

مقایسه کاربرد چهارده الگوی سری‌های زمانی برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرند (حاشیه شمالی دریاچه ارومیه)

ابوالفضل ناصری^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۲

چکیده

دشت مرند از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی است که بیش از ۸۰ درصد از نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در این دشت، از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. برداشت مداوم و بی‌رویه موجب افت قابل توجه از سطح آب زیرزمینی گردیده است. بنابراین بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این دشت یک ضرورت مدیریتی است که آن هم مستلزم الگوبندی کمی مصرف و پیش‌بینی روند بهره‌برداری از این منبع است. از سوی دیگر با عنایت به توانمندی فن‌های سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی رفتار پدیده‌های مهندسی آب، این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی این دشت با الگوهای یادشده، انجام گردید. در این پژوهش افت سطح آب زیرزمینی به مدت ۴۵ سال با ۱۴ روش، الگوبندی ارزیابی گردید و پس از ارزیابی، الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) مناسب‌ترین الگو تشخیص داده شد. نحوه الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی با الگوی یادشده به این صورت بود که حدود داده‌های ۲۵ سال افت سطح آب زیرزمینی برای الگوبندی (از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶)، ۱۰ سال (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶) برای آزمون و ۱۰ سال آینده بقیه (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۶) برای پیش‌بینی استفاده گردید. نتایج نشان داد سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۱ تاکنون بیش از ۱۷ متر افت داشته است. سناریوهای مختلف صرفه‌جویی با شروع از سال ۱۳۹۷ برای کاهش اثرات روند نزولی تغییرات سطح آب و مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی، در نظر گرفته شد. در صورت صرفه‌جویی فقط به اندازه ۱۰ درصد در مصرف آب زیرزمینی، در سال دهم معادل ۶۷ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی خواهد شد. راهکارهایی مانند تسطیح اراضی زراعی، استفاده از گیاهان زراعی و باغی با نیاز آبی کم، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری می‌توانند موجب صرفه‌جویی در مصرف آب در این دشت که در حاشیه دریاچه ارومیه قرار گرفته، باشد

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک، تغییرات حجم آب زیرزمینی، دشت مرند، منابع آب زیرزمینی

مقدمه

به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی در تامین نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در آن، نیازمند مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی است. در این دشت بیش از ۸۰ درصد از نیاز آبی محصولات زراعی و باغی با استفاده از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود (Anonyms., 2012). منابع آب زیرزمینی در استان شامل ۳۴۸۰۹ حلقه چاه با تخلیه ۹۰۲ میلیون مترمکعب، ۱۸۹۹ رشته قنات با تخلیه ۲۷۳ میلیون مترمکعب و ۱۹۸۰ دهنه چشمه با تخلیه ۱۳۹ میلیون مترمکعب و در مجموع تخلیه کل سالانه از منابع آب زیرزمینی استان در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ برابر ۱۳۱۴ 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. از مناسب‌ترین روش‌های مرسوم برای الگوبندی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده از فن‌های واپازی و سری‌های زمانی است. استفاده از این فن‌ها در برخی از مسایل

منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب در تولید محصولات کشاورزی کشور است. میزان وابستگی تولیدات زراعی و باغی به این منبع طبیعی تا حدی است که برداشت بیش از حد مجاز، 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 ۱۹ میلیارد مترمکعب به بیش از ۶۲ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است. مانند برخی از استان‌های کشور، وابستگی تولیدات کشاورزی به آب زیرزمینی در استان آذربایجان شرقی نیز قابل توجه است. دشت مرند یکی از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی و کشور است،

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

است توسط برخی از پژوهشگران از جمله گویمپو (Quimpo., 1968)، کسلانو- مندز و همکاران (Castellano-Mendez et al., 2004) و طرازکار و صدق‌آمیز (۱۳۸۷) الگوبندی و پیش‌بینی گردیده و نتایج دلالت بر کارایی شایسته این فن در الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی مقادیر جریان داشته است. تحلیل نفوذ آب از اراضی کشاورزی به‌عنوان یکی دیگر از مولفه‌های تغذیه سطح آب زیرزمینی توسط ناصری (۱۳۸۳) با استفاده از الگوی ARIMA صورت گرفته است. برای و هندرای (Brightte and Hendry., 2003) تعیین هدایت هیدرولیکی در حالت قایم از تحلیل طیفی و هارمونیک استفاده نموده‌اند. 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)، رخسندرو و امیری (Rakhshandehroo and Amiri., 2012)، پیترسون و همکاران (Peterson et al., 2010)، کوثریت (Cuthbert., 2010)، هاچ 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.

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در تامین بیش از ۸۰ درصد از نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در دشت مرنده (در استان آذربایجان شرقی و در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه) و اهمیت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این دشت که مستلزم الگوبندی کمی مصرف و پیش‌بینی روند استفاده از این منابع بوده و از سوی دیگر با عنایت به توانمندی و شایستگی روش‌های سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی رفتار بسیاری از پدیده‌های مهندسی آب، هدف این پژوهش تحلیل و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرنده با الگوهای مناسب آماری است. یافته‌های پژوهش قابلیت کاربرد داشته و می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریت پایدار و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی در حاشیه دریاچه ارومیه مورد استفاده مدیران محترم برنامه‌ریزی استفاده پایدار از منابع آب قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه

دشت مرنده در مختصات ۴۵ درجه و ۱۵ تا ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی در ۶۰ کیلومتری شمال تبریز قرار گرفته است. این دشت از شمال و شرق به ارتفاعات آبریز حاجیل‌رود و دره دیزچای، از غرب به ارتفاعات

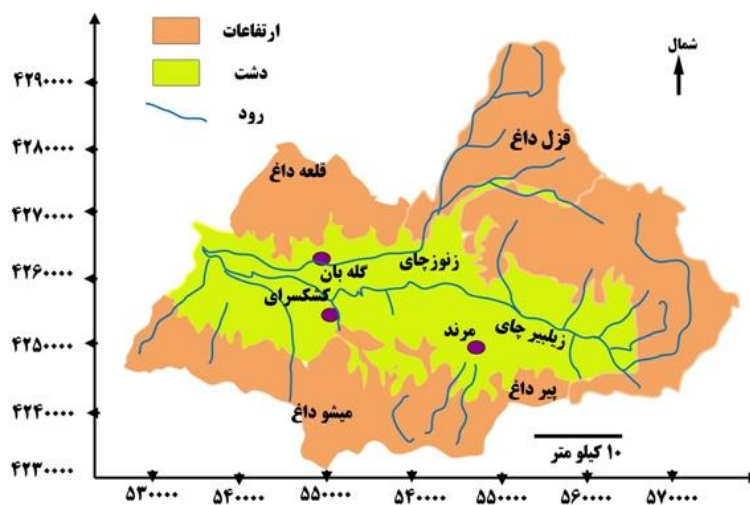
هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هواشناسی و حتی سایر رشته‌های مهندسی آب در حال گسترش است. برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها و کاربردهای الگوهای تحلیل و پیش‌بینی در علوم و مهندسی آب به‌ویژه در مسایل آب‌های زیرزمینی را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود.

چاو و کارلیوتیس سری‌های زمانی مولفه‌های تغذیه و تخلیه بیلان آب زیرزمینی (بارش و تبخیر) و نیز سری‌های ذخیره آب زیرزمینی را تحلیل نموده و در بررسی آمار بلندمدت تغییرات فصلی در هر سال را مشاهده نموده‌اند (Chow and Kareliotis., 1970). سامانی و همکاران با تحلیل سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی و برخی مولفه‌های تغذیه و تخلیه مانند مولفه بارش و تبخیر در چاه‌های مشاهداتی در دشت بهشهر - نکا، قابلیت و کارایی این فن را تایید نموده‌اند (Samani et al., 1994). وان‌گیری برای درون‌یابی مکانی سری‌های سطح آب زیرزمینی، الگوهای انتقال باکس جینکس را به‌کاربرده‌اند (Vangeer., 1996). پدیلا و همکاران برای پیش‌بینی آبدی چشمه کارستی پس از تبدیل لگاریتمی و تفاضل‌گیری از سری داده‌ها، از الگوی ARMA استفاده و کاربرد آن را توصیه نموده‌اند (Padilla et al., 1996). برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی پس از تفاضلی نمودن سری داده‌ها از الگوی ARIMA استفاده نمود (Ahn., 2000). سامانی از توابع خودهمبستگی و چگالی طیفی فن سری‌های زمانی برای بررسی وضعیت سفره‌های کارستی و بازتاب این سفره‌ها به مولفه‌های تغذیه و تخلیه مانند بارش و تبخیر در حوضه مهارلو پرداخت (Samani, 2001). 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. ایشان آبخوان یاد شده را به چهار منطقه با همبستگی و تاخیر فازهای مختلف تقسیم نموده‌اند. در سال‌های اخیر روش‌های مختلف سری زمانی برای تحلیل، بررسی روند و پیش‌بینی سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته و کارایی آن بازم مورد تایید قرار گرفته است (Choubin et al., 2017; Gibrilla et al., 2018; Taweessin et al., 2018; Yang et al., 2017).

تحلیل و پیش‌بینی بارش به‌عنوان یکی از مولفه‌های اساسی تغذیه آب زیرزمینی با فن سری‌های زمانی توسط پژوهشگران مختلف از جمله بورلاندو (Burlando et al., 1996)، زاهدی و قوبدل رحیمی (۱۳۸۱)، طاهری (۱۳۸۷)، ترابی (۱۳۸۰) و ویسی پور و همکاران (۱۳۸۹) صورت گرفته و گزارش آن‌ها دلالت بر کارایی شایسته این فن در الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی مقادیر بارش داشته است. جریان‌های رودخانه‌ای از مولفه‌های تغذیه سطح آب زیرزمینی

متر می‌باشد. میانگین ریزش‌های جوی و تبخیر سالانه در این دشت به ترتیب برابر ۳۴۲ و ۲۴۵ میلی‌متر است.

حاشیه دشت‌های خوی و قره‌ضیال‌الدین و از جنوب به ارتفاعات میشو محدود می‌شود (شکل ۱). ارتفاع میانگین دشت از سطح دریا ۱۱۹۳



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مرنده

الگوبندی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی

در این پژوهش برای الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرنده از ۱۴ روش سری‌های زمانی استفاده گردید. این روش‌ها شامل گام تصادفی، برازش خطی، برازش درجه دوم، میانگین متحرک ساده دوجزی، هموارسازی نمایی ساده، هموارسازی نمایی خطی براون، هموارسازی نمایی خطی حالت، هموارسازی نمایی کوادراتیک براون، هموارسازی نمایی وینتر و الگوهای مختلف اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) بود. یک سری زمانی از تغییرات سطح آب زیرزمینی مجموعه‌ای از مشاهدات است که برحسب زمان مرتب شده و هدف از تحلیل آن توصیف، تشریح و پیش‌بینی مقادیر آینده یک فرآیند مانند تغییرات سطح آب زیرزمینی است (Chatfield., 1996 و نیرومند، ۱۳۷۶). توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده‌ها، تشخیص ایستایی و نا ایستایی آن و بررسی خودهمبستگی سری سطح آب زیرزمینی است. پیش‌بینی شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده‌های 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 جز نمونه (PACF) استفاده می‌شود (Brockwell and Davis., 1996; Chatfield, 1996). تابع خودهمبستگی نمونه در سری‌های سطح آب زیرزمینی عبارت از همبستگی بین سری سطح آب با همان سری در تاخیر k است. مقدار ACF نمونه از رابطه ۱ محاسبه گردید (Chatfield., 1996):

دشت مرنده از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی است که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی (بیش از ۸۰ درصد) در تامین نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در آن، نیازمند مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی است. سطح اراضی کشاورزی در این دشت حدود ۲۱۰۰۰ هکتار است که انواع مختلف محصولات زراعی و باغی در آن کشت می‌گردد. کل آب مصرفی در بخش کشاورزی در حدود ۲۲۰ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود که بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۲). وسعت کل دشت و آبخوان مرنده به ترتیب برابر ۸۲۷ و ۵۱۷ کیلومترمربع است (Anonyms., 2012). میانگین ضریب ذخیره در این آبخوان پنج درصد برآورد شده است. میانگین عمق برخورد به آب در پهنه آبخوان حدود ۳۸ متر برآورد شده است. به دلیل برداشت از آب زیرزمینی به‌طور میانگین هر سال حدود ۵۰ سانتی‌متر از سطح آب زیرزمینی کاسته می‌شود. کل برداشت و تخلیه سالانه از چاه، چشمه و قنات موجود در دشت حدود ۱۹۸/۶ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود که سهم بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی به ترتیب برابر ۱۷۵، ۱۹/۲ و ۴/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد (Anonyms., 2012). برای بررسی وضعیت سفره زیرزمینی دشت مرنده 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.

این معیارها به صورت رابطه‌های ۴ تا ۸ برآورد گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H1 - H2)^2} \quad (۴)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H1 - H2) \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H1 - H2| \quad (۶)$$

$$AIC = \ln \sigma^2 + \frac{2}{T} (p+q) \quad (۷)$$

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

که در آن H1 و H2 به ترتیب افت سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با الگوی موردنظر است. در این بررسی، MEAN و VAR 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 ۴۵ سال (از سال ۱۳۶۱ تا ۱۴۰۶) تغییرات سطح آب زیرزمینی تحلیل گردید. حدود ۲۵ سال آن برای الگوبندی (از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۵)، ۱۰ سال آن برای آزمون (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶) و ۱۰ سال بعدی (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۶) برای پیش‌بینی استفاده گردید.

نتایج و بحث

الگوبندی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرند

در شکل ۲ میانگین سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی نسبت به مقادیر سال آبی ۶۲-۱۳۶۱ (سال پایه) ارایه گردید. نتایج نشان داد در طول ۳۵ سال مورد بررسی، میانگین تجمعی سطح افت تجمعی آب زیرزمینی همواره روند نزولی داشت. از سال پایه تا انتهای سی و پنجمین سال بیش از ۱۷ متر از سطح آب زیرزمینی افت داشته است. به طور میانگین هر سال حدود ۴۸ سانتی‌متر از سطح آب زیرزمینی در این دشت کاسته شده است.

نمودار تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جز (PACF) تا نه سال تاخیر در شکل ۳ نشان داده شده است.

تشخیص اولیه نشان داد سهم هر دو الگوی اتورگرسیو و میانگین متحرک افت سطح آب زیرزمینی قابل مشاهده است. مشخصات چهارده الگوی مختلف سری زمانی قابل انتخاب برای تحلیل و پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در جدول ۱ ارایه شده است. شاخص‌های مختلف برای انتخاب مناسب‌ترین الگو در این جدول ارایه شده است. با در نظر گرفتن همه این شاخص‌ها، الگوی ردیف دهم $ARIMA(2,1,1) \times (0,1,0)_2$ مناسب‌ترین الگو برای بیان افت تجمعی سطح آب زیرزمینی دشت مرند تشخیص داده شد.

$$rk = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2} \quad (۱)$$

که در آن: r_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 می‌باشد.

تابع خودهمبستگی جز (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 $t+2$ و... حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جز برای تغییرات سطح آب زیرزمینی از رابطه ۲ محاسبه گردید (نیرومند، ۱۳۷۶):

$$PACF = \hat{\phi}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (۲)$$

نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جز تا تاخیرهای به تعداد یک‌سوم تعداد کل مشاهدات با خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جز نگار نشان داده شد و در آن دامنه بحرانی $\pm 1.96 / (n^{0.5})$ به صورت خطوط موازی رسم گردید. با عنایت به الگوی نهایی و مناسب این پژوهش، الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک فصلی $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ به صورت رابطه ۳ تشریح شد. در ادامه ملاحظه خواهد شد که سایر الگوها از نظر دقت دارای اولویت نبوده و به همین دلیل در این بخش تشریح نگردید.

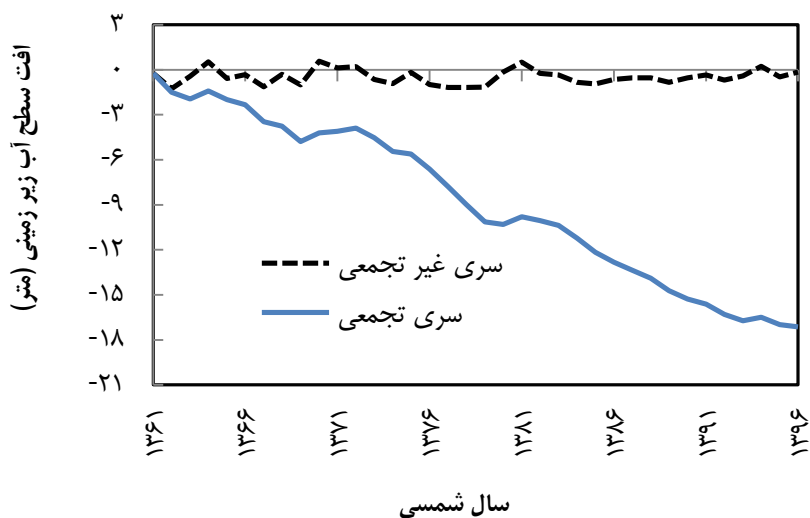
$$\varphi, \Phi, \theta, \Theta, \sigma: \quad \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_Q, \sigma$$

$$ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s:$$

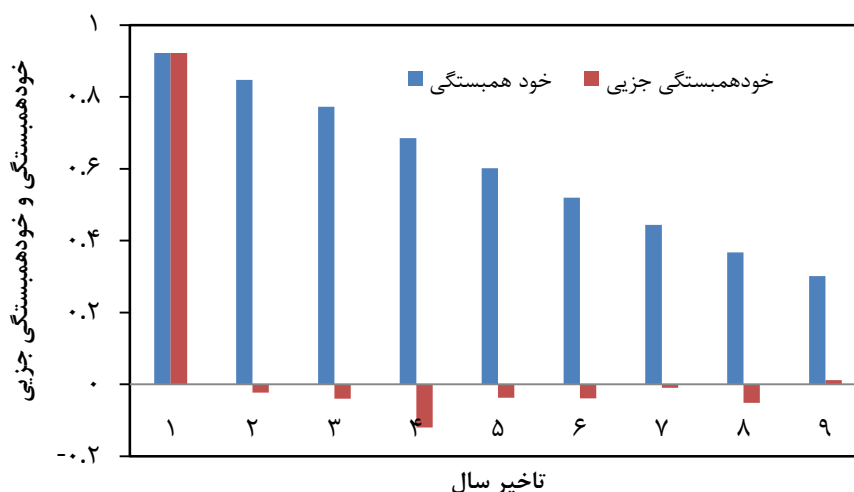
$$(1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_P B^{Ps})(1 - B)^d (1 - B^s)^D Y_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_Q B^{Qs}) \varepsilon_t \quad (۳)$$

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 مولفه فصلی بودن الگو است. ضرایب الگو با روش حداکثر درست‌نمایی با استفاده از نرم‌افزار MINITAB به دست آمد. این ضرایب عبارتند از:

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 (HQ) و شوارز بیزین (SBC) استفاده گردید. هریک از



شکل ۲- افت تجمعی و غیر تجمعی سطح آب زیرزمینی دشت مرند از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۶



شکل ۳- خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جز نگار سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی دشت مرند در تاخیرهای مختلف

آب زیرزمینی مشابه رفتار مولفه‌های تخلیه و تغذیه سطح آب زیرزمینی مانند نفوذ آب در خاک (ناصری، ۱۳۸۳) بود. 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 یک زمان مشخص به مقادیر سری در زمان ماقبل خود وابسته و همبسته بود. همین ویژگی است که سهم الگوی اتورگرسیون را برجسته می‌نماید. هم‌چنین همبستگی جزیی سری دارای مقادیری معنی‌دار بود و سهم میانگین متحرک الگو نیز برجسته بود. بنابراین علاوه بر سازگاری رفتار برخی از مولفه‌های تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی با این

علاوه بر شاخص‌های ارزیابی دقت الگو، سه آماره (VAR, MEAN, AUTO) برای ارزیابی کفایت الگو برای داده‌های موردبررسی ارایه شده است. نتایج نشان داد الگوی حاصل به‌اندازه کافی برای الگوبندی داده‌ها کفایت می‌کند (جدول ۱). با توجه به این که سن (Sen., 1988) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده‌اند و سالاس و همکاران (Salas et al., 1980) گزارش نموده برای الگوبندی زمانی رفتارهای پدیده‌های هیدرولوژیک و اقلیمی، مناسب‌ترین الگو ARIMA می‌باشد. هم‌چنین به نظر می‌رسد رفتار سری‌های افت تجمعی سطح

سطح آب در سطح کم‌تر از یک درصد معنی‌دار بود. از مجموع ۴۵ سال آماری افت سطح آب زیرزمینی، ۲۵ سال اول برای الگوبندی، ۱۰ سال بعداز آن برای آزمون و ۱۰ سال بعداز آن برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده گردید. شکل ۴ نشان داد الگوی به‌دست‌آمده به‌طور رضایت‌بخشی داده‌های افت سطح آب زیرزمینی در این دشت را برازش نموده است.

یافته، الگوی زمانی برازش شده به افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در دشت مرند نیز با این یافته سازگار تشخیص داده شد. بنابراین الگوی انتخاب شده برای بیان سری زمانی سطح آب زیرزمینی دشت مرند از نوع اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) و به‌صورت $(0,1,0)2 \times ARIMA(2,1,1)$ با مشخصات جدول ۲ تنظیم شد. ضرایب الگوی به‌دست آمده نیز ارزیابی گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد ضرایب اتورگرسیو و میانگین متحرک بودن تغییرات

جدول ۱- الگوهای ممکن سری زمانی برای انتخاب مناسب‌ترین الگوی افت تجمعی سطح آب در آبخوان دشت مرند

ردیف	روش‌های الگوبندی و پیش‌بینی	آماره‌های سنجش دقت الگو							آماره‌های سنجش کفایت الگو برای داده‌ها	
		ME	MAE	RMSE	AIC	HQC	SBIC	VAR	MEAN	
۱	گام تصادفی	-۰/۴۹	-۰/۶۷	۰/۸۰	-۰/۳۸	-۰/۳۶	-۰/۳۳	ns	ns	
۲	بrazش خطی	-۰/۰۰	-۰/۶۰	۰/۸۱	-۰/۱۸	-۰/۱۴	-۰/۰۴	ns	ns	
۳	بrazش درجه دوم	-۰/۰۰	-۰/۵۶	۰/۷۵	-۰/۲۶	-۰/۲۰	-۰/۰۶	ns	ns	
۴	میانگین متحرک ساده دوجزی	-۰/۷۰	-۰/۸۳	۱/۰۲	-۰/۳۱	-۰/۲۳	-۰/۳۰	ns	ns	
۵	هموارسازی نمایی ساده	-۰/۴۷	-۰/۶۴	۰/۸۰	-۰/۳۰	-۰/۲۷	-۰/۲۰	ns	ns	
۶	هموارسازی نمایی خطی براون	-۰/۱۲	-۰/۶۰	۰/۷۹	-۰/۳۲	-۰/۲۹	-۰/۲۲	ns	ns	
۷	هموارسازی نمایی خطی حالت	-۰/۰۶	-۰/۶۱	۰/۷۶	-۰/۳۲	-۰/۲۸	-۰/۱۷	ns	ns	
۸	هموارسازی نمایی کوادراتیک براون	-۰/۰۲	-۰/۶۴	۰/۸۸	-۰/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۰۱	ns	ns	
۹	هموارسازی نمایی وینتر	-۰/۱۹	-۰/۶۰	۰/۷۶	-۰/۳۰	-۰/۲۶	-۰/۱۶	ns	ns	
۱۰	ARIMA(2,1,1)x(0,1,0)2	-۰/۰۴	-۰/۴۲	۰/۵۵	-۰/۹۵	-۰/۹۱	-۰/۸۱	ns	ns	
۱۱	ARIMA(0,2,1)x(0,0,0)2	-۰/۰۷	-۰/۵۰	۰/۶۰	-۰/۹۴	-۰/۹۳	-۰/۸۹	ns	ns	
۱۲	ARIMA(2,1,0)x(0,1,2)2	-۰/۱۱	-۰/۳۷	۰/۵۳	-۰/۹۳	-۰/۸۸	-۰/۷۴	ns	ns	
۱۳	ARIMA(2,1,1)x(2,1,2)2	-۰/۰۰	-۰/۳۰	۰/۴۷	-۰/۹۳	-۰/۸۴	-۰/۵۹	ns	ns	
۱۴	ARIMA(0,1,0)x(1,1,2)2	-۰/۰۹	-۰/۴۲	۰/۵۶	-۰/۹۳	-۰/۸۹	-۰/۷۸	ns	ns	

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

پارامتر	ضرایب	اشتباه استاندارد	آماره t	مقدار P
AR(1)	۱/۱۳۵	-۰/۱۳۸	۸/۲۲	نزدیک صفر درصد
AR(2)	-۰/۷۳۲	-۰/۰۷۳	-۹/۹۷	نزدیک صفر درصد
MA(1)	۱/۰۰۶	-۰/۰۳۰	۳۳/۱۳	نزدیک صفر درصد

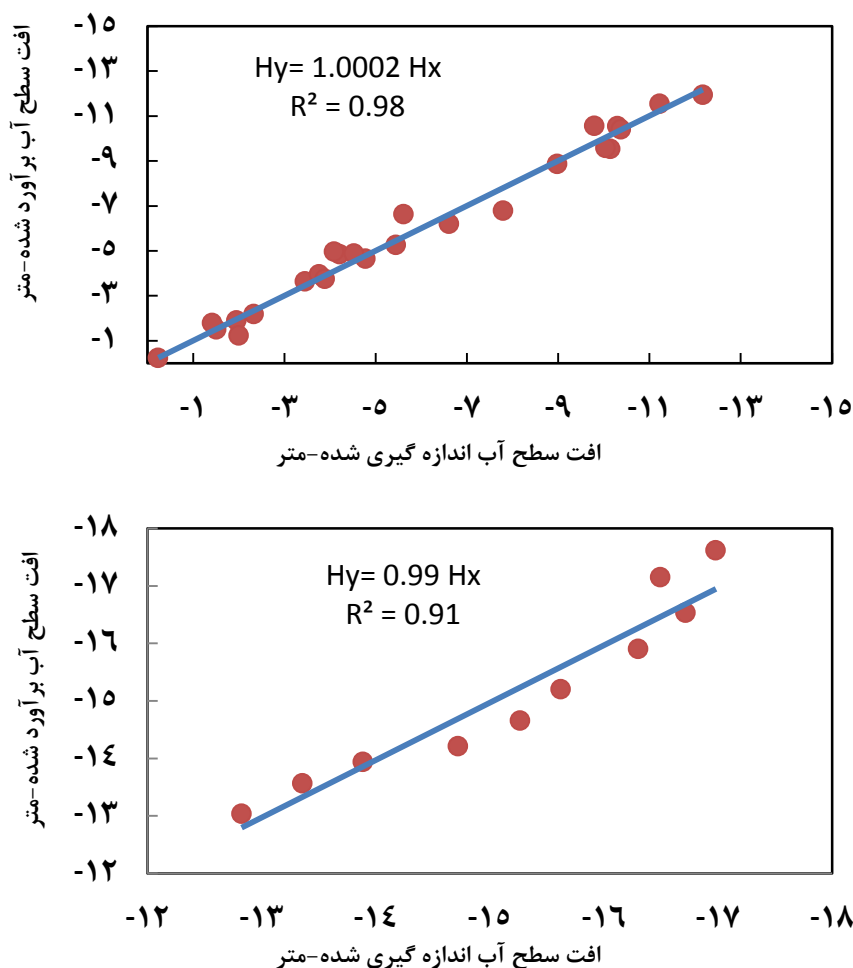
تجمعی در سال‌ها به‌صورت افزایشی با شیب کم و تقریباً خطی صورت گرفته است. با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، برای سال پیش‌بینی ۱۴۰۶، میانگین افت تجمعی برابر ۲۲/۴ متر نسبت به سال پایه ۱۳۶۱ خواهد بود (شکل ۵). در حال حاضر (سال ۱۳۹۷) میانگین افت تجمعی حدود ۱۷ متر است.

برای مدیریت بهینه مصرف این منبع ارزشمند آب، سناریو و شرایط مختلف مصرف پیش‌بینی گردید. سناریوها شامل ادامه روند بهره‌برداری (بدون برنامه صرفه‌جویی)، مصرف منبع آب زیرزمینی با شش شرایط ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب (با کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی) با شروع از سال ۱۳۹۷ خواهد بود که در آن صورت تغییرات کاهش حجم آب زیرزمینی در این دشت به‌صورت شکل ۶ است.

آزمون الگوی برازش شده بر افت تجمعی سطح آب زیرزمینی پس از مرحله الگوبندی داده‌ها بر مبنای آمار ۲۵ سال اول (از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۵)، آزمون کارایی الگو با داده‌های واقعی ۱۰ سال بعد افت سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ صورت گرفت. نتایج مقایسه افت سطح آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده که در شکل ۴ (پایین) ارایه شده، نشان داد الگوی حاصل از رویکرد برازش و پیش‌بینی نتایج رضایت‌بخش و قابل قبولی دارد.

پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی

مرحله پیش‌بینی افت تجمعی سطح آب زیرزمینی برای ۱۰ سال از ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۶ صورت گرفت. این مرحله پس از مرحله الگوبندی داده‌ها و آزمون کارایی الگو بود. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از الگوی یاد شده نشان داد برای سال‌های پیش‌بینی روند تغییرات افت



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

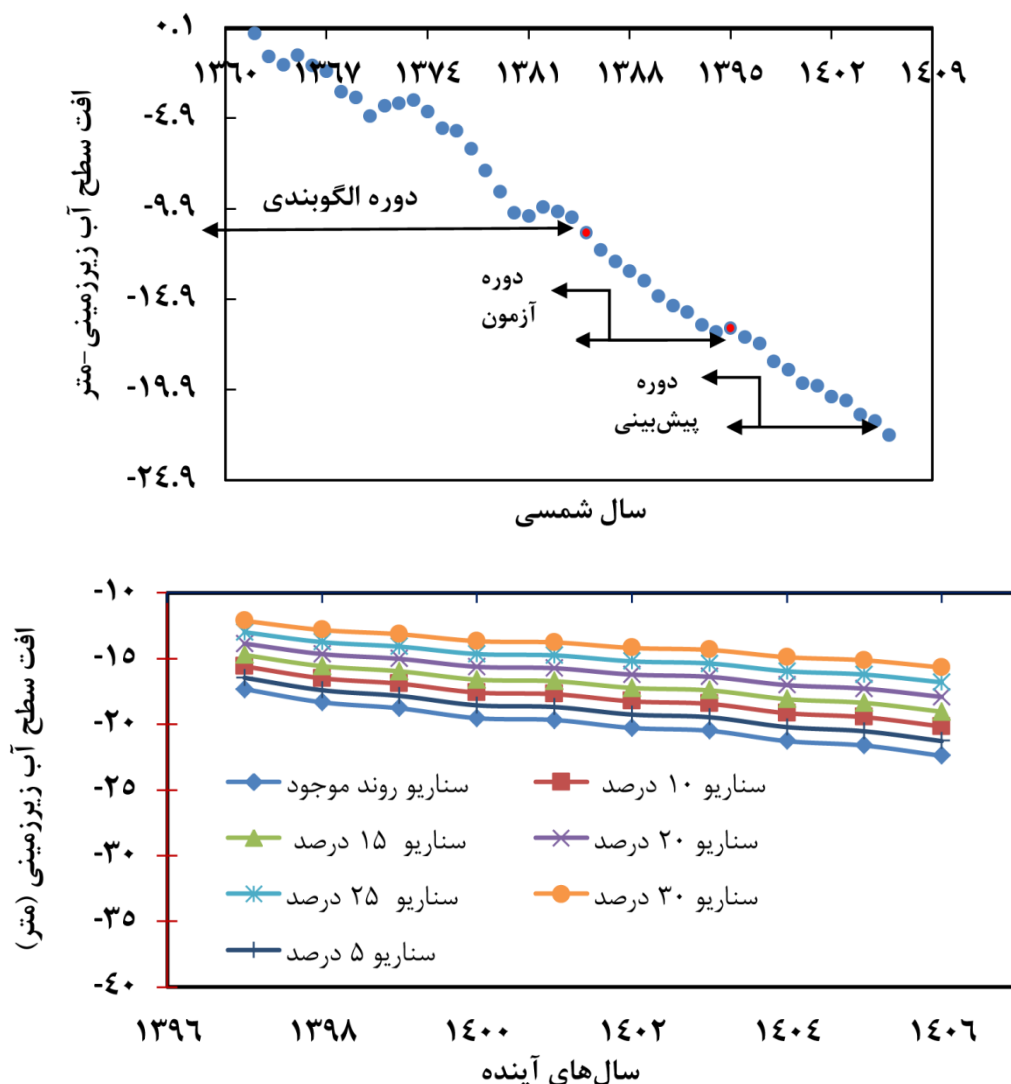
بهره‌برداری زیاد، سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۱ تاکنون بیش از ۱۷ متر افت داشته است. برای کاهش اثرات روند تغییرات سطح آب و مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی، سناریوهای مختلف صرفه‌جویی با شروع از سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد. در صورت صرفه‌جویی به‌اندازه ۵ و ۱۰ درصد، در سال دهم به ترتیب ۳۴، ۶۷ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی خواهد شد.

راهکارهایی مانند تسطیح اراضی زراعی، استفاده از گیاهان زراعی و باغی با نیاز آبی کم، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری می‌توانند موجب صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه مصرف آب در این دشت که در حاشیه دریاچه ارومیه قرار گرفته، گردند. این اقدامات می‌تواند در تعادل بخشی سطح آب زیرزمینی در دشت اثربخشی معنی‌داری داشته باشد.

به‌عنوان مثال در صورت صرفه‌جویی به‌اندازه شرایط ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد، در سال دهم به ترتیب ۳۴، ۶۷، ۱۰۱، ۱۳۵، ۱۶۱ و ۲۰۳ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی خواهد شد. راهکارهایی مانند تسطیح اراضی زراعی، استفاده از گیاهان زراعی و باغی با نیاز آبی کم، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری می‌توانند موجب صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه در این دشت که در حاشیه دریاچه ارومیه قرار گرفته، گردند.

نتیجه‌گیری

بیش از ۸۰ درصد از نیاز آبی محصولات مختلف زراعی و باغی در دشت مرند به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی، از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. در این پژوهش، تغییرات سطح آب زیرزمینی برای چند دهه گذشته تحلیل شده و برای یک دهه آینده پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد بر اثر



شکل ۵- افت تجمعی سطح آب زیرزمینی آبخوان مرند برای دوره آماری الگوبندی، آزمون و پیش‌بینی نسبت به سال پایه (۱۳۶۱)

سپاس‌گزاری می‌نمایند. مولف هم‌چنین از نظرات و ارشادات علمی هیات محترم تحریریه و داوران ارجمند نشریه صمیمانه سپاس‌گزاری می‌نماید.

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 حوضه آبریز

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 مولفه‌های تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی می‌تواند مفید باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله مولف 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 تامین اعتبارات لازم برای اجرای این پژوهش

- 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.
- Anonyms, D. 2012. Groundwater resources status. Energy ministry. Iran
- Brightte, E. J. and Hendry, M. J. 2003. Application of harmonic analysis of water levels to determine vertical hydraulic conductivity. *Groundwater*. 41.40: 514-522.
- Brockwell, P. J. and Davis, R. A. 1996. *Introduction to time series and forecasting*. Springer. New York.
- 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, 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.
- 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 Karelitis, S. J. 1970. Analysis of stochastic hydrologic systems. *Water resources research*. 16: 1569-1582.
- Cirkel, D. G., Witte, J. P. M. and Van der Zee, S. E. 2010. 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.
- Cuthbert, M. O. 2010. An improved time series approach for estimating groundwater recharge from groundwater level fluctuations. *Water resources research*. 46.9: 1-11.
- 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*
- 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 حوضه‌های آبریز، وزارت نیرو. ایران
- چیت‌سازان، م.، میرزایی، س. ی. و چینی‌پرداز، ر. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی آبخوان شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. *مجله علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز*. ب: 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*. ۱۵: ۳ - ۴۲ - ۴۹.
- 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.
- مهندسین مشاور جاماب. ۱۳۷۲، طرح جامع آب کشور، سیمای توسعه دشت‌های ایران، حوضه‌های آبریز شمال و آذربایجان. جلد اول. ۲۸۸ صفحه.
- نیرومند، ح. ۱۳۷۶. تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چندمتغیری (ترجمه). دانشگاه فردوسی مشهد.
- ویسی‌پور، ح.، معصوم‌پور سماکش، ج. ف.، صحنه‌ب، 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*. ۸: ۲ - ۲۱ - ۳۰.
- ترابی، س. ۱۳۸۰. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران. پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز. ۱۹۰ ص.
- طرازکار، م. ح. و صدق‌آمیز، ع. ۱۳۸۷. مقایسه پیش‌بینی دبی جریان رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های سری‌های زمانی و هوش مصنوعی. *مجله پژوهش و سازندگی*. جلد ۲۱، شماره ۳. ۵۱-۵۸.
- زاهدی، م. و قویدل رحیمی، ی. ۱۳۸۱. شناخت، طبقه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل سری‌های زمانی - ویتنرز. *فضای جغرافیایی*. جلد ۶. ۱۹-۴۸.
- طاهری، م. ۱۳۷۷. مدل‌بندی میزان دما و بارش ۱۱ ایستگاه هواشناسی ایران و پیش‌بینی تا پایان سال ۲۰۰۰. تهران. سازمان هواشناسی کشور. ۷۵ ص.
- 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*

- 18.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V.M and Lane, W.L. 1980. Applied modeling of hydrologic time series. Water resources publication.
- Samani, N. 2001. Response of karst aquifer to rainfall and evaporation, maharlu basin, Iran. Journal of cave and karst studies. 63: 23-40.
- Samani, N., Raeissi, E and Soltani, A. 1994. Modeling the stochastic behavior of the fars river. Journal of science. 5.1- 2: 49-58.
- Sen, Z. 1998. Small sample estimation of the time average in climate time series. International journal of climatology. 18: 1725-1732.
- Siadat, H. 2000. Iranian agriculture and salinity. Soil and Water Research Institute of Iran, Tehran, Iran.
- 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. 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.
- Vangeer, F.C. 1996. An estimation of box jenkins transfer noise models for spatial interpolation of ground water head series: Journal of hydrology. 192: 65-80.
- 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.
- 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.
- 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. 48.7:1-13.
- 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.
- 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.
- Quimpo, R.G. 1968. Autocorrelation and spectral analysis in hydrology. Journal of hydraulic division. 94.2: 363-373.
- Rakhshandehroo, G.R and 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. 48.3:1-

Comparison of Fourteen Methods of Time Series to Analyze and Predict Ground Water Changes in Marand Plain (North of Urmia Lake)

A. Nasseri¹

Recived: May.23, 2018

Accepted: Aug.13, 2018

Abstract

Marand plain is one of the most important regions for agricultural production in East Azarbaijan province, Iran. In this plain groundwater resources were applied to compensate more than 80% the water requirements of agricultural productions. Continuous consumption of groundwater caused a significant decline since 1982. Therefore, optimal and sustainable utilization of groundwater resources is a management necessity in Marand plain. Consequently, modeling and predicting the exploitation process could be accomplished by the appropriate techniques. This study was conducted with the aim of analyzing the groundwater level variations in Marand plain with time series models. Because of the ability of time series techniques to model and predict the behavior of temporal variation in water engineering phenomenon. Moreover, the groundwater level decline was modeled for 45-year with 14 methods of time series analysis in this study. An Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model was recognized as the most appropriate pattern. Modeling, testing and prediction were as follows: 25- year of the data for modeling (from 1982 to 2006), 10- year of data for the test (from 2006 to 2017) and future 10 years (from 2017 to 2027) were used for predicting ground water changes. Results showed that the average decline of groundwater from 1982 up to now was 17 m. For optimal management of groundwater application, different saving scenarios including 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 percent savings starting from 2018 were considered. In the tenth year, about $67 \times 10^6 \text{ m}^3$ of groundwater will be saved with savings of only 10% from year of 2018. The land leveling, crop with low water requirements, deficit irrigation and irrigation scheduling could be applied to save groundwater in the north of Urmia Lake.

Keywords: Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model, Groundwater, Groundwater modeling, Marand plain aquifer

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