برهم‌کنش سیستم طبیعی- انسانی در آبخوان‌ها

حمید پشتوان

آب زیرزمینی در بسیاری از کشورها منبع مهم تأمین آب نیازهای کشاورزی و شهری به شمار می‌آید. متأسفانه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی غالباً بدون پایش و فارغ از مقررات کافی صورت می‌گیرد. برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، پیامدهای منفی مانند کاهش آبدهی چاه‌ها، نشست زمین و ... و کاهش موجودی آب برای جمعیت رو به رشد خواهد داشت. پرداختن به این چالش‌ها به شیوه‌ای کارآمد، پرسش کلیدی برای سیاست‌گذارانی است که نگرانی فزاینده‌ای درباره امنیت غذایی و پایداری منابع آب دارند.

مدیریت آب زیرزمینی نیازمند شناخت کافی و تفصیلی جریان آب زیرزمینی و اثرات مستقیم پمپاژ برای شناسایی اهرم تأثیرگذاری در سیاست‌ها و تدابیر انتخابی است. در این یادداشت، مدل ساده‌شده‌ای از یک آبخوان نامحصور را در پیوند با آب سطحی در نظر می‌گیریم تا جنبه‌های کلیدی و دینامیک برهم‌کنش سیستم طبیعی- انسانی را نشان دهیم. این مدل ساده‌شده نشان می‌دهد که: الف) جریان‌های مختلفی در سیستم‌های آب زیرزمینی وجود دارد؛ ب) چاه‌های مختلف، بر اساس موقعیت نسبی و عمق آن‌ها می‌توانند اثرات مختلفی داشته باشند؛ و ج) راه و رسم‌های آبیاری نیز ممکن است تأثیر مهمی داشته باشد.

توضیح شکل: A، B و C سه چاه هستند که برای پمپاژ آب زیرزمینی برای تولید کشاورزی استفاده می‌شوند. S آبخوان، و قسمت هاشور خورده، آب شور واقع در زیر آبخوان است. هزینه‌های پمپاژ برای چاه A، بیشترین مقدار خواهد بود، چون عمق آن تا آب زیرزمینی، بیشترین فاصله است. افزون بر این، ضخامت لایه اشباع در زیر چاه A نیز کمتر از چاه‌های B و C است، یعنی چاه A پائین‌ترین آبدهی را خواهد داشت.

شکل صفحه بعد، برش عرضی یک سیستم به هم مرتبط آب سطحی- زیرزمینی را نشان می‌دهد. چندین ورودی به این سیستم آبخوان وجود دارد: جریان ورودی آب زیرزمینی به محدوده مورد نظر (I_1)، بخشی از بارش که آبخوان را تغذیه می‌کند (نفوذ عمقی حاصل از بارش، (I_2)، آب برگشتی آبیاری (I_3)، و تغذیه از رودخانه (I_4). خروجی‌ها نیز عبارتند از: جریان خروجی از آبخوان (O_1)، تبخیرتعرق کشت (O_2)، جریان سطحی و زیرسطحی به درون رودخانه (O_3)، و تبخیرتعرق پوشش طبیعی (O_4) که برای پشتیبانی اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی لازم است. موازنه جرم برای این آبخوان در هر دوره زمانی معین، رابطه مجموع ورودی‌ها ($I_1 - I_4$)، مجموع خروجی‌ها ($O_1 - O_4$)، و تغییر در آب ذخیره‌شده در آبخوان را نشان می‌دهد (ΔS):

$$\sum_{n=1}^{4} I_n - \sum_{n=1}^{4} O_n = \Delta S$$

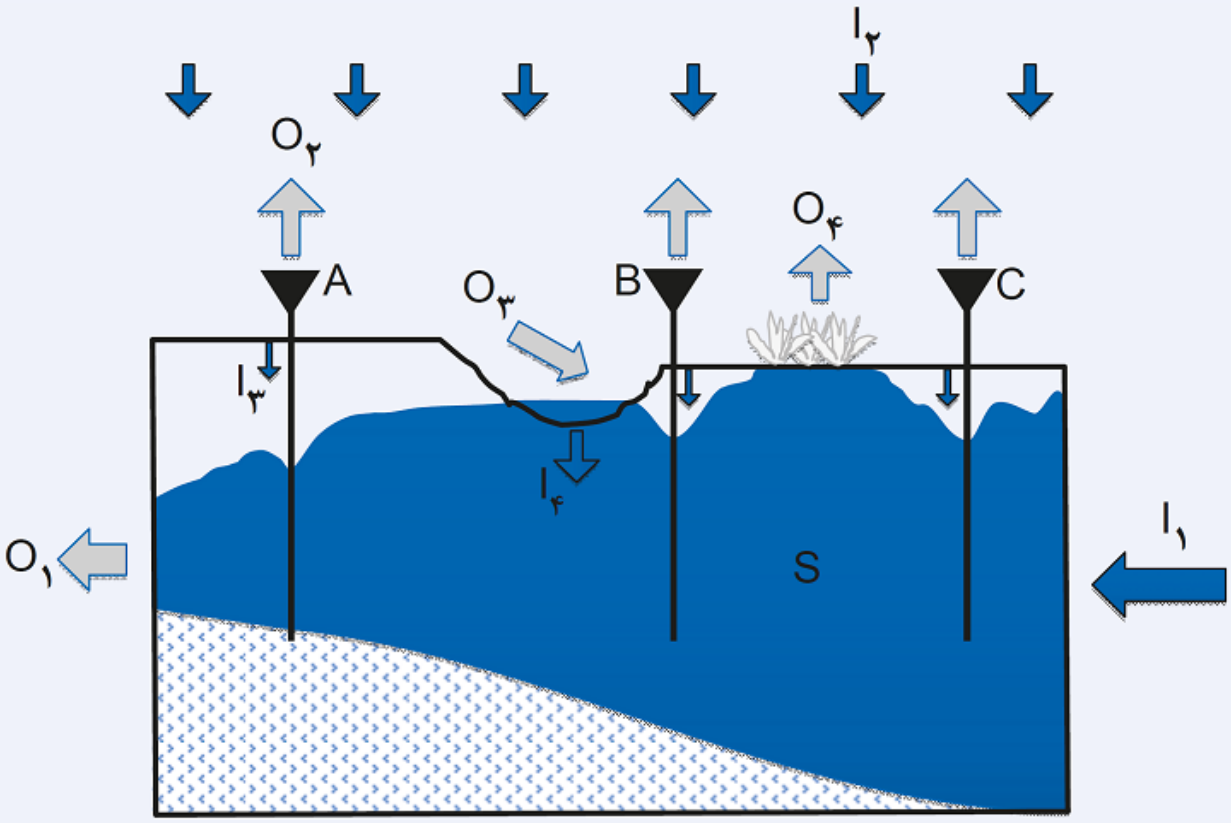
موازنه جرمی نشان می‌دهد که اگر آبخوان بخواهد در حالت پایا قرار داشته باشد، یعنی حالتی که هیچ تغییری در ذخیره آب وجود ندارد، ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم باید در توازن باشند. اگر مجموع خروجی‌ها از سیستم آب سطحی- زیرزمینی از مجموع ورودی‌ها پیشی بگیرد، تغییر در ذخیره منفی خواهد بود، یعنی آبخوان خالی خواهد شد. اگر مجموع ورودی‌ها از مجموع خروجی‌ها پیشی بگیرد، آبخوان تغذیه خواهد شد.

در مقیاس منطقه‌ای، اگر جریان ورودی زیرسطحی به این سیستم (I_1) یا بارش (I_2) کاهش یابد، حتی اگر پمپاژ آب زیرزمینی (O_2) افزایش نیابد، جریان خروجی از سیستم کاهش می‌یابد یا سهم آب زیرزمینی در جریان پایه رودخانه (O_3) یا اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی (O_4) کاهش می‌یابد. کاهش در جریان نهر ممکن است بر زیستگاه رودخانه‌ای و پائین‌دست تأثیر بگذارد، یا بر سر تخصیص‌های آب سطحی مشترک تعارض پدید آورد. اگر بهره‌برداران کشاورزی، کارآیی سامانه‌های آبیاری را افزایش دهند و همزمان پمپاژ را همان میزان قبلی نگاه دارند، تغذیه (I_3) افزایش خواهد یافت و دوباره کاهش در خروجی‌ها، ذخیره، یا ترکیبی از این دو وجود خواهد داشت. نکته مهم‌تر اینکه، انتظار می‌رود در زمان خشکسالی که تمام ورودی‌ها کاهش می‌یابد، نیازهای آبی گیاه و نیز پوشش طبیعی افزایش یابد، در نتیجه جریان نهر در رودخانه‌ای که ارتباط هیدرولوژیکی با آبخوان دارد و نیز موجودی آب برای دیگر اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی کاهش می‌یابد.

افزون بر اثرات منطقه‌ای بر سیستم آب زیرزمینی، ممکن است اثرات موضعی ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی نیز وجود داشته باشد. این قبیل آثار خارجی ممکن است شامل کاهش جریان رودخانه و اُفت موضعی سطح آب زیرزمینی باشد. برای نمونه، تداوم پمپاژ در چاه B به کاهش جریان رودخانه منجر خواهد شد. همچنین، چون چاه B نسبت به چاه‌های A و C به رودخانه نزدیکتر است، تأثیر پمپاژ به ازای هر واحد آب پمپاژ شده از چاه B نسبت به چاه‌های دیگر بیشتر خواهد بود. از سویی دیگر، هر دو چاه B و C می‌توانند بالقوه بر اکوسیستم وابسته به آب زیرزمینی تأثیر بگذارند (O_4)، اگر مخروط اُفت این دو چاه، سطح آب زیرزمینی را که اکوسیستم به آن وابسته است پائین ببرد.

اگر آب شور در زیر آبخوان آب شیرین واقع باشد، تداوم کاهش آبخوان ممکن است به کاهش کیفیت آب در چاه پمپاژ منجر شود. بدین ترتیب، به آبیاری کشت‌ها لطمه می‌زند. در شکل ترسیم‌شده، عدسی‌های آب شور در زیر آبخوان آب شیرین قرار دارد. وقتی مقدار ذخیره در آبخوان آب شیرین کاهش می‌یابد، آب شور به بالا نفوذ می‌کند. وقتی به بخش اسکرین‌شده چاه برسد- چاه A- کیفیت آب به سرعت کاهش خواهد یافت.

مأخذ: سیاست‌ها و ابزارهای کاهش برداشت آب زیرزمینی. اندیشکده تدبیر آب ایران، ۱۳۹۷.



مقطع عرضی برهم‌کنش‌ها در یک سیستم به هم مرتبط آب سطحی- آب زیرزمینی