

مقاله علمی-پژوهشی

استفاده از مدل سری زمانی ARIMA برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی جهت استفاده در کشاورزی (مطالعه موردی: دشت چهارمحال و بختیاری)

امیرمحمد رخ شاد^{۱*}، حسین خزیمه نژاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱۷

چکیده

آب‌های زیرزمینی یک منبع بااهمیت به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. بنابراین، مطالعه و پیش‌بینی تغییرات کیفی آب جهت جلوگیری از کاهش کیفیت آن در آینده ضروری می‌باشد. در این مطالعه از دو پارامتر کیفی هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) برداشت‌شده از ۱۸ چاه آب زیرزمینی در استان چهارمحال و بختیاری در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. ابتدا نقشه پهنه‌بندی اولیه از پارامترهای مدنظر در ابتدا و انتهای بازه زمانی داده‌ها ترسیم و پس از انتخاب مدل مناسب برای هر پارامتر در هر چاه، مدل‌سازی انجام و نقشه کیفیت آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۰ ایجاد شد تا تغییرات صورت گرفته شده بین این سال‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. در نهایت، میزان کیفیت آب زیرزمینی بر اساس دسته‌بندی ویلکاکس تعیین گردید. بر اساس نتایج، مدل‌های ARIMA انتخاب‌شده دارای عملکرد مناسب و قابل قبولی می‌باشند. همچنین طبق نتایج، میانگین میزان پیش‌بینی شده SAR در تمامی چاه‌ها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۵ کاهش خواهد یافت، در حالی که میانگین EC در تمامی چاه‌ها رو به افزایش است. بنابراین با توجه به این پارامترهای کیفی، اکثریت منطقه در کلاس C3S1 و C2S1 قرار خواهند گرفت که آبی شور و مضر برای کشاورزی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آریما، پارامترهای کیفی، سری زمانی

مقدمه

آینده بر اساس مقادیر پیشین متغیرهای مورد مطالعه است (Taneja et al., 2016). این مدل‌ها به‌صورت گسترده‌ای در مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژی و کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تیزرو و همکاران، از روش مدل‌سازی سری زمانی ARIMA برای بررسی کیفی آب ایستگاه کاکارضا بر روی رود حررود استفاده نمودند. آن‌ها با بررسی ۹ پارامتر کیفی آب نشان دادند که مدل‌سازی سری زمانی به‌طور کامل قادر به پیش‌بینی و مدل‌سازی کیفیت آب است (Tizro et al., 2014). خلیلی آریا و ژانگ، به مدل‌سازی و پیش‌بینی اکسیژن محلول و درجه حرارت در چهار ایستگاه بر روی رودخانه‌ای واقع در ایالت واشنگتن پرداختند. نتایج نشان داد مدل ARIMA می‌تواند یک رویکرد کارآمد در این زمینه باشد (Khalili Arya and Zhang, 2015). ژانگ و همکاران، با استفاده از مدل ARIMA و RBFNN و ترکیب این دو، به پیش‌بینی پارامترهای کیفی دریاچه چاگان اقدام نمودند. پارامترهای مورد بررسی آن‌ها، نترات کل و فسفر کل بود. نتایج نشان داد مدل ترکیبی، تغییرات پارامترهای موردنظر را جامع‌تر و کامل‌تر از مدل‌های منفرد، بیان

کاهش مقدار و کیفیت آب و تأثیرات آن بر کشاورزی، محیط‌زیست و اکوسیستم، به موضوعی جهانی تبدیل شده است. مدیریت آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبعی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دشوارتر از مدیریت منابع آب سطحی است (Hajihashemi Jazy et al., 2011). بنابراین نیاز به استفاده از روش‌های معقول و مقرون‌به‌صرفه برای تعیین وضعیت این آب‌ها احساس می‌شود. در نتیجه، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع آب باهدف دستیابی به توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد. یک سری زمانی دنباله‌ای از مشاهدات است که بر اساس زمان مرتب می‌شود. فرضیه اساسی در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، پیش‌بینی مقادیر

۱- دانشجوی دکتری رشته منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
* - نویسنده مسئول: (Email: am.rokshad@birjand.ac.ir)

(۱۳۹۶)، برای پیش‌بینی بارش سالانه سه ایستگاه سینوپتیک در آذربایجان غربی، از سری زمانی ARIMA استفاده نمودند. بر اساس نتایج حاصل شده و با توجه به آماره T، مدل‌های $ARIMA(1,0,0)$ ، $ARIMA(0,1,1)$ و $ARIMA(1,1,0)$ به ترتیب در ایستگاه‌های ارومیه، ماکو و مهاباد به‌عنوان مدل مناسب جهت پیش‌بینی بارش سالانه انتخاب شدند. میرزاپور و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی مدل سری زمانی ARIMA فصلی در شبیه‌سازی دبی دو رودخانه در دو اقلیم نیمه‌خشک و نیمه مرطوب پرداختند. با توجه به شرایط متفاوت اقلیمی دو منطقه، نتایج نشان‌دهنده کارایی بهتر این مدل در منطقه نیمه‌خشک نسبت به نیمه مرطوب است. در این پژوهش، از مدل سری زمانی ARIMA به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی دو پارامتر کیفی آب زیرزمینی (EC و SAR) جهت پیش‌بینی تغییرات کیفیت آن در بخش زراعی یک منطقه کوهستانی استفاده گردید و با توجه به دسته‌بندی کیفیت آب با شاخص موردنظر، جهت تغییر نوع کشت، پیشنهادهایی ارائه گردید.

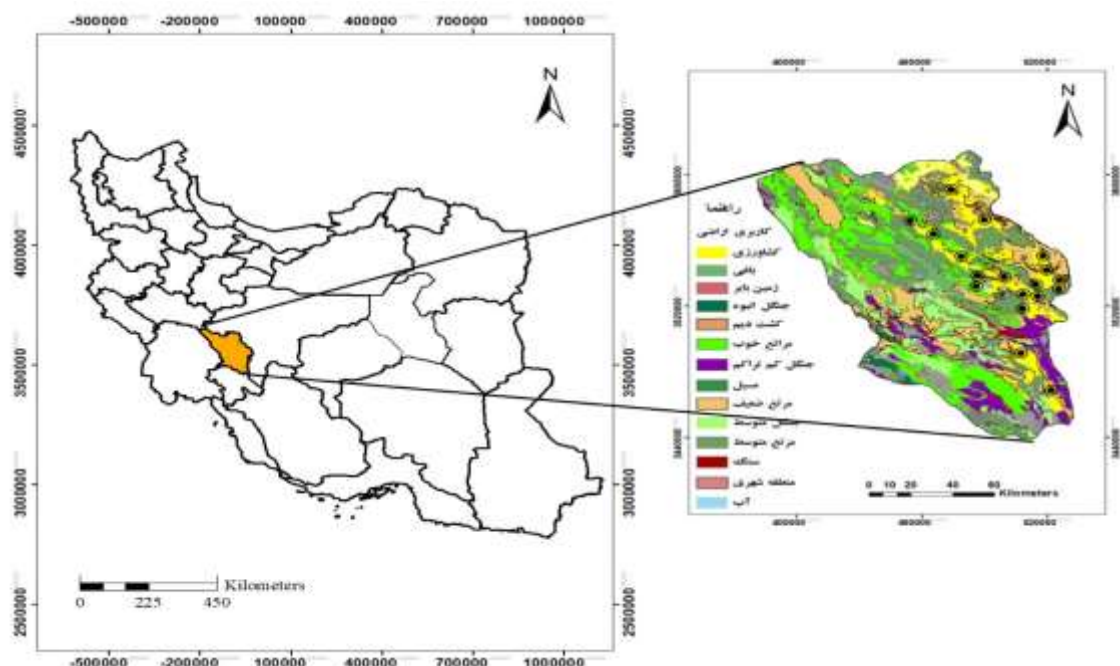
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری یکی از استان‌های غربی ایران می‌باشد که با گستره‌ای برابر با ۱۶۴۲۱ کیلومترمربع، یک درصد از کل وسعت ایران را به خود اختصاص داده است. این استان از بخش‌های کوهستانی فلات مرکزی ایران محسوب می‌شود و در 9° تا 31° تا 38° عرض شمالی و 30° تا 49° تا 51° طول شرقی قرار دارد. شهرکرد، مرکز استان، با ۲۰۶۶ متر ارتفاع از سطح دریا، بلندترین مرکز استان کشور می‌باشد. همچنین میانگین ارتفاع در این استان حدود ۲۱۵۳ متر است.

در مطالعه حاضر، از داده‌های کیفی ۱۸ چاه از بین بیش از ۲۵۰ چاه موجود در منطقه در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. به دلیل آنکه هدف، بررسی تغییرات کیفی آب در طول زمان جهت مصارف کشاورزی می‌باشد، چاه‌های موردبررسی از چاه‌های موجود در شرق و شمال شرقی منطقه که بیشتر در محدوده دو شهرستان شهرکرد و بروجن قرار دارد انتخاب شدند. شکل ۱ محدوده این استان، نقشه کاربری اراضی و محل چاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

می‌کند (Zhang et al., 2016). میرسنجری و محمدیاری، با استفاده از داده‌های کیفی آب زیرزمینی ۱۷ چاه در دشت مهران، به مدل‌سازی پارامترهای EC و SAR با استفاده از مدل‌های AR، MA، ARMA، ARIMA و مدل SARIMA پرداختند. نتایج، نشان‌دهنده کارایی مدل‌های ذکرشده می‌باشد (Mrsanjari and Mohammadyari, 2018). جبریلا و همکاران، از ARIMA برای پیش‌بینی میزان بارش و همچنین سطح آب زیرزمینی در منطقه شرقی غنا استفاده نمودند و نشان دادند که افزایش بارندگی در سال‌های آتی محتمل خواهد بود که منجر به افزایش تراز آب زیرزمینی در منطقه نیز خواهد شد (Gibrilla et al., 2017). ابوعمرا و مقاری، جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی و بارش در شهر الباله در نوارغزه، از روش‌های ARIMA+ETS، ARIMA+NN، ARIMA+tbats و ARIMA+ETS استفاده نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش، مدل ARIMA+NN و مدل ARIMA+tbats برای آب زیرزمینی عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند (Abu Amra and Maghari, 2018). د-موراس تاکافوجی و همکاران، برای پیش‌بینی و مدیریت آب زیرزمینی منطقه‌ای در برزیل، از دو روش ARIMA و SGS استفاده نمودند و دقت مدل ARIMA را به‌منظور نظارت بر آبخوان، بالاتر دانستند (DeMoraes Takafuji et al., 2018). زهتابیان و همکاران (۱۳۸۳)، ضمن برآورد شاخص‌های کیفی، به کلاس‌بندی آب زیرزمینی دشت ورامین جهت استفاده در کشاورزی با روش ویلکاکس پرداختند و نشان دادند که بیشتر مساحت منطقه در کلاس C4S1 قرار دارد. دودانگه و همکاران (۱۳۹۱)، از سری زمانی ARIMA برای پیش‌بینی برخی پارامترهای اقلیمی از جمله درصد رطوبت نسبی، تبخیر، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها، بیانگر سودمندی مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند این پارامترها در آینده است. مقصود و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از سه مدل ARIMA، ANN و ANN-ARIMA به مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل ترکیبی نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر ارائه نمود. افروزی و زارع ایبانه (۱۳۹۶)، با مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در دشت همدان با به‌کارگیری مدل ARIMA و نتایج حاصل‌شده، توانایی این مدل را در این زمینه نشان دادند. احتشامی و همکاران (۱۳۹۶)، برای آگاهی از وضعیت نوسانات سطح آب و غلظت نیترات آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، از مدل سری زمانی SARIMA استفاده نمودند. نتایج مدل نشان داد که سطح آب زیرزمینی دشت در ۳ سال آینده ۵ متر افت خواهد داشت و مقدار متوسط غلظت نیترات نیز افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج تحلیل خطاهای مدل‌های کمی و کیفی، نشان‌دهنده پتانسیل بهینه‌یابی مناسب مدل SARIMA بود. سلطانی گرد فرامرزی و همکاران



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و محل چاه‌های انتخاب شده

مواد و روش‌ها

سری زمانی

مدل‌های سری زمانی در حقیقت مدل‌های تصادفی هستند که شامل N مشاهده از یک جامعه نامتناهی بوده و به وسیله یک فرآیند تصادفی به وجود آمده‌اند. هدف از تحلیل سری زمانی توصیف، تشریح و پیش‌بینی مقادیر آینده یک فرآیند است. در واقع توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده‌ها، تشخیص برخی خصوصیات مانند ایستایی و نایستایی آن و بررسی خودهمبستگی سری است. همچنین پیش‌بینی، شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده‌های مشاهده شده است. در واقع خروجی یک مدل سری زمانی، مدل‌سازی مقدار حاضر یا تعیین مقادیر آینده می‌باشد.

مدل‌سازی تصادفی در هیدرولوژی، از ابتدای دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. دو برنامه اصلی در مدل‌های سری زمانی، ایجاد نمونه‌های شبیه‌سازی شده و پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیکی است. این سری‌های زمانی پیش‌بینی شده، می‌تواند به عنوان ورودی برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های منابع آب که پیچیدگی‌های زیادی دارد، به کار روند. زیرا سری تولید شده می‌تواند بسیاری از شرایط هیدرولوژیکی ممکن را نشان دهد که در سری گذشته به صراحت نشان داده نشده است. در نتیجه، با استفاده از سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده، می‌توان طرح‌های مختلف و استراتژی‌های عملیاتی گوناگون را تحت شرایط مختلف آزمایش کرد.

سری‌های زمانی به دو نوع سری ایستا و نایستا تقسیم می‌شوند. یک سری وقتی ایستاست که پارامترهایی مانند میانگین و واریانس در طول زمان ثابت باقی بمانند. سری‌های نایستا را می‌توان با تفاضلی نمودن یا پایدار نمودن واریانس آن به سری‌های ایستا تبدیل نمود. تغییراتی که در سری‌های زمانی به دست می‌آید، می‌تواند بر اثر عوامل طبیعی یا عوامل دیگر باشد و بنابراین بایستی اجزای تشکیل دهنده آن را شناخت و آن‌ها را اندازه‌گیری نمود. صورت کلی یک رابطه سری زمانی در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$y_t = f(x_t, x_{t-1}, \dots; y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) + \varepsilon \quad (1)$$

که در آن، f تابع ریاضی، y_t خروجی پیش‌بینی شده در زمان t و x_t, x_{t-1}, \dots و y_{t-1}, y_{t-2}, \dots متغیرهای پیش‌بینی کننده هستند که از به حداقل رساندن تفاوت بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده به دست می‌آیند. ε نیز خطای مدل (باقی مانده) بوده و به عنوان تفاوت بین مقدار محاسبه شده و مشاهده شده سری خروجی در زمان t محاسبه می‌شود.

انواع مدل‌های سری‌های زمانی عبارت‌اند از: مدل اتورگرسیون، مدل میانگین متحرک و مدل‌های ترکیبی. بنابراین اولین گام در مدل‌سازی، تعیین یا شناسایی مدل بر اساس ویژگی‌های سری مشاهداتی است. یکی از مدل‌های پرکاربرد در مدل‌سازی سری‌های زمانی، مدل‌های ARMA است که با کس و جنکینز، با معرفی آن، پایه‌ای مدرن از مدل‌سازی هیدرولوژیکی را بنا نهادند. فرمول ریاضی

مدل ARMA به صورت رابطه (۲) است (Box and Jenkins, 1976):

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q} \quad (2)$$

که در آن، y_t مجموعه‌ای وابسته به زمان، φ پارامترهای غیر فصلی AR، θ پارامترهای غیر فصلی MA و α_{t-q} متغیرهای تصادفی سری تصادفی محض و تأخیرهای مختلف آن می‌باشند.

مدل‌های سری زمانی می‌تواند به صورت AR(p) یا MA(q) و یا ترکیبی از هر دو ARMA(p,q) باشند و یا به صورت مدل یکپارچه متحرک ARIMA(p,d,q) استفاده شوند. یک مدل ARMA به عنوان ترکیبی از یک فرآیند میانگین متحرک و یک فرآیند خودکارآمدی، به جای یک مدل AR یا MA تنها به دست می‌آید. مدل خود همبسته- میانگین متحرک تلفیق شده یا ARIMA(p,d,q) مدلی تشکیل شده از یک مقدار ثابت، یک ضریب از مقادیر قبلی داده‌ها، یک ضریب از خطاهای قبلی و یک نویز است که به صورت ریاضی در رابطه (۳) آورده شده است:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i E_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

که در آن c مقدار ثابت، φ_i ضریبی از مقادیر قبل، θ_i ضریبی

از خطاهای قبل و ε_t مقدار نویز بوده و تعیین اندازه آن دلخواه است. p و q نیز به ترتیب تعدادی از مقادیر و خطاهای قبل هستند. طبق تعریف دیگر p، درجه چندجمله‌ای اتورگرسیو پولی نومیال (AR) و q چندجمله‌ای میانگین حرکتی (MA) می‌باشند. دو شکل کلی مدل‌های آریما که به فراوانی استفاده می‌شوند عبارت‌اند از آریمای فصلی $(p,d,q) \times (P,D,Q)$ و آریمای غیر فصلی (p,d,q) که p و q به ترتیب پارامترهای اتورگرسیون و میانگین متحرک غیر فصلی و P و پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی d و D پارامترهای تفاضلی برای ایستا کردن سری زمانی است.

بعد از مشخص شدن مدل، بایستی داده‌ها بررسی و ایستایی و معکوس‌پذیری برای اتورگرسیون و میانگین متحرک مورد آزمون قرار گیرد. در ادامه با آزمون‌های نکویی برازش، صحت مدل‌های برازش داده‌شده به داده‌ها، بررسی می‌شود و باقیمانده‌های مدل از نظر داشتن توزیع نرمال با میانگین صفر، واریانس ثابت و ناخودهمبسته مرتبه یک مورد بررسی قرار می‌گیرند. مدل‌سازی سری زمانی در چارچوب مدل‌های ARIMA شامل سه مرحله تشخیص، تخمین و برآورد مدل می‌باشد. در مرحله نخست، توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) ترسیم می‌گردند که علاوه بر کمک به تشخیص درجه مدل، معنی‌داری ضرایب خودهمبستگی مدل را نشان داده و قابلیت مدل ARIMA را در شبیه‌سازی بیان می‌کند. از

سوی دیگر، با ترسیم این نمودارها، امکان تشخیص مواردی همچون داده‌های پرت، وجود روند در سری زمانی و ایستایی سری زمانی نیز فراهم است. هرچند تفسیر این دو نمودار برای تشخیص مدل مناسب، وقتی که از داده‌های واقعی استفاده می‌شود دشوار بوده و نیازمند استدلال‌های ذهنی است که در نتیجه، استفاده از برخی معیارها مانند روش آکائیک لازم به نظر می‌رسد. در مرحله تخمین، پارامترهای مدل با روش‌هایی همچون حداکثر درستنمایی و مونتوم به دست می‌آید. از لحاظ تئوری، چنانچه داده‌های به کار برده شده در مدل‌سازی نرمال شده باشند، در پایان نیز باقی‌مانده‌های مدل دارای توزیع نرمال هستند و در غیراینصورت لازم است در انتهای مدل‌سازی، توزیع مناسب باقی‌مانده‌ها شناسایی شود. در مدل‌سازی سری زمانی، نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را می‌توان به صورت یک‌جا برای کل سری زمانی مورد بررسی قرار داد. از آزمون‌های مختلفی که جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها وجود دارد، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف یکی از دقیق‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود که در این پژوهش و در سطح خطای ۵٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها و فرض استقلال باقیمانده‌ها برای هر یک از مدل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جهت مدل‌سازی و تحلیل سری‌های زمانی می‌توان از نرم‌افزارهای متفاوتی استفاده نمود که از جمله آن‌ها می‌توان به STATA، SPSS، Minitab و زبان‌های برنامه‌نویسی مانند Matlab و R اشاره کرد. از این میان، محیط‌های برنامه‌نویسی به دلیل انعطاف بیشتر در به کارگیری جهت حالات مختلف، می‌تواند گزینه مناسب‌تری برای استفاده در داده‌های سری زمانی هیدرولوژیکی و کیفی باشند.

شاخص ویلکاکس

از اولین روش‌های طبقه‌بندی آب آبیاری برحسب شوری (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR)، روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا است که نمودار ویلکاکس بر اساس آن تهیه شد. در روش ویلکاکس، آب‌ها از نظر EC و SAR هرکدام در چهار گروه قرار می‌گیرند (Wilcox, 1955). رتبه‌بندی آب بر اساس این شاخص در جدول ۱ آورده شده است.

بر اساس دسته‌بندی ویلکاکس، آب‌ها به چهار دسته کاملاً بی‌ضرر برای کشاورزی، کمی شور برای کشاورزی، شور برای کشاورزی و مضر برای کشاورزی تقسیم‌بندی می‌شوند که دسته‌های آب مرتبط با هر یک، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی آب به روش ویلکاکس بر اساس پارامترهای EC و SAR

دسته	SAR	دسته	EC	کیفیت آب
S1	۱۰<	C1	۲۵۰<	عالی
S2	۱۰-۱۸	C2	۲۵۰-۷۵۰	خوب
S3	۱۸-۲۶	C3	۲۲۵۰-۷۵۰	متوسط
S4	۲۶>	C4	۲۲۵۰>	نامناسب

جدول ۲- دسته‌بندی کیفیت آب برای استفاده در کشاورزی

کیفیت آب برای کشاورزی	دسته آب
کاملاً بی‌ضرر برای کشاورزی	C1S1
کمی شور برای کشاورزی	C2S1,C2S2,C1S2
شور برای کشاورزی (به‌کارگیری با رعایت ضوابط خاص)	C3S3,C3S2,C3S1,C2S3,C1S3
بسیار شور و مضر برای کشاورزی	C4S1,C4S2,C4S3,C4S4,C3S4,C2S4,C1S4

نمی‌تواند مانعی برای استفاده از آب برای کشاورزی ایجاد کند. در ادامه بر اساس سعی و خطا، مدل مناسب هر چاه تشخیص داده شد و در مراحل بعد پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار خطای استاندارد برآورد پارامترها و نیز مقدار احتمال t ، $P < 0/001$ - مقدار معنی‌داری پارامترها مورد تأیید قرار گرفت. نمودارهای ACF و PACF برای دو پارامتر EC و SAR سه چاه به‌عنوان نمونه، در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس شکل ۲، به‌طور مثال در چاه ۱ و برای پارامتر EC، در نمودار ACF کاهش پس از یک تأخیر در و نمودار PACF پس از حدوداً دو تأخیر ایجاد شده است، بنابراین مقادیر p و q برای آن به ترتیب ۲ و ۱ در نظر گرفته شد و همچنین چون یک‌مرتبه نیز عمل تفاضل انجام شده است، مقدار d نیز برابر یک در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مقدار ARIMA در این بخش به‌صورت (۲،۱،۱) حاصل می‌شود. به‌منظور بررسی صحت داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، مقادیر R^2 ، AIC و RMSE، بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده محاسبه گردید. آماره‌های واسنجی مدل‌های سری زمانی در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به EC در چاه شماره ۶ و کمترین آن به مقدار ۰/۷۵ مربوط به چند چاه می‌باشد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی مربوط به SAR در چاه شماره ۸ و کمترین آن مربوط به چاه‌های ۱ و ۶ می‌باشد. در ادامه آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نیز برای بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها به کار گرفته شد که نتایج آن در سطح خطای ۵٪ تأیید گردید.

در این پژوهش ابتدا به بررسی داده‌ها از لحاظ نرمال بودن، ایستایی و روند پرداخته شد. سپس بر اساس نمودارهای ACF و PACF ترسیم‌شده در نرم‌افزار Matlab، مدل فصلی یا غیر فصلی از ARIMA انتخاب و بر اساس نمایه‌های AIC، RMSE و R^2 صحت و کارایی مدل ارزیابی شد. در ادامه به پیش‌بینی کیفیت آب در ۵ سال آینده پرداخته شده و با پهنه‌بندی پارامترهای موردبررسی در نرم‌افزار ArcGIS کیفیت آب طبقه‌بندی شد و تغییرات کیفی آب مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

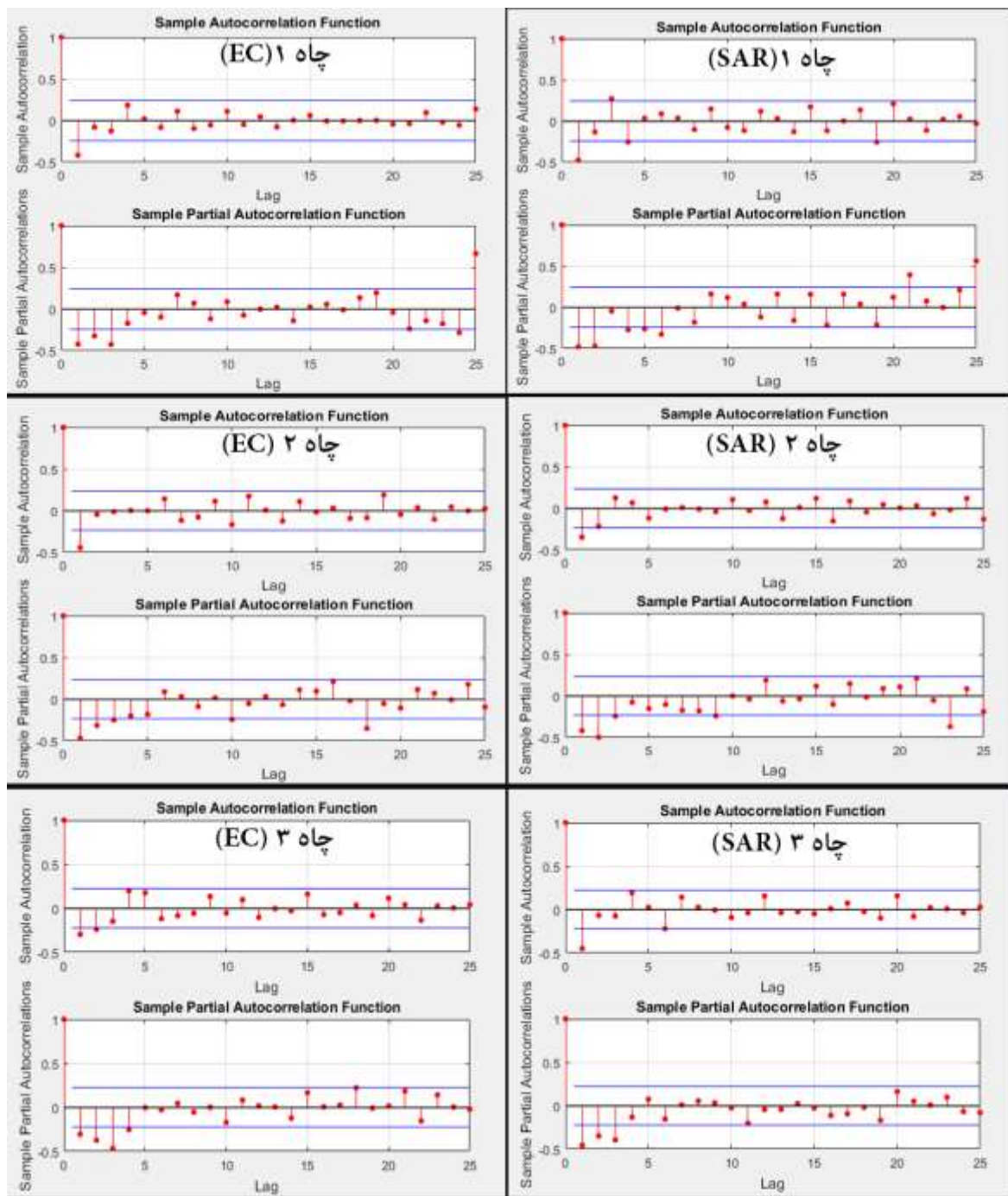
جهت انجام مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای موردبررسی با استفاده از ۲۶ سال داده موجود، ۲۳ سال از داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزش و ۳ سال به‌عنوان داده آزمایش انتخاب گردید. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها در نرم‌افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت که به دلیل نرمال نبودن آن‌ها در سطح ۰/۰۵، نرمال‌سازی با روش باکس-کاکس انجام پذیرفت. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Matlab نمودارهای ACF و PACF جهت تخمین اولیه مدل‌ها و همچنین بررسی ایستا بودن داده‌ها ترسیم شد. به دلیل وجود روند نزولی در نمودارها و همچنین انجام آزمون ریشه واحد (ADF)، داده‌ها نا ایستا تشخیص داده شده و با یک‌مرتبه تفاضل گیری به حالت ایستا تبدیل شدند که در تعیین رتبه پارامتر در مدل‌سازی سری زمانی بایستی موردتوجه قرار گیرد. پارامترهای توصیفی مربوط به متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۳ بیان شده‌اند که نشان می‌دهد مقدار SAR در همه چاه‌ها در حد بسیار پایین می‌باشد و این پارامتر به‌تنهایی

جدول ۳- توصیف آماری پارامترهای EC و SAR در آب زیرزمینی ۱۸ چاه مورد بررسی

شماره چاه و پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	شماره چاه و پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
چاه-۱ EC	۲۳۰	۵۸۷	۴۸۲/۳	۹۳/۹	چاه-۱ SAR	۰/۴۲	۰/۵۰۶	۰/۱۴	۰/۰۹
چاه-۲ EC	۲۰۷	۵۱۱	۴۰۴/۳	۷۳/۵	چاه-۲ SAR	۰/۵۱	۰/۲۹۵	۰/۱۰	۰/۰۳۹
چاه-۳ EC	۲۲۴	۴۵۹	۳۶۷/۱	۶۰/۴	چاه-۳ SAR	۰/۰۴	۰/۲۰۶	۰/۰۸	۰/۰۳۳
چاه-۴ EC	۲۸۷	۵۴۰	۴۴۴/۱	۵۹/۶	چاه-۴ SAR	۰/۰۶۳	۰/۵۵۳	۰/۱۹	۰/۰۹
چاه-۵ EC	۱۸۲	۵۴۰	۴۱۸/۸	۷۶/۴	چاه-۵ SAR	۰/۰۴۷	۰/۳۲۳	۰/۱۲۵	۰/۰۴۳
چاه-۶ EC	۲۵۰	۵۷۸	۴۸۱/۶	۶۷/۲	چاه-۶ SAR	۰/۰۹۷	۰/۴۲۹	۰/۲۰۶	۰/۰۶۲
چاه-۷ EC	۳۲۷	۶۰۰	۴۹۵/۹	۶۷/۱	چاه-۷ SAR	۰/۲۳۹	۱/۱۵۶	۰/۴۹۶	۰/۱۵۳
چاه-۸ EC	۲۴۱	۷۶۰	۴۵۸	۹۷/۳	چاه-۸ SAR	۰/۰۲	۰/۵۳۳	۰/۱۱۷	۰/۰۷
چاه-۹ EC	۲۳۰	۴۶۰	۳۷۰/۵	۴۸/۹	چاه-۹ SAR	۰/۰۲۷	۲/۳۶۶	۰/۱۰۲	۰/۲۳
چاه-۱۰ EC	۲۳۳	۴۸۹	۳۹۴/۹	۶۳/۱	چاه-۱۰ SAR	۰/۰۴۴	۰/۳۶۵	۰/۱۲۱	۰/۰۴
چاه-۱۱ EC	۱۴۰	۳۷۸	۲۷۴/۴	۴۱/۷	چاه-۱۱ SAR	۰/۰۳۳	۰/۵۱۶	۰/۰۹۴	۰/۰۷۳
چاه-۱۲ EC	۲۰۹	۴۶۰	۳۵۰/۶	۴۶/۹	چاه-۱۲ SAR	۰/۰۲۵	۰/۳۲۱	۰/۰۸	۰/۰۴۳
چاه-۱۳ EC	۳۹۶	۸۷۰	۵۱۴/۵	۵۹/۸	چاه-۱۳ SAR	۰/۱۹۴	۱/۴۳۴	۰/۹۸	۰/۱۹
چاه-۱۴ EC	۳۴۰	۷۵۶	۵۱۷/۲	۸۸/۶	چاه-۱۴ SAR	۰/۰۰۷	۱/۶۷۸	۰/۶۵	۰/۲۷
چاه-۱۵ EC	۴۷۹	۹۴۵	۷۲۰/۹	۱۲۰	چاه-۱۵ SAR	۰/۰۱۷	۲/۷۶۹	۱/۲۱	۰/۳۴
چاه-۱۶ EC	۵۲۰	۱۰۴۰	۷۴۳/۱	۱۳۷/۳	چاه-۱۶ SAR	۰/۱۵۸	۱/۶۶۱	۰/۹۵	۰/۱۸
چاه-۱۷ EC	۲۱۸	۴۸۵	۳۸۵/۸	۵۱/۳	چاه-۱۷ SAR	۰/۰۸	۰/۴۸۱	۰/۲۱	۰/۰۷۱
چاه-۱۸ EC	۴۱۶	۷۴۵	۵۷۳/۶	۷۱/۵	چاه-۱۸ SAR	۰/۴۸۳	۱/۳۱۵	۰/۸۱	۰/۱۵۱

جدول ۴- مقادیر نمایه‌های منتخب ۹ چاه

AIC	RMSE	R ²		
۵۸۰	۲۸/۵	۰/۷۸	ARIMA(2,1,1)	چاه ۱ - EC
-۳۸/۸	۰/۴۳	۰/۷۴	ARIMA(0,1,2)	چاه ۱ - SAR
۵۸۶	۳۴/۶	۰/۷۶	ARIMA(1,1,1)	چاه ۲ - EC
-۳۵/۶	۰/۴۸	۰/۷۵	ARIMA(2,10)	چاه ۲ - SAR
۵۹۱	۳۴/۷	۰/۷۵	ARIMA(2,1,1)	چاه ۳ - EC
-۲۸/۶	۰/۴۲	۰/۷۹	ARIMA(1,1,0)	چاه ۳ - SAR
۵۷۹	۳۳/۳	۰/۷۷	ARIMA(3,1,1)	چاه ۴ - EC
-۳۰/۱	۰/۳۹	۰/۷۸	ARIMA(2,1,0)	چاه ۴ - SAR
۵۶۳	۲۸/۵	۰/۸۰	ARIMA(2,1,2)	چاه ۵ - EC
-۳۷/۸	۰/۳۹	۰/۷۶	ARIMA(0,1,1)	چاه ۵ - SAR
۵۵۷	۲۴/۲	۰/۸۱	ARIMA(2,1,1)	چاه ۶ - EC
-۴۴/۵	۰/۴۶	۰/۷۴	ARIMA(1,1,0)	چاه ۶ - SAR
۵۹۲	۳۸/۹	۰/۷۵	ARIMA(1,1,1)	چاه ۷ - EC
-۳۸/۷	۰/۳۳	۰/۷۶	ARIMA(0,1,2)	چاه ۷ - SAR
۵۷۹	۳۰/۸	۰/۷۸	ARIMA(3,1,1)	چاه ۸ - EC
-۲۲/۷	۰/۲۴	۰/۸۰	ARIMA(0,1,2)	چاه ۸ - SAR
۵۷۴	۳۳/۳	۰/۷۹	ARIMA(2,1,1)	چاه ۹ - EC
-۳۵/۴	۰/۳۸	۰/۷۷	ARIMA(3,1,0)	چاه ۹ - SAR



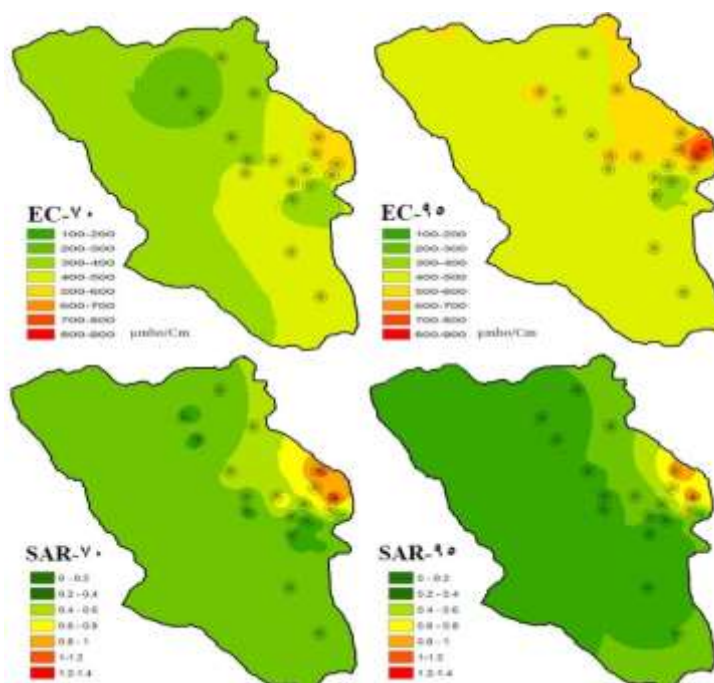
شکل ۲- نمودارهای ACF و PACF برای دو پارامتر EC و SAR سه چاه به‌عنوان نمونه

SAR، تغییرات محسوسی در منطقه صورت نگرفته است و تغییر این پارامتر شیب نزولی دارد. بنابراین اکثریت منطقه همواره در دسته S1 قرار داشته و کیفیت آب از این نظر در معرض خطر نیست. اما از لحاظ پارامتر EC در ابتدای سال ۱۳۷۰، اکثریت منطقه در دسته C2 قرار داشته است و تنها بخش‌هایی از شرق منطقه در دسته‌های بالاتر قرار داشته‌اند. بر اساس نقشه سال ۱۳۹۵، افزایش EC و افت کیفیت آب

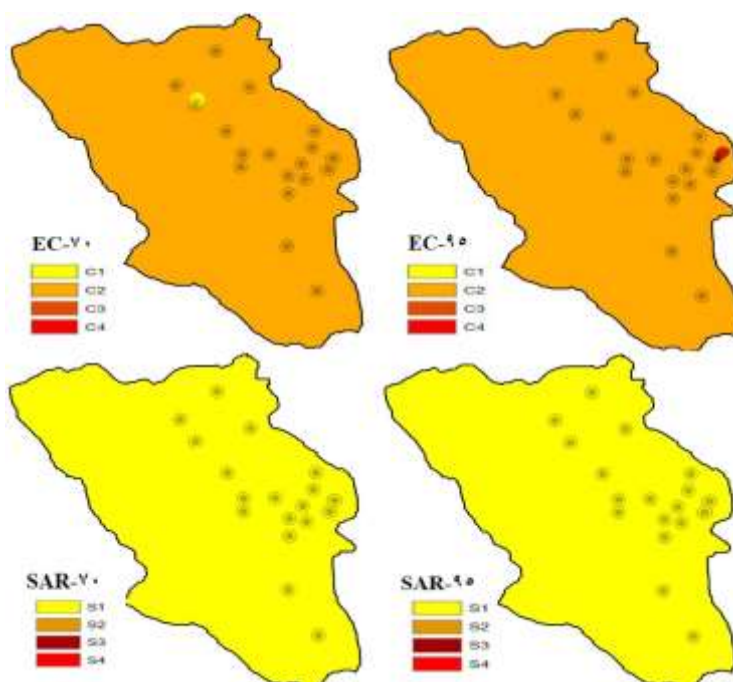
در ادامه به پیش‌بینی مقادیر پارامترهای موردبررسی در سال ۱۴۰۰ و در هر یک از چاه‌ها پرداخته شد و پهنه‌بندی آن‌ها در منطقه صورت گرفت. این نقشه، با نقشه‌های پهنه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۵ مقایسه گردید. سپس پهنه‌بندی دیگری بر اساس شاخص ویلکاکس انجام و کیفیت آب بر اساس آن سنجیده شد که در شکل‌های ۳ تا ۶ آمده است. بر این اساس، از نظر پارامتر

ورود به این شرایط اندیشیده شود. در نهایت اکثریت منطقه نیز در کلاس C2S1 قرار خواهند گرفت که جزو دسته کمی شور برای کشاورزی است.

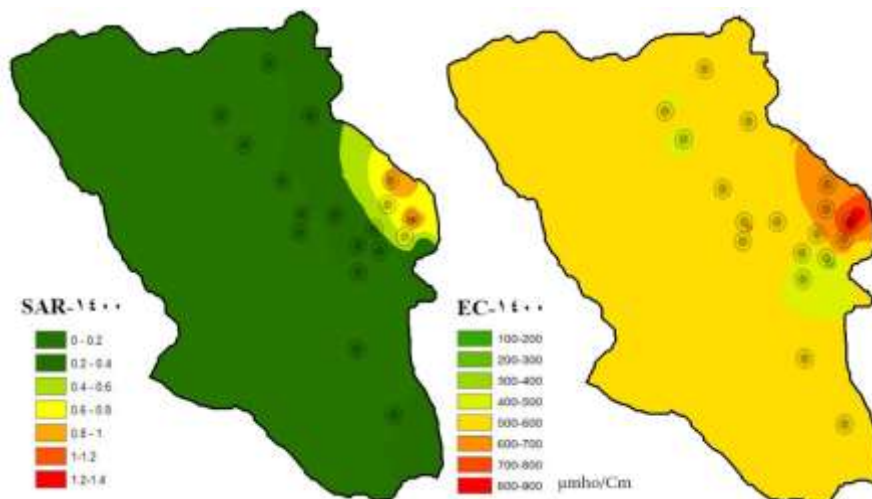
به خصوص در بخش شرقی قابل توجه است که طبق پیش‌بینی صورت گرفته، افزایش EC در آینده نیز ادامه خواهد داشت، به طوری که بخش‌های بیشتری از منطقه وارد دسته C3S1 شده‌اند که آبی شور برای کشاورزی محسوب می‌شوند و بایستی تمهیدات لازم پیش از



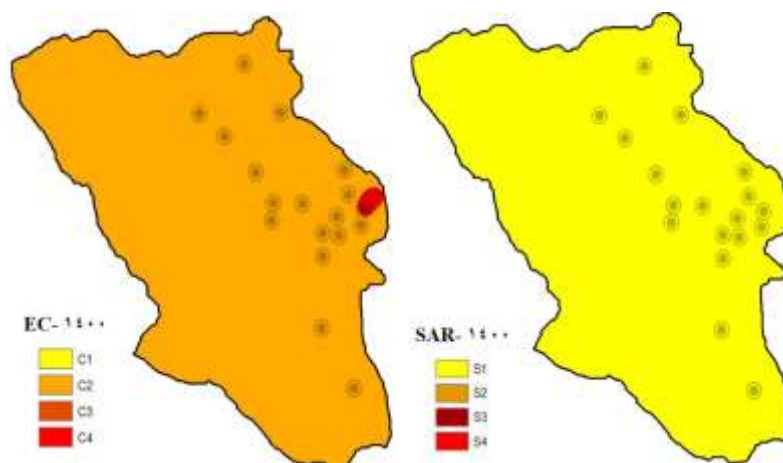
شکل ۳- پهنه‌بندی منطقه از نظر EC و SAR در سال‌های ۷۰ و ۹۵



شکل ۴- پهنه‌بندی منطقه برحسب شاخص ویلکاکس در سال‌های ۷۰ و ۹۵



شکل ۵- پهنه‌بندی منطقه از نظر EC و SAR در سال ۱۴۰۰



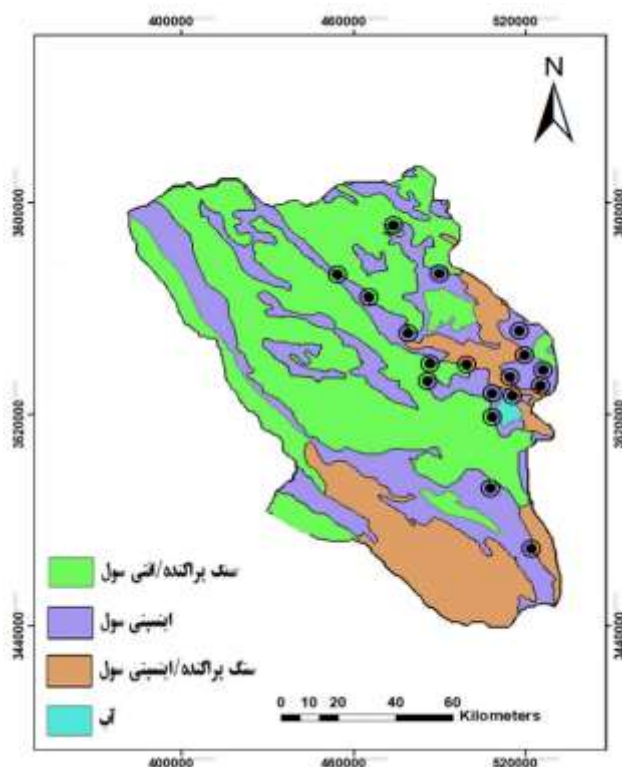
شکل ۶- پهنه‌بندی منطقه برحسب شاخص ویلکاکس در سال ۱۴۰۰

ARIMA (EC و SAR) پرداخته شد و با استفاده از سری زمانی ARIMA پیش‌بینی میزان این دو پارامتر در آب زیرزمینی منطقه در سال ۱۴۰۰ انجام گردید. پس از رسم نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، مدل‌های مناسب انتخاب و با استفاده از نمایه‌های موردبررسی، بهترین مدل‌ها برای هر چاه برگزیده شدند. در ادامه ضمن پیش‌بینی مقادیر موردنظر، از شاخص ویلکاکس برای دسته‌بندی و تعیین کیفیت آب منطقه استفاده گردید. بر اساس نتایج، مدل‌های ARIMA انتخاب شده دارای عملکرد قابل قبولی می‌باشند که طبق برآورد آن‌ها، میزان SAR (میزان جذب سدیم) در تمامی چاه‌ها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۵ کاهش خواهد یافت، درحالی‌که میانگین EC (هدایت الکتریکی) در تمامی چاه‌ها رو به افزایش است. بنابراین با توجه به این پارامترهای کیفی، اکثریت منطقه در کلاس C2S1 و C3S1 قرار خواهند گرفت که آب شور و مضر برای کشاورزی خواهد بود.

جهت بررسی علت افزایش EC که نوع لایه‌بندی خاک نیز می‌تواند در آن مؤثر باشد، رده‌های خاک منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجاکه لایه‌های خاک آریدیسول نیز در شرایط آب و هوایی خشک، دارای تجمع یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم هستند که می‌تواند با آبشویی، باعث افزایش EC خاک گردد، شرایط منطقه از نظر وجود یا عدم وجود این لایه خاک بررسی شد که با توجه به شکل ۷، خاک اکثریت منطقه از نوع انتی‌سول و اینسپتی‌سول می‌باشد. پس فرضیه مذکور رد می‌شود. بنابراین، دلیل محتمل با توجه به کاربری منطقه و نوع کشت آب‌بر آن، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی بیش از مقدار تغذیه و در نتیجه افزایش غلظت نمک‌های محلول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تغییرات دو پارامتر کیفی آب زیرزمینی



شکل ۷- رده‌های خاک منطقه مورد مطالعه

دودانگه، ا.، عابدی کوپائی، س. و گوهری، س. ع. ۱۳۹۱. کاربرد مدل‌های سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب. مجله علوم آب و خاک. ۵۹ (۱۶): ۷۴-۵۹.

زهتابیان، غ. ر.، رفیعی امام، س.، علوی پناه، ک. و جعفری، م. ۱۳۸۳. بررسی آب زیرزمینی دشت و رامین جهت استفاده از آبیاری اراضی کشاورزی. پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۶ (۴۸): ۱۰۲-۹۱.

سلطانی‌گرددفرامزی، س.، صابری، ع. و قیصوری، م. ۱۳۹۶. تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۷ (۴۴): ۱۰۵-۸۷.

مقصود، ف.، یزدانی، م. ر.، رحیمی، م.، ملکیان، آ. و ذوالفقاری، ع. ۱۳۹۵. مقایسه کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی و مدل ترکیبی ANN-ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) (مطالعه موردی: جنوب استان قزوین). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۰ (۳۳): ۵۷-۴۷.

میرزاپور، ح.، حق‌زاده، ع.، علیجانی، ر. و حیدری‌زادی، ز. ۱۳۹۷.

جهت جلوگیری از افزایش افت بیشتر کیفیت آب زیرزمینی، لزوم نظارت بیشتر بر چاه‌های شرق استان و به‌کارگیری منابع جدید آب که موجب کاهش برداشت از آب چاه‌ها می‌شود و همچنین جایگزینی آبیاری تحت فشار به جای آبیاری غرقابی می‌تواند راهکارهای مناسبی باشند. از سوی دیگر، با توجه به کشت سیب‌زمینی در ۶۰ درصد از اراضی کشاورزی این منطقه در سال ۹۸-۹۷ و با توجه به آب‌بر بودن و همچنین حساس بودن این گیاه به شوری، بایستی برنامه‌ریزی‌های لازم برای جایگزینی گیاهان مقاوم‌تر جهت کشت به عمل آید.

منابع

احتشامی، م.، خراسانی، م.، قدیمی، ح. و حیات‌بینی، ن. ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات تراز و غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی دشت کبودرآهنگ با استفاده از سری‌های زمانی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۴۹ (۲): ۲۹۴-۲۸۵.

افروزی، ع. و زارع‌ایبانه، ح. ۱۳۹۶. مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با کاربرد مدل‌های سری زمانی (مطالعه موردی: دشت‌های استان همدان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۵ (۸): ۱۱۱-۱۰۲.

- Environmental, Iranian Journal of Natural Resources. 4: 347- 357.
- Khalili Arya, F. and Zhang, L. 2015. Time series analysis of water quality parameters at Stillaguamish River using order series method. *Stoch Env Res Risk A*. 29 (1): 227– 239.
- Mrsanjari, M.M. and Mohammadyari, F. 2018. Application of Time-series Model to Predict Groundwater Quality Parameters for Agriculture: (Plain Mehran Case Study). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 127 (1).
- Taneja, K., Ahmad, Sh., Ahmad, K. and Attri, S.D. 2016. Time series analysis of aerosol optical depth over New Delhi using BoxeJenkins ARIMA modeling approach. *Atmospheric Pollution Research*. 3 (1): 1- 12.
- Tizro, A., Ghashghaie, M., Georgiou, P.E. and Voudouris, K. 2014. Time series analysis of water quality parameters. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*. 1(1): 40- 50.
- Wilcox, L. V. 1955. Classification and use of irrigation waters. US Department of Agriculture. Circ. 969. Washington DC.
- Zhang, L., Zhang, GX. and Li, RR. 2016. Water quality analysis and prediction using hybrid time series and neural network models. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 18 (4): 975- 983.
- ارزیابی کارایی مدل سری زمانی SARIMA در شبیه‌سازی دبی متوسط ماهانه‌ی رودخانه‌های افرینه کشکان و کاکارضا (استان لرستان). *هیدروژئومورفولوژی*. ۴ (۱۵): ۱۶۹-۱۵۳.
- Abu Amra, I.A.S. and Maghari, A.Y.A. 2018. Forecasting groundwater production and rain amounts using ARIMA-Hybrid ARIMA: Case study of Deir El-Balah City in GAZA. *International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Revised Edition. Holden-Day. PP 324.
- DeMoraes Takafuji, E.H., Da Rocha, M.M. and Manzione, R.L. 2018. Groundwater level prediction/forecasting and assessment of uncertainty using SGS and ARIMA Models: A case study in the Bauru Aquifer System (Brazil). *Natural Resources Research*: 1– 17.
- Gibrilla, A., Anornu, G. and Adomako, D. 2017. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*.
- Hajihashemi Jazy, M.R., Atashgahi, M. and Hamidian A.H. 2011 Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain). *Journal of Natural*

Using ARIMA Time Series Model to Predict Groundwater Quality Parameters for Use in Agriculture (Case Study: Chaharmahal & Bakhtiari Plain)

A.M. Rokhshad^{*1}, H. Khozaymeh Nejad²
Received: Mar.14, 2020 Accepted: May.06, 2020

Abstract

Groundwater is an important water resource especially in arid and semi-arid regions. Therefore, according to the conditions, it is necessary to study and predict the qualitative changes of water in the future. In this study two quality parameters Including electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR) taken from 18 groundwater wells in Chaharmahal and Bakhtiari Province during the years 1991 to 2016 were used. First, the primary zoning map was drawn from the parameters at the beginning and the end of the data range, then the suitable model for each parameter in each well was choiced and by drawing a map of groundwater quality zoning in 2021, the changes between these years was studied and groundwater quality was determined by Wilcox. Based on the results, selected ARIMA models have good performance. Also, according to these models, the average amount of predicted SAR (absorption rate) in all wells will decrease in 2021 compared to 2016, while the average amount of EC (electrical conductivity) is increasing in all wells. Therefore, according to the reviewed qualitative parameters, the majority of the region can be classified in the C2S1 and C3S1 classes, that will be salt and harmful water for agriculture.

Keywords: ARIMA, Groundwater, Quality parameters, Time series

1- Ph.D. Student of Water Resource, Department of Science and Water Engineering, School of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Science and Water Engineering, School of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(*- Corresponding Author Email: am.rokshad@birjand.ac.ir)