

آب زیرزمینی ویژگی‌ها و دغدغه‌های پایداری

نوشتار حاضر ترجمه‌ای است از:

Groundwater: A global focus on the 'local resource. Stephen Foster et al.
Current Opinion in Environmental Sustainability 2013, 5:685–695.

طراحی و صفحه‌بندی: دبیرخانه اندیشکده تدبیر آب ایران

چاپ اول: بهمن ۹۶

کلیه حقوق این مقاله، محفوظ و متعلق به اندیشکده تدبیر آب ایران است. استفاده از مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است. دیدگاه‌های طرح‌شده در این نوشتار، لزوماً به معنای دیدگاه‌های اندیشکده تدبیر آب ایران نیست.

نشانی: تهران. خیابان کریمخان. خیابان نجات‌اللہی شمالی. روبروی بیمارستان یاس. پلاک ۲۱۲. طبقه ۴. واحد ۴.

تلفن: ۸۸۹۴۷۴۰۰ - ۸۸۹۴۷۳۰۰

www.iwpri.ir



اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۱ | ۱- مقدمه |
| ۱ | ۲- درآمدی بر ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی |
| ۱ | ۲-۱- اهمیت آب زیرزمینی برای بقا و توسعه انسانی |
| ۲ | ۲-۲- ذخایر وسیع آب شیرین |
| ۴ | ۲-۳- رژیم‌های جریان آبخوان- از تغذیه تا تخلیه |
| ۶ | ۲-۳-۱- فرایندهای پرشدگی دوباره و عدم قطعیت‌ها |
| ۷ | ۲-۳-۲- پاسخ به نوسانات اقلیم |
| ۷ | ۳- آب زیرزمینی- نگاهی به مسائل اصلی پایداری |
| ۷ | ۳-۱- پیامدهای بهره‌برداری شدید و کنترل‌نشده |
| ۹ | ۳-۱-۱- بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی تجدیدناپذیر |
| ۱۰ | ۳-۱-۲- اثرات خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی |
| ۱۰ | ۳-۱-۳- تأثیر بر بالآمدن تراز دریا |
| ۱۱ | ۳-۲- فرایندهای تنزل‌دهنده کیفیت |
| ۱۲ | ۳-۲-۱- ساز و کارهای شورشدن آبخوان |
| ۱۳ | ۳-۲-۲- آسیب‌پذیری آبخوان در برابر آلودگی انسانی |
| ۱۶ | ۴- آب زیرزمینی- رویارویی با چالش حکمرانی |
| ۱۶ | ۴-۱- تقویت پایه‌های حکمرانی |
| ۱۶ | ۴-۱-۱- مقیاس جغرافیایی- یک ملاحظه کلیدی |
| ۱۷ | ۴-۱-۲- نقش دولت |
| ۱۷ | ۴-۱-۳- اقتصاد سیاسی اصلاح حکمرانی |
| ۱۸ | ۴-۲- رویکردها به مدیریت استفاده از چاه برای آبیاری |
| ۱۸ | ۴-۲-۱- نواحی «صرفاً متکی به آب زیرزمینی» |
| ۲۰ | ۴-۲-۲- بهره‌برداری تلفیقی |
| ۲۱ | ۴-۲-۳- رعایت ضوابط محیط‌زیستی در کاربری اراضی |
| ۲۲ | ۴-۳- آب زیرزمینی در مدیریت زیرساخت و محیط‌زیست شهری |

۱- مقدمه

آب زیرزمینی یک منبع طبیعی کلیدی برای پشتیبانی توسعه اجتماعی و اقتصادی به شمار می‌آید. با این همه، هنوز هم عمیقاً با فهم نادرست روبرو است؛ آنچنان که باید ارزش آن شناخته نشده، مدیریت ضعیفی بر آن حاکم است و به قدر کافی حفاظت نمی‌شود. سیستم‌های آب زیرزمینی در قرن بیستم، در نتیجه بهره‌برداری زیاد برای تأمین آب شهری و کشاورزی آبی، و تغییرات تمام‌عیار در کاربری اراضی در بسیاری از پهنه‌های تغذیه آب زیرزمینی، از حالت طبیعی خود خارج شده‌اند. نگرانی‌ها درباره پایداری منابع آب زیرزمینی، تنزل کیفیت و تأثیرپذیری منفی اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی، افزایش یافته است. با وجود پیشرفت‌های قابل ملاحظه تکنولوژیکی، هنوز هم ارزیابی کمی وضعیت جهانی آب زیرزمینی، با توجه به توزیع گسترده آن، دشواری تجمیع داده‌ها و سرمایه‌گذاری ناکافی در پایش آسان نیست. چالش شناسایی اقدامات لازم برای فراهم آوردن حکمرانی مناسب و تبدیل آنها به ترتیبات نهادی اثربخش برای مدیریت منابع آب زیرزمینی و حفاظت کیفی آنها نیز قابل ملاحظه است، ولی موفقیت‌های چندی نیز به دست آمده است. در این نوشتار، ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی و مسائل اصلی پایداری آب زیرزمینی مرور می‌شود.

۲- درآمدی بر ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی

۲-۱- اهمیت آب زیرزمینی برای بقا و توسعه انسانی

بشر از همان زمان‌های کهن، نیازهای خود به آب با کیفیت خوب را از منابع زیرزمینی تأمین کرده است. چشمه‌ها، که در واقع جلوه آب زیرزمینی در سطح زمین به شمار می‌آیند، نقش کلیدی در سکونت انسان و توسعه اجتماعی ایفا کرده است. با این همه، تا دوره انقلاب صنعتی، توانایی انسان برای برداشت و آلوده‌ساختن آب زیرزمینی در مقایسه با منابع موجود ناچیز بود.

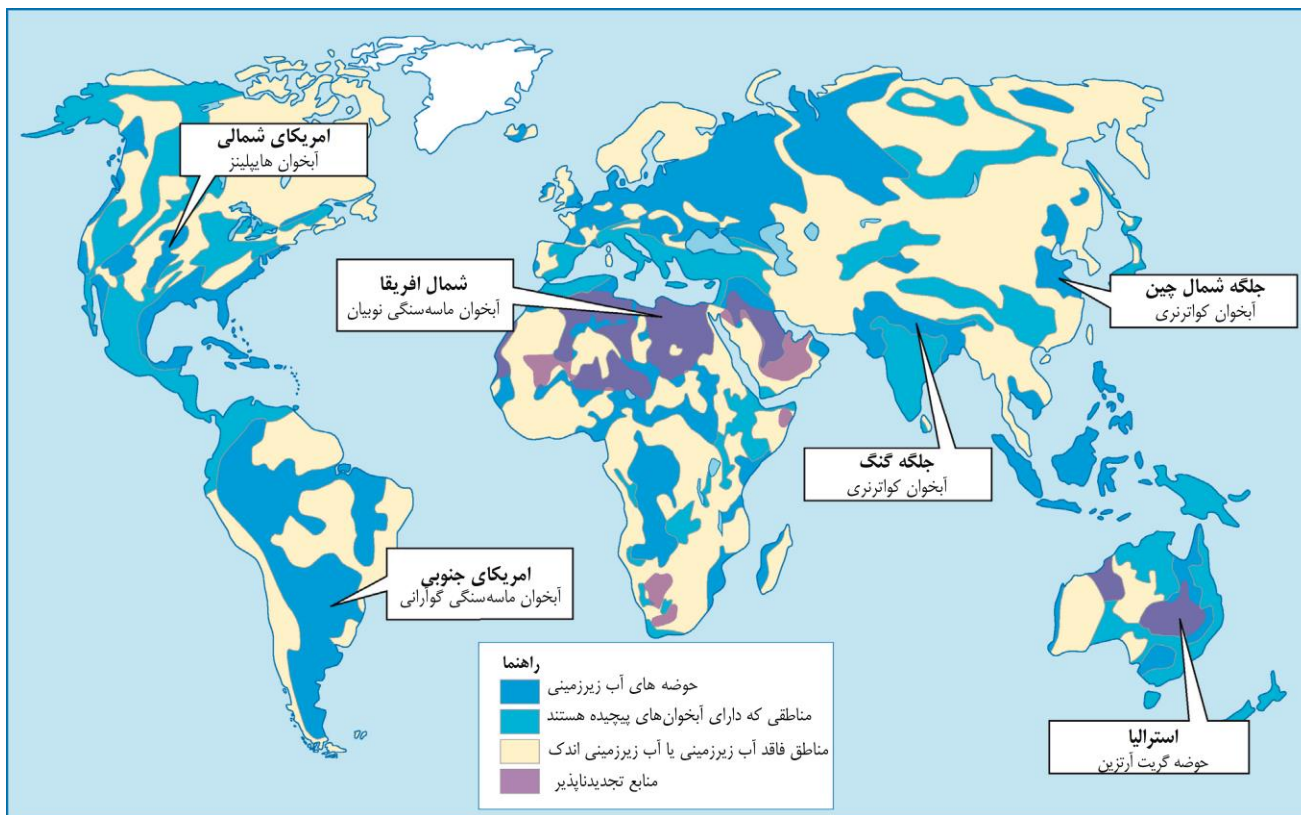
افزایش بهره‌برداری آب زیرزمینی، پیامد پیشرفت‌های عمده در دانش زمین‌شناسی، حفاری چاه، تکنولوژی پمپ و برق‌رسانی روستایی بود، و در فاصله سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ در بسیاری از کشورهای صنعتی شده، و در فاصله ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ در بخش‌هایی از جهان در

حال توسعه به سرعت گسترش یافت. آمارهای جامع و قابل اتکا درباره برداشت و مصرف آب زیرزمینی، در دسترس نیست، ولی برداشت جهانی آب زیرزمینی در حال افزایش است و میزان برداشت در سال ۲۰۱۰، ۹۰۰ میلیارد متر مکعب برآورد شده است. برابر آمارها، آب زیرزمینی ۳۶ درصد از نیاز آب شرب، ۴۲ درصد از نیاز کشاورزی آبی و ۲۴ درصد از نیاز صنعتی را تأمین می‌کند. البته باید توجه داشت که این نسبت، از کشوری به کشوری دیگر، و حتی در داخل کشورهای پهناورتر تغییر زیادی دارد. میزان برداشت آب زیرزمینی تغییر زیادی دارد، و بالاترین سطح آن در بخش‌های بزرگی از چین، هند، پاکستان، بنگلادش و ایران، و در ایالات متحده، مکزیک، اتحادیه اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه مشاهده می‌شود.

ارزش اجتماعی آب زیرزمینی را نباید صرفاً با حجم برداشت‌ها سنجید. بهره‌برداری از آب زیرزمینی در مقایسه با آب سطحی، به دلیل مهیا بودن آن در مقیاس محلی، امکان تعدیل برداشت با سطح تقاضا، قابلیت اطمینان بالا در دوره خشکسالی و کیفیت خوب و نیازمند حداقل تصفیه، غالباً منافع اقتصادی بیشتری به ازای واحد حجم دارد. وابستگی شهرها و شهرک‌های فراوان به آب زیرزمینی در حال افزایش است، و سهم آب زیرزمینی در کشاورزی آبی از نظر میزان محصول و بهره‌وری اقتصادی زیاد است. آب زیرزمینی از ارکان انقلاب سبز در کشاورزی آسیا بوده است، و تأمین آب به ترتیب ۳۱۰ و ۱۰۵ میلیون نفر را در اتحادیه اروپا و ایالات متحده بر عهده دارد، و معیشت روستایی را در سطح وسیعی در مناطق جنوب صحرای بزرگ آفریقا پشتیبانی می‌کند.

۲-۲- ذخایر وسیع آب شیرین

سیستم‌های آب زیرزمینی، اصلی‌ترین مخزن سیاره زمین و ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند، ولی محاسبه این حجم عظیم آسان نیست. از این رو، دقت و سودمندی این قبیل محاسبات همواره سؤال‌برانگیز خواهد بود، چون هر محاسبه‌ای بر پایه فرضیات مهم درباره عمق مؤثر و تخلخل لایه آب شیرین انجام می‌شود. برخی آبخوان‌ها (شکل ۱) در سطحی بزرگ، به طور یکنواخت گسترش یافته‌اند و در مقایسه با مخزن‌ها و دریاچه‌های سطحی جهان، آب بسیار بیشتری در ذخیره دارند. افزون بر این، در اثر تبخیر مستقیم، آب بسیار اندکی را از دست می‌دهند.



شکل ۱- توزیع جهانی منابع آب زیرزمینی. این نقشه، پیدایش گسترده آب زیرزمینی و موقعیت بزرگترین آبخوان های جهان (بعضاً فسیلی) را که ذخیره فراوانی دارند نشان می دهد.

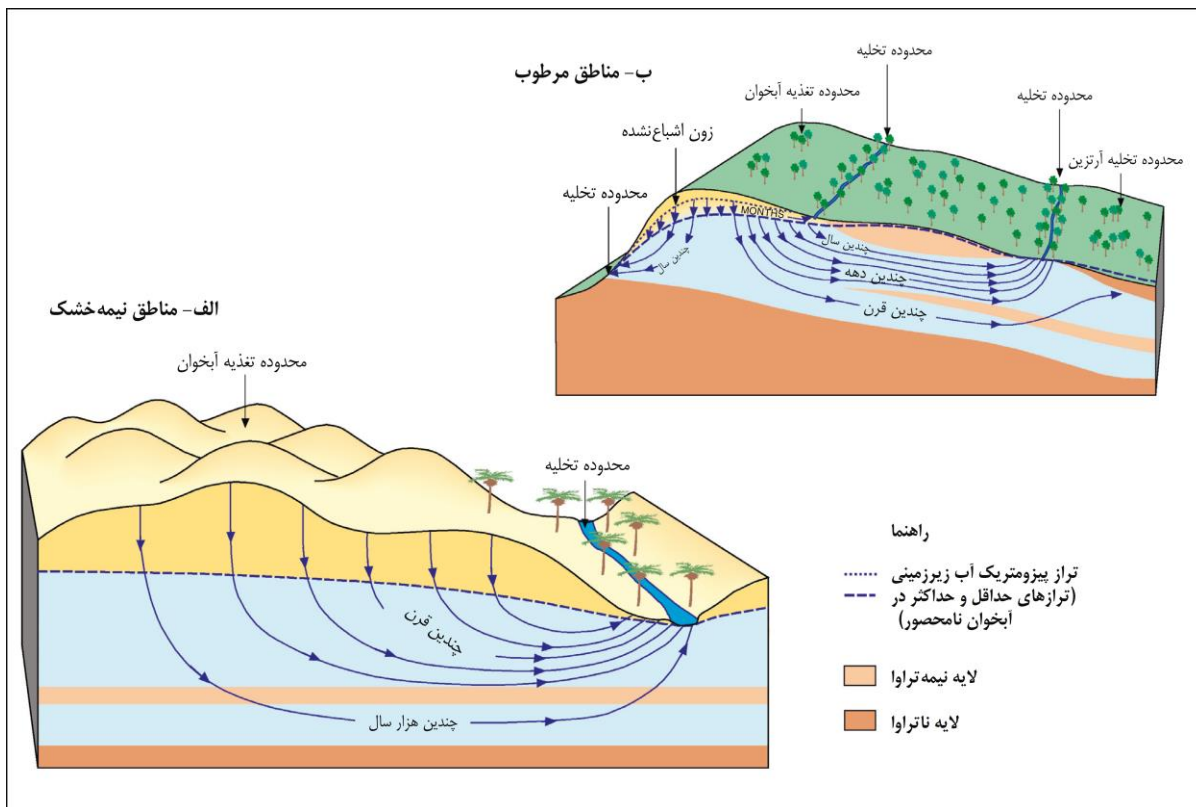
آبخوان‌ها دو ویژگی بنیادی دارند- ظرفیت ذخیره آب زیرزمینی، و امکان جریان یافتن آب زیرزمینی. با این همه، سازندهای مختلف زمین‌شناسی تغییر زیادی در ویژگی‌های زیر دارند:

- ظرفیت ذخیره در رسوبات دانه‌ای تحکیم‌نیافته، و سنگ‌های شکستگی‌دار و بسیار تحکیم‌یافته؛
- ضخامت اشباع آبخوان و میزان به هم پیوستگی منفذها در سازندهای مختلف زمین‌شناسی، که در نتیجه آن، پتانسیل جریان آب زیرزمینی دامنه وسیعی خواهد داشت.

گسترش سطحی آبخوان‌ها نیز از چند کیلومتر مربع تا چند صد کیلومتر مربع تغییر می‌کند. این نوشتار بر آبخوان‌های عمده تمرکز دارد که ذخیره بزرگی دارند و آبدهی چاه‌های آب بالا است. این آبخوان‌ها در سازگاری با تغییر اقلیم می‌توانند نقش استراتژیک ایفا نمایند. با این همه، آبخوان‌هایی را که آبدهی کمتری دارند نباید نادیده گرفت- چون گسترش وسیع جغرافیایی آنها، امکان تأمین مقرون به صرفه و مطمئن نیازها را که در سطح گستره‌ای توزیع شده فراهم آورده است.

۲-۳- رژیم‌های جریان آبخوان- از تغذیه تا تخلیه

جایجایی آب زیرزمینی در بیشتر آبخوان‌ها و محیط‌های زمین‌شناختی، آهسته صورت می‌گیرد و سرعت آن در طیف ۰/۰۱ و ۱۰ متر در روز است. آب زیرزمینی از نواحی تغذیه آبخوان که مازاد بارش و/یا رواناب سطحی نفوذ می‌کند، به سمت نواحی تخلیه آبخوان، یعنی چشمه‌ها، آبراه‌ها و تالاب‌ها جریان می‌یابد. بدین ترتیب، تداوم‌بخش حیات اکوسیستم‌های حیاتی است. ذخیره آبخوان در برابر ورودی‌ها به مانند ضربه‌گیر عمل می‌کند و نوسان زیاد تغذیه را به رژیم‌های ثابت‌تر تخلیه (که تأمین‌کننده جریان پایه رودخانه‌ها است) تبدیل می‌کند. زمان ماندگاری آب زیرزمینی معمولاً بر حسب دهه، قرن یا هزارسال بیان می‌شود (شکل ۲). آب زیرزمینی در آبخوان‌های عمیق‌تر و محصورتر، در دوره‌های پرباران‌تر کوتاه‌تر تغذیه شده‌اند.



شکل ۲- سیستم‌های متداول آب زیرزمینی در (الف) مناطق نیمه خشک و (ب) مناطق مرطوب.

سیستم جریان آب زیرزمینی در عمق‌های کمتر، غالباً با هندسه زیرحوضه‌های سطحی و حوضه‌های آبریز تطبیق دارد، ولی جریان آب زیرزمینی در سازندهای رسوبی عمیق‌تر، متأثر از ساختار زمین‌شناسی و در بعضی موارد، از مرز حوضه‌های آبریز سطحی عبور می‌کند. در بیشتر مناطق خشک که دارای آبخوان‌های عمده باشند، جریان آب زیرزمینی، جابجاکننده فعال و اصلی آب به شمار می‌آید. به بیانی دیگر، شرایط هیدروژئولوژیکی غالب‌تر از توپوگرافی سطح خواهد بود.

۲-۳-۱- فرایندهای پرشدگی دوباره و عدم قطعیت‌ها

بر آورد نرخ‌های امروزی تغذیه آبخوان‌ها، از دید پایداری بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی اهمیت بنیادی دارد. با افزایش خشکی، تغذیه مستقیم از بارش، در مقایسه با تغذیه غیر مستقیم ناشی از رواناب سطحی و تغذیه مصنوعی (و تصادفی) ناشی از فعالیت انسان، به تدریج اهمیت کمتری پیدا می‌کند. با این همه، به سبب پیچیدگی زمین‌شناختی سیستم‌های طبیعی (که در نتیجه آن، تغییر قابل ملاحظه در پوشش گیاهی، انواع خاک و شرایط هیدروژئولوژیکی وجود دارد)، و تغییر وسیع مکانی و زمانی رویدادهای بارش و رواناب، غالباً عدم قطعیت علمی اساسی در کمی کردن مؤلفه‌های تغذیه وجود دارد. این ملاحظات، در ترکیب با داده‌های محدود پایش، به معنای آن است که همیشه باید با برآوردهای تغذیه با احتیاط رفتار کرد.

درک پیوندهای عمیق کاربری اراضی و تغذیه آب زیرزمینی، پایه اساسی مدیریت یکپارچه منابع آب به شمار می‌آید، نه تنها برای کمی کردن تغذیه، بلکه درباره ریسک‌های آلودگی. پارادایم رایج «متوسط نرخ‌های ثابت تغذیه امروزی»، نادرست است و می‌تواند به «دو بار احتساب منبع» منجر شود، به ویژه در مناطق خشک‌تر. نرخ تغذیه آبخوان در شرایط امروزی با توجه به موارد زیر تغییر قابل ملاحظه‌ای دارد:

- تغییرات در کاربری اراضی و پوشش گیاهی، به ویژه کشاورزی آبی، و نیز پاکسازی پوشش گیاهی و تحکیم خاک؛
- فرایندهای توسعه شهری؛ به ویژه میزان نشت آب از شاه‌لوله‌ها، دفع فاضلاب بدون لوله‌های فاضلاب (در محل) و ساخت و سازها سطح زمین را نفوذناپذیر می‌سازد؛

- اُفت سطح ایستابی در سطح وسیع در اثر برداشت آب زیرزمینی و/ یا زهکشی اراضی، که به افزایش مساحت و/ یا نرخ نفوذ در برخی آبخوان‌ها منجر می‌شود؛
- تغییرات در رژیم آب سطحی، به ویژه انحراف یا کانال‌بندی جریان رودخانه.

۲-۳-۲- پاسخ به نوسانات اقلیم

عدم قطعیت درباره تأثیر روند کنونی گرم‌شدن زمین بر تغذیه آب زیرزمینی همچنان باقی است. با این همه، پاسخ بلندمدت سیستم‌های آب زیرزمینی به نوسان اقلیم، مستقل از فعالیت انسان را می‌توان بر پایه شواهد دیرینه‌شناسی هیدرولوژیکی در برخی آبخوان‌های بزرگ که امروز بخش‌های خشک‌تر جهان به شمار می‌آیند شناسایی کرد (شکل ۱). در این بررسی‌ها با استفاده روش‌های ایزوتوپی آشکار شده است که بیشتر آب زیرزمینی ذخیره‌شده (و گاهی هنوز در جریان است) در سازندهای رسوبی بزرگ، بیش از ۵۰۰۰ سال پیش در اثر بارش‌های اوایل پلیستوسن و اوایل هولوسن تغذیه شده‌اند (شکل ۲). در این دوره‌ها، اقلیم در این نواحی سردتر و پر باران‌تر بوده است. بنابراین غالباً به آنها «آب زیرزمینی فسیلی» گفته می‌شود. انباشت کلراید و شواهد ایزوتوپی در زون اشباع‌نشده در این نواحی نشان می‌دهد که از آن پس، میزان تغذیه از بارندگی اندک بوده است (کمتر از ۵ میلی‌متر در سال). چون تغذیه کنونی آب زیرزمینی در بهترین حالت، تنها کسر کوچکی از آب زیرزمینی ذخیره‌شده در این قبیل آبخوان‌ها را تشکیل می‌دهد، این منابع را می‌توان «تجدیدناپذیر» در نظر گرفت.

۳- آب زیرزمینی - نگاهی به مسائل اصلی پایداری

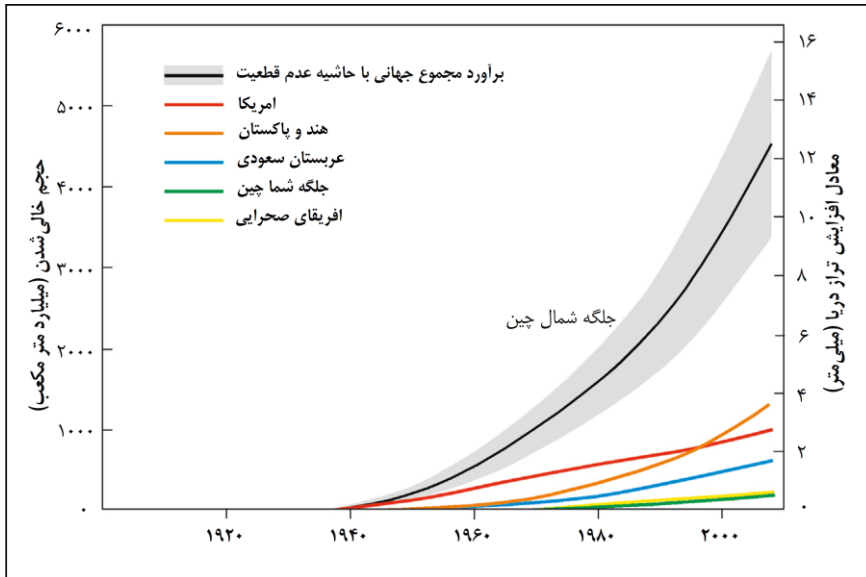
۳-۱- پیامدهای بهره‌برداری شدید و کنترل‌نشده

گسترش سریع و غالباً کنترل‌نشده بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، منافع مهم اجتماعی - اقتصادی را نتیجه داده، ولی مشکلات رو به افزایش مهمی را نیز در پی داشته است (جدول ۱). در برخی موارد، نرخ‌های کنونی برداشت، از نظر فیزیکی در بلندمدت پایدار نیست و در برخی موارد نیز تأثیر منفی بر محیط‌زیست به جا می‌گذارند. با اینکه پذیرفته می‌شود برداشت بیش از حد از ذخیره آبخوان و بهره‌برداری از منابع تجدیدناپذیر می‌تواند یک استراتژی مشروع برای توسعه مدیریت شده یا در دوره تغییر اجتماعی برنامه‌ریزی شده

به یک اقتصاد کمتر وابسته به آب به شمار آید، ولی می‌تواند پیامدهایی داشته باشد که لازم است به آنها در برابر منافع اجتماعی-اقتصادی توسعه، وزن داده شود.

| جدول ۱ | |
|---|--|
| منافع و مشکلات بهره‌برداری آب زیرزمینی (برخی مشکلات، مستقیماً با منافع خاص ارتباط ندارند و در تمام آبخوان‌ها و نواحی پدید نمی‌آیند). | |
| منافع اجتماعی-اقتصادی | مشکلات پایداری |
| <ul style="list-style-type: none"> • تأمین مقرون به صرفه آب با کیفیت • خوب برای نیاز شهری • بهره‌برداری کم‌هزینه برای تأمین قابل • اطمینان آب روستایی در مواقع خشکسالی • تأمین در دسترس و قابل اطمینان نیاز • کشت آبی • زهکشی بهتر و کاهش شوری در برخی مناطق | <ul style="list-style-type: none"> • استفاده ناکارآمد از منبع در مقیاس وسیع • رشد نابرابری اجتماعی در بهره‌مندی از آب زیرزمینی • نرخ‌های ناپایدار برداشت فیزیکی در مناطق خشک‌تر • نشست زمین در اثر تراکم لایه‌های کم‌تراوا • زیان بازگشت‌ناپذیر آبخوان در اثر نفوذ آب شور/ بالآآمدن آب شور • آسیب‌دیدن اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی • کاهش جریان پایه در آب و هوای خشک در بازه‌های بالایی بسیاری از آبراهه‌های دریافت‌کننده آب زیرزمینی |

نمونه‌هایی از خالی شدن آبخوان‌های عمده، ناشی از برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در کشاورزی و پائین رفتن سطح آب زیرزمینی در سطح وسیع، و خالی شدن موضعی تر در اطراف برخی مناطق شهری بزرگ وجود دارد. حجم تجمعی خالص خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی از ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۸ (و عمدتاً از سال ۱۹۵۰)، حداقل ۴۵۰۰ میلیارد متر مکعب برآورد شده است، که بیش از آن در آبخوان‌های عمده در هند، ایالات متحده، عربستان سعودی و چین (شکل ۳)، و آبخوان‌های دیگر رخ داده است. البته، تمام برآوردها به دلیل عدم قطعیت درباره متوسط آبدهی ویژه لایه‌های آبکشی شده قابل بحث هستند.



شکل ۳- روند خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی

در مراکز شهری عمده، فرایند شهرنشینی معمولاً نرخ‌های نفوذ را افزایش می‌دهد، و این وضعیت، تأثیر برداشت شدید آب زیرزمینی را تا اندازه‌ای جبران می‌کند، البته در جاهایی که آبخوان اصلی زیرین، نامحصور است و امکان تغذیه عمودی آزاد وجود دارد. در شهرهایی که بر روی آبخوان‌های نیمه‌محصور قرار دارند، شدت خالی شدن سفره بیشتر است- برای نمونه سطح پیزومتریک در بانکوک، مانیل، مکزیک، صنعا، تیانجین و توکیو، ۳۰ تا ۵۰ متر افت داشته است.

۳-۱-۱- بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی تجدیدناپذیر

منابع بزرگ آب زیرزمینی تجدیدناپذیر در برخی آبخوان‌های عمده می‌تواند منبع بسیار قابل اتکایی برای تأمین آب باشد. این قبیل آبخوان‌ها در برابر نوسان کنونی اقلیم، کاملاً تاب‌آور هستند. با این همه، سرانجام بهره‌برداری از آنها به زمان بستگی خواهد داشت و از این رو نیازمند ملاحظه دقیق از نظر بهره‌برداری کارآمد، اثرات اکولوژیکی و عدالت میان‌نسلی هستند. این منابع همیشه باید از موضوعات استراتژیک توسعه به شمار آورده شوند که درخور مطالعات، پایش و مدیریت ویژه هستند. در حال حاضر کشورهایی که

بیشترین وابستگی را به منابع آب زیرزمینی تجدیدناپذیر دارند عبارتند از عربستان سعودی، لیبی و الجزایر (شکل ۱)، ولی بهره‌برداری قابل ملاحظه در استرالیا، ایران، مصر، تونس، بوتسوانا، موریتانی و پرو نیز وجود دارد.

۳-۱-۲- اثرات خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی

بهره‌برداری از آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها، به افت سطح آب زیرزمینی یا سطح پیژومتریک در یک محدوده معین منجر می‌شود. گاهی افت سطح آب زیرزمینی ممکن است مطلوب باشد، چون می‌تواند تخلیه آب از اراضی را بهبود بخشد و نرخ‌های تغذیه آب زیرزمینی را با فراهم آوردن فضای ذخیره بیشتر برای مازاد بارندگی در فصل بارش به حداکثر برساند. با این همه، اگر مجموع میزان برداشت از بخشی از آبخوان یا کل آن، از متوسط پرشدگی بلندمدت بیشتر شود، افت پیوسته تراز آب پدیدار خواهد شد. چون کسر مهمی از جریان آب زیرزمینی برای حفظ جریان رودخانه در آب و هوای خشک و/یا برای تداوم حیات اکوسیستم‌های وابسته نیاز است، برداشت آب زیرزمینی، تخلیه طبیعی آبخوان را کاهش می‌دهد (در برخی موارد به شدت کاهش می‌دهد). اثرات شدید و اساساً برگشت‌ناپذیر نیز می‌تواند پدید آید (جدول ۲)، به ویژه نفوذ آب شور (جانبی یا از عمق یا از بالا).

۳-۱-۳- تأثیر بر بالآمدن تراز دریا

خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی، غیر مستقیم در بالآمدن تراز دریا تأثیر دارد؛ بدین گونه که آب را از ذخیره بلندمدت خشکی‌ها به چرخش فعال در هیدروسفر (در سطح زمین) انتقال می‌دهد، و نهایتاً به انتقال آب به اقیانوس‌ها منجر می‌شود. با این همه، مقیاس و اهمیت این فرایند با عدم قطعیت زیادی همراه است. بررسی حجم، با تمرکز عمدتاً بر آبخوان‌های عمده که ذخیره بلندمدت آنها در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ خالی شده است، حداقل برآورد ۱۰۶ میلیارد متر مکعب در سال (معادل ۰/۳ میلی‌متر در سال یا ۱۸ درصد بالآمدن کنونی تراز دریا؛ شکل ۳) را به دست می‌دهد. این روش و روش‌های دیگر نشان می‌دهد که این رقم شاید بتواند تا ۰/۵ میلی‌متر در سال یا بیشتر افزایش یابد (۳۰ درصد میزان کنونی بالآمدن تراز دریا).

۳-۲- فرایندهای تنزل‌دهنده کیفیت

توسعه پایدار آب زیرزمینی نه تنها به سبب موجودی منبع با محدودیت روبرو است، بلکه به سبب تنزل کیفی نیز محدود می‌شود. دسته‌بندی عمومی مشکلات کیفیت آب زیرزمینی در جدول ۲ نشان داده شده است. در این نوشتار عمدتاً بر دو مقوله نخست متمرکز می‌شود. تکنولوژی مطالعه آب زیرزمینی در دهه اخیر پیشرفت‌های مهمی داشته است- از جمله پیوند بهتر مدل‌سازی عددی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلاینده با فرایندهای بیرونی، فنون جدید تعیین سن به روش ایزوتوپی و شیمیایی که می‌تواند در رژیم‌های جوان‌تر جریان آب زیرزمینی به کار گرفته شود، فنون ژئوفیزیکی جدید، فنون جدید دورسنجی و استفاده بسیار بیشتر از GIS برای نمایش و مقایسه سری داده‌های مکانی بزرگ. با این همه، کاربرد آنها در مطالعات آب زیرزمینی در سطح جهانی، به سبب هزینه بالا و/یا ظرفیت فنی، و نارسایی‌های شبکه‌های پایش آب زیرزمینی یکدست نیست. وابستگی به گمانه‌های عمیق و/یا چاه‌های کم عمق خانگی برای پایش کیفیت، مشکل‌ساز است، چون در حالت اول، زمان آلوده شدن آب زیرزمینی را به سبب اختلاط با تغذیه قدیمی‌تر، طولانی‌تر نشان می‌دهد، و در حالت دوم، در معرض آلوده شدن مستقیم در تأسیسات چاه قرار دارد. کمبود داده‌های قابل اتکا مانع از آن است که جمع‌بندی جامع و مستند درباره وضعیت جهانی کیفیت آب زیرزمینی صورت گیرد.

داده‌های کیفیت آب زیرزمینی، برای بسیاری از عامل‌های تنزل‌دهنده کیفیت که در جدول ۲ نام برده شده، ناکافی، بسیار پراکنده و غالباً ناقص است. افزون بر این، قابلیت اطمینان برخی داده‌ها به دلیل فنون نامناسب نمونه‌برداری، جابجایی و ذخیره‌سازی ضعیف نمونه‌ها، و استفاده از دستورالعمل‌های ضعیف آنالیز، پرسش‌برانگیز است. این وضعیت به ویژه درباره برخی پارامترهای آرگانیکی مصداق دارد، که پایداری آنها حداقل است و باید در حدود پائین تشخیص داده شوند.

جدول ۲

دسته‌بندی مشکلات کیفیت آب زیرزمینی (بر پایه منشأ و فرایندهای تنزل کیفیت)

| نوع مشکل | علت‌های ریشه‌ای | پارامترهای مورد نظر |
|-------------------------------|---|---|
| فرایندهای شور شدن | تحریک / جدایش ناشی از مدیریت ضعیف زراعت آبی؛ زهکشی معدن یا استخراج نفت؛ یا آبیاری با آب سطحی بدون زهکشی کافی | SO ₄ , Br, F, Cl و گاهی Na |
| آلودگی ناشی از فعالیت انسان | حفاظت ناکافی آبخوان‌های آسیب‌پذیر در برابر تخلیه/ آب‌شستگی ناشی از فعالیت‌های شهری و صنعتی، و افزایش تراکم کشت و دامداری | پاتوژن‌ها، SO ₄ , Cl, NH ₄ , NO ₃ , B، فلزات سنگین، DOC، هیدروکربن‌های آروماتیک / هالوژن‌دار، برخی آفت‌کش‌ها و متابولیت آنها |
| آلوده شدن چاه | ساخت ضعیف تأسیسات چاه، که امکان ورود مستقیم آب آلوده را به وجود می‌آورد. | عمدتاً پاتوژن‌ها، Cl, NH ₄ , NO ₃ |
| تحریک یافتن آلاینده‌های طبیعی | با تغییرات pH-Eh آب زیرزمینی و حل شدن کانی‌ها از بافت آبخوان ارتباط دارد و می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسان، به ویژه زهکشی آب در معدن و برگشت دوباره سطح ایستابی در معادن متروکه تشدید شود. | عمدتاً Fe, As و F - همچنین Mn, Al, Mg, SO ₄ , Se, و NO ₃ (از تغذیه دوره‌های گذشته زمین‌شناسی) |

۳-۲-۱- ساز و کارهای شور شدن آبخوان

مناطق مهمی در جهان با مشکل شور شدن و خیم آب زیرزمینی و خاک، در نتیجه فرایندهای گوناگون روپرو هستند (شکل ۴):

- نفوذ بیش از حد آب، سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود، که معمولاً با آبیاری ناکارآمد و استفاده از آب سطحی انتقال یافته به مناطقی که زهکشی طبیعی ناکافی است همراه است؛

- شوری طبیعی، پیامد پاکسازی پوشش گیاهی طبیعی به منظور توسعه زراعت و افزایش نرخ تغذیه آب زیرزمینی به حرکت در می آید؛
- دست خوردگی مفرط لایه بندی طبیعی شوری آب زیرزمینی در زیر زمین در اثر حفر چاه و پمپاژ کنترل نشده آب از چاه‌ها.

ترمیم شورشدگی آب زیرزمینی پرهزینه بوده و غالباً برگشت ناپذیر است، چون آب شور که منافذ بزرگ و شکاف‌ها را اشغال می کند، به سرعت در بافت آبخوان‌های متخلخل منتشر می شود، و چندین دهه طول می کشد تا شسته شود، حتی پس از آنکه جریان آب شیرین دوباره برقرار شده باشد.

بر اساس پروفیل شوری آب زیرزمینی - عمق، آب شیرین روی آب شور چگال تر قرار دارد، ولی کف شکنی چاه‌های آبیاری برای تداوم یا افزایش آبدهی غالباً به جایگزینی و پمپاژ مقداری از آب زیرزمینی شور منجر می شود، که سپس از طریق آبیاری بیش از حد نفوذ می کند و آبخوان‌های کم عمق را تحت تأثیر قرار می دهد. این پروفیل، در نتیجه شماری از فرایندها که در محیط‌های هیدروژئولوژیکی معین پدید می آید می تواند به طور طبیعی معکوس شود. این قبیل وضعیت‌ها حساسیت ویژه‌ای در برابر اختلال هیدرولیکی در اثر برداشت آب زیرزمینی دارند و نیازمند تشخیص و مدیریت دقیق هستند.

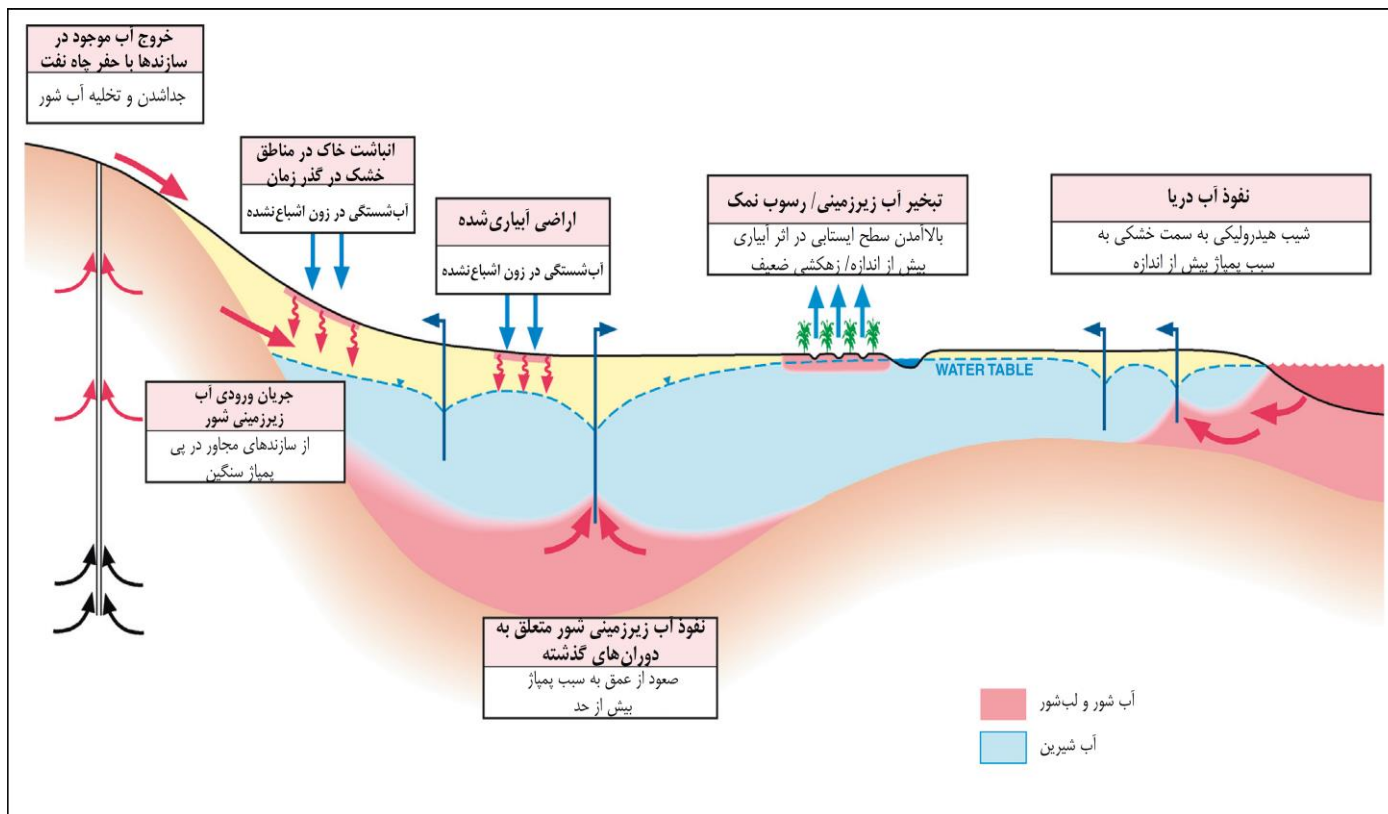
۳-۲-۲- آسیب پذیری آبخوان در برابر آلودگی انسانی

گزارش‌ها درباره آلودگی آب زیرزمینی ناشی از فعالیت‌هایی که انسان در سطح زمین انجام می دهد، با روندی فزاینده، در کشورهای صنعتی شده، سابقه‌ای ۴۰ ساله، و در کشورهای در حال توسعه، سابقه ۲۵ ساله دارد. دلیل عمده این وضعیت، فقدان سیاست‌های غیر منفعلانه در موضوع حفاظت از آبخوان است. بسیاری از رویدادهای آلودگی، احتمالاً به دلیل پایش ضعیف کیفیت آب زیرزمینی، هیچگاه مشخص نمی شوند. آبخوان‌ها در مقایسه با پیکره‌های آب سطحی، آسیب پذیری بسیار کمتری در برابر آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسان دارند، ولی وقتی آلوده شوند، آلودگی زمان درازی باقی می ماند و ترمیم آن به سبب دسترس ناپذیری فیزیکی و ساختار متخلخل آبخوان دشوار است.

یکی از ویژگی‌های مهم محیط‌ها و خاک‌های متخلخل، پتانسیل آنها برای کاهش آلودگی طبیعی است. آسیب‌پذیری آبخوان در برابر آلودگی، معمولاً تابعی از خصوصیات ذاتی پروفیل خاک و زون اشباع‌نشده (یا لایه‌های محصورکننده) در نظر گرفته می‌شود. با این همه، با اینکه تمام پروفیل‌های خاک به یک اندازه در کاهش آلودگی اثربخش نیستند، آبخوان‌های عمیق‌تر احتمالاً تنها از آلاینده‌های مقاوم تأثیر می‌پذیرند (نیترات، شوری و مواد اُرگانیک مصنوعی معین). یک عامل مهم، به ویژه در لایه‌های تحکیم‌یافته، احتمال انتقال رو به پائین آلاینده از طریق مسیرهای ترجیحی است. این وضعیت، آسیب‌پذیری آبخوان را در برابر آلاینده‌هایی که در غیر این صورت در اثر جذب و/ یا در اثر فروپاشی بیولوژیکی حذف می‌شدند افزایش زیادی می‌دهد.

آلودگی بزرگ مقیاس آب زیرزمینی می‌تواند در اثر منابع نقطه‌ای صنعتی ناشی از نشت یا تخلیه اتفاقی در محدوده‌های آسیب‌پذیر همراه باشد. با این همه، مشکلات بسیار پنهان‌تر و گسترده‌تر، از برخی راه و رسم‌های دفع فاضلاب شهری و کشاورزی ناشی می‌شود.

اگر دفع بهداشتی با سامانه‌های تعبیه‌شده در محل انجام شود (چاله‌های فروکش، مخزن‌های فاضلاب، چاه‌های فاضلاب) می‌تواند به افزایش قابل توجه تغذیه آب زیرزمینی در آبخوان‌های نامحصور منجر شود، ولی تنزل قابل توجه کیفیت آب زیرزمینی را نیز در پی دارد (ناشی از نیترات، کربن اُرگانیک، و ترکیبات مصنوعی سمی). در نواحی شهری که دفع پساب از طریق لوله‌های فاضلاب انجام می‌شود، حجم زیاد پساب با حداقل تصفیه غالباً برای آبیاری غرقابی کشت‌ها استفاده می‌شود، که می‌تواند به افزایش و آلوده‌شدن آب زیرزمینی منجر شود. افزون بر این، در بسیاری از نواحی شهری، صنایع کوچک مقیاس فراوان (مشخصاً نساجی، چرم‌سازی، لباسشویی و تعمیرگاه وسایل نقلیه)، پساب تولید می‌کنند (شامل روغن سوخته و حلال‌ها) که غالباً در سطح زمین دفع می‌شود.



شکل ۴- فرایندهای اصلی که سبب شور شدن آبخوان می‌شوند.

افزایش محصول کشاورزی، غالباً با استفاده فزاینده از کودهای غیر آرگانیک و طیف وسیعی از آفت کش‌های مصنوعی استمرار می‌یابد. موارد بسیاری از همبستگی نزدیک میان نیترات بالا در آب زیرزمینی کم عمق، و کشاورزی گزارش شده است (و عدم نیترات زدایی در خاک‌های نفوذپذیر). زوال پذیری بازمانده آفت کش‌های محلول و متحرک، وقتی در اثر شسته شدن تا زیر قاعده زون خاک انتقال یابد، به طور محسوسی کاهش می‌یابد. این نوع آلودگی از کشاورزی دیم و نیز آبی ناشی می‌شود- و با اینکه در فنون آبیاری دقیق از نظر تئوری، امکان کاهش تلفات در اثر آب شستگی وجود دارد، ولی می‌تواند افزایش شوری آب برگشتی آبیاری به آب زیرزمینی را نتیجه دهد.

۴- آب زیرزمینی - رویارویی با چالش حکمرانی

۴-۱- تقویت پایه‌های حکمرانی

حکمرانی آب زیرزمینی را اعمال اقتدار برای پیشبرد کنش جمعی مسئولانه برای بهره‌برداری پایدار و کارآمد و حفاظت منبع به نفع بشر و اکوسیستم‌های وابسته تفسیر می‌کنند. پروژه GW-MATE که با همکاری بانک جهانی و همیاری جهانی آب (GWP) در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ انجام شد، به این جمع‌بندی رسید که ناکامی‌های مدیریت آب زیرزمینی، بیشتر ناشی از تمهیدات ضعیف حکمرانی است تا درک ناکافی درباره منبع.

بیشتر کشورها (نه همه آنها) تمهیدات حقوقی کافی برای مدیریت مصرف دارند، ولی بسیاری فاقد ترتیبات نهادی باکفایت و ظرفیت اجرایی برای پیاده‌سازی این تمهیدات هستند. ضرورت جدی برای توجه به ضعف‌های نهادی، کمبود پرسنل، مشارکت ناکافی ذینفعان و فقدان پذیرش مسئولیت وجود دارد. افزون بر این، حفاظت از آب زیرزمینی در برابر آلودگی، با چالش‌های فنی در حوزه بررسی و پایش، و چالش‌های نهادی در حوزه هماهنگی میان دستگاه‌های آب و کاربری اراضی نیز روبرو است.

۴-۱-۱- مقیاس جغرافیایی - یک ملاحظه کلیدی

آب زیرزمینی توزیع گسترده‌ای دارد، ولی در بیشتر جاها اساساً یک منبع موضعی است. بنابراین، مدیریت منبع و حفاظت در برابر آلودگی باید نزدیک مصرف‌کنندگان آب

زیرزمینی و آلوده کنندگان بالقوه انجام گیرد، و باید در واحدهای مدیریت آب زیرزمینی و/یا محدوده‌های حفاظت‌شده (با تعریف روشن مرزها بر اساس موازین علمی) هدایت شود. در حالی که حوضه آبریز، واحد فضایی بنیادی برای کاربرد نگاه یکپارچه شمار می‌آید، باید با این واقعیت همساز شود که واحدهای آب زیرزمینی که بر پایه معیارهای هیدروژئولوژیکی تعریف می‌شوند، چارچوب فضایی مناسب برای مدیریت و حفاظت آب زیرزمینی هستند. افزون بر این، در حالی که سیستم رودخانه تحت سیطره جریان است، رفتار بیشتر آبخوان‌ها را ذخیره بزرگ آب زیرزمینی آنها تعیین می‌کند. از این رو در برخی محیط‌های هیدروژئولوژیکی، رویکرد فضایی نیازمند تعدیل خواهد بود.

۴-۱-۲- نقش دولت

پروژه GW-MATE در مناطق مختلف جهان با تشکیلات دولتی و ذینفعان خصوصی درباره مدیریت و حفاظت آب زیرزمینی همکاری داشت و به این جمع‌بندی رسید که نقش کلیدی دولت‌ها به شرح زیر است:

- اطمینان از اینکه یک نهاد ملی مشخص با شعب ناحیه‌ای / حوضه‌ای (برای دستگاه‌های استانی)، با مأموریت حکمرانی آب زیرزمینی (با مسئولیت، اختیار، تأمین مالی، ظرفیت و پاسخگویی روشن) و همکاری نزدیک با مدیریت آب سطحی وجود دارد؛
- فراهم آوردن چارچوبی برای مدیریت و برنامه‌ریزی آب زیرزمینی، شامل شناسایی آبخوان‌های اولویت‌دار که اهمیت اجتماعی اقتصادی و اکولوژیکی دارند، بررسی منبع و وضعیت / ریسک‌های کیفیت، تعریف تدابیر مدیریت و ارزیابی اثربخشی آنها- و بدین ترتیب اطمینان از یکپارچگی عمودی میان سطوح ملی و محلی (شکل ۵)؛
- پیشبرد یکپارچگی سیاست‌ها از طریق گفت و گوی اثربخش درباره ملاحظات پایداری آب زیرزمینی در تولید کشاورزی، تأمین آب شهری، نرخ‌گذاری انرژی و کاربری اراضی.

۴-۱-۳- اقتصاد سیاسی اصلاح حکمرانی

ممکن است توجه هزینه- فایده برای اصلاح حکمرانی آب زیرزمینی برای کسب اعتبار سیاسی کافی باشد، ولی ملاحظاتی وجود دارند که غالباً تأثیری عمده بر تحقق یا عدم

تحقق اصلاحات در عمل خواهند داشت. در واقع، وضع موجود به نفع منافع ریشه‌دار برخی گروه‌ها است، و با اینکه نتایج منفی ناشی از بهره‌برداری آب زیرزمینی، بسیاری را متأثر ساخته است، هنوز هم هستند کسانی که در زمره نفع‌برندگان قرار دارند. مرز باریکی میان ناآگاهی از ریسک‌هایی که متوجه آب زیرزمینی است و دفاع صادقانه از منافع بهره‌برداری، و فساد آشکار و بی‌اعتنایی نسبت به پیامدهای منفی شناخته‌شده وجود دارد. اثربخش‌ترین راه برای مقابله با راه و رسم بیمار، کمک به ارتقای درک محدودیت‌ها و آسیب‌پذیری‌های آب زیرزمینی در میان تمام ذینفعان، و شفافیت اطلاعات از طریق دسترسی آزاد به داده‌ها درباره مجوزهای برداشت چاه، مجوزهای دفع باطله و وضعیت منبع آب زیرزمینی و کیفیت آن است.

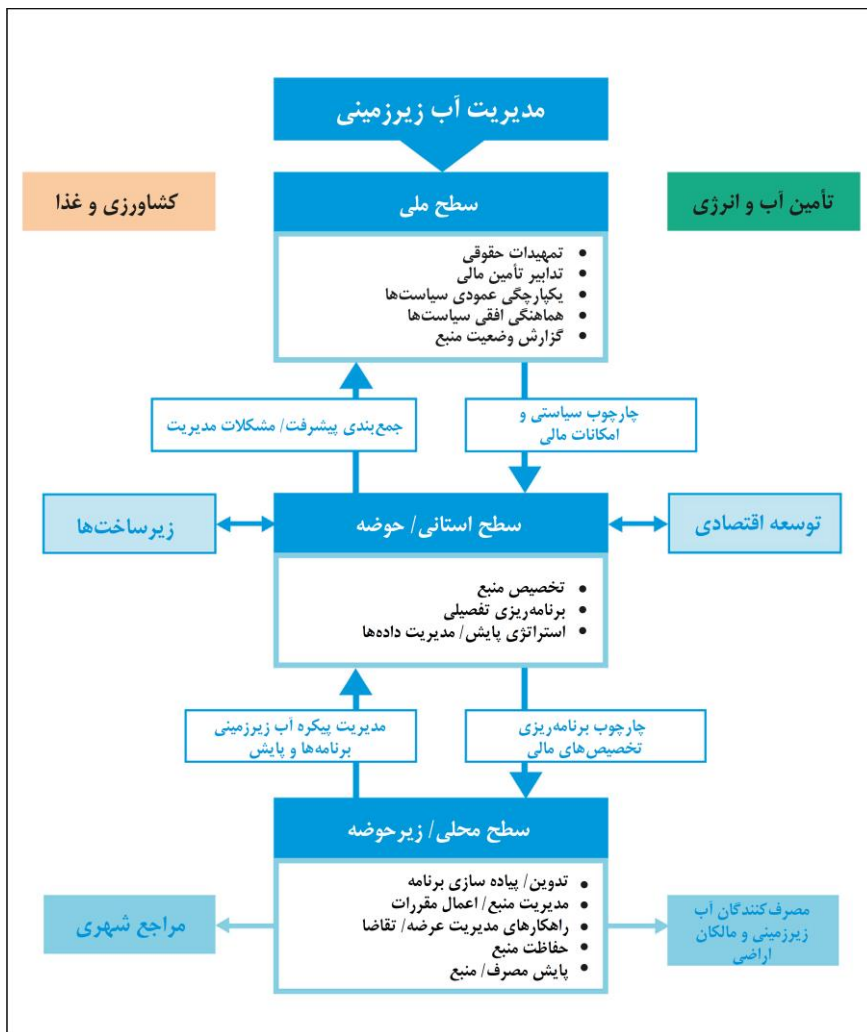
در مناطقی که تقاضای آب برای کشاورزی آبی زیاد است، محیط هیدروژئولوژیکی و اجتماعی اقتصادی یک آبخوان معین، معمولاً خودش مشکل مدیریت، و محدودیت راه‌حل‌های مدیریت را مشخص می‌کند. از این رو، آشکار است که «نسخه‌پیچی یک‌شکل برای همه‌جا» در مدیریت منابع آب زیرزمینی غیر منطقی است. افزون بر این، چون سیستم‌های آب زیرزمینی پیوسته در حال تحول هستند، و عدم قطعیت قابل توجه و گاه تغییر سریع وجود دارد، رویکرد تطبیقی به مدیریت منابع آب زیرزمینی، ارجحیت بالایی در مقایسه با جدیت در مدیریت در زمان بحران دارد. رویکرد مدیریت در نواحی که مصرف آب «منحصراً از منابع آب زیرزمینی» تأمین می‌شود در مقایسه با نواحی که منابع قابل توجه آب سطحی و زیرزمینی در نزدیک هم قرار دارند بسیار متفاوت خواهد بود. افزون بر این، لازم است در مناطقی که در حال حاضر برداشت آب زیرزمینی در بخش اعظم آنها کم است، مانند مناطق جنوب صحرای بزرگ آفریقا، از ابتدا بر توسعه منابع آب زیرزمینی، مدیریت اعمال شود.

۲-۴- رویکردها به مدیریت استفاده از چاه برای آبیاری

۲-۴-۱- نواحی «صرفاً متکی به آب زیرزمینی»

نخستین واکنش دولت‌ها به خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی در نواحی «صرفاً متکی به آب زیرزمینی»، پیشنهاد سرمایه‌گذاری‌های عمده برای بهبود تغذیه آبخوان و/یا

تکنولوژی آبیاری «کارآمد» است. در حالی که هر دوی این اقدامات تأثیر خواهند داشت، محدودیت‌های مهمی، چه در خود راهکارها و چه در شرایط میدانی وجود دارد.



شکل ۵- چارچوب کلی برنامه‌ریزی مدیریت آب زیرزمینی

در واقعیت، چنانچه پایداری فیزیکی منظور باشد، تلاش‌ها باید بر کاهش استفاده مصرفی، و همزمان بر ارتقای بهره‌وری مصرف آب برای حفظ درآمد زارعان تمرکز داشته باشد. این کار باید به بسته‌ای از اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا به عنوان بخشی از برنامه مدیریت متوازن آبخوان منجر شود. سپس لازم است ترکیب مناسب ابزارهای مدیریت (مشارکت ذینفعان/ بهره‌برداران و تمهیدات مقرراتی به همراه مشوق‌های مالی) برای قادر ساختن پالایش و پیاده‌سازی برنامه شناسایی شود.

در بسیاری از موارد، سیاست کنونی درباره قیمت‌های تضمینی محصول و یارانه‌های بیش از حد برق، به عنوان یک ضد مشوق قوی برای ذینفعان برای همکاری با برنامه‌های بلندمدت بهره‌برداری پایدار آب زیرزمینی و رویارویی با این واقعیت که آبخوان‌های ضعیف تغذیه شده نمی‌توانند از اقتصادهای نامناسب کشاورزی پشتیبانی کنند عمل می‌کند. در این موارد، هماهنگی بهتر سیاست‌ها، پیش از آنکه به سراغ برنامه‌های مشارکتی مدیریت آب زیرزمینی رفته شود اساسی خواهد بود (شکل ۵).

۴-۲-۲- بهره‌برداری تلفیقی

آبیاری با آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق آبرفتی که تحت پوشش کانال‌های آبیاری نیز قرار دارند، گسترش وسیعی یافته است. گاهی نیز همزمان یارانه‌های دولت مشوق آن است. در برخی موارد ۳۰ تا ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری در چنین محیط‌هایی از چاه‌ها تأمین می‌شود، و غالب است که منشأ بخشی از این آب، نشت از کانال آبیاری است. بهره‌برداری تلفیقی در جاهایی به وجود می‌آید که خدمات ارائه شده از کانال آب، ضعیف است، در نتیجه سبب گسترش حفر چاه‌های خصوصی می‌شود. این شیوه بهره‌برداری از آب زیرزمینی که اساساً بی‌برنامه، بدون نظارت و مدیریت نشده است، می‌تواند به خالی شدن آبخوان تا عمق‌هایی شود که چاه‌های آب را تحت تأثیر قرار دهد، و بدین ترتیب، کارایی پمپ‌های ارزان آبیاری در سطح زمین را مختل می‌سازد و سبب‌ساز ورود آب زیرزمینی شور می‌شود. در این میان، در برخی نواحی تحت پوشش کانال آبیاری، هنوز هم استفاده بی‌رویه و هدررفت آب سطحی وجود دارد، که سبب ماندابی شدن اراضی کشاورزی، شور شدن خاک و کاهش قابلیت تولید کشاورزی می‌شود.

وقتی بهره‌برداری تلفیقی در چارچوب برنامه‌ریزی منابع آب صورت گیرد، منافع بالقوه‌ای می‌تواند حاصل شود. در این کار باید به یک توازن اندیشید که از آفت سطح آب زیرزمینی در درازمدت پرهیز نماید و در عین حال با بالا آمدن سطح آب زیرزمینی مقابله کند و ماندابی و شور شدن خاک را کاهش دهد. لازم است بر پایه شناخت برهم کنش‌های آب سطحی - زیرزمینی، تصمیم‌گیری شود کدامیک از مقاطع کانال‌های درجه یک و دو آبیاری پوشش‌دار شوند. مدیریت برنامه‌ریزی شده باید افزایش تولید کشاورزی را از طریق بهبود در تراکم کشت و بهره‌وری آب، بدون لطمه دیدن پایداری مصرف آب زیرزمینی امکان‌پذیر سازد. با این همه، ممکن است موانع مهمی بر سر راه مدیریت تلفیقی در نواحی تحت پوشش کانال آبیاری (اصلاح کانال، برق‌رسانی به روستا و ساخت چاه) وجود داشته باشد، از جمله مقاومت اجتماعی سیاسی، مسئولیت متفرق نهادی و اینرسی منفی.

۴-۲-۳- رعایت ضوابط محیط‌زیستی در کاربری اراضی

تغذیه آب زیرزمینی و ملاحظات کیفیت باید بخشی از ضوابط لازم‌الاجرای زیست‌محیطی در اراضی کشاورزی باشد. به کارگیری راه و رسم‌های اثربخش برای کشت (شامل کنترل کود اُرگانیک و غیر اُرگانیک و استفاده از آفت کش، انتخاب محصول اصلی و استفاده از گیاهان پوششی برای جذب مواد مغذی، جمع‌آوری و دفع کود دامی و تبدیل اراضی قابل کشت به کاربری‌های کمتر متراکم) می‌توانند مفید واقع شوند، هر چند مقیاس زمانی تحقق اثرات مثبت در بسیاری از آبخوان‌ها بسیار طولانی است. در سال‌های اخیر چنین اقداماتی در چارچوب مدیریت توازن مواد مغذی در کل مزرعه یا پیکره آب زیرزمینی ترکیب شده‌اند. با این همه، حتی این تدابیر نمی‌توانند در همه‌جا بهبود لازم در کیفیت تغذیه آب زیرزمینی را محقق سازند و در برخی موارد، ضوابط سخت‌گیرانه‌تر درباره کاربری اراضی لازم است. برای نمونه، در پهنه‌های تغذیه در نزدیک چاه‌های تأمین عمومی نباید کشاورزی صورت گیرد و می‌تواند به عرصه جنگلی یا چمنزار تبدیل شود، و غالباً محیط با ارزش تری برای جوامع محلی به شمار می‌آیند. همه این اقدامات به مشارکت گسترده ذینفعان و جبران مالی زارعان در اراضی حفاظت‌شده نیاز دارد. بنابراین، چارچوب حکمرانی و نهادی که مشوق مشارکت محلی و رایزنی، پاسخگویی و پذیرش مسئولیت باشد ضرورت دارد.

۳-۴- آب زیرزمینی در مدیریت زیرساخت و محیط‌زیست شهری

پویایی توسعه شهری عمیقاً با آب زیرزمینی در هم تنیده شده است- و این امر بدین معنا است که ملاحظات آب زیرزمینی باید به طور کامل در مدیریت زیرساخت و محیط‌زیست شهری یکپارچه شود. برنامه‌ریزی آب زیرزمینی یک الزام پایه برای مدیریت نواحی شهری است، به ویژه جاهایی که از چاه‌های فراوانی برداشت صورت می‌گیرد، یا انتقال‌های بزرگ مقیاس آب به نواحی که وابستگی زیادی به آب زیرزمینی محلی دارند تدارک دیده می‌شود. نمونه‌های فراوانی در سرتاسر جهان از مشکلات بسیار پرهزینه در غیاب برنامه‌ریزی آب زیرزمینی وجود دارد. برخی از مسائل کلیدی که باید مورد توجه قرار گیرد به شرح زیر است:

- حفاظت و استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی که تأمین عمومی آب را بر عهده دارند؛
 - مدیریت تلفیقی منابع آب زیرزمینی در سازمان‌های تأمین آب؛
 - اعمال ضوابط درباره بهره‌برداری خصوصی از منابع آب زیرزمینی در نواحی شهری؛
 - اتخاذ رویکرد یکپارچه در تأمین آب و دفع بهداشتی فاضلاب در شهرها؛
 - تعریف راه‌های عملگراییانه برای کاهش تهدیدات آلودگی صنعتی برای آب زیرزمینی در شهرها؛ با در نظر گرفتن پساب شهری به عنوان یک منبع ارزشمند.
- برنامه‌های مدیریت آب زیرزمینی در شهرها باید با دیگر بخش‌ها، از جمله دفع بهداشتی فاضلاب/ زهکشی همخوانی داشته باشد. این مهم نیازمند هماهنگی اثربخش مراجع و دستگاه‌های فراوان، و (مهم‌تر از همه) با مدیریت کاربری ارضی شهری است. پیاده‌سازی برنامه باید مرحله‌ای صورت گیرد، و برهم کنش سازمان‌یافته با ذینفعان از طریق ساز و کار مختلف رایزنی وجود داشته باشد. پیاده‌سازی ممکن است نیازمند تقویت ترتیبات و پیوندهای نهادی، افزایش اساسی سرمایه‌گذاری، بهبود مصرف آب زیرزمینی و پایش پاسخ آبخوان، اطلاع‌رسانی عمومی اثربخش، و برنامه‌های ظرفیت‌سازی باشد.