

تحلیل و آینده‌پژوهی ۶۰ سال تغییرات زمانی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم آبی در دشت تبریز

ابوالفضل ناصری^{۱*}، فریرز عباسی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲

چکیده

با توجه به اهمیت ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی در کشور و با عنایت به توانمندی و شایستگی روش‌های سری‌های زمانی در تحلیل و آینده‌پژوهی رفتار بسیاری از متغیرهای مهندسی و مدیریت مولفه‌های چرخه آب، هدف این پژوهش تحلیل و آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز با الگوهای مناسب سری‌های زمانی است. نحوه الگوبندی، آزمون و آینده‌پژوهی با سری زمانی به این صورت بود که در مجموع ۶۰ سال (از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۱۳) تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم تحلیل گردید. حدود ۳۰ سال آن برای الگوبندی، ۱۲ سال آن برای آزمون و ۱۸ سال بعدی برای آینده‌پژوهی استفاده گردید. برای تعیین مناسب‌ترین الگو، چهارده الگوی سری زمانی ارزیابی گردید. بر مبنای آماره‌های مرسوم، الگوی $ARIMA(1,0,1)$ به‌عنوان مناسب‌ترین الگو برای بیان بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز تشخیص داده شد. نتایج نشان داد بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در این دشت روند نسبتاً افزایشی داشت. شاخص بهره‌وری مصرف آب در طول ۴۲ سال موردبررسی از ۰/۱۱ تا ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر نموده و میانگین آن ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. برای ارتقای شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم، سناریو و شرایط مختلف ارتقاء نیز پیش‌بینی گردید. در صورت ارتقای بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم به‌اندازه ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد، مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳ به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۹۸، ۱/۰۱ و ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. در صورتی که با ادامه روند موجود و بدون اعمال برنامه ارتقاء، مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳ برابر ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. راهکارهایی با قابلیت اجرایی برای ارتقای قابل‌ملاحظه بهره‌وری مصرف آب در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: ارتقاء بهره‌وری، گندم، پیش‌بینی بهره‌وری آب، کارایی مصرف آب، مدیریت مصرف آب

مقدمه

درصد تولید از اراضی فاریاب و ۴۵ درصد بقیه از اراضی دیم استان است (بی‌نام، ۱۳۹۴).

بررسی‌ها نشان داد برای تولید ۲۳۰ هزار تن دانه گندم از اراضی آبی استان، بیش از ۳۵۰ میلیون مترمکعب آب از منابع آب زیرزمینی و سطحی استفاده می‌شود. بررسی‌های مقدماتی نشان داد بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه گندم در آذربایجان شرقی در سطح رضایت‌بخش نبوده و در مقایسه با ظرفیت و سطح پتانسیل زراعی منطقه، بهره‌وری مصرف آب در تولید این محصول نیاز به ارتقاء و بهبود دارد (ناصری، ۱۳۹۳).

یکی از شاخص‌های اساسی در ارزیابی کارایی استفاده از آب آبیاری در تولید محصولات زراعی و باغی، شاخص بهره‌وری مصرف آب است که به‌طور معمول نسبت تولید محصول (کیلوگرم) به آب مصرف‌شده (مترمکعب) در نظر گرفته می‌شود. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد تغییرات شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در سطح جهانی، گسترده بوده و عامل‌هایی مانند مدیریت آبیاری، ویژگی‌های اقلیمی، خاک‌شناختی و فیزیولوژیک و عملیات به زراعی

گندم به‌عنوان اصلی‌ترین ماده غذایی و عمده‌ترین منبع تأمین کالری (حدود ۴۵ درصد انرژی لازم) و پروتئین (حدود ۵۰ درصد پروتئین لازم) از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (عبادی و سعیدینیا، ۱۳۸۸). تولید سالانه گندم ۱۰/۶ میلیون تن از ۶/۱ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی می‌باشد که حدود ۶۷ درصد از تولید آن از اراضی فاریاب و ۳۳ درصد آن از اراضی دیم حاصل است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). سطح زیر کشت گندم در استان آذربایجان شرقی ۳۸۶ هزار هکتار با تولید سالانه ۴۱۷ هزار تن می‌باشد. حدود ۵۵

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.

۲- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* - نویسنده مسئول: (Email: nasseri_ab@yahoo.com)

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد تحلیل و آینده‌پژوهی رفتار بسیاری از پدیده‌های مهندسی آب با استفاده از الگوهای سری‌های زمانی صورت گرفته و استفاده از این الگوها در برخی از مسائل هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هواشناسی و سایر رشته‌های مهندسی آب در حال گسترش است. برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها و کاربردهای الگوهای تحلیل و آینده‌پژوهی در علوم و مهندسی آب را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود. بررسی‌ها نشان داد آحن (Ahn, 2000) برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی و سامانی (Samani, 2001) از توابع خودهمبستگی و چگالی طیفی فن سری‌های زمانی برای بررسی وضعیت سفره‌های کارستی و بازتاب این سفره‌ها به مؤلفه‌های تغذیه و تخلیه مانند بارش و تبخیر در حوضه مهارلو پرداخته است.

در پراکندگی این تغییرات نقش دارند. خلاصه نتایج برخی از پژوهش‌های مهم در مورد بهره‌وری مصرف آب در نقاط مختلف جهان در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار این شاخص از ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در بنرپوتای بنگلادش تا ۲/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب در وانگتون چین متغیر بوده است (جدول ۱). همچنین مقادیر مورد دسترس بهره‌وری مصرف آب گندم در مناطق مختلف کشور (ایران) در جدول ۲ ارائه شده است. دامنه تغییرات این شاخص بسیار معنی‌دار بود. حیدری (۱۳۹۰) تغییرات این شاخص در تولید گندم در بردسیر کرمان با سامانه آبیاری عقبه‌ای را از ۰/۱۱ تا ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و منتجی و وزیری (۱۳۸۳) دامنه تغییرات این شاخص را در گلپایگان از ۱/۷۲ تا ۲/۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده‌اند (جدول ۲).

جدول ۱- مقدار بهره‌وری مصرف آب گندم در مناطق مختلف جهان

منبع	مقدار بهره‌وری مصرف آب			کشور یا منطقه اجرای پژوهش	ردیف
	(کیلوگرم بر مترمکعب)				
	کمترین	بیشترین	میانگین		
Zwart and Bastiaanssen (2004)	۱/۳۴	۱/۶۳	۰/۸۴	چین	۱
Zwart and Bastiaanssen (2004)	۰/۹۲	۱/۱۹	۰/۶۴	هندوستان	۲
Zwart and Bastiaanssen (2004)	۱/۳۹	۱/۴۵	۱/۳۳	ترکیه	۳
Caviglia and Sadras, (2001)	۱/۰۴	۱/۴۹	۰/۵۵	پارانا (آرژانتین)	۴
Siddique et al. (1990)	۰/۹۵	۱/۱۴	۰/۵۶	استرالیا	۵
Regan et al. (1997)	۰/۸۸	۱/۶۵	۰/۵۵	مردین و مولوا در استرالیا	۶
Rahman et al. (1995)	۰/۹۱	۱/۳۴	۰/۵۲	بنرپوتای بنگلادش	۷
Zhang et al. (1999)	۱/۶۳	۲/۶۸	۰/۵۸	مناطق مختلف چین	۸
Deju and Jingwen, (1993)	۱/۵۸	۱/۹۵	۱/۲۸	گوژو (چین)	۹
Fengrui et al. (2000)	۰/۸۴	۱/۲۱	۰/۶۵	زیفنگ (چین)	۱۰
Jin et al. (1999)	۲/۲۳	۲/۶۷	۱/۴۹	وانگتون (چین)	۱۱
Li et al. (2001)	۱/۰۰	۱/۴۵	۰/۵۸	گانسو (چین)	۱۲
Wang et al. (2001)	۱/۲۶	۱/۲۹	۱/۰۷	لانچنگ (چین)	۱۳
Xianqun, (1996)	۱/۰۴	۱/۱۶	۰/۸۸	یوچنگ (چین)	۱۴
Zhang et al. (1998)	۱/۱۹	۱/۵۵	۰/۹۲	پکن (چین)	۱۵
Bandyopadhyay and Mallick (2003)	۱/۱۹	۱/۲۹	۱/۱۱	بنگال غربی (هندوستان)	۱۶
Mishra et al. (1995)	۱/۱۱	۱/۳۱	۰/۸۶	پانتنگار (هندوستان)	۱۷
Sharma et al. (2001)	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۴۸	اوتار پرادش هندوستان)	۱۸
Sharma et al. (1990)	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۲۷	کارنال (هندوستان)	۱۹
Singh and Chauhan, (1996)	۱/۱۰	۱/۲۳	۱/۰۶	پانتنگار (هندوستان)	۲۰
Corbeels et al. (1998)	۰/۵۸	۱/۱۵	۰/۱۱	مراکش	۲۱
Pendey et al. (2001)	۰/۶۱	۰/۹۳	۰/۴۲	نیجریه	۲۲
Waheed et al. (1999)	۱/۲۸	۲/۱۹	۰/۷۰	پاکستان	۲۳
Oweis et al. (2000)	۰/۷۸	۱/۱۰	۰/۴۸	سوریه	۲۴
Sezen and Yazar1(1996)	۱/۳۹	۱/۴۵	۱/۳۳	ترکیه	۲۵
Kruse et al. (1991)	۱/۷۲	۲/۴۲	۰/۴۷	ایالات متحده آمریکا	۲۶
Kamilov et al. (2002)	۰/۷۳	۱/۰۲	۰/۴۴	ازبکستان	۲۷

جدول ۲- مقدار بهره‌وری مصرف آب گندم در مناطق مختلف کشور

ردیف	منطقه اجرای پژوهش در ایران	میانگین بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	منبع
۱	مرکزی	۱/۳۵	قنبرپوری و سپهوند (۱۳۸۲)
۲	مغان	۱/۳۰	Nasseri and Fallahi (2007)
۳	اصفهان	۰/۴۹	Vazifedoust et al. (2008)
۴	کهریز (ارومیه)	۱/۶	رضوی (۱۳۸۷)
۵	خسروشهر (آذربایجان شرقی)	۱/۶	عنابی میلانی (۱۳۸۵)
۶	بردسیر (کرمان)	۰/۴۷	حیدری (۱۳۹۰)
۷	کرمان	۰/۷۳	حیدری (۱۳۹۰)
۸	گلستان	۰/۷۳	حیدری (۱۳۹۰)
۹	گلپایگان	۱/۹۶	منتجبی و وزیری (۱۳۸۳)
۱۰	خوزستان	۰/۷۳	حیدری (۱۳۹۰)

پرسرعت، توانمندی این روش‌ها همچنان مورد تایید بسیاری از تحلیل‌گران و پژوهش‌گران می‌باشد (Day, 1925; Gibrilla et al., 2018).

ب) از رویکرد تحلیل رگرسیون، همبستگی درونی متغیرهای وابسته یکی از ضعف‌ها و موانع اساسی در تحلیل است که این ویژگی به هم‌خطی موسوم است (Ohsowski et al., 2016; Nasseri et al., 2013). این ویژگی در غالب سری‌های زمانی متغیرهای مهندسی و مدیریت مولفه‌های چرخه آب در طبیعت وجود دارد و مناسب‌ترین روش برای تحلیل و آینده‌پژوهی در چنین موارد، استفاده از الگوهای سری‌های زمانی است.

ج) در دسترس بودن ابزارهای محاسباتی و رایانه‌ها و نرم‌افزارهای قدرتمند، در استفاده از روش‌های سری‌های زمانی آسان‌سازی‌های فراوانی را به وجود آورده و پژوهش‌گران آماری را به استفاده از این روش‌ها و امکانات تشویق و ترغیب می‌نماید.

دشت تبریز یکی از مناطق مهم تولید گندم در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه است. با توجه به شرایط خاص دریاچه ارومیه و همچنین برای حفاظت و صیانت از منابع آب زیرزمینی در حاشیه دریاچه، ضرورت دارد شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی به‌طور دقیق شناسایی شده و برای ارتقاء کنونی و آتی آن برنامه‌ریزی لازم صورت گیرد. بنابراین با توجه به اهمیت ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی در کشور و با عنایت به توانمندی و شایستگی روش‌های سری‌های زمانی در الگوبندی و آینده‌پژوهی رفتار بسیاری از پدیده‌های مهندسی آب، هدف این پژوهش تحلیل و آینده‌پژوهی تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز با الگوهای مناسب آماری است. یافته‌های پژوهش قابلیت کاربرد داشته و می‌تواند در ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه مورد استفاده مدیران محترم جهادکشاورزی قرار گیرد.

نوآوری مشخص پژوهش حاضر را می‌توان به‌طور خلاصه به

رحمانی و سدهی (۱۳۸۳) برای الگوبندی و پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار از الگوهای سری‌های زمانی بهره گرفته‌اند. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از سری‌های زمانی دوگانه به‌صورت توابع همبستگی متقابل و تابع چگالی طیفی آبخوان دشت شهرکرد منطقه‌بندی 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 بازم مورد تأیید قرار گرفته است (Choubin et al., 2017; Gibrilla et al., 2018; Taweessin et al., 2018; Yang et al., 2017). دیگر، در سال‌های اخیر پژوهشگران متعدد از جمله ایروین و همکاران (Irvine et al., 2015)، واندراستاین و همکاران (Vandersteen et al., 2015)، جانسون و همکاران (Johnson et al., 2012)، آدیکاری و همکاران (Adhikary et al., 2012)، رائو و همکاران (Rau et al., 2012)، رخشنده‌رو و امیری (Rakhshandehroo and Amiri, 2012)، پیترسون و همکاران (Peterson et al., 2010)، کوئبرت (Cuthbert, 2010)، هاج و همکاران (Hatch et al., 2010)، کریکل و همکاران (Cirkel et al., 2010) مطالعات آب‌های زیرزمینی را با استفاده از سری‌های زمانی تحلیل نموده و یافته‌های موفقیت‌آمیز را گزارش نموده‌اند.

بر مبنای یافته‌های پژوهش‌گران، مزیت‌های کاربرد روش‌های تحلیل سری‌های زمانی را می‌توان به‌طور خلاصه به صورت زیر بیان نمود:

الف) توانمندی و شایستگی روش‌های تحلیل سری‌های زمانی، در توصیف، تحلیل، الگوبندی و آینده‌پژوهی متغیرهای مهندسی و مدیریت مولفه‌های چرخه آب در طبیعت، در طول چند دهه گذشته به دفعات بسیار زیادی توسط پژوهشگران به اثبات رسیده است. علیرغم گذشت نزدیک به صد سال از معرفی این روش‌ها و تکمیل نحوه کاربرد و دقیق‌سازی تحلیل‌ها در ده سال اخیر با ظهور رایانه‌های

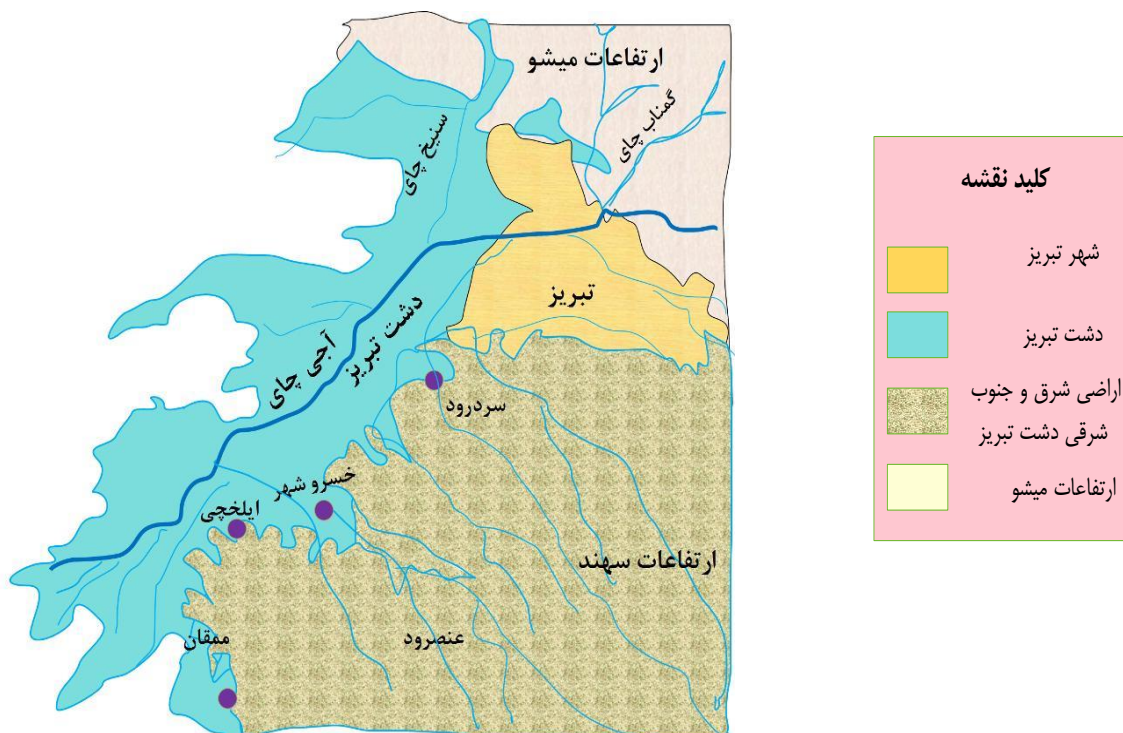
صورت زیر تبیین نمود:

- الف) تحلیل تغییرات زمانی (به مدت ۶۰ سال) بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز
 ب) آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم برای ۱۸ سال آینده
 ج) انتخاب سناریوهای مختلف برای ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی منطقه

این پژوهش برای محصول گندم و در دشت تبریز در استان آذربایجان شرقی صورت گرفت. این دشت در شمال شرق دریاچه ارومیه و در شمال غرب کشور واقع شده است. وسعت آبریز این دشت ۳۴۶۹ کیلومترمربع است که ۱۰۲۶ کیلومترمربع آن را دشت و ۲۴۴۳ کیلومترمربع بقیه را ارتفاعات تشکیل داده است (Anonymous, 1993). در شکل ۱ موقعیت این دشت نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت دشت تبریز

نحوه برآورد شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم‌آبی در دشت تبریز

برای برآورد بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در این دشت، از آمار تولید گندم‌آبی که توسط وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۷ منتشر شده، استفاده گردید. تبخیر و تعرق گیاه گندم با روش پنمن مانیتث فائو و با استفاده از آمار هواشناسی از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۷ و اعمال ضریب گیاهی برای تولید گندم در منطقه به دست آمد. نیاز خالص آب آبیاری از کسر بارش موثر از تبخیر و تعرق گندم به دست آمد. برای برآورد بارش موثر از رابطه USDA-SCS به صورت رابطه (۱) استفاده گردید (Chapagain and Hoekstra, 2011):

اقلیم دشت نیمه‌خشک با میانگین درازمدت بارش ۲۲۵ میلی‌متر در سال است. بیش از ۴۵ درصد بارش از ماه مهر تا ماه تیر اتفاق می‌افتد که حدود ۴۰ درصد بارش در فاصله ماه‌های فروردین تا تیر رخ می‌دهد. میانگین دمای هوا در این دشت ۱۲ درجه سانتی‌گراد و طول مدت آفتابی روز برابر ۲۹۱۹ ساعت در سال می‌باشد. توزیع ماهانه بارش و دما به صورت میانگین ۳۰ سال اخیر در شکل ۲ نشان داده شده است. آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی واقع در دشت مورد بررسی دریافت شده است. در این دشت فصل رشد گندم از اواسط مهرماه تا اواخر تیرماه می‌باشد.

آن توصیف، تشریح و آینده‌پژوهی آن است (Chatfield, 1996) و نیرومند، (۱۳۷۶). توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده‌ها، تشخیص ایستائی و نا ایستائی آن و بررسی خودهمبستگی سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم است. آینده‌پژوهی شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده‌های مشاهده شده است (Chatfield, 1996) و نیرومند، (۱۳۷۶).

برای تشخیص الگوی اولیه برای سری بهره‌وری مصرف آب از تابع خودهمبستگی نمونه (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء نمونه (PACF) استفاده گردید (Brockwell and Davis, 1996; Chatfield, 1996). تابع خودهمبستگی نمونه در سری‌های بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم عبارت از همبستگی بین سری بهره‌وری مصرف آب با همان سری در تأخیر k است. مقدار ACF نمونه از رابطه (۲) محاسبه گردید (Chatfield, 1996):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (WUE_t - \overline{WUE})(WUE_{t+k} - \overline{WUE})}{\sum_{t=1}^n (WUE_t - \overline{WUE})^2} \quad (2)$$

که در آن r_k ضریب خودهمبستگی سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم بوده در تأخیر k

\overline{WUE} میانگین سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم
 WUE_t مقدار سری در زمان t
 n تعداد مشاهدات سری می‌باشد.

$$Pe = \frac{Pt}{125 \times (125 - 0.2 \times Pt)} \quad (1)$$

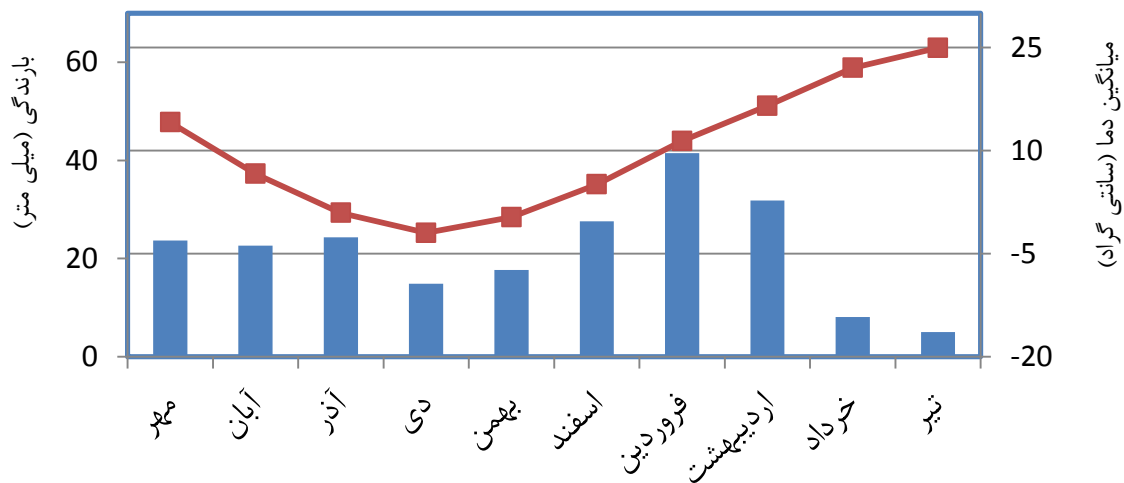
$$Pe = (125 + 0.1 \times Pt)$$

که در آن Pt و Pe به ترتیب بارش سالانه و موثر (میلی‌متر) در دشت تبریز بود.

میزان آب مصرفی از نسبت نیازخالص آب آبیاری به راندمان آبیاری به دست آمد. راندمان آبیاری (۵۱/۲ درصد) از گزارش عباسی و همکاران (۱۳۹۴) اخذ گردید. در شکل ۳ فلوچارت برآورد بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم آبی در دشت تبریز ارائه شده است.

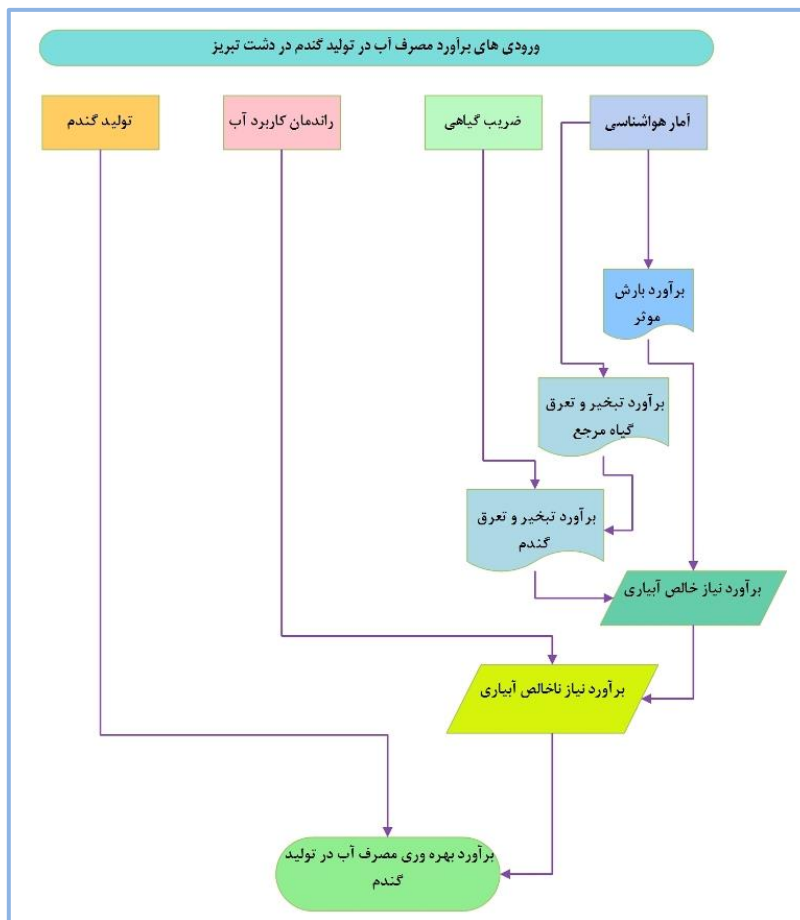
تحلیل و آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم

در این پژوهش برای الگوبندی، آزمون و آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز از چهارده روش سری‌های زمانی استفاده گردید. این روش‌ها شامل گام تصادفی، برازش خطی، برازش درجه دوم، میانگین متحرک ساده دوجزئی، هموارسازی نمایی ساده، هموارسازی نمایی خطی براون، هموارسازی نمایی خطی حالت، هموارسازی نمایی کوادراتیک براون، هموارسازی نمایی وینتر و اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) بود. یک سری زمانی از تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم مجموعه‌ای از مشاهدات است که برحسب زمان (سال) مرتب شده و هدف از تحلیل



ماه‌های فصل رشد

شکل ۲- توزیع میانگین ۳۰ ساله بارندگی (نمودار خطی) و دمای ماهانه (نمودار ستونی) در طول فصل رشد گندم در دشت تبریز



شکل ۳- فلوجارت برآورد بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم‌آبی در دشت تبریز از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۷

دقت دارای اولویت نبوده و به همین دلیل در این بخش تشریح نگردید.

$$WUE_t = p_1 WUE_{t-1} + p_2 WUE_{t-2} + \dots + p_p WUE_{t-p} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \dots + \theta_q e_{t-q} \quad (4)$$

که در آن: p و q به ترتیب مراتب الگوی اتورگرسیو و میانگین متحرک و n تعداد مشاهدات سری است. ضرایب الگو یعنی ρ و θ با روش حداکثر درست‌نمایی با استفاده از نرم‌افزار MINITAB به دست آمد. برای انتخاب بهترین الگو از بین الگوهای مختلف، از شاخص‌های خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، خطای میانگین (ME)، خطای خالص میانگین (MAE)، معیارهای آگاهی آکائیک (AIC) و معیار BIC استفاده گردید. هریک از این معیارها به صورت رابطه (۵) تا (۱۰) برآورد گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (WUE1 - WUE2)^2} \quad (5)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (WUE1 - WUE2) \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |WUE1 - WUE2| \quad (7)$$

$$AIC = \ln \sigma^2 + \frac{2}{T}(p+q) \quad (8)$$

تابع خودهمبستگی جزء (PACF) عبارت است از همبستگی بین سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در t و $t+k$ وقتی که وابستگی خطی سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در $t+1$ و... و $t+k-1$ حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جزء برای تغییرات بهره‌وری مصرف آب از رابطه (۳) محاسبه گردید (نیرومند، ۱۳۷۶):

$$\hat{\phi}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (3)$$

نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء تا تأخیرهای به تعداد یک سوم تعداد کل مشاهدات با خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار نشان داده شد و در آن دامنه بحرانی $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$ به صورت خطوط موازی رسم گردید.

با عنایت به الگوی نهایی و مناسب این پژوهش، الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک ARIMA(p,d,q) به صورت رابطه (۴) تشریح می‌شود. در ادامه ملاحظه خواهد شد که سایر الگوها از نظر

متحرک بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم محرز است. مشخصات چهارده الگوی مختلف سری زمانی قابل انتخاب برای تحلیل و آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در جدول ۳ ارائه شده است. شاخص‌های مختلف برای انتخاب مناسب‌ترین الگو در این جدول ارائه شده است. با در نظر گرفتن همه این شاخص‌ها، الگوی $ARIMA(1,0,1)$ مناسب‌ترین الگو برای بیان بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز تشخیص داده شد. علاوه بر شاخص‌های ارزیابی دقت الگو، سه آماره (VAR, MEAN, AUTO) برای ارزیابی کفایت الگو برای داده‌های موردبررسی نیز ارائه شده است.

نتایج نشان داد الگوی حاصل به‌اندازه کافی برای الگوبندی داده‌ها کفایت می‌کند (جدول ۳). با توجه به این که سن (Sen, 1988) روش الگوبندی $ARIMA$ را معتبرترین روش بررسی تغییرات پدیده‌های وابسته به اقلیم معرفی نموده‌اند و سالاس و همکاران (Salas et al., 1980) گزارش نموده‌اند برای الگوبندی زمانی رفتارهای پدیده‌های هیدرولوژیک و اقلیمی، مناسب‌ترین الگو $ARIMA$ می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد رفتار سری‌های بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم مشابه رفتار برخی پدیده‌های طبیعی مانند مؤلفه‌های تخلیه و تغذیه سطح آب زیرزمینی یا نفوذ آب در خاک (Nasseri et al., 2013) بود. دلیل این تشابه از آنجا ناشی می‌شود که داده‌های سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌داری بوده و مقادیر سری در یک سال مشخص به مقادیر سری در سال ماقبل خود وابسته و همبسته بود. همین ویژگی است که سهم الگوی اتورگرسیو را برجسته می‌نماید. همچنین همبستگی جزئی سری دارای مقادیری معنی‌دار بود و سهم میانگین متحرک الگو نیز برجسته بود. بنابراین الگوی زمانی برازش شده به بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم نیز با این یافته سازگار تشخیص داده شد. بنابراین الگوی انتخاب شده برای بیان سری زمانی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم از نوع اتورگرسیو میانگین متحرک ($ARIMA$) و به‌صورت $ARIMA(1,0,1)$ با مشخصات جدول ۳ تنظیم شد. ضرایب الگوی به‌دست‌آمده نیز ارزیابی گردید (جدول ۴). نتایج نشان داد ضرایب اتورگرسیو و میانگین متحرک بودن بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در سطح کمتر از یک درصد معنی‌دار بود. یادآوری می‌نماید از مجموع ۶۰ سال آماری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم، ۳۰ سال اول برای الگوبندی، ۱۲ سال بعد از آن برای آزمون و ۱۸ سال بعد از آن برای پیش‌بینی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم استفاده گردید. شکل ۵ نشان داد الگوی به‌دست‌آمده به‌طور رضایت‌بخشی داده‌های بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در این دشت را برازش نموده است.

$$BIC = \ln \sigma^2 + \frac{\ln T}{T} (p+q) \quad (9)$$

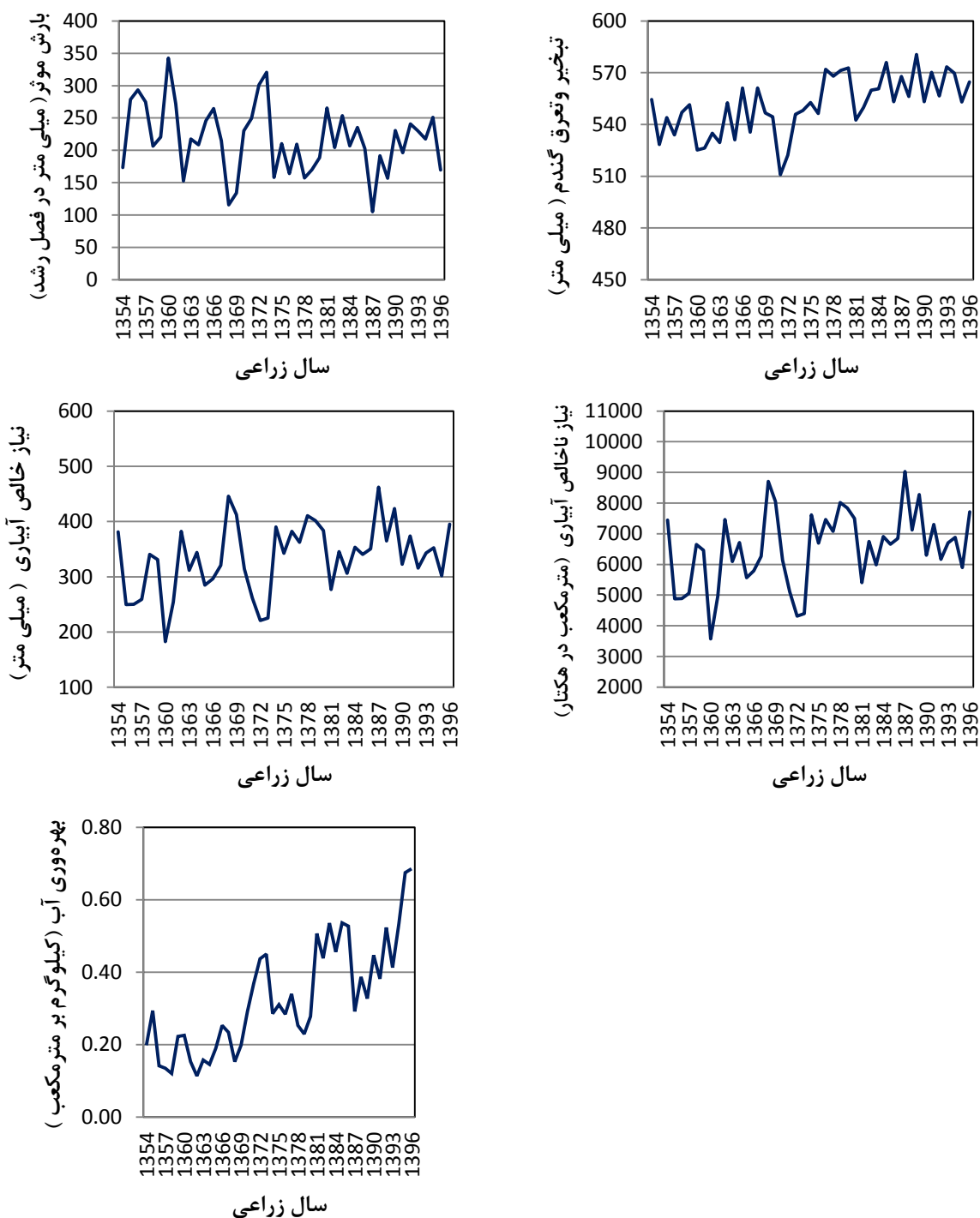
$$SBIC = \ln(\hat{\sigma}^2) + k \ln(T)/T \quad (10)$$

که در آن WUE_1 و WUE_2 به ترتیب بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم اندازه‌گیری شده و برآورد شده با الگوی موردنظر است. در این بررسی، VAR و $MEAN$ به ترتیب آزمون تفاوت نیمه اول و دوم نتایج از نظر واریانس و میانگین است. نحوه الگوبندی، آزمون و آینده‌پژوهی با سری زمانی به این صورت بود که در مجموع ۶۰ سال (از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۱۳) تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم تحلیل گردید. از کل داده‌های بهره‌وری مصرف آب ۳۰ سال آن برای الگوبندی (از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۳)، ۱۲ سال آن برای آزمون (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵) و ۱۸ سال بعدی (۱۳۹۵ تا ۱۴۱۳) برای پیش‌بینی استفاده گردید.

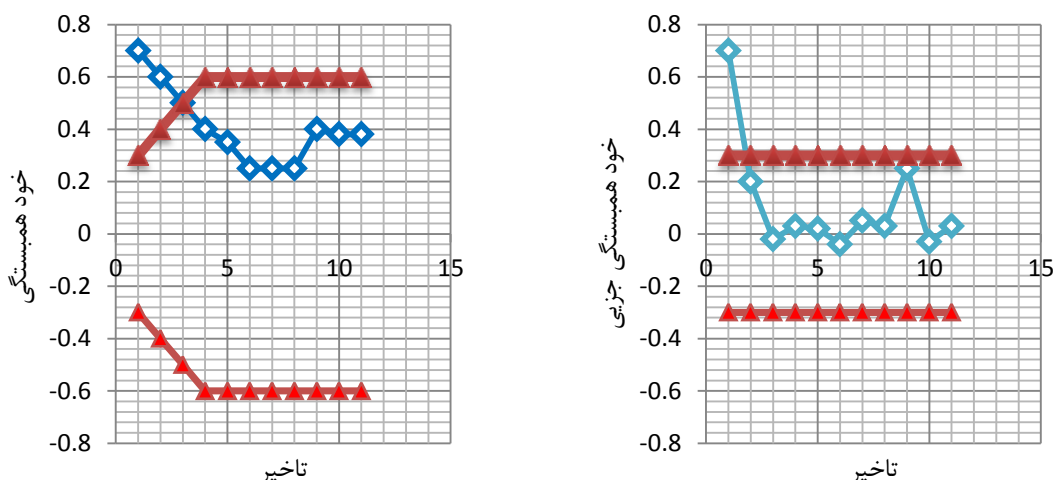
نتایج و بحث

الگوبندی تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز

در شکل ۴ سری بارش موثر، تبخیر و تعرق گندم، نیازخالص و ناخالص آبیاری و بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز از سال ۱۳۵۴ (سال پایه) تا ۱۳۹۶ ارائه گردید. نتایج نشان داد در طول ۴۲ سال موردبررسی تغییرات بارش موثر از ۱۰۵ تا ۳۴۳ میلی‌متر با میانگین ۲۱۷ میلی‌متر در فصل رشد بود (شکل ۴). تبخیر و تعرق گندم با میانگین ۵۵۱ میلی‌متر از ۵۱۱ تا ۵۸۱ میلی‌متر در فصل رشد، تغییرات داشت. بیشترین و کمترین مقدار نیاز خالص آبیاری به ترتیب ۴۶۲ و ۱۸۳ میلی‌متر و میانگین آن ۳۳۴ میلی‌متر در فصل رشد بود. تغییرات نیاز خالص آبیاری در تولید این محصول از ۳۵۶۸ تا ۹۰۳۳ مترمکعب در هکتار و میانگین آن ۶۵۲۸ مترمکعب در هکتار بود (شکل ۴). بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در این دشت روند نسبتاً افزایشی داشت. تغییرات این شاخص از ۰/۱۱ تا ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. به‌طور میانگین شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در طول ۴۲ سال گذشته ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (شکل ۴). مقادیر حداکثر این شاخص به مقادیر گزارش شده حیدری (۱۳۹۰) در مزارع گندم در کرمان، گلستان و خوزستان نزدیک بود. یافته این پژوهش با یافته عنابی میلانی (۱۳۸۵) در خسروشهر (آذربایجان شرقی) متفاوت بود. دلایل این تفاوت می‌تواند با نحوه مدیریت آبیاری، ویژگی‌های خاک شناختی، عملیات به زراعی و نوع رقم گندم همبستگی معنی‌داری داشته باشد. نمودار تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء ($PACF$) تا یازده سال تأخیر در شکل ۵ نشان داده شده است. تشخیص اولیه نشان داد سهم هر دو الگوی اتورگرسیو و میانگین



شکل ۴- سری بارش موثر، تبخیر و تعرق گندم، نیازخالص و ناخالص آبیاری و بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز از سال ۵۵- ۱۳۵۴ (سال پایه) تا ۹۶-۱۳۹۵



شکل ۵- خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار سری بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در تأخیرهای مختلف

جدول ۳- الگوهای ممکن سری زمانی برای انتخاب مناسب‌ترین الگوی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز

VAR	MEAN	SBIC	HQC	AIC	ME	MAE	RMSE	روش‌های الگوبندی و آینده پژوهی
*	ns	-4.59	-4.61	-4.63	0.01	0.08	0.10	گام تصادفی
*	ns	-4.49	-4.54	-4.57	0.00	0.08	0.10	گام تصادفی با ضریب یازده هزارم
ns	***	-3.67	-3.72	-3.75	0.00	0.12	0.15	میانگین ثابت سی و دو صدم
ns	ns	-4.54	-4.62	-4.67	0.00	0.07	0.09	برازش خطی
ns	ns	-4.44	-4.55	-4.61	0.00	0.07	0.09	برازش درجه دوم
ns	ns	-4.52	-4.60	-4.65	0.01	0.07	0.09	برازش نمایی
ns	***	-3.68	-3.75	-3.80	0.03	0.11	0.14	برازش منحنی S
ns	ns	-4.51	-4.57	-4.60	0.01	0.07	0.10	میانگین متحرک ساده دوجزئی
ns	ns	-4.59	-4.64	-4.67	0.01	0.07	0.09	هموارسازی نمایی ساده
ns	ns	-4.47	-4.52	-4.55	0.01	0.08	0.10	هموارسازی نمایی خطی براون
ns	ns	-4.39	-4.47	-4.52	0.01	0.08	0.10	هموارسازی نمایی خطی حالت
ns	ns	-4.45	-4.50	-4.53	0.00	0.08	0.10	هموارسازی نمایی کوادراتیک براون
ns	ns	-4.33	-4.41	-4.45	-0.01	0.08	0.10	هموارسازی نمایی وینتر
ns	ns	-4.60	-4.66	-4.69	0.01	0.07	0.09	ARIMA(1,0,1)

توضیح: در این جدول از شاخص‌های ارزیابی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، خطای میانگین (ME)، خطای خالص میانگین (MAE)، معیارهای آگاهی آکائیک (AIC) و معیار BIC استفاده گردید. VAR و MEAN به ترتیب آزمون تفاوت نیمه اول و دوم نتایج از نظر واریانس و میانگین است.

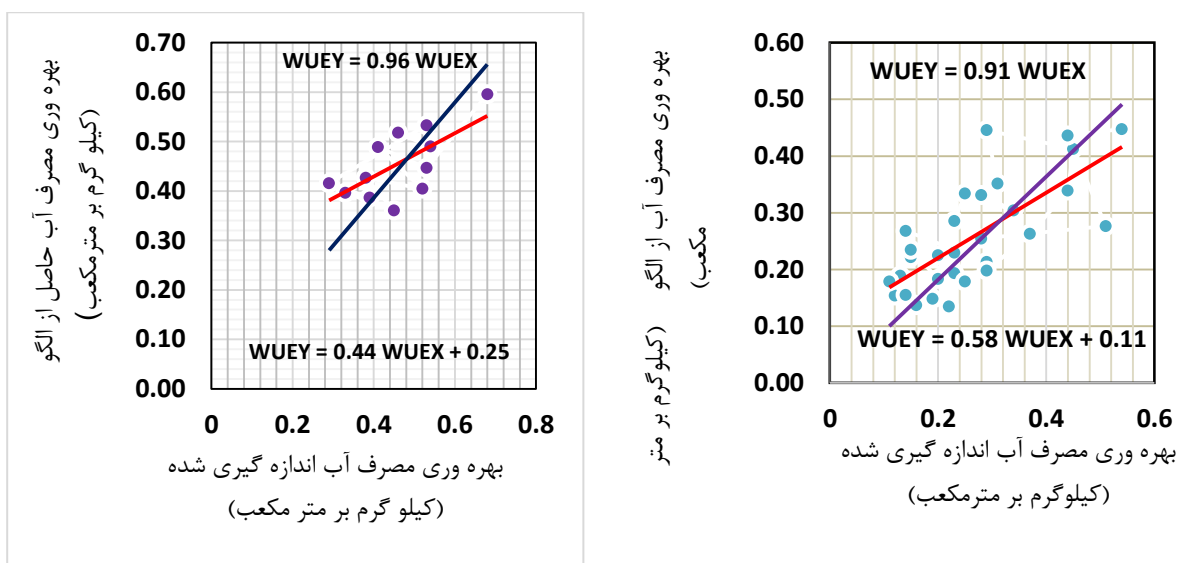
جدول ۴- مشخصات پارامترهای الگوی ARIMA به داده‌های بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز

پارامتر	ضرایب	اشتباه استاندارد	آماره t	مقدار P
AR(1)	۱/۰۲	-۰/۰۲۷	۳۷/۶۴	نزدیک صفر درصد
MA(1)	-۰/۳۶	-۰/۱۵۸	۲/۲۷	کمتر از ۳ درصد

صورت گرفت. نتایج مقایسه بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم اندازه‌گیری شده و برآورد شده که در شکل ۶ (پایین) ارائه شده، نشان داد الگوی حاصل از رویکرد برازش نتایج رضایت‌بخش و قابل قبولی دارد.

آزمون الگوی برازش شده بر بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز

پس از مرحله الگوبندی داده‌ها بر مبنای آمار ۳۰ سال اول (از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۳)، آزمون بهره‌وری الگو با داده‌های واقعی ۱۲ سال بعد بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

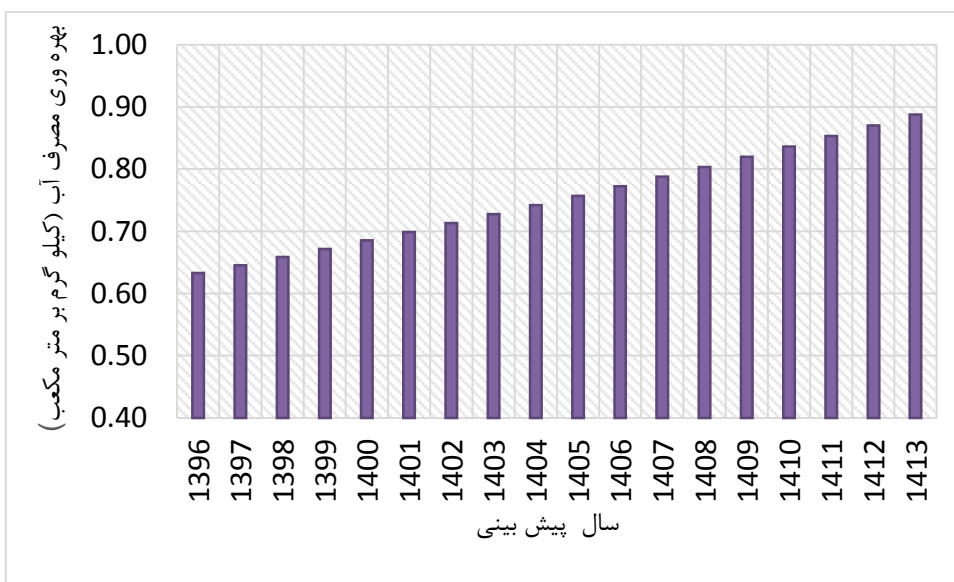


شکل ۶ - بهره‌وری مصرف آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده با الگوی ARIMA برای داده‌های الگوبندی (راست) و آزمونی (چپ)

افزایشی با شیب کم و تقریباً خطی خواهد بود. با فرض ادامه یافتن شرایط موجود مصرف آب و تولید گندم، برای سال پیش‌بینی ۱۴۱۳، میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم برابر ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود (شکل ۷). در حال حاضر (سال ۱۳۹۷) میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم حدود ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب است.

آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم

مرحله آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم برای ۱۸ سال از ۱۳۹۵ تا ۱۴۱۳ صورت گرفت. این مرحله پس از مرحله الگوبندی داده‌ها و آزمون بهره‌وری الگو بود. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از الگوی یادشده نشان داد برای سال‌های پیش‌بینی، روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در سال‌ها به صورت



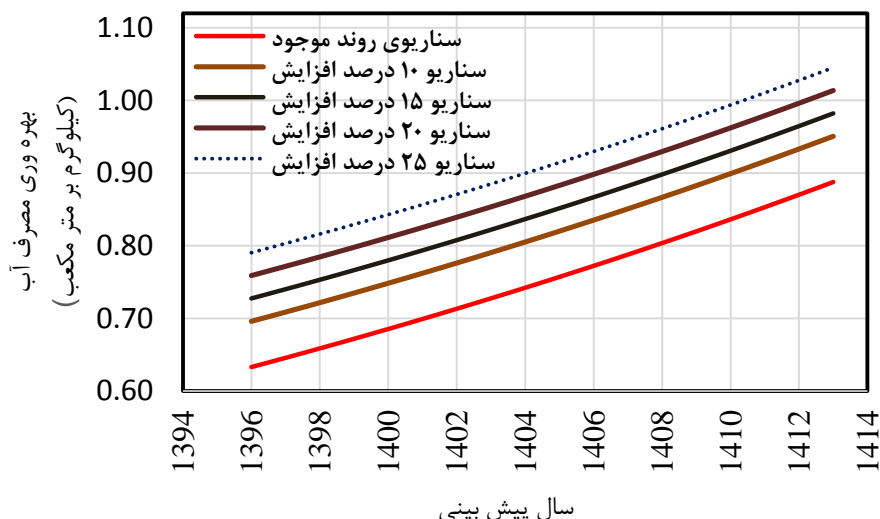
شکل ۷ - پیش‌بینی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم تا سال ۱۴۱۳

افزایش شاخص (بدون برنامه ارتقاء)، برنامه ارتقای بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم با چهار شرایط ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد ارتقای

برای ارتقای شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم، سناریو و شرایط مختلف ارتقاء نیز پیش‌بینی گردید. سناریوها شامل ادامه روند

برابر ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. راهکارهایی مانند گزینش ارقام گندم پر محصول مانند رقم پیشگام و تکثیر و ترویج آن‌ها، تسطیح اراضی زراعی، استفاده از روش‌های کم آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری، کاهش هدررفت ناشی از ضایعات تولید و استفاده از راهکارهای مهندسی آبیاری می‌توانند موجب ارتقای قابل‌ملاحظه بهره‌وری مصرف آب در حاشیه دریاچه ارومیه گردند.

بهره‌وری مصرف آب با شروع از سال ۱۳۹۷ خواهد بود که در آن صورت تغییرات ارتقای بهره‌وری مصرف آب در این دشت به‌صورت شکل ۸ است. به‌عنوان مثال در صورت ارتقای بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم به‌اندازه ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد، مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳ به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۹۸، ۱/۰۱ و ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. در صورتی که با ادامه روند کنونی مصرف آب و تولید محصول و بدون برنامه ارتقاء مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳



شکل ۸- بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در سال‌های آینده و تأثیر سناریوها در ارتقای این شاخص تولید

نتیجه‌گیری

در صورت ارتقای بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم به‌اندازه ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد، مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳ به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۹۸، ۱/۰۱ و ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. در صورتی که بدون برنامه ارتقاء مقدار این شاخص در سال ۱۴۱۳ برابر ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. راهکارهایی مانند گزینش ارقام گندم پر محصول مانند رقم پیشگام و تکثیر و ترویج آن‌ها، تسطیح اراضی زراعی، استفاده از روش‌های کم آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری، کاهش هدررفت ناشی از ضایعات تولید گندم و استفاده از راهکارهای مهندسی آبیاری می‌توانند موجب ارتقای قابل‌ملاحظه بهره‌وری مصرف آب در حاشیه دریاچه ارومیه گردند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله مؤلفین 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 می‌نمایند.

با توجه به اهمیت ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی در کشور و با عنایت به توانمندی و شایستگی روش‌های سری‌های زمانی در الگوبندی و آینده‌پژوهی رفتار بسیاری از پدیده‌های مهندسی آب، در این پژوهش، تغییرات شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم برای چند دهه گذشته تحلیل شده و برای ۱۸ سال آینده پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد در طول ۴۲ سال موردبررسی بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در دشت تبریز روند نسبتاً افزایشی داشت. تغییرات این شاخص از ۰/۱۱ تا ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. به‌طور میانگین شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم در طول ۴۲ سال گذشته ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. برای ارتقای شاخص بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم، سناریو و شرایط مختلف ارتقاء نیز پیش‌بینی گردید. سناریوها شامل ادامه روند افزایش شاخص (بدون برنامه ارتقاء)، برنامه ارتقای بهره‌وری مصرف آب در تولید گندم با چهار شرایط ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد ارتقای بهره‌وری مصرف آب با شروع از سال ۱۳۹۷ خواهد بود.

منابع

- مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران.
- متنجبی، ن. و وزیر، ژ. ۱۳۸۳. اثر برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گندم در گلپایگان. مجله علوم خاک و آب ۱۸ (۱): ۶۲-۵۶.
- ناصری، ا. ۱۳۹۳. مجموعه نگاشت های ترویجی آبیاری. مولف. ۲۳۳ ص.
- نیرومند، ج. ۱۳۷۶. تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چند متغیری (ترجمه). دانشگاه فردوسی مشهد.
- 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*, 1(2): 238-249.
- Ahn, H. 2000. Modeling of groundwater heads based on second order difference time series modeling. *Journal of Hydrology*, 234: 82-94.
- Anonymous. 1993. Iranian comprehensive water plan. The plains development features. V (1): North and Azarbaijan Watersheds. Jamab consulting Company. 288pp. (In Farsi)
- Bandyopadhyay, P.K., Mallick, S., 2003. Actual evapotranspiration and crop coefficients of wheat (*Triticum aestivum*) under varying moisture levels of humid tropical canal command area. *Agric. Water Manage.* 59: 33-47.
- Brockwell, P.J., and Davis, R.A. 1996. *Introduction to time series and forecasting*. Springer-Verlag, New York, Inc.
- Carter, L. M., 1985. Wheel traffic is costly. *Trans. ASAE*. 28:430-434.
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O., 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res.* 69, 259-266.
- Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y., 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), pp.749-758.
- Chatfield, C. 1996. *The analysis of time series: an introduction*. 5th edition. Chapman and Hall. UK.
- Choubin, B., and 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. احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حسین‌پور، ر.، حاتمی، ف.، فضلی، ب.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۴. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲. جلد اول: محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۶۹ ص.
- بی‌نام، ۱۳۹۴. آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی سال ۹۳-۱۳۹۲. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی. ۷۷ ص.
- چیت‌سازان، م. میرزائی، س. ی. و چینی‌پرداز، ر. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی آبخوان شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. مجله علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز. قسمت ب. صفحه‌های ۱ تا ۱۵.
- حیدری، ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص بهره‌وری مصرف آب محصول زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۱ (۲): ۵۷-۴۳.
- رحمانی، ع. ر. و سدهی، م. ۱۳۸۳. پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با الگو سری‌های زمانی. مجله آب و فاضلاب. جلد ۱۵ شماره ۳ صفحه‌های ۴۲ تا ۴۹.
- رضوی، ر. ۱۳۸۷. اثر حذف آبیاری در مراحل رشد گندم بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد کمی و کیفی آن. مجله علوم خاک و آب. ۲۲ (۱): ۱۴۵-۱۳۷.
- عبادی، ف.، وسعیدنیا، الف. ۱۳۸۸. ترازنامه غذایی جمهوری اسلامی ایران ۸۵-۱۳۸۱. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی کشاورزی. ۱۴۲ ص.
- عباسی، ف.، سهراب، ف.، و عباسی، ن. ۱۳۹۴. راندمان‌های آبیاری: تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ویراست سوم. ۴۵ صفحه
- عنابی میلانی، ا. ۱۳۸۵. اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و منابع مختلف نیتروژن بر عملکرد بهره‌وری مصرف آب گندم، مجله دانش نوین کشاورزی. ۲ (۵): ۵۶-۴۴.
- فیضی، م. ۱۳۸۲. بهره‌وری مصرف آب با کیفیت‌های مختلف بر روی عملکرد محصولات گندم، جو، پنبه و آفتابگردان، مجله علوم خاک و آب. ۱۷ (۱): ۱۰۶-۹۷.
- قنبرپوری، م. ع؛ و م. سپه‌وند. ۱۳۸۲. تعیین مدیریت مناسب آبیاری.

- Use of neutron probe for investigations of winter wheat irrigation scheduling in automorphic and semi-hydromorphic soils of Uzbekistan. In: Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Wheat Production in Rotation with Cotton in Limited Water Resource Areas, Tashkent, Uzbekistan, October 13–18, 2002.
- Kruse, E.G., Champion, D.F., Yoder, R.E., 1991. High saline water-table effect on wheat irrigation. In: Allen, R.A., Howell, T.A., Pruitt, W.O., Walter, I.A., Jensen, M.E. (Eds.), Proceedings of the international symposium on Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, Honolulu, Hawaii, July 23–25, 1991, pp. 335–343.
- Li, F-M., Song, Q-H., Liu, H-S., Li, F-R., Liu, X-L., 2001. Effects of pre-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions. *Agric. Water Manage.* 49: 173–183.
- Mishra, H.S., Rathore, T.R., Tomar, V.S., 1995. Water use efficiency of irrigated wheat in the Tarai Region of India. *Irrig. Sci.* 16: 75–80.
- Nasseri, A., and Fallahi, H., 2007. Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Biological Sciences.* 7(1):19-26.
- Nasseri, A., Neyshabari, M.R. and Fard, A.F., 2013. Time series analysis of furrow infiltration. *Irrigation and Drainage*, 62(5), pp.640-648.
- Ohsowski, B. M., Dunfield, K. E., Klironomos, J. N. and Hart, M. M., 2016. Improving plant biomass estimation in the field using partial least squares regression and ridge regression. *Botany*, 94(7), 501-508.
- Oweis, S., Zhang, H., Pala, M., 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.* 92: 231–238.
- Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *Eur. J. Agron.* 15: 93–105.
- Peterson, R.N., Santos, I.R. and Burnett, W.C. 2010. Evaluating groundwater discharge to tidal rivers based on a Rn-222 time-series approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(2):165-178.
- Rahman, S.M., Khalil, M.I., Ahmed, M.F., 1995. Yield-water relations and nitrogen utilization by wheat in salt-affected soils in Bangladesh. *Agric. Water Manage.* 28: 49–65.
- Estimating seepage intensities from groundwater level time series by inverse modelling: A sensitivity analysis on wet meadow scenarios. *Journal of hydrology*, 385(1-4):132-142.
- Corbeels, M., Hofman, G., van Cleemput, O., 1998. Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agric. Water Manage.* 38: 147–167.
- Cuthbert, M.O. 2010. An improved time series approach for estimating groundwater recharge from groundwater level fluctuations. *Water Resources Research*, 46(9).
- Day, E.E., 1925. *Statistical analysis*. Macmillan. New York. pp 429.
- Deju, Z., Jingwen, L., 1993. The water-use efficiency of winter wheat and maize on a salt-affected soil in the Huang Huai Hai river plain of China. *Agric. Water Manage.* 23: 67–82.
- Fengrui, L., Songling, Z., Geballe, G.T., 2000. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79: 129–142.
- Gibrilla, A., G. 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, D.J., Cranswick, R.H., Simmons, C.T., Shanafield, M.A. and Lautz, L.K. 2015. The effect of streambed heterogeneity on groundwater-surface water exchange fluxes inferred from temperature time series. *Water Resources Research*, 51(1): 198-212.
- Jin, M., Zhang, R., Sun, L., Gao, Y., 1999. Temporal and spatial soil water management: a case study in the Heilonggang region, PR China. *Agric. Water Manage.* 42: 173–187.
- Johnson, T.C., Slater, L.D., Ntarlagiannis, D., Day Lewis, F.D. and Elwaseif, M. 2012. Monitoring groundwater-surface water interaction using time-series and time-frequency analysis of transient three-dimensional electrical resistivity changes. *Water Resources Research*, 48(7).
- Kamilov, B., Ibragimov, N., Evett, S., Heng, L., 2002.

- Determining groundwater-surface water exchange from temperature-time series: Combining a local polynomial method with a maximum likelihood estimator. *Water Resources Research*, 51(2): 922-939.
- Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A., 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water management*. 95(2):89-102.
- Waheed, R.A., Naqvi, M.H., Tahir, G.R., Naqvi, S.H.M., 1999. Some studies on pre-planned controlled soil moisture irrigation scheduling of field crops. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol. 84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 180-195.
- Wang, H., Zhang, L., Dawes, W.R., Lu, C., 2001. Improving water use efficiency of irrigated crops in the North China Plain: measurements and modeling. *Agric. Water Manage.* 48: 151-167.
- Xianqun, X., 1996. The combined field experiment for determining evapotranspiration in north China Plain. In: Cramp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (Eds.), *Proceedings of the International Conference Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas, November 3-6, 1996, pp. 69-74.
- 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.
- Zhang, H., Wang, X., You, M., Liu, C., 1999. Water-yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Irrig. Sci.* 19: 37-45.
- Zhang, J., Sui, X., Li, B., Su, B., Li, J., Zhou, D., 1998. An improved water-use efficiency for winter wheat grown under reduced irrigation. *Field Crops Res.* 59, 91-98.
- Zwart, S.J. and Bastiaansen W.G.M., 2004 Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*. 69(2): 115-133.
- Rakhshandehroo, G.R. and Amiri, S.M. 2012. Evaluating fractal behavior in groundwater level fluctuations time series. *Journal of hydrology*, 464:550-556.
- Regan, K.L., Siddique, K.H.M., Tennant, D., Abrecht, D.G., 1997. Grain yield and water use efficiency of early maturing wheat in low rainfall Mediterranean environments. *Aus. J. Agric. Res.* 48: 595-603.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich V.M., and Lane, W.L. 1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources publications. Littleton Co.
- Sen, Z. 1998. Small sample estimation of the time average in climate time series. *International Journal of Climatology*, 18: 1725-1732.
- Sezen, S.M., Yazar, A., 1996. Determination of water-yield relationship of wheat under Cukurova conditions. *Tr. J. Agric. For.* 20: 41-48 (in Turkish, with English abstract).
- Sharma, K.D., Kumar, A., Singh, K.N., 1990. Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. *Agric. Water Manage.* 18, 267-276.
- Sharma, K.S., Samra, J.S., Singh, H.P., 2001. Influence of boundary plantation of poplar (*Populus deltoides* M.) on soil-water use and water use efficiency of wheat. *Agric. Water Manage.* 51: 173-185.
- Siddique, K.H.M., Tennant, D., Perry, M.W., Belford, R.K., 1990. Water use and water use efficiency of old and modern cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aus. J. Agric. Res.* 41: 431-447.
- Singh, R.V., Chauhan, H.S., 1996. Irrigation scheduling in wheat under shallow groundwater table conditions. In: Cramp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas, November 3-6, 1996, pp. 103-108.
- Taweessin, K., Seeboonruang, U., and Saraphirom, P. 2018. The Influence of Climate Variability Effects on Groundwater Time Series in the Lower Central Plains of Thailand. *Water*, 10(3), p.290.
- Vandersteen, G., Schneidewind, U., Anibas, C., Schmidt, C., Seuntjens, P. and Batelaan, O. 2015.

Analysis and Future Study of 60-Year Temporal Variations of Water Use Efficiency of Irrigated Wheat in Tabriz Plain

A. Nasseri^{1*}, F. Abbasi²

Received: Dec.04, 2018

Accepted: Jan.22, 2019

Abstract

Considering the importance of enhancing water use efficiency in the production of crops in the Iran; and due to the appropriateness of time series methods in the analysis and future studies of the behavior of water engineering phenomena, the aim of this study was to analyze and future study of water use efficiency in wheat production in Tabriz plain with suitable time series models. The modeling (based on 30 years data), test (based on 12 years data) and future study (based on 18 years data) were made with 60 years (from 1975 to 2034) water use efficiency in wheat production. Fourteen time series models were evaluated to determine the suitable model. Based on common statistics, ARIMA (1,0,1) was detected as the most suitable model for water use efficiency in wheat production in Tabriz plain. Results revealed that water use efficiency in wheat production had approximately an increasing trend. This index was from 0.11 to 0.68 kg m⁻³ with an average of 0.32 kg m⁻³. Scenarios and various promotion conditions were also considered to improve the water use efficiency in wheat production. If the water use efficiency in wheat production is increased by as much as 10, 15, 20 and 25 percent, then the index in the year 2034 will be respectively equal to 0.95, 0.98, 1.01, and 1.05 kg m⁻³. With the continuation of the current trend and without applying the any improvement plan, the value of this index will be 0.89 1.05 kg m⁻³ in 2034. Applicable procedure and solutions were proposed to significantly enhance water use efficiency in wheat production in the east of Urmia Lake.

Keywords: Predicting water use efficiency, Productivity improvement, Water productivity, Water consumption management, Wheat

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

2-Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: nasseri_ab@yahoo.com)