Archive of SID

فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۶ شماره ۱، صفحه ۱۵۷-۱۴۳، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2019.119333
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1398.26.143.74.1.1588.1606

شناسایی عوامل مؤثر بر منابع آب زیرزمینی و پیش‌بینی سطح تراز و تغییرات آن در حوضه آبخیز جازموریان

زهرا سعیدی‌فر[۱]، محمد رحیمی[۲*]، سکینه لطفی‌نسب اصل[۳]، محمدخسروشاهی[۴] و محمدرضا یزدانی [۵]

۱- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران، پست الکترونیکی: mrahimi@semnan.ac.ir

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- دانشیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۰

چکیده

حوضه آبریز جازموریان یکی از حوضه‌های مهم و حیاتی کشور است که به‌دلیل کمبود منابع آب سطحی و درنتیجه قرارگیری آب‌های زیرزمینی آن در اولویت بهره‌برداری، با افت شدیدی در سطح سفره‌های زیرزمینی روبه‌رو شده است. هدف از انجام این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر بر افت سطح سفره آب زیرزمینی و پیش‌بینی تغییرات تراز آن در صورت ادامه روند فعلی، در حوضه آبخیز جازموریان می‌باشد. در این مطالعه باتوجه به اهمیت شناخت عوامل مؤثر بر وضعیت منابع آب زیرزمینی و دلایل افت این منابع، ابتدا ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک حوضه و تأثیرات آن بر کمیت و پراکنش منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت، آنگاه اقدام به مطالعه تأثیر خشکسالی‌های هیدرواقلیمی با استفاده از دو شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) و شاخص بارش استاندار شده (SPI) در ایستگاه‌های هیدرومتری، بارانسنجی و سینوپتیک واقع در آبخوان‌های حوضه گردید و سهم برداشت‌های انجام شده بر تغییرات منابع آب زیرزمینی توسط چاه، چشمه، قنات و همچنین تأثیر سازه‌های سطحی و مصارف انجام شده بر روی تغییرات سطح تراز حوضه مشخص شد. در ادامه داده‌های متوسط ماهانه و سالانه تراز آب زیرزمینی در طی سال‌های ۹۳-۱۳۷۰ برای پیش‌بینی تغییرات آب زیرزمینی تا سال ۱۴۲۰ با استفاده از مدل‌های سری زمانی بررسی گردید. نتایج بررسی میزان اثر عوامل مختلف بر تغییرات آب زیرزمینی حوضه نشان داد که خشکسالی‌های هیدرواقلیمی با وجود تأثیرگذاری بر تغییرات آب زیرزمینی دارای اثر معنی‌داری نبوده‌اند که نشان‌دهنده تأثیر سایر عوامل بر تغییرات آب زیرزمینی حوضه می‌باشد. سدها و چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به‌ترتیب با همبستگی منفی ۰/۸۳، ۰/۷۵ و ۰/۶۸ بیشترین اثر منفی را بر افت آب زیرزمینی منطقه داشته و متوسط آبدهی چاه‌ها و چشمه‌ها با افزایش تراز آب زیرزمینی افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه نشان‌دهنده روند کاهشی معنی‌دار با ۰/۳۷ متر کاهش در سال بوده و پیش‌بینی‌ها نشان داد در سال‌های آینده با افت شدیدتری روبرو خواهد شد. این افت در تابستان با درصد تغییرات ۱/۹۶ حداکثر و در پاییز با ۱/۸۷ درصد کمتر از سایر فصول خواهد بود. در صورت ادامه روند فعلی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، وضعیت منطقه در آینده با چالش‌های فراوانی روبرو خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: افت سطح، مدل سری زمانی، شاخص هیدرواقلیمی، بهره‌برداری.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین نیاز بخش‌های مختلف ازجمله مصارف کشاورزی، صنعت و شرب است. بررسی نوسانهای سطح آب زیرزمینی در این مناطق ابزاری مفید در تعیین اثرهای عوامل مختلف ازجمله برداشت و تغذیه بر تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت سفره آب زیرزمینی می‌باشد (Nayak *et al.*, 2006). کاهش منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان ارزشمندترین منابع آب‌های شیرین، ناشی از عوامل مختلف اقلیمی و انسانی تأثیرات مخربی را ازجمله کاهش تأمین آب، کاهش مقاومت خاک، پدیده فرونشست زمین و ... در یک منطقه برجای می‌گذارد. از سویی سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بلندمدت به گونه‌ای می‌تواند کاهش یابد که برای بارش‌های بعدی قابلیت احیا را از دست بدهد. در نتیجه، رودخانه‌ها و تالاب‌ها خشک خواهند شد و پمپاژ این آب‌ها به سطح زمین امری غیرممکن می‌شود. این مسئله در نهایت بر فجایع زیست محیطی و قحطی منجر خواهد شد. بنابراین با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی و مخاطره‌آمیز بودن برداشت بیش از حد از این منابع، وجود مطالعات مختلف و یافتن عوامل مؤثر بر این پدیده و اولویت‌بندی آنها و پیش‌بینی نوسانهای آب زیرزمینی در سال‌های اخیر در مدیریت این منابع اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا در دنیا مطالعات گوناگونی انجام شده Purmohamadi و همکاران (۲۰۱۳) کارایی روش‌های شبکه عصبی و سری‌های زمانی را در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که هر دو روش از کارایی و دقت بالایی برخوردارند. Zare Abianeh و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه روند نوسان‌های ارتفاع آب زیرزمینی دشت ملایر به روش من‌کندال کاهش حجم ذخایر آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی را گزارش نمودند. Shaghaghian و همکاران (۲۰۱۱) به پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های پایه تحلیل سری‌های زمانی در دشت شیراز پرداختند. نتایج حکایت از آن بود که با توجه به مقدار اعتبار روش‌ها، که با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به‌دست آمد، روش ARMA از دقت بیشتری برخوردار است. Mackay و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از یک مدل مفهومی یکپارچه، سری زمانی تراز آب زیرزمینی را در چهار آبخوان آزاد انگلستان شبیه‌سازی کردند. نتایج آنان نشان داد که مدل AquiMod در عین سهولت و سرعت اجرا، توانایی پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی را در آبخوان دارد.

در زمینه عوامل تأثیرگذار بر تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی نیز Gehreles و همکاران (۱۹۹۴) به تحلیل عوامل مؤثر بر نوسانهای تراز سطحی آب زیرزمینی در کشور هلند پرداختند. نتایج آنان نشان داد که تراز آب در مناطق وسیعی در نتیجه زهکشی آب زیرزمینی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه آن توسط کشاورزان کاهش یافته است. همچنین با افزایش عمق دسترسی به آب، تراز آب زیرزمینی نسبت به نوسانهای اقلیمی و فعالیت‌های بشری با تأخیر واکنش نشان می‌دهد. Chen و همکاران (2004) نیز در این زمینه به بررسی رابطه پارامترهای اقلیمی و تراز آب زیرزمینی ایالت مانیتوبا در کانادا پرداختند. بدین‌منظور آنان از داده‌های میانگین دما، حداکثر و حداقل دما و بارش برای دوره آماری ۲۰۰۰ – ۱۹۹۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که بارش و میانگین دمای سالانه در این منطقه همبستگی بالایی با تراز آب زیرزمینی سالانه دارد. Mohamadi و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات مکانی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با بهره‌گیری از زمین‌آمار پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی مکانی عمق آب زیرزمینی در سطح دشت نشان داد که روند تغییرات عمق آب زیرزمینی تقریباً از توپوگرافی دشت تبعیت می‌کند. مقایسه نقشه‌های هم‌عمق بدست‌آمده نشان‌دهنده کاهش سطح آب زیرزمینی در سطح دشت می‌باشد. به‌طوری‌که نقطه عطف این افزایش، شروع دوره خشکسالی از ۱۳۷۸ است. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر حوضه آبخیز جازموریان با تغییرات زیادی همانند وقوع خشکسالی‌ها، کاهش منابع آب سطحی، خشک شدن رودخانه‌های فصلی و درنتیجه خشک شدن سطح تالاب جازموریان در مرکز این حوضه و افت سطح آب زیرزمینی روبرو بوده است؛ بنابراین با در نظرگرفتن اهمیت آبخوان‌ها

www.SID.ir

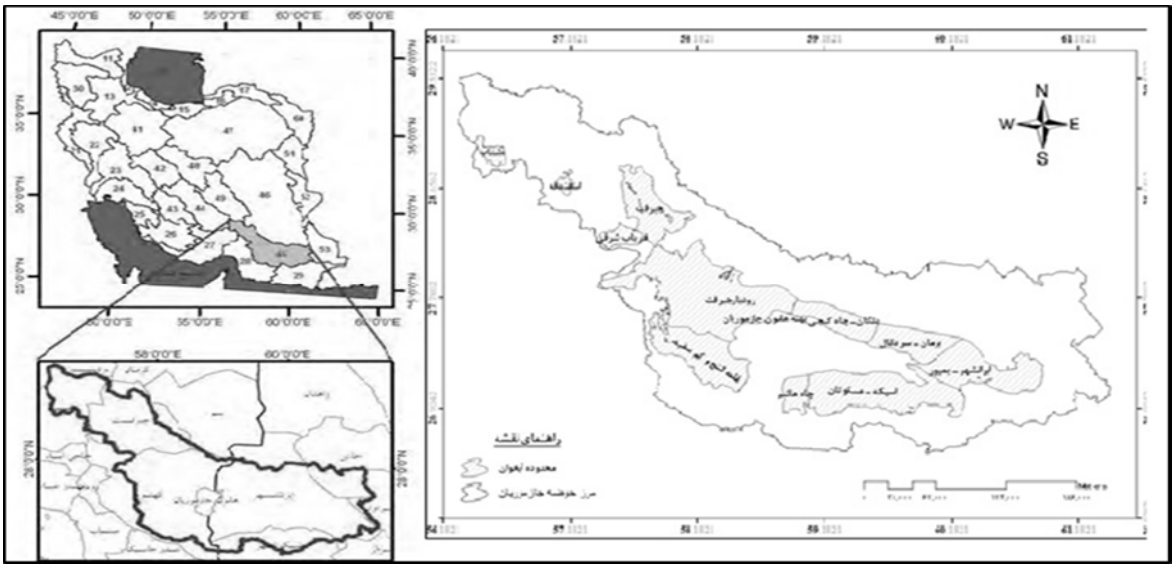
Archive of SID

در تأمین آب و اینکه تاکنون مطالعه‌ای در حوضه جازموریان در این زمینه انجام نشده، ازاین‌رو این پژوهش بر آن است که محدودیت‌ها و روند تغییرات سطح آب زیرزمینی این حوضه را مورد بررسی قرارداده و باتوجه به روند موجود، تغییرات آنها را در آینده با تأکید بر بررسی علل افت کمی و با هدف کنترل و ساماندهی آنها پیش‌بینی کند. در این تحقیق مجموعه‌ای از مدل‌های سری زمانی برای تعیین کارایی آنها و انجام پیش‌بینی‌های میزان افت تراز مورد بررسی و اولویت‌بندی قرار گرفت. در حالی که در سایر مطالعات انجام شده تنها از یک و یا تعداد محدودی مدل به‌منظور پیش‌بینی تغییرات تراز استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات آبخوان‌های محدوده مطالعاتی

حوضه آبریز هامون جازموریان با مساحت ۶۹۳۷۴/۱۸ کیلومترمربع بین مختصات جغرافیایی ′۱۷-°۵۶ تا ′۲۶-°۶۱ طول شرقی و ′۳۳-°۲۶ تا ′۳۵ -°۲۹ عرض شمالی قرر داشته و یکی از حوضه‌های آبریز درجه دو کشور می‌باشد. دشت‌ها و ارتفاعات در این حوضه آبریز به‌ترتیب مساحتی در حدود ۳۰۹۸۱/۸۳ (۴۴/۷ درصد) و ۳۸۳۹۲/۹۷ (۵۵/۳ درصد) کیلومترمربع را به خود اختصاص می‌دهند. این حوضه دارای ۲۱ محدوده مطالعاتی می‌باشد که در محدوده دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان قرار دارد. در میان تمامی محدوده‌های مطالعاتی این حوضه ۱۱ محدوده دارای آبخوان آبرفتی است، آبخوان‌های مذکور از نظر ابعاد و گسترش و سایر ویژگی‌های فیزیکی متفاوت و متنوع بوده و با توجه به محدودیت منابع آب، دارای اهمیت زیادی می‌باشند. شکل ۱ موقعیت حوضه و آبخوان‌های آن را نشان می‌دهد. وسعت آبخوان‌های آبرفتی این حوضه آبریز در حدود ۲۰۰۲۵ کیلومترمربع می‌باشد که مهمترین آنها از نظر وسعت مربوط به محدوده‌های مطالعاتی رودبار جیرفت، اسپکه-مسکوتان و قلع گنج-کم سفید است که به‌ترتیب دارای وسعت ۵۸۳۵/۰۵، ۳۵۳۵/۵۹ و ۲۵۱۴/۹۹ کیلومترمربع می‌باشند. پروژه‌های تغذیه مصنوعی در سطح این حوضه آبریز به صورت بسیار محدود اجرا می‌شوند و حجم محدودی را به سفره تغذیه می‌کنند.



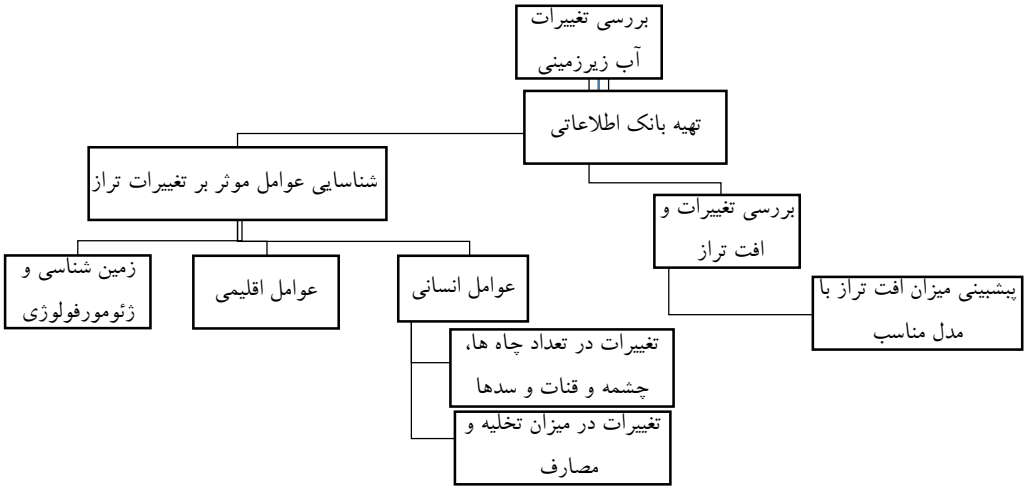
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

مراحل بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز جازموریان در این پژوهش در قالب فلوچارت زیر عنوان شده است. اولین گام در انجام این مطالعه جمع‌آوری آمار موجود آب زیرزمینی (سطح تراز)، آب‌های سطحی (دبی)، اقلیم (بارش) و مصارف حوضه و بعد تهیه بانک اطلاعاتی داده‌ها و انتخاب پایه زمانی مشترک بود.



شکل ۲- مراحل انجام مطالعه

به‌منظور بررسی تغییرات سطح تراز و افت منابع آب زیرزمینی حوضه در محدوده آبخوان‌های حوضه از آمار شبکه چاه‌های مشاهده‌ای ایجاد شده که سابقه اندازه‌گیری مستمر ماهانه در هر محدوده مطالعاتی، بین ۵ تا ۲۵ سال را دارا می‌باشد. پس از انتخاب پایه زمانی مشترک ۲۵ ساله نقشه‌های هم‌سطح و هم‌افت تراز آب زیرزمینی براساس داده‌های متوسط سطح آب زیرزمینی و تغییرات آنها در دوره آماری موجود ترسیم شده است. به این منظور پس از بازسازی و تکمیل داده‌ها و برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها از روش زمین‌آماری کریجینگ برای پهنه‌بندی استفاده گردید. پس از بررسی تغییرات آب زیرزمینی حوضه اقدام به پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی منطقه با استفاده از مدل پیش‌بینی سری‌های زمانی با کمک ۱۵ روش پیش‌بینی با نرم‌افزار Proforcaster ۲۰۱۴ شد. این نرم‌افزار چهار روش مختلف رتبه‌بندی را برای تعیین بهترین مدل پیش‌بینی برای داده‌ها ارائه می‌دهد و مدل‌ها را براساس این روش‌ها رتبه‌بندی می‌کند و براساس مناسب‌ترین مدل خروجی خود را ارائه می‌دهد. روش اول رتبه‌بندی کارشناسی می‌باشد که روشی پیش‌فرض برای رتبه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی در این نرم‌افزار است. در این روش هر مدل به وسیله داده‌های مشاهده‌ای جداگانه‌ای اعتبارسنجی می‌شود. براساس این روش سری زمانی داده‌های موجود به ۸۰ درصد از داده‌های مشاهده‌ای برای آموزش مدل‌ها و ۲۰ درصد از داده‌ها برای آزمایش مدل‌های آموزش دیده تقسیم شده است. در سه روش دیگر تعدادی از معیارهای آماری برای آزمون عملکرد مدل بررسی می‌شوند. این معیارها شامل:

۱) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE): این پارامتر تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد که در آن طبق معادله (۱) xi مقدار محاسبه شده به وسیله مدل و x مقدار مشاهده‌ای می‌باشد.

معادله (۱)

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(\mathrm{xi} - \mathrm{x})^2}{n}}$$

www.SID.ir

Archive of SID

۲) میانگین انحراف مطلق (MAD): میانگین انحراف مطلق یک مجموعه داده، میانگین قدرمطلق اختلاف بین هر داده پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای است که طبق معادله (۲) xi مقدار داده پیش‌بینی شده، x مقدار مشاهده‌ای و n تعداد تکرار می‌باشد.

$$\mathrm{MAD} = \frac{\sum | \mathrm{xi} - \mathrm{x} |}{n}$$ معادله (۲)

۳) ضریب دقت پیش‌بینی Theil U: ضریب The Uil's U مقادیر پیش‌بینی شده را با پیش‌بینی‌های ساده مقایسه می‌کند. پیش‌بینی ساده مقادیری است که به‌سادگی آخرین مقدار مشاهده شده را به‌منظور پیش‌بینی برای دوره بعدی استفاده می‌کند. پیش‌بینی ساده، زمانی که هیچ اطلاعاتی در دسترس نیست ساده‌ترین راه برای ایجاد بهترین حدس می‌باشد.

$$U = \frac{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Ai - Pi)^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Ai^2\right]^{1/2}}$$ معادله (۳)

در این معادله Ai مشاهدات واقعی و Pi پیش‌بینی‌های مربوطه می‌باشد. بر اساس این روش دقت مدل به روش زیر به‌دست می‌آید.

Theil's U>1– مدل پیش‌بینی بدتر از حدس زدن است.

Theil's U =1– مدل پیش‌بینی مانند حدس زدن است.

Theil's U <1– مدل پیش‌بینی بهتر از حدس زدن است.

در این تحقیق با استفاده از این چهار بعد از تعیین مدل مناسب، پیش‌بینی تغییرات بر روی سطح تراز آب منطقه تا سال ۱۴۲۰ صورت گرفت.

بررسی تأثیر عوامل مختلف بر روی تغییرات تراز در سه بخش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه (اثر طبیعت حوضه بر تراز آب‌های زیرزمینی)، اثر عوامل هیدرواقلیمی و عوامل انسان‌ساخت تقسیم‌بندی گردید. در بخش تأثیر پارامترهای هیدرواقلیمی، اثر خشکسالی بر روی تغییرات تراز آب زیرزمینی با کمک شاخص خشکسالی اقلیمی استاندارد شده بارش SPI و شاخص جریان رودخانه‌ای SDI در حوضه محاسبه و براساس فراوانی وقوع خشکسالی پهنه‌بندی گردید. به‌منظور بررسی اثر عوامل انسان‌ساخت، روند احداث سازه‌ای (سد)، چاه، چشمه، قنات، میزان تخلیه و مصارف آنها در طی دوره آماری مشخص شده تعیین گردید؛ بعد به کمک روش آماری رگرسیون، میزان همبستگی هریک از آنها با میانگین سطح تراز و تغییرات آب زیرزمینی محاسبه گردید و میزان اثرگذاری هریک از عوامل و رابطه مثبت و منفی آنها بر تراز آب زیرزمینی مشخص گردید.

نتایج

وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه

به‌طور کلی رسوبات مختلف مانند آبرفتی، بادرفتی و غیره از نظر میزان نفوذپذیری و آبدهی بسیار متفاوت می‌باشند. سازندهای حوضه آبریز هامون جازموریان با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی تکتونیکی و اقلیمی، اغلب از واحدهای شیلی، آهکی، دولومیتی، کنگلومرائی و به‌مقدار کمتر مارنی و گچی تشکیل شده‌اند که از نظر منابع آب دارای شرایط فقیر تا متوسط هستند. یکی از مسائل اصلی در حوضه جازموریان این است که بخش اعظم حوضه را سازندهای سخت تشکیل می‌دهند و با توجه به اینکه قابلیت آبی سازندهای سخت نسبت به آبرفت‌ها در این حوضه آبریز بسیار کمتر می‌باشد، به این دلیل در هیچ‌یک از این محدوده‌ها منبع آبی مهمی تشکیل نشده است. مجموع بهره‌برداری از سازند سخت در این حوضه توسط چاه، چشمه و قنات حاصل می‌شود. آبخوان‌های تشکیل شده و شناسایی شده در محدوده‌های مطالعاتی حوضه، همگی از نوع آزاد (بجز آبخوان جیرفت که در بخش محدودی در مرکز آبخوان آزاد پهنه‌ای از آبخوان محصور نیز تشکیل شده است) می‌باشند. آبخوان‌ها در حوضه عمدتاً از رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی تغذیه شده و در نواحی مخروط‌افکنه‌ها و دامنه‌ها که رسوبات آبرفتی از عناصر درشت دانه تشکیل شده علاوه بر جریان‌های سطحی و نفوذ ریزش‌های جوی مستقیم بر سطح دشت، سازندهای سخت نیز می‌توانند نقشی در تغذیه آبخوان‌ها داشته باشند. دشت‌های پهناور حوضه مانند دشت رودبار جیرفت، اسپکه–مسکوتان و قلعه گنج–کم سفید که حاصل رسوبگذاری رودخانه‌های دائمی و فصلی حوضه می‌باشند، عمدتاً از رسوبات

www.SID.ir

Archive of SID

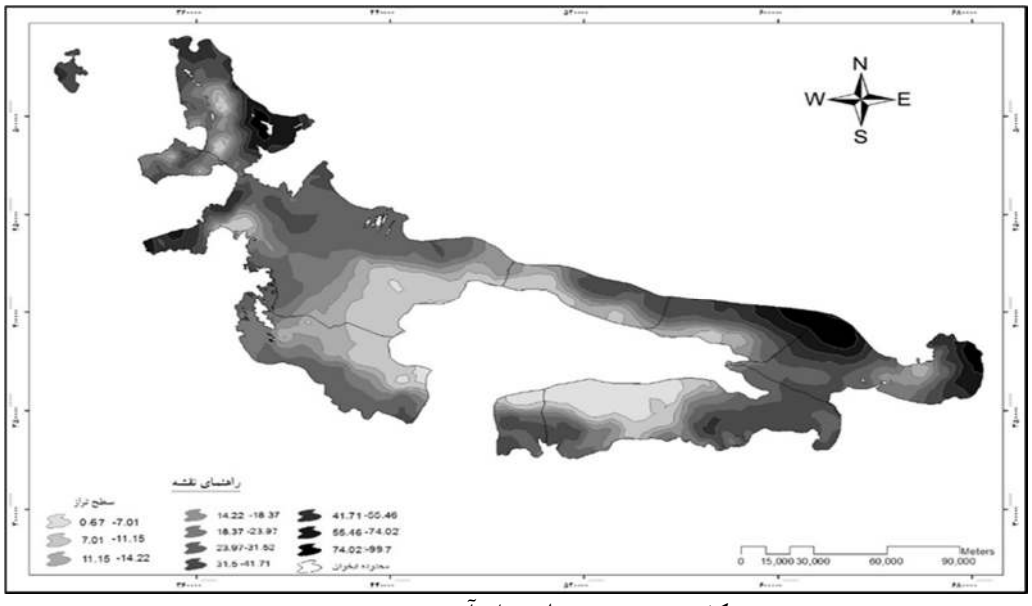
آبرفتی دانه درشت تا متوسط و در مناطق انتهایی دشت‌ها که محل خروج جریان‌های سطحی است، رسوبات آبرفتی ریزدانه با ضخامت کمتر انباشته شده است. البته در تعداد محدودی از دشت‌ها بدلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی در نواحی خروجی شوره‌زار و رسوبات تبخیری ایجاد شده است.

برای حرکت آب‌های زیرزمینی دشت‌ها عمدتاً از جهت عمومی جریان‌های سطحی و رودخانه‌ها و توپوگرافی زمین تبعیت می‌کند و روند مشخصی در کل حوضه مشاهده نمی‌شود اما در محدوده اطراف پهنه هامون جازموریان برای جریانات اطراف حوضه به سمت محدوده تالاب بوده که نشان‌دهنده تغذیه تالاب توسط آب‌های زیرزمینی محدوده‌های اطراف می‌باشد. این موضوع بیانگر این مسئله می‌باشد که در طول زمان مصارف آب‌های زیرزمینی صورت گرفته در بالادست حوضه خود عاملی در جهت فشار وارده بر تالاب و خشکی‌های رخ داده در آن می‌باشد.

بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی

در این مطالعه از پایه مشترک آمار ۲۵ ساله طی سال‌های ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۵-۱۳۹۴ برای بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده گردید. براساس اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و نقشه پهنه‌بندی هم‌سطح آب زیرزمینی (شکل ۳)، عمق سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه بسیار متغیر و متفاوت است. به‌طوری‌که این مقدار بین ۰/۶۷ متر در محدوده اسپکه-مسکوتان تا بیش از ۹۹/۶۹ متر در محدوده ایرانشهر-بمپور متغیر بود. همچنین کمترین میزان سطح آب زیرزمینی در اطراف پهنه تالاب جازموریان مشاهده گردید. از لحاظ تغییرات سالانه نیز سال ۸۲-۱۳۸۱ بیشترین افت سطح تراز و در سال ۸۸-۱۳۸۷ بیشترین تغییرات مثبت در سطح آب زیرزمینی رخ داده است. میانگین متحرک پنج‌ساله سطح تراز نیز نشان‌دهنده یک دوره افت طولانی‌مدت در سطح تراز حوضه در بازه سال‌های ۷۷ تا ۸۸ می‌باشد (شکل ۴).

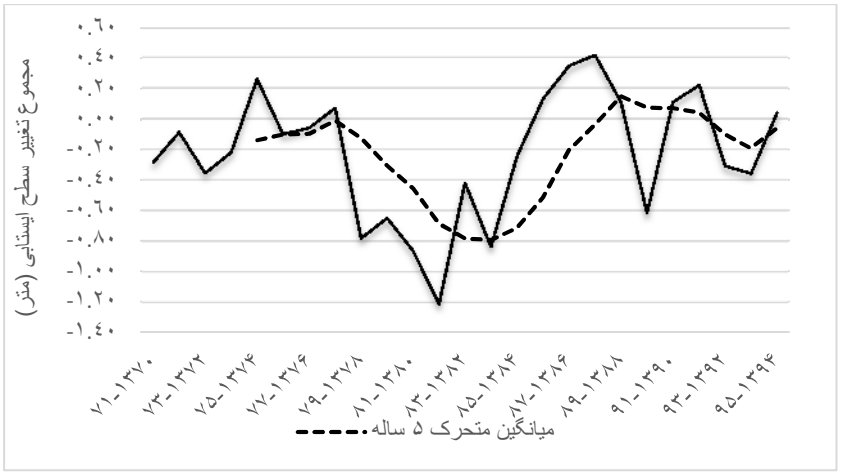
مطابق شکل ۵ نمودار تجمعی افت سطح تراز آب زیرزمینی نشان داد که آبخوان‌های آبرفتی حوضه دارای افت قابل توجهی بوده و تغییرات سطح سفره زیرزمینی در حوضه سیری نزولی داشته است و وضعیت نزولی آبخوان مستمر و ادامه‌دار می‌باشد. براین‌اساس بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان جیرفت (۴۵۰۳) و پس از آن در آبخوان دشتاب (۴۵۰۹) رخ داده است. بررسی نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی (شکل ۳) نیز مؤید همین نکته بود و بیشترین افت را در محدوده جیرفت و نواحی غرب نشان داد.



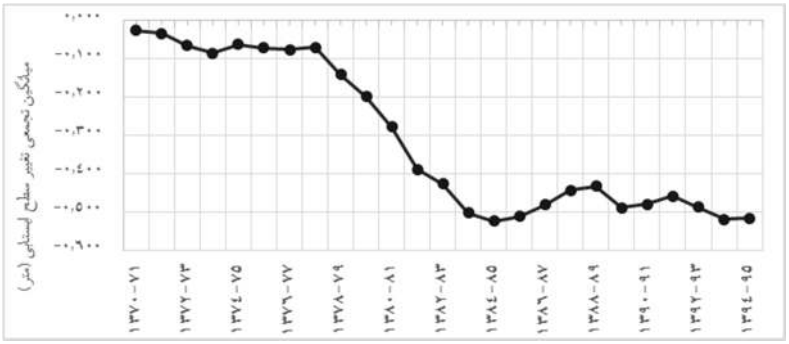
شکل ۳- نقشه هم‌سطح تراز آب زیرزمینی (متر)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز جازموریان طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۰



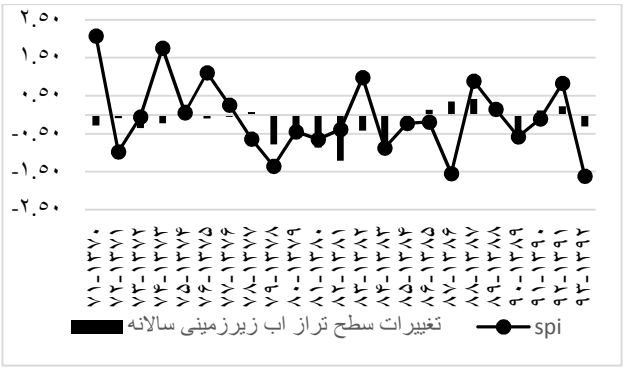
شکل ۵- نمودار تغییرات تجمعی سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز جازموریان طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۰

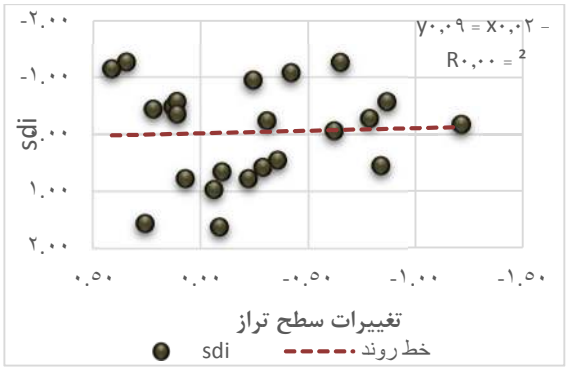
پایش خشکسالی

به‌منظور بررسی روند و تغییرات دوره‌های خشک و تر و تأثیر آن بر روی سطح تراز آب زیرزمینی در این تحقیق، از شاخص خشکسالی هواشناسی بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای (SDI) استفاده گردید. شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات شاخص‌های SPI و SDI را در مقیاس‌های زمانی مختلف در ارتباط با تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت دوره‌های خشک (SDI, SPI<0) و تر (SDI, SPI>0) دارای تناوب بسیار هستند. نتایج نشان داد که تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به شاخص SPI در بیشتر مواقع با تأخیر یکساله و نسبت به شاخص SDI همزمان با وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی و تغییرات در شاخص در حوضه رخ داده است. به‌طوری‌که با وقوع دوره خشکسالی‌های هواشناسی در حوضه از سال ۷۸-۱۳۷۷ با تأخیر یکساله یعنی از سال ۷۹-۱۳۷۸ شاهد وقوع خشکسالی هیدرولوژیک و افت شدید در سطح تراز در حوضه آبریز بوده‌ایم. این روابط در بعضی از سال‌ها به‌طور کامل از روند طبیعی منطقه تبعیت نداشتند. همچنین نمودارهای همبستگی بین تغییر شاخص‌های خشکسالی و سطح تراز نیز همبستگی بسیار پایینی را نشان داد که بیانگر دخالت عواملی غیر از خشکسالی‌ها بر تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی می‌باشد.

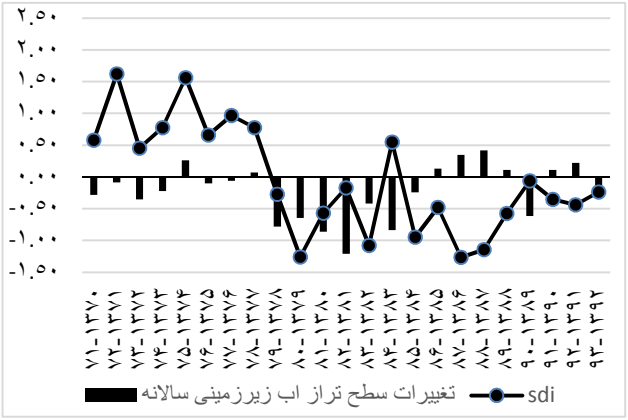
www.SID.ir

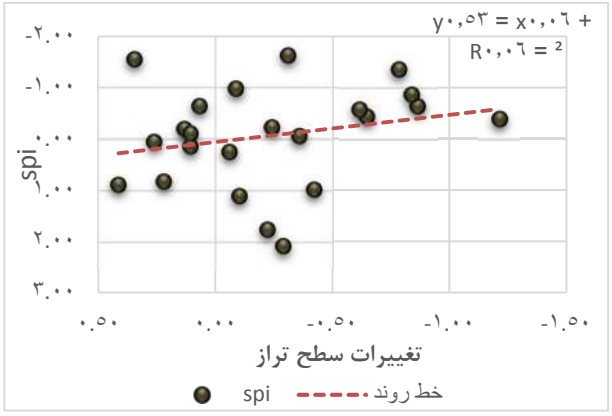
Archive of SID



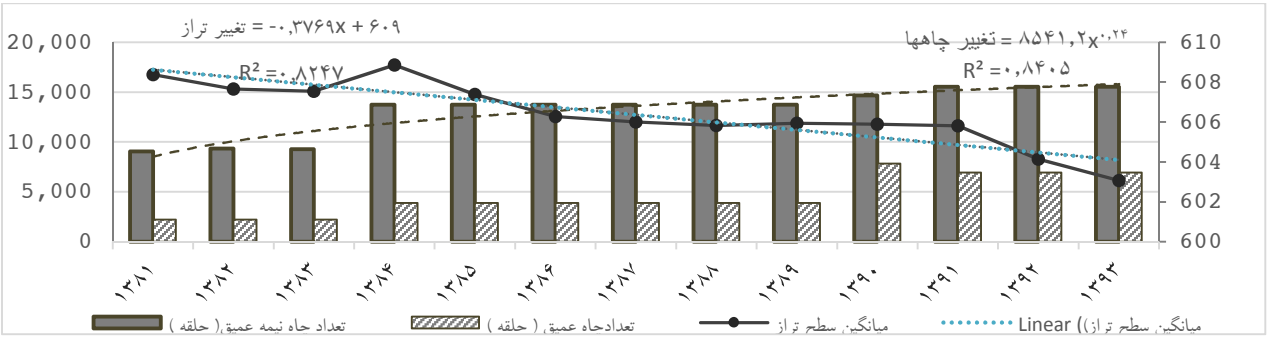


شکل ۶- نمودار تغییرات شاخص خشکسالی **SPI** و افت سطح آب زیرزمینی





شکل ۷- نمودار تغییرات شاخص خشکسالی **SDI** و افت سطح آب زیرزمینی



شکل ۸- روند تغییرات چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و میانگین سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز جازموریان

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

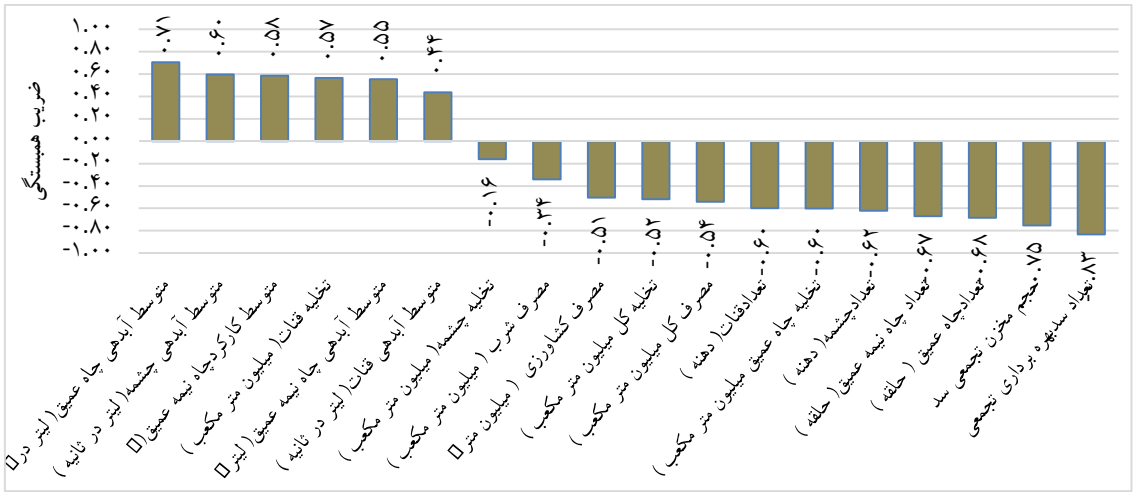
یکی از عوامل تأثیرگذار بر نوسانهای سطح آب زیرزمینی برداشت‌ها و مصارف از آنها توسط منابع مختلف به‌ویژه چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق می‌باشد. بررسی روند تغییرات تعداد این منابع در حوضه طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ نشان داد که بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این حوضه عمدتاً از طریق چاه‌ها انجام می‌شود و چشمه‌ها و قنوات به لحاظ بهره‌برداری در درجه دوم اهمیت قرار دارند و از سویی روند

www.SID.ir

Archive of SID

افزایشی تعداد این منابع به‌طور همزمان با روند کاهشی سطح تراز آب زیرزمینی در حوضه ارتباط معنی‌داری دارد (شکل ۹). نتایج نشان داد که بیشترین میزان افت انجام شده در آبخوان‌های حوضه از سال ۱۳۸۴ با افزایش شدید در تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق حوضه مشاهده گردید، به‌طوری‌که این روند کاهشی در طی سال‌های بعد نیز با افزایش چاه‌های منطقه شدت یافت.

در این تحقیق میزان اثرگذاری و اهمیت هریک از عوامل انسان‌ساخت در شکل ۹ براساس میزان همبستگی با سطح آب زیرزمینی حوضه مشخص گردید. نتایج نشان داد که سدهای احداثی در منطقه و حجم مخازن سدها بیشترین تأثیر معنادار منفی را بر روی سطح آب زیرزمینی منطقه داشتند. در این حوضه آبریز در مجموع ۱۰ سد ذخیره‌ای و یا بند انحرافی احداث شده است که در مجموع حجمی برابر ۳۲۷ میلیون مترمکعب را تنظیم می‌کند. بزرگ‌ترین سد احداثی، سد جیرفت با حجم ذخیره برابر با ۲۸۳ میلیون مترمکعب بوده که در سال‌های قبل با هدف تأمین آب کشاورزی اراضی پایاب احداث شده است. سد بافت (آسیاب جفته) با مصارف کشاورزی و شرب به‌ترتیب برابر ۲۲ و ۶ میلیون مترمکعب از دیگر سدهای ساخته شده بر روی منابع سطحی این حوضه آبریز می‌باشند. این دو سد بزرگ در قسمت غربی حوضه واقع شده‌اند و می‌توانند یکی از عوامل افت بالای سطح آب زیرزمینی در قسمت غربی نسبت به بخش شرقی حوضه باشند. پس از سدها تعداد چاه‌های عمیق بیشترین اثر منفی را بر روی سطح تراز آب زیرمینی داشته‌اند که دلیل این امر را می‌توان دسترسی این چاه‌ها به لایه‌های زیرین سفره‌های آب زیرزمینی و گاهی برداشت‌های بیشتر از حد تغذیه این سفره‌ها و از منابع تغذیه‌ای آنها دانست. تعدادی از چاه‌های نیمه‌عمیق، چشمه‌ها، قنات‌ها و مصارف انجام شده توسط آنها در رتبه بعدی اثرگذاری بر روی منابع آب زیرزمینی حوضه قرارداشتند. همچنین بررسی ارتباطات نشان داد که بین متوسط سطح تراز سالانه و متوسط آبدهی چاه‌های عمیق منطقه بیشترین همبستگی مثبت حاکم بود که نشان‌دهنده افزایش آبدهی چاه‌های عمیق با افزایش سطح تراز منطقه بوده و بر متوسط آبدهی چشمه، متوسط کارکرد چاه‌ها، تخلیه و متوسط آبدهی قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌های نیمه‌عمیق نیز چنین روابطی حاکم بود و با افزایش در میانگین سطح تراز شاهد افزایش معنی‌دار در این پارامترها بودیم.



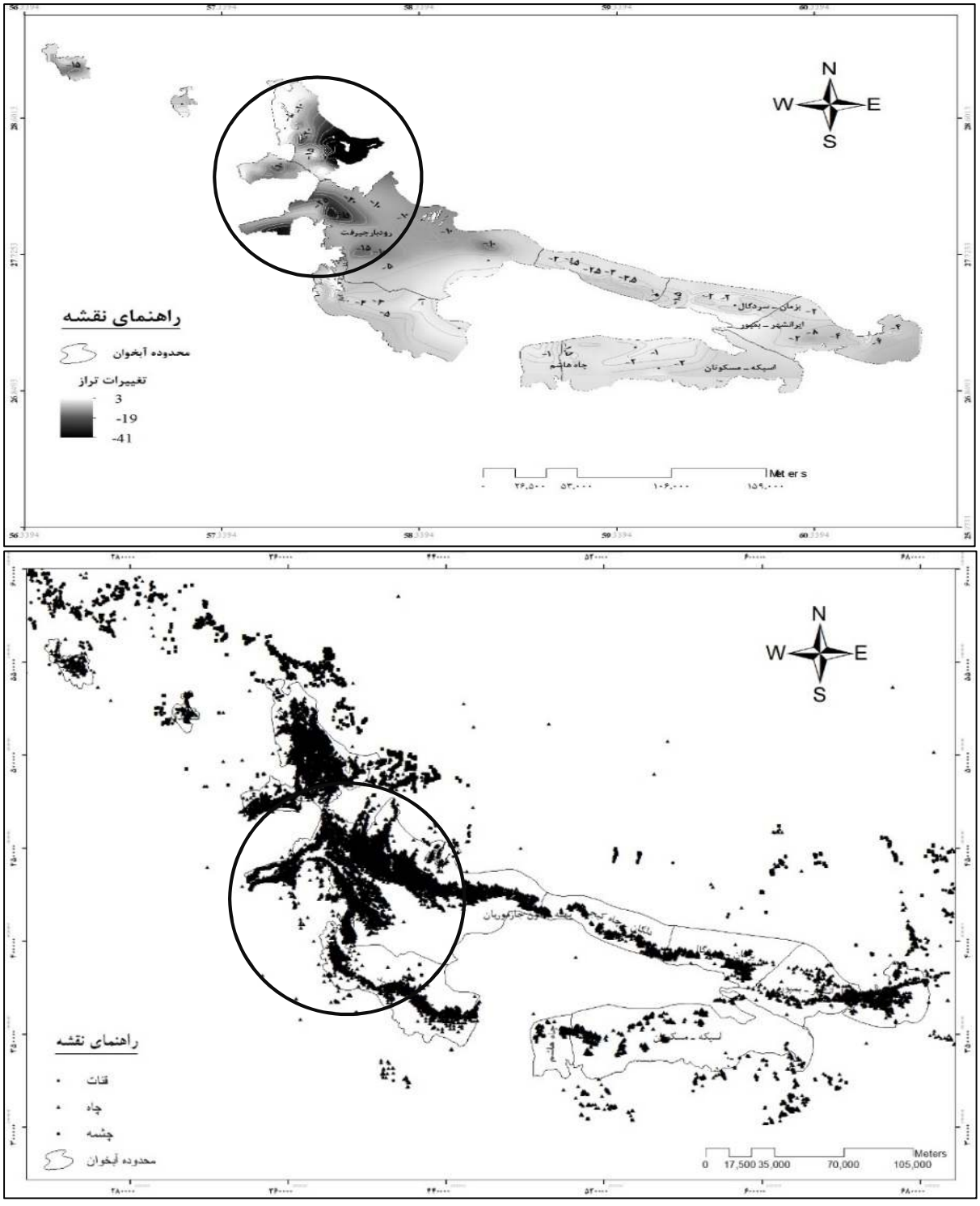
شکل ۹- ارتباط پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر آب زیرزمینی با میانگین سطح آب زیرزمینی

بررسی تطبیقی نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی و پراکنش چاه، چشمه و قنات در حوضه در شکل ۹ نیز این ارتباطات را تأیید نمود. به‌طوری‌که این دو نقشه به‌طور معنی‌داری بر هم منطبق بودند و در مناطقی که شاهد بیشترین افت تراز در

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه بودیم تراکم منابع برداشت آب زیرزمینی بیشتر بود. این رابطه در محدوده آبخوان جیرفت نسبت به سایر آبخوان‌ها مشهودتر بود.



شکل ۱۰- بررسی تطبیقی نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی و پراکنش چاه، چشمه و قنات در آبخوان‌های حوضه جازموریان

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌بینی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی

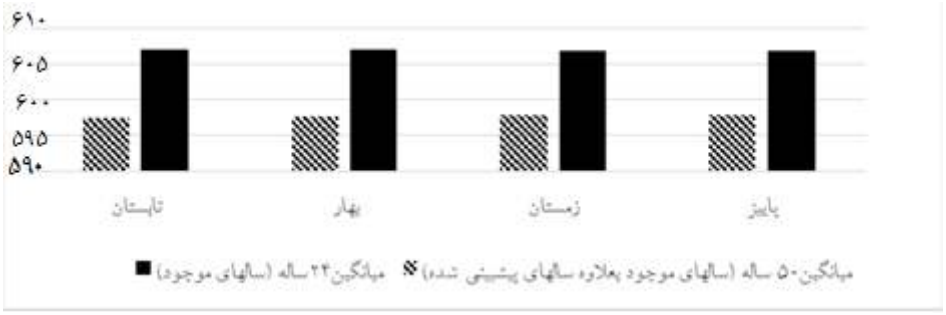
نتایج مدل پیش‌بینی سری‌های زمانی نشان داد که مدل نمایی رتبه ۳ مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی میانگین سطح تراز منطقه می‌باشد (جدول ۱). انتخاب این مدل براساس روش رتبه‌بندی کارشناسی و بعد کنترل با پارامترهای آماری انجام شد. پیش‌بینی‌های انجام شده با این مدل به صورت فصلی و تا سال ۱۴۲۰ انجام گردید. نتایج نشان‌دهنده بیشترین مقدار روند کاهشی انجام شده در فصل تابستان با ۰/۷۳- متر و کمترین در فصل پاییز به میزان ۰/۷۰- متر در سال بود. فصول بهار و زمستان نیز در این بین رتبه‌های دوم و سوم را بخود اختصاص دادند. همچنین بررسی مقایسه‌ای تغییرات رخ داده در دوره ۲۴ ساله دارای آمار (سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۹۳) و دوره ۵۰ ساله پیش‌بینی شده (۱۳۷۰-۱۴۲۰) نشان‌دهنده کاهش شدید میانگین ۵۰ ساله نسبت به میانگین ۲۴ ساله می‌باشد (شکل ۱۰ و جدول ۲). نمودار تغییرات تجمعی میزان افت سالانه سطح تراز نیز میزان تغییرات را از ۰/۰۲۵- متر در سال ۱۳۷۰ تا ۱/۳۶- متر در سال ۱۴۲۰ نشان داد (شکل ۱۱). این مسئله نشان می‌دهد که در صورت ادامه وضعیت فعلی بهره‌برداری‌ها و شرایط اقلیمی موجود، در آینده با شرایط بحرانی به لحاظ منابع آب زیرزمینی روبه‌رو خواهیم بود.

جدول ۱- رتبه‌بندی روش‌های پیش‌بینی سری زمانی

روش		رتبه روش	RMSE	MAD	Theil U
هموارسازی نمایی به توان ۳	Triple Exponential Smoothing	۱	۰/۶۵۷	۰/۹۴	۰/۹۶۱
میانگین متحرک دوگانه	Double Moving Average	۲	۰/۷۰۱	۱/۱۲۹	۱/۱۲۴
هموارسازی نمایی معکوس	Damped Exponential Smoothing	۳	۰/۶۰۴	۰/۹۵۹	۰/۹۸۶
رشد درجه دوم	Quadratic Growth	۴	۰/۶۷۷	۰/۸۸۹	۰/۹۱
میانگین متحرک	Moving Average	۵	۰/۶۵۸	۰/۹۷۹	۱
روش فصلی افزایشی	Additive Seasonal Method	۶	۰/۶۲۸	۰/۹۲۳	۰/۹۳۴
هموارسازی نمایی خطی	Linear Exponential Smoothing	۷	۰/۵۸۹	۰/۹۰۲	۰/۹۲۸
هموارسازی نمایی منفرد	Single Exponential Smoothing	۸	۰/۶۰۱	۰/۹۰۱	۰/۹۲۷
تضعیف شده برای افزودن فصل	Damped for Add. Seasonal	۹	۰/۶۳	۰/۹۲۳	۰/۹۳۴
تضعیف شده چندی فصلی	Damped for Multi. Seasonal	۱۰	۰/۶۲۷	۰/۹۲۳	۰/۹۳۴
روش فصلی چند ضلعی	Multiplicative Seasonal Method	۱۱	۰/۶۳۱	۰/۹۹۵	۱/۰۰۷
پیش‌بینی ترکیبی	Hybrid Forecast	۱۲	۰/۵۸۹	۰/۹۰۲	۰/۹۲۸
شبکه عصبی تجربی	Expert Neural Net	۱۳	۰/۵۹۳	۰/۸۸۶	۰/۹۰۱
رشد خطی	Linear Growth	۱۴	۰/۱۸۳	۱/۵۱۸	۱/۵۶۶
رشد چندجمله‌ای	Polynominal Growth	۱۵	۰/۶۷۷	۰/۸۸۹	۰/۹۱۷

www.SID.ir

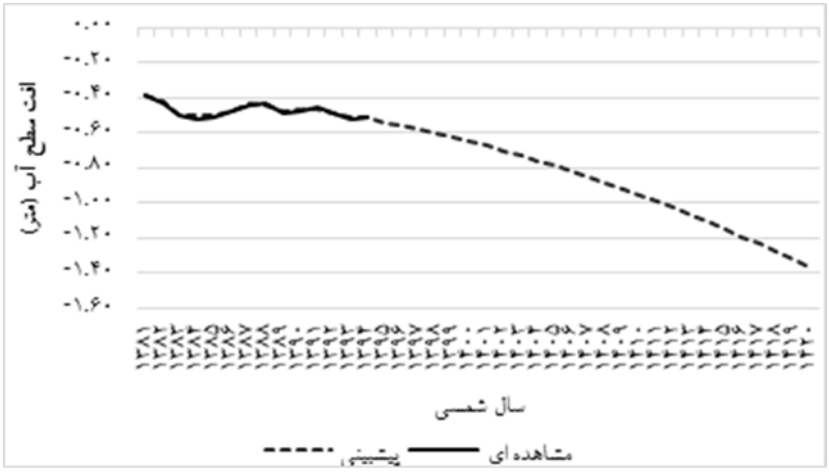
Archive of SID



شکل ۱۱- بررسی مقایسه‌ای تغییرات فصلی میانگین تراز مشاهده‌ای (سال‌های آماری موجود) و دوره پنجاه ساله (پیش‌بینی شده)

جدول ۲- بررسی تغییرات فصلی سطح تراز آب زیرزمینی

پارامتر	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
میانگین ۵۰ ساله	۵۹۷/۹۰	۵۹۷/۷۵	۵۹۷/۶۴	۵۹۷/۴۴
انحراف معیار	۱۱/۱۶	۱۱/۳۴	۱۱/۵۵	۱۱/۷
ضریب تغییرات	۰/۰۱۸۶۷	۰/۰۱۸۹۸	۰/۰۱۹۳۳	۰/۰۱۹۵۸
درصد ضریب تغییرات	۱/۸۷	۱/۹	۱/۹۳	۱/۹۶



شکل ۱۲- تغییرات تجمعی افت سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۴۲۰

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب زیرزمینی حوضه آبخیز جازموریان در دوره ۲۵ ساله مورد مطالعه با افت شدید و معناداری روبه‌رو بوده است. این نتیجه در تحقیقات سایر پژوهشگران ازجمله Ghulam Dukht Bandari و همکاران (۲۰۱۶) و Chupani and Damizadeh (۲۰۱۴) نیز آمده است. نقشه‌های هم‌سطح و هم‌افت آب زیرزمینی نشان داد که این افت در نواحی غربی حوضه نسبت به نواحی شرقی آن شدت بیشتری دارد. از مهمترین عوامل مؤثر بر افت سطح تراز آب زیرزمینی در حوضه را می‌توان به عوامل انسان‌ساخت شامل نیاز روزافزون به منابع آب جایگزین برای تأمین نیاز اراضی زراعی توسعه یافته در منطقه، افزایش شمار چاه‌ها،

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت بیش از حد ظرفیت و عوامل هیدرواقلیمی شامل وقوع خشکسالی‌ها و ویژگی‌های طبیعی زمین‌شناختی منطقه نسبت داد. از میان تمامی عوامل تأثیرگذار نقش عوامل انسان‌ساخت از سایر عوامل بیشتر بود. این نتیجه با نتایج Shafiei و همکاران (۲۰۱۶) و Fathi and zibai (۲۰۱۰) تطابق داشت.

نتایج پیش‌بینی‌ها نیز حکایت از این مسئله داشت که در صورت ادامه روند فعلی تغییرات رخ داده در منطقه وضعیت منابع آب زیرزمینی با کاهش شدید روبرو خواهد شد که با نتیجه Rasouli and Abasianm (۲۰۰۹) مطابقت داشت. بنابراین باید به دنبال راهکارهایی برای مقابله با این عوامل تهدید کننده باشیم. ازآنجاکه وقوع خشکسالی بخش اجتناب‌ناپذیر اقلیم هر منطقه می‌باشد، باوجوداین در راستای مدیریت آن پیشرفت کمی انجام شده و درحال حاضر تنها در بحث کاهش خطر ناشی از آن می‌توان اقدامات لازم را انجام داد. البته انجام اقدامات مقتضی برای کاهش شدت اثرهای خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی راهکارهای مناسبی را می‌طلبد. همچنین وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه خود به‌عنوان عاملی در جهت تشدید اثرات زیانبار وقایعی مانند خشکسالی به‌شمار می‌رود. وجود سازندهای سخت در بخش اعظم آبخوان‌های حوضه خود از تغذیه کافی و مناسب آبخوان‌ها جلوگیری کرده و بر وخامت اوضاع می‌افزاید. درچنین شرایطی، با مهار عوامل انسانی به‌عنوان عاملی اساسی و تأثیرگذار، تا حد زیادی می‌توان سطح آب سفره‌های زیرزمینی و حتی سطح تالاب جازموریان را در حالت پایدار نگه داشت. گسترش تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی که تاکنون به صورت محدود در سطح حوضه انجام شده و تجدیدنظر در میزان بهره‌برداری از آبخوان مربوطه و افزایش بازدهی مصرف آب تا حدودی از افت بی‌رویه سطح آب حوضه که براساس پیش‌بینی‌های انجام شده در سال‌های نه‌چندان دور مورد انتظار است، جلوگیری می‌کند و چالش‌های پیش‌روی افت شدید سطح آب سفره‌ها را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

از مسئولان محترم شرکت مطالعات پایه منابع آب ایران (تماب) به‌دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

منابع مورد استفاده

- Chen, Z., Grasby, S. and Osadetz, K. G., 2004. Relation between climate variability and groundwater level in the upper carbonate aquifer, south Manitoba, Canada. Journal of Hydrology, 290: 62-43.
- Chupani, S. and Damizadeh, M., 2014. Investigating the consequences of underground water loss in the Minab plain. First Regional Conference on the Sea, Development and Water Resources of the Gulf Coast Area, 11p.
- Fathi, F. and zibai, M., 2010. Effective factors in managing exploitation of groundwater using a multi-objective planning modeln (A case study of Firoozabad plain). Journal of Soil and Water Sciences, Agricultural and Natural Resources Sciences and Technology, Esfahan Industrial University, No: 155-165
- Gehreles, J. C., Van Geer, F. C. and De Vries, J. J., 1994. Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modeling in an area with shallow to deep unsaturated zones. Journal of Hydrology. 157: 105-138.
- Ghulam Dukht Bandari, M., Peyman Rezaei, P., Chupani, S., Amani, H. and Kerti Khormo, M., 2016. The effect of underground water use in creating the split and landslide in Nazdasht Rudan, northeast of Hormozgan. Special Conference on subsidence in Iran, 12 pages.
- Khosravi, H., Heidari, I., Zahtabian, Gh., Bazrafshan, J., 2016. Investigation of temporal and spatial patterns of groundwater resources index (Case study: Yazd-Ardakan plain). Iranian journal of Range and Desert Reseach, 22 (4): 711-720.
- Mackay, J. D., Jackson, C. R. and L. Wang., 2014. A lumped conceptual model to simulate groundwater level time-series. Environmental Modelling and Software, 61: 229-245.
- Mohamadi, S., Salajegheh, A., Mahdavi, M. and Bagheri, R., 2012. An ivestigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using suitable geostatistical method (During a 10-year period). Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 19 (1): 61-70.
- Nayak, P., Satyaji, R. and Sudheer, K. P., 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer

www.SID.ir

Archive of SID

using artificial neural network approach. Journal of Water Resources Management, 2: 1. 77-99.
– Rasouli, A. A. and Abasianm, Sh., 2009. Preliminary analysis of time series of Urmia Lake water level. Journal of Geography and planning. 28: 137-165.
– Shafiei, M., Raeini Sarjaz, M., Fazl Ovali, R., Gholamisefidkuhi, M. A., 2016. Investigating the effect of water extraction from wells around Parishan Lake on surface and underground water scarcity. Journal of Environmental research, 14: 237-248.
– Zare Abianeh, H., M. Bayat Varkeshi and S. Marofi. 2012. Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain. Journal of Water and Soil Science, 22(2): 173-190.

www.SID.ir

Archive of SID

Identification of factors affecting groundwater resources and forecasting groundwater level and its variation in Jazmourian Basin

Z. Saieedifar[1], M. Rahimi[2*], S. Lotfinasabasl[3], M. Khosroshahi[4] and M.R. Yazdani[5]

1-Ph.D. Student in Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran
2*-Corresponding author, Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran
Email: "mrahimi@semnan.ac.ir"
3- Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
5- Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran

Received:04/23/2018 Accepted:09/01/2018

Abstract

Jazmurian basin in the southeast of Iran is one of the most important and vital basins. Due to the lack of surface water resources and placing in the priority of use this basin is faced with a sharp decline in the level of underground aquifers**.** The aim of this study was to identify the factors affecting groundwater resources and predict the groundwater level and its variation in Jazmourian Basin. In this study by considering the importance of identifying the factors affecting the condition of groundwater resources and the causes of decline, initially, the geological and geomorphological features of the basin and its impacts on the quantity and distribution of the groundwater resources were studied. Then, the effect of hydrological droughts with using two streamflow index (SDI) and the standardized precipitation index (SPI) at hydrometric, pluviometric, and synoptic stations located in the basin aquifers was studied. The portion of perceptions on changes in groundwater resources by wells, spring, and aqueducts, as well as the impact of surface structures and expenditures on land surface level changes were determined. In addition, the average monthly and annual mean of groundwater levels during the years 1370-93 were investigated using time series models to predict groundwater changes by the year 1420. The study results on the effect of different factors on groundwater water changes showed that hydroclimatic droughts, although affecting underground water changes, did not have a significant effect. The dams and deep and semi-deep wells with negative correlations of 0.83, 0.75 and 0.68 had the most negative effects on groundwater drops, respectively, and the average discharge of wells and springs increased significantly with increasing groundwater level. Also, the study of changes in groundwater level in the basin indicates a significant decrease (0.37 m / year) and predictions show that in the coming years it will face more severe losses. The high level of decline was observed in the summer with a change of 1.96% and in the autumn it was 1.78% lower than the other seasons. Overall, the results showed that if the current trend of exploitation of the groundwater resources continues, the region will be facing more challenges.

Keywords: Groundwater level drop, time series model, hydroclimatic index, utilization.

www.SID.ir