فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۶
ص ۳۶۳-۳۷۲

تخریب کیفی و تغییر الگوی هیدروژئولوژیکی آبخوان بحرانی گیسور، خراسان رضوی

مرضیه کعبه؛ دانشجوی کارشناسی‌ارشد هیدروژئولوژی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران
رحیم باقری*؛ استادیار، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران
مهدی جعفرزاده؛ استادیار، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران
مرتضی مظفری؛ استادیار، دانشکدهٔ زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل کمی بارندگی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و به‌دنبال آن، پیشروی جبههٔ آب شور، منابع شیرین در دسترس کاهش می‌یابد. مطالعهٔ هیدروژئولوژیکی و بیلان آب نخستین مرحله در شناخت و ارزیابی هر چه بهتر پتانسیل آب منطقه در رسیدن به برنامه‌های مدیریتی در حفظ آبخوان است. تغییر الگوی هیدروژئولوژی، افزایش افت و در نهایت مرگ آبخوان‌ها از جمله آثار مخرب برداشت بیش از حد منابع زیرزمینی است. در بررسی تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان، همچنین اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی، از اطلاعات سطح آب ۱۸ پیزومتر و نمونه‌های آب برداشتی از چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت گیسور استفاده و نقشه‌های مختلف ترسیم شد. با توجه به نقشهٔ هم‌پتانسیل و جهت جریان دشت، تغذیهٔ آبخوان عمدتاً از بخش‌های جنوبی، جنوب‌شرقی، و شمال‌غربی است و از سمت بخش‌های شمال‌شرقی دشت تخلیه صورت می‌گیرد. با توجه به هیدروگراف معرف ۲۳ سالهٔ دشت، متوسط سطح آب پیزومترها روند نزولی دارد که حاکی از بیلان منفی و افت ۵/۵ متری در طول این دوره است. بررسی بیلان آب زیرزمینی در دورهٔ یک ساله نشان از کسری مخزن به مقدار ۴/۱۲ میلیون مترمکعب دارد. دشت گیسور بر اساس میزان افت ۱۵ ساله، به سه زون تقسیم شد. کمترین مقدار افت مربوط به قسمت شمالی و غربی دشت به‌دلیل کاهش برداشت ناشی از کیفیت نامطلوب آب زیرزمینی است. میزان افت تراز سطح آب زیرزمینی در بخش‌های شرقی دشت به‌علت کیفیت مناسب آب و بنابراین تعدد چاه‌ها، بیشتر از سایر مناطق است. با توجه به نقشهٔ پراکندگی هدایت الکتریکی، تغییرات هدایت الکتریکی تقریباً با جهت جریان آب زیرزمینی همسوست، به‌طوری که در بخش‌های جنوبی و قسمت‌هایی از شمال‌غربی کمترین مقدار هدایت الکتریکی به‌میزان ۹۸۹ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به مناطق مرکزی دشت، در روستای گیسور با مقدار ۱۶۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و حاکی از رخداد پدیده‌ای همچون نفوذ آب شور از طرف کفه‌های نمکی در این بخش است. بنابراین، با گذشت زمان، برداشت بیش از حد چاه‌ها و ایجاد گرادیان زیاد به‌سمت مرکز از جمله عوامل تخریب کیفی منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی دشت است. در جهت جریان و به‌طرف خروجی دشت، در اثر تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی از واحدهای آهکی تغذیه‌کننده در نواحی شرقی، مقدار شوری کمتر شده است.

کلیدواژه‌ها: آبخوان، بیلان آب، دشت گیسور، نفوذ آب شور، هیدروژئولوژی، هیدروگراف معرف.

مقدمه

آب زیرزمینی منبع آب شرب مصرفی، کشاورزی و صنعتی است و امروزه بیش از پیش اهمیت دارد. بیش از صد کشور در

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۷۰۴۸۵۲۵ Email: rahim.bagheri86@gmail.com

جهان با کمبود شدید آب مواجه‌اند (سایجس و برکل، ۱۹۹۵) و تقریباً ۴۰ درصد جمعیت جهانی در محدودهٔ کمبود منابع آب قرار گرفته‌اند (شن و همکاران، ۲۰۱۴). کمبود منابع آب و تخریب کیفی سفره‌های آب زیرزمینی، تمام اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر خود قرار داده است. دسترسی به آبی با کیفیت مطلوب از نیازهای پایهٔ بشری است. اما دسترسی به این وضعیت در بسیاری از نواحی خشک و نیمه‌خشک امکان‌پذیر نیست. دوره‌های طولانی خشکسالی، کاهش ذخیره و افزایش شوری منابع آب را می‌توان مشخصه‌های اصلی این مناطق نام برد (آگوسین و همکاران، ۲۰۰۴).

کاهش بارندگی، برداشت بی‌رویه از منابع و نفوذ آب شور متأثر از آن نیازمند تدابیر هر چه بهتر مدیریتی است. فعالیت‌های انسانی– از جمله کشاورزی، صنعت، توسعهٔ شهری، تخلیهٔ فاضلاب‌ها و بهره برداری بیش از حد از سفرهٔ آب زیرزمینی– بر منابع آبی تأثیر گذاشته است (چان، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر، شورشدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به یکی از مشکلات محیطی جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است. این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرفی آب زیرزمینی می‌افزاید (کنوس و همکاران، ۱۹۹۰). تغییر الگوی هیدروژئولوژی، پیشروی جبههٔ آب شور، افت آبخوان و در نهایت مرگ آبخوان‌ها، از جمله آثار مخرب برداشت بیش از حد از منابع زیرزمینی است. افت ممتد سطح آب و متراکم‌شدن سفره‌ها بر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیرهٔ آن خواهد شد. این پدیده علاوه‌بر ناپایداری زمین، باعث کاهش دائمی حجم مخزن سفره و به‌هم‌خوردن تعادل طبیعی سفره می‌شود. در این حالت، سفرهٔ آب زیرزمینی از حالت پویا و دینامیکی خود خارج می‌شود و جزء دشت‌های بحرانی قرارمی‌گیرد. سفره‌هایی که در مجاور دریا، دریاچه‌های شور، گنبدهای نمکی و کفهٔ نمکی، به‌خصوص در مناطق خشک، قرار دارد بیشتر در معرض خطر کاهش کیفیت و افزایش شوری آب است.

با توجه به اینکه منشأ شوری در مجاور آب شیرین قرار گرفته است، اضافه برداشت از آب شیرین نظم و تعادل بین این دو آب شیرین و شور را به‌هم می‌زد و باعث نفوذ آب شور به داخل مخزن آب شیرین می‌شود. ازجمله اقدامات مهم در مطالعهٔ آب‌های زیرزمینی برقراری معادلهٔ بیلان آب یا تعادل هیدرولوژیکی در حوضه است.

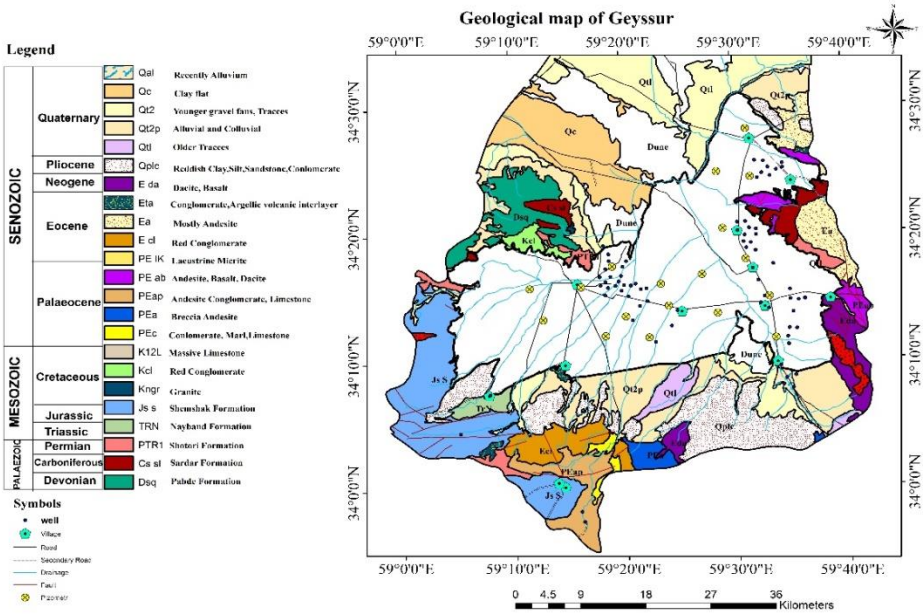
برآورد بیلان آب یکی از موضوعات اصلی هیدرولوژی است (ایگلسون، ۱۹۹۴) و با تعیین مقادیر کمّی اجزای آن می‌توان تأثیر دخالت انسان را در چرخهٔ طبیعی آب، همچنین نحوهٔ صحیح بهره‌برداری از منابع آب را بررسی کرد. نظر به وجود منبع آب زیرزمینی در دسترس، از یک سفره مقدار معینی آب می‌توان استخراج کرد که آبدهی مجاز نام دارد و معادل مقدار آبی است که می‌توان سالیانه از یک سفرهٔ آب زیرزمینی برداشت کرد، بدون آنکه نتیجهٔ نامطلوبی از نظر تأمین آب به‌بار آید. مطالعهٔ هیدروژئولوژیکی و بیلان آب عاملی برای شناخت هر چه بهتر پتانسیل آب منطقه است و سبب بررسی و ارزیابی منابع آب و مدیریت بهتر در منطقه می‌شود. مدیریت این گونه سفره‌ها در جهت کنترل کیفیت آن امری بسیار مهم و کلیدی است.

آبخوان‌های آبرفتی استان خراسان رضوی نیز همانند دیگر دشت‌های ایران در معرض هجوم جبهه‌های آب شور است و دوره‌های خشکسالی در چند سال اخیر مزید بر علت شده و باعث به‌هم‌ریختگی الگوی طبیعی جریان و کسری مخازن آب زیرزمینی شده است (کعبه و همکاران، ۱۳۹۶). از جمله دشت‌های دارای شرایط بحرانی، آبخوان دشت گیسور در جنوب استان خراسان رضوی و در نزدیکی گناباد است. به‌دلیل اینکه تنها منبع آب در دسترس این منطقه، منابع آب زیرزمینی است، بررسی و مطالعهٔ وضعیت هیدرولوژیکی و تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از مشکلات عمدهٔ این آبخوان علاوه‌بر مشکل کمبود منابع آب و افت شدید آبخوان، کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در نتیجهٔ هجوم آب‌های شور اطراف دشت است که عامل بسیاری از چالش‌ها در زمینهٔ کمّی و کیفی است. بنابراین، شناخت دقیق مسیرهای هجوم آب شور، همچنین سازوکار شورشدن آبخوان در راستای مدیریت مناسب منابع آب منطقه بسیار اهمیت دارد. هدف از این تحقیق، مطالعهٔ هیدروژئولوژیکی، بررسی حجم مخزن آب زیرزمینی و ارتباط آن با تخریب کیفی آبخوان در دشت گیسور است.

مواد و روش‌ها

زمین‌شناسی منطقه

دشت گیسور در جنوب استان خراسان رضوی واقع شده است و بخشی از حوضهٔ آبریز ایران مرکزی محسوب می‌شود. این دشت با روند کلی شمالی- جنوبی دارای وسعتی معادل ۳۹۸۱ کیلومترمربع است که ۱۱۷۵/۸۴ کیلومترمربع آن را آبخوان دشت گیسور تشکیل می‌دهد. با توجه به میانگین بارندگی سالانهٔ ۹۰ میلی‌متری و متوسط دمای ۱۶/۹۸ می‌توان نتیجه گرفت که محدودهٔ مطالعاتی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. واحدهای زمین‌شناسی نقش به‌سزایی در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دارد. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی مربوط به واحدهای سنگی شیلی و کوارتزیتی به سن دونین و جدیدترین واحدهای سنگی شامل تپه‌های ماسه‌ای و آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر است. شکل ۱ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آبخوان گیسور در آبرفت‌های کواترنری و پهنه‌های رسی واقع شده است.

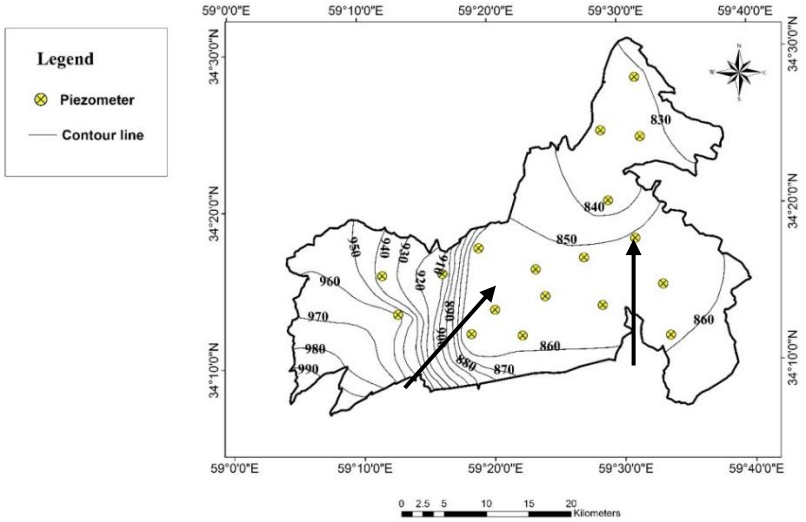


شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ دشت گیسور

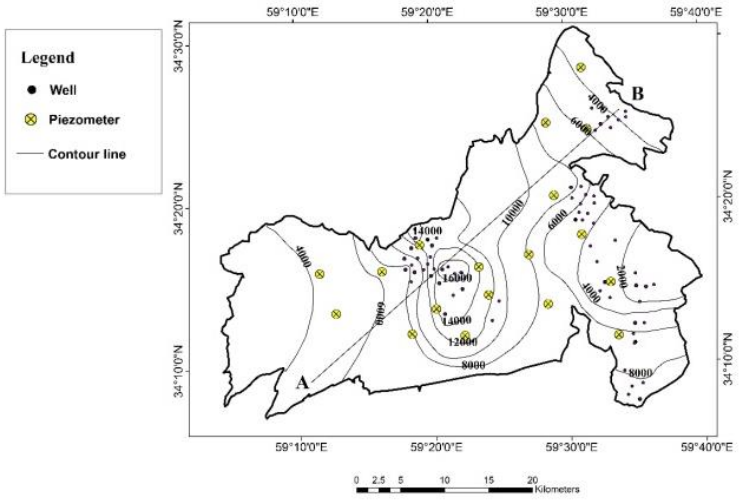
ارتفاعات شرقی و جنوبی دشت، بیشتر از سنگ‌های آذرین و دگرگونی تشکیل شده است که به‌دلیل خوردشدگی زیاد، سبب تغذیهٔ آبخوان می‌شود. وجود کفهٔ نمکی در قسمت‌های وسیع دشت، چالش‌هایی از حیث تأثیرات نامطلوب کفهٔ نمکی بر کیفیت منابع آب به‌همراه داشته است. آبخوان دشت گیسور هم شامل آبخوان آبرفتی و هم آبخوان سازند سخت است که با هم در ارتباط‌اند.

روش مطالعه

به‌منظور بررسی هیدروژئولوژی و بیلان دشت، نقشهٔ هم‌پتانسیل برای سال آبی ۱۳۹۶ با استفاده از داده‌های ۱۸ پیزومتر موجود در دشت ترسیم شد (شکل ۲). سپس، تمامی مؤلفه‌های بیلان شامل ورودی‌ها (جریان زیرسطحی، بارش مستقیم و نظایر آن) و خروجی‌ها (جریان آب زیرزمینی، برداشت از چاه‌ها و نظایر آن) برای یک سال آبی محاسبه شد. با استفاده از تفاضل عمق سطح آب در سال‌های آبی ۱۳۸۱ و ۱۳۹۶، نقشهٔ هم‌افت ۱۵ ساله و هیدروگراف معرف برای دشت گیسور رسم شد (شکل ۵ و ۶). همچنین، برای بررسی تأثیر تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان بر کیفیت آب زیرزمینی، نقشهٔ هم‌هدایت الکتریکی دشت با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از چاه‌های بهره‌برداری طی بازدید صحرایی ترسیم شد (شکل ۳).



شکل ۲. نقشهٔ هم‌پتانسیل آبخوان دشت گیسور



شکل ۳. نقشهٔ پراکندگی هدایت الکتریکی دشت گیسور

یافته‌ها

نقشهٔ هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی

نخست، با توجه به نقشهٔ هم‌پتانسیل ترسیم‌شده به بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و سپس به بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و در نهایت به بررسی بیلان هیدروژئولوژیکی دشت پرداخته‌ایم.

برای تفسیر داده‌های هیدروشیمی، تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و مشخص‌کردن محل‌های تغذیه و تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی بر اساس نقشهٔ هم‌پتانسیل لازم و ضروری است. با توجه به نقشهٔ هم‌پتانسیل دشت (شکل ۲)، بیشترین تراز سطح آب در بخش غربی دشت به میزان ۹۶۰/۱۴ متر و کمترین آن در بخش شمال‌شرق دشت به میزان ۸۳۱/۸۴ متر است. بنابراین، آب زیرزمینی تحت تأثیر این اختلاف ارتفاع از بخش جنوبی و جنوب‌غربی به سمت بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی در جریان است. شیب توپوگرافی دشت روند جنوب‌غربی به سمت شمال‌شرقی را نشان می‌دهد که تقریباً با جریان آب زیرزمینی همسوست. تغذیهٔ عمدهٔ دشت بیشتر از بخش‌های جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی و بخش‌هایی از شمال‌غربی دشت و تخلیه به سمت شمال‌شرقی است. گرادیان هیدرولیکی در مناطق تغذیه دارای شیب

زیادی است. اما، در مرکز دشت، به‌دلیل بالاآمدگی سنگ کف در راستای عملکرد گسل در این بخش، گرادیان هیدرولیکی بیشتر از بقیهٔ جاهای دشت شده است.

بررسی پراکندگی هدایت الکتریکی

با بررسی تغییرات پارامتر EC، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی‌برد. عوامل بسیاری از جمله مقدار بارش، میزان برداشت از سفرهٔ آب زیرزمینی، لیتولوژی آبخوان و سازندهای همجوار، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب زیرزمینی، زه‌آب‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و نفوذ آب شور بر مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیرگذار است.

برای ارزیابی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در محدودهٔ مورد مطالعه، نقشهٔ پراکندگی مقادیر هدایت الکتریکی با استفاده از داده‌های چاه‌های بهره‌برداری ترسیم شد (شکل ۳). با توجه به نقشهٔ پراکندگی هدایت الکتریکی، در بخش‌های شرقی، جنوبی و قسمت‌هایی از شمال‌غربی که جبههٔ ورودی دشت محسوب می‌شود و تغذیه‌کنندهٔ آبخوان است، کمترین مقدار EC مشاهده می‌شود. کمترین مقدار EC به‌میزان ۹۸۹ میکروموس بر سانتی‌متر، مربوط به چاه گچی در محدودهٔ شرقی دشت است که نقش به‌سزایی در تأمین آب شرب شهرستان گناباد دارد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به مناطق مرکزی دشت، در روستای گیسور با مقدار ۱۶۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است.

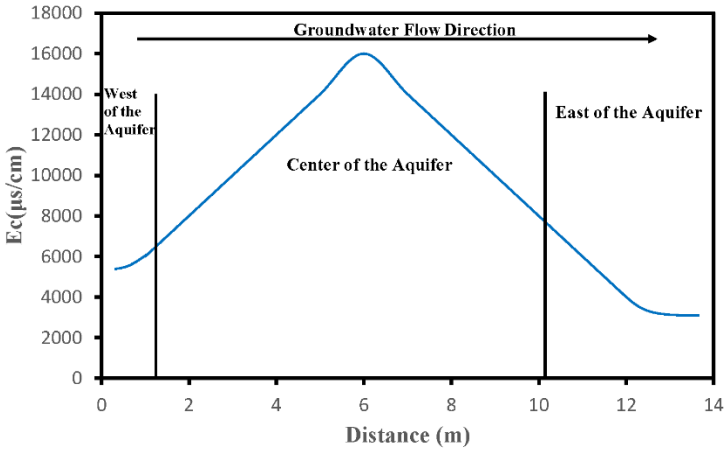
با توجه به روند طبیعی تغییر هدایت الکتریکی، از منطقهٔ تغذیه به سمت مناطق تخلیه، انتظار می‌رود میزان هدایت الکتریکی افزایش یابد. اما، در این دشت قسمت مرکزی دشت بیشترین مقدار EC را دارد، به‌طوری که در بخش‌های شمال‌شرقی میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. در بخش مرکزی دشت خطوط هم EC دارای انحناست و به شکل نیم‌دایره و دوایری در آمده است که حاکی از رخداد پدیده‌ای همچون نفوذ آب شور در این بخش است. به‌دلیل نفوذ جبهه‌های آب شور عمدتاً از شمال دشت از طرف کفه‌های نمکی موجود در این بخش و به مقدار کمتر از سمت جنوب‌شرق دشت، مقدار این پارامتر در طول مسیر، به‌خصوص در نواحی مرکزی بیشتر شده است. بیشترین تعداد چاه‌های بهره‌برداری در بخش مرکزی دشت تمرکز دارد و تشکیل مخروط افت را داده و در نتیجه باعث ازدیاد برداشت و ایجاد گرادیان زیاد به سمت مرکز دشت است. در اثر تغییر الگوی طبیعی جهت جریان در این بخش، آب‌های شور موجود در اطراف به سمت مرکز دشت نفوذ کرده و باعث افزایش شوری شده است. با توجه به نزدیک‌بودن منشأ شوری به چاه‌های برداشتی، افزایش اندکی در مقدار دبی چاه‌ها باعث نفوذ آب شور به سمت سفره شده است. اما این افزایش دبی باعث تغییر الگوی کلی جریان در نقشهٔ هم‌پتانسیل نمی‌شود.

در سال‌های اخیر، به‌دلیل کاهش کیفیت آب، به‌خصوص در مرکز دشت، به اجبار مقدار برداشت کاهش یافته است. این عامل سبب کندترشدن پیشروی آب شور و کاهش کمتر حجم ذخیرهٔ آبخوان شده است. در جهت جریان و به‌طرف خروجی دشت، در اثر تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی از واحدهای آهکی تغذیه‌کننده در نواحی شرقی، مقدار شوری کمتر شده است. به‌منظور بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در دشت گیسور، پروفیل طولی از تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی ترسیم شده است (شکل ۴). در پروفیل ترسیم‌شده، مقدار شوری در جهت جریان تا بخش‌های میانی دشت روند افزایشی نشان می‌دهد که با توجه به تخریب کیفی منابع آب زیرزمینی ناشی از نفوذ آب شور طی برداشت بیش از حد از سفرهٔ آب زیرزمینی، صحت این روند افزایشی قابل‌قبول است.

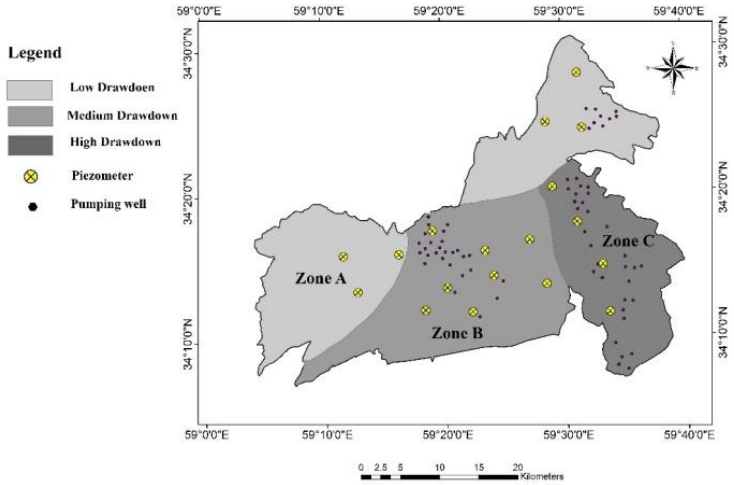
بررسی افت طولانی‌مدت سطح آب زیرزمینی و هیدروگراف واحد دشت

با استفاده از داده‌های آماری طولانی‌مدت تغییرات سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶، دشت گیسور بر اساس میزان افت ۱۵ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم شده است (شکل ۵). لازم به ذکر است که این زون‌بندی فقط جنبهٔ مقایسه‌ای دارد و در دشت نمی‌توان به‌طور دقیق این زون‌بندی را انجام داد. کمترین مقدار افت مربوط به پیزومترهایی است که در قسمت شمالی و غربی دشت قرار دارد (زون A). مقدار متوسط افت در این قسمت ۱/۱۰ متر

است. در این زون بهره‌برداری از چاه‌ها به‌دلیل کیفیت نامطلوب آب زیرزمینی کاهش یافته است. بنـابراین، دلیـل کمینـهٔ افت در منطقه را می‌توان به این موضوع نسبت داد. بخش شرقی دشت گیسور به‌دلیل کیفیت بهتر آب زیرزمینی و شوری کمتر، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری افزایش یافته و بالتبع افزایش برداشت صورت گرفته است. بنابراین، بیشـترین افـت در این قسمت (زون C) صورت گرفته است. سازندهای بخش‌های شرقی دشت با واحدهای آهکـی و آذریـن، تغذیـه‌کننـدهٔ دشت به‌شمار می‌رود و ورودی دشت محسوب می‌شود، لذا کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های شرقی مطلـوب‌تـر اسـت. ضخامت اشباع سفره و بالتبع حجم ذخیرهٔ آبخوان در این منطقه احتمالاً کم است و با کمی برداشت افـت زیـادی ایجـاد می‌شود.

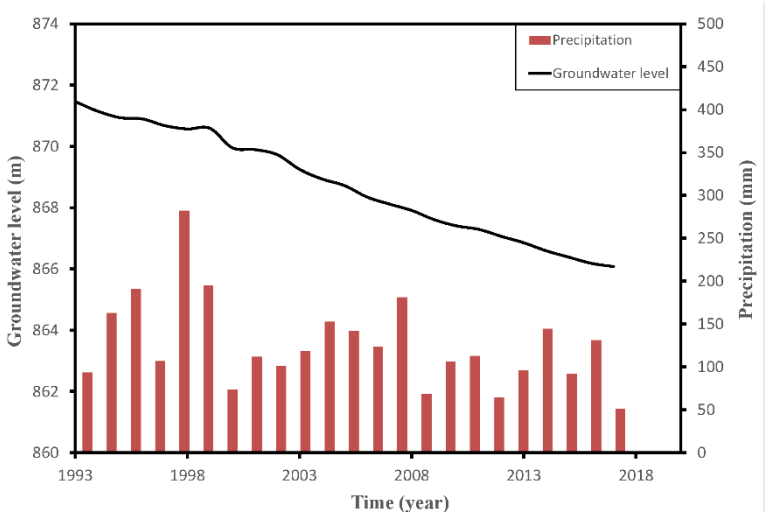


شکل ۴. تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در مقطع با جهت جنوب‌غربی- شمال‌شرقی



شکل ۵. نقشهٔ هم‌افت دشت گیسور

با توجه به میزان تغذیه و برداشت در زمان‌های مختلف در دشت، سطح آب زیرزمینی ممکن است تغییراتی داشـته باشد. هیدروگراف معرف دشت میانگینی از سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت و مرسـوم‌تـرین روش ارزیـابی تغییـرات درازمدت سطح آب زیرزمینی است. هیدروگراف معرف دشت زمان‌هایی را نشان می‌دد که سطح آب افـزایش یـا کـاهش دارد (ترسالی و خشکسالی). به‌منظور ارزیابی تغییرات بارندگی و نقش آن در تغییرات سـطح آب‌هـای زیرزمینـی منطقـه، ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی در دشت گیسور نسبت به بارندگی طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ بررسـی شـده اسـت. شکل ۶ هیدروگراف واحد دشت را برای دوره‌ای ۲۳ ساله نشان می‌دهد.



شکل ۶. هیدروگراف معرف دشت گیسور

با توجه به هیدروگراف معرف ترسیم‌شده، تغییرات سطح ایستابی در این منطقه روند نزولی نشان می‌دهد؛ به این ترتیب که متوسط سطح آب زیرزمینی از ۸۷۱/۵ متر در سال ۱۳۷۲ به ۸۶۶ متر در سال ۱۳۹۵ تغییر کرده است. طی این دورهٔ ۲۳ ساله، سطح آب زیرزمینی در دشت گیسور ۵/۵ متر افت نشان می‌دهد. به‌طور کلی، میزان بارندگی و تغییرات آن یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کنندهٔ سطح آب زیرزمینی است. در سال‌های اخیر به‌علت وجود دورهٔ خشکسالی در کشور، میزان بارندگی در این منطقه نیز کاهش چشمگیری داشته است، در حالی که در اکثر دوره‌ها، به‌خصوص از سال ۱۳۸۲ به بعد، با نوسانات میزان بارندگی، سطح ایستابی روند نزولی پیدا کرده است. بنابراین، با توجه به کاهش بارندگی و مقدار تغذیه به آبخوان، همچنین افزایش نیاز آبی به منابع قابل‌شرب و در دسترس در طول دورهٔ کم‌آبی، افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی و بالتبع افزایش عمق آب در طول زمان در این دشت رخ داده است.

ارزیابی بیلان آب زیرزمینی

ارزیابی بیلان چیزی جز موازنهٔ ماده نیست که در آن تمام ورودی‌ها، خروجی‌ها و تغییر در ذخیره در محدوده‌ای با مرزهای مشخص ارزیابی می‌شود. با توجه به موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در محدودهٔ مطالعاتی، سطح بیلان محدودهٔ آبخوان دشت گیسور به مساحت ۱۱۷۵/۸۴ کیلومترمربع در نظر گرفته شده است. به‌منظور بررسی وضعیت پتانسیلی منابع آب و اعمال مدیریت بهینه در راستای بهره‌برداری مناسب از آبخوان آبرفتی گیسور، بیلان یک سالهٔ دشت محاسبه و هر یک از عوامل مؤثر مذکور در معادله به‌طور جداگانه ارزیابی شد (تد و مایز، ۲۰۰۵).

$$\Delta V = I - Q \qquad (۱)$$

$$\pm \Delta V = [Q_{in}+Q_p+Q_R+Q_I]-[Q_{out}+Q_{ex}+Q_{et}+Q_D]$$

طبق معادلهٔ (۱)، ورودی‌ها (I) شامل میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوّی (Q_P)، میزان جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدودهٔ بیلان (Q_{in})، حجم آب برگشتی از کشاورزی، شرب و صنعت (Q_I) و خروجی‌ها (Q) شامل میزان جریان‌های خروجی از محدودهٔ بیلان (Q_{out})، حجم آب زیرزمینی بهره‌برداری‌شده (Q_{ex})، حجم آب تبخیرشده از سفرهٔ آب زیرزمینی (Q_{et})، حجم آب زهکشی‌شده از آبخوان (Q_D) و ΔV تغییر در میزان ذخیرهٔ آبخوان است.

عوامل تغذیهٔ آبخوان

میزان جریان‌های ورودی به محدودهٔ بیلان (Q_{in}). نقشهٔ تراز آب زیرزمینی ترسیم‌شده برای آبخوان گیسور نشان می‌دهد که بخش اعظم تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی در این آبخوان از بخش شمال‌غربی و جنوبی دشت صورت می‌گیرد.

میزان آب زیرزمینی که از جبههٔ ورودی، دشت را تغذیه می‌کند با توجه به طول جبههٔ ورودی، ضریب قابلیت انتقال و شیب هیدرولیکی بر اساس رابطهٔ دارسی (Q=I.T.L.t) محاسبه می‌شود. مقدار ضریب انتقال با توجه به لاگ چاه‌های حفاری و جنس سفره، همچنین ضخامت آبخوان برآورد شده است. کل جریان ورودی آب به آبخوان ۲۴/۸۷ میلیون مترمکعب در سال است.

حجم آب نفوذ یافته از نزولات جوی (Q_P). تغذیه عموماً به جریان رو به پایین آب گفته می‌شود که به سفرهٔ آب زیرزمینی می‌رسد و باعث افزایش سطح آن می‌شود. طبق آمار و اطلاعات موجود، متوسط بارندگی در سطح دشت گیسور ۹۰ میلی‌متر است. ضریب تغذیهٔ ناشی از بارندگی در این منطقه حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. بنابراین، حجم بارندگی در محدودهٔ بیلان (با مساحت ۱۱۷۵/۸۴ کیلومتر مربع) ۱۰۵/۸۳ میلیون مترمکعب در سال است. با توجه به جنس و ذرات خاک، شیب توپوگرافی، پوشش گیاهی ضعیف و میزان بالای تبخیر در منطقه و نتایج حاصل از بیلان هیدروکلیماتولوژی سالانه حدود ۱۰/۶ میلیون مترمکعب نفوذ عمقی برآورد می‌شود.

حجم آب برگشتی یا انتقالی (Q_r). معمولاً در محاسبهٔ بیلان حجم آب مصرفی در اراضی کشاورزی و باغات و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل از سطح گیاه برآورد شده و از کسر آن حجم آب نفوذ یافته به آبخوان معلوم می‌شود. اما در دشت مورد مطالعه، به‌دلیل کمبود آب، حجم آب مصرفی کمتر از نیاز آبی گیاه (تبخیر و تعرق پتانسیل) است. با توجه به نفوذپذیری سطحی آبرفت و سیستم آبیاری غرقابی، سالانه حدود ۱۰ درصد از آب مصرفی در بخش کشاورزی به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد. حجم آب مصرفی در محدودهٔ بیلان ۴۲ میلیون مترمکعب است. در نتیجه، سالانه حدود ۴/۲ میلیون مترمکعب از بخش کشاورزی به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد.

عوامل تخلیهٔ آبخوان

میزان جریان‌های خروجی از محدودهٔ بیلان (Q_{out}). بر اساس نقشه‌های خطوط تراز، فقط یک خروجی در قسمت شمال‌شرقی آبخوان وجود دارد. طبق جدول ۱، مقدار خروجی آب زیرزمینی ۲/۲۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

جدول ۱. حجم خروجی آب زیرزمینی از آبخوان

شمارهٔ مقطع	متوسط شیب هیدرولیکی	طول مقطع M	متوسط قابلیت انتقال m^2/day	زمان day	حجم آب زیرزمینی Mm^3
۱	۰/۰۰۰۷	۳۶۰۰	۱۰۰۰	۳۶۵	۲/۲۴

حجم آب بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی (Q_{ex}). در محدودهٔ بیلان تعداد ۶۶ حلقه چاه وجود دارد که میزان بهره‌برداری از آن‌ها ۴۱/۲۸ میلیون مترمکعب در سال است. همچنین، از دو رشته قنات موجود در محدودهٔ بیلان سالانه حدود ۰/۳۵ میلیون مترمکعب آب استخراج می‌شود. بنابراین، حجم کل آب بهره‌برداری‌شده از محدودهٔ بیلان حدود ۴۱/۶۳ میلیون مترمکعب است.

میزان تبخیر و تعرق از آبخوان (Q_{et}). تبخیر و تعرق نقش مهمی در بیلان آب ایفا می‌کند. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری و کنترل تبخیر و تعرق وجود دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ فراهانی و همکاران، ۲۰۰۷؛ شاتل‌ورث، ۲۰۰۸). تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، نوع و بافت خاک، درجهٔ حرارت خاک، درجهٔ حرارت محیط، شدت باد، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح بستگی دارد. بررسی نقشه‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی ترسیم‌شده برای محدودهٔ بیلان نشان می‌دهد کمترین عمق سطح آب زیرزمینی حدود ۸ متر است. از آنجا که تبخیر و تعرق در عمق کمتر از ۵ متر صورت می‌گیرد، میزان تبخیر و تعرق از آبخوان صفر در نظر گرفته می‌شود.

حجم آب زهکشی‌شده از آبخوان (Q_D). بررسی منحنی‌های تراز و عمق سطح آب زیرزمینی ترسیم‌شده

نشان می‌دهد که امکان زهکشی آب زیرزمینی توسط مسیل‌ها وجود ندارد. لذا، حجم زهکشی آبخوان صفر در نظر گرفته می‌شود.

در جدول ۲، نتایج محاسبهٔ مؤلفه‌های مختلف بیلان ارائه شده است. با توجه به نتیجهٔ بیلان، میزان کسری مخزن حدود ۴/۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.

جدول ۲. خلاصهٔ اجزای بیلان آبخوان آبرفتی گیسور

شرح اجزای آب زیرزمینی	تغذیه (میلیون مترمکعب)	تخلیه (میلیون مترمکعب)
حجم ورودی آب زیرزمینی	۲۴/۸۷	
حجم آب نفوذیافته از نزولات جوّی	۱۰/۶	
حجم آب برگشتی به آبخوان	۴/۲	
حجم جریان خروجی از آب زیرزمینی		۲/۲۴
حجم بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی		۴۱/۶۳
میزان تبخیر و تعرق از آبخوان		۰
حجم زهکشی از آبخوان		۰
جمع	۳۵/۹۲	۴۳/۸۷
تغییرات حجم	۴۳/۸۷ – ۳۹/۶۷=۴/۲	

مقدار کسری و کاهش حجم مخزن از طریق معادلهٔ (۲) با توجه به میزان افت تراز آب در زمینی در کل مساحت دشت در دورهٔ بیلان و مقدار ضریب ذخیره نیز محاسبه شده است. با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان، میزان متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طول مدت یک سال بیلان در حدود ۰/۰۷ متر بوده است. این مقدار از متوسط افت سالانه، یعنی حدود ۰/۲ متر در سال، کمتر است که این ممکن است به‌علت کاهش برداشت به‌دلیل افزایش شوری، همچنین تأثیر طرح تعادل‌بخشی با قرار کنتور آب در سر چاه‌ها باشد. مساحت سفرهٔ آب زیرزمینی در محدودهٔ بیلان ۱۱۷۵/۸۴ کیلومترمربع و میزان متوسط ضریب ذخیرهٔ دشت برابر با ۵ درصد در نظر گرفته شده است. لذا، با توجه به رابطهٔ (۲)، میزان کسری سالانهٔ مخزن برابر ۴/۱۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

(۲)

$$= \Delta h \,.\, A \,.\, S_y v_w$$

$$v_w = ۱۱۷۵/۸۴ \times ۱۰^{۶} \times (۰/۰۷) \times (۰/۰۵) = ۴/۱۲ \;\; Mm^3$$

در معادلهٔ (۲)، S_y ضریب ذخیره، v_w حجم آب تخلیه‌شده از آبخوان بر حسب میلیون مترمکعب، A مساحت آبخوان بر حسب کیلومترمربع، و Δh متوسط افت سالانهٔ دشت بر حسب متر است. این مقدار با مقدار کسری مخزن از طریق فرمول بیلان در بالا، تقریباً یکسان است و نشان می‌دهد که مؤلفه‌های بیلان درست برآورد شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ هیدروژئولوژیکی دشت گیسور با هدف تمرکز بر تعادل و پایداری مخازن آب زیرزمینی انجام گرفت. افت بالای سطح آب زیرزمینی و کیفیت نامطلوب آن با گذشت زمان این دشت را با بحران‌ها و چالش‌های زیادی روبه‌رو کرده است. بیلان سالانهٔ آبخوان آبرفتی دشت نشان‌دهندهٔ کاهش ذخیرهٔ آبخوان به میزان ۴/۱۲ میلیون مترمکعب است. با توجه به آمار به‌دست‌آمده از دشت گیسور، سالانه به‌طور متوسط ۲۱ سانتی‌متر افت در دشت مشاهده می‌شود که حاکی از بیلان منفی و کاهش حجم ذخیرهٔ آبخوان است.

با توجه به انحنای کم خطوط تراز نقشهٔ هم‌پتانسیل در نواحی مرکزی، می‌توان برآورد کرد که با گذشت زمان خطوط هم‌پتانسیل تشکیل دوایر بسته و تشکیل مخروط افت دهد که باعث تغییر الگوی جریان آب زیرزمینی می‌شود. مقدار شوری در جهت جریان تا بخش‌های میانی دشت روند افزایشی نشان می‌دهد که نتیجهٔ تخریب کیفی منابع آب

زیرزمینی ناشی از نفوذ آب شور طی برداشت بیش از حد سفرهٔ آب زیرزمینی است. در جهت جریان و به‌طرف خروجی دشت، در اثر تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی از واحدهای آهکی تغذیه‌کننده در نواحی شرقی، مقدار شوری کمتر شده است. با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از آب مصرفی دشت گیسور از آب زیرزمینی تأمین می‌شود، همچنین در این منطقهٔ خشک، به‌دلیل کمی بارندگی و برداشت بی‌رویهٔ منابع و بالتبع پیشروی جبههٔ آب شور، منابع شیرین در دسترس کاهش یافته است، لازم است برنامهٔ مدیریتی مناسبی برای پایداری و حفظ این منابع باارزش با تعیین برداشت مطمئن[1] برای طولانی‌مدت پیش‌بینی شود. انجام چنین مطالعات پایه‌ای برای تمامی دشت‌های ایران نخستین مرحله در جهت انجام تعادل‌بخشی به دشت‌هاست.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و دانشگاه صنعتی شاهرود به‌دلیل همکاری در راهبرد این تحقیق کمال تشکر را دارند.

منابع

کعبه، م.؛ باقری، ر.؛ جعفرزاده، م. و ارجمند، م. (۱۳۹۶). هیدروژئوشیمی و نفوذ آب شور در دشت گیسور، شرق ایران. سی و ششمین گردهمایی و کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران.

Agoussine, M.; Saidi, M El. and Igmoullan, B. (2004). Reconnaissance desressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). Bull de l'Insti Scientifique de Rabat, sect Sci de la Terre, 26: 81-92.

Chan, C.H. (2001). Effect of land use and urbanization on hydrchemistryand contamination of Groundwater from Taejon area, Korea. J Hydrol, 253: 194-210.

Eagleson, P.S. (1994). The evolution of modern hydrology (from watershed to continent in 30 years). Adv Water Resour, 17(1): 3-18.

Farahani, H,; Howell, T.; Shuttleworth, W. and Bausch, W. (2007). Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture. Trans. Asabe, 50: 1627-1638.

Kaabe, M.; Bagheri, R. and Arjmand, M. (2017). Hydrogeochemistry and salt water intrusion in Geysoor plain, East of Iran. The 36th National and 3rd International Geosciences Congress, Tehran, Iran. [in Persian]

Knuth, M.; Jackson, J.L. and Whittemore, D.O. (1990). An integrated approach source contaminating to identifying the salinity source contaminating a ground-water supply. Ground Water, 28(2): 207-214.

Saeijs, H.L. and Van Berkel, M.J. (1995). Global water crisis: the major issue of the21st century: a growing and explosive problem. Eur Water Pollut Control, 5: 26-40.

Shen, Y.; Oki, T.; Kanae, S.; Hanasaki, N.; Utsumi, N. and Kiguchi, M. (2014). Projection offuture world water resources under SRES scenarios: an integrated assessment. Hydrolog Sci J, 59: 1775-1793.

Shuttleworth, W.J. (2008). Evapotranspiration measurement methods. Southwest Hydrol, 7: 22-23.

Todd D.K. and Mays L.W. (2005). Groundwater Hydrology. 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York, 636 p.

Zhang, Y.; Lei, H.; Zhao, W.; Shen Y. and Xiao, D. (2018). Comparison of the water budget for the typical cropland and pearorchard ecosystems in the North China Plain. Agricultural Water Management, 198: 53-64.

1. safe yield