



ارائه راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان

علیرضا شاهی‌دشت* و امد عباس‌نژاد

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ali.shahidasht@yahoo.com, aabbas@mail.uk.ac.ir

(* عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۸۹/۱۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۵؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۶/۳۰

هکیده

هدف این مطالعه بررسی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های استان کرمان، ارزیابی پیامدهای ناشی از اضافه برداشت و ارائه راهکارهای مفید جهت رفع مشکلات منطقه است. در راستای این پژوهش، کلیه اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژیک، هیدروژئولوژیک، زمین‌شناسی و جغرافیایی جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند. سپس نقشه‌های کیفیت شیمیایی و هم‌عمق سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان رسم و میزان اضافه برداشت، افت سطح ایستابی، کسری مخزن و تغییرات شوری آب زیرزمینی محاسبه گردید. براساس محاسبات انجام شده، تمامی دشت‌های استان کرمان طی سالیان گذشته دارای افت مداوم سطح آب زیرزمینی بوده‌اند. سطح آب زیرزمینی استان از سال آبی ۸۰-۸۱ تا ۸۶-۸۵ به‌طور متوسط سالیانه ۹۰ سانتی‌متر افت داشته است. پمپاژ بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی استان، پیامدهای نامطلوبی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی و پیشروی جبهه آب شور، کاهش حجم ذخائر آبی، تغییر ضرایب هیدرودینامیکی سفره‌ها، افزایش اجباری عمق چاه‌ها، خشک شدن منابع برداشت آب (چاه، چشمه و قنات)، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت‌ها نسبت به خشکسالی، نشست زمین، ایجاد درز و شکاف در سطح زمین و بناها، خسارت به تأسیسات، به خطر افتادن اکوسیستم طبیعی و خشک شدن برخی از مزارع و باغات را در پی داشته است. در نهایت، با استفاده از اطلاعات چند سال اخیر مربوط به تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی هر دشت و با فرض ادامه روند کنونی تغذیه و تخلیه سفره‌ها، وضعیت ۱۰ سال آینده هر یک از دشت‌ها پیش‌بینی شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه، این استان در آینده‌ای نه چندان دور، با تشدید پیامدهای زیست‌محیطی و حتی مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، اضافه برداشت، افت سطح آب، استان کرمان، نشست زمین، مدیریت منابع آبی.

۱- مقدمه

در دنیا است (چالش جدی را در بیشتر کشورها ایجاد نموده است (Cunningham 2003). پمپاژ زیاد آب چهره زمین را دگرگون کرده، کیفیت آب‌ها را کاهش و هزینه استحصال آب را نیز افزایش داده است (براون ۱۳۸۱). این مسئله، در بیشتر کشورهای دنیا از جمله ایتالیا، ژاپن، انگلستان، چین، تایلند، تایوان و مکزیک (Kaiser & Skiller 2003، امریکا (Gelt et al. 1999 & Moore 2005)، هندوستان (Chatterjee 2006)، تایلند (Phien-Wej 2006)

جمعیت، الگوی مصرف و استفاده از فن‌آوری، سه پارامتر اصلی و تأثیرگذار در ایجاد مشکلات محیطی، کاهش و یا حل آن‌ها می‌باشند. متأسفانه افزایش جمعیت، جهت‌گیری مصرف‌گرایی و استفاده بی‌رویه و نابجا از فن‌آوری‌ها، سبب شده منابع موجود بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن، با سرعت و قدرت بیشتری استخراج گردند. اما در حال حاضر تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی (که دومین منبع آب شیرین

بخش‌هایی که جنس خاک بهتر و آب زیرزمینی کافی دارند، زمینه برای کشاورزی مساعد بوده و با تمرکز جمعیت همراه می‌باشند.

ب- کوهستان: کوه‌های مرکزی و رشته‌هایی از سلسله جبال زاگرس در فلات مرکزی ایران، در شرق استان به هم گره خورده و پس از تشکیل دیواره‌ای مرتفع، به صورت سلسله جبال بارز درمی‌آیند. این ارتفاعات اغلب لخت، صخره‌ای و درهم ریخته بوده و در میان آنها دره‌ها و گردنه‌های متعددی به چشم می‌خورد.

استان کرمان تحت تأثیر عوامل منطقه‌ای متعددی قرار دارد که از جمله این عوامل می‌توان به وجود رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های مرکزی، قرارگیری کویر لوت در شرق، عرض جغرافیایی پایین، زیاد بودن زمان تابش خورشید، فیزیوگرافی منطقه، تأثیر توده‌های هوایی مختلف و ... اشاره نمود. متوسط بارندگی در استان حدود ۱۴۵ میلی‌متر در سال است (سازمان هواشناسی استان کرمان ۱۳۸۴) که این مقدار، حدود ۵۸ درصد متوسط بارش سالانه کشور (بارش سالانه کشور ۲۵۱ میلی‌متر است) و حدود ۱۹ درصد میانگین بارش جهانی است. بیشترین میزان بارندگی استان حدود ۵۰۰ میلی‌متر (در قله کوه‌های هزار- لاله‌زار) و کمترین مقدار بارش حدود ۲۰ میلی‌متر در سال (بیابان‌های پست و کم ارتفاع لوت واقع در شمال خاوری) گزارش شده است. متوسط حجم نزولات جوی در استان حدود ۲۵ میلیارد مترمکعب در سال است که ۷۵ درصد آن به علت خشکی و تبخیر شدید بلافاصله از دسترس خارج می‌گردد. حدود ۳/۴ مترمکعب از نزولات جوی به سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ و حدود ۳ میلیارد مترمکعب آن به روان آب سطحی تبدیل می‌گردد که ۱/۶ میلیارد مترمکعب آن در رودخانه‌های اصلی و ۱/۴ میلیارد مترمکعب آن در مسیل‌های فصلی و دیگر رودخانه‌ها جریان می‌یابد، بخشی از این جریان‌ها نیز به سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ می‌نماید (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان ۱۳۸۷). بر اساس آخرین سرشماری مرکز آمار ایران (۱۳۸۶)، جمعیت استان کرمان ۲۵۸۴۸۳۴ نفر است که بیشترین تراکم جمعیت در رفسنجان و کمترین تراکم مربوط به شهرستان کهنوج است.

۳- روش مطالعه

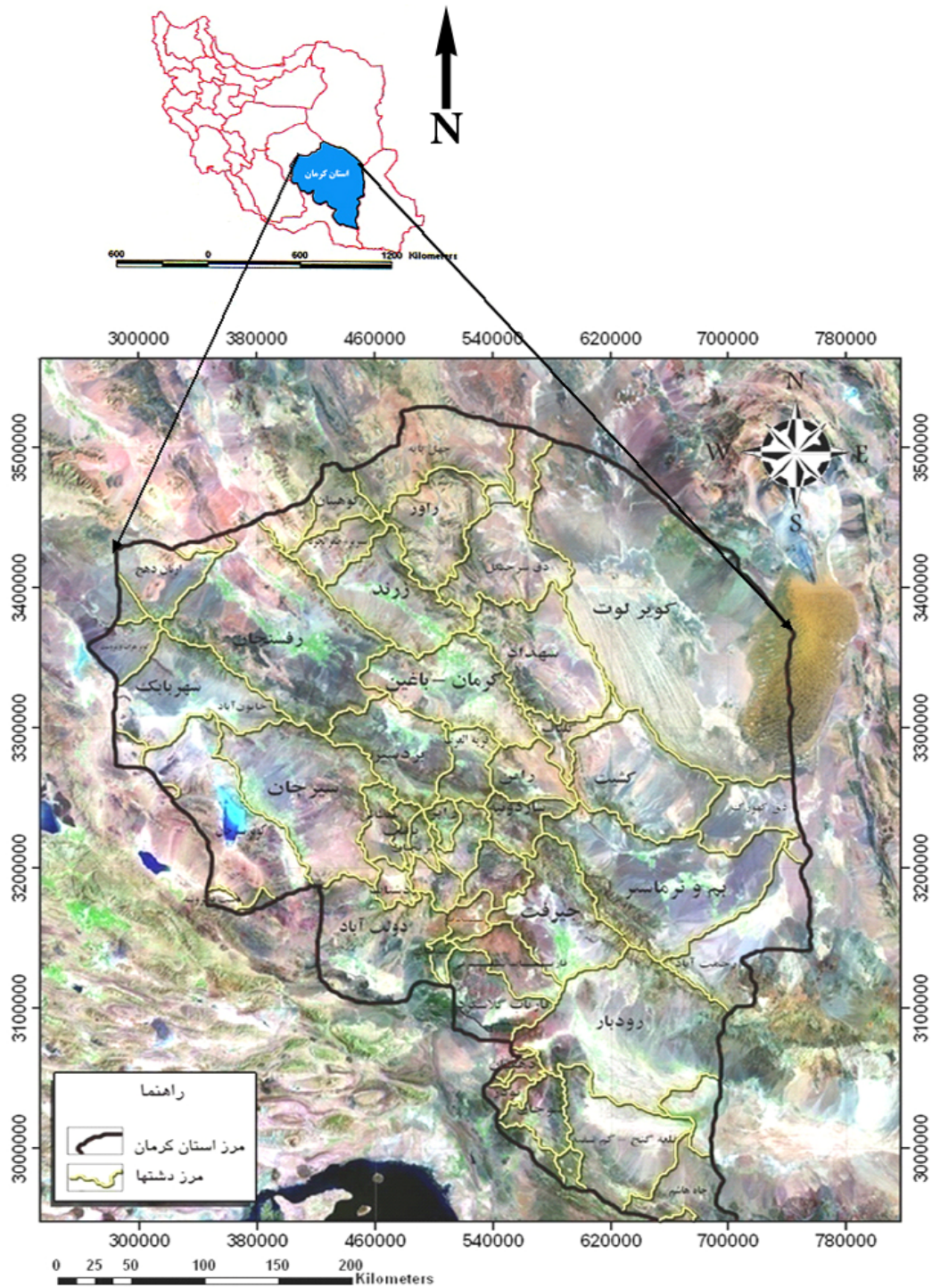
برای شناخت و ارزیابی اثرات برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان، ابتدا دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵، مبنای کار قرار گرفت (به دلیل کامل‌تر بودن اطلاعات آن نسبت به سال‌های دیگر). پس از آن کلیه اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و جغرافیایی جمع‌آوری و تحلیل شدند.

ازبکستان و آذربایجان (Baba et al. 2006) نیز گزارش شده است. ایران سرزمینی خشک و بیابانی با نزولات جوی بسیار کم بوده که میزان بارندگی در آن کمتر از یک سوم بارندگی در سطح دنیاست (علیزاده ۱۳۸۵). بنابراین به دلیل کمبود منابع آب سطحی، پمپاژ بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی کشور امری رایج است. بیش از ۲۵ درصد سفره‌های آب زیرزمینی کشور (۱۶۵ سفره از ۶۲۹ سفره) به دلیل برداشت بیش از حد، در شرایط بحرانی قرار دارند که تعداد آنها در حال افزایش است (عباس‌پور و عنایی ۱۳۸۰). افت سطح آب زیرزمینی و بیابان منفی سفره‌ها، در بیشتر دشت‌های ایران گزارش شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به دشت‌های رفسنجان (عباس‌نژاد ۱۳۷۷)، زرنده ساوه (ابراهیمی و همکاران ۱۳۷۸)، زنجان (عبدی و همکاران ۱۳۷۹)، همدان (فاطمی عقدا و همکاران ۱۳۸۰)، اختیارآباد کرمان (عباس‌نژاد ۱۳۸۳)، شمسی، بفریوئیه و میبد (میراب‌باشی و داناتیان ۱۳۸۴)، جنوب و جنوب‌غرب تهران (شمشکی و همکاران ۱۳۸۴)، کاشان- آران و بیدگل، گلپایگان، مهیار و اصفهان (قیومی و همکاران ۱۳۸۴)، مشهد، نیشابور، جنگل و مه‌ولات (ولایتی ۱۳۸۴)، فامنین - کبودرآهنگ (امیری ۱۳۸۴)، مشهد (لشکری‌پور ۱۳۸۴)، کاشمر (Lshkari-Pour et al. 2009)، موسیان (فضل‌اولی ۱۳۸۵)، کاشمر (لشکری‌پور و همکاران ۱۳۸۵)، فریمان- تربت‌جام (لشکری‌پور و همکاران ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷)، کرمان، رفسنجان، جیرفت و زرنده (شاهی دشت ۱۳۸۷) و فیروز آباد (فتحی و زیبایی ۱۳۸۹) اشاره نمود.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان کرمان، در جنوب‌شرقی ایران واقع شده و با وسعتی معادل ۱۷۵۰۶۹ کیلومترمربع، یکی از پهناورترین استان‌های کشور محسوب می‌شود. کرمان، بین مختصات جغرافیایی ۳۰°- تا ۵۴°- ۵۹° طول شرقی و ۲۶°- تا ۵۷°- ۳۱° عرض‌های شمالی قرار دارد (تصویر ۱). این استان از نظر توپوگرافی به دو واحد دشت و کوهستان تقسیم می‌شود (بوتراپ و همکاران ۱۳۸۵).

الف- دشت: وسعت دشت‌های استان کرمان بالغ بر ۱۰۵۷۷۸/۳ کیلومترمربع است. پوشش سطحی این نواحی آبرفتی بوده که به سمت مرکز دشت دانه‌ها ریزتر می‌شوند. بر روی این پادگانه‌ها، پنجه‌های آبرفتی و مسیل‌های متعددی وجود دارد که در صورت بارندگی، آب در این مسیل‌ها به صورت پهن و صفحه‌ای جریان می‌یابد. دشت‌ها به دلیل پستی و شرایط اقلیمی منطقه، از رسوبات دانه‌ریز دوران چهارم پر شده‌اند. بخش‌هایی از این دشت‌ها خشک و کویری بوده که اغلب بصورت ریگ‌زار و فاقد پوشش گیاهی یا پوشیده از سطوح نمک (کفه نمک) می‌باشند. این بخش‌ها، محل جذب و تجمع زه‌آب‌ها می‌باشند.



تصویر ۱- موقعیت حوضه‌های آبریز و دشت‌های استان کرمان بر روی تصویر ماهواره‌ای

دلیل اهمیت و وخیم‌تر بودن وضعیت آب زیرزمینی، با جزئیات بیشتری مورد مطالعه قرار گرفتند. سپس جهت ارائه دورنمایی کلی از وضعیت آبی زیرزمینی، شرایط هر یک از دشت‌ها و به‌طور میانگین کل استان پیش‌بینی شد. در پایان پس از جمع‌بندی نتایج و تحلیل راهکارهای موجود، راه‌حلی قابل اجرا برای کاهش مشکلات ارائه شد.

در ادامه، بر اساس این اطلاعات، نقشه‌های موقعیت مکانی منطقه، جریان‌های تغذیه‌ای، جهت جریان آب زیرزمینی، میزان افت سطح آب، میزان شوری آب زیرزمینی دشت‌ها و تغییرات آن طی این دوره ۶ ساله تهیه شد. سپس با استفاده از مطالعات میدانی و نتایج بدست آمده پیامدهای افت سطح ایستابی شناسایی و ارزیابی شدند. دشت‌های اصلی و مهم استان (کرمان، رفسنجان، زرنند، سیرجان و جیرفت) به

۴- وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان

استان کرمان در حال حاضر دارای ۳۲۲۴۸ نقطه تخلیه آب زیرزمینی با تخلیه کلی معادل ۶/۷۶۴ میلیارد مترمکعب در سال است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان ۱۳۸۷). دشت رودبار با داشتن ۷۶۰۰ منبع تخلیه آب، بیشترین تعداد منابع آبی را در بین دشت‌های استان دارد. پس از آن دشت‌های جیرفت، منوجان، قلعه گنج، فاریاب کلاشگرد و رفسنجان بین ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ منبع آبی دارند. همچنین بیشترین برداشت در واحد سطح، در دشت‌های جیرفت، نودژ، بافت، بردسیر، بم و نرماشیر و منوجان صورت می‌گیرد.

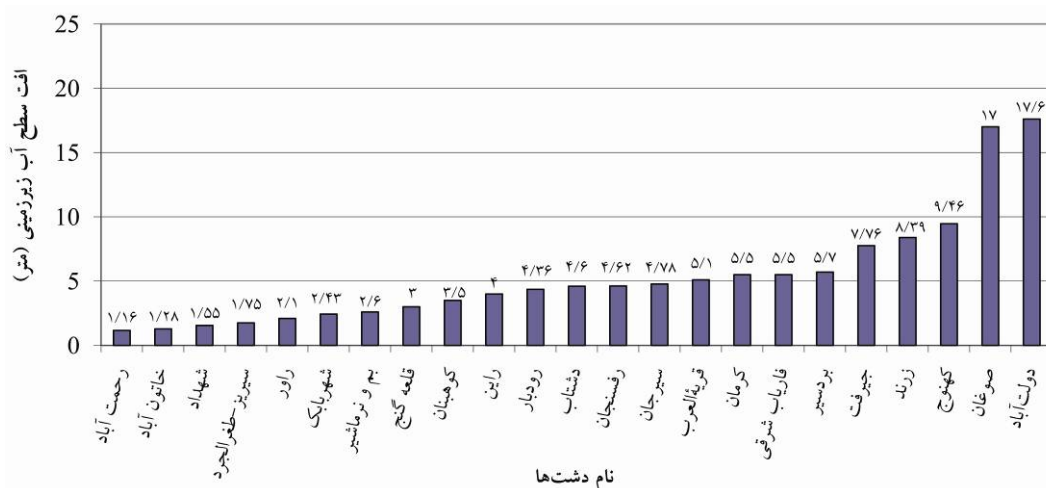
به طور کلی ۹۰/۳۸ درصد تخلیه آب زیرزمینی در استان کرمان از طریق چاه‌ها، ۵/۹۸ درصد توسط قنات‌ها و ۳/۶۴ درصد بوسیله چشمه‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه اقتصاد منطقه بر پایه فعالیت‌های کشاورزی استوار است، ۹۵/۸۶ درصد از آب استحصالی منابع زیرزمینی در بخش کشاورزی، ۳/۳۴ درصد برای شرب و ۰/۸ درصد در صنعت مصرف می‌گردد. متوسط هدایت الکتریکی آب چاه‌های استان حدود ۲۸۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر ($\mu\text{m}/\text{Cm}$) محاسبه شد. آب زیرزمینی دشت‌های صوغان، ساردوئیه، دهکهان، بافت، سلطانی، رابر و بزنجان، بهترین کیفیت و آب چاه دشت‌های راور، سیریز- طغرالجرد، کرمان، رفسنجان، زرنده و سیرجان، بدترین کیفیت را دارا هستند. بر اساس مطالعات انجام شده، شوری آب برخی مناطق استان مانند حاشیه غربی دشت سیرجان، نوق و انار در رفسنجان

و سیریز، به حدی بالا است که مشکلات جدی را برای ساکنین این مناطق ایجاد کرده و حتی گیاهان و جانوران را نیز در معرض خطر جدی قرار داده است (شاهی دشت و عباس نژاد ۱۳۸۹).

۵- اضافه برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای آن

روند بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان طی سالیان گذشته به گونه‌ای بوده که با رشد جمعیت و پیشرفت تجهیزات حفاری، روز به روز بر تعداد چاه‌های عمیق استان و میزان تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی افزوده شده است. تعداد چاه‌های استان قبل از سال ۱۳۵۰، ۱۱۸۳ حلقه بوده که در سال ۱۳۸۵ به ۲۹۱۴۷ حلقه رسیده است، یعنی طی ۳۵ سال، ۲۷۹۴۶ حلقه به چاه‌های بهره‌برداری استان افزوده شده است. پیرامون روند تغییرات تعداد چشمه‌ها و قنات‌ها طی این مدت آمار دقیقی وجود ندارد.

آنچه مسلم است افزایش پمپاژ آب از چاه‌های نیمه عمیق و عمیق سبب افت سطح آب زیرزمینی و خشک شدن تعداد زیادی از چشمه‌ها و قنات‌های استان شده است (شرکت آب منطقه‌ای کرمان ۱۳۸۷). بارش کم، عدم تغذیه مناسب سفره‌ها و پمپاژ مداوم، سبب شده سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان طی سال‌های گذشته همواره دارای سیر نزولی باشد. از سال آبی ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵، سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان به طور متوسط ۵/۴۴ متر کاهش یافته که متوسط سالیانه آن ۹۰ سانتی‌متر بوده است.



تصویر ۲- میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان طی دوره ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵

زیرزمینی را می‌توان کاهش آبدی رودخانه‌ها، نشست زمین، نفوذ آب شور، افزایش هزینه عمیق‌تر نمودن چاه‌ها، افزایش هزینه پمپاژ آب، کاهش آبدی چاه‌ها، خشک شدن چاه‌های کم‌عمق و چشمه‌ها و

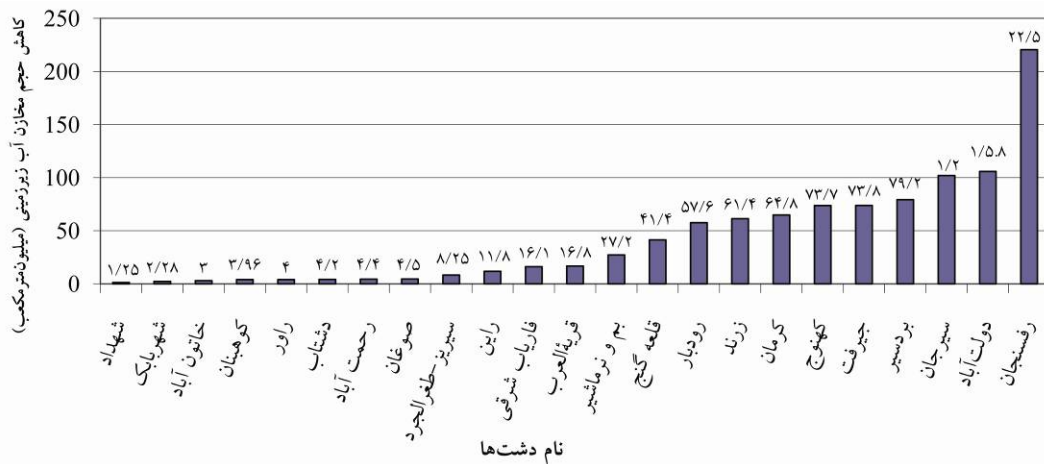
دشت‌های دولت‌آباد و صوغان با بیش از ۱۷ متر بیشترین و دشت رحمت آباد با ۱/۱۶ متر کمترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را طی ۶ سال گذشته داشته‌اند (تصویر ۲). از مهم‌ترین اثرات افت سطح آب

۸۵)، دشت رفسنجان با کاهش حجمی معادل ۹۷۰ میلیون مترمکعب، بیشترین کاهش حجم مخزن را در بین دشت‌های استان داشته است. کاهش حجم مخزن دشت‌های کهنوج، دولت‌آباد، سیرجان و شهربابک بیش از سایر دشت‌ها بوده است. کمترین میزان کاهش حجم مخزن نیز در دشت‌های شهداد، راور و رحمت‌آباد اتفاق افتاده است (تصویر ۴). وضعیت دشت‌های مهم استان نیز طی این دوره به گونه‌ای بوده است که ۷/۷ درصد از حجم سفره دشت کرمان، ۵/۴ درصد از حجم سفره دشت زرنده، ۴/۵۴ درصد از حجم سفره دشت رفسنجان، ۵/۰۵ درصد از حجم سفره دشت سیرجان و ۴/۴ درصد از حجم سفره دشت جیرفت کاسته شده است.

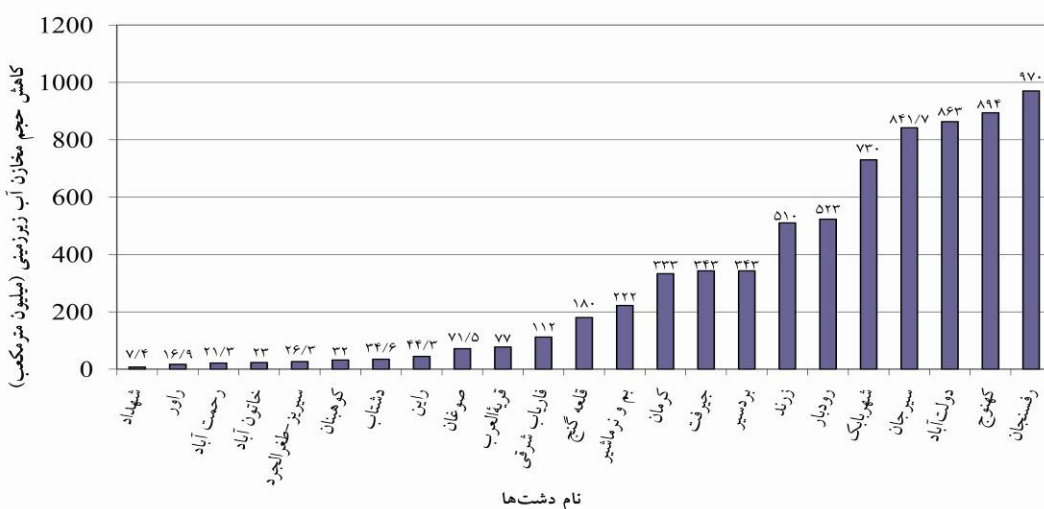
کاهش کیفیت آب را نام برد (Moore 2005). بر اساس نتایج این تحقیق، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان علاوه بر افت سطح آب، اثرات نامطلوب دیگری را نیز در پی خواهد داشت که در ادامه تشریح خواهند شد.

۵-۱- کاهش حجم ذخایر آب زیرزمینی

مجموع اضافه برداشت از سفره‌های استان در سال آبی ۸۶-۸۵، بیش از یک میلیارد متر مکعب برآورد شده است که دشت رفسنجان در این سال با اضافه برداشتی معادل ۲۲۰/۵ میلیون مترمکعب بیشترین سهم را داشته است (تصویر ۳). طی یک دوره ۶ ساله (از سال ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵)



تصویر ۳- میزان اضافه برداشت در هر یک از دشت‌های استان در سال آبی ۸۶-۸۵



تصویر ۴- میزان کاهش حجم ذخایر آبی دشت‌های استان طی سال‌های ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵

۵-۲- فشک شدن منابع برداشت آب

از سال آبی ۸۰-۸۱ تا ۸۵-۸۶، با افت سطح آب زیرزمینی، تعدادی از چاه‌ها و قنات‌های استان خشک و میزان آبدهی آنها کاهش یافته‌است. از سوی دیگر، با حفر چاه‌های جدید و افزایش عمق چاه‌های قبلی و همچنین لایروبی قنات‌ها و افزایش عمق مادرچاه، سعی در افزایش تعداد و میزان بهره‌برداری از آنها بوده‌است.

در جدول ۱ تغییرات تعداد و میزان تخلیه از منابع آبی استان طی این دوره ارائه شده است.

جدول ۱- تغییرات تعداد و میزان تخلیه منابع آب دشت‌ها طی دوره ۸۰-۸۱ تا ۸۵-۸۶ سال آبی باید در جدول آورده شود.

| نام دشت | تغییر تعداد منابع آبی | | تغییر میزان تخلیه (میلیون مترمکعب) | |
|-------------------------|-----------------------|------|------------------------------------|--------|
| | چاه | قنات | چاه | نات |
| شهربابک | -۱۲۴ | -۹ | ۲۵/۱ | * |
| خاتون آباد | -۶۷ | * | ۰/۰۹۶ | * |
| زرنند | -۶۰ | ۵۹ | -۳۴ | * |
| سیریز-طغرالجرد | -۷ | ۷ | * | * |
| راین | -۴ | * | -۳/۲۸ | * |
| گلباف | ۰ | * | ۱/۲۵ | * |
| دشتاب | ۱ | ۱ | -۱۶/۹۶ | * |
| ساردوئیه | ۱ | ۳ | -۰/۵۷ | * |
| صوغان | ۲ | * | ۱۹/۱۷ | * |
| راور | ۶ | * | ۵ | * |
| شهداد | ۸ | ۹ | ۸/۵۴ | -۲۸ |
| بافت-سلطانی-بزنجان-رابر | ۱۳ | ۱۰ | ۰/۵۲ | * |
| قریه العرب | ۲۰ | ۲ | -۱/۱۵ | * |
| سیرجان | ۲۸ | * | ۴۶/۵۵ | -۱۳/۹۷ |
| بم و نرماشیر | ۳۹ | -۱۴ | ۵۴ | -۹۸ |
| بردسیر | ۴۰ | ۱۷ | -۲۸/۶ | * |
| دولت آباد | ۵۰ | * | ۲۲/۳۵ | * |
| رفسنجان | ۵۲ | -۱ | -۲۴ | * |
| اسفندقه | ۵۹ | ۴ | -۶۳ | * |
| رحمت آباد | ۶۰ | * | ۵۲/۴ | * |
| کرمان-باغین | ۱۲۲ | * | -۱۲۳/۳ | * |
| دهکهان | ۱۲۴ | * | ۲/۰۴ | * |
| منوجان | ۳۲۷ | * | -۶۸ | * |
| نودژ | ۳۳۳ | * | ۱۷/۳۲ | * |
| فاریاب شرقی | ۴۰۱ | ۶ | ۸۹/۲ | * |
| فاریاب کلاشگرد | ۴۳۹ | * | -۲۸/۸۳ | * |
| قلعه گنج-کم سفید | ۵۷۹ | * | ۲۵/۶۴ | -۰/۱۵ |
| رودبار | ۲۱۳۶ | * | ۲۵۶/۵۸ | * |
| جیرفت | ۲۸۲۸ | * | ۲۸۱/۶۶ | * |
| کوبر هرات مروست | * | * | * | * |
| کوهبنان | * | * | * | * |

* اطلاعاتی موجود نیست

۵-۳- افزایش میزان مصرف انرژی برای استمصال آب

(زیرزمینی)

با افزایش عمق آب، پمپاژ آب از اعماق پایین‌تر به انرژی بیشتری نیاز خواهد داشت که مقدار آن با میزان اضافه‌برداشت از سفره و افت سطح آب رابطه مستقیم دارد. در این پژوهش، بر اساس محاسبات انجام شده به دلیل افت سطح آب زیرزمینی، میزان مصرف انرژی جهت استمصال آب زیرزمینی از کل سفره‌های استان طی دوره ۸۰-۸۱ تا ۸۵-۸۶، نزدیک به ۱۰۰/۰۰۰ گیگاژول (معادل سوخت ۲/۷۵۰/۰۰۰ لیتر گازوئیل و یا معادل مصرف ۱/۱۶۰/۰۰۰ کیلووات ساعت نیروی برق) بوده است که حدود ۸۰ درصد آن در دشت‌های دولت‌آباد، رفسنجان، زرنند، سیرجان، جیرفت، کهنوج و کرمان مصرف شده است (تصویر ۵). اغلب انرژی مورد نیاز پمپاژ آب از سفره‌های آب زیرزمینی استان، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از احتراق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد، بنابراین افزایش مصرف انرژی علاوه بر افزایش هزینه‌ها، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دنبال خواهد داشت. همچنین با توجه به اینکه سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر بوده و دوره مصرف آن‌ها رو به کاهش است، بهره‌برداران در استفاده از آن با محدودیت‌هایی مواجه خواهند شد.

۵-۴- افزایش آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی

در مناطق وابسته به آب زیرزمینی، در صورت کاهش منابع آبی و خشکسالی‌های طولانی، خطر تهی شدن سفره آبی و بروز فاجعه افزایش خواهد یافت. در سفره‌های آبی با ذخیره بالا، در صورت وقوع خشکسالی و کاهش میزان تغذیه سفره، می‌توان با استفاده از ذخایر آبی موجود، بدون آسیب به کشاورزی منطقه، دوره خشکسالی را سپری کرد. بدیهی است که در طی دوره‌های ترسالی، می‌توان اضافه‌برداشت انجام شده در طی دوره خشکسالی را جبران نمود. بنابراین هرچه سفره آبی غنی‌تر باشد، اثرات خشکسالی را بهتر تحمل خواهد کرد. برای ارزیابی میزان تهی‌شدگی سفره‌های آب استان و اثرات برداشت بی‌رویه و اقدامات بهینه‌سازی و کاهش مصرف، رابطه (۱) به‌عنوان رقم تهی‌شدگی سفره پیشنهاد می‌گردد:

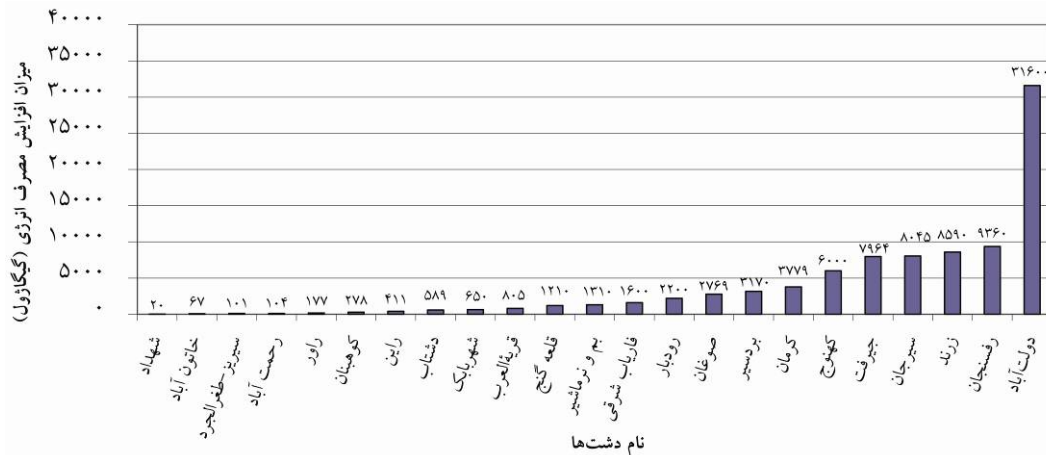
$$(1) \text{ رقم تهی‌شدگی} = (1 - H/H_m)$$

که در آن H متوسط ضخامت سفره آبرفتی و H_m حداکثر ضخامت سفره است. دامنه تغییرات تهی‌شدگی بین ۰ و ۱ می‌باشد. اگر لایه‌ها تا حداکثر امکان حاوی آب زیرزمینی باشند، تهی‌شدگی سفره صفر و در صورت خالی بودن سفره آب زیرزمینی، این رقم یک خواهد بود. در نتیجه هرچه این رقم بزرگ‌تر باشد، شرایط بدتر و سفره آبی نسبت به عواملی همچون خشکسالی آسیب‌پذیرتر خواهد بود.

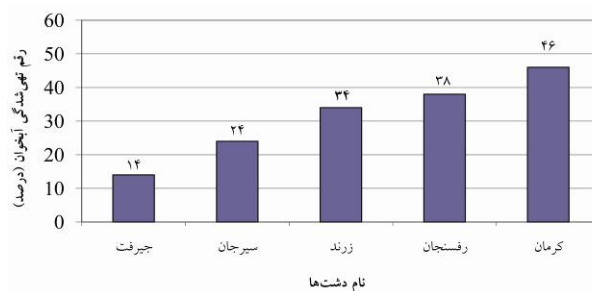
شاهی دشت و عباس نژاد: ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان

محاسبه شد. در حال حاضر بیشترین مقدار رقم تهی‌شدگی سفره در بین دشت‌های اصلی استان، مربوط به دشت کرمان است، بنابراین دشت کرمان نسبت به خشکسالی آسیب‌پذیرترین دشت در میان دشت‌های مهم استان است (تصاویر ۶ و ۷).

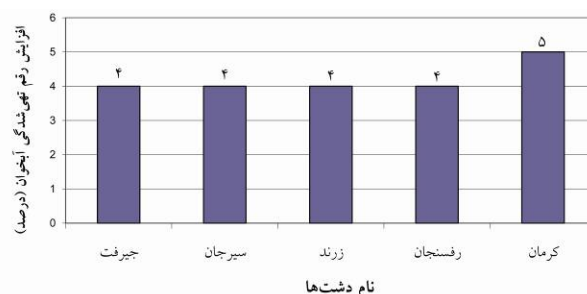
برای محاسبه رقم تهی‌شدگی سفره و تغییرات آن در طول سال‌های گذشته، اطلاعات متوسط عمق سفره و عمق سنگ کف نیاز است. به دلیل نبود اطلاعات کافی برای بیشتر دشت‌های استان، رقم تهی‌شدگی تنها برای دشت‌های اصلی (کرمان، زرنند، رفسنجان، سیرجان و جیرفت) که دارای اطلاعات کافی در این زمینه بودند،



تصویر ۵- میزان افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی از سال آبی ۸۰-۸۱ تا ۸۵-۸۶



تصویر ۶- میزان رقم تهی‌شدگی سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های اصلی استان در سال آبی ۸۵-۸۶



تصویر ۷- روند افزایش میزان رقم تهی‌شدگی سفره‌ها از سال آبی ۸۰-۸۱ تا ۸۵-۸۶

۵-۵- نشست زمین

ساختمان سفره پایداری خود را از دست داده، ذرات فشرده شده و فضاهای مفید بین ذره‌ای به‌خصوص در سیلت و ماسه از بین خواهند رفت. نشست زمین به‌طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد

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 در نتیجه، بخش جامد یا

راور، بردسیر، سیرجان، کوهبنان و جیرفت بوده است (تصویر ۹). این در حالی است که متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تعدادی از دشت‌ها مقداری کاهش یافته که علت این موضوع را می‌توان در موارد زیر جستجو نمود:

الف- تسریع سرعت رسیدن آب تازه از مخروط افکنه‌های حاشیه دشت‌ها به سمت چاه‌های بهره‌برداری، به دلیل افزایش شیب هیدرولیکی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی.

ب- انجام حفاری‌های جدید و یا کف شکنی چاه‌ها و دسترسی به لایه‌های آب با کیفیت بهتر.

ج- تفاوت در موقعیت و تعداد نقاط نمونه‌برداری برای تعیین شوری متوسط.

در حال حاضر، پیشروی جبهه آب شور (به ویژه در حاشیه کفه نمک سیرجان) از معضلاتی است که به دلیل برداشت بیش از حد مجاز و معکوس شدن شیب هیدرولیکی، در برخی دشت‌های استان با آن مواجه هستیم.

همچنین رها کردن چاه‌هایی که آب آن‌ها شور و غیرقابل استفاده شده و ادامه برداشت از چاه‌های دارای آب با کیفیت بهتر، باعث شده سطح آب شور نسبت به سطح آب شیرین بالاتر قرار گرفته و آب شور به سمت آب شیرین حرکت کرده و کیفیت این آب را نیز پایین آورد. این مسئله در اکثر دشت‌های استان در حال وقوع است.

۵-۷- سایر موارد

افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخایر آبی در سال‌های گذشته، باعث کاهش رطوبت خاک، خشک شدن و کم آبی رودخانه‌ها، کاهش آبدهی و خشک شدن چشمه‌ها و قنات‌های استان شده است.

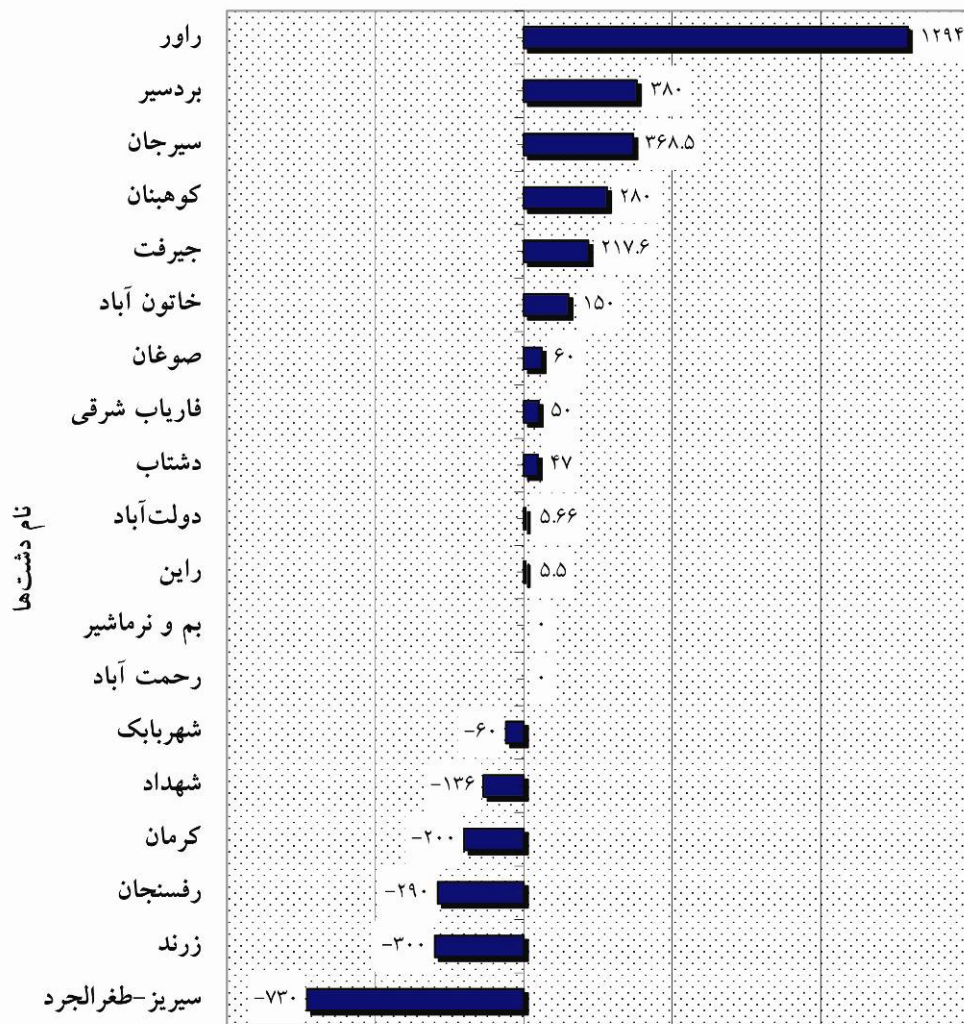
(Galloway 1999). استخراج آب زیرزمینی و در پی آن افت مداوم سطح ایستابی، تخلیه سفره‌ها و نشست زمین از عوامل اصلی فرونشست زمین می‌باشند. در حال حاضر شواهد این پدیده نظیر ایجاد درز و شکاف در سطح زمین، ایجاد ترک در دیواره‌ها، بالا آمدن لوله‌گذار چاه‌ها، ایجاد فروچاله‌ها و... در دشت‌های استان به وفور قابل مشاهده می‌باشند. با این وجود، تا کنون مطالعات نشست زمین در استان کرمان به‌طور جزئی فقط برای تعداد معدودی از دشت‌ها انجام گرفته است (شاهی دشت ۱۳۸۷). نشست زمین در کرمان، توسط مهندسین مشاور مهتاب قدس طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ بررسی شد. بر اساس نتایج این مطالعات نواحی جنوب شرق، شمال و شمال شرقی کرمان در طی این دوره حدود ۲۵ تا ۳۶ سانتی‌متر نشست داشته است (حسن‌زاده ۱۳۸۵). عباس‌نژاد (۱۳۷۷) و کاظمی‌آذر (۱۳۸۵) در مطالعات خود به وجود آثار پدیده فرونشست در دشت رفسنجان اشاره و علت اصلی آن را برداشت آب‌های زیرزمینی و تخلیه سفره‌ها دانستند. رحمانیان (۱۳۶۵) و شاهی دشت (۱۳۸۷) نیز علت پدیده نشست زمین و ایجاد شکاف در اراضی و ساختمان‌های منطقه زرنند را افت سطح آب گزارش نمودند (تصویر ۸).

۵-۶- کاهش کیفیت آب زیرزمینی و پیشروی آب شور

اضافه برداشت سبب افزایش املاح آب و نامناسب شدن کیفیت منابع آبی می‌شود. متأسفانه، با تخلیه بیش از حد سفره‌ها و پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، متوسط هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان طی دوره ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵ حدود ۵۳ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافته و به عدد ۲۸۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است. بیشترین میزان افزایش هدایت الکتریکی طی این مدت مربوط به دشت‌های



تصویر ۸- آثار پدیده فرونشست زمین در دشت رفسنجان



میزان هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتیمتر)

تصویر ۹- تغییر متوسط شوری آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان از سال آبی ۸۰-۸۱ تا ۸۶-۸۷

این مسئله، حیات گیاهان و جانوران را به‌ویژه در مناطقی مانند دشت‌های دولت‌آباد و صوغان که سطح آب زیرزمینی افت بیشتری داشته و همچنین مناطق راور، سیریز، نواحی شمالی و غربی دشت کرمان، مناطق نوق و انار، شمال و شمال غربی دشت زرنند و حاشیه کفه نمک دشت سیرجان که آب زیرزمینی کیفیت مطلوبی ندارد، در معرض خطر جدی قرار داده است. بررسی کیفیت آب زیرزمینی این مناطق نشان‌دهنده‌ی آن است که در شرایط کنونی، میزان شوری آب زیرزمینی این مناطق آنقدر بالاست که برای شرب انسان و دام و حتی آبیاری زمین‌های کشاورزی نیز نامناسب است (جدول ۲) (شاهی دشت و عباس‌نژاد ۱۳۸۹).

این مسئله، حیات گیاهان و جانوران را به‌ویژه در مناطقی مانند دشت‌های دولت‌آباد و صوغان که سطح آب زیرزمینی افت بیشتری داشته و همچنین مناطق راور، سیریز، نواحی شمالی و غربی دشت کرمان، مناطق نوق و انار، شمال و شمال غربی دشت زرنند و حاشیه کفه نمک دشت سیرجان که آب زیرزمینی کیفیت مطلوبی ندارد، در معرض خطر جدی قرار داده است. بررسی کیفیت آب زیرزمینی این مناطق نشان‌دهنده‌ی آن است که در شرایط کنونی، میزان شوری آب زیرزمینی این مناطق آنقدر بالاست که برای شرب انسان و دام و حتی آبیاری زمین‌های کشاورزی نیز نامناسب است (جدول ۲) (شاهی دشت و عباس‌نژاد ۱۳۸۹). یکی از نمونه‌های بارز تهدید اکوسیستم طبیعی منطقه در پی افت سطح آب زیرزمینی، خشک شدن بخش وسیعی از جنگل و پناهگاه حیات وحش مهره‌پوش کهنوج است که به لحاظ حفاظت از گونه‌های گیاهی متعدد و زیستگاه پرندگان نادر در ایران

منحصر به فرد است. در بازدیدی که در زمستان ۱۳۸۷ از این پناهگاه به‌عمل آمد، مشخص شد که بخش عمده‌ای از جنگل مهره‌پوش خشک شده و درحال تخریب می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده مشخص شد که در گذشته سطح آب زیرزمینی این منطقه بسیار بالا بوده است (در عمق ۴-۲ متر). حفر تعداد زیادی چاه در اطراف این جنگل، سطح آب زیرزمینی را به شدت کاهش داده (بیش از ۱۵ متر) که به دنبال آن، درختان این جنگل درحال خشک شدن می‌باشند.

۴- پیش‌بینی شرایط در آینده

پیش‌بینی، همواره یکی از بحث‌انگیزترین و مشکل‌ترین اقدامات است. هرچه اطلاعات ما در مورد فرآیندهای حاکم بر تغییرات محیط زیست بیشتر باشد صحت پیش‌بینی‌ها نیز بیشتر خواهد بود پایه و

شاهی دشت و عباس نژاد: ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان

بنابراین با افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخایر آبی شاهد با افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخایر آبی، شاهد تشدید پیامدهای آن از جمله کاهش کیفیت آب، کاهش قابلیت انتقال سفره‌ها به دلیل کاهش بیش از پیش ضخامت آن‌ها، خشک شدن و فصلی شدن رودخانه‌ها، خشک شدن بسیاری از منابع آبی و افزایش اجباری عمق چاه‌ها (به‌خصوص در مناطق دارای افت بیشتر)، نیاز به افزایش مصرف انرژی جهت استحصال آب زیرزمینی به میزان بیش از ۱۶۶/۰۰۰ گیگاژول (معادل نیاز به افزایش سوخت ۴/۵۷۰/۰۰۰ لیتر گازوئیل و یا افزایش مصرف حدود ۲/۰۰۰/۰۰۰ کیلووات ساعت نیروی برق) نسبت به میزان مصرف سال ۸۶-۸۵ و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، افزایش آسیب‌پذیری دشت‌ها

اساس همه پیش‌بینی‌ها، اطلاعات و نتایج گذشته است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای و کیفیت آب آن‌ها و با فرض ادامه روند کنونی تغذیه و تخلیه سفره‌ها، وضعیت ۱۰ سال آینده هر یک از دشت‌ها پیش‌بینی شد. بدیهی است که هیچ دلیلی وجود ندارد که این روند تا ۱۰ سال آینده هم ادامه یابد ولی این فرض می‌تواند ابعاد مشکل را در صورت ادامه روند فعلی، تا حدودی مشخص نماید.

نتیجه پیش‌بینی، بیان‌گر آن است که طی ۱۰ سال آینده سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان به‌طور متوسط حدود ۹ متر دیگر افت خواهد نمود و به همین علت بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب از حجم فعلی ذخایر آبی استان کاسته خواهد شد.

جدول ۲- اثرات اضافه برداشت در دشت‌های استان از سال آبی ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵ سال آبی باید در جدول آورده شود.

| نام دشت | افت سطح آب (متر) | کاهش حجم ذخایر آبی (میلیون مترمکعب) | افزایش مصرف انرژی (گیگاژول) | تغییر میزان شوری آب (میکروموس بر سانتی‌متر زمین) | ملاحظات نشست |
|-------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|--------------|
| کرمان-باغین | ۵/۵ | ۳۳۳ | ۳۷۷۹ | -۲۰۰ | انجام شده |
| زرند | ۸/۳۹ | ۵۱۰ | ۸۵۹۰ | -۳۰۰ | انجام نشده |
| رفسنجان | ۴/۶۲ | ۹۷۰ | ۹۳۶۰ | -۲۹۰ | انجام شده |
| سیرجان | ۴/۷۸ | ۸۴۱/۷۵ | ۸۰۴۵ | ۳۶۸/۵ | انجام نشده |
| جیرفت | ۷/۷۶ | ۳۴۲/۹۹ | ۷۹۶۴ | ۲۱۷/۶ | انجام نشده |
| راور | ۲/۱۱ | ۱۶/۸۸ | ۱۷۷ | ۱۲۹۴ | انجام نشده |
| شهربابک | ۲/۴۳ | ۷۲۹ | ۶۵۰ | -۶۰ | انجام نشده |
| خاتون آباد | ۱/۲۸ | ۲۳/۰۴ | ۶۷ | ۱۵۰ | انجام نشده |
| کویر هرات مروست | ۰/۸۵ | ۱۲/۵ | * | * | انجام نشده |
| قریه العرب | ۵/۱۴ | ۷۷/۱ | ۸۰۵ | * | انجام نشده |
| بردسیر | ۵/۷۲ | ۳۴۳/۲ | ۳۱۷۰ | ۲۰۰ | انجام نشده |
| بافت،سلطانی،بزنجان،رابر | * | * | * | * | انجام نشده |
| دشتاب | ۴/۶۱ | ۳۴/۵۷ | ۵۸۹ | ۴۷ | انجام نشده |
| دولت آباد | ۱۷/۶۱ | ۸۶۳ | ۳۱۶۰۰ | ۵/۶۶ | انجام نشده |
| صوغان | ۱۷ | ۷۱/۵ | ۲۷۶۹ | ۶۰ | انجام نشده |
| نودز | * | * | * | * | انجام نشده |
| دهکهان | * | * | * | * | انجام نشده |
| فاریاب شرقی | ۵/۵ | ۱۱۲ | ۱۶۰۰ | ۱۰۰ | انجام نشده |
| فاریاب کلاشگرد | * | * | * | * | انجام نشده |
| منوجان | * | * | * | * | انجام نشده |
| کهنوج | ۹/۴۶ | ۴۸۹ | ۶۰۰۰ | * | انجام نشده |
| رودبار | ۴/۳۶ | ۵۲۳/۲ | ۲۲۰۰ | * | انجام نشده |
| اسفندقه | * | * | * | -۹۰ | انجام نشده |
| قلعه گنج-کم سفید | ۳ | ۱۸۰ | ۱۲۱۰ | * | انجام نشده |
| شهداد | ۱/۵۵ | ۷/۴۴ | ۲۰/۵ | -۱۳۶ | انجام نشده |
| گلباف | * | * | * | * | انجام نشده |
| بم و نرماشیر | ۲/۶۲ | ۲۲۲/۳ | ۱۳۱۰ | ۰ | انجام نشده |
| راین | ۴/۰۳ | ۴۴/۳۳ | ۴۱۱/۳ | ۵/۵ | انجام نشده |
| ساردوئیه | * | * | * | * | انجام نشده |
| رحمت آباد | ۲ | ۳۵ | ۱۰۴ | ۰ | انجام نشده |
| کوهبنان | ۳/۵۵ | ۳۱/۹۵ | ۲۷۸ | ۲۸۰ | انجام نشده |
| سیریز-طغر الجرد | ۱/۷۵ | ۲۶/۲۵ | ۱۰۱ | -۷۳۰ | انجام نشده |

* اطلاعاتی موجود نیست

حال حاضر تنها ۱ درصد از کشاورزان استان دارای تحصیلات فوق دیپلم و بالاتر در رشته کشاورزی هستند و حدود ۷۸ درصد کشاورزان بی سواد یا دارای تحصیلات ابتدائی می‌باشند (معاونت برنامه و بودجه استان کرمان ۱۳۸۵).

بنابراین افزایش سطح آگاهی‌های عمومی و حمایت و تشویق فارغ التحصیلان دانشگاهی جهت فعالیت در بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین روش‌های فرهنگی مدیریت منابع آبی است.

برای انجام راهکارهای عملیاتی نیز باید در نظر داشت که استان کرمان از دریاچه‌های آب شیرین و رودخانه‌های بزرگ دور بوده و عملاً استفاده از منابع آب جایگزین در این استان امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین تنها راه ممکن جهت کاهش مشکلات، مدیریت صحیح و استفاده بهینه از منابع آبی موجود است. مدیریت منابع آبی به معنی استفاده دقیق از آب و حفاظت منابع آبی است که کمیت و کیفیت آب را شامل می‌شود و می‌توان آن را به دو روش فعال و انفعالی تقسیم‌بندی نمود.

روش فعال خود قابل تفکیک به روش‌های زیر است:

۱-۷- جلوگیری از هدر رفت آب‌های سطحی

احداث سد، مهم‌ترین راهکار کنترل آب‌های سطحی است که در معدود دشت‌های دارای رودخانه دائمی استان کرمان در حال اجراست. اما به دلیل اینکه راه حل‌های سازه‌ای بحران آب از جمله سدسازی به زودی پایان می‌یابد، این عمل روش مفیدی برای آینده به نظر نمی‌رسد.

از آن گذشته احداث سد خود نیز پیامدهای زیست‌محیطی فراوانی بدنبال دارد. به عقیده میرعباسی و رهنما (۱۳۸۶) احداث سد بر روی رودخانه تنگ‌تپه دشت سیرجان، سبب کاهش تغذیه سفره آب زیرزمینی منطقه از این رودخانه و افزایش هجوم آب شور کفه نمک به سمت سفره شده است. بنابراین با توجه به میزان بارندگی بسیار کم در استان کرمان و نتیجتاً پتانسیل کم تولید جریان‌ات سطحی و عدم تغذیه مناسب سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین تغییرات میزان بارندگی از سالی به سال دیگر، ضرورت دارد از کلیه ظرفیت‌های موجود استفاده بهینه گردد.

۲-۷- مفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی

تغذیه مصنوعی سفره و جلوگیری از نفوذ آلودگی به آب‌های زیرزمینی، از جمله اقداماتی است که می‌تواند به حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی کمک نماید. با استفاده از روش‌های پخش آب در سطح زمین، استفاده از گودال‌های طبیعی جهت نفوذ آب، استفاده از

نسبت به خشکسالی، تداوم نشست زمین و پیامدهای ناشی از آن (ایجاد درز و شکاف در سطح زمین و بناها، خسارت به تأسیسات چاه‌ها و کاهش ظرفیت ذخیره مجدد آب در سفره) و حتی در مواردی فرسایش خاک و افزایش سیل‌خیزی خواهیم بود. با توجه به این موارد، پیش‌بینی می‌شود که کشاورزی منطقه به‌ویژه باغات پسته پس از رونق زودگذر فعلی به دلیل عدم رعایت مسائل زیست‌محیطی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، با آسیب‌های زیادی مواجه شود. بنابراین وضعیت اقتصادی مناطقی که وابستگی زیادی به محصولات کشاورزی از جمله پسته دارند با بحران جدی‌تری روبرو خواهد شد. در ارزیابی آسیب‌های اقتصادی برداشت بی‌رویه از سفره‌ها، باید علاوه بر محاسبه میزان خسارات وارده به زمین‌های کشاورزی و کاهش تولید و تلف شدن دام، طیور و حیات وحش، به خسارت‌های ناشی از نشست زمین، افزایش سیل‌خیزی، افزایش مصرف انرژی، هزینه استحصال، انتقال آب شرب و کشاورزی، هزینه دفع فاضلاب‌ها و زباله‌ها، افزایش بیماری بر اثر استفاده از آب‌های ناسالم و... نیز توجه شود. از نظر آسیب‌های اجتماعی، پیش‌بینی می‌شود که با کاهش تولیدات کشاورزی و رکود اقتصادی در منطقه، نزاع بر سر آب افزایش یافته، امرارمعاش مردم با مشکل مواجه شده و فقر، بیکاری و بزهکاری افزایش یابد. همچنین کمبود آب و تبدیل تدریجی دشت‌ها به بیابان، افزایش مهاجرت از روستا به شهر و توسعه شهرنشینی را به دنبال خواهد داشت.

پیش‌بینی وضعیت هر یک از دشت‌های استان و اثرات اضافه برداشت‌ها طی سال‌های آینده، در جدول ۳ آورده شده است. همچنین وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های اصلی استان (کرمان، رفسنجان، زرنند، سیرجان و جیرفت) در گذشته، حال و آینده در جدول ۴ ارائه شده است.

۷- راهکارهای مدیریت منابع آبی

مدیریت منابع آبی در جهت تأمین نیازهای بشر و کاهش خسارات ناشی از برداشت‌های بی‌رویه، موضوع پیچیده‌ای است که با افزایش جمعیت و میزان تقاضا در سال‌های آینده مشکل‌تر نیز خواهد شد. عوامل متعددی در افت سطح آب زیرزمینی نقش دارند که برای انتخاب راهکار مدیریتی مناسب ابتدا باید به عوامل اصلی افت سطح آب توجه نمود. عامل مهم افت سطح آب زیرزمینی در استان کرمان پمپاژ بیش از حد مجاز آب و حفر چاه‌های غیرقانونی است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۷). این نوع بهره‌برداری به علت عدم آگاهی بهره‌برداران از عواقب تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی و عدم آشنایی آن‌ها با روش‌های نوین حفظ منابع با کمترین هزینه است. در

شاهی دشت و عباس نژاد: ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان

حوضچه‌های تغذیه، افزایش نفوذ طبیعی آب در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها، تزریق آب به سفره توسط چاه‌های تزریقی و ایجاد ترانشه‌های افقی در زمین، می‌توان اقدام به تغذیه مصنوعی سفره نمود

۷-۳- حفاظت آب در مصرف

بیشترین میزان مصرف آب‌های زیرزمینی استان مربوط به بخش

تنها روش استفاده از گودال‌ها و افزایش نفوذ از طریق بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها کارایی بالا داشته و جهت تغذیه سفره‌های آب

جدول ۳- پیش‌بینی وضعیت و اثرات اضافه برداشت‌ها در دشت‌های استان طی دوره ۸۵-۸۶ تا ۹۵-۹۶

| سال آبی باید در جدول آورده شود. نام دشت | افت سطح آب (متر) | کاهش حجم ذخایر آبی (میلیون مترمکعب) | افزایش مصرف انرژی (گیگاژول) | تغییر متوسط هدایت الکتریکی آب (میکروموس بر سانتی متر) |
|---|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| کرمان-باغین | ۸/۱۳ | ۴۷۸/۷۹ | ۵۵۰۰ | - |
| زرنند | ۱۷ | ۱۰۷۰/۸۸ | ۱۸۲۵۰ | - |
| رفسنجان | ۸/۲ | ۱۷۲۲ | ۱۶۲۰۸ | - |
| سیرجان | ۶/۵ | ۱۱۲۳/۵ | ۱۰۰۰۰ | ۶۹۱ |
| جیرفت | ۱۱/۱۸ | ۴۹۴/۱۵ | ۱۱۴۷۴ | ۶۴۰ |
| راور | ۴ | ۳۲ | ۳۳۵ | ۱۸۰۰ |
| شهربابک | ۳ | ۹۰ | ۸۰۱ | - |
| خاتون آباد | ۲/۵ | ۴۵ | ۱۳۰ | - |
| کویر هرات مروست | * | * | * | - |
| قریه العرب | ۷ | ۱۰۵ | ۱۱۰۰ | - |
| بردسیر | ۱۰ | ۶۰۰ | ۵۵۵۰ | ۳۹۰ |
| بافت،سلطانی،بزنجان، رابر | * | * | * | - |
| دولت آباد | ۲۲/۵ | ۱۱۰۲/۵ | ۴۰۳۷۰ | ۱۵۸/۵ |
| صوغان | ۲۴ | ۱۰۰/۸ | ۳۹۱۰ | ۷۶ |
| نودژ | * | * | * | - |
| دهکهان | * | * | * | - |
| فاریاب شرقی | ۵ | ۱۰۲ | ۱۷۴۰ | - |
| فاریاب کلاشگرد | * | * | * | - |
| منوجان | * | * | * | - |
| کهنوج | ۱۸/۹۲ | ۱۷۸/۸ | ۱۲۰۰۰ | - |
| رودبار | ۸/۷۲ | ۱۰۴۶/۴ | ۴۴۰۰ | - |
| اسفندقه | * | * | * | - |
| قلعه گنج- کم سفید | ۴ | ۲۴۰ | ۱۶۱۰ | - |
| شهداد | ۲/۵ | ۱۲ | ۳۳ | - |
| گلباف | * | * | * | - |
| بم و نرماشیر | ۴ | ۳۴۰ | ۲۰۰۰ | - |
| راین | ۷ | ۷۷ | ۷۱۴ | - |
| ساردوئیه | * | * | * | - |
| رحمت آباد | ۳ | ۵۵/۲ | ۱۵۶ | - |
| کوهبنان | ۱۳/۲۱ | ۱۱۸/۹ | ۱۰۳۰ | ۱۲۴۹ |
| سیریز-طغرالجرد | ۷ | ۱۰۵ | ۴۵۰ | - |
| دشتاب | ۹/۵ | ۷۱/۲۵ | ۱۲۱۰ | ۹۵ |

* اطلاعاتی موجود نیست - محاسبه نشده است

شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی دشت‌های استان در جدول ۵ ارائه شده است. در کنار راهکارهای مطرح شده باید به مهار رشد جمعیت، ترویج الگوی صحیح مصرف، بهبود راه‌های ارتباطی روستایی و فراهم کردن امکانات مناسب آموزشی و بهداشتی در روستاها برای کاهش مهاجرت به شهرها و ارائه خدمات بیمه محصولات کشاورزی توجه نمود. حل مشکلات، نیازمند اجرای تلفیقی از راهکارهای قابل اجرا در جهت بهره‌برداری حداکثری از آب‌های سطحی به همراه استفاده از انواع روش‌های حفاظت از سفره و کاهش و بهینه‌سازی مصرف است. با توجه به اینکه تاکنون روش‌های فعال، به‌خوبی مورد استفاده قرار نگرفته و از افت مداوم سطح آب‌های زیرزمینی استان جلوگیری نشده است، ممکن است در عمل روش انفعالی صورت گیرد.

گرچه در روش انفعالی، مسئولین اقدامی انجام نداده و هزینه‌ای صرف نمی‌شود اما در نهایت به علت خشک شدن بعضی از منابع برداشت آب و کاهش آبدهی، تعادل جدیدی برقرار می‌گردد. این مسئله، خشک شدن باغات، مزارع و خسارت‌های اقتصادی، آسیب شدید به سفره‌های آب، نشست زمین به میزان بیشتر و در مناطق بیشتر، هجوم بیشتر آب‌های شور به سفره‌ها، آسیب بیشتر به اکوسیستم منطقه، کاهش منابع آب مورد نیاز و بروز پاره‌ای مشکلات اجتماعی را به دنبال خواهد داشت.

کشاورزی است، بنابراین حفاظت آب در کشاورزی و بهبود روش‌های آبیاری می‌تواند صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را در منابع آبی استان به دنبال داشته باشد. پیشنهادهایی که در این زمینه می‌توان ارائه کرد به شرح زیر می‌باشند: قیمت‌گذاری بر آب زیرزمینی در کشاورزی و استفاده از سیاست‌های تشویقی برای کشاورزانی که میزان محصول تولیدی آن‌ها به ازای واحد آب مصرفی بیشتر است، کنترل میزان برداشت آب، انجام عملیات آبخیزداری، کاهش تلفات انتقال آب از شبکه‌های آبیاری سنتی از طریق اجرای طرح‌های پوشش نهرها و لوله‌گذاری، افزایش راندمان آبیاری با اجرای روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در مزارع و باغات همراه با فراهم نمودن تسهیلات بانکی لازم، بهبود شرایط خاک به منظور افزایش نفوذپذیری آن و کاهش رواناب، تعیین میزان بهینه آب مصرفی به ازای محصول تولیدی مشخص، انجام آبیاری به موقع، تهیه الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن وضعیت اقلیمی و شرایط خاک و آب، حمایت از متخصصین علوم گیاهی و مهندسين ژنتیک جهت مطالعه و تحقیق در مورد ایجاد نژادهای گیاهی پُر محصول و مقاوم، بازیافت و تصفیه فاضلاب شهری به منظور استفاده در کشاورزی، گسترش کشاورزی مصنوعی و کشت گیاهان در محیط‌های آبی (هیدروپونیک) و... خلاصه‌ای از راهکارهای موجود با مقایسه اهمیت و امکان استفاده آن‌ها بر اساس

جدول ۴- مقایسه و پیش‌بینی وضعیت منابع آبی دشت‌های اصلی استان طی دوره‌های ۹۵-۹۶ و ۸۰-۹۵

| مشخصه | سال آبی | دشت کرمان | دشت زرنند | دشت رفسنجان | دشت سیرجان | دشت جیرفت |
|--|---------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|
| متوسط ضخامت سفره (متر) | ۸۰-۸۱ | ۷۳/۶ | ۱۵۴/۹۹ | ۹۸/۶۲ | ۹۵/۲ | ۱۷۴/۹۴ |
| | ۸۵-۸۶ | ۶۸/۱ | ۱۴۶/۶ | ۹۴ | ۹۰/۴۲ | ۱۶۷/۱۸ |
| | ۹۵-۹۶ | ۵۹/۹۷ | ۱۲۹/۶ | ۸۵/۸ | ۸۳/۹۲ | ۱۵۶ |
| حجم ذخایر آبی (میلیون مترمکعب) | ۸۰-۸۱ | ۴۴۱۸/۹ | ۹۴۲۴ | ۲۰۷۱۰ | ۱۶۶۶۵/۲۵ | ۷۳۲۳ |
| | ۸۵-۸۶ | ۴۰۸۵/۹ | ۸۹۱۳/۸۸ | ۱۹۷۴۰ | ۱۵۸۲۳/۵ | ۷۳۸۹/۳۵ |
| | ۹۵-۹۶ | ۳۵۹۸/۱ | ۷۸۴۳ | ۱۸۰۱۸ | ۱۴۷۰۰ | ۶۸۹۵/۲ |
| متوسط عمق برخورد به سطح آب (متر) | ۸۰-۸۱ | ۵۲/۴ | ۶۶/۶۱ | ۵۲/۳۸ | ۲۴/۷ | ۲۰ |
| | ۸۵-۸۶ | ۵۷/۹ | ۷۵ | ۵۷ | ۲۹/۵ | ۲۷/۸ |
| | ۹۵-۹۶ | ۶۶ | ۹۲ | ۶۵ | ۳۶ | ۳۸/۸ |
| چاه | ۸۰-۸۱ | ۱۰۶۷ | ۷۹۰ | ۱۳۸۳ | ۹۷۵ | ۲۳۰۱ |
| | ۸۵-۸۶ | ۱۱۸۹ | ۷۳۰ | ۱۴۳۳ | ۱۰۰۳ | ۵۱۲۹ |
| | ۹۵-۹۶ | * | * | * | * | * |
| تعداد منابع آبی | ۸۰-۸۱ | * | ۳۹ | ۱۵۱ | ۵۱ | * |
| | ۸۵-۸۶ | ۲۷ | ۹۸ | ۱۵۰ | ۵۱ | ۱۶۸ |
| | ۹۵-۹۶ | * | * | * | * | * |
| متوسط شوری آب زیرزمینی (میکروموس بر سانتی‌متر) | ۸۰-۸۱ | ۶۸۰۰ | ۵۰۵۹ | ۷۰۳۵ | ۳۹۴۰/۵ | ۱۰۳۲/۳ |
| | ۸۵-۸۶ | ۷۰۰۰ | ۴۷۵۹ | ۶۷۴۵ | ۴۳۰۹ | ۱۲۵۰ |
| | ۹۵-۹۶ | ؟ | ؟ | ؟ | ۵۰۰۰ | ۱۸۹۰ |

* اطلاعاتی موجود نیست

جدول ۵- راهکارهای مدیریتی افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان

| امکان اجرا در استان | راه رسیدن به راهکار | راهکار مدیریتی |
|---------------------|--|--------------------------------|
| کم | تمرکززدائی از چاه‌های بهره‌برداری | |
| قابل ملاحظه | ادامه ممنوعیت دشت، عدم صدور مجوزهای حفاری جدید | |
| متوسط | احیای قنوتات | |
| غیرقابل استفاده | انتقال آب از حوزه‌های مجاور | |
| کم | فروش مجوزهای میزان برداشت آب | حفاظت از سفره‌ها |
| کم | باروری ابرها و تولید باران مصنوعی | |
| کم | جلوگیری از ساخت و ساز در مناطق تغذیه سفره‌ها | |
| کم | استفاده از چاه‌های تزریقی | |
| متوسط | نفوذ آب از بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها | |
| متوسط | نفوذ سیلاب در گودال‌های طبیعی و قنوتات خشک شده | افزایش تغذیه سفره |
| قابل ملاحظه | ایجاد ترانشه جهت نفوذ سیلاب‌ها | |
| قابل ملاحظه | اجرای سدهای خاکی کوتاه | |
| قابل ملاحظه | کشاورزی: استفاده از کودهای گیاهی و جانوری و روش‌های بیولوژیکی دفع آفات | اقدامات کاهش آلودگی |
| متوسط | صنایع و معادن: جلوگیری از ورود پساب‌های صنعتی و معدنی به سفره | |
| کم | احداث سد | جلوگیری از هدر رفت آب‌های سطحی |
| قابل ملاحظه | بیان مشکلات و افزایش سطح دانش بهره‌برداران | |
| متوسط | تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها و پساب‌ها | |
| قابل ملاحظه | بهبود شرایط خاک و استفاده از روش‌های نوین آبیاری و کاهش تبخیر | |
| قابل ملاحظه | تهیه الگوی کشت بهینه و تولید نژادهای پُر محصول | صرفه‌جویی و حفاظت آب در مصرف |
| نا مشخص | یکپارچه کردن زمین‌های کوچک کشاورزی و ایجاد مزارع بزرگ | |
| متوسط | ترویج و توسعه آبکشت‌ها | |
| قابل ملاحظه | بهره‌برداری چند جانبه از منابع آبی | |
| قابل ملاحظه | کاهش تلفات انتقال آب | |

۸- نتیجه‌گیری

و بدنبال آن بروز نا آرامی‌ها، منازعات روستایی و بحران‌های

اجتماعی در منطقه خواهیم بود.

عدم آگاهی بهره‌برداران از عواقب تهي شدن سفره‌های آب زیرزمینی و روش‌های حفظ منابع با کمترین هزینه و تمایل به کسب سود بیشتر بدون توجه به حفظ محیط‌زیست و منابع، از عوامل اصلی اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی استان محسوب می‌شوند. این موارد، در قالب کشاورزی سنتی و استفاده از روش‌های پُر مصرف آبیاری و همچنین توسعه روزافزون سطح زیرکشت پسته نمود یافته است. بنابراین با حفاظت آب در کشاورزی از طریق بهبود روش‌های آبیاری همراه با انجام اقداماتی نظیر بیان مشکلات و افزایش سطح دانش بهره‌برداران، تهیه الگوی کشت بهینه، جلوگیری از برداشت‌های غیرمجاز و عدم صدور مجوزهای جدید، حفاظت از سفره‌ها و تغذیه مصنوعی آن‌ها،

در حال حاضر تمامی دشت‌های استان کرمان دارای بیلان منفی بوده و کیفیت آب زیرزمینی نیز به گونه‌ای است که در برخی مناطق برای شرب انسان و دام و حتی آبیاری زمین‌های کشاورزی نامناسب است. اضافه برداشت از منابع آبی استان طی سال‌های گذشته پیامدهای محیطی و اقتصادی نامطلوبی را به‌دنبال داشته است و چنانچه اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه و به تعادل رساندن سفره‌های آب زیرزمینی صورت نگیرد، علاوه بر تشدید این پیامدها، شاهد اختلال در روند فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری، کاهش فرآورده‌های زراعی و دامی، تهدید امنیت زراعی و دامی، تهدید امنیت غذایی، عدم تأمین آب شرب کافی، اختلال در بهداشت عمومی، اختلال در امور صنعتی، گسترش بیکاری، کاهش تولید و درآمد و در نهایت افزایش فقر عمومی

عباس نژاد، ا.، ۱۳۸۳، "حفره فروکش کارستی در اختیار آباد- شمال غرب باختری کرمان"، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۵۲-۵۱: ۲۸-۳۵.

عبدی، پ.، امینی، ع.، اخروی، ر.، 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: ۵۷۱-۵۷۱.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۵، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، ۱۰۸ ص.

فاطمی عقدا، س.م.، نخعی، م.، بیت‌اللهی، ع.، علیاری، ع. ر.، ۱۳۸۰، "بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان"، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران، جلد دوم: ۷۰۱-۷۹۳.

فتحی، ف.، زیبایی، م.، ۱۳۸۹، "عوامل موثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد"، مجله علوم آب و خاک- علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ۵۳: ۱۶۵-۱۵۵.

قیومی، ح.، رامشت، م.ح.، مرادی، ی.، شفق، س.، ۱۳۸۴، "بررسی فرایند تأثیرگذار بر ویژگی‌های مورفولوژیک نشست زمین"، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه تبریز: ۱۲۹۹-۱۲۹۵.

کاظمی آذر، ف.، ۱۳۸۵، "شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی در دشت رفسنجان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۰۲-۸۳.

لشکری پور، غ. ر.، غفوری، م.، و دم‌شناس، م.، ۱۳۸۷، "تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت فریمان - تربت جام"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران: ۸۱۶-۸۱۰.

لشکری پور، غ. ر.، رستمی بارانی، ح. ر.، کهندل، ا. و ترشیزی، ح.، ۱۳۸۵، "افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر"، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۳۸-۲۴۲۸.

لشکری پور، غ. ر.، غفوری، م.، سوزی، ز. و پیوندی، ز.، ۱۳۸۴، "افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، جلد اول: ۳۱-۲۳.

لشکری پور، غ. ر.، کاظمی گلیان، ر. و میرشاهی، م.، ۱۳۸۶، "بررسی تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر روی کیفیت آن در دشت فریمان - تربت جام"، مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، مشهد، جلد دوم: صفحات ۹۴۷-۹۴۲.

مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶، "سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵"، پایگاه اطلاع‌رسانی www.amar.ir.

معاونت برنامه و بودجه استان کرمان، ۱۳۸۵، "سیمای استان کرمان و شهرستان‌ها"، جلد دوم، صفحات ۱۱۴-۹۵.

می‌توان میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به حداقل رساند.

مراجع

ابراهیمی، ن.، قدیمی عروس محله، ف. وفاخواه، م.، ۱۳۷۸، "بررسی بحران منابع آب دشت زرنده ساوه"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، جلد دوم: ۷۰۷-۷۰۱.

امیری، م.، ۱۳۸۴، "ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین- کبودرآهنگ- قهاوند با سنگ کف منطقه"، مجله علوم زمین، شماره ۵۱: ۱۴۷-۱۳۴.

براون، ل.، ۱۳۸۱، "اقتصاد زیست‌محیطی (راه حل بحران محیط زیست)"، ترجمه: طراوتی، ح.، تهران، نشر هوای تازه، ۲۸۱ ص.

بوتراپ، س.، فتوت رودسری، ح.، ۱۳۸۵، "اطلس ژئوتوریسم استان کرمان"، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۶۱ ص.

حسن‌زاده، ر.، ۱۳۸۵، "بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست‌محیطی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۳۰ ص.

رحمانیان، د.، ۱۳۶۵، "نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آب‌های زیرزمینی در کرمان". نشریه آب، شماره ۶: ۴۸-۳۵.

سازمان هواشناسی کرمان، ۱۳۸۴، "آمار ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان".

شاهی دشت، ع. ر.، 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، ۲۹۴ ص.

شاهی دشت، ع. ر.، عباس نژاد، ا.، ۱۳۸۹، "مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه موردی: استان کرمان)"، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام (ICIWG2010)، ایران، دانشگاه زاهدان: ۱۳-۱.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۷، "سیمای آب استان"، معاونت مطالعات پایه منابع آب، ۳۱۵ ص.

شمشکی، ا.، بلورچی، م.ج.، انتظام سلطانی، ا.، ۱۳۸۴، "فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن"، چکیده مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، ۱۳۴ ص.

عباس پور، م.، عنایی، ف.، ۱۳۸۰، "بحران‌های زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی توسعه پایدار در ایران"، مجموعه مقالات اولین همایش ملی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اهواز: ۲۱۵-۲۰۲.

عباس نژاد، ا.، ۱۳۷۷، "بررسی شرایط و مسائل محیط‌زیست دشت رفسنجان"، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد: ۳۱۰-۳۰۳.

میراب‌باشی، س.م.، دانائیان، م. ر.، 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، صفحات ۱۵۲۴-۱۵۲۰.

میرعباسی نجف آبادی، ر.، رهنما، م.ب.، ۱۳۸۶، "شبیه‌سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل Modflow و بررسی اثرات احداث سد تنگ‌ئوئیه بر آن"، مجله پژوهش آب ایران، دانشگاه شهرکرد، شماره ۱: ۹-۱.

ولایتی، س.، 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: ۲۸۳-۲۷۵.

Baba, A., Howard, K. W. F. & Gunduz, O., 2006, "Groundwater and ecosystems", *NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, 310 pp.*

Chatterjee, R. S., Funeau, B., Rudant, J. P., Roy, P. S., Frison, P. L., Lakhera, R. C., Dahwal, V. K. & 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, Vol. 102: 176-185.*

Cunningham, W., 2003, "Environmental science", 7th Edition, McGraw Hill, 562 pp.

Galloway, D., 1999, "Land subsidence in the United States, Washington D. C.", *United States Geological Survey, Circular, Vol. 1182, 177 pp.*

Gelt, J., Henderson, J., Seasholes, K., Tellman, B. & Woodard, G., 1999, "Water in the Tucson area: Seeking sustainability", *Water Resources Research Center, University of Arizona, Issue Paper #20, 155 pp.*

Kaiser, R. & Skiller, F., 2003, "Options for managing the hidden threat of aquifer depletion in Texas", *Texas Tech Law Review, Vol. 32: 250-304.*

Moore, J. E., 2005, "Overdraft, Water Encyclopedia", *USGS (Retired), Denver, Colorado: 340-343.*

Phien-Wej, N., Giao, P. H. & Nutalaya, P., 2006, "Land subsidence in Bangkok Thailand", *Engineering Geology, Vol. 82: 187-201.*

Rahnama-Rad, J., Khosravi, F. & Farhang, R., 2009, "Groundwater drawdown and land subsidence in Mashhad plain", 6th *Euregeo, Germany, June 9th -12th, Munich, Proceedings Vol. 1: 95-98.*