱۴۹	۵/۳۵۵	۴/۸۸۱	۴/۷۱۸	هموارسازی نمایی خطی حالت
۵/۱۵۹	۵/۱۷۳	۵/۰۸۷	۴/۷۰۲	۵/۵۴۶	۵/۴۵۸	۵/۸۱۳	۴/۹۶۷	۵/۳۶۵	۴/۳۱۹	۵/۴۹۹	۵/۶۱۹	۵/۱۵۹	۵/۳۶۵	۴/۸۸۱	۴/۷۲۹	هموارسازی نمایی کواریتیک برون
۵/۳۳۶	۵/۳۵۱	۵/۲۶۹	۴/۸۷۰	۵/۱۶۶	۵/۶۳۳	۵/۹۸۷	۵/۱۴۴	۵/۵۳۴	۴/۳۳۴	۵/۶۸۰	۵/۷۹۳	۵/۳۳۶	۵/۵۳۴	۵/۰۶۱	۴/۸۰۶	هموارسازی نمایی وینتر
۵/۰۲۶	۵/۰۳۶	۵/۰۲۳	۴/۶۳۵	۵/۴۰۲	۵/۳۰۲	۵/۶۶۰	۴/۹۰۳	۵/۳۱۱	۴/۱۲۳	۵/۳۳۵	۵/۵۴۴	۵/۰۲۶	۵/۳۳۹	۴/۸۳۳	۴/۶۶۸	ARIMA (۰،۱،۱)
۵/۰۳۳	۵/۰۵۴	۵/۰۲۹	۴/۶۴۸	۵/۴۲۳	۵/۳۳۳	۵/۷۸۱	۴/۹۱۸	۵/۳۳۵	۴/۱۷۴	۵/۴۶۹	۵/۵۶۱	۵/۰۳۳	۵/۴۵۹	۴/۸۵۳	۴/۶۸۰	ARIMA (۱،۱،۱)
۵/۰۴۶	۵/۰۵۹	۵/۰۴۳	۴/۶۵۸	۵/۴۳۱	۵/۳۲۰	۶/۱۵۳	۴/۹۲۸	۵/۳۳۰	۴/۱۷۷	۵/۴۸۲	۵/۵۶۷	۵/۰۴۶	۵/۴۶۷	۴/۸۵۶	۴/۶۹۰	ARIMA (۰،۱،۳)
۵/۰۸۳	۵/۰۹۴	۵/۰۵۳	۴/۶۶۹	۵/۴۴۵	۵/۳۷۷	۵/۷۵۶	۴/۹۳۳	۵/۳۳۳	۴/۱۸۸	۵/۴۲۰	۵/۵۷۳	۵/۰۸۳	۵/۴۶۶	۴/۸۵۶	۴/۶۹۴	ARIMA (۱،۱،۳)
۵/۰۹۶	۵/۱۰۲	۵/۰۵۹	۴/۶۶۹	۵/۴۳۷	۵/۳۸۶	۵/۷۶۸	۴/۹۳۳	۵/۳۳۷	۴/۱۸۸	۵/۴۲۳	۵/۵۸۳	۵/۰۹۶	۵/۴۶۹	۴/۸۶۴	۴/۶۹۸	ARIMA (۲،۱،۳)
۵/۰۲۶	۵/۰۳۶	۴/۹۸۹	۴/۶۰۹	۵/۴۰۲	۵/۳۰۴	۵/۶۶۰	۴/۸۶۸	۵/۳۷۰	۴/۱۲۷	۵/۴۳۵	۵/۵۲۳	۵/۰۲۶	۵/۴۳۹	۴/۷۹۶	۴/۶۳۳	مقدار حداقل ضریب

(Fathabadi et al., 2008) و نفوذ آب در اراضی کشاورزی (Nasseri, 2004) باشد. دلیل این تشابه از آنجا ناشی می شود که همبستگی جزئی سری دارای مقادیری معنی دار بود و سهم میانگین متحرک الگو برجسته بود.

برای سری نیازآبی گندم در مناطق گروه دوم در آذربایجان شرقی، الگوی روند نمایی به صورت زیر به دست آمد:

$$ET_c(t) = \exp(a + bt) \quad (12)$$

که در آن ET_w نیازآبی گندم در یک منطقه مشخص، t سال و ضرایب a و b مقادیر ثابت روند نمایی برای هر منطقه می باشد (جدول ۴). رفتار سری تبخیر و تعرق گندم در مناطق با اقلیم فراسرد در آذربایجان شرقی متفاوت از رفتار مولفه های تخلیه و تغذیه سطح آب زیرزمینی مانند سری های تبخیر (Ghahraman and Gharehkhani, 2011)، سری جریان رودخانه (Rahimi and Gayor, 2010; Tarazkar and Fathabadi et al., 2008) و نفوذ آب در اراضی کشاورزی (Nasseri, 2004) بود. دلیل این تفاوت وجود روند خاص نمایی در رفتار سری داده های در اقلیم فراسرد بود.

در جدول ۳ ضرایب الگوی ARIMA و در جدول ۴ ضرایب الگوی روند نمایی برای مناطق مختلف استان ارائه شده است. برای نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم سرد آذربایجان شرقی، الگوی (۱، ۱، ۰) ARIMA پس از یک بار تفاضلی نمودن به صورت رابطه ۱۱ بود:

$$ET_{wt} = \alpha + a_t - \theta_1 a_{t-1} \quad (11)$$

که در آن ET_{wt} نیازآبی گندم در سال t ، α ضریب ثابت و θ_1 ضریب میانگین متحرک و $\{a_t\}$ فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر می باشد (جدول ۳).

با توجه به این که سن (Sen, 1988) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده اند و سالاس و همکاران (Salas et al., 1980) گزارش نموده برای الگوبندی زمانی رفتارهای پدیده های هیدرولوژیک و اقلیمی، مناسب ترین الگو ARIMA می باشد. به نظر می رسد رفتار سری تبخیر و تعرق گندم در مناطق با اقلیم سرد در آذربایجان شرقی مشابه از رفتار برخی مولفه های تخلیه و تغذیه سطح آب زیرزمینی مانند سری های تبخیر (Ghahraman and Gharehkhani, 2011)، سری جریان رودخانه (Rahimi and Gayor, 2010; Tarazkar and

جدول ۳- ضرایب و مقادیر ثابت الگوی (۱، ۱، ۰) ARIMA برای نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم سرد

ردیف	مناطق	ضریب θ_1	مقدار ثابت α
۱	آذرشهر	$1/0.14 \pm 0.022$	0.535
۲	اسکو	$1/0.17 \pm 0.013$	0.529
۳	بناب	$1/0.14 \pm 0.022$	0.635
۴	تبریز	$1/0.26 \pm 0.009$	0.619
۵	جلفا	$1/0.26 \pm 0.008$	0.745
۶	مراغه	$1/0.24 \pm 0.010$	0.625
۷	ملکان	$1/0.14 \pm 0.022$	0.535
۸	میانه	$1/0.11 \pm 0.020$	0.579
۹	مرند	$1/0.11 \pm 0.017$	0.620

توضیح: الگوی (۱، ۱، ۰) ARIMA برای نیازآبی گندم پس از یک بار تفاضلی نمودن به صورت زیر بود. $ET_{wt} = \alpha + a_t - \theta_1 a_{t-1}$

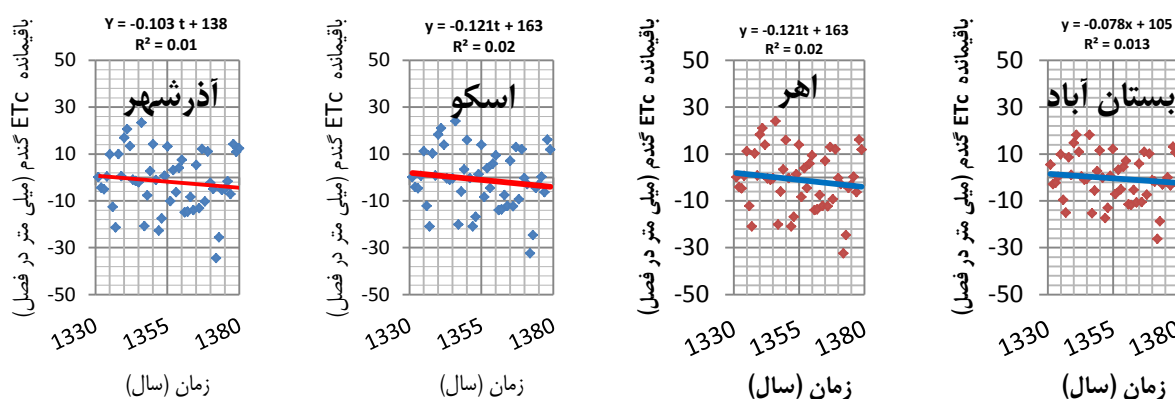
جدول ۴- ضرایب الگوی روند نمایی برای نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم فراسرد

ردیف	مناطق	ضریب a	مقدار ثابت b
۱	اهر	$6/0.73$	0.0012
۲	بستان آباد	$5/8.88$	0.0012
۳	سراب	$6/0.13$	0.0012
۴	شبهستر	$6/20.8$	0.0012
۵	کلپیر	$5/642$	0.0012
۶	هریس	$5/971$	0.0012
۷	هشترود	$5/903$	0.0012

توضیح: الگوی روند نمایی برای نیازآبی گندم به صورت $ET_{wt} = \exp(a + bt)$ بود.

فراسرد به عنوان نمونه در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد تغییرات باقیمانده‌ها در سری داده‌ها فاقد روند خاصی بوده و بنابراین الگوهای برازش شده به سری داده‌های نیازآبی گندم در مناطق مختلف، از اعتبار آماری لازم برخوردار است.

پس از شناسایی الگوهای مناسب و برآورد پارامترها و ضرایب آن برای هر منطقه، لازم است ساختار الگوها، راستی‌آزمایی گردد. به دلیل این که سری باقیمانده‌ها نتیجه برآورد پارامترهای الگو است، درستی تشخیص الگو با تحلیل سری باقیمانده‌ها صورت گرفت. مقادیر باقیمانده سری نیازآبی گندم در یکی از مناطق با اقلیم های سرد و



شکل ۵- سری باقیمانده‌های الگوهای نیازآبی گندم در مرحله الگوبندی از سال آبی ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۷-۱۳۹۶ در مناطق با اقلیم سرد (برای نمونه آذرشهر و اسکو) و فراسرد (برای نمونه اهر و بستان‌آباد)

مناطق هریس، سراب، اهر، آذرشهر، ملکان و اسکو، خوشه سوم با میانگین ۵۶۶ میلی‌متر شامل مناطق میانه، شبستر، تبریز، مرند، مراغه و بناب و خوشه چهارم با میانگین ۶۸۴ میلی‌متر شامل منطقه جلغا بود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

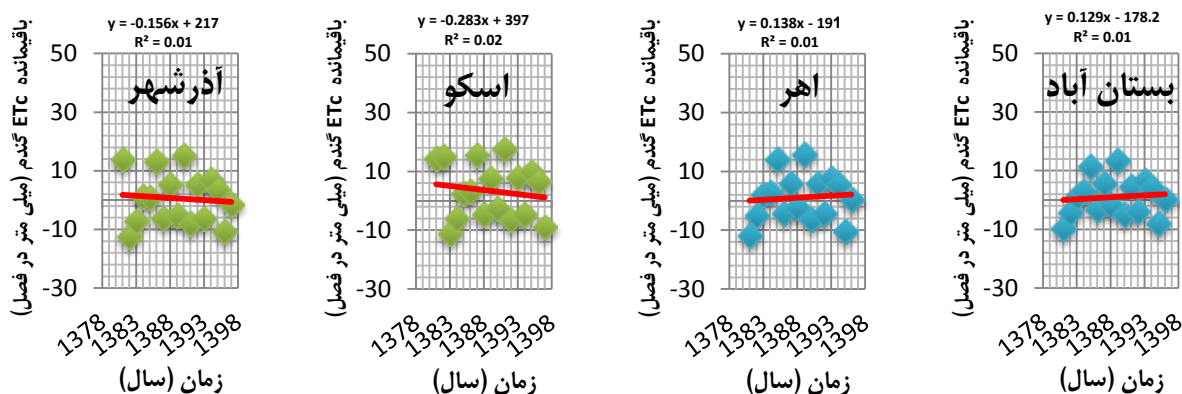
در این پژوهش نیازآبی گندم در شانزده منطقه از استان آذربایجان شرقی به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن، با استفاده از داده‌های ۸۰ سال تحلیل گردید. نیازآبی گندم با استفاده از روش پنمن مانیت فائو ۵۶ و ضرایب گیاهی منطقه‌ای گندم تعیین گردید. مناسب‌ترین الگوی سری زمانی برای نیازآبی گندم در مناطق با اقلیم سرد و شامل آذرشهر، اسکو، بناب، تبریز، جلغا، مراغه، ملکان، مرند و میانه به صورت $ARIMA(0, 1, 1)$ و برای مناطق با اقلیم فراسرد و شامل اهر، بستان‌آباد، سراب، شبستر، کلیبر، هریس و هشت‌رود به صورت الگوی روند نمایی بود. آینده‌پژوهی نیازآبی گندم نشان داد تغییرات آن در سیزده سال آینده در آذربایجان شرقی از ۳۰۸ تا ۶۸۴ میلی‌متر در سال خواهد بود. میانگین درازمدت مقدار نیازآبی گندم در استان آذربایجان شرقی ۴۷۸ و میانگین برای ۱۳ سال آینده با روند افزایشی ۵۰۰ میلی‌متر در فصل رشد به دست آمد. از یافته‌های این پژوهش می‌توان در اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی در استان، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری در شرایط آبیاری کامل یا کم

برای مرحله الگوبندی سری نیازآبی گندم در آذربایجان شرقی از آمار ۵۰ سال (از ۳۱-۱۳۳۰ تا ۸۰-۱۳۷۹) و برای آزمون الگو از آمار ۱۷ سال (از ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۷-۱۳۹۶) استفاده گردید. سری باقیمانده‌های الگوهای نیازآبی گندم در مرحله آزمونی در مناطق با اقلیم های سرد و فراسرد در آذربایجان شرقی در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد تغییرات باقیمانده سری نیازآبی گندم در مناطق مختلف دارای روند مشخص و خاص نبوده و بنابراین الگوهای برازش شده، در مرحله آزمون نیز از اعتبار کافی برخوردار است (شکل ۵). مرحله آینده پژوهی تبخیر و تعرق گندم در مناطق مختلف برای ۱۳ سال آینده (از سال ۹۸-۱۳۹۷ تا ۱۴۱۰-۱۴۰۹) پس از مراحل الگوبندی و آزمون الگوها انجام شد. نتایج آینده‌پژوهی نیازآبی گندم در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین نیازآبی گندم در مناطق مختلف آذربایجان شرقی در ۱۳ سال آینده در جدول ۵ ارائه شده است.

میانگین نیازآبی گندم در ۱۳ سال آینده از ۳۰۸ میلی‌متر (در کلیبر) تا ۶۸۴ میلی‌متر (جلغا) تغییر می‌یابد. تغییرات مکانی آینده‌پژوهی نیازآبی گندم برای سال ۱۴۱۰-۱۴۰۹ در آذربایجان شرقی در شکل ۸ نشان داده شده است. میانگین نیازآبی گندم در سال‌های آتی در مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی چهار خوشه تقسیم گردید. خوشه اول با میانگین ۳۶۷ میلی‌متر شامل مناطق کلیبر، بستان‌آباد و هشت‌رود، خوشه دوم با میانگین ۴۷۰ میلی‌متر شامل

انواع تنش های محیطی را بررسی نمود.

آبیاری و کاهش خسارات خشک سالی استفاده نمود. در این پژوهش نیازآبی گندم در شرایط استاندارد برای تولید پتانسیل بررسی شده و برای تکمیل مطالعات و یافته ها، می توان نیازآبی گندم در شرایط وجود



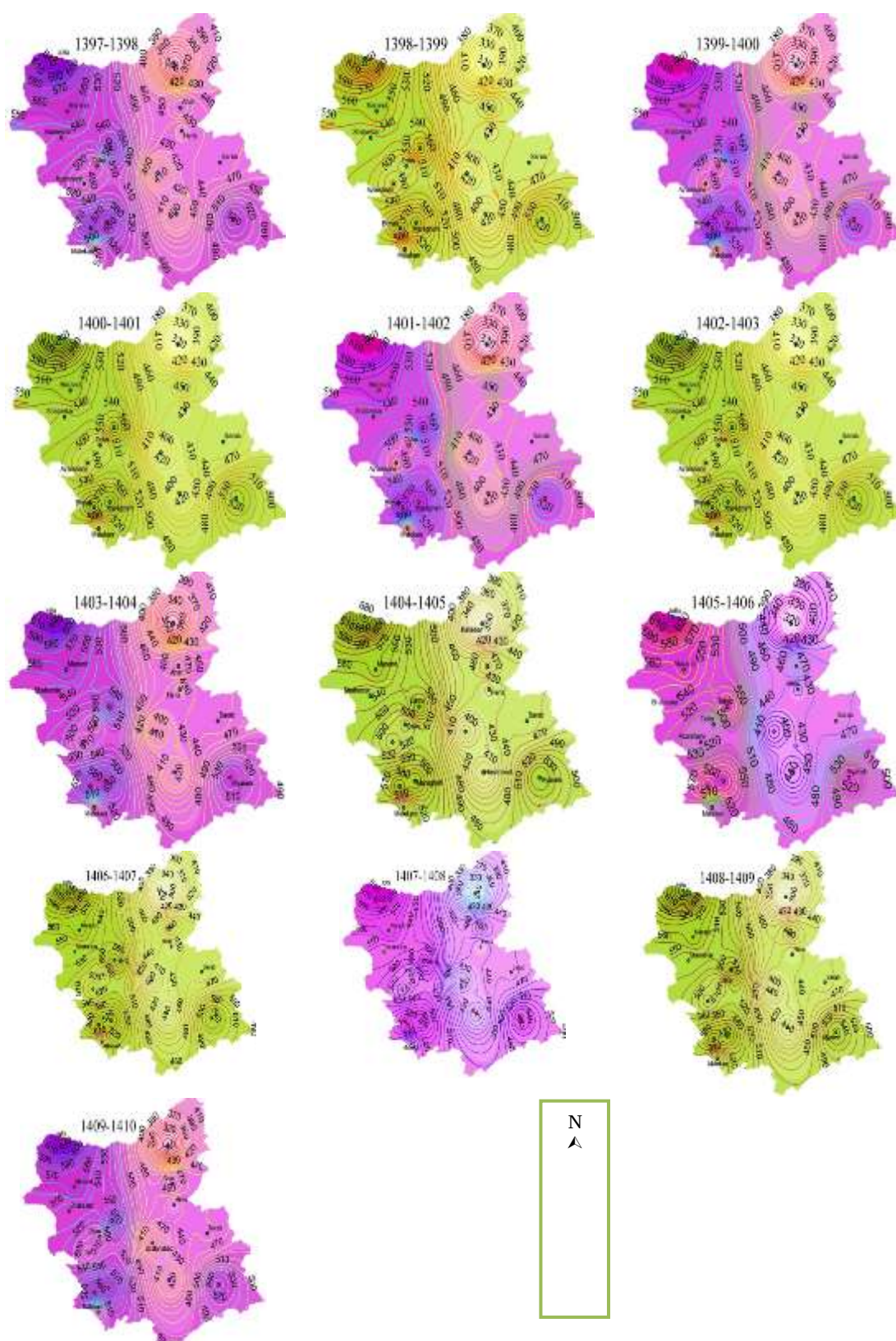
شکل ۶- سری باقیمانده های الگوهای نیازآبی گندم در مرحله آزمون از سال آبی ۱۳۳۰-۳۱ تا ۱۳۹۶-۹۷ در مناطق با اقلیم سرد (برای نمونه آذرشهر و اسکو) و فراسرد (برای نمونه اهر و بستان آباد)

جدول ۵- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین نیازآبی گندم (میلی متر) در مناطق استان برای ۱۳ سال آینده

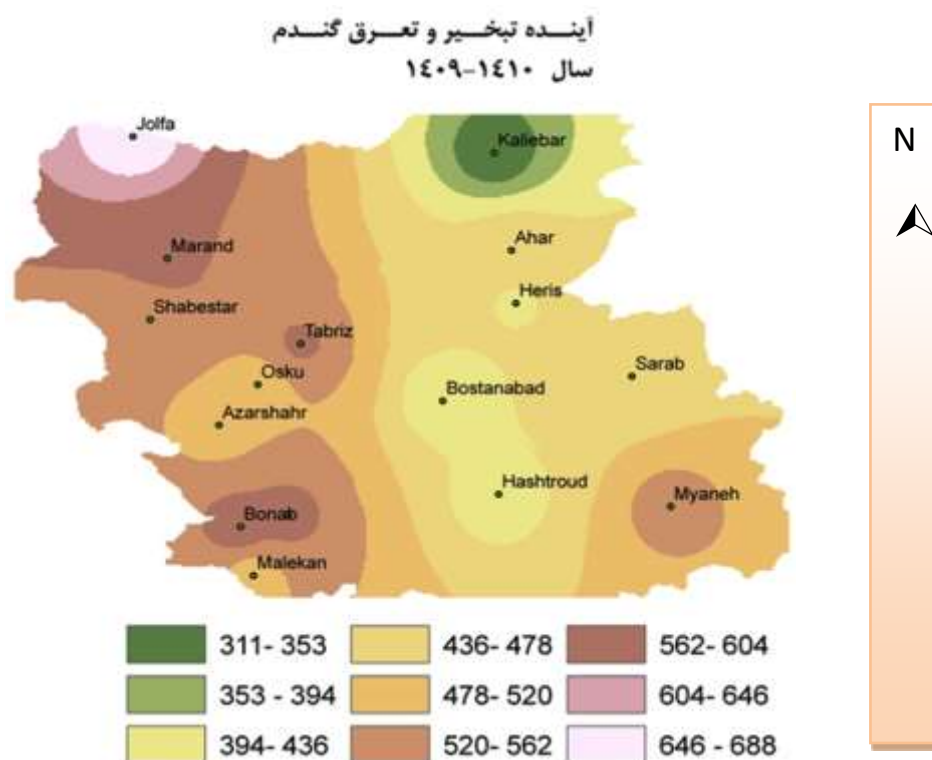
ردیف	مناطق	حداقل	حداکثر	میانگین	میانگین خوشه
۱	کلبر	۳۰۶	۳۱۱	۳۰۸	۳۶۷
۲	بستان آباد	۳۹۱	۳۹۷	۳۹۳	
۳	هشترود	۳۹۷	۴۰۲	۳۹۹	
۴	هریس	۴۲۵	۴۳۱	۴۲۸	۴۷۰
۵	سراب	۴۴۲	۴۴۸	۴۴۵	
۶	اهر	۴۷۰	۴۷۷	۴۷۳	
۷	آذرشهر	۴۸۸	۴۹۴	۴۹۱	
۸	ملکان	۴۸۸	۴۹۴	۴۹۱	
۹	اسکو	۴۹۱	۴۹۷	۴۹۴	
۱۰	میانه	۵۳۶	۵۴۳	۵۴۰	۵۶۶
۱۱	شبهستر	۵۳۸	۵۴۶	۵۴۱	
۱۲	تبریز	۵۶۶	۵۷۳	۵۷۰	
۱۳	مرند	۵۷۰	۵۷۸	۵۷۴	
۱۴	مراغه	۵۷۷	۵۸۴	۵۸۰	
۱۵	بناب	۵۸۸	۵۹۵	۵۹۱	
۱۶	جلفا	۶۷۹	۶۸۸	۶۸۴	۶۵۰

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پژوهش مولف در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی است. بدین وسیله مؤلف مقاله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی برای تهیه امکانات و تأمین اعتبارات لازم برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می نماید.



شکل ۷- تغییرات مکانی آینده پژوهی نیازآبی گندم (میلی متر در فصل رشد) از سال ۹۸-۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۰-۱۴۰۹ در آذربایجان شرقی



شکل ۸- تغییرات مکانی آینده پژوهی نیاز آبی گندم (میلی متر در فصل رشد) برای سال ۱۴۱۰-۱۴۰۹ در آذربایجان شرقی

1(2): 238-249.

Alizadeh, A., and Kamali, G.H. 2007. Crops water requirements in IRAN. Emam Reza University, Mashad. 227p.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Brockwell, P.J., and Davis, R.A. 1996. Introduction to time series and forecasting. Springer-Verlag, New York, Inc. pp.449

Burlando, P., Montana, A., and Raze, R. 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and liner models. Atmospheric Research. 42: 199-216.

Castellano-Mendez, M., Gonzalez-Manteiga, W., Febrero- Bende, M., Prada-Sanchez, J.M., and Lozano-Calderon, R. 2004. Modeling of monthly and daily behavior of the run off the Xallas river using Box-Jenkins and Neural networks methods. Journal of Hydrology. 296: 38-58.

منابع

خلیلی، ع. ۱۳۸۳، تدوین یک سامانه جدید پهنه بندی اقلیمی از دیدگاه نیازهای گرمایش و سرمایش محیط و اعمال آن بر گستره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۵ صفحه های ۱۴-۵.

عنابی میلانی، ا. ۱۳۸۸. تعیین و ارزیابی تبخیر-تعرق، نیاز آبی و ضریب گیاهی گندم در دشت تبریز. کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

فرشی، ع.، شریعتی، م.ر.، جارااللهی، م.، قائمی، م.، شهابی فر، م.، و تولائی ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. نشر آموزش کشاورزی. ۹۰۰ صفحه.

ناصری، ا.، عباسی، ف.، سهراب، ف.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۱۹۹ صفحه.

Adhikary, S.K., Rahman, M., and Gupta, A.D. 2012. A stochastic modelling technique for predicting groundwater table fluctuations with time series analysis. International Journal of Applied Science and Engineering Research.

- interaction using time-series and time-frequency analysis of transient three-dimensional electrical resistivity changes. *Water Resources Research*. 48(7).
- Karimzadeh Moghaddam, M. and Ghahraman, B. 2001. Statistical view of reference evapotranspiration increase in Mashhad and its results. The first national conference on procedures of mitigation with water crisis. Pp. 95-108.
- Nakhaei, M., and Mirarabi, A. 2010. Flood forecasting by time series of discharge of Sumbar River with Box-Jenkins model. *Journal of Engineering Geology*. 1(4): 901-910.
- Nasseri, A. 2004. Time series analysis of infiltration and spatio-temporal distribution of surface flow along furrows. PhD Thesis. Tabriz University. Iran. p.129.
- Niroomand, H.A. 1997. Time series analysis. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. pp112.
- Peterson, R.N., Santos, I.R., and Burnett, W.C. 2010. Evaluating groundwater discharge to tidal rivers based on an Rn-222 time-series approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 86(2):165-178.
- Rahimi, D., and Gayoor, H. 2010. Analysis of Karoon discharge with Box-Cox transformation and time series. *Geographical Research*. 25(4):135-151.
- Rakhshandehroo, G.R., Amiri, S.M. 2012. Evaluating fractal behavior in groundwater level fluctuations time series. *Journal of hydrology*. 464:550-556.
- Rau, G.C., Andersen, M.S., and Acworth, R.I. 2012. Experimental investigation of the thermal time-series method for surface water-groundwater interactions. *Water Resources Research*. 48(3).
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V.M., Lane, W.L. 1980. Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources publications. Littleton. Colorado, pp.484.
- Sen, Z. 1998. Small sample estimation of the time average in climate time series. *International Journal of Climatology*. 18; 1725-1732.
- Shirvani, A., and Honar, T. 2011. Application of time series models for evapotranspiration forecasting in Bajgah station. *Iranian Water Research Journal*. (8):135-142. (In Persian with English abstract).
- Chatfield, C. 2016. The analysis of time series: an introduction. CRC press; p.205.
- Choubin, B., Malekian, A. 2017. Combined gamma and M-test-based ANN and ARIMA models for groundwater fluctuation forecasting in semiarid regions. *Environmental Earth Sciences*. 76(15): p.538.
- Cirkel, D.G., Witte, J.P.M., and van der Zee, S.E. 2010. Estimating seepage intensities from groundwater level time series by inverse modeling: A sensitivity analysis on wet meadow scenarios. *Journal of hydrology*. 385(1-4):132-142.
- Cuthbert, M.O. 2010. An improved time series approach for estimating groundwater recharge from groundwater level fluctuations. *Water Resources Research*. 46(9):201-212.
- Fathabadi, A., Salajegheh, A., and Mahdavi, M. 2008. Forecasting River discharges by Neuro-Fuzzy and time series models. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2(5): 21-30.
- Fooladmand, H.R. 2010. Monthly prediction of reference crop evapotranspiration in Fars Province. *Water and Soil Science*, 1(20):157-169. (In Persian with English abstract).
- Ghahraman, N., and Gharekhani, A. 2011. Evaluation of Stochastic time series models in estimation of pan evaporation: case study in Shiraz station. *Research Journal of Water in Agriculture*. (1):75-81.
- Gibrilla, A., Anornu, G., and Adomako, D. 2018. Trend analysis and ARIMA modeling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*. 6:150-163.
- Hatch, C.E., Fisher, A.T., Ruehl, C.R., and Stemler, G. 2010. Spatial and temporal variations in streambed hydraulic conductivity quantified with time-series thermal methods. *Journal of Hydrology*. 389(3-4):276-288.
- Irvine DJ, Cranswick RH, Simmons CT, Shanafield MA, Lautz LK. 2015. The effect of streambed heterogeneity on groundwater-surface water exchange fluxes inferred from temperature time series. *Water Resources Research* 51(1): 198-212.
- Johnson, T.C., Slater, L.D., Ntarlagiannis, D., Day-Lewis, F.D., and Elwaseif, M. 2012. Monitoring groundwater-surface water

Resources Research. 51(2): 922-939.

Yang, Q., Wang, Y., Zhang, J., and Delgado, J. 2017. A comparative study of shallow groundwater level simulation with three time series models in a coastal aquifer of South China. *Applied Water Science*. 7(2): 689-698.

Zahedi, M., and Ghavidel Rahimi, Y. 2002. Recognition, classification and forecasting drought in Urmia watershed by time series model of Holt-Winters. *Geographical Space*. 6:19-48.

Zare Abyaneh, H., Saghaei, S., Ershad-Fath, F. and Nozari, H. 2014. Modeling and forecasting of reference crop evapotranspiration Using time series, case study: Kermanshah province. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2(1): 45-56.

English abstract.

Tarazkar, M.H., Sedghamiz, A. 2008. Comparing monthly discharge forecasting for Karkheh River by using time series and artificial intelligence traits. *Pazhohesh and Sazandeghi* 21(3):51-58.

Taweessin, K., Seeboonruang, U., Saraphirom, P. 2018. The Influence of Climate Variability Effects on Groundwater Time Series in the Lower Central Plains of Thailand. *Water*. 10(3), pp.290.

Vandersteen, G., Schneidewind, U., Anibas, C., Schmidt, C., Seuntjens, P., and Batelaan, O. 2015. Determining groundwater-surface water exchange from temperature-time series: Combining a local polynomial method with a maximum likelihood estimator. *Water*

Future Study of Wheat Water Requirement with Time Series Models in East of Urmia Lake

A. Nasseri¹

Recived: Mar.27, 2020

Accepted: May.19, 2020

Abstract

Considering the current and prospect situation of Urmia Lake, the future study of variables of irrigation scheduling and management is one of the priorities of agricultural research to improve the cropping pattern in the east of lake. In this study, the time series of wheat evapotranspiration in sixteen regions of East Azarbaijan located at the east of Urmia Lake was determined using the Penman-Monteith FAO method with the regional crop coefficient. The analysis period was 80 years from 1330-31 to 1396-97, which 50 years (from 1330-31 to 1379-80) was applied for the time series modeling, 17 years (from 1380-81 to 1396-97) for testing and 13 years (from 1397-98 to 1409-1410) for future studying up to 1410. Among the eighteen possible models, the appropriate time series model for wheat evapotranspiration in cold climate regions such as Azarshahr, Osko, Bonab, Tabriz, Jolfa, Maragheh, Malekan, Marand and Miyaneh was acquired as ARIMA (0, 1, 1) and for very cold climates such as Ahar, Bostanabad, Sarab, Shabestar, Kaleibar, Harris and Hashtrood was obtained as an exponential trend model. The wheat evapotranspiration in East Azerbaijan in the past 67 years averaged 478 mm and for the next 13 years averaged 500 mm. The findings of this study are valuable and practical for irrigation scheduling in full and deficit irrigated conditions and reduction of drought damage in east Urmia Lake.

Keywords: Cropping pattern, East Azarbaijan, Irrigation management, Penman-Monteith FAO, Water requirement

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
Email: nasseri_ab@yahoo.com