

پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های سری زمانی و GMS (مطالعه موردی: دشت رفسنجان)

محمدعلی جمالی‌زاده^۱، ام‌البنین بذرافشان^{۲*}، رسول مهدوی نجف‌آبادی^۲، علی آذره^۳، الهام رفیعی ساردوئی^۴
۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان،

بندرعباس

۲. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه جیرفت، جیرفت

۴. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۹/۱۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

چکیده

آگاهی از تغییرات بارش به عنوان یک مؤلفه هیدرولوژیکی در منابع آب، مهم و ضروری است تا با ارائه راه‌کارها و روش‌های مدیریتی مناسب، به بهره‌برداری مناسب از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به کمبود بارش در این مناطق پرداخت. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر مدل‌های سری زمانی در دشت رفسنجان صورت گرفت. بارش آینده با استفاده از مدل ARIMA در نرم‌افزار EViews9 برای دوره ۱۳۹۶-۱۴۰۲ پیش‌بینی شد. سپس، افت آب زیرزمینی نیز با استفاده از مدل آب زیرزمینی GMS در دوره پایه (۱۳۸۲-۱۳۹۵) و نتایج حاصل از مدل ARIMA برای دوره آتی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی افت آب زیرزمینی نیز نشان داد در تمامی منطقه افت سطح آب زیرزمینی در دوره آتی نسبت به دوره پایه رخ داده و بیشترین میزان افت آب زیرزمینی در بخش‌های جنوب غرب دشت صورت گرفته است و سالیانه حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب اضافه‌برداشت از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. در حالت کلی، آب زیرزمینی در ابتدای دوره بیشترین مقدار (سطح بالا) و در اواخر دوره آماری، کمترین مقدار (پایین‌ترین سطح) را داشته است. پس از مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی برای دوره پایه، پیش‌بینی بارندگی حاصل از مدل ARIMA با فرض ثابت بودن میزان بهره‌برداری از آبخوان، بر مدل آب زیرزمینی اعمال شد. نتایج نشان داد کسری حجم آبخوان به میزان ۱۰۲۱/۰۹ میلیون مترمکعب در سال پایانی مدل‌سازی (سال ۱۴۰۲) صورت گرفته است. همچنین، تغییرات سطح آبخوان دشت رفسنجان از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۴۰۲ بیان‌کننده آن بود که با توجه به برآورد بارش حاصل از مدل ARIMA می‌توان گفت که سالانه به طور متوسط یک متر افت آبخوان در این دشت رخ خواهد داد.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، دشت رفسنجان، مدل ARIMA، GMS.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع طبیعی مهم کشور هستند که به منظور تأمین آب برای اهداف صنعتی، خانگی و کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک که منابع آب سطحی در آن محدود است، بهره‌برداری می‌شوند [۱ و ۲]. در واقع، منبع اصلی آب آبیاری برای کشاورزی در جهان منابع آب زیرزمینی هستند [۳]. آب‌های زیرزمینی دینامیک هستند و می‌توانند مدام تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت خود را در شرایط آب‌وهوایی، برداشت آب زیرزمینی و تغییر کاربری و خشکسالی تنظیم کنند. همچنین، تعادل بین شارژ و تخلیه آبخوان‌ها سطح آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند [۴]. مدیریت آب‌های زیرزمینی به دلیل کمبود آب، بارش‌های نامنظم و غیرمستقیم و کمبود آب سطحی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکلاتی مواجه است [۵]. علاوه بر آن، کمیت آب‌های زیرزمینی جزئی جدایی‌ناپذیر در مدیریت آب‌های زیرزمینی است [۶]. از طرفی، بارندگی یک ورودی کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی است که به طور فزاینده‌ای هم در سطح منطقه و هم در سطح جهان متغیر است [۷] و به طور گسترده‌ای در زمینه مدیریت منابع آب یکپارچه، پیش‌بینی نیازهای محصول و ارزیابی محیط زیست استفاده می‌شود [۸]. بنابراین، پارامترهای آب‌وهوایی، به‌ویژه بارش، برای مدیریت منابع آب، کشاورزی، آب و کاربران بسیار درخور توجه است [۹]. همچنین، بیش از ۶۶ درصد سطح کشور ایران با کمبود آب‌های سطحی مواجه است. بنابراین، مردم برای تأمین نیاز خود به منابع آب‌های زیرزمینی پناه می‌آورند. کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی به دلیل خشکسالی هواشناسی از یک سو و برداشت بیش از پیش آب‌های زیرزمینی از سوی دیگر، به‌مرور حجم آب سفره‌های زیرزمینی کاهش شدیدی یافته که مشکلاتی مانند شور شدن، افت سطح ایستابی، نشست زمین [۱۰-۱۲]، تداخل آب‌های شور و شیرین [۱۲] و افزایش غلظت آلاینده‌های صنعتی [۱۳] را به همراه خواهد داشت. از آنجا که بررسی سطح آب‌های زیرزمینی و ارتباط آن با تغییرات بارندگی در حال حاضر و آینده برای مناطق بزرگ مشکل بوده و همچنین استفاده از روش‌های مستقیم و صحرایی برای برداشت نمونه بسیار دشوار است و توجیه علمی و اقتصادی ندارد، استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مدرن همچون مدل‌های رایانه‌ای برای مطالعه تغییرات بارندگی سبب درک بیشتر سامانه شده است و کارایی مناسب‌تری دارد [۱۴]. امروزه، پیشرفت در زمینه ساخت رایانه و تهیه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، سبب شده که بتوان به راحتی سیستم منابع آب منطقه مطالعه شده را شبیه‌سازی

کرده و سپس رخدادهای مختلف تأثیرگذار بر آن را بررسی کرد. به این ترتیب، می‌توان اثر آن را در آینده بر سیستم پیش‌بینی و بهترین گزینه برای بهره‌برداری از منابع آب را انتخاب کرد. در زمینه اثر تغییرات بارندگی روی سیستم‌های آب زیرزمینی در ایران و جهان مطالعات متعددی صورت گرفته است که به برخی از آنها پرداخته می‌شود.

پیش‌بینی پاندا و کومار [۱۵] در آنالیز سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل SARIMA در شمال شرقی Orissa هند بیان می‌کند که سطح آب زیرزمینی از ۲۵ متر به ۶۰ متر کاهش افت داشته است. مدل ARIMA در شبیه‌سازی آب زیرزمینی می‌تواند تأثیر زمان تأخیر بارش روی تخلیه چشمه‌های آب زیرزمینی شهرستان Luilin چین را با دقتی بهتر از مدل‌های خاکستری شبیه‌سازی کند [۱۶]. با توجه به خطای معقول مدل فصلی ARIMA در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی با استفاده از محرکه‌های GRACE، این مدل می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار آن استفاده شود [۱۷]. مقایسه دو مدل SGS و ARIMA در پیش‌بینی و ارزیابی سطح آب زیرزمینی در آبخوان Bauru واقع در کشور برزیل نشان داد مدل ARIMA برای ارزیابی آبخوان مناسب‌تر در نظر گرفته شده است؛ زیرا مدل ARIMA در سطح پیش‌بینی دوماهه با همان سطح دقت نسبت به مدل SGS و دقت بیشتر در تمام دوره‌ها می‌تواند به طور خودکار با استفاده از معیار اطلاعات Akaike بهینه شوند [۱۸]. یافته‌های چوبین و همکاران [۱۹] در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت شیراز بیان می‌کند که مدل خطی ARIMA نسبت به مدل انفیس با توابع عضویت مختلف کارایی مناسب‌تری دارد. همچنین، نتایج پژوهش نودرپور و همکاران [۲۰] در شبیه‌سازی آبخوان دشت لور با استفاده از کد MODFLOW در نرم‌افزار GMS بیانگر منفی بودن بیلان آب زیرزمینی این دشت به میزان ۷۴۵۶۸۳۱ میلیون مترمکعب در سال است. نتایج پژوهش درمورد مدل آب‌های زیرزمینی دشت لور نشان داد تغذیه مصنوعی علاوه بر افزایش تراز سطح ایستابی، توانسته است بیلان منفی را کاهش دهد و از این طریق به بهبود بیلان آبخوان کمک کند. شفیع و همکاران [۲۱] در بررسی تغییرات اقلیمی بر سطح سفره‌های آب زیرزمینی با مدل‌های ARIMA و GCM، پس از پیش‌بینی بارش و قرار دادن آن در مدل ARIMA بیان

تا ۳۴۳۴ متر بالاتر از سطح دریا گسترده شده است که تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و خشک دارد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی رفسنجان، متوسط بلندمدت میزان بارندگی در این دشت ۹۰ میلی‌متر در سال است که در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی، کمتر از این مقدار گزارش شده و تبخیر متوسط سالانه از سطح آزاد تشتک بیش از ۳ متر است و رودخانه دائمی ندارد، بیشتر رودخانه‌های آن فصلی هستند [۲۴]. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده را در استان کرمان و کشور ایران نشان می‌دهد.

روش تحقیق

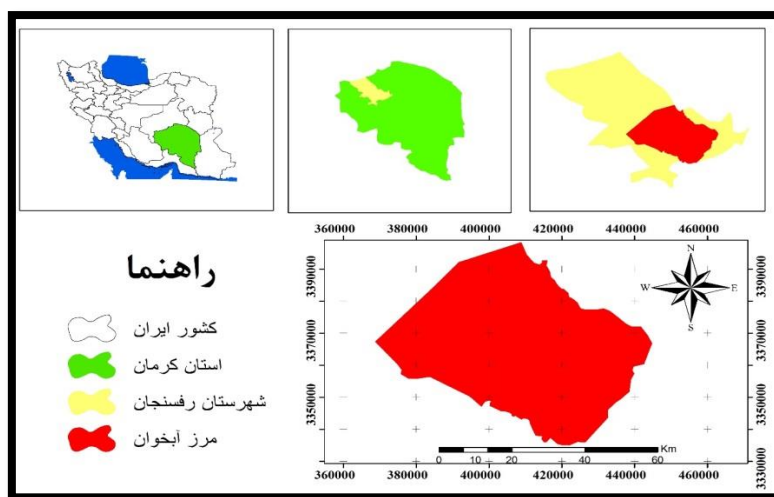
در تحقیق حاضر ابتدا داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک رفسنجان برای بررسی پیش‌بینی بارش طی دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۵ از سازمان هواشناسی استان کرمان تهیه شد (جدول ۱). همچنین، به منظور تهیه مدل آب زیرزمینی نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، موقعیت و آمار چاه‌های پیرومتری و بهره‌برداری طی دوره ۱۳۸۲-۱۳۹۵، ایستگاه‌های هیدرومتری و داده‌های مرتبط با آبخوان مد نظر نظیر هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه شد. در ادامه، مراحل انجام تحقیق تشریح می‌شود.

داشتند که سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۵۰ به ترتیب در مدل‌های MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 به میزان ۲۳/۲، ۲۴/۴ و ۲۳/۹ متر کاهش یافته است. با توجه به مطالعات صورت گرفته و جمعیت روزافزون فشار زیادی بر این منابع طبیعی ضعیف اعمال شده [۲۲] و از آنجا که بهره‌برداری مداوم سبب کاهش سریع‌تر سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود، بنابراین شناخت، ارزیابی و مدیریت مناسب و پایدار این منبع، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که در آن میزان بارگذاری آب‌های زیرزمینی به دلیل بارش محدود و تبخیر زیاد، به‌آهستگی صورت می‌گیرد، امری حیاتی و ضروری است [۲۳]. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر مدل‌های سری زمانی در دشت رفسنجان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

دشت رفسنجان در جنوب شرقی ایران با وسعت ۲۶۶۱/۶۴ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۵ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۸ دقیقه و ۲۱ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳ ثانیه در باند ارتفاعی ۱۴۰۰ متر



شکل ۱. محدوده منطقه مطالعه‌شده

جدول ۱. مشخصات ایستگاه سینوپتیک دشت رفسنجان

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع آمار	طول دوره آماری
رفسنجان	۱۵۸۰/۹	۵۴°_۵۵'	۲۵°_۳۰'	بارش	۱۳۸۲-۱۳۹۵

فرم کلی مدل می‌شود. از مهم‌ترین روش‌های تعیین بهترین مدل آماری برای یک سری زمانی، بررسی تغییرات توابع خودهمبسته^۲ (ACF) و خودهمبسته جزئی^۳ (PACF) در تأخیرهای مختلف زمانی است. به منظور شناسایی مدل اولیه در تحقیق حاضر از این دو نمودار استفاده شد. سپس، بررسی آزمون ایستایی پارامتر بارش انجام شد. هدف از آزمون ایستایی، مشخص کردن این موضوع است که آیا مقادیر میانگین و واریانس نسبت به زمان تغییر می‌کنند یا خیر. تقریباً در تمام روش‌های آنالیز سری‌های زمانی خطی یا غیر خطی، داده‌ها ایستا فرض می‌شوند، در حالی که اغلب سری‌های زمانی بنا به دلایل مختلف نظیر روند، «تناوب» و یا پرش نایستا هستند. بررسی نایستایی در سری می‌تواند کمک زیادی به درک مکانیسم فیزیکی موجود بکند که این امر اهمیت آزمون ایستایی را در آنالیز سری‌های زمانی هوشناسی نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر از روش ADF^۴ که کاربرد بیشتری داشته است، برای آزمون ایستایی استفاده شده است [۲۷]. همچنین، بارش دوره آبی با استفاده از مدل ARIMA در نرم‌افزار EViews9 برآورد می‌شود.

مدل‌سازی کمی آب زیرزمینی

قبل از شروع مدل‌سازی باید هدف از مدل‌سازی مشخص باشد؛ به این شکل که از ابتدا مشخص باشد که در انتهای مدل‌سازی چه انتظاری از مدل وجود دارد و نتایج آن تا چه اندازه می‌تواند نیازهای مدیریت آبخوان را برآورده سازد. این مدیریت با توجه به شرایط کمی و کیفی محدوده مطالعاتی متفاوت است [۲۵]. بنابراین، با توجه به موارد گفته‌شده در تحقیق حاضر از نرم‌افزار رابط GMS و کد MODFLOW استفاده می‌شود. این نرم‌افزار که مدل مادفلو را در خود جای داده است، با امکانات مختلفی که به آن افزوده شده است نسبت به خود نرم‌افزار MODFLOW توانایی بیشتری در وارد کردن داده‌ها، ساخت و تحلیل مدل دارد. همچنین، در میان کدهای مختلف مدل‌سازی، مدلی که بیشترین کاربرد را در زمینه کمیت آب‌های زیرزمینی در کشورهای مختلف دارد، کد MODFLOW است. این کد بر پایه حل معادلات حرکت آب‌های زیرزمینی است، به طوری که حرکت سه‌بعدی آب زیرزمینی با چگالی ثابت به وسیله

مدل سری زمانی ARIMA

در انواع کاربردهای علمی، اقتصادی و مهندسی، برای تحلیل سری‌های زمانی، از جمله شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های هیدرولیکی به کار می‌روند. این مدل‌ها رفتار سری‌های زمانی را با در نظر گرفتن همبستگی پیاپی میان مشاهدات سری، پیش‌بینی می‌کنند. در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی مدل‌های اتورگرسیو استفاده گسترده‌ای در مهندسی هیدرولوژی و منابع آب داشته‌اند. باکس و جنکینس [۲۵]، با استفاده از اولین، دومین یا به طور کلی، d امین تفاضل سری، سری زمانی را ایستا و سپس با مدل‌سازی با (p, q) ARMA مدل جدیدی موسوم به مدل‌های خودهمبسته میانگین متحرک^۱ ARIMA(p, d, q) غیرفصلی ارائه کردند. فرم غیر فصلی مدل ARIMA از مرتبه p, d, q برای متغیر نرمال استاندارد شده Z_t به صورت (رابطه ۱) است:

$$\phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B) \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن $\theta(B)$ و $\phi(B)$ به ترتیب چند جمله‌ای از درجه p و q هستند (روابط ۲ و ۳):

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (2)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (3)$$

و d مرتبه تفاضل را نشان می‌دهد. در مدل ARIMA تفاضل اصلی با هر مرتبه و تناوبی که لازم باشد، انجام می‌گیرد تا سری حاصل ایستا شود. پارامترهای مدل ARIMA در این حالت همان پارامترهای مدل ARMA هستند که از مدل‌سازی سری ایستاده به دست می‌آیند. بنابراین، محاسبه این پارامترها نیز همانند مدل‌های ARMA انجام می‌پذیرد [۲۶].

در پیش‌بینی سری زمانی با استفاده از مدل مکرر ARIMA، مشابه استفاده از مدل ARMA هنگامی که افق زمانی پیش‌بینی بیشتر از تأثیر زمانی پارامتر میانگین متحرک بر سری تاریخی باشد، اثر میانگین متحرک در پیش‌بینی حذف می‌شود [۲۶]. به طور کلی، مدل‌سازی سری‌های زمانی شامل سه مرحله شناسایی مدل، تخمین پارامترهای مدل و تشخیص درستی مدل می‌شود [۲۵]. مرحله شناسایی شامل تبدیل داده‌ها به سری‌های نرمال (در صورت لزوم) و شناسایی

2. Autocorrelation Function
3. Partial Autocorrelation Function
4. Augmented Dickey-Fuller

1. Autoregressive Integrated Moving Average

انتقال به ضخامت لایه اشباع آبخوان، هدایت هیدرولیکی قسمت‌های مختلف دشت تخمین زده شد، مراحل آماده‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. بنابراین، با توجه به مطالعات انجام‌شده توسط وزارت نیرو، ضریب ذخیره آبخوان دشت رفسنجان به‌طور متوسط ۵ درصد در نظر گرفته شد و به مدل معرفی شد. از طرفی، باید توجه داشت که میزان ضریب ذخیره و آبدهی ویژه یکی بوده و به یک معنا هستند.

همچنین، به منظور برآورد تغذیه سطحی آبخوان در مدل توسط بسته تغذیه^۳ شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و پیرامون دشت مقدار متوسط بارندگی برابر با ۹۰ میلی‌متر در سال به دست آمد. سپس، با توجه به مطالعات پایه انجام‌شده ضریب نفوذ بارندگی در تمام سطح دشت برابر ۵ درصد در نظر گرفته شد [۵]. در نتیجه، مقدار تغذیه آبخوان توسط بارندگی برابر با ۰/۰۰۰۰۱۲۳ متر بر روز به دست آمد (رابطه ۵) [۲۸].

$$R = P / 365 * a \quad (5)$$

که در آن، R معادل تغذیه ناشی از بارندگی برحسب متر بر روز است، P بارش سالانه برحسب متر بر سال، a درصد تغذیه ناشی از بارندگی است. در گام بعدی اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از داده‌های DEM^۴ و با استفاده از نرم‌افزار GIS استخراج شده و به‌صورت فایل shp به مدل وارد شده است. سپس، با استفاده از درون‌یابی، کلیه نقاط به‌طور مستقیم به شبکه مدل نسبت داده شد. نقشه مدل رقومی ارتفاعی و سنگ کف آبخوان نیز به کمک داده‌های ژئوفیزیک و نقشه تغییرات ضخامت آبخوان ساخته شد. همچنین، عملیات واسنجی با استفاده از دو روش دستی و PEST نرم‌افزار GMS انجام گرفت. در نهایت، در مطالعه حاضر از آمار مهر ۱۳۸۲ تا مهر ۱۳۹۲ در چاه‌های مشاهده‌ای برای واسنجی مدل استفاده شد. در حالت پایدار^۵ از اطلاعات سطح آب مهرماه ۱۳۸۲ استفاده شد و برای حالت ناپایدار^۶ از داده‌های سایر ماه‌های این دوره استفاده شد. برای بررسی صحت‌سنجی مدل از دوره ۱۳۹۲-۱۳۹۵ استفاده شد، بنابراین برای بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی و

معادله دیفرانسیلی جزئی (رابطه ۴) با استفاده از روش تفاضل محدود و بر اساس معادله پیوستگی حل می‌شود.

$$Ss \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] - W \quad (4)$$

که در آن، K: هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، h: بار پتانسیل (متر)، W: بیانگر شار حجمی در واحد حجم و نشان‌دهنده تغذیه و تخلیه آب است، Ss: ذخیره مخصوص مواد متخلخل، t: زمان (روز)، x، y و z بیانگر مختصات است. سپس، مدل مفهومی که اساس فعالیت‌های بعدی را تشکیل می‌دهد، مرحله آغازین مدل و مهم‌ترین بخش آن است. این بخش به درک کامل هیدروژئولوژی، هیدرولوژی و دینامیک جریان آب زیرزمینی در داخل و اطراف منطقه مطالعه‌شده نیاز دارد. در این روش ابزارهای GIS و مدل Map به کار برده می‌شوند. تمامی داده‌های موجود در منطقه از جمله موقعیت منابع تغذیه و تخلیه^۱ مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، پارامترهای لایه‌مانند هدایت هیدرولیکی، مرزهای مدل و اطلاعات دیگر مورد نیاز برای مدل‌سازی در سطح مدل مفهومی بررسی شده و به نرم‌افزار داده شد. سپس، شبکه ایجاد و مدل مفهومی به مدل شبکه‌ای^۲ تبدیل می‌شود. محدوده دشت به مدل وارد می‌شود، سپس هر یک از ویژگی‌های آبخوان، منابع تغذیه و تخلیه و چاه‌های مشاهده‌ای در یک پوشش جداگانه تعریف می‌شوند. تعداد ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای و ۶۴۰ حلقه چاه بهره‌برداری که حجم کل تخلیه سالانه از چاه‌های موجود در این آماربرداری حدود ۴۱۸/۲۱۴- میلیون مترمکعب محاسبه شد، در محدوده مدل قرار گرفته‌اند. پس از آنکه مدل مفهومی تهیه شد، شبکه و ابعاد آن طراحی می‌شود. در مدل‌سازی آبخوان دشت رفسنجان، برای ایجاد شبکه یکنواخت، ابعاد سلول‌ها با توجه به وسعت منطقه و نیز میزان آمار و اطلاعات موجود ۵۰۰*۵۰۰ متر و تعداد ستون‌ها ۱۲۶ و تعداد سطرها ۱۵۲ در نظر گرفته شد. با توجه به نبود اطلاعات هدایت هیدرولیکی در منطقه مطالعه‌شده داده‌های مربوط به ضریب قابلیت انتقال محدوده مد نظر از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه شد و از تقسیم ضریب قابلیت

3. Recharge Package
4. Digital Elevation Model
5. Steady
6. Unsteady

1. Sources/Sinks
2. Grid Model

نتایج

نتایج پیش‌بینی بارش برای دوره آتی با استفاده از مدل ARIMA

با استفاده از آزمون ADF ایستایی متغیر بارندگی بررسی شد. نتایج نشان داد این متغیر دارای ریشه واحد بوده و به بیان دیگر، ایستا نیست. در نتیجه، الگوی استفاده‌شده ARIMA خواهد بود. بنابراین، فرض H_0 که نشان‌دهنده وجود ریشه واحد است، رد نمی‌شود و پذیرفته می‌شود. همچنین، پس از انجام مجدد آزمون ADF با یک مرتبه تفاضل‌گیری از داده‌ها متغیر بارندگی ایستا شد، یعنی $d=1$ است (جدول ۲). همچنین، به منظور تعیین مقادیر p ، q از نمودارهای ACF و PACF استفاده شد که نشان می‌دهد داده‌های بررسی شده تصادفی نیستند و قابل استفاده در الگوسازی هستند. همچنین، آزمون Qstat نشان‌دهنده معناداری مقادیر ACF و PACF بوده و همه آنها در سطح ۵ درصد معنادارند. روند نمودارهای ACF و PACF مقادیر p و q را به خوبی بیان نمی‌کنند. بنابراین، با استفاده از مقادیر مختلف p و q به پیش‌بینی بارندگی اقدام شد که با استفاده از این روش، $p=3$ و $Q=2$ به دست آمد و در پیش‌بینی استفاده شد (شکل ۲).

واقعی از معیارهای آماری خطای میانگین (ME)، خطای میانگین مطلق (MAE)، جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) استفاده شد (روابط ۶-۸).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (hm - hs) \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |(hm - hs)| \quad (7)$$

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (hm - hs)^2} \quad (8)$$

که در آن، n تعداد چاه‌های مشاهده‌ای، hm مقادیر سطح آب مشاهده به متر و hs مقادیر سطح آب شبیه‌سازی شده به متر است. زمانی که مدل صحت‌سنجی شد، از آن می‌توان برای پیش‌بینی، که هدف اغلب فعالیت‌های مدل‌سازی هاست، استفاده کرد. بنابراین، تأثیرات پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر مدل سری زمانی ARIMA برای دوره ۱۳۹۶-۱۴۰۲ صورت گرفت.

جدول ۲. نتایج آزمون ADF برای بررسی ایستایی بودن متغیر بارندگی

Null Hypothesis: RAINF has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=7)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.46	0.13
Test critical values:	1% level		-3.68	
	5% level		-2.97	
	10% level		-2.62	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(RAINF)				
Method: Least Squares				
Date: 12/07/18 Time: 22:56				
Sample (adjusted): 3 30				
Included observations: 28 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RAINF(-1)	-0.62	0.25	-2.46	0.02
D(RAINF(-1))	-0.44	0.17	-2.58	0.01
C	35.73	16.67	2.14	0.04
R-squared	0.67		Mean dependent var	-2.76
Adjusted R-squared	0.64		S.D. dependent var	37.34
S.E. of regression	22.28		Akaike info criterion	9.14
Sum squared resid	12413.26		Schwarz criterion	9.28
Log likelihood	-125.05		Hannan-Quinn criter.	9.19
F-statistic	25.41		Durbin-Watson stat	2.23
Prob(F-statistic)	0.000001			

Date: 12/07/18 Time: 23:08
 Sample: 1 31
 Included observations: 30

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1			-0.060	-0.060	0.1177	0.731
2			0.403	0.400	5.6757	0.059
3			-0.016	0.027	5.6847	0.128
4			0.220	0.071	7.4757	0.113
5			-0.197	-0.227	8.9704	0.110
6			0.109	-0.021	9.4490	0.150
7			-0.158	-0.016	10.488	0.163
8			-0.033	-0.087	10.536	0.229
9			-0.138	-0.033	11.402	0.249
10			-0.051	-0.060	11.527	0.318
11			-0.149	-0.061	12.642	0.317
12			0.072	0.127	12.917	0.375
13			-0.102	-0.023	13.501	0.410
14			0.079	0.020	13.880	0.459
15			0.120	0.194	14.805	0.466
16			0.079	-0.004	15.229	0.508

شکل ۲. نتایج آزمون ACF و PCAF

بارندگی را توضیح می‌دهند. مقدار آماره Durbin-Watson نشان‌دهنده نبود خودهمبستگی و صحت روش برآورد الگوی ARIMA است (جدول ۳).

نتایج الگوی ARIMA (3,2,1) در دوره پایه با استفاده از آزمون F بیانگر آن است که الگوی آریمما در سطح ۵ درصد معنادار است و R^2 برابر ۰/۵۴ محاسبه شد که نشان داد مقادیر AR و MA ۵۴ درصد از تغییرات متغیر

جدول ۳. الگوی ARIMA در سال‌های پایه (۱۳۸۲-۱۳۹۵)

Dependent Variable: RAIN				
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)				
Date: 12/07/18 Time: 22:35				
Sample: 1 23				
Included observations: 23				
Convergence not achieved after 500 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1616.64	1033.09	1.56	0.13
YEASR	-1.12	0.74	-1.49	0.15
AR(1)	1.28	0.29	4.36	0.0006
AR(2)	0.11	0.47	0.23	0.81
AR(3)	-0.55	0.30	-1.81	0.08
MA(1)	-1.96	28.13	-0.06	0.94
MA(2)	0.99	28.34	0.035	0.97
SIGMASQ	309.91	8833.79	0.035	0.97
R-squared	0.54	Mean dependent var	68.008	
Adjusted R-squared	0.32	S.D. dependent var	26.55	
S.E. of regression	21.79	Akaike info criterion	9.54	
Sum squared resid	7128.08	Schwarz criterion	9.93	
Log likelihood	-101.76	Hannan-Quinn criter.	9.64	
F-statistic	2.52	Durbin-Watson stat	2.14	
Prob(F-statistic)	0.06			
Inverted AR Roots	.93-.31i	.93+.31i	-.58	
Inverted MA Roots	.98-.16i	.98+.16i		

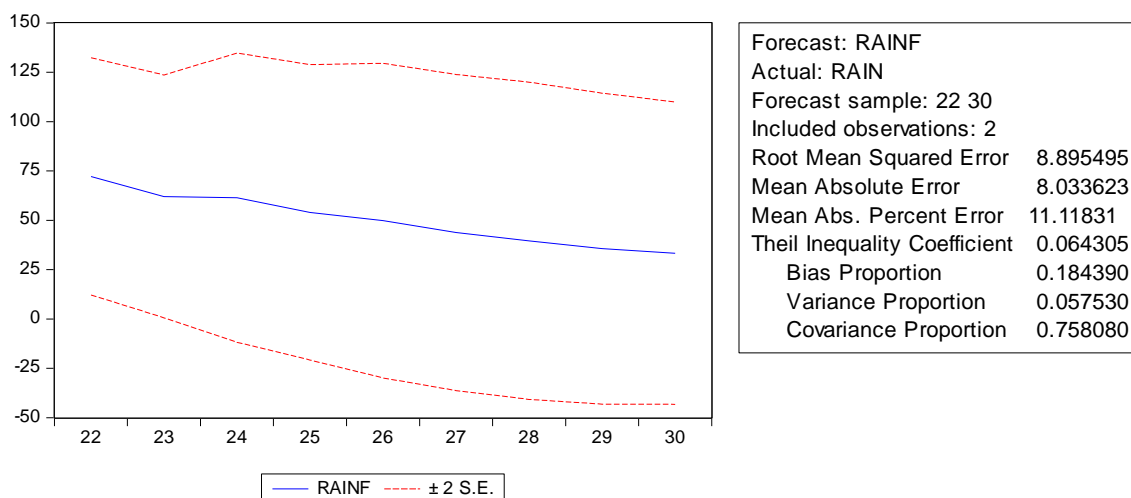
آمار ۱۱ چاه پیزومتری اقدام شد. هیدروگراف نشان می‌دهد افت سطح ایستابی به‌طور متوسط ۰/۹۱ متر در سال در دشت رفسنجان طی دوره ۱۳۸۲-۱۳۹۵ رخ داده است (شکل ۴).

معیارهای (ME، MAE و RMSE) عملکرد مدل GMS طی واسنجی در حالت‌های ماندگار، غیرماندگار و صحت‌سنجی بیان‌کننده دقت قابل قبول مدل‌سازی در حالت‌های یادشده است (جدول ۴).

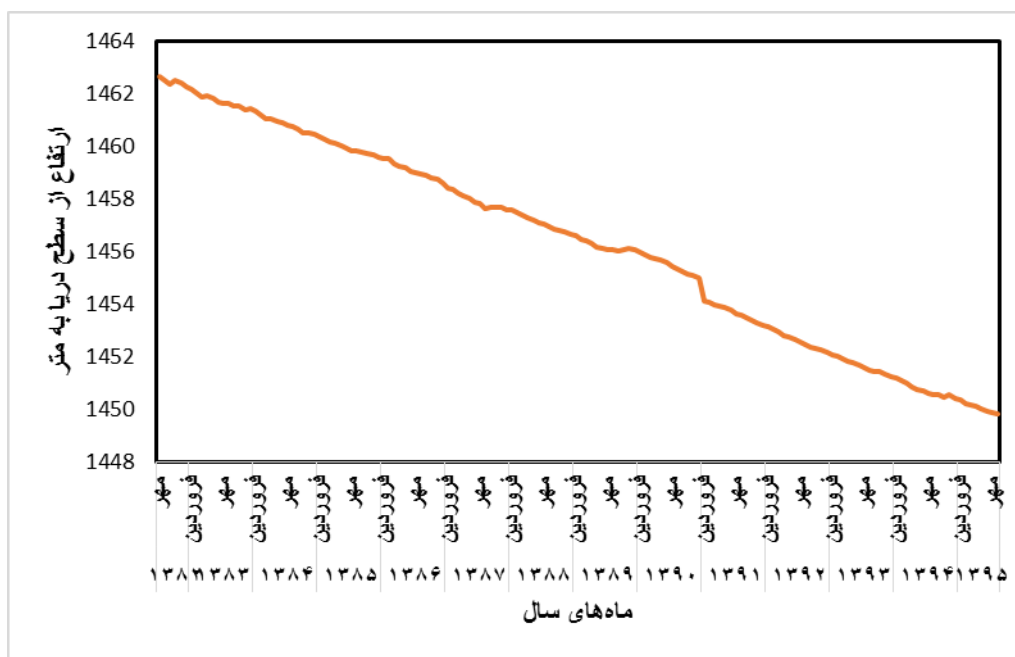
شکل ۳ پیش‌بینی بارندگی برای دوره آتی (۱۳۹۶-۱۴۰۲) را با استفاده از مدل ARIMA در نرم‌افزار EViews9.5 را نشان می‌دهد که بیان‌کننده کاهش بارندگی برای افق ۱۳۹۶-۱۴۰۲ است.

نتایج آب زیرزمینی

به‌منظور بررسی متوسط نوسانات سطح آبخوان و تعیین دوره‌های مرطوب و خشک و اندازه‌گیری تغییرات دوره‌ای و سالیانه به محاسبه و ترسیم هیدروگراف تراز آب زیرزمینی دشت رفسنجان طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۵ با استفاده از



شکل ۳. بارندگی سالانه دشت رفسنجان در دوره آتی (۱۳۹۶-۱۴۰۲) با استفاده از مدل ARIMA



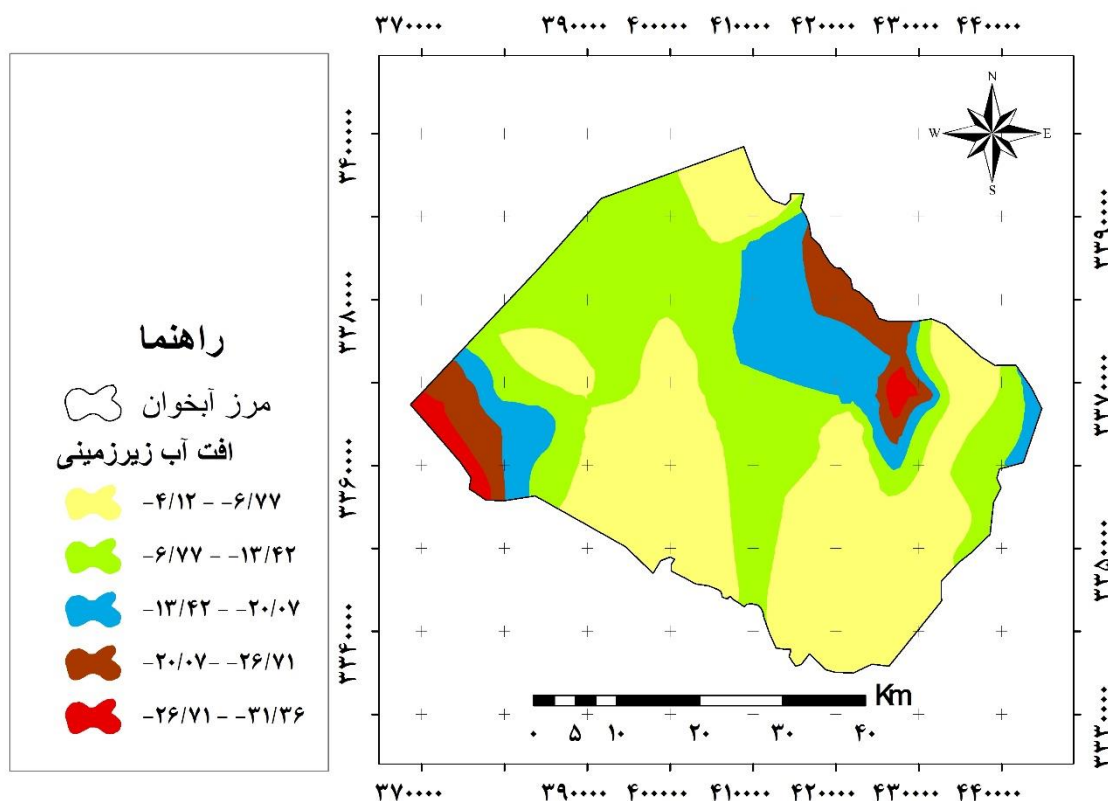
شکل ۴. نمودار هیدروگراف تراز آب زیرزمینی دشت رفسنجان سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۹۵

جدول ۴. مقادیر خطا (متر) در دوره‌های مختلف واسنجی

سال آبی	دوره	ME	MAE	RMSE
۱۳۸۳-۱۳۸۲	ماندگار	-۰/۰۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۴۰
۱۳۹۲-۱۳۸۲	غیرماندگار	-۰/۲۱	۰/۷۵	۱/۱۶
۱۳۹۵-۱۳۹۲	صحت‌سنجی	۱/۷۸	۲/۴۶	۳/۱۸

نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی بارش مدل ARIMA بر سطح آب زیرزمینی در جدول ۵ بیانگر آن است که حجم آبخوان به میزان ۱۰۲۱/۰۹ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. در نهایت، تغییرات سطح آبخوان در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۸۲ بیانگر اوضاع وخیم این دشت با توجه به خشکسالی‌ها و برداشته‌های بی‌رویه آب زیرزمینی از سطح آن، سطحی معادل ۱۵۰۸/۳۱ و ۱۱/۳۸ کیلومترمربع از این دشت به‌ترتیب ۱۱/۷۳ و ۳۴/۲۹ متر افت آب زیرزمینی را در افق ۱۴۰۲ نظاره‌گر خواهد بود (شکل ۶). به این منظور، تمهیدات انتقال آب بین حوضه‌ای در این دشت می‌تواند چاره‌ساز باشد.

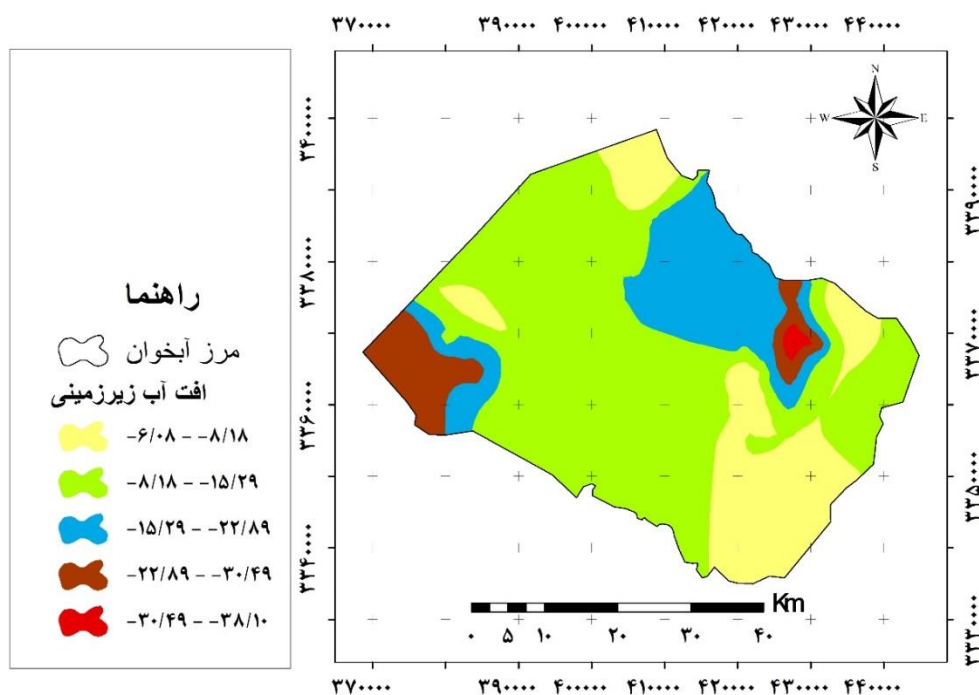
در نهایت، به‌منظور مقایسه نتایج بیلان مدل در آخرین سال مدل‌سازی (۱۳۹۴-۱۳۹۵) با بیلان هیدروژئولوژی آبخوان دشت رفسنجان، که بیلان هیدروژئولوژی از گزارش بیلان آب محدوده مطالعاتی دشت رفسنجان، اقتباس شده است که در تحقیق حاضر مساحت محدوده بیلان ۲۶۶۱/۶۴ کیلومترمربع در نظر گرفته شده و متوسط کسری مخزن در سال ۱۳۹۵، ۱۳۰/۴۲- میلیون مترمکعب به دست آمده است. همچنین، نتایج شبیه‌سازی آبخوان در دوره ۱۳۸۲-۱۳۹۵ نشان‌دهنده حداکثر افت ۲۹/۰۳ متر و حداقل افت به میزان ۵/۴۴ متر به‌ترتیب در سطحی به مساحت ۴۵/۳۲ و ۱۱۳۵/۵۳ کیلومترمربع رخ داده است (شکل ۵). همچنین،



شکل ۵. تغییرات تراز آب در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۲

جدول ۵. ادامه روند کنونی برداشت و نتایج پیش‌بینی بارش مدل ARIMA بر سطح آب زیرزمینی

سال	شرایط یکنواخت بهره‌برداری (MM ³)	بارش (mm)	مساحت حوضه (Km ²)	میزان تغذیه بارش مؤثر (MM ³)	افت تغذیه ناشی از بارندگی (MM ³)	بیلان منفی کل (مدل ARIMA + بهره‌برداری) (MM ³)	حجم آبخوان (MM ³)
۱۳۹۵	-۱۳۰/۴۲	۷۳/۹	۲۶۶۱/۶۴	۱۹۶/۷۰	۰	-۱۳۰/۴۲	۹۹۸۱/۱۵
۱۳۹۶	-۱۳۰/۴۲	۶۱/۴۱	۲۶۶۱/۶۴	۱۶۳/۴۵	-۳۳/۲۵	-۱۶۳/۶۷	۹۸۱۷/۴۸
۱۳۹۷	-۱۳۰/۴۲	۵۳/۹۴	۲۶۶۱/۶۴	۱۴۳/۵۶	-۱۹/۸۹	-۱۵۰/۳۱	۹۶۶۷/۱۷
۱۳۹۸	-۱۳۰/۴۲	۴۹/۷۷	۲۶۶۱/۶۴	۱۳۲/۴۷	-۱۱/۰۹	-۱۴۱/۵۱	۹۵۲۵/۶۷
۱۳۹۹	-۱۳۰/۴۲	۴۳/۷۵	۲۶۶۱/۶۴	۱۱۶/۴۵	-۱۶/۰۲	-۱۴۶/۴۴	۹۳۷۹/۲۳
۱۴۰۰	-۱۳۰/۴۲	۳۹/۵۵	۲۶۶۱/۶۴	۱۰۵/۲۶	-۱۱/۱۹	-۱۴۱/۶۱	۹۲۳۷/۶۱
۱۴۰۱	-۱۳۰/۴۲	۳۵/۶۱	۲۶۶۱/۶۴	۹۴/۷۸	-۱۰/۴۷	-۱۴۰/۸۹	۹۰۹۶/۷۲
۱۴۰۲	-۱۳۰/۴۲	۳۳/۲۷	۲۶۶۱/۶۴	۸۸/۵۴	-۶/۳۴	-۱۳۶/۶۶	۸۹۶۰/۰۶



شکل ۶. تغییرات تراز آب در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۸۲

نتیجه‌گیری

به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی راهکارهای مختلفی ارائه شده است که لازمه آن، آگاهی از حجم آب‌های زیرزمینی است. پیش‌بینی تغییرات بارندگی در آینده نزدیک و اثر آن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های آینده کند. به این منظور، برای پیش‌بینی بارندگی از مدل سری زمانی ARIMA و آثار آن بر نوسانات آب زیرزمینی دشت

رفسنجان از مدل GMS در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۴۰۲ بهره گرفته شد.

با استفاده از آزمون ADF ایستایی متغیر بارندگی بررسی شد. نتایج نشان داد این متغیر ریشه واحد دارد، به بیان دیگر ایستا نیست. در نتیجه، الگوی استفاده‌شده ARIMA خواهد بود. آزمون F نشان داد الگوی آریمادا در سطح ۵ درصد معنادار است و R2 برابر ۰/۵۴ است که بیانگر این مسئله است که مقادیر AR و MA مقدار ۵۴

مطابقت دارد. در نهایت، با بررسی بیلان آبی مدل مشاهده شد که سالانه حدود ۱۳۰/۴۲ میلیون مترمکعب اضافه‌برداشت از آبخوان صورت می‌گیرد. به این معنا که ورودی و خروجی آب با یکدیگر همخوانی ندارد و نتیجه آن میزان افقی است که در منطقه شاهد هستیم و سالانه به میزان ۰/۹۳ متر افت صورت می‌گیرد. همچنین، نتایج بررسی میزان افت در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده این نکته است که افت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت صورت می‌گیرد، اما شدت آن در مناطق مختلف متفاوت است که این به دلیل ساختار پیچیده آبخوان، میزان برداشت و تراکم چاه‌های بهره‌بردار، بافت خاک و همچنین نوع کاربری‌های موجود در منطقه (افزایش اراضی کشاورزی در دهه اخیر و کاهش زمین‌های بایر و تبدیل شدن آنها به اراضی بیابانی) است.

پس از مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی برای دوره پایه، پیش‌بینی بارندگی به‌وجودآمده از مدل ARIMA با فرض ثابت بودن میزان بهره‌برداری از آبخوان، بر مدل آب زیرزمینی اعمال شد. نتایج نشان داد کسری حجم آبخوان به میزان ۸۹۶۰/۰۶ میلیون مترمکعب در سال پایانی مدل‌سازی (سال ۱۴۰۲) کاهش یافته است. تغییرات سطح آبخوان دشت رفسنجان از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۴۰۲ با توجه به پیش‌بینی مدل ARIMA بیانگر آن است که سالانه به طور متوسط ۱ متر شاهد افت آبخوان هستیم که با نتایج گیبیرلا و همکاران [۳۲] در بررسی روند سطح آب زیرزمینی در رودخانه Volta واقع در غنا مطابقت دارد. همچنین، سطح آب‌های زیرزمینی که میزان متوسط کاهش به میزان ۱/۰۰۸ متر در سال جایی که سطح آب‌های زیرزمینی تا سال ۲۰۲۰ به حدود ۱۲ متر کاهش می‌یابد، مطابقت دارد. همچنین، با نتایج پاتل و همکاران [۳۳] در تجزیه و تحلیل سری زمانی سطح آب زیرزمینی و پیش‌بینی روند آن در آینده در Haryana واقع در هند بیان داشتند که مدل $ARIMA(0, 1, 2)$ به عنوان مدل مناسب برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌ها شناسایی شده و همچنین سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ به میزان ۱۲/۹۷ متر افت کرده است و سطح آب زیرزمینی سالانه به طور متوسط ۰/۳ متر افت یافته است، مطابقت دارد. بنابراین، برداشت بیش از حد مجاز را می‌توان نتیجه نبود درست مدیریت منابع آب در

درصد از تغییرات متغیر بارندگی را توضیح می‌دهد که با نتایج افروزی و زارع ایبانه [۲۹] که در مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان همدان با توجه به روش باکس-جنکینز، مدل‌های ARIMA فصلی روی داده‌های نمونه برازش و مناسب‌ترین آنها انتخاب شدند. سپس، از این مدل‌ها برای پیش‌بینی ۱۲ ماهه استفاده کردند، به طوری که بین همه دشت‌های مطالعه‌شده کمترین ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۳ و بیشترین جذر میانگین مربع خطا ۰/۷۳ متر برای دشت همدان-بهار به دست آمد، مطابقت دارد. به دلیل درک بهتر از وضعیت آبخوان، هیدروگراف معرف کل آن در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ ترسیم شد و سالانه به‌طور متوسط آبخوان افقی برابر ۰/۹۳ متر دارد که نشان‌دهنده بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و همچنین حفر چاه‌های غیر مجاز زیاد در منطقه مطالعه‌شده است که با نتایج جبالبارزی و همکاران [۳۰] در بررسی آثار تاغکاری روی آبخوان جعفریه که بیان می‌کند طی دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۲ سالانه به‌طور متوسط ۰/۷۳ متر از سطح آبخوان افت پیدا کرده است، مطابقت دارد. نتایج نشان داد میزان هدایت هیدرولیکی در بخش شمال و مرکز دشت زیاد و در بخش‌های غرب، و شرق منطقه مطالعه‌شده کمتر است. نقشه تغذیه نیز پس از کالیبراسیون دستی و اتوماتیک برآورد شد. در بخش‌هایی از شمال غرب منطقه تغذیه سطحی بیشتر است که این می‌تواند به دلیل تفاوت در توپوگرافی منطقه، بافت ذرات و نوع کاربری‌های موجود در منطقه باشد. در این مرحله آبدهی ویژه به دست آمد. مقادیر آبدهی ویژه در مناطق غربی کمتر بود که این مطلب می‌تواند تصدیق بر ریزدانه بودن ذرات بخش‌های غربی نسبت به بقیه مناطق باشد. در زمینه کمیت آبخوان دشت رفسنجان پس از واسنجی مدل چه به صورت دستی و چه کالیبراسیون اتوماتیک و چک کردن پارامترهای آماری نظیر RMSE، MAE و ME که در دوره اول به ترتیب برابر با ۱/۱۶، ۰/۷۵، ۰/۲۱- نتایج نشان داد واسنجی با دقت زیادی انجام شده است. همچنین، نتایج با هیدروگراف دشت نیز مقایسه شد که نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده زیاد بودن دقت مدل در شبیه‌سازی رفتار آبخوان است که با نتایج مازاده و همکاران [۳۱] که در مطالعاتشان دقت زیاد مدل مادفلو را تأیید کرده بودند،

- [5].Salih A. Contribution of UNESCO-international hydrological programme to water resources management in the arabian gulf countries. In: Alsharhan, A.S., Wood, W.W. (Eds.), Water Resources Perspectives: Evaluation. Management and Policy Published in by Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 2003; pp. 129-139.
- [6].Basahi J. M, Masoud M. H, & Rajmohan N. Effect of flash flood on trace metal pollution in the groundwater-Wadi Baysh Basin, western Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 2018; 147: 338-351.
- [7].Nsubuga F.W.N, Botai O.J, Olwoch J.M, Dew Rauten bach C.J., Yvette B, & Adebayo O.A. The nature of rainfall in the maindrainage sub-basins of Uganda. *Hydrological Sciences Journal*, 2014; 59 (2): 278-299.
- [8].Haiyun S, Tiejian L, Jiahua W, Wang F, Guangqian W. Spatial and temporal characteristics of precipitation over the Three-River Headwaters region during 1961-2014. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 6 (2016) 52-65.
- [9].Guobin F, Stephen P. C, Francis H.S.C, Jin T, Hongxing Z, Andrew J. F, Wenbin L, Sergey K. 2013. Modelling runoff with statistically downscaled daily site, gridded and catchment rainfall series. *Journal of Hydrology*, 2013; 492 : 254-265.
- [10]. Cao Don N., Thi minh hang N., Araki H., Yamanishi H., Koga K. Groundwater resources management under environmental in shiroishi of saga plain, japan. *Environmental geology*. 2006; 49: 601-609.
- [11]. Bear J., Cheng A. H. D. 2010: Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transpor. Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, and School of Engineering, Kinneret College on the Sea of Galilee, Israel., 2010; 23: 850pp.
- [12]. Cao Don N, Araki H, and Yamanishi H, Koga K. Simulation of groundwater flow and environmental effects resulting from pumping. *Environmental geology*. 2005; 47: 361-374.
- [13]. Asghari Moghadam A, Mahmoudi T, Impacts of Maragheh Industrial Town Wastewater on Groundwater Pollution of Maragheh-Bonab Plain. *Environmental Studies*. 2008; 34 (45): 15-22. [In Persian].
- [14]. Mohamadi M, Moaradi H, Vafakhah M. Characteristics of drought and its impact on groundwater level fluctuations in Arak plain with GIS approach. M.Sc., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University. 2016; 108 p. [In Persian].

بخش برداشت و از سویی دیگر، به هدر رفتن حجم عظیمی از آب در نتیجه نادرست بودن شیوه‌های کشاورزی و یا مصارف صنعتی و به طور خلاصه مصرف نامتناسب دانست. بنابراین، از آب‌های زیرزمینی به طور فزاینده‌ای به عنوان یک منبع مهم برای تأمین نیاز روزانه آب و تغییر بافر در تأمین آب سطحی استفاده می‌شود. به طور کلی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌خصوص در دشت رفسنجان که به عنوان قطب تولید پسته ایران و جهان معرفی شده، در حال استخراج از آب‌های زیرزمینی با مقادیر ناپایدار هستند که این برداشت سبب کاهش طولانی مدت سطح آب زیرزمینی و از بین رفتن ذخیره آب‌های زیرزمینی می‌شود. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر می‌تواند برای شناسایی مناطقی از دشت که دچار افت شدید شده و همچنین عواقب ناشی از این افت که منجر به فرونشست زمین، تخریب اماکن مسکونی و در نهایت سبزشدگی چاه‌ها را در پی داشته باشد، کمک شایانی کند. بنابراین، مدیران می‌توانند برای امنیت غذایی منطقه در آینده و بحران‌های ناشی از کمبود آب با استفاده از سیستم پخش سیلاب که نمونه آن در حوضه آبخیز دثفه رفسنجان انجام شده است و همچنین، استفاده از روش‌های استحصال آب باران به منظور تغذیه مصنوعی برای بهبود آب‌های زیرزمینی در این دشت اقدام کنند.

منابع

- [1].Gleeson T, Befus K.M, Jasechko S, Luijendijk E, Cardenas M.B. The global volume and distribution of modern groundwater. *Nat. Geosci*. 2016; 9 (2):161.
- [2].Liu F, Song X.F, Yang L.H, Han D.M, Zhang Y.H, Ma Y, Bu H.M. The role of anthropogenic and natural factors in shaping the geochemical evolution of groundwater in the Subei Lake basin, Ordos energy base. Northwest. China. *Sci. Total. Environ*. 2015; 538, 327e340.
- [3].Foster S, Shah T. Groundwater Resources and Irrigated Agriculture-making a Beneficial Relation More Sustainable. *Global Water Partnership Perspectives Paper* (Stockholm). 2012.
- [4].Jasrotia A. S, Taloor A. K, Andotra U, BhagatB. D. Geoinformatics based groundwater quality assessment for domestic and irrigation uses of the Western Doon valley, Uttarakhand, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 2018; 6, 200-212.

- [15]. PANDA D.K. and KUMAR A. (2011) Evaluation of an over-used costal aquifer (Orissa, India) using statistical approaches. *Hydrol. Sci. Jour.*, 2011; 56(3): 486-497.
- [16]. Wang Q. Y, Zhang P. C, Cao B. B, & Hao Y. H. Comparison between grey system and ARIMA model in groundwater simulation—A case study of Liulin Springs discharge simulation. In *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, 2011; (pp. 400-405). IEEE.
- [17]. Rahaman M. M, Thakur B, Kalra A, & Ahmad S. Modeling of GRACE-Derived Groundwater Information in the Colorado River Basin. *Hydrology*, 2019; 6(1): 19.
- [18]. de Moraes Takafuji E. H, da Rocha M. M, & Manzione R. L. 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*, 2019; 28(2):487-503
- [19]. Chubin B, Malekian A, Sajedi Hosseini F, Rahmati O. Water level prediction using time series and adaptive neural fuzzy inference system. *Iranian Soil and Water Research*, 2014; 45 (1): 19-28. [In Persian].
- [20]. Nozarpour L, Chitsazan M, Nodri A, Frhadmanesh. M. Evaluation of the Hydraulic Relationship of the Andimeshk Plain and Dez River Aquifer Using the Mudflow Model. *Journal of Advanced Applied Geology*, 2015; 17: 36-23. [In Persian].
- [21]. Shafie M, Musae Sanjari M, Almodaresi A. Investigating the Impact of Climate Change on Groundwater Level Using ARIMA and GCM Models and GIS Modeling in Abarkoh Plain, Yazd, Second National Conference on Application of Advanced Spatial Models (Remote Sensing and GIS) to Land Preparation, 2019; p. 11 -1.
- [22]. de Vries J.J, Simmers I. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeol. J.* 2002; 10 (1): 5–17.
- [23]. Scanlon B.R, Keese K.E, Flint, A.L, Flint L.E, Gaye C.B, Edmunds W.M, Simmers I. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Process.* 2006; 20 (15): 3335–3370.
- [24]. Jafari Gadaneh M, Tahedini M, Bakhtiarpour A. Investigation of Spatial and Temporal Changes in Groundwater Level in Rafsanjan Plain, First International Silk Road Scientists Conference, 2019. [In Persian].
- [25]. Box G. E. P. and Jenkins G. M. *Time series analysis forecasting and control*, Holden-Day, San Francisco.1976.
- [26]. Karamuz M. Araghonejad SH. *Advanced Hydrology*, Amir Kabir University Press (Tehran Polytechnic). 2009. [In Persian].
- [27]. Modarres, R., & Ouarda, T. B. (2013). Testing and modelling the volatility change in ENSO. *Atmosphere-Ocean*, 51(5), 561-570.
- [28]. Jafari Gadaneh M, Salajeghe A, Malekian A. The Impact of Climate Change on the Quantity and Quality of Groundwater (Case Study: Kerman Plain), MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 2016. [In Persian].
- [29]. Afrouzi A, Zareabianeh H. Groundwater Level Modeling and Forecasting Using Time Series Models (Case Study: Hamadan Plains Plain), *Watershed Management Journal*. 2017; 8(15): 111-102. [In Persian].
- [30]. Jabarbarezzi B, Khosravi H. Tavili, A. Investigation of the effects of hail on the aquifer of Jafari plain of Qom, M.Sc., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 2017. [In Persian].
- [31]. Mazadeh Y. Groundwater quantitative modeling using GMS software in Quchan plain. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. 2003. [In Persian].
- [32]. Gibrilla A, Anornu G, & Adomako D. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 2018; 6: 150-163.
- [33]. Patle G. T, Singh D. K, Sarangi A, Rai A, Khanna M, & Sahoo R. N. Time series analysis of groundwater levels and projection of future trend. *Journal of the Geological Society of India*, 2015; 85(2): 232-242.