

بررسی بحران آب استان خراسان

سعداله ولایتی*

دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پذیرش: ۸۵/۴/۲۸

دریافت: ۸۴/۵/۲۵

چکیده

حجم آب تجدیدشونده سالیانه در سطح استان خراسان، حدود ۱۱/۹ میلیارد مترمکعب است که ۳/۹ میلیارد مترمکعب آن سطحی و ۸ میلیارد مترمکعب آن زیرزمینی است. آب زیرزمینی استان به‌طور عمده در آبخانه دشتهای استان یافت می‌شود و نسبت به منابع آب سطحی از اهمیت بیشتری برخوردار است. هر ساله حدود ۹/۷ میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی از این آبخانه‌ها استخراج و به مصارف مختلف (به‌طور عمده کشاورزی) می‌رسد. توسعه‌ای که به‌صورت اضافه برداشتها (برداشت بیشتر از تغذیه سالیانه) به‌وسیله چاههای عمیق صورت می‌گیرد، سبب شده است که آبخانه ۵۷ دشت از ۷۶ دشت استان، با کسری مخزن روبه‌رو شود و استان با بحران شدید آب مواجه گردد. کسری مخزن آب زیرزمینی، به ۱/۷ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد. گزارشاتی که تاکنون درباره بحران آب در استان خراسان انتشار یافته‌اند، عامل اصلی بحران آب را خشکسالیها قلمداد کرده‌اند؛ درحالی که در این تحقیق معلوم شده است، عامل اصلی بحران آب، اضافه برداشتهای مستمری است که به‌وسیله چاههای عمیق از آبخانه دشتهای صورت می‌گیرد و نه خشکسالیها به تنهایی؛ اگرچه خشکسالیها نیز در این بحران نقش دارند. برای اثبات این ادعا، متوسط سالیانه بارندگی (متحرک ۵ سالیانه) هر دشت، با هیدروگراف آبخانه همان دشت، به مقایسه و تحلیل گذاشته شده است. در این تحلیل معلوم شده است که سطح آب زیرزمینی، حتی در سالهای تر که برطبق قاعده باید بالا می‌آمد، همچنان به افت خود ادامه داده است. پیامدهای جبران‌ناپذیر بحران آب عبارتند از بالا رفتن هزینه پمپاژ آب، شور شدن آب زیرزمینی، نشست زمین و ایجاد شکافها در سطح دشتهای و مشکلات زیست محیطی.

کلید واژه‌ها: بحران آب، آبخانه، اضافه برداشت، هیدروگراف، نشست زمین، خشکسالی، میانگین متحرک بارندگی.

۱- مقدمه

استان پهناور خراسان با وسعتی معادل ۲۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع و جمعیتی معادل ۶ میلیون نفر، در شرق و شمال شرق ایران واقع شده است. خراسان به دلیل موقعیت جغرافیایی و وضعیت اقلیمی، استانی است کم آب که متوسط بارندگی آن از ۲۰۵ میلیمتر در سال تجاوز نمی‌کند. در این استان حدود ۶ میلیون نفر زندگی می‌کنند که شغل عمده آنها کشاورزی است، یا به بیان دیگر، محور تولید کشاورزی بوده و به دلیل کم بودن نزولات جوی، کشاورزی به صورت آبی، انجام می‌شود. با توجه به اینکه رژیم بارندگی نیز به طور عمده زمستانه - بهاره است؛ بنابراین در فصل کشت از آب باران و جریانهای سطحی جاری کمتر بهره‌برداری می‌شود؛ در نتیجه، به اجبار باید از آب زیرزمینی برای کشت محصولات کشاورزی استفاده کرد.

تا قبل از دهه ۱۳۳۰ ه.ش. از آب چشمه‌ها و قنات‌ها برای آبیاری زمینهای کشاورزی استفاده می‌شد؛ ولی، بعدها که حفرچاههای عمیق در دشتهای استان متداول شد، آب آبخانه دشتها به وسیله آنها استخراج شد و به مصارف کشاورزی رسید. با اضافه شدن این منبع آب جدید (چاه)، کشاورزی رونق بسیار یافت و به تبع آن استخراج آبهای زیرزمینی نیز هر چه بیشتر توسعه یافته است.

حفر چاههای عمیق و آبکشی از آنها به وسیله پمپهای قوی، دستاورد کشورهای پیشرفته جهان بوده است و بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی نیز به وسیله آنها براساس برنامه مشخصی صورت می‌گیرد. به همین دلیل مخزن آب زیرزمینی در این کشورها در یک وضعیت تعادلی نگاهداری می‌شود؛ ولی، چون این قبیل امکانات در ایران وجود نداشته است؛ بنابراین در اثر اضافه برداشتهای مستمر به وسیله چاههای عمیق، مخازن آب زیرزمینی استان، یکی پس از دیگری با کسری آب مواجه شده‌اند و در نتیجه استان خراسان در بحران آب فرو رفته است.

علایم بحران آب از اوایل دهه ۱۳۵۰ ه.ش. در بعضی از دشتهای استان، مانند دشت مشهد، تایباد و کاشمر از طریق افت مستمر سطح آب زیرزمینی (که در هیدروگراف واحد آبخانه‌های آنها نمود یافته بود) مشاهده شد.

یک مدیریت کارآمد حکم می‌کرد پس از مشاهده بحران، اقداماتی اساسی در راستای مهار افت سطح آب زیرزمینی، در کوتاه مدت صورت گیرد و در بلندمدت، تمهیداتی پیرامون تقویت پتانسیل آبی و تعادل بخشی این دشتها، از طریق کاهش آبدهی چاهها، جلوگیری از اضافه

فصلنامه مدرس علوم انسانی ————— ویژه‌نامه جغرافیا، پاییز ۱۳۸۵

برداشت و یا تغذیه مصنوعی آبخانه و غیره به عمل آید؛ ولی چون این قبیل اقدامات، به‌طور جدی صورت نگرفته است، در نتیجه، در سالهای بعد، تعداد بیشتری از دشتهای نیز به سرنوشت دشتهای مزبور گرفتار آمدند. به این ترتیب، بحران آب تمامی استان را تا اواخر دهه ۱۳۶۰ هـ.ش. فرا گرفت و ادامه پیدا کرد. در حال حاضر از ۷۶ دشت استان، ۵۸ دشت (۷۶٪) با کسری مخزن مواجه شده‌اند.

جالب اینجاست که در اغلب موارد، علت اصلی بحران، خشکسالیها و کمبود نزولات جوی قلمداد شده و از اضافه برداشتها (برداشت بیشتر از تغذیه) یا توسعه ناپایدار، کمتر سخن رفته است؛ در حالی که به‌نظر نگارنده، علت اصلی بحران آب در استان خراسان، اضافه برداشتها و نه به‌تنهایی خشکسالیها است؛ اگرچه خشکسالیها نیز در این زمینه نقش داشته‌اند. کشور ما از گذشته‌های دور به این طرف، بارها با سالهای خشک و خشکسالیها مواجه شده است. تأثیر خشکسالیها بر زندگی مردم، به حدی بود که تقاضای مواجه نشدن با آن، حتی در نیایشهای روزمره گذشتگان، گنجانده شده بود. وقتی در کتیبه‌ها خوانده می‌شود «خدایا کشور ما را از گزند دشمنان، دروغ و خشکسالیها حفظ نما» استنباط می‌شود که خشکسالی به‌صورت یک خطر بزرگ، همواره تمدن ما را از عهد باستان تاکنون تهدید کرده و می‌کند، ولی ما ایرانیان همواره راهی برای برون رفت از آن یافته‌ایم؛ به‌طوری که این پدیده به‌تنهایی قادر به از بین بردن تمدن ما نشده است. ولی آیا می‌توانیم کشور را از بحران آبی که در اثر اضافه برداشتها از مخازن آب زیرزمینی، به وجود آمده است، نجات دهیم؟

۲- مواد و روشها

هدف اصلی این مقاله ارزیابی اوضاع آب، بویژه آب زیرزمینی استان خراسان و نشان دادن عمق بحران و عوامل اصلی آن است. در این رابطه روی تحلیل هیدروگراف آبخانه‌ها و مقایسه آنها با میانگین متحرک بارندگی تکیه شده است. داده‌های مربوط به آمار بارندگی از ایستگاههای سینوپتیک و یا هواشناسی استان تهیه و با روشهای آماری، اقدام به محاسبه میانگین متحرک بارندگی، با استفاده از نرم افزارهای آماری و رسم نمودار متحرک ۵ ساله بارندگی شده است. تهیه هیدروگراف آبخانه‌ها، با توجه به داده‌های تغییرات سطح آب

زیرزمینی چاههای پیزومتریک و شبکه مساحت تیسن یا چند ضلعی صورت گرفته است. به این ترتیب متوسط تغییرات سطح آب آبخانه دشتها (\bar{h}) از حاصلضرب مجموع ارتفاع سطح آب زیرزمینی هرماه (h) و تقسیم آن بر مجموع مساحت تیسن (s) بر ای هرماه و آنگاه برای هر سال از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\bar{h} = \frac{(h \times s) + (h_1 \times s_1) + \dots + h_n s_n}{\sum s}$$

از ارقام به دست آمده در هر ماه، هیدروگراف آبخانه برای چند سال رسم شده است. هیدروگراف آبخانه دشتها با نمودار سالیانه بارندگی در سالهای مشابه، مقایسه شده و تحلیل گردیده است. کسری مخازن ($-\Delta V$) دشتها از حاصلضرب مساحت آبخانه (A) و شیب هیدرولیک (I) نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی و ضریب نخیره آبخانه (S) با رابطه زیر به دست آمده است:

$$\pm \Delta V = A \times I \times S$$

بررسیهای مربوط به پیشروی جبهه آب شور به طرف آب شیرین براساس نتایج شیمیایی آب زیرزمینی طی سالهای متمادی صورت گرفته است و تحلیل آن طبق نظر لیگن - هرتربرگ^۱ [۱، ص ۲۸۶] انجام شده است. تصاویر مربوط به نشست زمین و شکاف سطح دشتها از بازدیدهای صحرایی به دست آمده و جمع‌آوری سایر داده‌های مربوط به فصول مختلف مقاله با روش کتابخانه‌ای انجام شده است.

۳- اوضاع کلی جغرافیایی

۳-۱- موقعیت ریاضی و نسبی

استان خراسان در شرق و شمال شرق ایران، در طول جغرافیایی $۵۵^{\circ} ۱۸'$ تا $۶۱^{\circ} ۳۰'$ و عرض جغرافیایی $۳۰^{\circ} ۱۳'$ تا $۳۸^{\circ} ۸'$ واقع شده است. از شمال و شمال شرق، به مرز ترکمنستان (شوروی سابق) از شرق و جنوب شرق، به کشور افغانستان و استان سیستان و بلوچستان، از غرب به استانهای گلستان و سمنان، از جنوب غرب و جنوب به استان یزد محدود می‌شود (شکل ۱).

1. Ghiben-Hertzberg



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و نسبی استان خراسان، وضعیت دشتها از نظر کسری مخزن [۱۲].

۴- جمعیت و فعالیتهای اقتصادی

در استان خراسان حدود ۶ میلیون نفر زندگی می‌کنند [۲، صص ۴۷ و ۵۶] که نزدیک به ۳۵ درصد نفر آنها تنها در شهر مقدس مشهد ساکن‌اند [۳، ص ۱۶۲].

در استان محور تولید را فعالیتهای کشاورزی تشکیل می‌دهند و زراعت، به‌طور عمده به‌صورت آبی کشت می‌شود که به‌همین دلیل آب اهمیت زیادی دارد. کل اراضی زیر کشت آبی استان بالغ بر ۱۲۱۲۰۰۰ هکتار است و بیش از ۶۲ درصد آن به‌کشت غلات اختصاص دارد. حدود ۷ الی ۸ درصد آن به‌کشت چغندر، حدود ۶ درصد باغها، حدود ۸/۵ درصد جالیز و بقیه را سایر کشتهای به خود اختصاص می‌دهند. [۴، ص ۴].

صنایع پیشرفت زیادی در استان نداشته است؛ به‌طوری‌که کل کارگاههای صنعتی استان رقم ۵۳۲۵۰ را نشان می‌دهد. جنگلها و مراتع (که جزو پتانسیلهای نسبتاً مهم استان می‌باشند) کمتر مورد توجه بوده‌اند؛ زیرا در اثر پاکتراشی درختان و چراهای بی‌رویه رو به زوال می‌روند؛ بنابراین در استان خراسان هنوز حدود ۲۴۲۲۷۷۵ هکتار جنگل و حدود



۱۰۰۰۰۰۰ هکتار مرتع وجود دارد که بیشترین وسعت جنگل در بخش شمال و شمال غربی استان و بیشترین وسعت زمینهای مرتعی در قسمت شمالی و مرکزی آن یافت می‌شود [۵].

۵- شرایط دمایی و بارش

آب و هوای استان خراسان بسیار متنوع و متفاوت است و تحت تأثیر چندین جبهه آب و هوایی قرار دارد که از غرب، شمال شرق و جنوب شرق وارد آن می‌شوند [۶، صص ۱۱۸-۱۱۹].
درجه حرارت هوا در نقاط مختلف استان متفاوت است. با توجه به حداکثر و حداقل مطلق دما در ایستگاههای هواشناسی درونه، کاشمر و شمخال (بترتیب ۵۵ و ۳۷/۵- درجه سانتیگراد) مشخص می‌شود که اختلاف دمای بین مناطق مختلف استان ۹۲/۵ درجه سانتیگراد است.
مقدار بارندگی در استان به تبعیت از دما و رطوبت هوا، به‌طور ناهمسان توزیع شده است. حداکثر بارندگی در ایستگاه زشک حدود ۳۵۲ میلیمتر و حداقل آن در ایستگاه بشرویه، در حاشیه کویر لوت واقع ۹۵ میلیمتر گزارش شده است. متوسط بارندگی در کل استان خراسان رقم ۲۰۵ میلیمتر را نشان می‌دهد.

۵-۱- زمین شناسی ژئومورفولوژی

وضعیت زمین‌شناسی استان پهناور خراسان، هم به لحاظ چینه‌شناختی و هم از نظر تنوع سازندها، بسیار جالب توجه است. در این استان، انواع سازندهای زمین‌شناسی (آذرین، دگرگونی و رسوبی) در ابعاد مختلف وجود دارند. قدیمی‌ترین آنها، مربوط به دوره پرکامبرین و جدیدترین آنها متعلق به دوران چهارم زمین‌شناسی است که به‌طور عمده به‌صورت رسوبات آبرفتی در دشتها تجمع یافته و آبخانه‌ها را تشکیل داده است [۷، ص ۴۸].

ژئومورفولوژی استان خراسان نشان می‌دهد که انواع مختلف پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در آن وجود دارند؛ ولی عمده‌ترین آنها (که مورد توجه این گزارش است) دشتها هستند که آبخانه‌ها را ایجاد کرده و در میان ارتفاعات و یا در دامنه آنها واقع شده‌اند. به‌عقیده زمردیان این دشتها در اثر فرایندهای درونی و بیرونی شکل‌دهنده پوسته جامد زمین در این منطقه ایجاد شده‌اند [۸، ص ۹۹].

در بین سازندهای سخت، سازنده آهکی مزدوران در زمینه نخایر آب زیرزمینی و ایجاد

آبخانه‌ها نقش مؤثری دارند [۹، ص ۴۹۳].

۶- منابع آب

۶-۱- منابع آب سطحی

مطالعه ترانزنامه کلی آب در استان خراسان نشان می‌دهد که حجم آب تولید شده از نزولات جوی، حدود ۴۸/۵ میلیارد مترمکعب است. حدود ۳۶/۶ میلیارد مترمکعب آن تبخیر شده و از دسترس خارج می‌شود. بخشی از آن به‌صورت جریان سطحی درآمد و از راه رودها و مسیله‌ها، وارد دریاها، دریاچه‌ها، کویرها و یا تالابها می‌شود. حجم جریانهای سطحی استان حدود ۳/۹ میلیارد مترمکعب است [۱۰، ص ۹]. بیشترین حجم جریانهای سطحی، در مناطق مرتفع استان، یعنی از ارتفاعات بلند بینالود و کپه داغ - هزارمسجد، جاری می‌شود. در این مناطق، تعداد نسبتاً زیادی رودهای دائمی، فصلی و تناوبی وجود دارند که برای نمونه می‌توان از رود اترک، کشف رود، هریرود، درونگر، کلات، چهل‌میر، فریزی، گل‌مکان، اخلمد، کارده، عنبران، شان‌دیز، بوژان، بار، فریمان و سردرب کریت، دره بید و تعدادی دیگر یاد کرد [۱۱، ص ۳۲۰].

حجم آبی که سالیانه در زمین نفوذ کرده است و ذخایر آب زیرزمین را ایجاد می‌کند، حدود ۸ میلیارد مترمکعب است. بنابراین منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی از حجم بیشتری بهره‌مند بوده و به همین دلیل در این مقاله درباره آن تأکید بیشتری شده است.

۶-۲- منابع آب زیرزمینی

آب زیرزمینی استان به‌وسیله منابع مختلف، یعنی چشمه‌ها، قنات‌ها و چاه‌ها مورد بهره‌برداری واقع می‌شود (جدول ۱).

جدول ۲ تعداد منابع آب زیرزمینی و مقادیر تخلیه از آنها در استان خراسان (تخلیه به میلیارد مترمکعب) [۱۲، ص ۴]

منابع آب سال	چاه (عمیق و نیمه عمیق)		قنات		چشمه		تخلیه کل
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	
۱۳۸۰	۳۱۸۱۴	۶/۷۴	۹۶۴۳	۲	۳۸۱۲	۰/۹	۹/۷



جدول ۱ نشان می‌دهد که نزدیک به ۷۰ درصد از کل بهره‌برداری از مخازن آب زیرزمینی، به‌وسیله چاهها صورت می‌گیرد. حجم کل تخلیه از منابع آب زیرزمینی، حدود ۹/۷ میلیارد مترمکعب است، درحالی که حجم آب تجدید شونده زیرزمینی در سال، از ۸ میلیارد مترمکعب تجاوز نمی‌کند. با این حساب مخازن آب زیرزمینی استان هرساله با ۱/۷ میلیارد مترمکعب کسری مخزن، مواجه است. این ارقام به‌وضوح بحران آب را در استان خراسان نشان می‌دهند.

۳-۶- دشتهای آنها در به‌دست آوردن آب

دشتهای استان خراسان که تعداد آنها به ۷۶ دشت می‌رسد، در سطح استان و در میان ارتفاعات یا در دامنه آنها پراکنده شده‌اند. در این دشتهای رسوبات آبرفتی قابل توجهی تجمع یافته است. این رسوبات که بدون ماده متصل‌کننده هستند، از فضای خالی بین دانه‌های بالایی، حداکثر و در شرایط ایدئال تا ۶ درصد حجم رسوب، برخوردار بوده‌اند و می‌توانند به‌وسیله آب پرشده و مخزن آب زیرزمینی را به وجود آورند [۱۳، ص ۱۷]. تغذیه اصلی این دشتهای از حد فاصل بین رسوبات آبرفتی و سازندهای سخت یا کوه صورت می‌گیرد [۱۴، ص ۵۲۶].

بررسیها نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد بهره‌برداری آب زیرزمینی استان، تنها از هشت دشت صورت می‌گیرد. به‌عبارت دیگر، فقط ۱۰ درصد از دشتهای استان تأمین‌کننده ۵۰ درصد از آب مورد نیاز افراد ساکن آن می‌باشند [۱۵، ص ۱۲]. اسامی این هشت دشت عبارتند از: مشهد، تربت‌جام، جوین، رخ، نیشابور، سبزوار، شیروان - قوچان و بیرجند.

۴-۶- هیدروگراف آبخانه، شاخصی برای ارزیابی تحولات آن

ارزیابی وضعیت مخازن آب زیرزمینی، از راهها و روشهای مختلفی انجام می‌شود که متداولترین آنها عبارتند از:

- بیلان هیدرولوژی که در آن تمامی عوامل مؤثر بر تغذیه و تخلیه آبخانه‌ها، در درازمدت محاسبه شده است و آنگاه کمبود یا مقدار اضافه مخزن به‌دست می‌آید [۱۶، ص ۲۱۱].
- بیلان هیدروژئولوژی به محاسبه ورودی و خروجی آب می‌پردازد. در این روش فرض می‌شود که در درازمدت، عوامل مؤثر بر بیلان، آثار خود را بر آبخانه خواهند گذاشت که نتایج آن با استفاده از ضرایب هیدرودینامیکی، بویژه قابلیت انتقال و نقشه تراز سطح آب زیرزمینی، قابل محاسبه خواهد بود [۱۷، ص ۵۸۰].

• تحلیل هیدروگراف آبخانه‌ها به‌طور عمده برای دریافت اطلاعات از کمبود و یا میزان اضافه مخازن در دراز مدت قابل استفاده است [۱۸، ص ۱۴۷]. در این روش، بیشتر به وضعیت کلی تغییرات مخزن تأکید می‌شود و کمتر به محاسبه عددی حجم آب ورودی و خروجی پرداخته می‌شود؛ زیرا مهم نیست که حجم تغذیه و تخلیه چقدر باشد، مهم این است که مشخص شود مخزن به لحاظ کمبود یا مازاد آب در چه وضعیتی است تا براساس آن بتوان برنامه‌های توسعه و یا عدم توسعه را مشخص کرد. در این مقاله، بر تحلیل هیدروگراف آبخانه دشتهای استان تکیه شده است که نمادی بر تغییرات کمی مخزن به شمار آمده و اطلاعات لازم در مورد آنها نیز موجود است.

۵-۶- وضعیت آبخانه‌ها براساس تحلیل هیدروگراف

پتانسیل آبی دشتهای استان خراسان را براساس تحلیل هیدروگراف و وضعیت بهره‌برداری آب که در این پژوهش شامل ارزیابی بیش از ۴۴ هیدروگراف می‌باشد، می‌توان به سه دسته به شرح زیر تقسیم کرد:

۶-۵-۱- دشتهای آزاد

هیدروگراف آبخانه این دشتهای، حالت سینوسی خود را حفظ می‌کند. در وضعیت آب و هوایی خراسان، تقریباً از اوایل زمستان تا اوایل تابستان، در اثر تغذیه، سطح آب زیرزمینی آبخانه‌ها بالا می‌آید و آنگاه به تدریج فروکش می‌کند، (شکل ۲). در صورتی که از نقاط ماکزیمم هیدروگراف، خط راستی عبور کند، این خط بدون شیب مشخص خواهد بود. تعداد این دشتهای در استان خراسان به ۱۸ دشت می‌رسد. این دشتهای با کسری مخزن مواجه نبوده و آزادند (شکل ۱). آزاد بودن دشتهای، از نظر وزارت نیرو- امور آب به این معنا است که استخراج آب زیرزمینی، طبق قوانین و مقررات آب از آنها بلا مانع بوده و مجوز بهره‌برداری از طرف وزارت نیرو و سازمانهای تابع آن در این زمینه قابل صدور است [۱۹، ص ۵].

۶-۵-۲- دشتهای بحرانی

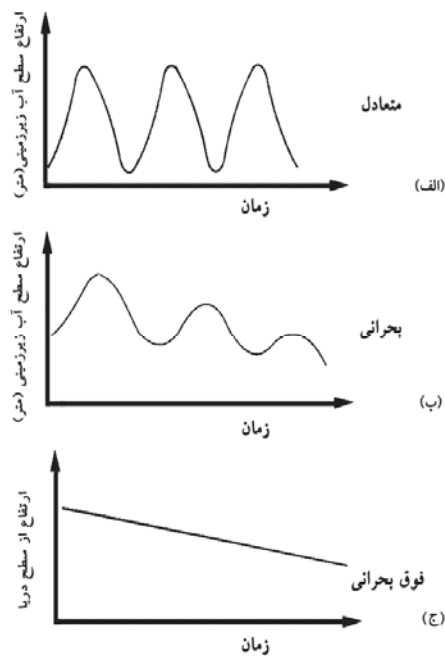
این دشتهای در اثر اضافه برداشتهای مستمر، بویژه در سالهای خشک با کسری مخزن مواجه



بوده‌اند و سطح آب زیرزمینی آنها به‌طور مستمر پایین می‌افتد، هیدروگراف شماتیک آنها به‌صورت شکل ۲ است. تعداد این دشتهای در استان خراسان به ۴۱ دشت می‌رسد (شکل ۱).

۳-۵-۶- دشتهای فوق بحرانی

در دشتهای فوق بحرانی سطح آب زیرزمینی در اثر اضافه برداشتهای مستمر، به‌طور مرتب افت می‌کند و هیدروگراف آبخانه از حالت سینوسی خود تا حدودی خارج شده و به یک خط راست نزدیک می‌شود (شکل ۱). تعداد دشتهای فوق بحرانی استان به ۱۶ دشت می‌رسد (شکل ۲). این قبیل دشتهای که احتمالاً فاقد هرگونه تخلیه طبیعی هستند، درحال تهی شدن کامل می‌باشند. در جدول ۲ نام و مشخصات دشتهای بحرانی و فوق‌بحرانی قید شده است.



شکل ۲

جدول ۲ کسری مخزن دشتهای بحرانی و فوق بحرانی استان خراسان، (میلیون مترمکعب) [۱۲، ص ۴]

ردیف	نام دشت	کسری مخزن	ردیف	نام دشت	کسری مخزن	ردیف	نام دشت	کسری مخزن
۱	مشهد	۱۵۰	۲۱	مختاران	۴	۴۱	چنگل*	۲۰
۲	فریمان (ترتجام)*	۹۵	۲۲	عطائیه	۱۰	۴۲	اسفراین	۴۵
۳	قوچان - شیروان	۳۱	۲۳	فیض آباد*	۵/۶	۴۳	رخ	۴۷
۴	درگز*	۲۴	۲۴	جاجرم	۷	۴۴	سنگرد - قوی میدان	۴۷
۵	سرخس	۲۲	۲۵	رباط قره بیل	۱/۳	۴۵	درمیان	۷
۶	صالح آباد - جنت آباد	۲۲	۲۶	شوقان	۱۱	۴۶	مهولات*	۷۷
۷	سنگبست	۱/۷	۲۷	داورزن	۱۸	۴۷	ینگچه	۴۷
۸	فردوس	۴	۲۸	بجستان یونسی	۴۷	۴۸	اسفراین	۵
۹	گناباد	۱/۵	۲۹	چاهک موسویه	۴	۴۹	بجنورد	۲
۱۰	گیسور	۱۰	۳۰	بیرجند*	۱۵	۵۰	جوین - سلطان آباد*	۱۳۹
۱۱	رشتخوار*	۵۸	۳۱	زوزن	۱۲	۵۱	قائنات - خضری	۲۵
۱۲	زاوه - تربیت حیدریه	۳۹	۳۲	درح	۵۲	۵۲	سرایان*	۲۸
۱۳	نیشابور*	۱۰۸	۳۳	شاهرخت	۳	۵۳	شهر نو باخزر	۳
۱۴	قاین	۵۲	۳۴	درمیان	۷	۵۴	اسفراین	۴۵
۱۵	سبزوار*	۶۰	۳۵	نهبندان	۵	۵۵	سربیشه	۳
۱۶	درونه	۴	۳۶	ازغن	۱۶	۵۶	نریمانی	۲۴
۱۷	بشرویه	۳۵	۳۷	کاشمر*	۱۱۵	۵۷	ریوش*	۴
۱۸	قاسم آباد - بجستان	۱۸	۳۸	سده	۲/۴			
۱۹	بردسکن*	۴۷	۳۹	تایباد*	۲۹			
۲۰	سرایان - فردوس	۲۸	۴۰	کرات*	۲۰			

* دشتهای فوق بحرانی



۷- عامل اصلی بحران آب، اضافه برداشت یا خشکسالیها

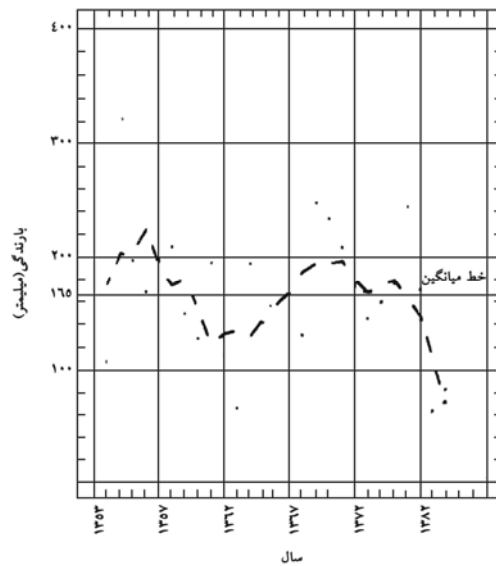
مدتی پس از شروع بحران آب در استان خراسان، بویژه در سالهای اخیر، بحث بر سر این موضوع بالا گرفت که چه عامل یا عوامل عمده‌ای، سبب بحران آب در استان شده‌اند. نتایجی که از این بحثها حاصل شد، این است که عامل اصلی بحران خشکسالیها بوده و از اضافه برداشتها کمتر سخن به میان آمده است. برای اثبات اینکه کدام یک از دو عامل مزبور، یعنی خشکسالیها و اضافه برداشتها، عامل اصلی بحران آب در استان خراسان می‌باشد، هیدروگراف آبخانه‌ها با گراف متوسط بارندگی (متحرک ۵ ساله) به مقایسه گذاشته شد. در این بررسی معلوم شد که هیدروگراف اکثر آبخانه‌ها، حتی در سالهای تر (که در اثر بارندگی بیشتر از متوسط سالیانه برطبق القاعده، سطح آب باید بالا می‌آمد) همچنان به افت خود ادامه داده است. نمونه‌ای از این وضعیت را می‌توان در دشت تربت جام شکل ۴ مشاهده کرد.

۸- مقایسه هیدروگراف دشت تربت جام با نمودار بارندگی ایستگاه

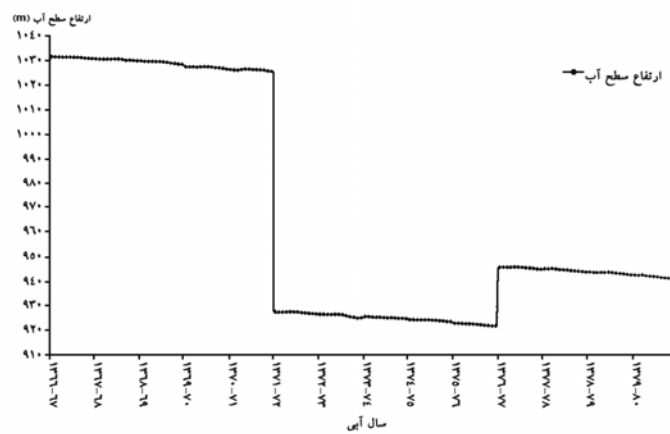
باغستان

در نمودار شکل ۳ بارندگی ایستگاه باغستان (که آمار آن برای منطقه تربت جام مصداق می‌یابد) نشان می‌دهد که در دو مرحله ترسالی وجود داشته است. این سالها عبارتند از ۱۳۵۳ - ۱۳۵۹ و ۱۳۶۷ - ۱۳۷۶. در این سالها مقدار بارندگی به مراتب بیشتر از متوسط بارندگی سالیانه بوده است. در این سالها در اثر تغذیه، باید سطح آب زیرزمینی آبخانه دشت تربت جام بالا می‌آمده، ولی برخلاف روال معمول، کماکان به افت خود ادامه داده و از تغذیه متأثر نشده است (شکل ۴). در این صورت روشن است که عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی و بحران آب خشکسالیها نبوده، بلکه اضافه برداشتهای مستمری است که به وسیله چاههای عمیق صورت می‌گیرد.

قابل توجه اینکه هیدروگراف آبخانه دشت تربت جام در یک دوره ۱۳ ساله، در تمامی دامنه افت خود، به صورت یک خط راست با شیب مشخص ادامه پیدا می‌کند؛ چنین شکلی از هیدروگراف، بسیار نگران‌کننده است؛ زیرا مبین آن است که آبخانه دشت، در حال تهی شدن بوده است و از تغذیه سالیانه، حتی در سالهای تر نیز تأثیرپذیری نشان نمی‌دهد.



شکل ۳ نمودار میانگین متحرک ۵ ساله در ایستگاه هواشناسی باغستان دشت تربت جام (سالهای ۱۳۵۲-۱۳۵۹ و ۱۳۶۷-۱۳۷۶ سالهای تر، بقیه سالهای خشک می‌باشند)



شکل ۴ هیدروگراف آبخانه دشت تربت جام (تغییرات جهش‌وار، ناشی از تغییر شبکه تیسن چاههای پیزومتریک می‌باشد)



۹- عوامل مؤثر بر اضافه برداشت

اضافه برداشت، خود معلول عوامل متعددی است که در زیر به مهمترین آنها اشاره می‌شود.

۹-۱- عوامل فرهنگی

عدم اطلاعات کافی مصرف‌کنندگان اصلی آب از پیدایش، مدیریت و مصرف آب سبب شده است که آنان از وضعیت پتانسیل آب زیرزمینی منطقه خود اطلاع کافی نداشته و بدون توجه به وضعیت موجود اقدام به بهره‌برداری بی‌رویه و غیر مجاز کنند. بهترین دلیل این ادعا، حدود ۱۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز و بدون پروانه است که تنها در دشت مشهد وجود دارد؛ همچنین، کمبود آگاهی از مدیریت مخازن آب زیرزمینی و نیز نحوه تغذیه و تخلیه طبیعی و مصنوعی آن باعث شده است که کشاورزان در سالهای خشک و یا دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی، به جای محدود کردن بهره‌برداری و کاهش دبی چاهها، اقدام به افزایش زمان کارکرد چاه و افزایش دبی آن کنند. این موضوع نیز موجب تشدید اضافه برداشتها از آبخانه‌ها و کسری مخازن شده است.

۹-۲- رشد بی‌رویه جمعیت

رشد جمعیت در کشورهایی که از پتانسیلهای محیطی، بویژه آب، برخوردار نیستند، مشکلات عدیده‌ای را در پی دارد. جمعیت کشور ایران ظرف مدت ۲۵ سال اخیر، از حدود ۳۰ میلیون نفر به ۶۵ میلیون نفر افزایش پیدا کرده است [۲، ص ۴۷]. استان پهناور خراسان نیز از این رشد فزاینده جمعیت بی‌نصیب نمانده است؛ به طوری که جمعیت ۳ میلیون نفری استان به ۶ میلیون نفر افزایش یافته است [۲، ص ۵۶]. روشن است که وقتی جمعیت یک استان در فاصله زمانی نسبتاً کوتاه، با این سرعت رشد می‌کند، امکانات معیشتی نیز باید هماهنگ با آن افزایش پیدا کند، در غیر این صورت مردم با کمبود امکانات معیشتی و رفاهی روبه‌رو خواهند شد.

۹-۳- محور بودن کشاورزی

کشاورزی در یک منطقه کم آب (که متوسط بارندگی آن حدود ۲۰۵ میلیمتر در سال است) تنها به صورت آبی امکانپذیر است، چون افراد ساکن این استان، راه درآمد دیگری ندارند. آنها

به اجبار به‌سوی کشاورزی روی می‌آورند و اقدام به استخراج هرچه بیشتر آب از آبخانه‌ها می‌کنند. نتیجه چنین اقدامی، بحران آب در منطقه خواهد بود.

۱۰- پیامدهای بحران آب

بحران آب در استان خراسان دارای پیامدهای متعدد و متفاوتی است که برای جلوگیری از طولانی‌شدن مطلب به‌چند مورد از آنها در این مقاله اشاره می‌شود.

۱۰-۱- مهاجرت روستاییان به شهرها

در اثر کم آب شدن چاهها و به‌تبع آن کاهش درآمد کشاورزی، روستاییان به شهرها روی می‌آورند. اغلب در بخش حاشیه‌نشین آن اسکان پیدا می‌کنند و به فعله‌گری و کارهای غیرمفید پرداخته و حلی‌آبادها را توسعه می‌دهند [۲۰، ص ۱۱۶]. برای مثال می‌توان از حاشیه‌نشینان شهر مقدس مشهد ذکر کرد که تعداد آنها به حدود ۷۳۰۰۰۰ نفر می‌رسند [۲۱، ص ۱۰۱]. تعدادی از این حاشیه‌نشینان، روستاییانی هستند که منابع آب آنها در روستاها دچار بحران شده است و در نتیجه برای امرار معاش، راهی شهر شده‌اند. این جمعیت حاشیه‌نشین، مشکلات عدیده‌ای را برای شهر مشهد به‌وجود می‌آورند.

۱۰-۲- بالا رفتن هزینه حفاری و پمپاژ آب زیرزمینی

در اثر افت مستمر سطح آب زیرزمینی در آبخانه دشتهای استان، صاحبان چاه برای دستیابی به حجم آب قید شده در پروانه بهره‌برداری به اجبار باید چاهها را کفشکنی کنند و پمپها را در اعماق بیشتری قرار داده و تعداد طبقات پمپها را نیز افزایش دهند. هر ساله در استان خراسان به‌طور متوسط، حدود ۳۰۰ فقره پروانه کفشکنی با مجموع عمق حدود ۸۰۰۰ متر صادر می‌شود. هزینه تقریبی حفاری و لوله‌گذاری برای ۸۰۰۰ متر کفشکنی، حدود ۲۲۴۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. با لحاظ کردن بازده پمپاژ در حد ۴۲ درصد به ازای هر یک متر افت سطح آب، افزایش مصرف انرژی حدود ۹۰۰۰ کیلووات خواهد بود. روشن است که افزایش هزینه اضافی حفاری و پمپاژ آب، علاوه بر زیانی که به کشاورزان وارد می‌آورد، روی محصولات کشاورزی و قیمت آن نیز تأثیر زیادی خواهد داشت [۲۲، صص ۸-۹].

۱۰-۳- شور شدن تدریجی آبخانه‌ها

افت سطح آب زیرزمینی سبب می‌شود که آب بخش عمیق آبخانه‌ها به طرف بالا حرکت کرده و به تدریج سبب شور شدن آبخانه شود. رابطه بین افت سطح آب زیرزمینی و مقدار کلر آب کاملاً مستقیم است؛ یعنی هر قدر مقدار افت سطح آب زیرزمینی بیشتر می‌شود، مقدار یون کلر آب نیز (که به طور عمده به یون سدیم متصل بوده و نشان‌دهنده شوری آب است، افزایش پیدا می‌کند [۲۳، ص ۱۸۲]. براساس مطالعاتی که روی افت سطح آب زیرزمینی و شور شدن آب انجام شده است؛ این نتیجه حاصل می‌شود که در اثر ۶۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، شوری آب به شدت افزایش یافته است [۲۴، ص ۳۵].

بررسیهایی که در این رابطه در دشتهای استان خراسان، بویژه دشت جنگل (تربیت حیدریه) و دشت مه ولات انجام شده است، به وضوح نشان می‌دهد که در اثر افت سطح آب زیرزمینی، مقدار هدایت الکتریکی آب، سال به سال افزایش یافته است. در دشت جنگل (تربت حیدریه) در حواشی روستای آهنگران، مقدار هدایت الکتریکی از ۹۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در سال ۱۳۷۲ به ۱۱۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در سال ۱۳۷۵ رسیده است [۲۵، ص ۹۱]. در دشت مه ولات نیز در اثر افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن، مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از ۲۵۳۳ میکروموس بر سانتی در سال ۱۳۶۱، به ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در سال ۱۳۷۶ رسیده است. به این ترتیب روشن است که یکی از پیامدهای بحران آب، شور شدن تدریجی آب زیرزمینی آبخانه‌ها می‌باشد. شور شدن آبخانه‌ها، مشکلات زیست محیطی زیادی را نیز به دنبال خواهد داشت.

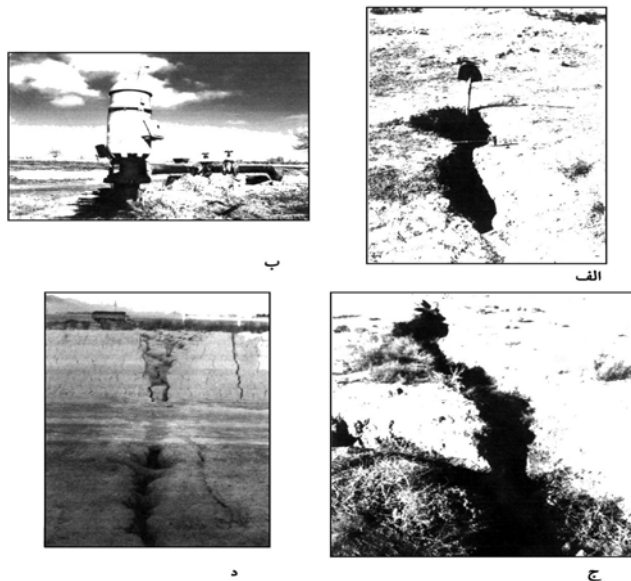
۱۰-۴- کاهش حجم فضاهای خالی و نشست زمین

افت مستمر سطح آب زیرزمینی یک مخزن آبرفتی (که در اثر استخراج بیش از حد آب صورت می‌گیرد) سبب خالی شدن آب بخشی از مخزن یا آبخانه می‌شود. وقتی که این قسمت از آبخانه، بویژه آنهایی که از رسوبات دانه‌ریز درست شده‌اند، برای مدت نسبتاً طولانی بی آب می‌شود، رسوبات منقبض و فشرده شده و از حالت اولیه خود که به طور عمده به صورت مکعبی است، خارج و به شکل چهاروجهیهای نیمه متراکم تا متراکم درمی‌آید. در دانه‌های کاملاً گرد و یکنواخت، حجم فضاهای خالی از حدود ۶/۴۷ درصد، در اثر فشردگی تا ۹/۲۵

درصد تنزل پیدا می‌کند [۲۶، صص ۷۶-۷۷].

فشردگی رسوبات، نشست زمین را در پی دارد و بالعکس. ولی نشست زمین درمقیاس وسیع و کلی‌تر، در اثر کاهش فشار درآبخانه‌های تحت فشار و نیمه تحت فشار آبرفتی با رسوبات دانه‌ریز صورت می‌گیرد [۱، ص ۸۸]. این پدیده تاکنون از نقاط مختلف جهان، به‌وسیله محققان مختلف گزارش شده است. فورستر و همکاران (۲۴، ۳۵) نشست زمین را در بانکوک، به میزان ۶۰ متر در دهه ۱۹۸۰ گزارش می‌کنند. کارانت (۱۷، ص ۶۹) مقدار آن را در دشت تا تپه (تایوان)، به میزان ۴۲ متر طی پانزده سال (۱۹۵۰-۱۹۶۵)، یعنی هر سال ۱۲ سانتیمتر قید می‌کند.

در ایران موضوع نشست زمین، نخستین بار به‌وسیله رحمانیان از کرمان و رفسنجان گزارش شده است [۲۷، ص ۳۵]. در استان خراسان، نشست زمین در دشتهای مشهد، نیشابور و کاشمر به مقدار قابل توجهی مشاهده شده است (شکل ۵).



شکل ۵ نمونه‌هایی از نشست زمین و شکافها در سطح دشت، کج شدن لوله گاردان چاه و بالا آمدگی لوله جدار در اثر افت سطح آب زیرزمین (الف و ب: دشت مشهد، ج و د: دشت نیشابور)



شکافهای عمیقی به طول چندین ده متر در سطح دشتهای مذکور به وجود آمده است. مسأله نشست زمین تنها به ایجاد تخریب مزارع، جاده‌ها، اماکن، تأسیسات و بالاتر قرار گرفتن لوله جدار چاهها و خم شدن میل گاردان چاه موتور ختم نمی‌شود، بلکه تغییراتی در آرایش دانه‌های رسوب در آبخانه‌ها به وجود می‌آورد که دیگر امکان برگشت آن به حالت اولیه و با حجم فضاهاى خالی گذشته، میسر نخواهد بود، حتی اگر آبخانه در یک دوره طولانی، تحت ترسالی‌ها قرار گیرد و وضعیت برای تغذیه آن فراهم شود.

۱۱- نتیجه‌گیری

بحران آب در استان خراسان، مربوط به چند سال اخیر نمی‌شود بلکه ریشه در ۳۴ سال پیش دارد. درست در اوایل دهه ۱۳۵۰ ه.ش. یکی از بزرگترین منابع آب زیرزمینی استان خراسان، یعنی آبخانه دشت مشهد، در اثر اضافه برداشت با افت تدریجی سطح آب زیر زمین مواجه شد و از طرف امور آب، وزارت نیرو - حفرچاه عمیق برای مصارف کشاورزی ممنوع اعلام شد، ولی از آنجایی که اطلاع و اعتقاد کافی، مبنی بر محدود بودن حجم آب زیرزمینی، نه برای صاحبان چاه و نه برای مسئولان وجود نداشت، قضیه جدی گرفته نشد و در نتیجه کشاورزان، نه تنها برای حفظ مخزن آب زیر زمین خود علاقه‌مندی نشان ندادند، بلکه تصور می‌کردند اعلام ممنوعیت نوعی اقدام ساختگی از سوی کارشناسان و مسئولان بوده و می‌خواهند مانعی برای حفر چاه و توسعه بهره‌برداری ایجاد شود. در نتیجه به‌طور غیر قانونی، اقدام به حفر چاههای بیشتر در دشت مشهد کردند. در سایر دشتهای استان نیز همین شیوه تفکر حکمفرما شد و به تدریج آنها نیز به سرنوشت دشت مشهد دچار شدند؛ به طوری که تا اوایل دهه ۱۳۷۰ ه.ش. تقریباً تمامی دشتهای مهم استان خراسان با افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن مواجه شده‌اند.

سیاست اصلی وزارت کشاورزی سابق، مبتنی بر توسعه سطح زمینهای زیرکشت و افزایش تولید کشاورزی بوده‌است و چون دشتهای با کسری مخزن مواجه بودند، در این

صورت اهداف خود را متوجه مدرنیزه کردن شیوه آبیاری، یعنی آبیاری تحت فشار (قطره‌ای و بارانی) کردند و به تبلیغ و حمایت از آن برآمدند؛ ولی چون هنوز فرهنگ استفاده از این روش و امکانات لازم برای اجرای آن به اندازه کافی در استان وجود نداشت، در این صورت این سیاست نیز نه تنها فراگیر نشد و جلوی بحران را نگرفت، بلکه منجر به توسعه بیشتر بهره‌برداری آب زیرزمینی نیز شده‌است؛ اگرچه هدف اولیه استفاده از این شیوه‌ها، افزایش بازده آبیاری و محدود کردن اضافه برداشت بوده است.

استفاده از روشهای کم آبیاری نیز که مدتی برای آن تبلیغ شد، راه به‌جای نبرد و سبب شورشدن زمینهای کشاورزی نیز شد.

به این ترتیب معلوم می‌شود که بحران آب در استان خراسان، ناشی از عدم اطلاعات کافی استفاده‌کنندگان اصلی آب از پیدایی، موجودیت و نحوه بهره‌برداری از مخازن آب زیرزمینی، بویژه نحوه استفاده از چاههای عمیق، به‌عنوان وسیله جدید استخراج آب می‌باشد؛ زیرا با چاههای عمیق می‌توان تمامی آب مخزن را استخراج و آن را تهی کرد. این امر مهم وظیفه متولیان آب کشور بوده است که باید به موقع و به روشهای ممکن، کشاورزان را از خطرات بهره‌برداری از چاههای عمیق آگاه می‌کرده‌اند و از سوی دیگر، از بهره‌برداری بی‌رویه و غیر مجاز جلوگیری می‌کردند و یا به‌عبارت دیگر جنبه فرهنگ‌سازی و مدیریت بهره‌برداری آب را جدی می‌گرفتند.

اکنون اگرچه خیلی دیر شده است، ولی چون هنوز دشتهای استان کاملاً از آب تهی نشده‌اند؛ بنابراین می‌توان با توسل به روشهایی که در زیر به آن اشاره شده است تا حدودی از تشدید بحران جلوگیری کرد و مخازن آب زیرزمینی را که امکانات معیشتی عمده افراد ساکن استان به آن وابسته است، نجات داد.

۱-۱۱- پیشنهادها

اگرچه در زمینه جلوگیری از بحران آب، تاکنون پیشنهادهای مختلفی به‌وسیله کارشناسان صورت گرفته است که کمتر به آنها توجه شده است، اما به نظر می‌رسد که با انجام موارد زیر بتوان تا حدودی جلوی بحران آب را گرفت و یا حداقل از تشدید آن جلوگیری کرد:

- ۱- کاهش برداشت آب به وسیله چاههای عمیق و مجهز به موتور پمپها به میزان ۱۵ تا ۲۵ درصد در تمامی دشتهای بحرانی و فوق بحرانی استان؛
- ۲- تغییر الگوی کشت، یعنی جایگزین کردن محصولات با نیاز آبی کمتر به جای محصولات پرمصرف، بویژه چغندر قند، صیفی جات و باغها؛
- ۳- توسعه صنایع بویژه صنایع تبدیلی در استان و تخصیص آب باقیمانده به آنها؛
- ۴- به کار بستن مدیریت صحیح در منابع و مصرف آب؛
- ۵- یافتن راهکارهای مناسب در راستای تعادل بخشی آبخانه‌ها بویژه در زمینه مهار و کنترل برداشت از یکسو و تغذیه مصنوعی از سوی دیگر؛
- ۶- مطلع کردن مصرف‌کنندگان اصلی آب، یعنی کشاورزان از بحران به وجود آمده، ریشه‌یابی آن در چارچوب برنامه‌های متعدد اطلاع رسانی به روشهای مختلف و با وسایل گوناگون به نحوی که بتوان با یک بسیج عمومی برای برون رفت از بحران اقدامات اساسی انجام داد؛ زیرا در کاری چنین مهم و بزرگ پشتیبانی آگاهانه همه مردم بویژه مصرف‌کنندگان اصلی آب الزامی است.

۱۲- منابع

- [1] Raghunath H. M.; Ground Water; 2nd Edition, New Age International Publishers, New Delhi, 2003.
- [۲] مرکز آمار خراسان؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان، سالنامه آماری استان خراسان، ۱۳۸۳.
- [۳] حاتمی نژاد ح.؛ شهر و عدالت اجتماعی؛ رساله دکتری جغرافیای شهری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۰.
- [۴] حسینی س.ع.؛ گزارش خشکسالی در خراسان، وضعیت منابع آب در سال آبی، ۱۳۷۹-۱۳۸۰؛ شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، معاونت مطالعات پایه، ۱۳۸۱.
- [۵] مرکز آمار ایران؛ سرشماری عمومی کشاورزی و نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کارگاهی؛ ۱۳۸۲.
- [۶] رهنمایی م.ت.؛ توانایی محیطی ایران؛ مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۷۰.

- [۷] خسرو تهرانی خ.؛ چینه شناسی ایران؛ انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۷.
- [۸] زمردیان م.ج.؛ ژئومورفولوژی ایران؛ ج ۱، فرایندهای ساختمانی و دینامیکهای درونی، ۱۳۸۱.
- [۹] ولایتی س.؛ نقش سازندهای آهکی در تأمین آب شرب شهرهای استان خراسان؛ مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۱.
- [۱۰] حسینی س.م.؛ تبیین سیمای وضعیت موجود منابع آب استان خراسان و چشم انداز آن؛ همایش آب، زندگی، ۱۳۸۲.
- [۱۱] افشین ی.؛ رودخانه‌های ایران؛ وزارت نیرو شرکت مهندسان مشاور جاماب، ج ۲، ۱۳۷۳.
- [۱۲] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان؛ عملکرد سالهای ۱۳۷۷-۱۳۸۰.
- [13] Mattess; Lenrbuch der hydrogeologie band grundwasser schlie bung gebeueder bron traeger; Berlin Stuttgart 2000.
- [14] Strahler A.S.; Introducing physical geography; John Willey & Sons, Inc, 2003.
- [۱۵] ولایتی س.؛ طرح پژوهشی «اضافه برداشت عامل اصلی بحران آب در استان خراسان»؛ دانشگاه فردوسی مشهد، معاونت پژوهشی، ۱۳۸۲.
- [۱۶] علیزاده ا.؛ اصول هیدرولوژی کاربردی؛ انتشارات امام رضا؛ ج ۱۳، ۱۳۸۰.
- [17] Karanthe K.R.; Groundwater assesment and development ; Tata Mcgraw Hill, Publishing Company, New Delhi, Seventh –Edition, 2001.
- [18] Hoelting B.; Hdrogeologie, ferdinand enke varlag stuttgart; 1980.
- [۱۹] وزارت نیرو- امور آب؛ قوانین و مقررات آب؛ تهران، ۱۳۶۴.
- [۲۰] غیور ح.؛ «نگرشی تازه بر قنات ایران و چگونگی توزیع آن در مناطق جغرافیایی»؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۲۳، ۱۳۷۰.
- [۲۱] سیدی س.م.؛ تحلیل مشکلات مکانی فضایی مراکز جمعیتی حاشیه شهر مشهد با تأکید بر رویکرد مدیریتی؛ رساله دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳.
- [۲۲] حسینی س.ع.؛ بحران آب در استان خراسان؛ شرکت سهامی آب منطقه خراسان، ۱۳۸۲.
- [23] Voigt H.J.; Hydrogeochemie; Springer Verlag, 1980.



[24] Forster et.al.; Groundwater in urban development; The World Bank
Washington D. C., 1990.

[۲۵] ولایتی س.؛ تأثیر اضافه برداشت از چاه در شور شدن آبخوان دشت جنگل (تربیت
حیدریه)؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۶۷، ۱۳۸۲.

[26] Languth H.R., Voight R.; Hydrogeologische methoden; Springer Verlag, 1980.

[۲۷] رحمانیان د.؛ «نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان»؛
وزارت نیرو، مجله آب ش ۶، ۱۳۶۵.