

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۷، تابستان ۱۳۹۲

وصول مقاله : ۱۳۹۱/۷/۲۸

تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۳/۲۶

صفحات : ۹۶ - ۸۵

بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه

دکتر احمد عباس‌نژاد^۱، علیرضا شاهی‌دشت^۲

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سیرجان، شناسایی و ارزیابی پیامدهای ناشی از برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی و ارائه راهکارهای مفید برای مشکلات پیش‌رو است. بدین منظور کلیه اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شده است. نقشه‌های کیفیت شیمیایی و هم‌عمق سطح آب زیرزمینی منطقه به کمک نرم‌افزار ArcGIS رسم و پس از آن اضافه برداشت، افت سطح ایستابی، کسری مخزن و تغییرات شوری آب زیرزمینی در قسمت‌های مختلف دشت محاسبه گردید. طبق محاسبات انجام شده سطح آب زیرزمینی دشت طی سال‌های گذشته همواره دارای سیر نزولی بوده است، بطوری‌که از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به طور متوسط سالانه حدود ۸۰ سانتیمتر افت داشته است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت، پیامدهایی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین، از بین رفتن اکوسیستم منطقه و خشک شدن باغات و... را نیز به دنبال داشته است. بنابراین چنانچه اقدام جدی و مؤثری در این زمینه صورت نگیرد، در آینده این منطقه نه تنها با تشدید این پیامدها، بلکه با مشکلات اقتصادی و اجتماعی نیز مواجه خواهد شد.

کلیدواژگان: آب‌های زیرزمینی، برداشت بی‌رویه، افت سطح آب، نشست زمین، دشت سیرجان.

مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب برای کشاورزی، صنایع و آشامیدن هستند. بنابراین با توجه به کمبود منابع آب سطحی و نیز رشد سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی، این منابع نقش مهمی را در زندگی بشر امروز ایفا می‌نمایند. از آنجا که فعالیت‌های انسانی در بسیاری از موارد به توازن موجود در طبیعت آسیب وارد می‌کند، پمپاژ بیش از حد تعادل سفره‌های آب زیرزمینی سبب افت سطح آب و تهی شدن سفره‌ها گردیده است. برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در مکزیکوسیتی موجب شده که در اثر افت سطح آب طی ۶۰ سال گذشته، سطح زمین در بعضی جاها تا ۵ متر نشست نماید. همچنین نشست زمین در فونیکس، لاس‌وگاس، هوستون و کالیفرنیا، نیگاتا در شمال ژاپن، وایراکی در نیوزیلند خساراتی به بار آورده است (بوتکین و کِلر^۱، ۱۳۸۶: ۳۹۹-۳۹۰). مشکل مشابهی از دنور کلرادو، آریزونا (مور^۲، ۲۰۰۵: ۳۴۳-۳۴۱)، کلکته در هندوستان (چاترجی^۳، ۲۰۰۶: ۱۸۵-۱۷۶)، بانکوک در تایلند (فین‌ویج^۴، ۲۰۰۶: ۲۰۱-۱۸۷) و دشت‌های مهم ازبکستان و آذربایجان (بیبا^۵ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۸۱-۱۶۷) نیز گزارش شده 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.

در سال‌های اخیر مشکل افت سطح آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌ها در اکثر دشت‌های ایران گزارش شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به دشت‌های رفسنجان (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷: ۳۱-۳۰)، زرنده‌ساره (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۷۹: ۷۰۷-۷۰۱)، زنجان (عبدی

و همکاران، ۱۳۷۹: ۵۷۱-۵۶۱)، همدان (فاطمی‌عقدا و همکاران، ۱۳۸۰: ۷۰۱-۶۹۳)، اختیارآباد کرمان (عباس‌نژاد، ۱۳۸۳: ۳۵-۲۸)، شمسی، بفرئوبه و میبد (میراب‌باشی و دانائیان، ۱۳۸۴: ۱۵۲۴-۱۵۲۰)، جنوب و جنوب غرب تهران (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۴)، کاشان-آران و بیدگل، گلپایگان، مهبیار و اصفهان (قیومی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۲۹۹-۱۲۹۵)، مشهد، نیشابور، جنگل و مه‌ولات (ولایتی، ۱۳۸۴: ۲۸۳-۲۷۵)، فامنین-کبودرآهنگ (امیری، ۱۳۸۴: ۱۴۷-۱۳۴)، کاشمر (شکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۴۳۸-۲۴۲۸)، فریمان- تربت جام (شکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۹۴۷-۹۴۲ و ۱۳۸۷: ۸۸۶-۸۸۰)، کرمان، رفسنجان، جیرفت و زرنده (شاهی‌دشت، ۱۳۸۷: ۱۷۸-۲۶)، شمس‌آباد قم (ولی‌پور و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۹۱-۶۸۳) و فیروزآباد (فتحی‌وزیباپی، ۱۳۸۹: ۱۶۵-۱۵۵) اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

دشت سیرجان در قسمت غربی استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۵۷° و ۵۴° تا ۲۶° و ۵۶° طول شرقی و ۴۷° و ۲۸° تا ۵۸° و ۲۹° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). دشت سیرجان دارای سه رودخانه اصلی با رژیم دائمی یا فصلی است که عبارتند از تنگویی، اسطور و حسین‌آباد.

حدود ۲۴۰۰۰۰ نفر در دشت سیرجان و حومه آن زندگی می‌کنند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، ۱۳۸۵: ۴۴۶). نظام اقتصادی این منطقه بر پایه فعالیت در بخش کشاورزی استوار است و مشخصه‌های اقتصاد روستایی را داراست به طوری که حدود ۹۸٪ از حجم آب برداشت شده از سفره‌های آب زیرزمینی صرف فعالیت‌های کشاورزی بخصوص پرورش باغات پسته می‌شود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۷).

1-Botkin and Keller

2-Moore

3-Chatterjee

4-Phien-wej

5-Baba

زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه جریان‌های تغذیه‌ای و جهت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید. برای بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی نیز نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آب ۷۰ حلقه از چاه‌های بهره‌برداری قسمت‌های مختلف دشت طی دوره‌ی ۶ ساله (۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵) مورد استفاده گرفت. با به کارگیری نرم‌افزار ArcGIS، نقشه میزان هدایت الکتریکی آب در قسمت‌های مختلف دشت برای هر سال و نیز نقشه تغییرات میزان شوری طی این مدت به دست آمد.

جهت تعیین قابلیت مصرف آب‌های زیرزمینی این دشت نیز نمودارهای شولر، پایپر و ویلکوکس برای نمونه‌های آب، ترسیم و در ادامه مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و کربنات‌سدیم باقیمانده (RSC) محاسبه و خطر شوری، تیپ و رخساره آب نواحی مختلف دشت مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از نتایج به دست آمده میزان کسری مخزن سفره، تغییرات میزان انرژی استحصال آب، تغییرات آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی و... محاسبه و با مطالعات میدانی، پیامدهای حاصل از تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین جهت ارائه دورنمایی کلی از وضعیت آبی منابع آب زیرزمینی، به پیش‌بینی شرایط برای هریک از چاه‌ها و به‌طور میانگین برای کل دشت اقدام گردید.

نتایج و بحث

- هواشناسی

بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی کرمان (۱۳۸۷) متوسط دمای سالانه منطقه ۱۷/۵ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه سینوپتیک سیرجان ۹۹/۷ میلی‌متر و در سطح کل دشت ۱۴۵ میلی‌متر است. میانگین سالیانه رطوبت نسبی در منطقه ۳۳/۷ درصد است که دامنه آن از ۲۱/۵ درصد در مردادماه تا ۴۹/۷



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در نقشه‌ی استان کرمان
مأخذ: نگارندگان

به منظور شناخت و ارزیابی آثار برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت سیرجان و آسیب‌پذیری منطقه از این مسأله، ابتدا اطلاعات موجود مربوط به منابع آبی و هیدروژئولوژیکی دشت مورد بررسی قرار گرفت و دوره‌ی زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به دلیل کامل‌تر بودن اطلاعات آن نسبت به سال‌های دیگر، مبنای کار قرار گرفت. پس از آن اطلاعات هواشناسی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه از منابع مختلفی همچون اداره هواشناسی کرمان، شرکت آب منطقه‌ای کرمان، سازمان زمین‌شناسی و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جهت مطالعه تغییرات کمی آب زیرزمینی، اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی و متوسط سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای دشت وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و با استفاده از روش درون‌یابی، نقشه هم‌عمق سطح آب در سال‌های مختلف رسم و با کسر از یکدیگر نقشه میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت برای این دوره‌ی ۶ ساله تهیه گردید. با استفاده از خطوط تراز سطح آب و نقشه‌ی

جدول ۲: میزان بارش (میلیمتر) در ایستگاه‌های سنوپتیک سیرجان و هیدروکلیماتولوژی فیروزآباد

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط دما	۱۹/۶	۱۲/۶	۸/۹	۶/۳	۷/۱	۱۱/۳	۱۵/۵	۲۰/۶	۲۵/۴	۲۸/۹	۲۷/۸	۲۵/۵

بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی کرمان، ۱۳۸۷ و شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۷.

- هیدروژئولوژی

سفره‌ی آبرفتی دشت سیرجان از نوع آزاد بوده و آبرفت‌های دوره کوتاه‌تر ساختمان اصلی آن را تشکیل می‌دهد. رسوبات نواحی شمالی دشت درشت‌دانه و دارای تخلل مفید و نفوذپذیری بالا و به سمت نواحی غربی و جنوبی با فاصله گرفتن از محورهای رسوبگذاری به تدریج قطر ذرات و نفوذپذیری سفره کاهش می‌یابد. ضخامت سفره در قسمت شمال شرقی و جنوب دشت بیش از سایر مناطق بوده و به طرف ارتفاعات و حاشیه غربی به حداقل می‌رسد. عمده تغذیه سفره آبرفتی سیرجان توسط ارتفاعات بخش شمال شرقی - شرق و جنوب شرقی به ویژه آهک‌های متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی صورت می‌گیرد (شکل ۲). جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت نیز از سمت شمال شرقی و شرق به سمت جنوب و جنوب غربی می‌باشد (شکل ۳). به دلیل دانه‌بندی بسیار ریز و فشردگی رسوبات حاشیه غربی و جنوبی، آب زیرزمینی دشت به خارج از آن جریان ندارد (مهندسین مشاور مه‌آب قدس، ۱۳۸۶: ۴۳).

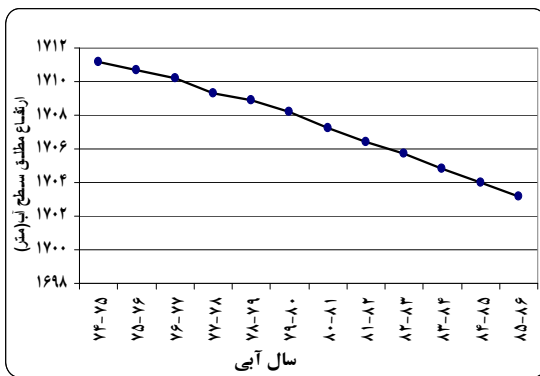
درصد در دی ماه متغیر است. باد غالب دشت سیرجان در طول سال، عمدتاً از جهت جنوب شرق بوده و ضعیف‌ترین باد هم باد شرقی باشد. بادهای غالب در فصول زمستان باد شرقی، در بهار باد غربی، در تابستان باد شمالی و در پاییز باد جنوب شرق است. در سطح شهرستان سیرجان بادهای موسمی هم می‌وزد که بیشترین آن در دو نوبت (۹۰ روز در سال) و به صورت متناوب اتفاق می‌افتد که نوبت اول از نیمه‌ی اول اسفند تا نیمه‌ی اردیبهشت و نوبت دوم از نیمه‌ی شهریور تا آخر مهر است. جهت این باد از شمال غرب به جنوب شرق و گاهی بالعکس بوده و عموماً توأم با گرد و خاک است. با استفاده از آمار ۱۰ ساله ایستگاه سنوپتیک سیرجان (۱۳۸۷-۱۳۷۷) نسبت به تعیین اقلیم منطقه اقدام گردید که ضریب تعیین اقلیم از روش دومارتن ۳/۶۲ و از روش سیلیانینوف ۰/۱۵ به دست آمد. در نتیجه اقلیم منطقه از نوع خشک و بیابانی تشخیص داده شد.

جدول ۱: متوسط دمای ماهانه در ایستگاه سنوپتیک سیرجان طی دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۷۷

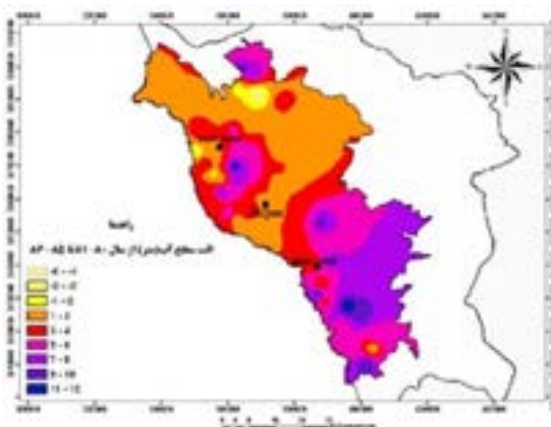
ایستگاه سیرجان (میانگین ۱۰ ساله)	ایستگاه فیروزآباد (سال ۸۷-۸۶)	
۰	۰	مهر
۷/۷	۵/۸	آبان
۱۷	۲۱/۹	آذر
۲۷/۱	۲۷/۴	دی
۱۴/۲	۲۵/۸	بهمن
۱۵/۴	۲۷/۷	اسفند
۹/۴	۱۶/۴	فروردین
۵/۶	۷/۲	اردیبهشت
۰/۸	۰/۴	خرداد
۲	۴/۲	تیر
۰/۱	۱/۵	مرداد
۰/۴	۰	شهریور
۹۹/۷	۱۳۸/۷	جمع

بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی کرمان، ۱۳۸۷.

۴/۸۱ متر سقوط نموده است (شکل ۴). طی این مدت متوسط عمق برخورد به آب نیز از ۲۴/۷ متر به ۲۹/۵ متر رسیده است. مطابق نقشه‌های تهیه شده، میزان افت در همه جا یکسان نبوده و بیشترین میزان افت مربوط به نواحی جنوبی، غربی و بخش‌هایی از مرکز دشت است که در این نواحی علاوه بر دانه‌ریز بودن رسوبات و عدم تغذیه مناسب سفره آبرفتی، تراکم چاه‌های بهره‌برداری نیز بالاست (شکل ۵).

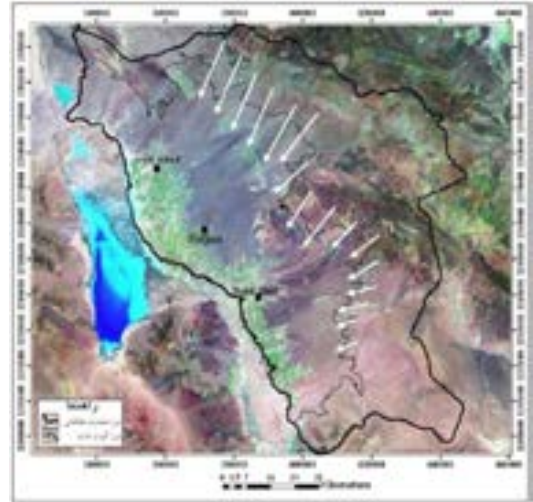


شکل ۴: هیدروگراف سطح آب زیرزمینی دشت سیرجان طی سال‌های مختلف مأخذ: نگارندگان



شکل ۵: نقشه افت سطح آب دشت سیرجان از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵. مأخذ: نگارندگان

- آثار برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی مور^۱ (۲۰۰۵: ۳۴۳-۳۴۰) مهمترین اثرات افت سطح آب زیرزمینی را شامل کاهش آبدهی رودخانه‌ها، نشست



شکل ۲: جریان‌های تغذیه‌ای سفره دشت سیرجان بر روی تصویر ماهواره‌ای مأخذ: نگارندگان



شکل ۳: جهت جریان آب زیرزمینی دشت سیرجان مأخذ: نگارندگان

- روند بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی طبق آخرین آماربرداری، تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود در دشت ۱۰۰۳ حلقه، قنات‌ها ۵۱ رشته و چشمه‌ها ۷ دهنه می‌باشند که تخلیه سالانه آن‌ها از سفره معادل ۴۱۵/۴۱ میلیون مترمکعب است (امور مطالعات آب سیرجان، ۱۳۸۶). ترسیم هیدروگراف ۱۱ ساله دشت نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی طی سال‌های گذشته همواره دارای سیر نزولی بوده و از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان

آخر روندی کاهشی داشته باشد، بطوری که طی ۳۹ سال گذشته (۱۳۴۷ تا ۱۳۸۶) تعداد ۷۹ رشته از قنوات دشت بکلی خشک شده‌اند. ۲ رشته از این قنوات طی دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵ خشک گردیده است. همچنین طی این دوره ۶ ساله از مجموع آبدهی کل قنوات حدود ۱۰ میلیون متر مکعب و از میزان تخلیه سالانه چشمه‌های دشت حدود ۳۰۰ هزار مترمکعب کاسته شده است (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۶).

- افزایش مصرف انرژی و آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی

میزان انرژی مورد نیاز جهت بالا کشیدن یک لیتر آب به میزان یک متر برابر با مقدار زیر است:

$$(1/0.01 = \text{متوسط چگالی آب دشت})$$

$$\text{ژول } 980.98 = 9.8 \times 1 \times 9.8 \times 10^1 = mgh = \text{میزان انرژی مصرفی}$$

بنابراین طبق محاسبات، افزایش مصرف انرژی در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۵ نسبت به سال قبل از آن با توجه به اضافه برداشت ۱۱۹ میلیون مترمکعبی و افت ۰/۶۸ متری سطح آب زیرزمینی، معادل $10^{11} \times 9/53$ ژول بوده است.

انرژی مصرف شده جهت استحصال آب زیرزمینی دشت طی ۶ سال گذشته (از سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵) نیز در مجموع به میزان $10^{12} \times 8/045$ ژول افزایش داشته است (شکل ۶).

زمین، نفوذ آب شور، افزایش هزینه عمیق‌تر نمودن چاه‌ها، افزایش هزینه پمپاژ آب، کاهش آبدهی چاه‌ها، خشک شدن چاه‌های کم‌عمق و چشمه‌ها و نیز کاهش کیفیت آب اعلام نموده است. بر اساس نتایج این تحقیق برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت سیرجان علاوه بر افت سطح آب زیرزمینی پیامدهای نامطلوب دیگری نیز در پی داشته است که عبارتند از:

- کاهش حجم ذخایر آبی

متوسط ضخامت اشباع سفره آب زیرزمینی دشت در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۰ برابر با ۹۵/۲ متر بوده است که این ضخامت در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به ۹۰/۴ متر رسیده است. با توجه به اینکه وسعت سفره آب زیرزمینی دشت سیرجان ۲۵۰۰ کیلومتر مربع و ضریب ذخیره آن ۷٪ می‌باشد (امور مطالعات منابع آب سیرجان، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶)، حجم ذخیره آب در سال‌های مذکور برابر با مقادیر زیر بوده است:

$$\begin{aligned} \text{میلیون مترمکعب } 16665/25 = 2500 \times 0.07 \times 95/23 = \text{ذخیره} \\ \text{سفره در سال } 1381-1380 \\ \text{میلیون مترمکعب } 15822/5 = 2500 \times 0.07 \times 90/42 = \text{ذخیره} \\ \text{سفره در سال } 1386-1385 \end{aligned}$$

بنابراین طی گذشت ۶ سال ۸۴۱/۷۵ میلیون مترمکعب از ذخیره آبی دشت کاسته شده که متوسط سالانه کسری مخزن حدود ۱۴۰ میلیون مترمکعب بوده است.

- کاهش آبدهی و خشک شدن منابع آبی

اضافه برداشت از سفره آب زیرزمینی سبب شده تعداد قنوات دشت و میزان آبدهی آن‌ها طی دهه‌های

جدول ۳: افت سطح آب و کسری مخزن در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵

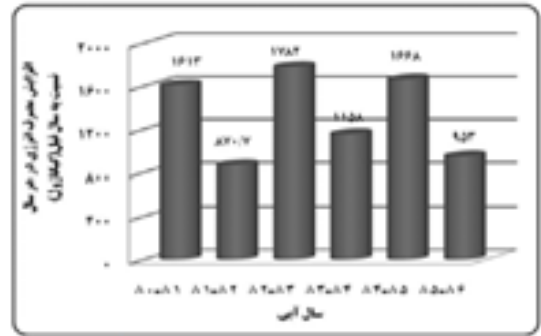
مشخصه	۸۰-۸۱	۸۱-۸۲	۸۲-۸۳	۸۳-۸۴	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	مجموع
میانگین افت (متر)	۰/۸۷	۰/۶۶	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۹	۰/۶۸	۴/۸۱
کسری مخزن (میلیون مترمکعب)	۱۵۲/۲۵	۱۱۵/۵	۱۶۶/۲۵	۱۳۱/۲۵	۱۵۷/۵	۱۱۹	۸۴۱/۷۵

بر اساس اطلاعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۷.

که در آن H متوسط ضخامت سفره و H_m حداکثر ضخامت ممکنه سفره است. دامنه تغییرات این رقم بین ۰ و ۱ است، اگر لایه‌ها تا حداکثر ممکنه حاوی آب زیرزمینی باشند، تهی‌شدگی سفره صفر و در صورت خالی بودن سفره، این رقم یک خواهد بود. در نتیجه هرچه این رقم بزرگتر باشد، شرایط بدتر و سفره نسبت به عواملی همچون خشکسالی آسیب‌پذیرتر خواهد بود. از آنجا که تمام ضخامت آبرفت‌های سفره دشت سیرجان امکان آبدار شدن را دارند، بنابراین H_m در این سفره همان متوسط عمق سنگ کف در نظر گرفته می‌شود که ۱۲۰ متر است. متوسط ضخامت سفره از ۹۵/۲ متر در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۰ به ۹۰/۴ متر در ۱۳۸۶-۱۳۸۵ رسیده است. بنابراین رقم تهی‌شدگی سفره طی ۶ سال گذشته با ۴٪ افزایش، از ۰/۲۰ به ۰/۲۴ رسیده است. این رقم طی ۱۱ سال گذشته نیز ۶٪ افزایش داشته که نشان می‌دهد دشت نسبت به خشکسالی آسیب‌پذیرتر شده است.

- نشست زمین

یکی از پیامدهای مهم برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی متراکم شدن لایه‌ها و نشست زمین است. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدرواستاتیک سفره شده و بخش جامد یا ساختمان سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره‌ای به خصوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد. نشست زمین به طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد (گالووی^۱، ۱۹۹۹). مقدار نشست زمین برای هر ده متر افت سطح آب بین ۱ تا ۵۰ سانتیمتر متغیر است که دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع استرس



شکل ۶: میزان افزایش سالیانه مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی دشت مآخذ: نگارندگان

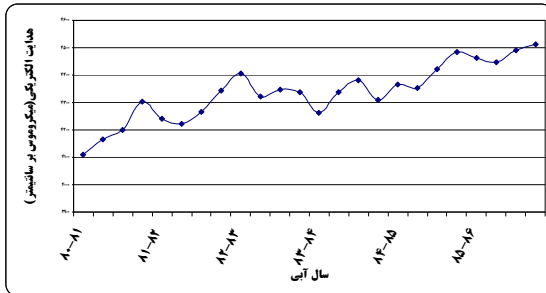
با توجه به اینکه بیشترین میزان انرژی موردنیاز از احتراق سوخت‌های فسیلی حاصل شده، افزایش مصرف انرژی علاوه بر افزایش هزینه استحصال یا خرید و انتقال سوخت، در افزایش آلودگی هوا نیز سهم داشته است.

- افزایش آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی

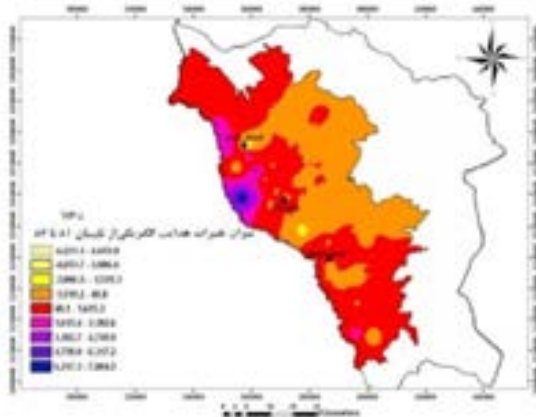
با کاهش منابع آب زیرزمینی، منطقه‌ای که تنها متکی به این نوع منابع آبی است، در صورت بروز خشکسالی‌های طولانی، خطر تهی شدن سفره و بروز فاجعه در آن افزایش می‌یابد. یکی از مزیت‌های سفره‌های آب زیرزمینی با ذخیره بالا این است که اگر خشکسالی صورت گرفته و میزان تغذیه سفره کاهش یابد، می‌توان با اتکا به ذخایر زیاد آن سفره بدون اینکه به کشاورزی منطقه آسیب وارد گردد، دوره خشکسالی را پشت سر گذاشت. بدیهی است که در طی دوره‌های ترسالی می‌توان اضافه برداشت انجام شده در طی دوره خشکسالی را جبران نمود. لذا هرچه یک سفره غنی‌تر باشد، جامعه اثرات خشکسالی‌ها را بهتر تحمل خواهد کرد. به منظور ارزیابی میزان تهی‌شدگی سفره دشت سیرجان و اثرات برداشت بی‌رویه و یا اقدامات بهینه‌سازی و کاهش مصرف، رابطه زیر به عنوان رقم تهی‌شدگی سفره پیشنهاد می‌گردد:

$$\text{رقم تهی‌شدگی} = (1 - H/H_m)$$

زیرزمینی سیرجان شده است. با وجود این، در قسمت‌های کوچکی از دشت به طور موضعی میزان شوری کاهش یافته که با توجه به دوری این نواحی از مناطق تغذیه‌ای دشت، این کاهش می‌تواند ناشی از خطا در نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و یا ثبت باشد.



شکل ۷: متوسط هدایت الکتریکی آب از سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵. مأخذ: نگارندگان



شکل ۸: نقشه تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت سیرجان از تابستان ۱۳۸۱ تا تابستان ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان

- اثر بر جامعه گیاهی و جانوری منطقه

تداوم حیات گیاهان و جانوران به فراهم بودن آب و کیفیت آن، شرایط زیست‌محیطی و اقدامات بشری بستگی دارد. افت سطح آب زیرزمینی باعث خشک شدن گیاهان و به تبع آن آسیب به محیط جانوری، فرسایش خاک و گسترش بیابان می‌گردد. این پدیده در دشت سیرجان در پی افت سطح آب و کاهش

بستگی دارد. پدیده نشست زمین باعث بروز مشکلاتی مانند تخریب ابنیه، لوله‌زایی (بالا آمدن ظاهری لوله‌های آب از سطح زمین)، ریزش جداره چاه‌ها، ایجاد درز و شکاف در زمین، تغییر شیب زمین، افزایش سیل‌خیزی، فرو رفتن تدریجی دکل‌ها و سازه‌ها، تغییر شیب رودخانه‌ها و جاده‌های منطقه می‌گردد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۱-۱۲۳).

با وجود مشاهده آثار پدیده فرونشست زمین از جمله درز و شکاف در زمین و لوله‌زایی چاه‌ها در قسمت‌های مختلف دشت سیرجان، تاکنون مطالعاتی در خصوص میزان این فرونشست انجام نگرفته است. به نظر می‌رسد از آنجا که افت سطح آب زیرزمینی علت اصلی نشست زمین می‌باشد، به احتمال زیاد بیشترین میزان نشست زمین در نواحی جنوبی و غربی دشت رخ داده است.

- کاهش کیفیت آب زیرزمینی و پیشروی آب شور

نمودار متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت سیرجان طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵-۱۳۸۶ در شکل (۷) ارائه شده است. طبق این نمودار دوره‌های خشک هر سال دارای میزان شوری بالاتر و در دوره‌های بارندگی شوری کمتر بوده است. اما در مجموع متوسط شوری آب زیرزمینی دشت طی دوره ۶ ساله مذکور با افزایشی معادل ۳۶۸ میکروموس بر سانتیمتر به ۴۴۸۰ میکروموس بر سانتیمتر رسیده و در ردیف آب‌های با شوری متوسط قرار گرفته است. با توجه به نقشه تغییرات میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت (شکل ۸)، بیشترین افزایش شوری در سال‌های گذشته مربوط به نواحی حاشیه کفه نمک به دلیل معکوس شدن شیب هیدرولیکی و به تبع آن پیشروی آب شور بوده است. بنا به نظر میرعباسی و رهنما (۱۳۸۶: ۹-۱) احداث سد بر روی رودخانه تنگوییبه نیز سبب کاهش تغذیه سفره از این رودخانه و افزایش شدت هجوم آب شور کفه نمک به سمت سفره آب

جدول ۴: خلاصه اثرات اضافه برداشت از سفره آب زیرزمینی دشت سیرجان طی دوره‌ی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵

میزان	نوع اثر
۴/۸۱	افت سطح آب زیرزمینی (متر)
۸۴۱/۷۵	کسری مخزن (میلیون مترمکعب)
۸۰۴۵	افزایش مصرف انرژی استحصال آب (گیگاژول)
۴	افزایش رقم تهی‌شدگی سفره (درصد)
مشاهده شده ولی اندازه‌گیری نشده است	شواهد نشست زمین و میزان آن
۳۶۸	افزایش میانگین هدایت الکتریکی ($\mu\text{m/cm}$)
در شرایط فعلی کم (خشک شدن تعدادی- از مزارع و باغات)	میزان تأثیر بر کشاورزی منطقه

مأخذ: نگارندگان

پیش‌بینی وضعیت آینده

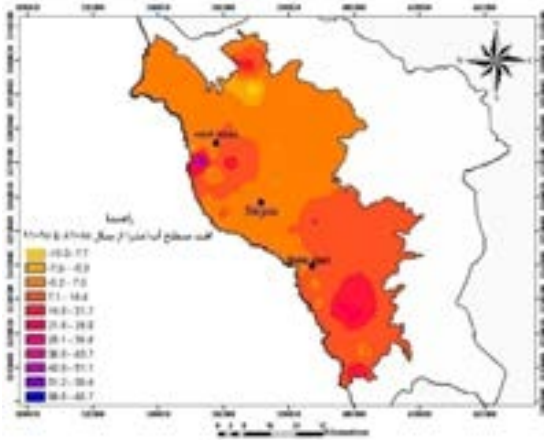
هر چند پیش‌بینی آینده کاری مشکل و بحث‌انگیز است ولی می‌توان با ارزیابی فرآیندهای حاکم بر محیط، تأثیرات عمومی و پیامدهای مربوط به این فرآیندها را نشان داده و تصورات از آینده را واقعی‌تر بیان نمود. در همه پیش‌بینی‌ها، پایه و اساس کار، اطلاعات و مشاهداتی است که از رفتار حال و گذشته پدیده مورد بررسی، حاصل می‌گردد. بنابراین در ادامه با استفاده از نتایج این تحقیق و رسم نمودارهای تغییرات کمی و کیفی آب هریک از چاه‌های منطقه طی ۶ سال گذشته و با فرض ادامه روند کنونی تغذیه و تخلیه سفره، وضعیت ۱۰ سال آینده (سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۵) این دشت مورد پیش‌بینی قرار گرفت. بدیهی است که هیچ دلیلی وجود ندارد که روند فعلی تا ۱۰ سال بعد هم ادامه یابد ولی فرض فوق می‌تواند ابعاد مشکل را در صورت ادامه روند فعلی، تا حدی مشخص سازد.

دسترسی ریشه گیاهان به رطوبت مورد نیاز، در حال وقوع است. علاوه بر این، آب زیرزمینی نواحی غربی و جنوبی دشت به علت عدم تغذیه مناسب سفره، وجود مواد دانه‌ریز از جمله رس و سیلت در رسوبات منطقه و همچنین وجود لایه‌های تبخیری، دارای رخساره کلروره سدیک و شوری بسیار بالاست (تا حدود ۲۳۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در حاشیه‌ی کویر سیرجان) و در شرایط کنونی برای شرب انسان و دام و حتی آبیاری زمین‌های کشاورزی نامناسب است.

- آثار اقتصادی

رونق اقتصادی این دشت بر پایه‌ی فعالیت‌های کشاورزی بویژه پسته استوار است بطوری‌که بر اساس اطلاعات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان (۱۳۸۵) حدود ۳۴۷۵۸ هکتار از این دشت زیرکشت درختان پسته قرار دارد و سرعت توسعه کشت این نوع محصول به گونه‌ای است که ۲۶٪ از سطح زیر کشت این محصول را باغات جوان و به سن باروری نرسیده تشکیل می‌دهند. این امر سبب شده حدود ۹۸٪ از کل آب برداشت شده از سفره‌ی آب زیرزمینی منطقه صرف فعالیت‌های کشاورزی شود. در حال حاضر توسعه سطح زیرکشت پسته (در اثر برداشت بی‌حد و حصر از آب‌های زیرزمینی) پیامدهای جبران‌ناپذیر تخلیه سفره و افت سطح آب زیرزمینی را برای مردم منطقه با ظاهری زیبا پوشانده و تنها صرف هزینه‌های بیشتر جهت استحصال و انتقال آب برای باغات پسته را در پی داشته است، از این رو سایر عوارض نامطلوب آن بر کشاورزی و اقتصاد منطقه همچنان پنهان مانده است. اما با توجه به مطالب ذکر شده، رونق فعلی کشاورزی منطقه به معنی از دست رفتن بخش عظیمی از منابع آبی است و با کاهش بیشتر کمیّت و کیفیت آب، اقتصاد این منطقه با بحران جدی مواجه خواهد شد.

غیرمستقیم اکوسیستم طبیعی منطقه را تهدید نماید (که هم‌اکنون نیز شواهد آن قابل رؤیت است). به خطر افتادن حیات جانوران به ویژه در نواحی غربی دشت و مشکل تأمین آب شرب از دیگر معضلات این نواحی خواهد بود.



شکل ۹: نقشه پیش‌بینی میزان افت سطح آب از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۵ مآخذ: نگارندگان

جدول ۵: مقایسه وضعیت آب زیرزمینی دشت سیرجان در سال‌های مختلف

سال آبی	متوسط ضخامت سفره (متر)	حجم ذخایر آبی (میلیون مترمکعب)	آب (متر) متوسط عمق برخورد به (میکروموس بر سانتیمتر)	متوسط شوری آب (میکروموس بر سانتیمتر)
۱۳۸۱-۱۳۸۰	۹۵/۲	۱۶۶۶۵/۲۵	۲۴/۷	۳۹۴۰/۵
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۹۰/۴۲	۱۵۸۲۳/۵	۲۹/۵	۴۳۰۹
۱۳۹۶-۱۳۹۵	۸۳/۹۲	۱۴۷۰۰	۳۶	۵۰۰۰

مآخذ: نگارندگان

نتیجه گیری

توسعه‌ی روزافزون سطح زیرکشت پسته عامل اصلی استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت شدید سطح ایستابی در دشت سیرجان می‌باشد. طی سال‌های گذشته برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی این دشت منجر به کاهش ذخیره آبی سفره، کاهش کیفیت

نتایج پیش‌بینی بیانگر آن است که در صورت ادامه روند کنونی شرایط تغذیه و تخلیه و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت بی‌رویه، طی ۱۰ سال آینده سطح آب زیرزمینی به طور متوسط بیش از ۶/۵ متر دیگر افت خواهد نمود که میزان این افت در نواحی غربی دشت از جمله منطقه حسین‌آباد بیش از ۲۰ متر خواهد بود (شکل ۹). پیش‌بینی می‌شود در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ عمق متوسط برخورد به سطح آب در این دشت به بیش از ۳۶ متر برسد. در اثر این افت، ضخامت سفره آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ به ۸۴ متر خواهد رسید و حدود ۱۱۲۳ میلیون متر مکعب دیگر از حجم ذخایر آبی آن کاسته خواهد شد. رقم تهی‌شدگی سفره نیز ۶٪ افزایش می‌یابد و جهت استحصال آب زیرزمینی حدود ۱۰۰۰۰ گیگاژول انرژی بیش از مقدار فعلی باید مصرف شود. بنابراین در آینده بسیاری از چاه‌های دشت با کاهش آبدهی مواجه شده و یا کاملاً خشک می‌گردند که در این صورت نیاز به کف‌شکنی و جابجایی آنها خواهد بود. اما از آنجا که در زیر آبرفت این دشت لایه‌های گچ و نم‌کدار میو-پلیوسن قرار دارند، با کف‌شکنی چاه‌ها به لایه‌های آبدار شور رسیده و کیفیت آب به شدت پایین خواهد آمد. پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ میانگین شوری آب زیرزمینی دشت به بیش از ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر برسد. انحلال (که خود عامل نشست‌زمین و تشکیل فروچاله‌ها است)، معکوس شدن جهت جریان آب زیرزمینی و پیشروی جبهه آب شور از سمت غرب (کفه نمک) از دیگر پیامدهای ادامه برداشت بی‌رویه در دشت سیرجان خواهد بود. با توجه به اینکه استفاده از آب‌های شور در آبیاری سبب شور و قلیایی شدن خاک می‌شود، در بسیاری از مناطق، قابلیت کشت محصولات از بین رفته و فقط گیاهان مقاوم به شوری قدرت رشد و نمو را خواهند داشت. در نتیجه، کاهش کیفیت و کمیّت آب زیرزمینی می‌تواند بطور مستقیم یا

- آب، افزایش اجباری عمق چاه‌ها، خشک شدن منابع آبی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین، کاهش ظرفیت ذخیره مجدد آب و خشک شدن برخی از مزارع و باغات شده است.
- با ادامه روند کنونی تخلیه سفره، طی سال‌های آینده سطح آب زیرزمینی دشت به مقدار بیشتری سقوط نموده و علاوه بر استخراج بخش عظیمی از آب با کمیت و کیفیت مطلوب، بر شدت خسارات ناشی از آن نیز افزوده می‌گردد. همچنین پیشروی جبهه آب شور از سمت غرب (کفه نمک) اکوسیستم طبیعی منطقه را در معرض نابودی قرار خواهد داد. اختلال در رفاه و بهداشت عمومی، ایجاد بحران در کشاورزی و دامداری، گسترش بیکاری، کاهش درآمدهای عمومی و احتمال بروز ناآرامی‌ها و بحران‌های اقتصادی و اجتماعی از دیگر پیامدهای برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این منطقه خواهد بود. بنابراین با توجه به اینکه بیشترین میزان آب‌برداشتی در آبیاری زمین‌های کشاورزی منطقه مصرف می‌گردد، افزایش سطح‌دانش بهره‌برداران در جهت مصرف بهینه آب در کشاورزی و بهبود روش‌های آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. بعلاوه انجام اقداماتی همچون عدم صدور مجوزهای جدید حفاری، حفاظت از سفره و تغذیه مصنوعی آن، تهیه الگوی کشت بهینه و تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها و پساب‌ها، می‌تواند در کاهش میزان افت سطح آب زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن مؤثر باشد.
- ### منابع و مآخذ
- ابراهیمی، نادرقلی؛ فریدون قدیمی عروس محله؛ مهدی وفاخواه (۱۳۷۸). بررسی بحران منابع آب دشت زرنده، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران. جلد دوم.
 - اداره هواشناسی کرمان (۱۳۸۷). آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان.
 - امور مطالعات منابع آب سیرجان (۱۳۸۱). گزارش ادامه مطالعات دشت سیرجان.
 - امور مطالعات منابع آب سیرجان (۱۳۸۶). گزارش ادامه مطالعات دشت سیرجان.
 - امیری، منوچهر (۱۳۸۴). ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین-کبودرآهنگ- قهاوند با سنگ کف منطقه، مجله علوم زمین. شماره ۵۸.
 - بوتکین‌دانیل؛ ادوارد کلر (۱۳۸۶). شناخت محیط‌زیست (زمین سیاره زنده)، ترجمه عبدالحسین وهاب‌زاده. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
 - سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان (۱۳۸۵). سیمای استان کرمان و شهرستان‌ها.
 - شاهی‌دشت، علیرضا (۱۳۸۷). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی استان کرمان و ارائه راهکارهای مدیریتی (همراه با کاربرد نرم-افزار ArcGIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
 - شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان (۱۳۸۷). سیمای آب استان، معاونت مطالعات پایه منابع آب.
 - شمشکی، امیر؛ محمدجواد بلورچی؛ ایمان انتظام-سلطانی (۱۳۸۴). فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن، چکیده مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.
 - عباس‌نژاد، احمد (۱۳۷۷). بررسی شرایط و مسائل محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. مشهد.
 - عباس‌نژاد، احمد (۱۳۸۳). حفرة فروکش کارستی در اختیار آباد- شمال غرب کرمان، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین. شماره ۵۲-۵۱.
 - عبدی، پرویز؛ عبدالحسین امینی؛ رسول اخروی (۱۳۷۹). بررسی وضعیت منابع آب دشت زنجان و ارائه راهکارهایی برای مقابله با خشکسالی منطقه، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، کرمان. جلد دوم.
 - فتحی، فاطمه؛ منصور زیبایی (۱۳۸۹). عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد، مجله علوم آب‌و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. شماره ۵۳.

۱۵. فاطمی عقدا، سید محمود؛ محمد نخعی؛ علی بیت‌اللهی و علیرضا علیاری (۱۳۸۰). بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. جلد دوم. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
۱۶. قیومی، حمید؛ محمدحسین رامشت؛ یوسف مرادی و سیروس شفق (۱۳۸۴). بررسی فرایند تأثیرگذار بر ویژگی‌های مورفولوژیک نشست زمین، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن. دانشگاه تبریز.
۱۷. لشکری پور، غلامرضا؛ محمد غفوری؛ زینب سویزی و زکیه پیوندی (۱۳۸۴). افت سطح آب‌زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت مدرس. جلد اول.
۱۸. لشکری پور، غلامرضا؛ حمیدرضا رستمی‌بارانی؛ اصغر کهن‌دل و حسین ترشیزی (۱۳۸۵). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران دانشگاه تربیت مدرس.
۱۹. لشکری پور، غلامرضا؛ رمضان کاظمی‌گلیان و مسعود میرشاهی (۱۳۸۶). بررسی تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر روی کیفیت آن در دشت فریمان - تربت‌جام، مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران. مشهد. جلد دوم.
۲۰. لشکری پور، غلامرضا؛ محمد غفوری و مهدی دم‌شناس (۱۳۸۷). تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت فریمان - تربت‌جام، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
۲۱. مهندسین مشاور مه‌باب قدس (۱۳۸۶). گزارش مطالعات دشت سیرجان.
۲۲. میراب‌باشی، سیدمهدی و محمدرضا دانائیان (۱۳۸۴). عوامل و مخاطرات نشست زمین در دشت یزد - اردکان، خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها. دانشگاه تبریز.
۲۳. میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ محمدباقر رهنما (۱۳۸۶). شبیه‌سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل Modflow و بررسی اثرات احداث سد تنگ‌تپه بر آن، مجله پژوهش آب ایران. دانشگاه شهر کرد. شماره ۱.
۲۴. ولایتی، سعیده (۱۳۸۴). دو پدیده مخاطره آمیز، نشست زمین و شور شدن آب زیرزمینی دشت‌ها در استان خراسان (مطالعه موردی دشت‌های مشهد، نیشابور، جنگل و
- مه‌ولات)، خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن. دانشگاه تبریز.
۲۵. ولی پور، مژگان؛ مصطفی کریمیان‌اقبال؛ محمدجعفر ملکوتی و امیرحسین خوش‌گفتارمنش (۱۳۸۸). روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم، مجله علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. شماره ۴۶.
26. Baba, A., Howard, K. W. F. and Gunduz, O. (2006). Groundwater and Ecosystems, Earth and Environmental Sciences, 70.
27. Chatterjee, R.S., Funeau, B., Rudant, J.P., Roy, P.S., Frison, P.L., Lakhera, R.C., Dahwal, V.K. and Saha, R. (2006). Subsidence of Kolkata (Calcutta) city, India during 1990s as observed from spacing differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique, Remote Sensing of Environment, 102.
28. Galloway, Devin, David R. Jones, and S.E. Ingebritsen, eds (1999). Land Subsidence in the United States, Washington, D. C., United States Geological Survey, Circular 1182.
29. Moore J.E. (2005). Overdraft water Encyclopedia, 5.
30. Mousavi, S. M., Shamsai, A., El Naggari, M. H. and Khamsehchian, M. (2001). A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran, Can. J. Civ. Eng., 28: 452-464.
31. Phien-Wej, N., Giao. P.H. and Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok Thailand, Engineering Geology, 82.