درآمدی بر ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی

گزینش و تدوین: مریم احمدی

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 درواقع 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 صنعتی‌شده 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 مترمکعب 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

> «سیستم‌های آب زیرزمینی، اصلی‌ترین مخزن سیاره زمین و ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند، ولی محاسبه این حجم عظیم آسان نیست.»

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 افریقا 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 مهیابودن 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 برعهده دارد و معیشت روستایی را در سطح وسیعی در مناطق جنوب صحرای بزرگ افریقا پشتیبانی می‌کند.

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 سئوال‌برانگیز خواهد بود، چون هر محاسبه‌ای بر پایه فرضیات مهم درباره عمق مؤثر و تخلخل لایه آب شیرین انجام می‌شود. برخی آبخوان‌ها در سطحی بزرگ، به‌طور 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.

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

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

گسترش سطحی آبخوان‌ها نیز از چند کیلومترمربع تا چند صد کیلومترمربع 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.

۳- رژیم‌های جریان آبخوان- از تغذیه تا تخلیه

جابجایی 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، آبراهه‌ها 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 برحسب دهه، قرن یا هزارسال بیان می‌شود. آب زیرزمینی در آبخوان‌های عمیق‌تر و محصورتر، در دوره‌های پرباران‌تر کواترنر تغذیه شده‌اند.

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.

۳-۱- فرایندهای پرشدگی دوباره و عدم قطعیت‌ها

برآورد 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 غیرمستقیم 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 کمّی‌کردن 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 کمی‌کردن تغذیه، بلکه درباره ریسک‌های آلودگی. پارادایم رایج «متوسط

> «درک پیوندهای عمیق کاربری اراضی و تغذیه آب زیرزمینی، پایه اساسی مدیریت یکپارچه منابع آب به شمار می‌آید.»

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 ساخت‌وسازها 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.

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. 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. در این دوره‌ها، اقلیم در این نواحی سردتر و پرباران‌تر 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.

مأخذ: آب زیرزمینی، ویژگی‌ها و دغدغه‌های پایداری. اندیشکده تدبیر آب ایران، ۱۳۹۶.