



## بررسی معیارهای مدیریتی و هیدروژئولوژیکی بر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت سرایان

فریبا نیرومند فرد<sup>۱</sup>، حسین خزیمه نژاد<sup>۲</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۷

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی

### چکیده

منابع آب زیرزمینی در ایران به ویژه در دشت‌های کویری استان خراسان جنوبی به دلیل خشکسالی، افزایش تعداد چاه‌های کشاورزی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی وضعیت مطلوبی ندارند و با خطر تخریب و افت دائم سطح آب مواجه‌اند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی عوامل مؤثر بر روند افت تراز آب زیرزمینی در دشت سرایان (ممنوعه بحرانی)، واقع در استان خراسان جنوبی بوده است. در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از روش‌های پایش خشکسالی SPI و GRI و میانگین متحرک، اثر بارندگی و خشکسالی افت تراز آب زیرزمینی دشت سرایان بررسی شود. همچنین با استفاده از نرم افزار Arc GIS نقشه‌های هم‌افت و هم‌عمق برای سال‌های قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند چاه‌های پیژومتری دشت رسم گردید. نتایج نشان از این دارد که در بازه زمانی ۴ ساله بعد از نصب کنتور هوشمند نسبت به بازه زمانی ۴ ساله قبل از نصب کنتور هوشمند، روند میزان افت حجم آبخوان به اندازه ۱۴/۳۶ درصد کاهش یافته است. هیدروگراف تراز آب زیرزمینی نیز نشان داد در طی ۲۳ سال به میزان ۲۵ متر سطح آب کاهش یافته است. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افت آب زیرزمینی در دشت سرایان بر برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی، تأثیر خشکسالی‌های متوالی و در نتیجه کاهش تغذیه آبخوان تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: SPI، GRI، کنتور هوشمند آب، افت، برداشت بی‌رویه، دشت سرایان

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۰۹۱۱۳۷۸۵۱۵۹،  
faribaniroumandfard@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۰۹۱۵۱۶۳۹۸۴۳،  
hkhozayemeh@birjand.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۰۹۱۵۳۳۲۷۴۷۸،  
abbaskhashei@birjand.ac.ir

## مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب برای کشاورزی، صنایع و آشامیدن هستند. آب‌های زیرزمینی فقط ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی را که فعالانه در چرخه آب شناختی دخالت دارند، تشکیل می‌دهد. با این وجود حدود ۵۰ درصد جمعیت دنیا از نظر آب شرب متکی به همین آب‌ها هستند. آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان در جهان است که بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهند. در حال حاضر برداشت از منابع زیرزمینی کشور بالغ بر ۷۹ میلیارد متر مکعب می‌باشد که بیش از ۹۰ درصد آن در کشاورزی مصرف می‌شود. در گذشته بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی توسط چاه و قنات انجام می‌گرفت که با ورود فناوری چاه و پمپ، به تدریج سطح ایستابی در اکثر دشت‌ها دچار افت شده، تعداد زیادی از آنها نیز خشک و یا شور شدند (بهارلویی، ۱۳۹۲). در جهان، منابع آب زیرزمینی بیش از ۳۱ درصد از کل ذخایر آب شیرین را به خود اختصاص داده است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷). کشور ایران به دلیل رشد جمعیت، توسعه بهداشت و گسترش بخش‌های کشاورزی، صنعت و غیره پیوسته با افزایش تقاضای آب مواجه بوده و این امر موجب زیاد شدن شکاف میان عرضه و تقاضای این ماده ارزشمند شده است (محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی، ۱۳۸۹). پایین افتادن سطح آب زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین‌دست (مناطق با ارتفاع کمتر که آب جاری در لایه‌های آبدار تحت اثر گرانش به سمت آن‌ها جریان می‌یابد) و از بین رفتن کارایی چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است. ایران از جمله کشورهایی است که به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بیشترین آب مصرفی در کشاورزی را از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌نماید. بنابراین کمبود منابع آب زیرزمینی یکی از بحران‌های حال حاضر کشور محسوب می‌گردد. استفاده آزاد یا پرداخت قیمت بسیار پایین برای منابع آب منجر به تخصیص ناکارا و

اتلاف آب بدون توجه به هزینه‌های بالای احداث سدها، مخازن و سامانه‌های پمپاژ آب شده است (Hardisty and Ozdemiroglu, 2004) در حال حاضر، در کشور به دلیل برداشت بیش از حد مجاز آب از سفره‌های زیرزمینی، منابع آب زیرزمینی به شدت رو به کاهش است. کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یکسو و فعالیت‌های انسان از سوی دیگر، موجب کاهش کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی و تخریب اراضی با گذشت زمان می‌گردد. بطوری که بیش از ۲۵ درصد از سفره‌های آب زیرزمینی کشور به دلیل برداشت بی‌رویه در شرایط بحرانی قرار دارند که تعداد آن‌ها در حال افزایش است (عباس پور و عنایی، ۱۳۸۰). همچنین از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افت و خیزهای تراز سطح آب‌های زیرزمینی می‌توان به بارش، دما، خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها اشاره کرد. از زمانی که در سده هفدهم میلادی پیر پرالت (۱۶۰۸-۱۶۸۰) دانشمند فرانسوی منشأ آب‌های زیرزمینی را بارندگی‌ها می‌دانست، ارتباط بارش و سطح سفره‌های زیرزمینی مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گرفت (کردوانی، ۱۳۷۴). خشکسالی یکی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلایای طبیعی است که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده و باعث بروز بسیاری از مشکلات برای آنها می‌شود. تعداد و فراوانی این پدیده بیش از سایر رخدادها بوده است (محسنی ساروی و همکاران، ۱۳۸۳). گرچه امروزه به علت پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل و نقل، بروز آثار خشکسالی به شکل قحطی و مرگ دسته جمعی کمتر بروز می‌کند، اما آثار و تبعات دیگر ناشی از خشکسالی همچنان پابرجاست (Hayes et al., 1998). در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخدادن و هم از جنبه اندازه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (Keneth, 2003). در بیشتر مناطق دنیا، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع برای مصارف عمومی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (Scheidleder et al.,



رویه از سفره آب زیرزمینی دشت در سال‌های گذشته سیر نزولی داشته و از سال ۸۰ تا ۸۶ متوسط افت سالانه حدود ۸۰ سانتیمتر بوده است. (جهانبخش و کرمی، ۱۳۸۸) ارتباط خشکسالی و منابع آب زیرزمینی دشت تبریز را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراز آب زیرزمینی دشت دارای روند منفی بوده و دشت تبریز در دوره آماری مورد مطالعه در حدود ۳/۹۴ متر افت داشته است.

(Hu et al., 2005)، به ارزیابی تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی پرداختند. در این پژوهش نتایج نشان داد که متوسط سطح آب زیرزمینی ۹/۸۱ متر است که نسبت به سال ۱۹۹۰، ۶ متر کاهش داشته است. (Penda et al., ۲۰۰۷) به بررسی اثرات خشکسالی بر روی تراز آب زیرزمینی در اریسا پرداختند. آن‌ها در این بررسی دوره زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۴ را مورد آنالیز قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افت آب زیرزمینی در طول سال‌های خشک، ناشی از کمبود بارش، درجه حرارت بالا و رشد و تکامل زندگی بشری بوده که این کمبود آب زیرزمینی در سال‌های مرطوب قابل جبران نمی‌باشد. عزیزی (۱۳۸۲) به منظور بررسی ارتباط بین خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین از داده‌های بارش و آب‌های زیرزمینی استفاده نمود. نتایج تحقیق نشان داد که خشکسالی در آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تأخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. (Mendicino and Senatore., 2008) پژوهشی را تحت عنوان یک شاخص منبع آب زیرزمینی برای بازبینی و پیش‌گویی خشکسالی در یک اقلیم مدیترانه‌ای ارائه دادند، در این پژوهش با مقایسه دو شاخص GRI و SPI دریافتند که خصوصیات لیتولوژی حوضه بر سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی و به تبع آن بر روی شاخص GRI مؤثر می‌باشد. سپس با استفاده از روش همبستگی خودکار نشان دادند که رفتار GRI بسیار شبیه به رفتار SPI می‌باشد اما با تأخیر زمانی و این تأخیر را خصوصیات

(1999)؛ این بدان معناست که واکنش آب‌های زیرزمینی به خشکسالی‌ها بیش از حد مهم شده است. خشکسالی اقلیمی در دراز مدت کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد که به این پدیده خشکسالی هیدروژئولوژیکی می‌گویند (Calow et al., 1999). خشکسالی هیدروژئولوژیکی زمانی خاتمه می‌یابد که جریان رودخانه‌ها دوباره شکل گرفته و مخازن آب زیرزمینی مجدد تغذیه شود (عرفان نژاد و مرادی، ۱۳۸۰). صرف نظر از نقش عوامل اقلیمی، برنامه‌ریزی و مدیریت ناکارآمد در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نقش فزاینده‌ای در آسیب‌های ناشی از خشکسالی هیدروژئولوژیکی دارد. علاوه بر برداشت بی‌رویه آب توسط چاه‌ها، نوسان عوامل اقلیمی از جمله بارندگی در کاهش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نقش مؤثری داشته است. (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸) افت سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت مشهد را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند.

نتایج پژوهش آنان نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و غربی آبخوان تا ۳۰ متر افت داشته است؛ یعنی به طور متوسط هر ساله ۶۰ سانتی متر سطح آب افت داشته است. افزایش میزان بهره‌برداری و افزایش میزان چاه‌ها از عوامل کاهش سطح آب زیرزمینی می‌باشد. (فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۳) اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی را در منطقه دشت دهلران استان ایلام مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که همبستگی مثبتی بین افزایش اراضی دیمی، اراضی آبی، جنگل دست کاشت با افت سطح ایستابی وجود دارد. به طور کلی بحث‌هایی که در ارتباط با بحران خشکسالی و کم‌آبی در ایران صورت گرفته در تضاد با یکدیگر بوده و هنوز یک جامعیت و هدفی روشن پیدا نشده است. (عباس‌نژاد، ۱۳۹۲) در بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی-

دشت سرایان ۷۱۹/۲۵ کیلومتر مربع می‌باشد. در آبخوان این دشت ۲۰ حلقه چاه مشاهده‌ای وجود دارد. شکل ۲ نمایی از موقعیت کلی محدوده مورد مطالعه را در استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۱ پارامترهای بیلان آبخوان دشت سرایان آورده شده است.

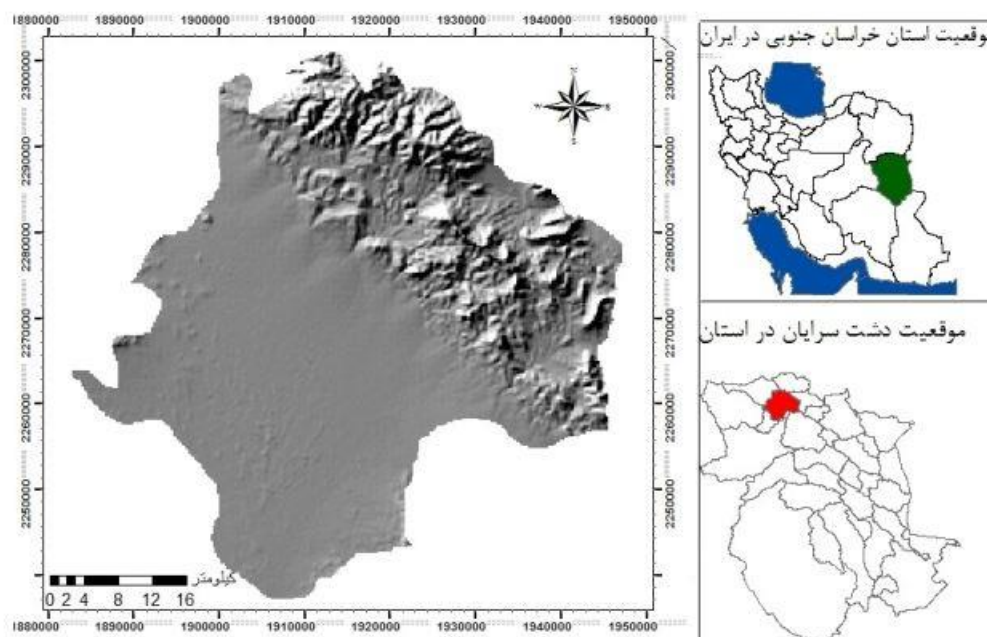
کشور ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود است. با توجه به رشد جمعیت در ایران، سرانه منابع آب تجدیدشونده سالانه که در سال ۱۳۳۵ هفت هزار متر مکعب بوده، در سال ۱۳۷۵ به دو هزار متر مکعب کاهش یافته و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۱۴۰۰ به حدود ۸۰۰ متر مکعب کاهش یابد که پایین‌تر از مرز کم آبی (هزار متر مکعب) می‌باشد. با توجه به تقسیم‌بندی سازمان ملل متحد، در سال مزبور ایران نه تنها شرایط تنش و فشار ناشی از کمبود آب را تجربه خواهد کرد، بلکه وارد شرایط کمیابی شدید آب می‌گردد. در سال‌های خشک، از هم اکنون شاهد کمبود و بحران آب هستیم که می‌تواند خسارات اقتصادی، تنش‌های اجتماعی-سیاسی و مخاطرات بهداشتی به بار آورد (بینام ۱۳۸۸). استان خراسان جنوبی نیز از جمله استان‌های کم آب ایران و با متوسط بارندگی ۱۱۸/۶۵ میلی‌متر می‌باشد، لذا مدیریت بهینه مصرف منابع آبی می‌بایست در دستور کار قرار گیرد. همچنین سال‌هاست کشور ایران به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی با خطر افت دائم آب زیرزمینی و تخریب منابع آب روبه‌رو است. بهره‌برداران از منابع آب زیرزمینی که بیشتر آن‌ها کشاورزان هستند، به لحاظ جلوه ظاهری توسعه کشاورزی و افزایش محصولات، آگاهانه یا ناآگاهانه با برداشت بیش از حد ظرفیت از مخازن آب زیرزمینی صدمات جبران‌ناپذیری به این منابع ارزشمند وارد آورده‌اند، به گونه‌ای که در حال حاضر بیش از نیمی از دشت‌های استان خراسان جنوبی در وضعیت ممنوعه و دشت سرایان در وضعیت ممنوعه بحرانی می‌باشد.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضه تعیین می‌کند و همچنین شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسب‌تر است. (ملکی‌نژاد و قادری، ۱۳۸۰) در بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی در آبخوان دشت سبزوار به این نتیجه رسیدند که خشکسالی در برخی از چاه‌های منطقه روند یکنواختی داشته و شاخص GRI در این دوره آماری منفی و سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است. همچنین نوسانات خشکسالی هیدروژئولوژیکی و تفاوت در مقادیر GRI در برخی از چاه‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در برداشت از این چاه‌ها باشد. (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۰) اثرات خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI در دشت بهاباد یزد، مورد بررسی قرار دادند. نتیجه بدست آمده نشان دهنده افت شدید سفره بخصوص در ده سال اخیر بوده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت سرایان همچون برداشت بی‌رویه، خشکسالی و کمبود بارش در منطقه می‌باشد و علاوه بر این به تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌ها در روند کاهش افت سطح آب زیرزمینی پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی سرایان از محدوده‌های کویر لوت ایران در استان خراسان جنوبی است که در شمال آن محدوده‌های گناباد و فردوس، در شرق آن محدوده چاهک موسویه، در غرب آن محدوده‌های فردوس و بشرویه و در جنوب آن محدوده دیهوک واقع می‌باشد. این حوضه تقریباً لوزی شکل بوده و دارای طول تقریبی میانگین ۱۳۰ کیلومتر و عرض میانگین ۲۰ کیلومتر می‌باشد. وسعت کل حوضه آبریز دشت سرایان در حدود ۲۶۱۳/۶ کیلومتر مربع بوده که از این میزان حدود ۱۳۰۳ کیلومتر مربع را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. همچنین مساحت آبخوان



شکل (۱): محدوده مطالعاتی در حال پژوهش

جدول ۱: بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت سرایان (آب منطقه‌ای کرمان سال ۹۵)

جدول خلاصه اجزاء بیلان		
تخلیه (میلیون متر مکعب)	تغذیه (میلیون متر مکعب)	شرح اجزای بیلان آب زیرزمینی
-	۱۶/۳۵	جریان زیرزمینی ورودی
-	۸	نفوذ از بارندگی
-	۳	نفوذ از جریان‌های سطحی
-	۲۱/۰۴	نفوذ از آب زراعی
-	۷/۱۰	نفوذ از آب شرب و صنعت
۸۰/۲۶	-	تخلیه از چاه، چشمه و قنات
۰/۸۴	-	تبخیر از آبخوان
۰	-	زهکشی
۱	-	خروجی زیرزمینی
۸۲/۱۰	۵۵/۴۹	جمع
۵۵/۴۹ - ۸۲/۱۰ = -۲۶/۶۱		تغییرات حجم ذخیره

### روش تحقیق

سرایان با داشتن اطلاعات مربوط به تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در سال‌های قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند آب، هیدروگراف تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای در بازه زمانی ۸۸ تا ۹۶ ترسیم گردیده است و هیدروگراف

در این پژوهش از آمار ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای و داده‌های بارش دشت سرایان در محدوده زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ استفاده شد و به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در بخش‌های گوناگون آبخوان

هواشناسی مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش به منظور پایش خشکسالی در دشت سرایان از داده‌های ماهانه بارش ۲۳ ساله (۱۳۷۲-۹۵) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده گردید. مقادیر شاخص SPI در مقیاس سالانه محاسبه گردید و طبقه خشکسالی در هر سال تعیین شده و نهایتاً نتایج حاصل در طول دوره آماری مذکور در قالب یک جدول ارائه گردید که در آن مقدار عددی شاخص بارش استاندارد شده و توصیف وضعیت و شدت خشکسالی در هر سال مشخص شده است.

معادله SPI به صورت رابطه (۱) می باشد:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

در آن SPI شاخص بارش استاندارد شده،  $P_i$  میزان بارش هر ماه در دوره آماری،  $\bar{P}$  میانگین بارندگی بلند مدت و SD انحراف معیار مقادیر بارش، می باشد.

علاوه بر شاخص SPI، به منظور بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی، از روش میانگین متحرک به دلیل دقت بالا و عملکرد مناسب استفاده شده است.

واحد افت چاه‌های آبخوان در بازه زمانی ۷۲ تا ۹۵ ترسیم گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سپس با استفاده از نرم افزار Arc Gis روش درون‌یابی کریجینگ نقشه‌های هم‌تراز و هم‌افت، آب زیرزمینی در محدوده مورد نظر رسم شده است. با بررسی این نقشه‌ها به عنوان مهم‌ترین ابزار محاسبات حجم تخلیه آبخوان و بیلان منفی آن، به بررسی تأثیر نصب کنتورهای هوشمند در میزان افت حجم و سطح آب زیرزمینی پرداخته شده است.

### روش‌های پایش خشکسالی

از جمله مهم‌ترین مراحل ارزیابی وضعیت خشکسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌های خشکسالی به منظور تحلیل میزان شدت و تداوم خشکسالی در آن منطقه است. شاخص خشکسالی به صورت شاخص مربوط به بعضی اثرات تجمعی طولانی مدت و غیرطبیعی کاهش رطوبت می باشد. بارندگی به عنوان بی‌ثبات‌ترین متغیر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تغییرات آن به طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی انعکاس می‌یابد. به همین دلیل، بارش اولین عاملی است که می‌تواند در بررسی خشکسالی به ویژه خشکسالی

جدول (۲): طبقات مختلف شاخص بارش استاندارد شده

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
+۲ و بیشتر	بی اندازه مرطوب
۱/۴۹ تا ۱	خیلی مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	مرطوب متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشک ملایم
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشک شدید
-۲ و کمتر	بی اندازه خشک

(GRI) در مقیاس سالیانه استفاده گردید که به منظور پایش خشکسالی هیدرولوژیکی به کار می‌رود. با توجه به اینکه آمار تراز آب زیرزمینی در این پژوهش از سال ۱۳۷۲-۹۵ بوده، شاخص GRI برای این سال‌ها مورد

### شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

در این پژوهش، جهت بررسی تغییرات تراز آب-های زیرزمینی دشت از شاخص منبع آب زیرزمینی

ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  می‌باشند (مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸). طبقات این شاخص مانند شاخص SPI و طبق جدول ۳ می‌باشد.

محاسبه قرار گرفت. شاخص GRI طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}}$$

که در آن  $D_{y,m}$  مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال  $y$  و ماه  $m$  و پارامترهای  $\mu_{D,m}$  و  $\sigma_{D,m}$  نیز به

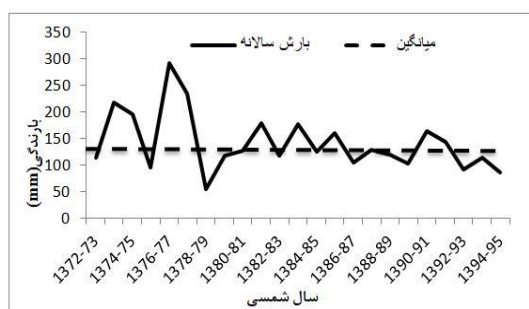
جدول ۳- طبقات مختلف شاخص منبع آب زیرزمینی

مقادیر GRI	طبقه خشکسالی
+۲ و بیشتر	بی‌اندازه مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشک ملایم
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشک شدید
-۲ و کمتر	بی‌اندازه خشک

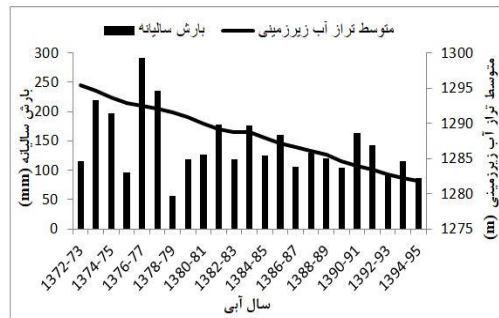
نمودارهای مقادیر بارش و نوسانات سطح ایستابی نسبت به زمان به طور نمونه در دشت سرایان در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

## نتایج و بحث

جهت بررسی مقادیر بارش و نوسانات سطح آب زیرزمینی و تأثیر آن بر افت آب‌های زیرزمینی،



شکل ۲: مقادیر بارش سالانه در طول دوره آماری موردنظر



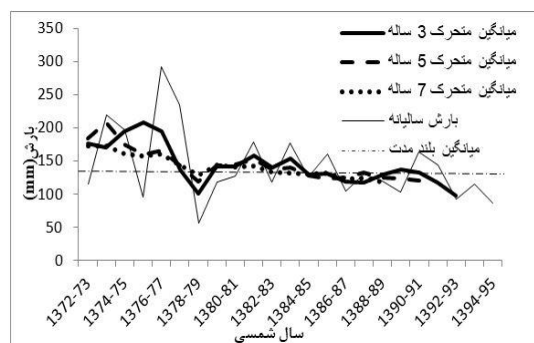
شکل ۳: تغییرات همزمان بارش سالیانه و متوسط تراز آب‌های زیرزمینی دشت سرایان طی سال‌های ۷۲-۷۳ تا ۹۴-۹۵

شده و بر نوسانات تراز آب‌های زیرزمینی دشت تأثیر می‌گذارند.

#### محاسبه میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش طی سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۹۵

به منظور بررسی تأثیر بارش بر سطح آب زیرزمینی و تعیین دوره ترسالی و خشکسالی از روش میانگین متحرک استفاده شده است. با توجه به نمودار میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش شکل ۷، در سال‌های آبی ۷۸-۷۹، ۸۰-۷۹، ۸۵-۸۶، ۸۶-۸۷، ۹۰-۹۱، ۸۷-۸۸، ۹۲-۹۳ و ۹۳-۹۴ دشت سرایان دارای بارشی کمتر از مقدار متوسط دراز مدت منطقه بوده است؛ بنابراین براساس این روش می‌توان گفت در سال‌های مذکور خشکسالی رخ داده است.

تغییرات آب زیرزمینی که به صورت داده‌های سالیانه طی سال آبی ۷۲-۷۳ تا ۹۴-۹۵ در دشت سرایان بررسی گردید، سطح تراز آب زیرزمینی چاه‌های منطقه موردنظر روند نزولی داشت. انتظار می‌رود در سال‌هایی که بارش افزایش پیدا می‌کند سطح آب زیرزمینی افزایش پیدا کند اما بررسی آمارهای سطح آب زیرزمینی منطقه شکل ۳ نشان می‌دهد که تراز سطح آب روند کاهشی داشته است و همانطور که مشاهده می‌شود در برخی از سال‌ها علیرغم افزایش بارش سالیانه، متوسط تراز آب‌های زیرزمینی با افت مواجه بوده است که احتمالاً بارش‌هایی با پراکنش نامناسب و شدت زیاد در دشت اتفاق افتاده باشد که فرصت تغذیه را از آبخوان گرفته است. اما با توجه به شدت افت در سال‌های مذکور، علاوه بر شدت و پراکنش بارش، قطعاً عوامل دیگری نیز مزید بر علت



شکل (۴): نمودار میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش دشت سرایان طی سال‌های ۱۳۷۲-۹۵



جدول (۴): نتایج احتساب شاخص SPI در دشت سرایان

سال آبی	SPI	طبقات تغییرات شاخص
۱۳۷۲-۷۳	-۰/۵۱	نزدیک به نرمال
۱۳۷۳-۷۴	۱/۴۴	مرطوب متوسط
۱۳۷۴-۷۵	۱/۰۲	مرطوب متوسط
۱۳۷۵-۷۶	-۰/۸۸	نزدیک به نرمال
۱۳۷۶-۷۷	۲/۸۲	بی اندازه مرطوب
۱۳۷۷-۷۸	۱/۷۴	خیلی مرطوب
۱۳۷۸-۷۹	-۱/۶۳	خشک شدید
۱۳۷۹-۸۰	-۰/۴۴	نزدیک به نرمال
۱۳۸۰-۸۱	-۰/۲۸	نزدیک به نرمال
۱۳۸۱-۸۲	۰/۶۸	نزدیک به نرمال
۱۳۸۲-۸۳	-۰/۴۵	نزدیک به نرمال
۱۳۸۳-۸۴	۰/۶۴	نزدیک به نرمال
۱۳۸۴-۸۵	-۰/۳۲	نزدیک به نرمال
۱۳۸۵-۸۶	۰/۳۴	نزدیک به نرمال
۱۳۸۶-۸۷	-۰/۷۰	نزدیک به نرمال
۱۳۸۷-۸۸	-۰/۲۴	نزدیک به نرمال
۱۳۸۸-۸۹	-۰/۴۱	نزدیک به نرمال
۱۳۸۹-۹۰	-۰/۷۳	نزدیک به نرمال
۱۳۹۰-۹۱	۰/۴۱	نزدیک به نرمال
۱۳۹۱-۹۲	۰/۰۲	نزدیک به نرمال
۱۳۹۲-۹۳	-۰/۹۳	نزدیک به نرمال
۱۳۹۳-۹۴	-۰/۵۲	نزدیک به نرمال
۱۳۹۴-۹۵	-۱/۰۵	خشک شدید

مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸)، از سال ۷۷-۷۸ تا ۸۹-۹۰ خشکسالی نزدیک به نرمال رخ داده است و در سال‌های ۹۳-۹۴ و ۹۴-۹۵ خشکسالی شدید به وقوع پیوسته است.

در این پژوهش، جهت بررسی تغییرات تراز آب-های زیرزمینی دشت سرایان از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در مقیاس سالیانه استفاده گردید. نتایج محاسبه این شاخص در جدول ۵ ارائه شده است که براساس آن و جدول ۴ طبقات ارائه شده توسط

جدول (۶): نتایج احتساب شاخص GRI در دشت سرایان

سال آبی	GRI	طبقات تغییرات شاخص
۱۳۷۲-۷۳	۱/۷۵	خیلی مرطوب
۱۳۷۳-۷۴	۱/۵۳	خیلی مرطوب
۱۳۷۴-۷۵	۱/۳۲	مرطوب متوسط
۱۳۷۵-۷۶	۱/۱۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۶-۷۷	۱/۰۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۷-۷۸	۰/۹۳	نزدیک به نرمال
۱۳۷۸-۷۹	۰/۷۸	نزدیک به نرمال
۱۳۷۹-۸۰	۰/۶۲	نزدیک به نرمال
۱۳۸۰-۸۱	۰/۳۹	نزدیک به نرمال
۱۳۸۱-۸۲	۰/۱۸	نزدیک به نرمال
۱۳۸۲-۸۳	۰/۱۱	نزدیک به نرمال
۱۳۸۳-۸۴	۰/۰۸	نزدیک به نرمال
۱۳۸۴-۸۵	-۰/۱۱	نزدیک به نرمال
۱۳۸۵-۸۶	-۰/۲۹	نزدیک به نرمال
۱۳۸۶-۸۷	-۰/۴۲	نزدیک به نرمال
۱۳۸۷-۸۸	-۰/۵۷	نزدیک به نرمال
۱۳۸۸-۸۹	-۰/۷۱	نزدیک به نرمال
۱۳۸۹-۹۰	-۰/۹۳	نزدیک به نرمال
۱۳۹۰-۹۱	-۱/۰۹	خشک ملایم
۱۳۹۱-۹۲	-۱/۲۳	خشک ملایم
۱۳۹۲-۹۳	-۱/۳۸	خشک ملایم
۱۳۹۳-۹۴	-۱/۵۱	خشک شدید
۱۳۹۴-۹۵	-۱/۶۱	خشک شدید

### بررسی ارتباط خشکسالی با تغییر تراز آب‌های زیرزمینی

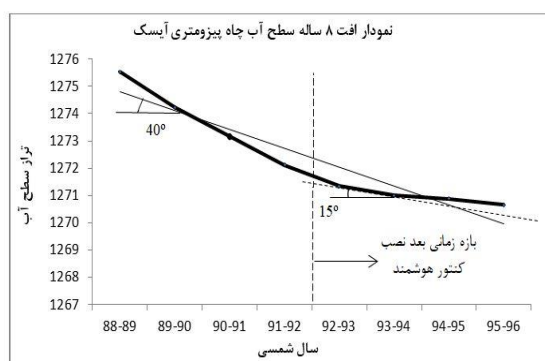
نشان می‌دهد کاهش تراز آب زیرزمینی علاوه بر اینکه به بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه مربوط می‌شود، با توجه به آمار بارندگی منطقه مورد نظر، خشکسالی-های مداوم و کاهش بارندگی نیز از عوامل افت تراز و کاهش سفره آب‌های زیرزمینی منطقه محسوب می‌شود. این نتایج با تحقیقات حمیدیان پور (۱۳۸۴) و اربابی و بیات (۱۳۸۴)، شهید و هزاریکا (۲۰۰۹) و لورنز و همکاران (۲۰۱۰) که وقوع خشکسالی و افزایش برداشت از آب زیرزمینی را عاملین تشدیدکننده افت سطح آب زیرزمینی را معرفی کردند مطابقت دارد.

به منظور بررسی ارتباط خشکسالی و آب‌های زیرزمینی از آزمون همبستگی بین شاخص‌های SPI و GRI استفاده گردید. اما نتیجه آزمون نشان داد مقدار رگرسیون پایین است و بین دو متغیر همبستگی خوبی وجود ندارد اما این بدان معنی نیست که این دو متغیر هیچ تأثیری بر هم نداشته باشند. با توجه به به شکل ۳ و بررسی میانگین متحرک شکل ۴ نشان داده شده که در سال‌هایی، مقدار بارش کمتر از مقدار متوسط دراز مدت منطقه بوده است. بنابراین براساس این روش می‌توان گفت خشکسالی رخ داده است و همچنین می‌توان گفت با برداشت بی‌رویه در برخی از سال‌ها تراز آب زیرزمینی تغییر کرده است. این نتایج

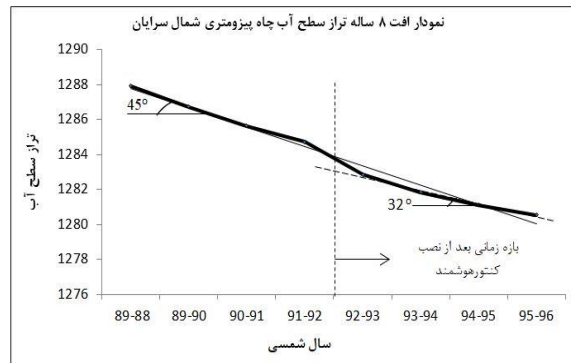
### هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان سرایان

به منظور بررسی رفتار آبخوان سرایان نمودار تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای موجود در این آبخوان در دوره زمانی ۸۸ تا ۹۶ ترسیم شده است. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که روند تغییر سطح آب زیرزمینی در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان سرایان به صورت کاهشی است. شدت روند کاهشی سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت متفاوت است، به طوری که در شکل ۵ هیدروگراف ۸ ساله مربوط به افت متوسط سالانه، در چاه پیژومتري آیسک نمایش داده شده است که در این شکل شیب خط برازش بر تراز متوسط آب زیرزمینی در بازه زمانی ۴ ساله قبل از نصب کنتور هوشمند (۱۳۸۸-۱۳۹۲) برابر ۴۰ درجه و در بازه زمانی بعد از نصب کنتور هوشمند (۱۳۹۲-۱۳۹۶) برابر ۱۵ درجه می‌باشد و در شکل ۶ هیدروگراف ۸ ساله مربوط به افت متوسط سالانه، در چاه پیژومتري شمال سرایان نمایش داده شده است که مشاهده می‌شود، شیب خط برازش بر تراز متوسط آب زیرزمینی در بازه زمانی ۴ ساله قبل از نصب کنتور هوشمند (۱۳۸۸-۱۳۹۲) برابر ۴۵ درجه و

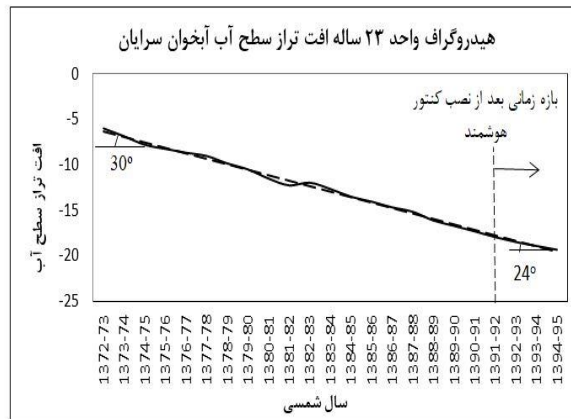
در بازه زمانی بعد از نصب کنتور هوشمند (۱۳۹۶-۱۳۹۲) برابر ۳۲ درجه می‌باشد. بررسی این هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که شدت افت سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری یکنواخت نبوده است و از سال ۱۳۹۲ به بعد با نصب کنتورهای هوشمند آب، به وضوح شاهد افت سطح آب زیرزمینی با شیب کمتری خواهیم بود. همچنین به منظور تعیین متوسط نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان سرایان، هیدروگراف واحد ۲۳ ساله افت تراز سطح آب در شکل ۷ ترسیم شده است. بررسی نمودار هیدروگراف واحد نشان می‌دهد که در طول دوره آماری ۲۳ ساله ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ شدت افت سطح آب زیرزمینی یکنواخت نبوده است و از سال ۱۳۹۲ به بعد با شیب کمتری شاهد افت سطح آب زیرزمینی نیز خواهیم بود. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود شیب خط برازش متوسط آب زیرزمینی در بازه سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۱ برابر ۳۰ درجه و در بازه زمانی سال‌های بعد از نصب کنتور هوشمند ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ برابر ۲۴ درجه می‌باشد.



شکل (۵): نوسانات سطح آب زیرزمینی در یکی از چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان سرایان (چاه دارای افت صفر تا یک متر)



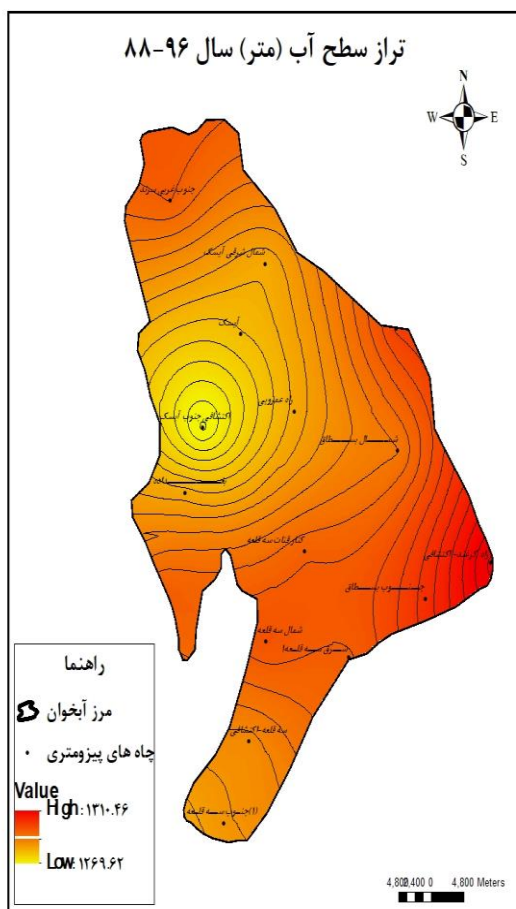
شکل (۶): نوسانات سطح آب زیرزمینی در یکی از چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان سرایان (چاه دارای افت یک تا دو متر)



شکل (۷): هیدروگراف واحد ۳۰ ساله افت تراز سطح آب (۱۳۹۵-۱۳۷۲) آبخوان سرایان

بررسی نقشه‌های رفتارسنجی آبخوان سرایان  
برای تهیه نقشه‌های سطح آب زیرزمینی آبخوان سرایان از اطلاعات ۲۰ حلقه چاه مشاهده‌ای در طول ۸ سال دوره آماری (سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲ لغایت ۱۳۹۲-۱۳۹۶) استفاده شده است. به منظور تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق سطح آب زیرزمینی از میانگین اطلاعات اندازه‌گیری شده سطح آب استفاده شده است. همچنین با اندازه‌گیری مقدار افت سطح آب در ۲۰ حلقه پیژومتر موجود در فاصله سال‌های آماری (سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲ لغایت ۱۳۹۲-۱۳۹۶) نقشه‌های هم‌تراز و هم‌افت برای سال‌های قبل از نصب کنتور هوشمند ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ و سال‌های بعد از نصب کنتور هوشمند ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ جهت مقایسه تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر روند افت تراز آب زیرزمینی ترسیم شده است. عموماً نقشه تراز سطح آب به منظور دستیابی به اطلاعاتی مانند جهت جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی و مقاطع ورودی و خروجی سفره آب زیرزمینی ترسیم می‌گردد. با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده سطح آب زیرزمینی در ۲۰ حلقه چاه مشاهده‌ای و کسر آن از نقطه نشانه، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان سرایان در شکل ۸ رسم شده است.

کنتور هوشمند ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ و سال‌های بعد از نصب کنتور هوشمند ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ جهت مقایسه تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر روند افت تراز آب زیرزمینی ترسیم شده است. عموماً نقشه تراز سطح آب به منظور دستیابی به اطلاعاتی مانند جهت جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی و مقاطع ورودی و خروجی سفره آب زیرزمینی ترسیم می‌گردد. با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده سطح آب زیرزمینی در ۲۰ حلقه چاه مشاهده‌ای و کسر آن از نقطه نشانه، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان سرایان در شکل ۸ رسم شده است.



شکل (۸): تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان سرایان

### نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان

#### سرایان:

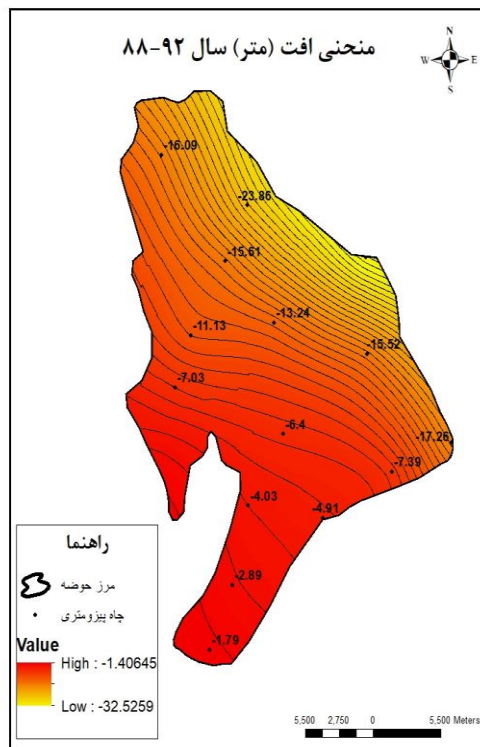
در شرق آبخوان برابر ۲۲۵/۷۵ متر، اندازه‌گیری شده است. بررسی نقشه هم‌عمق نشان می‌دهد که در تمامی بخش‌های آبخوان سرایان جز دو چاه مشاهده-ای جنوب عباس آباد با عمق ۵/۵۳ متر و حوض ریگ ریشو کمروود با عمق ۸/۰۲ متر، عمق سطح آب زیرزمینی تمامی چاه‌های دیگر بیش از ۱۰ متر بوده و تبخیر از سطح آب زیرزمینی وجود ندارد.

بررسی نقشه‌های حداکثر و حداقل هم‌عمق ترسیمی نشان می‌دهد که عمق سطح آب زیرزمینی از شمال غرب به سمت مرکز و غرب به جنوب کاهش می‌یابد. در سال ۱۳۹۳، حداقل میانگین عمق سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای جنوب عباس آباد در جنوب غربی آبخوان برابر ۵/۵۳ متر و حداکثر میانگین عمق سطح آب نیز در چاه مشاهده‌ای شمال سرایان

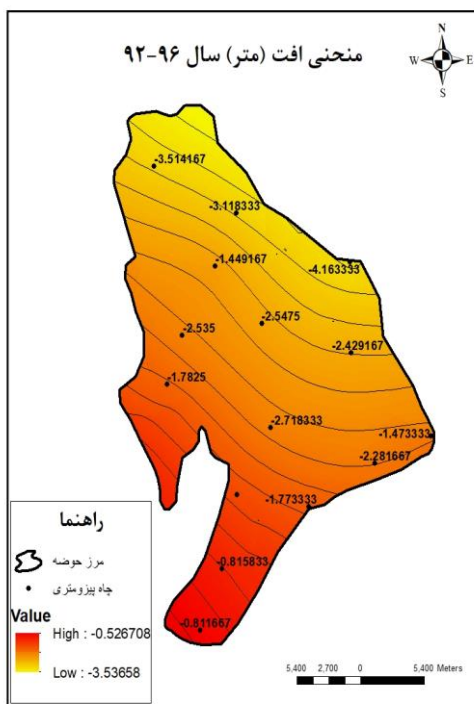
### نقشه هم‌افت سالانه سطح آب زیرزمینی

یکی از رایج‌ترین پیامدهای توسعه و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد، که در آبخوان سرایان نیز مشاهده می‌شود. با استفاده از تفاضل ارقام عمق سطح آب اندازه‌گیری شده در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ سال‌های قبل از نصب کنتور هوشمند و سال‌های بعد از نصب کنتور هوشمند در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ در ۲۰ حلقه از چاه‌های مشاهده‌ای، نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی آبخوان ترسیم شده است. بررسی نقشه هم‌افت ترسیمی نشان می‌دهد که میزان افت سطح آب زیرزمینی از شمال شرق و شمال آبخوان به طرف غرب، جنوب و جنوب غرب آبخوان کاهش می‌یابد. در بخش

شرق آبخوان حداکثر افت سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای شمال سرایان برابر ۳۲/۰۳ متر و حداقل افت در چاه مشاهده‌ای جنوب عباس آباد در جنوب غربی آبخوان برابر ۰/۷۷ متر اندازه‌گیری شده است. میزان میانگین افت سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ برابر ۳/۲۳ متر بوده و میانگین افت سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی بعد نصب کنتور هوشمند، ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ به ۱/۷۴ متر کاهش یافته است. منحنی‌های هم‌افت مربوط به بازه زمانی ۴ سال قبل از نصب کنتورهای هوشمند آب در شکل ۹ و بعد از نصب کنتورهای هوشمند آب در شکل ۱۰ به وضوح اثر نصب کنتورها را در کاهش افت تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد.



شکل (۹): منحنی هم‌افت ۴ ساله قبل از نصب کنتورهای هوشمند آب (۱۳۸۸-۱۳۹۲) به روش کریجینگ مربوط به آبخوان سرایان



شکل (۱۰): منحنی هم افت ۴ ساله بعد از نصب کنتورهای هوشمند آب (۱۳۹۲-۱۳۹۶) به روش کریجینگ مربوط به آبخوان سرایان

میلیون متر مکعب در سال های قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند به شرح زیر می باشد:  
۴ ساله قبل از نصب کنتور هوشمند:

$$\Delta V = 719 \times (-3/23) \times (0/06) = -139/342 \text{ MCM} \quad (4)$$

۴ ساله بعد از نصب کنتور هوشمند:

$$\Delta V = 719 \times (-1/74) \times (0/06) = -75/062 \text{ MCM} \quad (5)$$

با توجه به محاسبات انجام شده، در بازه زمانی ۴ ساله بعد از نصب کنتورهای هوشمند نسبت به بازه زمانی مشابه قبل از نصب کنتورهای هوشمند، به میزان ۶۴/۲۷۹ میلیون متر مکعب حجم آب زیرزمینی افت کمتری را نشان می دهد. میزان افت حجم آبخوان در بازه زمانی ۴ ساله بعد از نصب کنتور هوشمند،

مقایسه تغییرات حجم آب زیرزمینی در بازه زمانی قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند براساس رابطه زیر تغییرات حجم آب زیرزمینی در بازه زمانی قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند محاسبه شده است:  
(۳)

$$V = \pm A.h.S$$

با توجه به هیدروگراف واحد آبخوان ترسیم شده میزان متوسط افت ۴ ساله سطح آب زیرزمینی سال های قبل از نصب کنتورهای هوشمند (۱۳۸۸-۱۳۹۲) برابر ۳/۲۳- و میزان متوسط افت ۴ ساله سطح آب زیرزمینی سال های بعد از نصب کنتورهای هوشمند (۱۳۹۲-۱۳۹۶) برابر ۱/۷۴- متر بوده است. سطح آب زیرزمینی در محدوده بیلان ۷۱۹ کیلومتر مربع و میزان متوسط ضریب ذخیره دشت برابر ۰/۰۶ است. لذا با توجه به رابطه، میزان کسری مخزن سالانه به

هوشمند، به میزان ۶۴/۲۷۹ میلیون متر مکعب حجم آب زیرزمینی افت کمتری را دارد. میزان افت حجم آبخوان در بازه زمانی ۴ ساله بعد از نصب کنترلر هوشمند، نسبت به میزان افت آبخوان در بازه زمانی ۴ ساله قبل از نصب کنترلر هوشمند، برابر ۸۵/۶۳ درصد می‌باشد که نشان دهنده ۱۴/۳۶ درصد کاهش، در روند افت حجم آبخوان سرایان در بازه زمانی بعد از نصب کنترلرهای هوشمند نسبت به بازه مشابه قبل از نصب آن‌ها می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد با توجه به ممنوعه اعلام شدن دشت سرایان و با وجود نصب کنترلرهای هوشمند، همچنان شاهد کاهش افت تراز آب زیرزمینی دشت سرایان نیز بوده که عامل اصلی آن را کاهش میزان تغذیه آبخوان از بارندگی در طی سال‌های اخیر و تأثیر وقوع خشکسالی دانست. با توجه به اینکه افت تراز سطح آب زیرزمینی متأثر از خشکسالی و بهره‌برداری بیش از توان آبخوان می‌باشد، اما می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای مدیریتی همچون نصب کنترلرهای هوشمند شیب روند افت تراز آب زیرزمینی در دشت سرایان را کاهش داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود نصب کنترلرهای هوشمند را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارها برای رسیدن به وضعیت پایدار آبی در نظر گرفت و همچنین به علت وقوع خشکسالی در منطقه مورد مطالعه جهت افزایش تغذیه آبخوان، طرح‌های تغذیه‌ای مصنوعی اجرا شود.

نسبت به میزان افت آبخوان در بازه زمانی ۴ ساله قبل از نصب کنترلر هوشمند، برابر ۸۵/۶۳ درصد می‌باشد که نشان دهنده ۱۴/۳۶ درصد کاهش، در روند افت حجم آبخوان در بازه زمانی بعد از نصب کنترلرهای هوشمند نسبت به بازه مشابه قبل از نصب آن‌ها می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی تأثیر نصب کنترلرهای هوشمند بر افت سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان سرایان پرداخته شد که نتایج نشان داد در طول دوره آماری ۲۳ ساله ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ شدت افت سطح آب زیرزمینی در طول این دوره آماری یکنواخت نبوده و از سال ۱۳۹۲ به بعد با نصب کنترلرهای هوشمند آب، با شیب کمتری شاهد افت سطح آب زیرزمینی می‌باشیم. شیب خط برازش بر تراز متوسط آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۱ برابر ۳۰ درجه و در بازه زمانی بعد نصب کنترلر هوشمند (سال ۱۳۹۲ به بعد) برابر ۲۴ درجه می‌باشد. میزان میانگین افت سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ برابر ۳/۲۳ متر بوده و میانگین افت سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی بعد نصب کنترلر هوشمند، ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ به ۱/۷۴ متر کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که حجم آبخوان سرایان در بازه زمانی ۴ ساله بعد از نصب کنترلرهای هوشمند نسبت به بازه زمانی مشابه قبل از نصب کنترلرهای

### منابع

- اکبری، م.، جرگه، م.، مدنی سادات، ح.، ۱۳۸۸. بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره: ۴، ۷۸-۶۳.
- امینی، م.، طالبی، ا.، ۱۳۹۰. اثر خشکسالی بر تغییرات آب زیرزمینی با استفاده از SPI و GRI (مطالعه موردی: دشت بهاباد یزد). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.
- بهارلویی، م.، ۱۳۹۲. تأثیر نوسانات بارش بر آب‌های زیرزمینی دشت دامنه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه پیام نور اصفهان.





- جهانبخش. س.، کرمی. ف.، ۱۳۹۳. ارتباط خشکسالی و منابع آب زیرزمینی دشت تبریز، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز
- شرکت آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۵. مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب در محدوده مطالعاتی حوضه آبریز درجه ۲ کویر لوت، جلد پنجم، محدوده مطالعاتی دشت سرایان.
- عباس‌نژاد. ا.، شاه‌دشت. ع.، ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه، مجله جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شماره ۷: ۹۶-۸۵.
- عزیزی. ق.، ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶: ۹۴۳-۹۳۹.
- عباسپور. م. ف. و عنایی. ف.، ۱۳۸۰. "بحران‌های زیست محیطی و برنامه ریزی توسعه پایدار در ایران." مجموعه مقالات اولین همایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، ۲۰۲-۱۳۸۰.
- فرامرزی، م.، یعقوبی، ث.، و کریمی، ک. ۱۳۹۳. اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت دهلران، استان ایلام)، فصلنامه مدیریت آب در مناطق خشک، شماره ۲، صص ۵۵-۶۴.
- کمالی، م. ا.، عصار، م. و محمدی، ک. ۱۳۸۷. آنالیز مکانی کیفیت و آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و GIS. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- کردوانی. پ.، ۱۳۷۴. ژئوهیدرولوژی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- محمدی قلعه‌نی، م. و ابراهیمی، ک. ۱۳۸۹. تعیین ساختار زمانی-مکانی تراز سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی آبخوان خوی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- محسنی ساروی، م.، صفدری، علی، سقفیان، ب. و مهدوی، م.، ۱۳۸۳. فرکانس شدت، مدت زمان و تحلیل منطقه خشکسالی حوضه کارون با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI). مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۴): ۷۰۷-۶۲۰.
- مرادی، ح.، عرفان زاده، ر.، ۱۳۸۰. بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه رود هراز، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل، دانشگاه زابل.
- ملکی‌نژاد، ح.، قادری، م.، ۱۳۸۰. مطالعه خشکسالی هیدرولوژیکی در آبخوان دشت سبزواری. هفتمین سمینار ملی مدیریت آبخیزداری، اصفهان، ۲۷-۲۸ آوریل.

Calow, R., Robins, N., Macdonald, A. and Nicol. A., 1999. Planning for groundwater drought in Africa. Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for SubSaharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 35: 255-270

Hu, K., Huang, Y., Li H., Li B., Chen, D., White, R.E., 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. Environ Int. 31 (6): 896-903.

Hayes, M., Svoboda, J., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1998. Monitoring the drought using the standardized precipitation index. Bulltein American Meteorol, Society, 80(3): 429-437.

Hardisty. P. E. and Ozdemiroglu. E. "The Economics of Groundwater Remediation and Protection," CRC Press: 3-9, 2004Chapman, T. G. (1986). Entropy as a measure of



hydrologic data uncertainty and model performance. *Journal of Hydrology*, 85(1-2), 111-126.

Keneth, H. F., 2003. Climate variation drought and desertification. Annual Report, Jevenva.

Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P., 2008. A Groundwater Resource Index for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*. 357: 282–302.

Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K., Kumar, A., 2007. the influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of hydrology*. 343: 140-153.

Scheidleder, A., Grath, J., Winkler, G., Sta`rk, U., Koreimann, C., Gmeiner, C., Nixon, S., Casillas, J., Gravesen, P., Leonard, J. and Elvira, M., 1999. Ground water quality and quantity in Europe. European Environment Agency.



## Investigating management and hydrogeological criteria on ground level changes in the plain of Sarayan

Fariba Niroumandfard<sup>1</sup>, Hossein Khozemyehnezhad<sup>2</sup>, Abbas Khashei-Siuki<sup>3</sup>

### Abstract

Groundwater resources in Iran, especially in the desert plains of southern Khorasan province are not in appropriate condition due to drought, increasing number of farming wells, and sustained pumping and they are subject to destruction and permanent groundwater withdrawal. This study mainly aims to investigate the factors affecting the groundwater withdrawal procedure in Sarayan plain (critical forbidden zone) located in South Khorasan province. In this research, groundwater withdrawal of Sarayan plain is investigated using SPI and GRI drought monitoring methods and fluid average, rainfall and drought effects. Also, using Arc GIS software, both drop and depth maps were drawn up for the years before and after the installation of a smart water meter for piezometric wells of the plain. The results indicate that the groundwater withdrawal reduction procedure has increased 14.36% during the 4-year period after the installation of the smart water meter compared to the 4-year period before its installation. The unit hydrograph of plain showed that groundwater withdrawal has dropped by 25 meters over a period of 23 years. Sustained groundwater pumping, the effects of successive droughts and consequent reduction of the aquifer recharge have been determined as the most important factors affecting groundwater withdrawal in Sarayan plain.

**Keywords:** SPI, GRI, smart water meter, withdrawal, sustained pumping, Sarayan plain

<sup>1</sup> Ph.D. student of water resources, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, [faribaniroumandfard@gmail.com](mailto:faribaniroumandfard@gmail.com)

<sup>2</sup> Associate Professor of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, [hkhoyemeh@birjand.ac.ir](mailto:hkhozemyeh@birjand.ac.ir)

<sup>3</sup> Associate Professor of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)