

تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر با کاربرد الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک فصلی (SARIMA)

ابوالفضل ناصری؛ علیرضا حسن‌اقلی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱۴/۱۸

چکیده

دشت عجب‌شیر از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی است که بیش از نصف نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در این دشت، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. برداشت مداوم و بی‌رویه از آب زیرزمینی موجب افت بیش از ۵/۵ متر از سطح آب از سال ۱۳۶۳ تاکنون گردیده است. بنابراین بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این دشت یک ضرورت مدیریتی است که آن‌هم مستلزم الگوبندی کمی مصرف و پیش‌بینی روند بهره‌برداری از این منبع آب است. از سوی دیگر با عنایت به توانمندی الگوهای سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی رفتار پدیده‌های با تغییرات زمانی در مهندسی آب، این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر با الگوهای آماری سری‌های زمانی انجام گردید. در این پژوهش افت سطح آب زیرزمینی به مدت ۴۴ سال با ۱۶ روش الگوبندی ارزیابی گردید و پس از ارزیابی، الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک فصلی (SARIMA) مناسب‌ترین الگو تشخیص داده شد. نحوه الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی با الگوی یادشده به این صورت بود که حدود ۵۰ درصد داده‌های افت سطح آب زیرزمینی برای الگوبندی (از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۵)، ۲۵ درصد آن برای آزمون (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) و ۲۵ درصد بقیه (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۷) برای پیش‌بینی استفاده گردید. نتایج نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و استفاده از آب کشاورزی در دشت، میانگین حجم افت آب زیرزمینی در سال یازدهم پیش‌بینی (۱۴۰۷) برابر ۲۶/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود. برای مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی، سناریوهای مختلف صرفه‌جویی شامل ادامه روند بهره‌برداری، مصرف منبع آب زیرزمینی با ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد صرفه‌جویی با شروع از سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد. در صورت صرفه‌جویی از سال ۱۳۹۷ به اندازه ۱۰ درصد، در سال یازدهم نزدیک سه میلیون مترمکعب در آب زیرزمینی صرفه‌جویی خواهد شد.

کلمات کلیدی: آب‌های زیرزمینی، آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر، الگوی اتورگرسیو، تغییرات حجم آب زیرزمینی.

۱- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. ۰۹۱۴۳۱۰۸۴۷۱، nasseri_ab@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

۲- دانشیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

زیرزمینی را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود. Chow and Karelitotis (1970) سری‌های زمانی مؤلفه‌های تغذیه و تخلیه بیلان و ذخیره آب زیرزمینی را تحلیل نموده و در آمار بلندمدت تغییرات فصلی را گزارش نموده‌اند. سامانی و همکاران (۱۹۹۴) با تحلیل سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی و برخی مؤلفه‌های تغذیه و تخلیه مانند مؤلفه بارش و تبخیر در چاه‌های مشاهداتی در دشت بهشهر-نکا، قابلیت و کارایی این فن را تأیید نموده‌اند. 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 گردید. Ahn (2000) برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی پس از تفاضلی نمودن سری داده‌ها از الگوی ARIMA استفاده نموده‌اند. سامانی (۲۰۰۱) 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 پرداخته‌اند. رحمانی و سدهی (۱۳۸۳) برای الگوبندی و پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار از الگوهای سری‌های زمانی استفاده نموده‌اند. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از سری‌های زمانی دوگانه به صورت توابع همبستگی متقابل و تابع چگالی طیفی آبخوان دشت شهرکرد منطقه‌بندی نموده‌اند. ایشان آبخوان یادشده را به چهار منطقه با همبستگی و تأخیر فازهای مختلف تقسیم نموده‌اند. Salas et al. (1980) مناسب‌ترین الگو برای تحلیل مطالعات هیدرولوژی و اقلیمی را الگوی ARIMA معرفی نموده‌اند. از جمله تحقیقات مربوط به الگوبندی و یا پیش‌بینی حرکت آب در خاک، ناصری و همکاران (۱۳۸۳) با تحلیل سری‌های زمانی نفوذ و حرکت آب در جویچه‌های آبیاری، آنها به صورت ARIMA الگوبندی نموده‌اند. با توجه به وابستگی قابل توجه تولیدات کشاورزی به آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر (در استان آذربایجان شرقی)، اهمیت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این دشت که مستلزم الگوبندی

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آب در تولید محصولات کشاورزی در کشور است. میزان وابستگی تولیدات زراعی و باغی به این منبع طبیعی تا حدی است که برداشت بیش از حد مجاز و در برخی مواقع بی‌رویه موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط کشور گردیده است (Siadat, 2000). آمار نشان می‌دهد میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی سطح کشور از سال آبی ۵۲-۱۳۵۱ لغایت ۹۶-۱۳۹۵ از ۱۸/۷ میلیارد مترمکعب به بیش از ۸۰ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است. در استان آذربایجان شرقی نیز وابستگی تولیدات کشاورزی به آب زیرزمینی قابل توجه است. دشت عجب‌شیر که یکی از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی و کشور است به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در آن، نیازمند مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی است.

در این دشت بیش از ۵۰ درصد از نیاز آبی محصولات زراعی و باغی با استفاده از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (پورعباس، ۱۳۷۸؛ مهندسین مشاور بندآب، ۱۳۷۵). منابع آب زیرزمینی در استان شامل ۴۸۶۷۰ حلقه چاه مجاز با تخلیه ۱/۰۵ میلیارد مترمکعب، ۱۹۶۰ رشته قنات با تخلیه ۱۸۶ میلیون مترمکعب و ۲۲۹۵ دهنه چشمه با تخلیه ۹۹ میلیون مترمکعب و در مجموع تخلیه کل سالانه از منابع آب زیرزمینی استان در سال آبی اخیر برابر ۱۳۳۱ میلیون مترمکعب بوده است (بی‌نام، ۱۳۹۶). بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این دشت که با الگوبندی کمی مصرف و پیش‌بینی روند استفاده از این منابع امکان‌پذیر است، از اولویت‌ها و ضروریات مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. یکی از مناسب‌ترین روش مرسوم برای الگوبندی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در دنیا استفاده از فن سری‌های زمانی است. استفاده از این فن در برخی از مسائل هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هواشناسی و حتی آبیاری در حال گسترش است. برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها و کاربردهای سری‌های زمانی در علوم و مهندسی آب و به‌ویژه در مسائل آب‌های

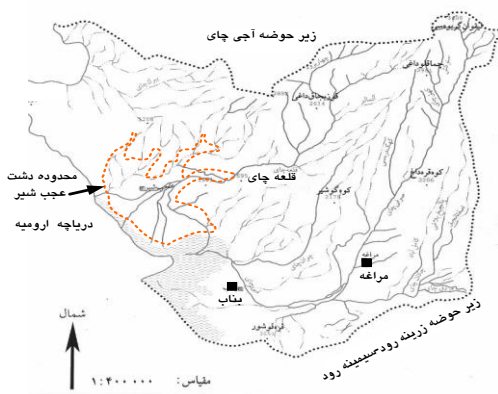
کشاورزی در این دشت حدود ۷۰۰۰ هکتار است که انواع مختلف محصولات زراعی و باغی در آن کشت می‌گردد. کل آب مصرفی در بخش کشاورزی در حدود ۶۵ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود که بیش از نصف آن از منابع آب زیرزمینی تأمین و برداشت می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۰). سفره آب زیرزمینی دشت از نوع آزاد است. آب‌رفت‌های دشت از تناوب لایه‌های مختلف درست و ریزدانه حاصل شده و کلیه لایه‌های آبدار سطحی در ارتباط هیدرولیکی باهم هستند (مهندسیین مشاور بندآب). وسعت کل دشت و آبخوان عجب‌شیر به ترتیب برابر ۱۳۱/۳ و ۹۷ کیلومترمربع است. میانگین ضریب ذخیره در این آبخوان ۴ درصد برآورد شده است. میانگین عمق برخورد به آب در پهنه آبخوان حدود یازده متر برآورد شده است. به دلیل برداشت از آب زیرزمینی به‌طور میانگین هر سال حدود ۲۰ سانتی‌متر از سطح آب زیرزمینی کاسته می‌شود. کل برداشت و تخلیه از چاه، چشمه و قنات موجود در دشت حدود ۴۰ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود که سهم بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی به ترتیب برابر ۳۱/۵، ۸/۰ و ۰/۴ میلیون مترمکعب بود (بی‌نام، ۱۳۹۶). برای بررسی وضعیت سفره زیرزمینی دشت عجب‌شیر و تحلیل تغییرات زمانی آن از آمار آب‌های زیرزمینی وزارت نیرو استفاده شده است (بی‌نام، ۱۳۹۶). در این پژوهش از میانگین سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف سال به‌عنوان سطح میانگین سالانه در آبخوان دشت استفاده شد. داده‌های آب زیرزمینی از سال ۶۴-۱۳۶۳ تا ۹۷-۱۳۹۶ بررسی شده و با توجه به هدف پژوهش، سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۴۰۷-۱۴۰۶ پیش‌بینی گردید

کمی مصرف و پیش‌بینی روند استفاده از این منابع بوده‌و علیرغم وجود روش‌های تحلیل با توانمندی و شایستگی مانند سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی تاکنون بررسی با رویکرد کاربردی در این موضوع صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تحلیل و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر با الگوی مناسب سری‌های زمانی و پیشنهاد سناریوی مناسب برای صرفه‌جویی در کمیت منابع آب زیرزمینی بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی

دشت عجب‌شیر با مساحت حدود ۱۳۱/۳ کیلومترمربع در نودوپنج کیلومتری جنوب شهر تبریز و در حاشیه دریاچه ارومیه واقع شده که از شمال به آذرشهر، از جنوب به بناب و از شرق به ارتفاعات سهند محدود می‌شود (مهندسیین مشاور جاماب، ۱۳۷۲). آبخوان این دشت بین مختصات جغرافیایی ۳۱° ۳۷' تا ۲۵° ۳۷' عرض شمالی و از ۴۵° ۵۰' تا ۴۵° ۵۸' طول شرقی واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت دشت عجب‌شیر نسبت به دریاچه ارومیه نشان داده شده است. منطقه در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. میانگین ریزش‌های جوی و تبخیر سالانه در این دشت به ترتیب برابر ۴۳۰ و ۲۲۷ میلی‌متر است (مهندسیین مشاور جاماب، ۱۳۷۲). دشت عجب‌شیر از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی و کشور است که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در آن، نیازمند مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی است. سطح اراضی



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت عجب شیر نسبت به دریاچه ارومیه (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۲ و بی نام، ۱۳۸۱)

که در آن: $\hat{\Gamma}_k$: ضریب خودهمبستگی سری سطح آب زیرزمینی بوده در تاخیر k ، \bar{Z} : میانگین سری سطح آب زیرزمینی و Z_t مقدار سری در زمان t و n : تعداد مشاهدات سری می باشد تابع خودهمبستگی جزء (PACF) عبارت است از همبستگی بین سری سطح آب زیرزمینی در t و $t+k$ وقتی که وابستگی خطی سری سطح آب زیرزمینی در $t+1$ و $t+k-1$ حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جزء برای تغییرات سطح آب زیرزمینی از رابطه زیر محاسبه گردید (نیرومند ۱۳۷۶):

$$\hat{\Phi}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\Phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\Phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (2)$$

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. برای الگوبندی سری زمانی سطح آب زیرزمینی از انواع مختلف فرآیندهای احتمالاتی از جمله: فرآیندهای تصادفی، برازشهای خطی و درجه دوم، هموارسازیهای مختلف، میانگین متحرک اتورگرسیو، الگوهای اتورگرسیو میانگین متحرک و اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک فصلی (SARIMA) استفاده گردید.

الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک فصلی $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ به صورت زیر است:

الگوبندی و پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی
در این پژوهش برای الگوبندی، آزمون و پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عجب شیر از فن سری های زمانی استفاده گردید. یک سری زمانی از تغییرات سطح آب زیرزمینی مجموعه ای از مشاهدات است که بر حسب زمان مرتب شده و هدف از تحلیل آن توصیف، تشریح و پیش بینی مقادیر آینده یک فرآیند مانند تغییرات سطح آب زیرزمینی است (Chatfield, 1996 و نیرومند، ۱۳۷۶). توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده ها، تشخیص ایستائی و نایستائی آن و بررسی خودهمبستگی سری سطح آب زیرزمینی است. پیش بینی شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده های مشاهده شده است (Chatfield, 1996 و نیرومند، ۱۳۷۶).

برای تشخیص الگوی اولیه برای یک سری سطح آب زیرزمینی از تابع خودهمبستگی نمونه (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء نمونه (PACF) استفاده می شود (Chatfield, Brockwell and Davis, 1996; 1996). تابع خودهمبستگی نمونه در سری های سطح آب زیرزمینی عبارت از همبستگی بین سری سطح آب با همان سری در تأخیر k است. مقدار ACF نمونه از رابطه زیر محاسبه گردید (Chatfield, 1996)

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2} \quad (1)$$

$$(3) \quad (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{sp})(1 - B)^d(1 - B^s)^D Y_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_p B^{sq}) \varepsilon_t$$

است. ضرایب الگو با روش حداکثر درستنمایی با استفاده از نرم افزار MINITAB به دست آمد. این ضرایب عبارتند از:

که در آن: p و q و d : به ترتیب مراتب الگوی اتورگرسیو و میانگین متحرک و تفاضلی بودن و n : تعداد مشاهدات سری است. ضرایب p , d و q متعلق به الگوی اتورگرسیو و ضرایب P , D و Q متعلق به مؤلفه فصلی بودن الگو

$$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_p, \sigma$$

زیرزمینی نسبت به مقادیر سال آبی ۶۴-۱۳۶۳ (سال پایه) محاسبه گردید و نتایج با فواصل مساوی (یک سال) در شکل ۲ ارائه گردید. نتایج نشان داد در طول ۳۴ سال مورد بررسی، سطح تجمعی آب زیرزمینی تا سال ۶۷-۱۳۶۶ به اندازه ۱/۱۰ متر افزایش و در سال ۸۷-۱۳۸۶ به اندازه ۶/۰۰ متر کاهش داشته است. نتایج نشان داد به طور میانگین هر سال حدود ۲۰ سانتی متر از سطح آب زیرزمینی در این دشت کاسته شده است.

بر اساس داده‌های افت سطح آب زیرزمینی نمودار تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء (PACF) تا هفت سال تأخیر در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد بر اساس تشخیص اولیه سهم هر دو الگوی اتورگرسیو و میانگین متحرک افت سطح آب زیرزمینی قابل مشاهده است. ارزیابی اولیه نشان داد سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در طول ۳۴ سال روند داشت. در جدول ۱ مشخصات الگوی مختلف قابل انتخاب برای تحلیل و پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی (برای ۲۲ سال اول الگوبندی، برای ۱۱ سال بعد از آن، آزمون و برای ۱۱ سال بعد از آن پیش‌بینی صورت می‌گیرد) در این دشت ارائه شده است. شاخص‌های مختلف برای انتخاب مناسب‌ترین الگو در این جدول ارائه شده است. با در نظر گرفتن همه این شاخص‌ها، الگوی ردیف شانزدهم $ARIMA(2,2,2) \times (0,0,1)_2$ مناسب‌ترین الگو برای بیان افت تجمعی سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر تشخیص داده شد. علاوه بر شاخص‌های ارزیابی دقت الگو، سه آماره (VAR, MEAN, AUTO) برای ارزیابی کفایت الگو برای داده‌های مورد بررسی نیز ارائه شده است. نتایج نشان داد

برای انتخاب بهترین الگو از بین الگوهای مختلف، از شاخص‌های خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، خطای خالص میانگین (MAE)، خطای میانگین (ME)، معیارهای آگاهی آکائیک (AIC)، هانن کوپین (HQC) و شوارز بی‌زین (SBC) استفاده گردید. هر یک از این معیارها به صورت برآورد گردید

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H1 - H2)^2 \right]} \quad (4)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H1 - H2). \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H1 - H2|. \quad (6)$$

$$(p+q)AIC = \ln \sigma^2 + \frac{2}{T} \quad (7)$$

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

که در آن $H1$ و $H2$ به ترتیب افت سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با الگوی مورد نظر 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 پیش‌بینی با سری زمانی به این صورت بود که در مجموع ۴۴ سال (از سال ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۶) تغییرات سطح آب زیرزمینی تحلیل گردید. حدود ۵۰ درصد آن برای الگوبندی (از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۵)، ۲۵ درصد آن برای آزمون (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) و ۲۵ درصد بقیه (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۷) برای پیش‌بینی استفاده گردید.

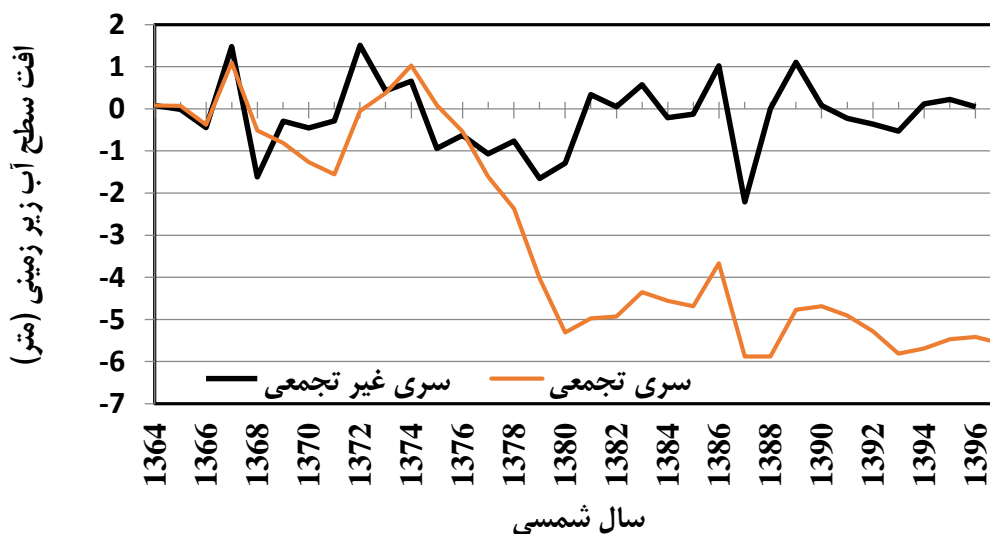
نتایج و بحث

الگوبندی تغییرات سطح آب زیرزمینی

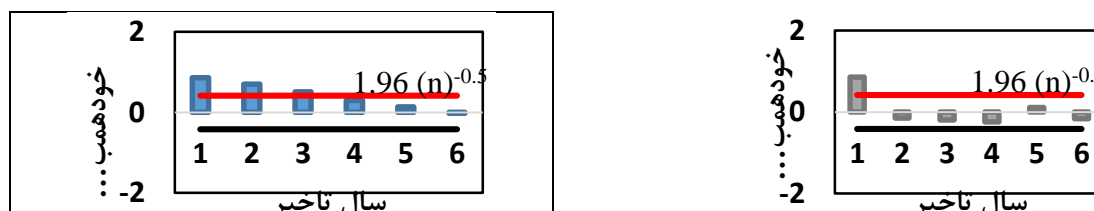
برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی، میانگین سری افت تجمعی سطح آب

هیدرولوژیک و اقلیمی، مناسب‌ترین الگو ARIMA می‌باشد. بنابراین علاوه بر سازگاری رفتار برخی از مؤلفه‌های تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی با این یافته، الگوی زمانی برازش شده به افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر نیز با این یافته سازگار تشخیص داده شد. بنابراین الگوی انتخاب‌شده برای بیان سری زمانی سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر از نوع اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) و به صورت $ARIMA(2,2,2) \times (0,0,1)_2$ با مشخصات جدول ۲ تنظیم شد. ضرایب الگوی به دست آمده نیز ارزیابی گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد ضرایب اتورگرسیو، میانگین متحرک و فصلی بودن در سطح کمتر از یک درصد معنی دار بود. شکل ۴ نشان داد الگوی به دست آمده به‌طور رضایت بخشی داده‌های افت سطح آب زیرزمینی را برازش نموده است.

الگوی حاصل به‌اندازه کافی برای الگوبندی داده‌ها کفایت می‌کند (جدول ۱) به نظر می‌رسد رفتار سری‌های افت تجمعی سطح آب زیرزمینی مشابه رفتار مؤلفه‌های تخلیه و تغذیه سطح آب زیرزمینی مانند نفوذ آب در خاک (ناصری ۱۳۸۳) دلیل این تشابه از آنجا ناشی می‌شود که اولاً داده‌های سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌داری بودند و مقادیر سری در یک‌زمان مشخص به مقادیر سری در زمان ماقبل خود وابسته و همبسته بود. همین ویژگی است که سهم الگوی اتورگرسیو را برجسته می‌نماید. همچنین همبستگی جزئی سری دارای مقادیری معنی‌دار بود در سهم میانگین متحرک الگو نیز برجسته بود. از سوی دیگر با توجه به این که Sen (1988) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده‌اند و (Salas et al. (1980 گزارش نموده برای الگوبندی زمانی رفتارهای پدیده‌های



شکل (۲): افت تجمعی سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر



شکل (۳): خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در تأخیرهای مختلف (داده‌های الگوبندی)

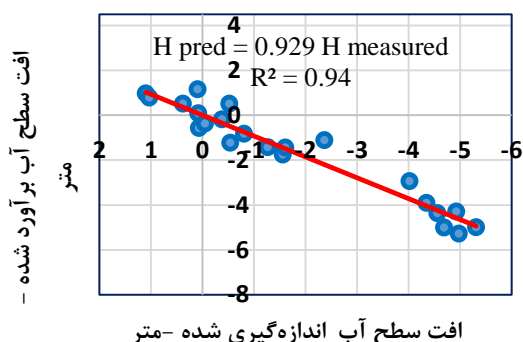
جدول (۱): الگوهای ممکن برای انتخاب مناسب‌ترین الگوی افت تجمعی سطح آب در آبخوان عجب‌شیر

آماره سنجش کفایت الگو برای داده‌ها		آماره سنجش دقت الگو						روش‌های الگوبندی و پیش‌بینی	ردیف
MEAN	VER	SBIC	HQC	AIC	ME	MAE	RMSE		
ns	ns	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۰	-۰/۰۸	۱/۱۱	۱/۳۶	گام تصادفی	۱
***	**	۱/۹۱	۱/۸۴	۱/۸۲	-۰/۰۴	۱/۹۲	۲/۲۶	برازش خطی	۲
ns	ns	۱/۰۵	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۰۶	۱/۰۸	۱/۳۷	برازش درجه دوم	۳
ns	ns	۱/۰۸	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۰۶	۰/۹۶	۱/۲۹	میانگین متحرک ساده دوجزئی	۴
ns	ns	۱/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۹	-۰/۲۸	۱/۰۴	۱/۲۳	هموارسازی نمایی ساده	۵
ns	ns	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۶۳	-۰/۱۸	۱/۰۲	۱/۲۵	هموارسازی نمایی خطی براون	۶
ns	ns	۱/۰۰	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۰۶	۱/۱۰	۱/۴۳	هموارسازی نمایی خطی هالت	۷
ns	ns	۱/۰۳	۰/۹۲	۰/۸۸	-۰/۰۶	۱/۰۶	۱/۳۶	هموارسازی نمایی کوادراتیک براون	۸
ns	ns	۱/۱۳	۱/۰۵	۱/۰۳	۰/۱۱	۱/۱۵	۱/۵۳	هموارسازی نمایی وینتر	۹
ns	ns	۱/۹۱	۱/۸۰	۱/۷۶	-۰/۸۷	۱/۵۴	۲/۱۱	ARIMA(1,1,2) × (2,0,0) ₂	۱۰
ns	ns	-۰/۱۱	-۰/۳	-۰/۳۶	-۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۶۷	ARIMA(1,1,1) × (0,0,2) ₂	۱۱
ns	ns	-۰/۱۶	-۰/۳۱	-۰/۳۵	-۰/۰۸	۰/۵۲	۰/۷۰	ARIMA(1,1,2) × (0,0,0) ₂	۱۲
ns	ns	-۰/۱۹	-۰/۳۱	-۰/۳۴	-۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۷۴	ARIMA(1,1,2) × (0,0,2) ₂	۱۳
ns	ns	-۰/۱۵	-۰/۲۷	-۰/۳۰	-۰/۱۳	۰/۵۳	۰/۷۵	ARIMA(1,1,1) × (0,0,1) ₂	۱۴
**	ns	-۰/۰۴	-۰/۲۳	-۰/۲۹	-۰/۰۱	۰/۵۰	۰/۶۹	ARIMA(0,1,2) × (0,0,1) ₂	۱۵
ns	ns	-۰/۶۱	-۰/۸۰	-۰/۸۶	-۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۵۲	ARIMA(2,2,2) × (0,0,1) ₂	۱۶

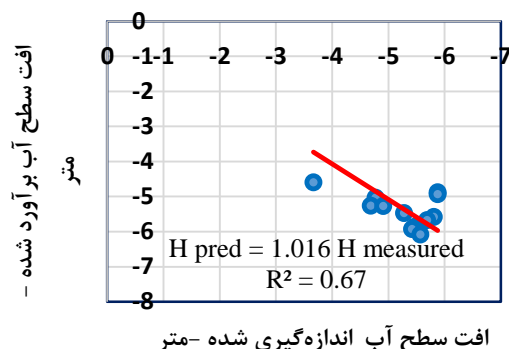
جدول ۲- مشخصات پارامترهای الگوی برازش شده به داده‌های افت سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر

پارامتر	ضرایب	اشتباه استاندارد	آماره تی	مقدار P
AR(1)	-۱/۳۹۵	۰/۰۴۷	-۲۹	کمتر از یک درصد
AR(2)	-۰/۸۱۱	۰/۰۳۸	-۲۲	کمتر از یک درصد
MA(1)	-۰/۹۵۴	۰/۰۴۰	-۲۴	کمتر از یک درصد
MA(2)	-۱/۱۳۰	۰/۰۵۷	-۲۰	کمتر از یک درصد
SMA(1)	۱/۱۷۰	۰/۰۳۳	۳۵	کمتر از یک درصد

۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ صورت گرفت. نتایج مقایسه افت سطح آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده که در شکل ۴ (راست) ارائه شده است نشان داد الگوی حاصل از رویکرد برازش و پیش‌بینی نتایج رضایت‌بخش و قابل قبولی دارد.



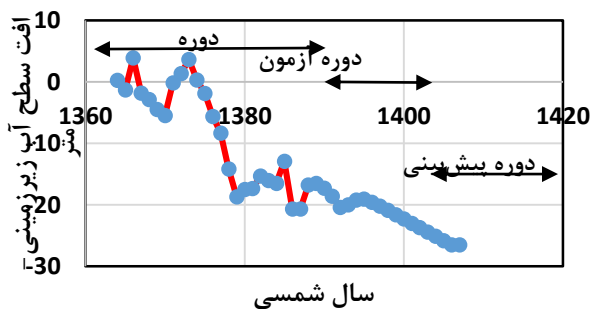
آزمون الگوی برازش شده بر افت تجمعی سطح آب زیرزمینی پس از مرحله الگوبندی داده‌ها، آزمون کارایی الگو با داده‌های واقعی ۱۱ سال افت سطح آب زیرزمینی از سال



شکل ۴- افت سطح آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده با الگوی ARIMA برای داده‌های الگوبندی (چپ) و آزمونی (راست)

به صورت افزایشی با شیب کم و تقریباً خطی صورت گرفته است. با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، برای سال پیش‌بینی ۱۴۰۷، میانگین افت تجمعی برابر ۲۶/۵ میلیون مترمکعب (معادل ۷/۵ متر) نسبت به سال پایه ۱۳۶۳ خواهد بود (شکل ۵)

پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی پس از مرحله الگوبندی داده‌ها و آزمون کارایی الگو، مرحله پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی برای ۱۱ سال از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۷ صورت گرفت. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از الگوی یاد شده نشان داد برای سال‌های پیش‌بینی روند تغییرات افت تجمعی در سال‌ها



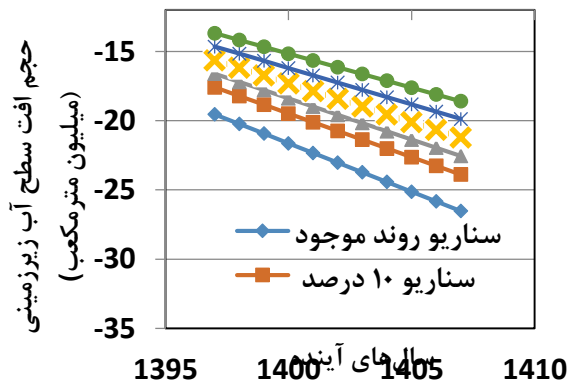
شکل ۵: افت تجمعی سطح آب زیرزمینی آبخوان عجب‌شیر برای دوره آماری الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی نسبت به سال پایه (۱۳۶۳)

بهره‌برداری (بدون برنامه صرفه‌جویی)، مصرف منبع آب زیرزمینی با ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد صرفه‌جویی با شروع از سال ۱۳۹۷ که در آن صورت تغییرات کاهش حجم آب زیرزمینی در این دشت به صورت شکل ۶ خواهد بود. به عنوان مثال در صورت صرفه‌جویی به اندازه

بنابراین در طول ۱۱ سال آینده به طور میانگین بیش از ۸ میلیون مترمکعب از سطح آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر کاسته خواهد شد. برای مدیریت بهینه مصرف این منبع ارزشمند آب، سناریو و شرایط مختلف مصرف نیز پیش‌بینی گردید. سناریوها شامل ادامه روند

صرفه‌جویی ۳۰ درصد، نزدیک ۸ میلیون مترمکعب خواهد بود.

۱۰ درصد، در سال یازدهم نزدیک سه میلیون مترمکعب در آب صرفه‌جویی خواهد شد و این حجم با



شکل (۶): حجم افت جمعی سطح آب زیرزمینی آبخوان عجب‌شیر در سال‌های آینده و تأثیر سناریوها در صرفه‌جویی مصرف آب زیرزمینی

تغییرات کمی سطح آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر پرداخته شد. برای تکمیل مطالعات می‌توان تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در این دشت را نیز مطالعه نمود. ادامه پژوهش با تحلیل مناسب بیلان آب زیرزمینی در سال پایه و سال‌های آینده با لحاظ مؤلفه‌های تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی نیز می‌تواند مفید باشد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله مؤلفین 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. این مقاله از گزارش پژوهشی به شماره ثبت ۴۳۶۰۲ استخراج شده است. مؤلفین همچنین از نظرات و ارشادات علمی هیات محترم تحریریه و داوران ارجمند فصلنامه صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند. از آقای مهندس حسین محمدی مزرعه برای تهیه بخشی از امکانات پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی که بخش قابل‌توجهی از آب کشاورزی در آن از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. در طول سه دهه گذشته افت معنی‌دار (بیش از ۵/۵ متر) داشته است. تغییرات سطح آب زیرزمینی برای سه دهه گذشته تحلیل شده و برای یک دهه آینده پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد در صورت ادامه یافتن شرایط و روند موجود بهره‌برداری و استفاده از آب کشاورزی در این دشت، میانگین حجم افت آب زیرزمینی در انتهای دهه آینده ۲۶/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود. برای کاهش اثرات روند تغییرات سطح آب و مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی، سناریوهای مختلف صرفه‌جویی با شروع از سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد. در صورت صرفه‌جویی از سال ۱۳۹۷ به‌اندازه تنها ۱۰ درصد، در انتهای دهه آینده نزدیک سه میلیون مترمکعب در آب زیرزمینی در این دشت صرفه‌جویی خواهد شد. این اقدام می‌تواند در تعادل بخشی سطح آب زیرزمینی در دشت اثر بخشی معنی‌داری داشته باشد. در این بررسی، به تحلیل

منابع

- بی‌نام. ۱۳۷۰. طرح جامع آب کشور، منابع آب‌های زیرزمینی (نحوه محاسبه بیلان آب زیرزمینی و مجموع بیلان حوزه‌ها، تقسیم‌بندی دشت‌ها از نظر پتانسیل). شرکت مهندسی مشاور جاماب. ۱۰۴ ص.
- بی‌نام. ۱۳۸۱. فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور جلد اول حوزه آبریز دریاچه ارومیه. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۳۲۰ ص
- بی‌نام، ۱۳۹۶. بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی کشور. شرکت مدیریت منابع آب ایران، معاونت مطالعات پایه و مدیریت حوزه‌های آبریز، وزارت نیرو. ایران
- پورعباس، ف. ۱۳۷۸. برآورد بازده‌های آبیاری در استان آذربایجان شرقی در سال‌های زراعی ۷۷-۱۳۷۶ و ۷۶-۱۳۷۵. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صفحه‌های ۵۶۳ تا ۵۸۰.
- حسین زاده، ج. جواد، ا. حیاتی، ب. پیش بهار، ا. و دشتی، ق. ۱۳۹۰. کاربرد الگوی کنترل بهینه در برداشت آب از منابع زیرزمینی، مطالعه موردی دشت عجب‌شیر. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. جلد ۲۵، شماره ۲. صفحه ۲۱۲ تا ۲۱۸.
- چیت‌سازان، م. میرزائی، س. ی. و چینی پرداز، ر. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی آبخوان شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. مجله علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز. قسمت ب. صفحه‌های ۱ تا ۱۵.
- 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.
- مهندسی مشاور بندآب. ۱۳۷۵. گزارش مطالعات مرحله یکم طرح قلعه چای عجب‌شیر، جلد ششم. مطالعات آب‌های زیرزمینی قسمت اول و دوم (الگوهای ریاضی آبخوان دشت عجب‌شیر و حفاری اکتشافی و آزمایشی پمپاژ چاه‌های اکتشافی دشت). آرشو سازمان آب منطقه‌های آذربایجان شرقی. تبریز
- ناصری، ا. ۱۳۸۳. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی نفوذ و توزیع زمانی مکانی جریان سطحی در آبیاری جویچه‌ای. پایان‌نامه دکتری علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- مهندسی مشاور جاماب. ۱۳۷۲، طرح جامع آب کشور، سیمای توسعه دشت‌های ایران، حوزه‌های آبریز شمال و آذربایجان. جلد اول، ۲۸۸ صفحه
- نیرومند، ج. ۱۳۷۶. تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چند متغیری (ترجمه). دانشگاه فردوسی مشهد. هاشمی، ر. و جهان‌شاهی، م. ۱۳۸۴. تحلیل و پیش‌بینی بارندگی ماهانه و سالانه در منطقه تربت حیدریه خراسان. پنجمین سمینار احتمال و فرآیندهای تصادفی. بیرجند.
- ویسی پور، ح. معصوم پور سماکش، ج. ف. صحنه، ب؛ و یوسفی، ی. ۱۳۸۹. تحلیل پیش‌بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی (ARIMA) نمونه موردی: شهرستان کرمانشاه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد ۸، شماره ۲. صفحه‌های ۲۱ تا ۳۰.
- Anthony, C.A. and N. Juddy. 2004. The influence of climate variability and climate change on agricultural production in Nigeria. EMS Annual Meeting Abstracts, 1: 449-449.
- Brightte, E.J. and M. J. Hendry. 2003. Application of harmonic analysis of water levels to determine vertical hydraulic conductivity. Groundwater, 41(40): 514-522.
- Castellano-Mendez, M., W. Gonzalez-Manteiga, M. Febrero-Bende, J.M. Prada-Sanchez and R. Lozano-Calderon. 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.
- Leite, S. and J. Peixoto. 1996. The autoregressive model climatologically time series an application to the longest time series in Portugal. International Journal of Climatology, 16: 1165-1173.

- Padilla, A., Puldo-Bosch, A., Cavache, M. and Vallejos, A. 1996. The ARMA model applied to the flow of Karst Spring. *Water Resources Bulletin*, 32:917-928.
- Quimpo, R.G. 1968. Autocorrelation and spectral analysis in hydrology. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 94(2): 363-373.
- Sen, Z. 1998. Small sample estimation of the time average in climate time series. *International Journal of Climatology*, 18: 1725-1732.
- Ahn, H. 2000. Modeling of groundwater heads based on second order difference time series modeling. *J. Hydrology*, 234: 82-94.
- Anonyms. 2012. Groundwater resources statues. Energy Ministry. Iran
- Box, G.E.P. and D.R. Cox. 1964. An analysis of transformation. *Roy. Stat. Soc., Se.26*: 211-252.
- Brockwell, P.J. and R.A. Davis. 1996. *Introduction to time series and forecasting*. Springer-Verlag, New York, Inc.
- Burlando, P., A. Montana, and R. Raze. 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and liner models, *Atmospheric Research*, 42: 199-216.
- 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.
- Chow, V.T. and S.J. Karelitis. 1970. Analysis of stochastic hydrologic systems. *Water Resources Research*, 16: 1569-1582.
- Gibrilla, A., G. Anornu, and D. Adomako. 2018. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 6:150-163.
- Salas, J.D., J.W. Delleur, V.M. Yevjevich and W.L. Lane. 1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources publications. Littleton Co.
- Samani, N. 2001. Response of karest aquifer to rainfall and evaporation, Maharlu basin, Iran. *Journal of Cave and Karest Studies*, 63: 23-40.
- Samani, N., Raeissi, E. and A. Soltani, 1994. Modeling the stochastic behavior of the Fars River. *J. Science, IRI*. 5 (1& 2): 49-58.
- Siadat, H. 2000. *Iranian agriculture and salinity*. Soil and Water Research Institute of Iran, Tehran, Iran.
- Taweessin, K., U. Seeboonruang, and P. Saraphirom, 2018. The Influence of Climate Variability Effects on Groundwater Time Series in the Lower Central Plains of Thailand. *Water*, 10(3), p.290.
- Yang, Q., Y. Wang, J. Zhang and J. Delgado. 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.

Groundwater Levels Modeling and Forecasting for Ajabshir Plain by a Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)

Model

Abolfazl Nasseri¹ and Alireza Hassanoghli²

Abstract

Ajabshir plain is one of the most important agricultural areas in East Azarbaijan province, which groundwater resources were applied more than half the water requirement of Agricultural productions in this plain. Continuous utilization of groundwater caused a decline of 5.5 m from since 1984. Therefore, optimal and sustainable exploitation of groundwater resources in this plain is a management necessity. Consequently, modeling and prediction of the exploitation process could be accomplished by an appropriate technique. This research was conducted with the aim of analyzing the groundwater level variations in Ajabshir plain with time series statistical models due to the ability of time series techniques to model and predict the behavior of temporal variation in water engineering. Also, in this study, the groundwater level decline was modeled for 16 years with 16 models. A Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) was recognized as the most appropriate pattern. Modeling, testing and prediction model was as follows: about 50% of the data for modeling (from 1984 to 2006), 25% for the test (from 2006 to 2017) and 25% (from 2017 to 2028) was used for prediction. Results showed that the average volume of groundwater drop in the 11th year of the forecast (2028) is equal to $26.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ under continued exploitation with the current conditions for agricultural production in the plain. Different saving scenarios, including 0, 10, 15, 20, 25 and 30 percent savings starting from 2018 were considered for optimal management of groundwater application. In the eleventh year, about $\times 10^6 \text{ m}^3$ of groundwater will be saved with savings of only 10% from 2018.

Keywords: Ajabshir plain aquifer, Groundwater, Groundwater modeling, Autoregressive analysis.

1-Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. nasseri_ab@yahoo.com, 09143108471

2- Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran