

ارزیابی اثر سدها بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد سلمان فارسی - استان فارس)

محسن رنجبر^۱ و نرجس امینی^۲

چکیده

بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولوژیکی مناطق مجاور خود است که از جمله این تغییرات می‌توان به تامین دبی پایه دائمی و تغییر در سطح اساس آبخوان‌های مجاور اشاره نمود. این تغییرات می‌تواند به نوعی در مقابله با خشکسالی مؤثر واقع شود. در این پژوهش سد سلمان و تأثیر آن بر نظام هیدرولوژیکی دشت قیر و کارزین و اثرات آن بر تغییرات سطح اساس آبهای زیرزمینی مورد بررسی می‌باشد تا بتوان میزان اثر این سد در مقابله با خشکسالی‌ها را برآورد نمود. روش‌شناسی مطالعه مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و آماری بود که بدین منظور از داده‌های ارتفاع آب زیرزمینی، سطح ایستابی در چاه‌های پیژومتری دشت، دبی چاه‌ها، دبی رودخانه قره‌آغاج، و میزان بارش منطقه برای دوره آماری ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ استفاده به عمل آمد. همچنین به منظور پردازش داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS، گزینه الحاقی Arc Hydro و Excel استفاده به عمل آمد. نتایج نشان دادند که طی دوره مورد بررسی ۱۰ دوره خشکسالی رخ داده است که بیشترین اثر این خشکسالی‌ها مربوط به یک دوره چهار ساله خشک (سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱) بوده است به طوری که دبی رودخانه را به صفر رسانده است. همچنین سد سلمان فارسی با تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه قره‌آغاج سبب ایجاد یک دبی پایدار در تابستان شده است. هرچند، به دلیل عدم تغذیه کافی آبخوان‌های دشت قیر و کارزین، سالانه ۵ میلیون مترمکعب از حجم ذخیره این آبخوان‌ها کاسته می‌شود و سطح آب در تمامی چاه‌ها رو به افت است که میزان این افت متفاوت است. بنابراین، می‌توان گفت که سد سلمان فارسی نتوانسته است میزان اثرات خشکسالی بر آب زیرزمینی را در مناطق پایین دست خود کاهش دهد یا حذف نماید.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، خشکسالی، آبخوان، سد، قیر و کارزین.

۱. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرری

۲. کارشناس ارشد ژئومرفولوژی، مدرس دانشگاه پیام‌نور آبان طشک

مقدمه

یکی از راه‌های توسعه کشورها و حرکت آنها به سوی تمدن و رفاه عمومی، استفاده بهینه و کارا از منابع طبیعی و خدادادی است. از جمله منابع بسیار مهم و حیاتی که در زندگی روزمره انسان‌ها و کشورها و تداوم تولیدات نقش فوق‌العاده دارد، منابع آبی است که به‌منظور تنظیم و کنترل مصارف آبی یک کشور، راه‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از این راه‌ها، احداث سد می‌باشد.

مفهوم توسعه پایدار منابع آب تأمین نیازهای جمعیت فعلی بدون اثر منفی بر توانایی تأمین نیازهای نسل‌های آینده می‌باشد (Bithas, 2008). کشور ایران بنا به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص از مناطق خشک جهان به شمار می‌رود، میزان بارندگی در ایران کمتر از یک سوم متوسط بارندگی کره زمین است (تقوایی، ۱۳۸۷). این مقدار بارندگی نیز پراکنش زمانی و مکانی مناسبی نداشته به طوری که ۶ درصد مساحت کشور بارش سالانه کمتر از ۵۰ میلی‌متر، ۴۶ درصد مساحت کشور بارش بین ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر، ۳۹ درصد مساحت کشور بارش بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و در ۸ درصد دیگر بارش بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر است و تنها یک درصد کشور در سال بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌دارد (کردوانی، ۱۳۸۷: ۶۲). شاخص بحران زمانی نامطلوب‌تر جلوه می‌کند که بدانیم در حالی که تقریباً یک درصد از جمعیت جهان در ایران زندگی می‌کنند سهم آن از کل منابع آب شیرین تجدید شونده دنیا تنها ۰/۳۶ درصد است (محمدی و شمسی‌پور، ۱۳۸۲، فلاح و دیگران، ۱۳۹۰). بنابراین به دلیل اهمیت فوق‌العاده آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارابه راهکارهای عملی و نو جهت استفاده بهینه از منابع آب ضرورت پیدا می‌کند. راهکارهای مقابله با بحران کم آبی در دو استراتژی "مدیریت صحیح منابع آب" و "استحصال از منابع جدید آب" خلاصه می‌شود که در کشور ما به دلایل جغرافیایی و اقلیمی، بهبود مدیریت بر منابع آبی از اولویت برخوردار بوده و نتایج بهتر و سریعتری خواهد داشت (داودی و همکاران، ۱۳۸۰).

با توجه به اهمیت آب به‌عنوان عنصر حیات بخش در نواحی مرکزی و جنوبی ایران سدهای این مناطق از کشور با ارتفاع بلند و مخازن بزرگ طراحی می‌شوند تا امکان ذخیره حداکثر آب فراهم شود اما ناچیز بودن دبی پایه به سبب کمبود بارش (حسن‌زاده و سفری، ۱۳۸۴) و بالا بودن نرخ تبخیر بالقوه در نواحی مرکزی و جنوبی کشور (کردوانی، ۱۳۸۷: ۴۲) و فرسایش و رسوب‌دهی

بالا، مانع دستیابی کامل و تحقق اهداف احداث سدها می‌شوند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵)؛ به‌گونه‌ای علاوه بر پرشدن دریاچه سدها (هر سال بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب از گنجایش مفید سدها بر اثر انباشته شدن رسوبات کاسته می‌شود) سالانه حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب آب شیرین از ذخیره سدهای کشور در این مناطق تبخیر می‌گردد. علاوه بر تمام موارد فوق‌الذکر، از آن جایی که حدود ۱۵ درصد از سطح کشور در مناطق داخلی از رسوبات تبخیری از نوع گچ و نمک و مارن پوشیده شده است و مهم‌تر از آن، حضور تعداد زیادی گنبد‌های نمکی در این مناطق بویژه دامنه‌های جنوبی زاگرس و رودهایی که به چاله بسته داخلی می‌ریزند، اکثر جریان‌های سطحی در این مناطق که به‌طور مستقیم با مواد شوری‌زا در تماس هستند، دارای کیفیت آب بسیار پایینی می‌باشند (کردوانی، ۱۳۸۷: ۴۰؛ معیری و احمدی‌نژاد، ۱۳۸۴) که این مسائل استفاده از آب‌های سطحی در مناطق مرکزی و جنوبی را محدود می‌کند و آب‌های زیر زمینی اهمیتی چندبرابر می‌یابند (پاپن، ۱۳۸۷). علی‌رغم موارد فوق‌الذکر، به دلیل نوسانات غیر قابل پیش‌بینی حجم بارندگی و رخداد خشکسالی‌های پی‌درپی و طولانی مدت در ایران (کردوانی، ۱۳۸۷: ۵۹-۶۰)، بویژه در نیمه جنوبی ایران، که موجب افت سطح آب‌های زیرزمینی و محدودیت استفاده از آن‌ها می‌شود، ساخت سد گزینه‌ی معقولی به نظر می‌رسد. ولی احداث سدها اگرچه دارای مزایای بسیاری هستند معایبی را نیز در پی دارند که از جمله آنها می‌توان به: تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه و منطقه، ایجاد یک سطح اساس موقت و تغییر در روند فرسایش-رسوبگذاری رودخانه، به زیر آب رفتن اراضی منطقه، شور شدن خاک‌های اطراف آن و هزینه بالا برای اجرا و ساخت و نگهداری آن‌ها اشاره نمود (غزالی، ۱۳۹۱: ۱۲۲). البته باید اذعان داشت که برخی از موارد نامبرده وجهه‌ای دوگانه دارند، بدین معنی که در شرایط خاصی می‌توانند جزء اثرات مثبت نیز تلقی گردند. از جمله اثرات دوگانه سدها تغییر در سطح آب‌های زیرزمینی است که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود. بنابراین با توجه به استفاده زیاد از منابع آب زیرزمینی و رخداد خشکسالی و کم آبی منطقه، بررسی اثرات سد سلمان فارسی در کاهش شدت خشکسالی‌های منطقه ضروری به نظر می‌رسد تا بتوان با بررسی این اثرات و در صورت مثبت بودن آن‌ها، نخست برنامه‌ریزی را به شیوه‌ی درست‌تری انجام داد و دوم در مناطق دیگری که خشکسالی را تجربه کرده‌اند یا می‌کنند، با احداث سد از شدت اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی کاست.

پیشینه پژوهش

انجام تحقیقات نظری و عملی برای دستیابی به تأثیرات سدها بر منابع هیدرولوژی و خشکسالی‌ها در ایران سوابق زیادی ندارد. ولی در جهان تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است که ابتدا به پژوهش‌های انجام شده در سطح جهان می‌پردازیم.

تامسون (۲۰۰۶) در تحقیقی تحت عنوان "تأثیر سد آسوان بر آبهای زیرزمینی" به مقوله فوق پرداخته و نشان داد که سدها می‌توانند نظام هیدرولوژیکی یک منطقه را عوض کنند. دیوید (۲۰۰۹) به تأثیر سد هوور در ایالت کلرادوی امریکا و نقش آن بر تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی پرداخته و خاطر نشان می‌کند که سدی همچون سد هوور می‌تواند علاوه بر تغییر نظام هیدرولوژیکی، حتی اقلیم یک منطقه را تغییر دهد. لورنز (۲۰۰۷) به اثرات سد ایتاپیو و نقش آن بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی منطقه برزیل پرداخته است و در پژوهش خود با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی به یک مدل جامع در این زمینه دست یافته است که وی بر این باور است که می‌تواند در دنیای واقعی به‌کار گرفته شود. هندرسون و همکاران وی (۲۰۰۹) به تأثیرات پدیده‌های ژئومورفولوژی در نظام هیدرولوژی اطراف سد موسی رک در ایالت متحده امریکا پرداختند که طی آن توانستند ارتباط معنی‌داری بین پدیده‌های ژئومورفولوژی با سدها به دست آورند. ویلهایت (۲۰۰۴) با مطالعه بر روی دشت‌های اطراف سد رالکو در کشور شیلی به نتایج قابل توجهی دست یافت که یکی از آنها رابطه بین خشکسالی‌ها و تأثیر سد مربوطه در کاهش خشکسالی‌ها بود به طوری که زمانی که سد پر از آب بود منطقه خشکسالی شدیدی را تجربه می‌کرد. در ایران نیز، کلانتری و همکارانش (۱۳۸۶) پارامترهای هیدروژئولوژیکی و اثر متقابل سد و شبکه آبیاری بر بالآمدگی آبهای زیرزمینی دشت بهبهان را بررسی کردند و راهکارهای عملی به‌منظور حل بحران را پیشنهاد دادند. بیاتی خطیبی (۱۳۸۶) در تحقیقی مشابه، به مقوله فوق پرداخته است و برای بررسی تأثیر احداث سدها در ایجاد تغییرات در پای آب‌ها و سراب‌های رودخانه‌های جاری در نواحی نیمه‌خشک، حوضه قرنقوچای، واقع در دامنه‌های شرقی سهند را انتخاب کرده است. دانائیان (۱۳۸۶)، نیز در تحقیقی به تأثیر سد زیرزمینی خرائق در توسعه پایدار حوزه آبخیز پرداخته است و هدف از اجرای این سد را بررسی تأثیر احداث سد زیرزمینی بر میزان آبدهی قنوات و امکان بهره‌برداری از منابع آب زیرسطحی به‌عنوان منابع تأمین آب پایدار در مناطق خشک و کم آب بیان می‌کند. رضایی (۱۳۸۸) در تحقیق با عنوان

“تأثیر سد تلوار در کیفیت آب رودخانه قزل اوزن وسطی” به مطالعه و تحقیق در این زمینه پرداخته است. نتایج کار وی نشان دادند که در حالت کلی دبی تمام ایستگاه‌های وی با عوامل کیفی دارای رابطه آماری معنی‌دار هستند. اما به صورت فصلی چنین وضعیتی تنها برای فصول پاییز و زمستان برقرار است. سعادت (۱۳۸۹) به بررسی اثرات زیست‌محیطی سد مارون بهبهان پرداخته است، در این تحقیق اثرات زیست‌محیطی احداث سد مورد بررسی قرار گرفته است و پیشنهادهایی برای بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی منطقه و محیط تحت اثر ارائه شده است و سرانجام کردوانی و دیگران (۱۳۹۱) در تحقیقی به ارزیابی سد خاکی لاور بر آبهای زیرزمینی دشت لاور فین پرداختند و نتایج بیانگر آن است که سطح آب‌های زیرزمینی در دوره مورد مطالعه سطح صعودی داشته به طوری که بیشترین مقدار در چاه پیژومتري شماره چهار به میزان ۲.۷ متر می‌باشد، بنابراین اجرای این طرح می‌تواند الگویی باشد برای مناطق مشابه که در منطقه مورد مطالعه و مناطق مجاور فراوان دیده می‌شود (کردوانی و دیگران، ۱۳۹۱: ۱).

مواد و روش‌ها

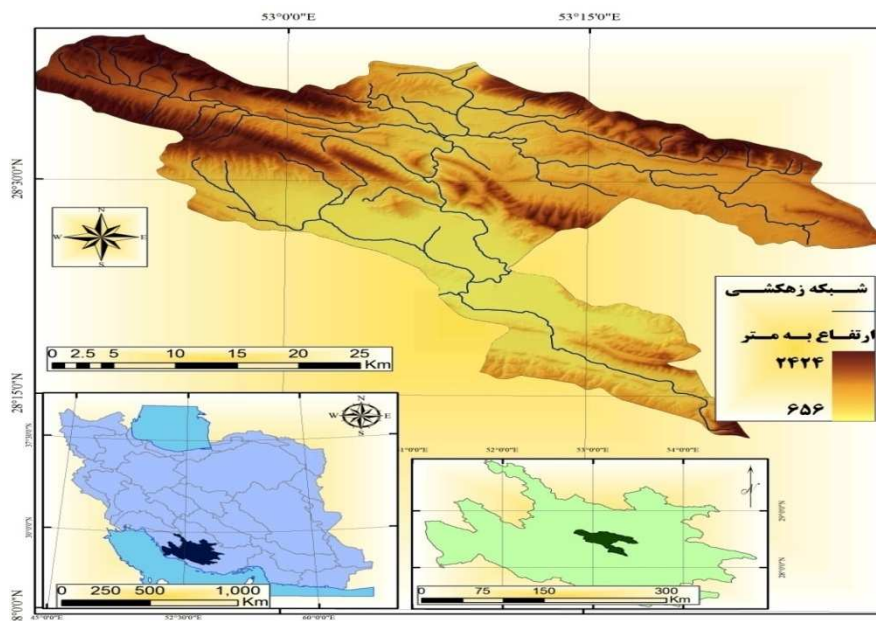
در این پژوهش روش‌شناسی مطالعه مبتنی بر آمار و مدل‌سازی است. به منظور مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات در مورد عناصر و عوامل اقلیمی و جغرافیایی مرتبط با اهداف پروژه، در مرحله اول از منابع کتابخانه‌ای و گزارش‌های موجود در مورد منطقه و سد سلمان استفاده به عمل آمد. داده‌های مربوط به بارش منطقه با استفاده از داده‌های ماهانه بارش مستخرج از سازمان هواشناسی کشور و اداره آب منطقه‌ای فارس و داده‌های مربوط به دبی رودخانه و سطح پیژومتريک چاه‌های منطقه نیز از شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران (تماب) اخذ گردید. در مرحله بعد پس از انجام تست همگنی و بررسی صحت داده‌ها و اطمینان از درستی آن‌ها یک پایگاه داده در محیط Arc-GIS تشکیل شد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار google earth داده‌های موردنیاز برای خصوصیات فیزیولوژیکی منطقه استخراج گردید. سپس با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه با دقت ۳۰ متر، خصوصیات ارتفاعی منطقه مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از گزینه الحاقی Arc Hydro زیرحوضه‌های منطقه استخراج شد. محاسبات مربوط به زیرحوضه‌ها نیز در محیط Arc-GIS انجام شد و با استفاده از داده‌های بارش منطقه و با به‌کارگیری شاخص بارش استاندارد (SPI) سال‌های خشکسالی و ترسالی منطقه و شدت هر دوره تعیین گشت و

روند کلی آن مشخص شد. در مرحله بعد، با توجه به توانایی سامانه اطلاعات جغرافیایی در درون‌یابی و تعمیم و تخمین مقادیر بینابینی، شاخص خشکسالی و سطح پیرومتریک به ازای هر سال برای منطقه درون‌یابی شد تا درک بصری بهتری از شدت خشکسالی در منطقه ارائه گردد و محدوده تأثیرگذاری سد بر آب‌های زیرزمینی اطراف تعیین شود. ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استخراج شدند (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ۱۳۸۸، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۸۸). ویژگی‌های خاک‌شناسی نیز از نقشه خاک منطقه و ویژگی‌های پوشش گیاهی نیز با استفاده از شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) مستخرج از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۵ سنجنده TM برای منطقه تعیین شد. بررسی توده‌های هوایی و سیستم‌های تأثیرگذار بر منطقه نیز با استفاده از مطالعات پیشین صورت گرفت. همچنین طی مطالعات، یک مرحله بازدید میدانی از محدوده سد و مناطق پایین‌دست آن جهت آشنایی بیشتر با منطقه صورت گرفت.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه با مساحت ۴۷۶۵۴ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است و بخش عمده این حوضه در استان فارس و بقیه در استان بوشهر قرار دارد. این حوضه به ۱۲ حوضه آبریز و ۴۸ محدوده مطالعاتی تقسیم شده است و بین طول‌های ۵۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۷ درجه و ۱۷ تا ۲۹ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع در این حوضه ۳۱۸۵ متر در خرمن کوه در شمال شرق حوضه و حداقل آن ۵ متر در حاشیه خلیج فارس می‌باشد. محدوده مطالعاتی قیر و کارزین با کد (۲۶۲۳) یکی از محدوده‌های حوضه آبریز رودخانه مند می‌باشد که حدود ۱۳۰۱ کیلومتر مربع وسعت دارد. مختصات این محدوده از طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی می‌باشد. این محدوده از شمال به محدوده‌های مطالعاتی حکان و دال سیمکان، از جنوب به محدوده‌های سیف‌آباد لاغر و دشت افزر، از شرق به محدوده مبارک‌آباد باروس و از غرب به

محدوده‌های مطالعاتی افزر و دهرم منتهی می‌شود (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۴).

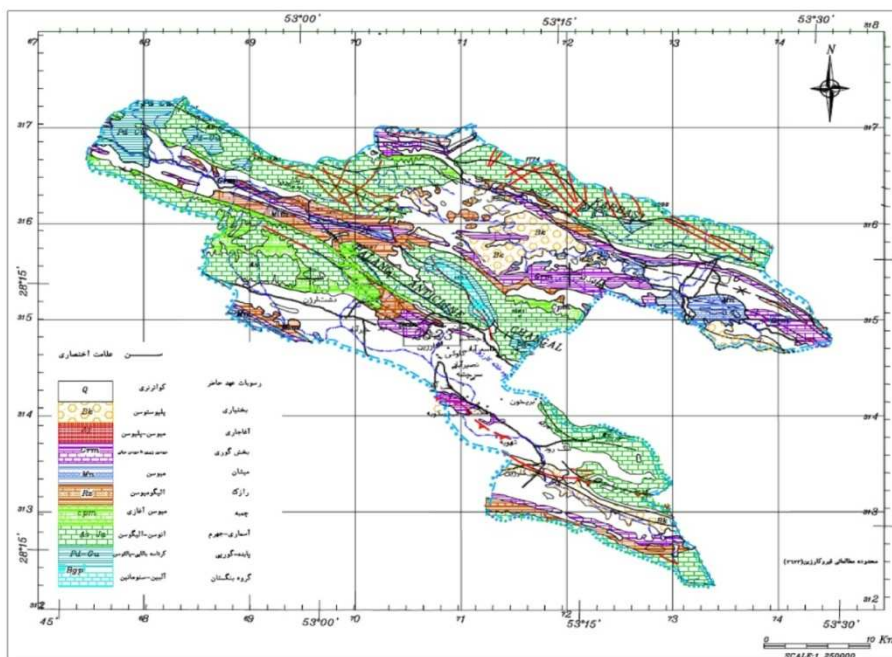


نقشه ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۲)

همچنین محدوده مطالعاتی قیر و کارزین در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و امتداد چین‌خوردگی‌های این منطقه نیز مانند امتداد عمومی چین‌خوردگی‌های زاگرس روند شمال غرب - جنوب شرق دارد. مهمترین ارتفاعات این منطقه شامل تاقدیس‌های پلنگان، ابهر، نگال، کرباسی، بندوست، نعره و آغار می‌باشد که سازند آسماری - جهرم در آنها بیشترین رخنمون را دارد. گسل‌های فرعی و تراستی مختلفی نیز در این محدوده وجود دارد که ژئومورفولوژی منطقه را تحت‌تأثیر قرارداده و همچنین خمش و پیچش در محور تاقدیسها ایجاد نموده است. سازندهای زمین‌شناسی این محدوده به ترتیب قدمت شامل گروه بنگستان، پابده-گورپی، آسماری- جهرم، چمپه، مول- چمپه، مول، رازک، آهک گوری، میشان، آغاجاری، بختیاری و آبرفتهای عهد حاضر می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۴) (نقشه شماره ۲).

جدول ۱: درصد رخنمون سازندهای زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام سازند	علامت اختصاری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱	گروه بنگستان	Bgp	۸/۴	۰/۶
۲	پابده - گوری	Pd-Gu	۴۹/۴	۳/۸
۳	آسماری - جهرم	As-Ja	۴۱۹/۵	۳۲/۲
۴	چمپه	Cpm	۶۱/۷	۴/۷
۵	مول - چمپه	Mlm-Cpm	۱۰/۲	۰/۸
۶	مول	Mlm	۴۴/۰	۳/۴
۷	رازک	Rz	۳۸/۴	۳/۰
۸	ممبرگوری	Grm	۱۱۰/۴	۸/۵
۹	میشان	Mn	۳۵/۰	۲/۷
۱۰	آغاجاری	Aj	۳/۹	۰/۳
۱۱	بختیاری	Bk	۸۱/۹	۶/۳
۱۲	رسوبات آبرفتی	Q	۴۳۸/۲	۳۳/۷
مجموع:				۱۰۰



نقشه ۲: زمین‌شناسی و سازندهای منطقه قیر و کارزین

متوسط بارندگی سالانه در سطح این محدوده، براساس نقشه همباران طی دوره ۳۵ سال (۱۳۸۰-۱۳۴۵) ۳۶۱ میلیمتر می‌باشد. میزان بارش براساس نقشه همباران وزارت نیرو از حداکثر ۵۰۰ میلیمتر در ارتفاعات تا حداقل ۳۰۰ میلیمتر در نواحی جنوب محدوده متغیر است. بررسی نقشه همدمای وزارت نیرو نیز تغییرات درجه حرارت را از حداقل ۱۲ درجه سانتیگراد در ارتفاعات شمال‌غربی تا حداکثر ۲۲ درجه سانتیگراد در نواحی مرکزی محدوده نشان می‌دهد. میانگین درجه حرارت در این محدوده برابر با ۱۷ درجه سانتیگراد می‌باشد.

میزان تبخیر سالانه از تشتک در سطح این محدوده برابر با ۲۹۶۲ میلیمتر می‌باشد. میزان تبخیر سالانه در نواحی کوه و دشت به ترتیب برابر با ۲۹۲۹ و ۳۰۳۶ میلیمتر است. خطوط هم تبخیر سالانه از حداکثر ۳۰۰۰ میلیمتر در نواحی مرکزی دشت تا حداقل ۲۴۰۰ میلیمتر در ارتفاعات تغییر می‌کند (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۴).

بر اساس بررسی‌های مربوط به نقشه خاک در منطقه، عمده خاک‌های منطقه در دو رده قابل جمع‌بندی هستند. بخش اول که از سنگ و واریزه‌های سنگی تشکیل شده‌اند از رده‌های مختلف آنتی‌سول و اریدی‌سول هستند که عمدتاً بر ارتفاعات منطقه منطبق می‌باشند. دسته دوم خاک‌های منطقه‌ای هستند. این خاک‌ها که در دو رده آنتی‌سول و اینسپتی‌سول جای دارند در عمده مناطق دشت‌های منطقه دیده می‌شوند. خاک‌های اینسپتی‌سول در منطقه حاصلخیز بوده و اراضی زراعی منطقه از جمله شهر قیر بر روی آن استقرار یافته‌اند.

Archi

بحث و یافته‌ها

در محدوده مطالعاتی قیر و کارزین تعداد ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای با نوسانات عمق سطح آب حداقل ۰/۶ و حداکثر ۳۳/۸ متر گزارش شده و از سال ۱۳۷۱ نوسانات عمق سطح آب این دشت اندازه‌گیری و ثبت شده است. براساس اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای هیدروگراف غرب و شرق رودخانه قیر و کارزین در این محدوده رسم گردیده که اشکال این هیدروگراف‌ها در بخش آب زیرزمینی نشان داده شده است. هیدروگراف‌های مذکور برای دوره آماربرداری اسفند ۱۳۷۱ لغایت شهریور ۱۳۸۰ تهیه شده است که نشان‌دهنده روند نزولی تراز سطح آب در این دوره هستند (جدول ۲).

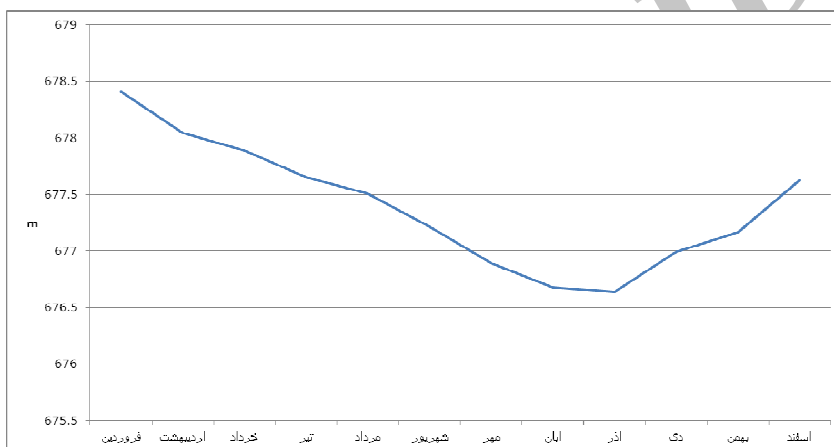
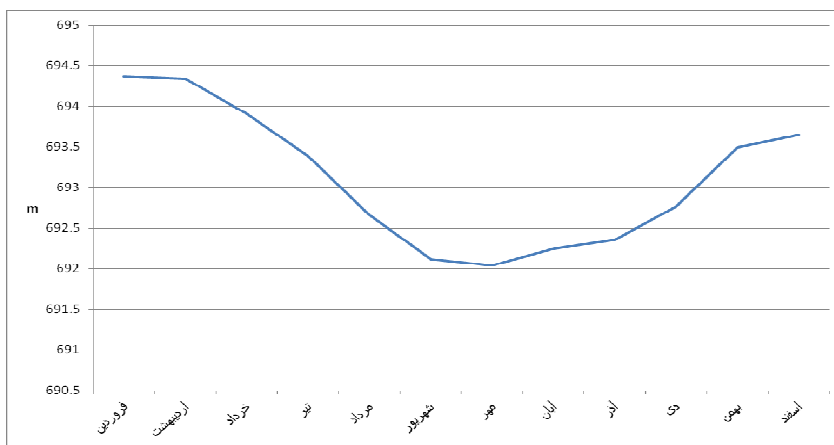
جدول ۲: بیلان محدوده مطالعاتی قیر و کارزین به تفکیک

تغییرات حجم ذخیره	تخلیه						تغذیه					وست محدوده بیلان (کلوسزبرین)	
	جمع تخلیه	خروجی زیرزمینی	تبخیر از آبخوان	زهکشی	تخلیه از چاه چشمه و قنات	تخلیه چاه‌های آمار برداری نشده	جمع تغذیه	نفوذ از آب شرب و صنعت	نفوذ از آب راضی	نفوذ از جریان‌های سطحی	نفوذ از بارندگی		چریان زیرزمینی ورودی
-۵/۳۶۳	۱۴۱/۵۴۲	۰/۰۰۰	۲/۲۳۵	۱۴/۹۰۴	۱۱۱/۰۰۵	۱۳/۳۹۷	۱۳/۱۱۷۹	۵/۱۶۲	۴۶/۷۳۰	۰/۶۰۳	۱۲/۴۰۳	۷۱/۲۸۱	۱۳۶

ارقام به میلیون مترمکعب در سال

منبع: شرکت مدیریت منابع آب ایران ۱۳۸۴

به منظور بررسی کامل و جامع تأثیرگذاری سد سلمان فارسی بر تغییرات آب زیرزمینی در مناطق پایین دست خود، روند تغییرات ارتفاع سطح آب زیرزمینی در غرب و شرق (به ترتیب نمودارهای ۱ و ۲) رودخانه قره‌آغاج به صورت فصلی و ماهانه مورد بررسی قرار گرفت.

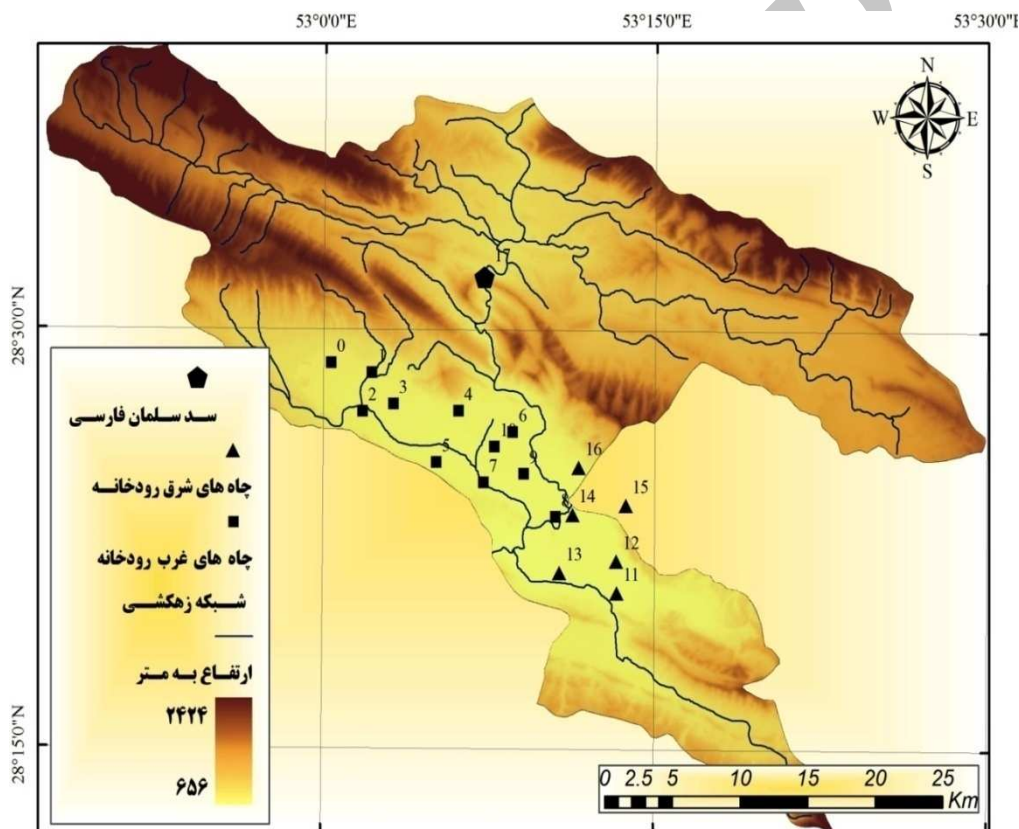


نمودار ۱ و ۲: تغییرات متوسط ماهانه ارتفاع سطح آب زیرزمینی حوضه قیر و کارزین (پس از سد) در چاه‌های مشاهداتی غرب رودخانه قره‌آغاج طی دوره مطالعه

با بررسی روند تغییرات ماهانه سطح آب زیرزمینی در غرب رودخانه قره‌آغاج مشاهده می‌شود که در حالت میانگین بین ماه‌های فروردین و اردیبهشت اختلاف چندانی مشاهده نمی‌شود. از ماه اردیبهشت روند نزولی سطح آب زیرزمینی آغاز می‌شود که با شیبی نسبتاً تند تا شهریور ادامه می‌یابد. از شهریور تا مهر نیز روند نزولی حاکم است، اما از مهر روند صعودی می‌شود. روند صعودی تا ماه آذر شیب ملایمی دارد ولی از آذر تا بهمن شیب افزایشی آن تندتر می‌گردد. از ماه بهمن تا اسفند نیز شیب تغییرات آهسته می‌گردد.

روند تغییرات در شرق رودخانه متفاوت از غرب رودخانه است. بدین صورت که از ماه فروردین روند کاهشی آن یا شیب ملایم‌تری آغاز شده و تا آذر ادامه می‌یابد. از ماه آذر با شیب نسبتاً تندی سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر روند تغییرات آب زیرزمینی، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای میزان تغییرات هر چاه به تفکیک محاسبه و بررسی شد. نقشه (۳)، موقعیت مکانی چاه‌های مذکور را نمایش می‌دهد. شماره روی هر چاه به همراه نام و سایر مشخصات آن چاه نیز در جدول (۳) به نمایش گذاشته شده است.



نقشه ۳: موقعیت چاه‌های سنجش و ویژگی‌های آب زیرزمینی حوضه قیر و کارزین (نگارندگان، ۱۳۹۲)

جدول ۳: مشخصات چاه‌های سنجش ویژگی‌های آب زیرزمینی

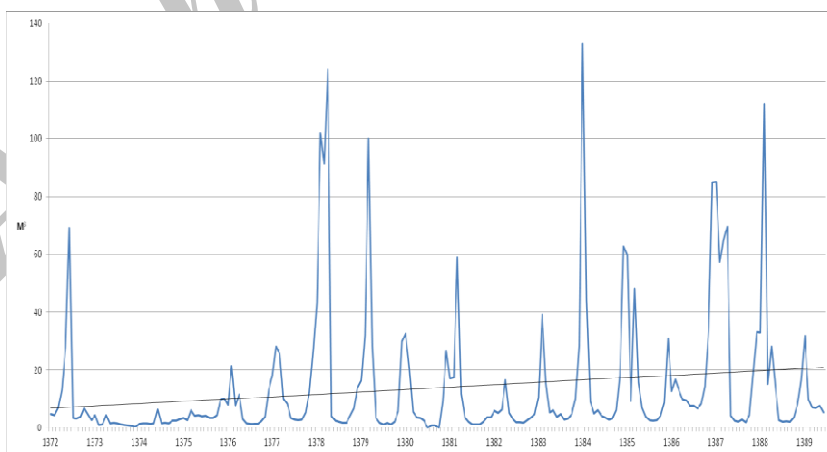
شماره	محل پایش ویژگی‌های آب زیرزمینی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	موقعیت نسبت به رودخانه
۰	قنات ماه درخشان	696361	3152071	746.737	غرب
۱	شرق بهشت‌زهرا	699399	3151462	736.778	غرب
۲	جنوب غرب قیر قدیم	698759	3148914	720.712	غرب
۳	خیرآباد	701030	3149459	715.711	غرب
۴	نجف‌آباد	705836	3149082	704.016	غرب
۵	شمالغرب فتح‌آباد	704277	3145667	698.458	غرب
۶	جنوب غرب شهرک امام	709889	3147790	700.535	غرب
۷	شرق فتح‌آباد	707789	3144396	689.27	غرب
۸	شرق سرچشمه	713166	3142266	681.441	غرب
۹	شمال سرچشمه	710743	3145033	689.092	غرب
۱۰	قبرستان فخرآباد	708557	3146792	697.93	غرب
۱۱	شمال تنگ روئین قدیم	717808	3137321	688.21	شرق
۱۲	جنوب حیدرآباد	717707	3139405	686.329	شرق
۱۳	شمالشرق نهویه	713543	3138555	678.56	شرق
۱۴	شمال بریخون قدیم	714415	3142417	682.078	شرق
۱۵	پوزه هزار قدمی	718328	3143102	697.021	شرق
۱۶	شمال علی‌آباد	714810	3145548	706.643	شرق

ماخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران ۱۳۸۴

بر اساس نقشه شماره (۳)، تعداد ۱۶ حلقه چاه در منطقه وجود دارد که همگی در پایین‌دست سد احداث شده‌اند. بنابراین، با توجه به آمار موجود امکان سنجش میزان تغییرات آب زیرزمینی در بالادست سد وجود ندارد و سنجش میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی تنها در پایین‌دست سد امکان‌پذیر است. با توجه به آبگیری نهایی سد سلمان فارسی در سال ۱۳۸۵، از این قسمت

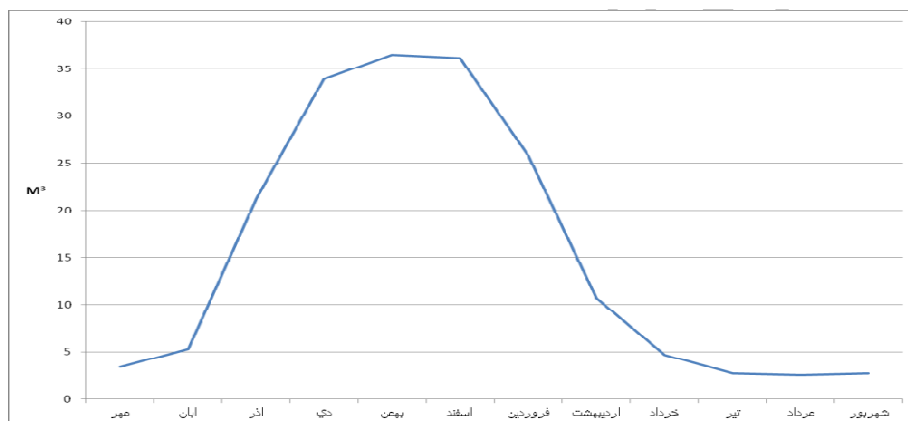
پژوهش به بعد بر داده‌های سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ بیش از سایر سال‌ها تمرکز می‌نماییم تا بتوان میزان اثرات سد بر آبخوان‌های پایین دست را ارزیابی نمود.

جهت بررسی دقیق‌تر اثرات سد بر خشکسالی و آب‌های زیرزمینی، هیدروگراف رود قره‌آغاج نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این امر بر اساس این فرض صورت گرفت که در مناطق خشک و به‌طور کل در هر منطقه‌ای که سطح ایستابی از ارتفاع بستر رود پایین‌تر باشد، رود موجب تغذیه آبخوان‌ها می‌شود. بنابراین، احتمال تغذیه آبخوان‌های دشت قیر و کارزین توسط رود قره‌آغاج وجود دارد. یکی از اثرات سدها بر رودخانه‌های پایین دست خود تنظیم آب خروجی برای تأمین آب دائمی رودها است. بنابراین از سدها انتظار می‌رود که طی دوره‌های خشکسالی بتوانند جریان آب دائمی برای رودخانه پایین دست خود فراهم سازند. بررسی روند دبی در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ نمایشگر روند صعودی دبی در حدود ۰/۹۵ مترمکعب در هر سال می‌باشد. نکته جالب توجه عدم تأثیرپذیری دبی از بارش و رفتار عکس این دو متغیر است. ضریب همبستگی بین دبی و بارش در منطقه قیر و کارزین برابر ۰/۱۵۳- می‌باشد که معنادار نیست، اما منفی بودن آن نشان از روند معکوس دبی و بارش در مقایسه با یکدیگر دارد. نکته جالب‌تر عدم تأثیرگذاری بارش زیاد سال ۱۳۷۴ بر دبی است. اما خشکسالی‌های پیاپی سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ سبب شد تا دبی رودخانه در شهریور ۱۳۸۱ به صفر برسد. این مسأله طی دوره ۵۰ ساله دبی بی‌سابقه است. نکته جالب افزایش دبی تابستانه از حدود ۲/۴ مترمکعب به ۲/۸۵ مترمکعب پس از احداث سد بوده است.



نمودار ۳: دبی ماهانه رود قره‌آغاج در محل تنگ کارزین طی دوره مورد بررسی

مطالعه هیدروگراف سالانه رود قره‌آجاج نشان‌دهنده بیشینه دبی در ماه‌های دی تا اسفند است. کمترین دبی سالانه نیز در ماه‌های تیر تا شهریور جریان می‌یابد. متوسط دبی فصل زمستان برابر $39/97$ مترمکعب بر ثانیه و متوسط دبی تابستان برابر $2/89$ مترمکعب بر ثانیه است. بنابراین، با توجه به دبی اندک تابستانه، می‌توان گفت که سد تا حدودی توانسته است که دبی پایه را در این فصل افزایش دهد، اما این افزایش در حدی نیست که بتواند سفره‌های آب زیرزمینی را تغذیه نماید. به عبارتی دیگر، سد سلمان فارسی توانسته است اثرات خشکسالی را بر آب‌های سطحی کاهش دهد، اما نتوانسته است اثرات این پدیده اقلیمی را بر آب‌های زیرزمینی کنترل و تعدیل نماید.



نمودار ۴: هیدروگراف ماهانه رود قره‌آجاج در محل تنگ کارزین طی دوره مورد بررسی

بررسی وضعیت خشکسالی در منطقه قیر و کارزین حاکی از رخداد ۱۰ خشکسالی و ۸ ترسال طی دوره مورد بررسی بودند، که بیشترین شدت ترسالی در سال ۱۳۷۴ و کمترین شدت آن در سال ۱۳۷۷ و بیشترین شدت خشکسالی در سال ۱۳۸۷ و کم شدت‌ترین خشکسالی در سال ۱۳۸۹ به ثبت رسیده است. همچنین با گذشت زمان تعداد سال‌های خشکسالی و شدت آنها افزایش یافته است. مطالعه روند بارش‌ها در منطقه نمایش‌دهنده کاهش نسبی بارش در مقایسه با گذشته است به طوری که شیب عمومی بارش با نرخ ۵ میلیمتر در سال کاهش می‌یابد؛ که با توجه به اندازه حوضه در منطقه و با این روند بارشی سالانه ۶ کیلومترمربع از حجم آب باریده

شده بر سطح منطقه کاسته می‌شود. به علاوه نوسانات بارندگی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۸۹ بسیار بیشتر شده‌اند که این نشان‌دهنده عدم توانایی در اطمینان به بارش‌های منطقه می‌باشد. بر اساس مطالعات سال ۱۳۷۴ بیشترین شدت ترسالی و سال ۱۳۸۷ بیشترین شدت خشکسالی را دارا هستند که میزان آب دریافت شده به صورت بارش در این سالها از حدود ۸۷۰ کیلومترمکعب تا ۷۰ کیلومتر تغییر کرده است.

علیرغم وجود نوسانات بارشی به صورت دوره‌های ترسالی و خشکسالی، روند سطح آبهای زیرزمینی دشت قیر و کارزین در آبخوان‌های غرب و شرق رودخانه (صرفنظر از تغییرات ماهانه) نزولی است. همچنین مطالعات نشان داد که تغییرات حجم و نوسانات ماهانه آبخوان غرب رودخانه بیشتر از آبخوان شرق رودخانه است و علاوه بر این آبخوان غربی محدوده وسیع‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد.

نکته بسیار مهم همبستگی بسیار قوی بین تغییرات ذخیره آبخوان‌های شرقی و غربی در منطقه است. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین تغییرات ماهانه این دو آبخوان برابر ۰/۹۹۵۶ می‌باشد که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و حاکی از رفتار بسیار شبیه به هم این دو آبخوان می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده تفاوت رفتار در آبخوان در پاسخ به بارش سالانه است. در حالی که تغییرات حجم ذخیره آب در هیچیک از دو آبخوان با بارش همبستگی معناداری ندارد، اما ضریب همبستگی در آبخوان غربی ۰/۳۳ و در آبخوان شرقی ۰/۰۹ است. این تفاوت نشان‌دهنده این است که رفتار بارش با رفتار آبخوان غربی شباهت بیشتری دارد.

مطالعات در مورد ارتباط سطح آب زیرزمینی با بارش‌ها نشان دادند که بارش حدود ۷۰۰ میلیمتر در سال ۱۳۷۴ سبب افزایش سطح آب زیرزمینی به میزان اولیه خود شده است اما خشکسالی ۴ ساله طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ سبب افت شدیدی سطح آب زیرزمینی شده است. همچنین افزایش بارش در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ موجب افزایش سطح آب شده است که به دلیل تخلیه بیش از اندازه آبخوان طی سال‌های خشکسالی به حدی نبوده است که بتواند سطح آب را به میزان اولیه خود بازگرداند. هرچند، این افزایش سبب شدت تا در خشکسالی نسبتاً شدید سال ۱۳۸۴ (که دومین خشکسالی دوره مورد بررسی به لحاظ شدت است) سطح آب زیرزمینی کاهش نیابد. همچنین بارش سال ۱۳۸۵ سبب افزایش اندک سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۶ شد، اما خشکسالی سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ (شدیدترین خشکسالی دوره) سبب افت

شدید سطح آب زیرزمینی شد، به صورتی که حتی بارش‌های سال ۱۳۸۸ نیز قادر به جبران آن نبود. بنابراین، علیرغم نوسانات بارش در منطقه، رفتار آبخوان‌ها و سطح آب زیرزمینی به صورت نزولی بوده است.

به‌منظور تحلیل اثر سد سلمان بر سطح آب زیرزمینی منطقه از داده‌های چاه‌های مشاهداتی منطقه استفاده به عمل آمد. مشاهدات نشان دادند که طی دوره مذکور سطح ایستابی در تمامی چاه‌ها (صرفنظر از روند ماهانه) روندی افزایشی را در پی داشته است (که به معنی افزایش عمق آب می‌باشد). مطالعه رفتار چاه‌ها به تفکیک نشان داد که در برخی از چاه‌ها، از سال ۱۳۸۵ به بعد که سال‌های آبیگری سد می‌باشند، از دامنه نوسانات ماهانه کاسته شده است که می‌توان این مسأله را به اثرات سد نسبت داد؛ اما در برخی دیگر از چاه‌ها نه تنها چنین رفتاری مشاهده نمی‌شود، بلکه دیده می‌شود که هیچ تغییری در رفتار سطح آب زیرزمینی رخ نداده است و یا بعضاً از سال ۱۳۸۵ به بعد نوسانات ماهانه بیشتر هم شده‌اند.



نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که سدها باعث برهم زدن نظام هیدرولوژیکی مناطق بالادست و پایین‌دست خود می‌گردند که اثرات این تغییرات به صورت تغییر سطح آب زیرزمینی مناطق اطراف، شور شدن خاک‌ها، برهم زدن نظام هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و... می‌گردند. عمده‌تأثیر سدها در بالادست خود سبب افزایش سطح آب زیرزمینی و در پایین‌دست خود سبب کاهش سطح آب می‌گردند. مطالعه حاضر نشان داد که سد سلمان با کاهش دبی رودخانه قره‌آغاج سبب تغذیه کم‌تر مناطق پایین‌دست خود شده است که در نتیجه آن نظام هیدرولوژیکی مناطق پایین‌دست بر هم خورده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد بارش، سبب تغذیه آب‌های سطحی و زیرسطحی در هر منطقه می‌گردد و معمولاً سفره‌های آب زیرزمینی دارای پاسخ هیدرولوژیکی متفاوتی هستند، اما در کل منبع آب این سفره‌ها بارش است. به دلیل پاسخ متفاوت سفره‌ها به شرایط بارشی، در کوتاه مدت نمی‌توان اثرات بارش را بر سفره‌های زیرزمینی بررسی کرد، اما در درازمدت این اثرات قابل بررسی‌اند. با توجه به بررسی‌ها بارش‌های منطقه با سطح آب زیرزمینی و حجم ذخیره با تأخیر حدود یک ساله همبستگی نسبتاً قوی و مثبت نشان می‌دهند. بنابراین بین بارش‌های منطقه با سطح آب زیرزمینی در منطقه

ارتباط معناداری وجود دارد. به‌طور کلی، یکی از اثرات سدها تنظیم آب خروجی برای تامین آب دائمی، بویژه در مناطق خشک می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود که طی دوره‌های خشکسالی، سد بتواند آب دائمی برای رودخانه پایین‌دست خود فراهم سازد. با توجه به یافته‌های پژوهش بیشینه دبی رودخانه در ماه‌های بهمن و اسفند رخ می‌دهد و دبی رودخانه در ماه‌های تابستانی کمینه است، بنابراین سد نه تنها دبی را تنظیم نکرده است بلکه مقدار آن را نیز کاهش داده است. بدین ترتیب آبخوان‌های زیرزمینی تأمین نشده‌اند و بنابراین سد در کاهش اثرات خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی موفق نبوده است. بنابراین می‌توان گفت که سد سلمان در کاهش دوره‌های خشکسالی مؤثر نبوده است.

و سرانجام، انجام مطالعات آب‌های زیرزمینی نیازمند وجود داده‌های طولانی مدت با اعتبار مناسب می‌باشد. نکته مهمتر در مورد این داده‌ها پراکندگی مکانی و توزیع فضایی مناسب چاه‌های پیژومتریک در منطقه است که در این مورد باید توجه شود که چاه‌های پیژومتریک هم در بالادست و هم در پایین‌دست سد احداث شده باشند. بدین منظور، جهت انجام مطالعات آتی پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- انتخاب مکان مناسب جهت انجام چنین پژوهش‌هایی ضروری است. مکان مناسب باید دارای ویژگی‌هایی از قبیل: پراکندگی مناسب چاه‌های پیژومتریک، هم در بالادست و هم در پایین‌دست سد باشد تا بتوان به‌طور دقیق و مؤثری اثرات احداث سد بر خشکسالی را ارزیابی نمود.
- بهترین مناطق و دوره‌های زمانی جهت مطالعه‌ی اثرات خشکسالی، مکان‌هایی است که سد قبل از رخداد خشکسالی احداث و آگیری شده باشد. به لحاظ زمانی نیز مناسب‌ترین مواقع، آن دسته از دوره‌هایی هستند که یک دوره خشکسالی طولانی مدت در آنها رخ داده باشد تا بتوان اثرات خشکسالی را بر کاهش آب زیرزمینی به‌طور مناسبی نمایش داد.
- استفاده از مدل‌سازی سه بعدی نیز می‌تواند جهت نمایش گرافیکی و رقمی وضعیت آبخوان‌ها و کمیت آب زیرزمینی مناسب باشد.

منابع

۱. بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵)، نقش ترکیبی عوامل زمین شناسی، ژئومورفولوژی و تغییرات آب و هوایی، در کاهش کیفیت پشت سدها و تقلیل عمر مفید آنها در نواحی نیمه خشک، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب؛
۲. پاپن، پیوند (۱۳۸۷)، بهره‌برداری از منابع آب با احداث سدهای زیرزمینی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، مهرماه؛
۳. تقوایی، علی اصغر (۱۳۸۷)، مدیریت تخصیص بهینه منابع آب با رویکرد به شناسایی آبخوانها به عنوان مخازن طبیعی سدهای زیرزمینی، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه؛
۴. حسن‌زاده، مهدی؛ سفری، سپیده (۱۳۸۴)، کاربرد سدهای لاستیکی با توجه به شرایط اقلیمی در ایران، دوازدهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، آبان ماه؛
۵. داودی، محمدهادی؛ طباطبایی‌یزدی، جواد و سعید، نبی‌پی‌لشکریان (۱۳۸۰)، مدیریت و استحصال آب به کمک سدهای زیرزمینی، نخستین همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوضه‌های آبخیز؛
۶. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۸)، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰؛
۷. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۸)، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه؛
۸. شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۸۴)، گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه مند و حوزه‌های بسته هرم، کاریان و خنج، جلد دوم، آب منطقه‌ای استان فارس؛
۹. غزالی، سمانه (۱۳۹۱)، ارتباط متقابل میان سطح آب دریاچه پریشان و آب‌چاه‌های اطراف آن با توجه به برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۴، شماره ۲؛
۱۰. فلاح، سیفالله؛ قبادی‌نیا، مهدی؛ شکرگزلر دارابی، محسن و شجاع قربانی دشتکی (۱۳۹۱)، بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس، مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۲؛
۱۱. کردوانی، پرویز (۱۳۸۷)، منابع و مسایل آب در ایران، جلد اول، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران؛
۱۲. کردوانی، پرویز (۱۳۸۷)، منابع و مسایل آب در ایران، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران؛
۱۳. کردوانی، پرویز؛ موغلی، مرضیه و حامد فرضی (۱۳۹۱)، ارزیابی سد خاکی لاور بر آب‌های زیرزمینی دشت لاور فین (بندرعباس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۵؛

۱۴. محمدی، حسین‌مراد؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۸۲)، تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵؛
۱۵. معیری، مسعود؛ احمدی‌نژاد، یعقوب (۱۳۸۷)، پدیده دی‌آپیرسم و تأثیر آن بر آلودگی رودخانه شور دهرم، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۵۶؛

16. Bithas, K. (2008), The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience. *Ecological Economics* 68: 221-229.

Archive of SID