

جغرافیا و توسعه شماره ۵۱ تابستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۵/۱۰/۲۳

تأیید نهایی: ۹۶/۰۳/۱۱

صفحات: ۲۴۰-۲۱۹

ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و توسعه پایدار آب زیرزمینی آبخوان دشت مهاباد

دکتر اسفندیار عباس‌نوین‌پور^{۱*}، فریبا صادقی‌اقدم^۲

چکیده

رشد جمعیت، افزایش تقاضا و محدود بودن منابع آب سطحی باعث می‌گردد تا نیاز به منابع آب‌های زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای یابد. به‌منظور حفاظت از آبخوان‌ها و مدیریت بهره‌برداری مطمئن و توسعه پایدار آب‌های زیرزمینی می‌بایست بیلان آب زیرزمینی به‌صورت دوره‌ای تعیین و مورد ارزیابی قرارگیرد. مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی نیاز به شناخت و بررسی دقیق وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها دارد. آبخوان دشت مهاباد در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه واقع است که به‌منظور مطالعات هیدروژئولوژیکی این دشت، تعیین خصوصیات آبخوان، تعیین بیلان آبی، بررسی نوسانات و عمق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از پایش‌های سیستماتیک چاه‌های پیژومتری و چاه‌های اکتشافی حفاری‌شده و همچنین داده‌های اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی استفاده شده است. در این مطالعه به بررسی دقیقی از تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کمیّت و تأثیر در تغذیه آب زیرزمینی پرداخته شد که همراه با مطالعات صحرایی منجر به شناسایی دو گسل مدفون در دشت شده است. نتایج حاصل از بیلان آبی، نشانگر حالت تعادل آبخوان است که براین اساس حجم آب مجاز قابل بهره‌برداری، سالانه بدون ایجاد شرایط نامطلوب در حوضه آبخوان، معادل ۳۰ میلیون متر مکعب در سال است. همچنین مناطق مناسبی، برای حفاری چاه‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و فاصله چاه‌ها از یکدیگر در دشت تعیین شد.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، بیلان، توسعه پایدار، خصوصیات هیدروژئولوژیکی، دشت مهاباد.

مقدمه

مطالعات هیدروژئولوژیکی آب زیرزمینی به منظور شناخت دقیق ویژگی‌های آبخوان و رفتار آن از اهمیت بالایی برخوردار است (Fitts, 2002; Todd & Mize, 2005). به طوری که پیش‌بینی مقادیر آب ذخیره شده و آب قابل برداشت از یک آبخوان بستگی به برآورد دقیق پارامترهای هیدروژئولوژیکی دارد. نتایج مطالعات دقیق هیدروژئولوژیکی منابع آبی زیرزمینی در کشور نیمه‌خشکی مانند ایران می‌تواند منجر به کاربرد روش‌های صحیح برای بهره‌برداری این منابع شود و نهایتاً به‌درستی و با بالاترین کارایی به مصرف برسد. در سال‌های اخیر مطالعات علمی، اصولی و هدفمند مشکلات توازن منابع آبی، به‌علت کمبود منابع آبی و افزایش تقاضای ناشی از پیشرفت صنعت، کشاورزی و افزایش جمعیت، به‌منظور مدیریت صحیح اهمیت یافته است.

مسئله کمبود آب، توجه یونسکو (UNESCO)، سازمان متئورولوژیکی جهانی (WMO)، سازمان کشاورزی و غذا (FAO) و دیگر سازمان‌های دولتی و غیردولتی را متوجه خود ساخته است (Sokolov & Chapman; 1974: 11).

موضوعات اصلی پایش کمی آب‌های زیرزمینی، بررسی عواملی مانند سطح آب زیرزمینی، آب‌دهی منابع، بهره‌برداری انتخابی و تخلیه منابع آب زیرزمینی است، که با تحلیل تغییرات این عوامل نسبت به زمان و تلفیق نتایج به‌دست آمده، می‌توان به اهداف موردنظر دست‌یافت (Thangarajan, 2007: 11). بررسی و مطالعه تبادلات آب ورودی و خروجی، در یک مقطع زمانی خاص و در یک محدوده یا منطقه (حوضه آبریز یا آبخوان) که بر اصل بقاء ماده در چرخه آب تأکید دارد بیان خوانده می‌شود. بر طبق این تعریف کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌شوند، در این منطقه یا به

مصرف می‌رسند، یا ذخیره شده و یا به حالت‌های مختلف از محدوده خارج می‌شوند. در صورتی که مجموع حجم آب‌های عوامل ورودی و خروجی، تقریباً برابر باشد بیلان دارای حالت تعادل است. اگر حجم عوامل ورودی بیش از خروجی باشد آب مازاد، به‌صورت بیلان مثبت خواهد بود و در صورتی که حجم عوامل خروجی بیش از عوامل ورودی باشد اضافه‌برداشت از ذخایر آبی حالت بیلان منفی را ایجاد خواهد کرد. بیلان برای محدوده مکانی آبخوان از بعد تحقیقاتی و کاربردی اهمیت دارد. محدوده بیلان می‌بایست با واحد هیدرولوژیکی (حوضه آبریز) انطباق داشته و مرزهای آن منطبق بر تقسیم‌کننده‌های طبیعی باشد (Jacob, 2001: 70). مانند حوضه آبریز یک رودخانه بزرگ یا چند رودخانه کوچک که ارتباط هیدرولوژیکی بین آن‌ها برقرار باشد. چند حوضه آبریز (دشت) که از نظر هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی مشابه باشند، نیز ممکن است مورد مطالعه قرار گیرد (Bastiaanssen & Chandrapala, 2003: 173). مقطع زمانی که طی آن بین آب‌های خروجی و ورودی محدوده بیلان موازنه برقرار می‌شود ممکن است متغیر باشد. دوره‌های متوالی کوتاه‌مدت دارای حالت ناپایدار متأثر از تغییرات اقلیمی هستند و هرچه دوره طولانی‌تر باشد اجزای بیلان به‌دلیل مشابهت با مقادیر متوسط پارامترهای متأثر از شرایط اقلیمی به حالت پایدار نزدیکتر هستند (Chauvin et al, 2011: 134). معمولاً مقطع زمانی برای کلیه پارامترها، یک سال آبی بوده و یا می‌تواند در یک دوره درازمدت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (مقیمی، ۱۳۸۸: ۱۸۵).

بیلان آبی مسئله کمی آب زیرزمینی است، که در مسائل طراحی توسعه و مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است (Gaur et al, 2011: 127). مطالعات بیلان آبی در محدوده‌های مختلف و با در نظر گرفتن شرایط متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته

در سال ۱۳۴۳ به منظور احداث سد مخزنی و شبکه آبیاری و زه‌کشی دشت و سپس در سال ۱۳۷۰ همزمان با طرح جامع آب کشور تحت عنوان منابع آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه به صورت کلی و با مقیاس کوچک صورت گرفته است. تا کنون بررسی‌های انجام‌یافته، نیز تمام دشت را پوشش نداده و عمدتاً مربوط به بخش‌های ابتدایی دشت است و لزوم مطالعات بیشتر و جامع‌تر در این دشت ضروری می‌باشد.

در منطقه مطالعاتی دشت مهاباد به جهت تنوع لیتولوژیکی، سازندهای مختلف دارای ویژگی‌های هیدرودینامیکی متفاوتی هستند که در تغذیه و تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی نقش مؤثری را ایفا می‌کنند. شناخت سازندهای مختلف زمین‌شناسی از لحاظ تأثیرات لیتولوژی در کمیّت و کیفیت آب‌های زیرزمینی و نقش ساختارهای زمین‌شناسی در ارتباط با شکل‌گیری واحدهای آبدار از ضروریات مطالعات پایه هیدروژئولوژیکی محسوب می‌شود. باتوجه به اینکه بخش اعظم تغذیه آبخوان دشت، توسط بستر رودخانه مهاباد و آبراه‌های اطراف دشت صورت می‌گیرد، به دلیل وجود ارتباط هیدرولیکی بین سازندهای مختلف و رسوبات آبرفتی دشت کمیّت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

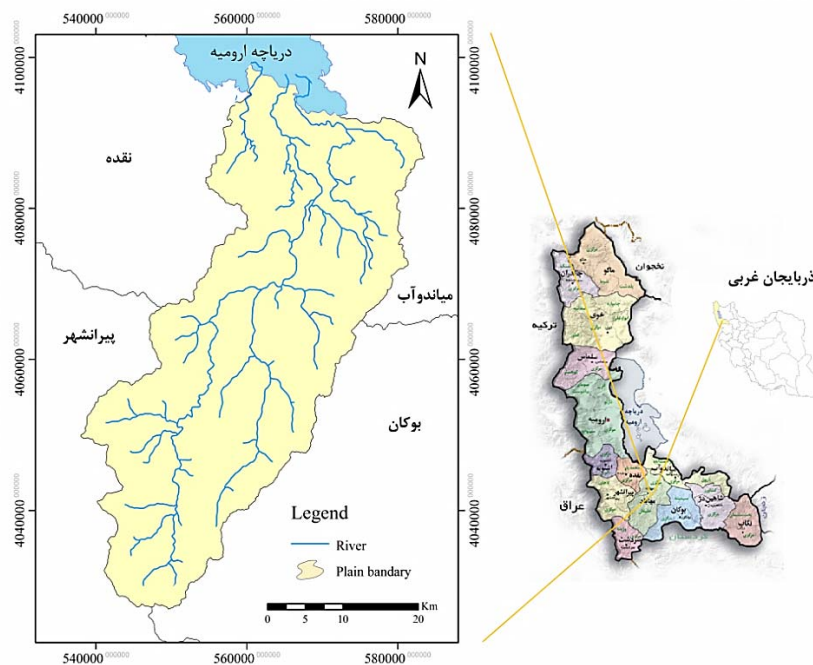
۱. منطقه مطالعاتی

- موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی دشت مهاباد به مساحت ۸۲۹ کیلومتر مربع و با مختصات عرض جغرافیایی ۴۶ و ۳۶ شمالی و طول ۴۳ و ۴۵ شرقی در استان آذربایجان غربی و قسمت جنوبی دریاچه ارومیه واقع است (شکل ۱).

است (رهنما و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۷؛ پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۸۱). تعادل پایدار آب زیرزمینی وابسته به فعالیت‌های انسانی و پارامترهای هیدروژئولوژیکی است (Vrba et al, 2006: 6) به طوری که مدیریت بهره‌برداری صحیح کمی و کیفی از منابع آب نیازمند آگاهی و برآورد پتانسیل آبی منطقه و مصارف براساس اصل بقای ماده در چرخه آب است. مناسب‌ترین شرایط بهره‌برداری مجاز از حوضه آب زیرزمینی مقداری است که بدون ایجاد شرایط نامطلوب در حوضه آب زیرزمینی (کاهش سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی) صورت گیرد (Young, 1970: 377). در اغلب موارد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیش از حد مقادیر تغذیه بوده و منجر به بروز روند خطرناکی در وضعیت آبخوان‌ها می‌شود (Njamnsi & Mbue, 2009: 84).

با مطالعه بیلان می‌توان وضعیت پتانسیل آب در یک محدوده مطالعاتی یا آبخوان را تعیین کرد و امکان توسعه منابع آبی و یا چگونگی کنترل اضافه برداشت را برآورد و بررسی کرد (مقیمی، ۱۳۸۸: ۱۸۱). همچنین مطالعات بیلان آبی در یک آبخوان می‌تواند به منظور مدیریت بهینه‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی (Peranginangin et al., 2004)، کاربرد معادلات آن برای آزمایشات پمپاژ در آبخوان‌ها (Ruud et al., 2004) و محاسبات پیش‌بینی دبی (Stephanie et al., 2010) مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ایجاد موازنه بین منابع و مصارف آب با در نظر داشتن کلیه عوامل طبیعی مؤثر در چرخه آب در برنامه‌ریزی توسعه و بهره‌برداری از این منابع، مبنای مناسبی را فراهم می‌آورد و می‌تواند منجر به کاهش خسارات ناشی از وقوع سیل و خشکسالی شود. مطالعات پیشین انجام‌یافته در خصوص منابع آب‌های زیرزمینی محدوده دشت مهاباد محدود بوده است به طوری که اولین مطالعات انجام‌یافته در دشت مهاباد



شکل ۱: موقعیت و محدوده فرارگیری دشت مهاباد

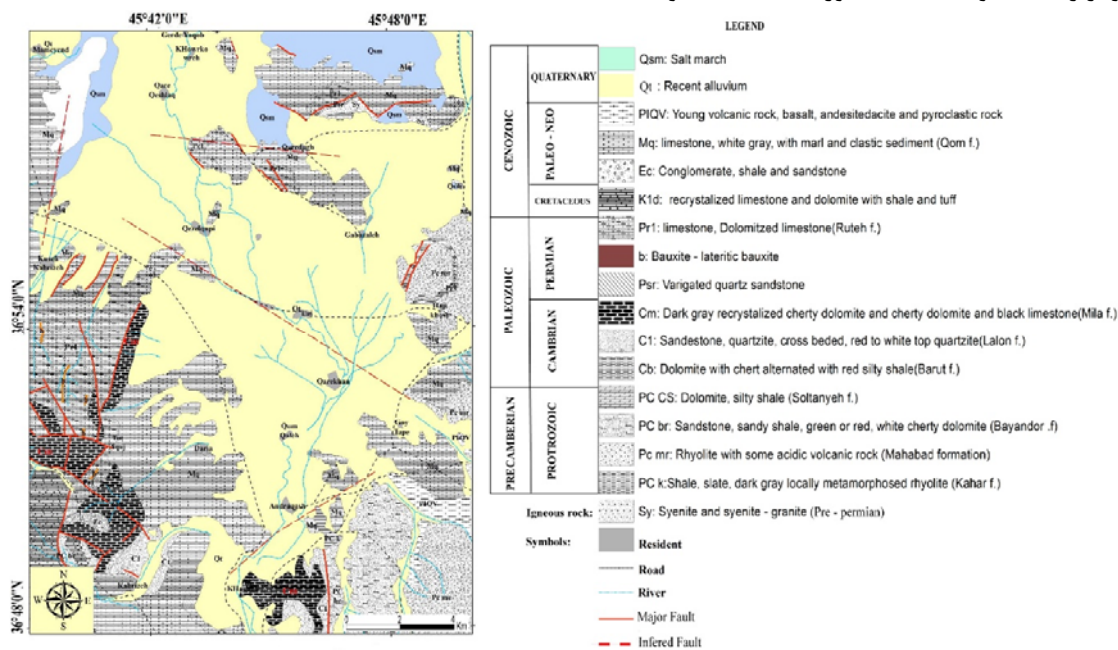
تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۸۹

چشمه‌های کارستیک شمال منطقه و بخش غربی روستای قره‌داغ تشکیل شده‌اند که با آب‌دهی کم باعث تغذیه منابع آب منطقه می‌شود. نفوذپذیری پایین شیل و توف واحد سنگی کرتاسه (K1d) اهمیت این واحد را از جهت کمیت و کیفیت بر منابع آب منطقه ناچیز نشان می‌دهد. فقط لیتولوژی آهک‌ها است که مشابه رخساره‌های آهکی قبلی بوده ولی به جهت گسترش بسیار کم، تأثیر چندانی از جهت کمیت و کیفیت آب منطقه می‌تواند داشته باشد. سازند قم (Mq) لیتولوژی غالب منطقه را تشکیل می‌دهد که با دارا بودن نفوذپذیری بالا، ناشی از درز و شکاف‌های فرآیندهای تکتونیکی، نقش بسیار مهمی در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی منطقه دارد. در بسیاری از مناطقی که چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری حفر شده، آهک‌های مارنی این سازند، به‌عنوان سنگ کف شناسایی شده‌اند. همچنین میان‌لایه‌های مارنی و

سازندهای زمین‌شناسی بسته به جنس، گسترش و ویژگی‌هایی همچون نفوذپذیری نقش عمده‌ای در ارتباط با کمیت منابع آب زیرزمینی دارند. مطابق نقشه زمین‌شناسی ارائه‌شده در شکل (۲) واحد سنگی از زمان پرکامبرین تا کواترنری در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شوند. از میان این سازندها، کهر (Pck)، بایندور (Pcbr) و سلطانیه (Pccs) با رخنمون بخش‌های جنوبی منطقه، به‌علت نفوذپذیری بسیار پایین و گسترش محدود آن اهمیت بسیار کمی بر کمیت منابع آبی منطقه دارد. سازند مهاباد (Pcmr) در بخش جنوب و جنوب شرقی منطقه همراه با شیب تند توپوگرافی بروزدهای سنگی، محتوای آب سازندی است. ساختارهای کارستی سازند روته (Pr1) به‌همراه سیستم‌های درز و شکاف و شکستگی‌ها باعث افزایش نفوذپذیری این واحد سنگی شده است. به این دلیل در کنتاکت این واحد سنگی با رسوبات آبرفتی

ضریب ذخیره پایین آبخوانها جریانات مداوم سطحی، سریعاً سفره آب زیرزمینی را اشباع کرده و بنابراین سطح آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف طغیانی و پرآبی، شدیداً بالا می‌آید. رسوبات کولابی ساحلی و شوره‌زارهای دریاچه‌ای (Qsm) ناشی از تجمع روان‌آب‌های سطحی در گودال‌های توپوگرافیک و بالآمدن سطح آب زیرزمینی در طی زمان بر اثر تبخیر و تغلیظ تشکیل شده‌اند.

آهک‌های این سازند باعث تشکیل لایه‌های آبدار معلق در نواحی مرتفع و دشت شده است. بازالت و برش‌های ولکانیکی (PIQV) به سن پلیوپلیستوسن واقع در بخش جنوب شرقی منطقه دارای نفوذپذیری بالایی هستند ولی به دلیل گسترش کم اهمیت چندانی از لحاظ کمیت بر منابع آب منطقه ندارند. تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت در برخی مناطق، منحصراً به بسترهای آبرفتی رودخانه مه‌باد (Qt) و افق‌های نفوذپذیر اطراف حاشیه دشت شامل رسوبات کواترنری (Qt و Qsm) محصور شده است. با توجه به



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۸۹

آخرین حرکات فاز کوه‌زایی آلپی پیش از میوسن شکل گرفته‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۵). گسل‌های اخیر که در حال حاضر بخش عمده آن‌ها در زیر پوشش آبرفتی دشت مدفون شده‌اند، عمدتاً هم‌روند با ساختارهای ژئومورفولوژیکی منطقه هستند. بررسی‌ها و مطالعات صحرایی در دشت مه‌باد منجر به شناسایی دو گسل مدفون شد (شکل ۲) که یکی از آن‌ها در بخش میانی دشت از شمال غربی روستای

- ویژگی‌های ساختاری منطقه مطالعاتی

الگوهای ساختاری موجود در منطقه، نتیجه رویدادهای تکتونیکی مختلفی است، که از پرکامبرین تا کواترنری بر منطقه اثر گذاشته‌اند. گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی منطقه که در سنگ‌های آهکی دوران‌های مختلف مشاهده می‌شوند با فرآیندهای تکتونیکی پیش از تریاس در ارتباط هستند، در حالی که اساس ساختارهای کنونی دشت مه‌باد از

انتهای دشت، آب زیرزمینی باعث تغذیه زهکش‌ها و رودخانه‌ها می‌شود. پوشش ریزدانه رسی سطح دشت، به‌ویژه در انتهای دشت امکان تغذیه مستقیم از نزولات جوی را کاهش می‌دهد همچنین ضریب ذخیره کم‌سفره و اشباع رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان باعث بالآمدن سریع سطح ایستابی در سفره می‌شود. براساس مشاهدات صحرایی، شیب بسیار کم توپوگرافی و شیب‌های معکوس باعث تمرکز آب و افزایش املاح و شوری شدید رسوبات شده است به‌طوری‌که در نزدیکی روستای داش‌خانه، رودخانه کاملاً نقش زهکش را دارد. بالابودن سطح آب زیرزمینی و ناکارآمدی کانال‌های زهکشی، نیز همه‌ساله باعث افزایش میزان شوری آب و خاک در این پهنه شده است به‌طوری‌که میزان یون کلر آب زیرزمینی بالا بوده و در روستای قره‌قشلاق و قره‌داغ به 7000 mg/L می‌رسد. همچنین حداقل هدایت الکتریکی 429 و حداکثر $14400 \mu\text{S/cm}$ مشاهده شد. با استفاده از تلفیق نتایج حفاری‌های اکتشافی و بررسی‌های صحرایی مشخص شده است که ساختار اصلی دشت مهاباد از تناوب رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای و تراس‌های دانه‌ریز دریاچه‌ای تشکیل شده است. ضخامت مؤثر رسوبات در مجاورت ارتفاعات حاشیه دشت، حدود چند متر، و به تدریج عمق سنگ کف افزایش می‌یابد و در نواحی روستای اگریقاش عمق سنگ کف مارنی به 29 متر می‌رسد. در حدفاصل دو غسل اصلی در بخش میانی دشت، ضخامت آبرفت در این بخش افزایش و در عمق آبرفت‌ها از دانه‌بندی درشت و نفوذپذیری بالایی برخوردارند و حوالی روستای قره‌خان تا حدود 102 متر (از نوع شیل) متغیر است. در بخش میانی دشت توزیع متناوب رسوبات در جهت و منشأ مختلف سبب پیچیدگی وضع آبخوان در دشت شده است. بخش‌های ورودی دشت (نواحی روستای گوگ‌تپه) و نواحی شرق

گوگ‌تپه و روستای قره‌خان شروع شده و امتداد آن، تا حوالی روستای قزل‌قویی و گاپیس امتداد دارد که باعث تغییرات ناگهانی عمق سنگ کف و ایجاد فروافتادگی و تغییر ناگهانی مسیر جریان بستر رودخانه مهاباد شده است. فعالیت کواترنری این غسل سبب شده، که آبرفت‌های نفوذپذیر جنوبی در بخش‌های میانی و شمالی دشت در اعماق بیشتر قرار گیرند و باعث افزایش ضخامت رسوبات آبرفتی در این منطقه شوند. غسل دیگر، تقریباً به موازات این غسل در حاشیه ارتفاعات، نزدیک روستای قره‌داغ وجود دارد که تحت تأثیر غسل، چندین دهانه چشمه تشکیل شده که تجمع آب ناشی از این چشمه‌ها باعث تشکیل ماند آب نسبتاً بزرگی در حاشیه ارتفاعات روستا شده است.

– هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطق مطالعاتی

دشت مهاباد بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. این دشت در دامنه رشته‌کوه‌ها لندشیخان قرار دارد که ارتفاع آن از سطح دریا 1320 متر بوده و از آب‌وهوای معتدلی کوهستانی برخوردار است. ارتفاعات حواشی دشت، تأثیر کمی روی سفره آب زیرزمینی دارند ولی سنگ‌های دولومیتی پرمین و افق‌های الیگومیوسن به لحاظ داشتن درز و شکاف فراوان و احتمال حضور پدیده کارست، تا حدودی در تغذیه حواشی دشت مؤثر می‌باشند.

در جنوب دشت به سمت قسمت‌های میانی، که محل فعالیت رودخانه مهاباد است، تغذیه سفره از ارتفاعات و از طریق بستر رودخانه مهاباد با جریان پیوسته در تمام مدت سال صورت می‌گیرد. این رودخانه در ابتدا، دارای آب شیرین و قابل استفاده (سبک و بی‌کربناته) است ولی از روستای قزل‌قویی و قره‌قشلاق به طرف شمال اثر آب‌های شور زیرزمینی بر روی آب رودخانه بیشتر می‌شود. در مناطق میانی و

در هزار و حداقل آن ۱ در هزار و به طور متوسط ۳ تا ۶ در هزار است.

عمق چاه‌های بهره‌برداری در دشت معمولاً کم و حداکثر عمق چاه ۳۵ و حداقل ۳/۵ متر است. آب‌دهی چاه‌ها به طور متوسط L/s ۱۳/۶۴ است ولی تعدادی چاه در بخش جنوبی دشت حفر شده که دبی آن‌ها حداکثر تا L/s ۳۰ می‌رسد.

تعداد چشمه‌های موجود در منطقه، تا ۱۲ دهنه می‌رسد، که آب‌دهی آن‌ها بین L/s ۱۰-۰/۲۵ است و تخلیه سالانه توسط چشمه‌ها تا یک میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها

به منظور مطالعات هیدروژئولوژیکی، خصوصیات آبخوان و تعیین بیلان آبی داده‌های اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی کمک شایانی به این مطالعات کرده است. تعداد ۱۷ چاه اکتشافی حفاری شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی و مهندسین مشاور با عمق ۳/۵ تا ۲۷ متر و تعداد ۴ حلقه چاه تا عمق سنگ کف (حداکثر ۱۱۰ متر) به منظور تعیین مشخصات هیدرولیکی و همچنین عمق و ضخامت سنگ کف استفاده شد. جهت بررسی نوسانات و عمق سطح ایستابی از پایش‌های سیستماتیک چاه‌های پیرومتری حفر شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، از مقادیر تراز آب زیرزمینی متوسط ماهانه برای بازه ۱۰ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۰) دشت مهاباد مطابق جدول ۱ در مطالعات استفاده شده است. همچنین تراز سطح ایستابی برای سال آبی با حداقل تراز مهرماه ۱۳۸۹ و حداکثر تراز خردادماه ۱۳۹۰ تهیه و بررسی شد.

تا مرکز دشت از آبرفت‌های دانه‌درشت تشکیل شده است، که به طرف مرکز دشت بر ضخامت آن‌ها افزوده می‌شود. در نهایت از این منطقه به سمت انتهای دشت ناشی از حرکت گسل در منطقه دوباره عمق و ضخامت آبرفت تغییر کرده به طوری که در روستای قره‌قشلاق تا عمق و ضخامت حدود ۴۸ متری کاهش پیدا می‌کند.

سفره آب زیرزمینی در این دشت از نوع آزاد با ضخامت ۳۰ تا ۹۰ متر است. در بخش خروجی دشت و شوره‌زارها به دلیل وجود رسوبات دانه‌ریز دریاچه‌ای و نهشته‌های طغیانی رودخانه‌ای سفره از نوع نیمه‌تحت فشار است. ضخامت رسوبات آبرفتی با تبعیت از سنگ کف متغیر است و از ابتدای دشت به طرف مسیر جریان رودخانه مهاباد به تدریج افزایش می‌یابد و سپس به سمت انتهای دشت، ضخامت آبرفت متأثر از بالآمدگی تکتونیکی سنگ کف و گسل‌های موجود کاهش پیدا می‌کند و در حوالی روستاهای قزی‌آباد و قره‌قشلاق سنگ کف مارنی به ترتیب به ضخامت ۵۵ و ۴۸ متر کاهش می‌یابد. براساس مطالعات، به صورت کلی می‌توان گفت که سطح آب زیرزمینی در دشت مهاباد بالاست به طوری که در جنوب دشت و در نزدیکی حاشیه ارتفاعات سطح آب در ۳ الی ۴ متری قرار دارد در بخش میانی دشت به ۲ متری و در بخش انتهایی دشت به ۳ متری سطح زمین می‌رسد. جهت اصلی جریان، از جنوب به شمال و در جهت جریان رودخانه مهاباد است. به دلیل وجود رشته کوه‌های بریده در جنوب و شمال روستای قره‌داغ در جریان آزاد و مستقیم آب زیرزمینی موانعی ایجاد شده و باعث انحراف خطوط جریان آب زیرزمینی در عمق دشت شده است. به طوری که حداکثر شیب هیدرولیکی ۱۲/۵

جدول ۱: تراز آب زیرزمینی متوسط ماهانه (۱۰ ساله) دشت مهاباد

محل چاه	زمان	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گردگروه	۱۲۸۱/۹۹	۱۲۸۲/۳۷	۱۲۸۲/۳۷	۱۲۸۲/۳۷	۱۲۸۲/۳۸	۱۲۸۲/۱۳	۱۲۸۲/۱۳	۱۲۸۲/۰۷	۱۲۸۱/۹۹	۱۲۸۱/۹۲	۱۲۸۲/۱۳	۱۲۸۱/۷۱	۱۲۸۱/۸۵
قرهخان	۱۲۹۳/۱۸	۱۲۹۳/۲۴	۱۲۹۳/۳۸	۱۲۹۳/۳۸	۱۲۹۳/۳۳	۱۲۹۳/۸۴	۱۲۹۳/۶۸	۱۲۹۳/۵۷	۱۲۹۳/۴۴	۱۲۹۳/۲۳	۱۲۹۳/۱۷	۱۲۹۳/۲۹	۱۲۹۳/۱۸
قمقلعه	۱۲۹۵/۱۴	۱۲۹۵/۴۲	۱۲۹۵/۴۰	۱۲۹۵/۳۴	۱۲۹۵/۳۴	۱۲۹۵/۹۱	۱۲۹۵/۸۴	۱۲۹۵/۶۹	۱۲۹۵/۴۴	۱۲۹۵/۳۰	۱۲۹۵/۷۴	۱۲۹۴/۸۰	۱۲۹۴/۹۴
داره‌لک	۱۲۸۸/۹۵	۱۲۸۹/۲۶	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۴۰	۱۲۸۹/۲۹	۱۲۸۹/۲۱	۱۲۸۸/۹۴	۱۲۸۸/۲۷	۱۲۸۸/۴۷	۱۲۸۸/۵۱	۱۲۸۸/۶۴
قره‌قوبی	۱۲۸۷/۴۵	۱۲۸۷/۳۵	۱۲۸۷/۲۹	۱۲۸۷/۲۹	۱۲۸۷/۲۶	۱۲۸۸/۹۱	۱۲۸۸/۸۲	۱۲۸۸/۷۷	۱۲۸۸/۶۰	۱۲۸۷/۶۶	۱۲۸۷/۴۲	۱۲۸۷/۶۷	۱۲۸۷/۵۸
قره‌قشلاق	۱۲۸۱/۱۸	۱۲۸۰/۹۸	۱۲۸۰/۹۶	۱۲۸۰/۹۶	۱۲۸۰/۹۴	۱۲۸۰/۱۹	۱۲۸۱/۰۳	۱۲۸۰/۸۵	۱۲۸۰/۵۷	۱۲۸۰/۵۱	۱۲۸۱/۰۱	۱۲۸۱/۱۱	۱۲۸۱/۲۵
کوسه‌کهریز	۱۲۸۱/۸۱	۱۲۸۱/۷۵	۱۲۸۱/۷۱	۱۲۸۱/۷۱	۱۲۸۱/۶۷	۱۲۸۱/۶۸	۱۲۸۱/۸۱	۱۲۸۱/۸۲	۱۲۸۱/۸۹	۱۲۸۱/۹۲	۱۲۸۱/۹۳	۱۲۸۱/۹۶	۱۲۸۱/۸۸
تراز آب زیرزمینی (m)	۱۲۸۵/۸۹	۱۲۸۵/۹۶	۱۲۸۵/۹۸	۱۲۸۵/۹۸	۱۲۸۶/۲۰	۱۲۸۶/۲۹	۱۲۸۶/۲۸	۱۲۸۶/۲۰	۱۲۸۶/۰۲	۱۲۸۵/۷۴	۱۲۸۵/۷۹	۱۲۸۵/۸۰	۱۲۸۵/۸۵

مأخذ: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

با استفاده از دوره آماری ترسیم و در محاسبات استفاده شده است.

مشخصات ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان زیرزمینی دشت مهاباد مطابق جدول ۲ ارائه شده است. بالابودن سطح آب زیرزمینی و عمق کم چاه‌های اکتشافی باعث شده، که تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان مربوط به بخش‌های فوقانی لایه‌های آبدار دشت در نظر گرفته شود و نمی‌تواند نماینده واقعی ویژگی‌های لایه آبدار دشت باشد؛ بنابراین به داده‌های ۳ چاه اکتشافی حفر شده در سال ۱۳۸۹ توسط سازمان آب منطقه‌ای استان استناد می‌شود.

به‌منظور مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مهاباد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و نیز تمامی عوامل تغذیه و تخلیه لازم برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفت. با توجه به گستردگی دامنه و نوع و روش تجزیه و تحلیل، پارامترهای اجزای معادله عمومی بیلان آب ممکن است در دامنه وسیعی قرار گیرد. برای محاسبه بیلان دشت، از آمار متوسط بلندمدت در محل سد مخزنی رودخانه مهاباد و ایستگاه آب‌سنجی گردیعقوب استفاده شده است. همچنین سطح ایستابی، نمودارهای هیدروگراف واحد پیژومترها و هیدروگراف واحد دشت

جدول ۲: مشخصات ضرایب هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی دشت مهاباد

ردیف	تاریخ آزمون	محل	عمق چاه (m)	ضریب قابلیت آگذری (m ² /d)	ضریب نفوذپذیری (m/d)	ضریب ذخیره (%)	ضریب آدهی (m ³ /h)
۱	۱۳۴۴/۰۷	گوگ‌تپه	۵/۱۶	۲۲/۷	-	-	-
۲	۱۳۴۴/۰۷	لج	۴/۹۸	۴/۹۸	-	-	-
۳	۱۳۴۴/۰۷	داش‌خانه	۴/۵	۲/۹۹۵	-	-	-
۴	۱۳۴۴/۰۷	قره‌قشلاق	۴/۴	۶/۸۱۳	-	-	-
۵	۱۳۴۴/۰۷	قم‌قلعه	۵/۶	۹/۹	-	-	-
۶	۱۳۴۴/۰۷	قری‌آباد	۴/۲	۴/۲۳۶	-	-	-
۷	۱۳۴۴/۰۷	آگری‌قاش	۵/۳	۸/۲۷	-	-	-
۸	۱۳۸۹/۰۵	قره‌خان	۹۶	۹۳۹	۱۱/۲۵	۳/۱	۸۵/۵۴
۹	۱۳۸۹/۰۵	قچی‌آباد	۵۸/۳	۸۴۰	۱۶/۸۱	۳/۱	۸۰/۳۵
۱۰	۱۳۸۹/۰۵	قره‌قشلاق	۵۳	۵۰۱	۱۲/۳۸	۰/۳	۸۵/۵۴

مأخذ: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

بیشتر تغذیه دشت مهاباد از بخش‌های جنوبی و غربی دشت می‌باشد که از سازندهای کربناته تشکیل شده‌اند. رودخانه مهاباد نیز از ابتدا تا قسمت میانی خود، نقش تغذیه و از آن پس عمل زه‌کشی را انجام می‌دهد. بارندگی به‌طور مؤثری در داخل و خارج محدوده دشت دخالت می‌یابد. در محاسبات بارندگی در داخل شبکه، در محاسبات بارندگی مؤثر مستتر بوده؛ بنابراین به‌صورت جداگانه به‌شکل عامل تغذیه‌کننده در داخل محدوده شبکه وارد نمی‌شود و بیرون از محدوده شبکه این عامل به‌صورت مستقل به‌صورت عامل تغذیه وارد عمل می‌شود. براساس بارندگی ۳۱۵ mm در سطح دشت، میزان بارندگی در حوضه بیلان $128/5 \text{ Mm}^3$ برآورد شده که از این مقدار $86/1 \text{ Mm}^3$ تبخیر و $8/5 \text{ Mm}^3$ وارد آبخوان شده و $33/9 \text{ Mm}^3$ نیز وارد رودخانه مهاباد می‌شود و در نهایت از گردیعقوب خارج می‌گردد. به‌جهت بالابودن سطح آب زیرزمینی تخلیه از طریق تبخیر به‌ویژه در بخش‌های میانی تا مناطق تخلیه با ایجاد لنزهای سفید نمکی در سطح زمین، مؤثر است. برآورد میزان تبخیر از سطح زمین در حوضه آبریز با استفاده از روش‌های مختلف (جدول ۳) انجام شده و در نهایت با متوسط‌گیری از آن‌ها نسبت آب تبخیر یافته از کل بارندگی محاسبه می‌شود که برابر با ۶۷٪ از بارندگی سالانه حوضه رودخانه مهاباد به‌دست می‌آید.

محاسبات مربوط به تبخیر آب‌های زیرزمینی در سطح زمین با توجه به نقشه منحنی هم‌تراز آب زیرزمینی و سطوح اختصاص یافته به عمق‌های ۰/۵ تا ۳ متری انجام یافته و در نهایت با توجه به منحنی وایت، مقادیر نسبی تبخیر در هر قسمت از سطوح برآورد و مجموع آن‌ها وارد جدول ۴ شد. براین‌اساس متوسط تبخیر از سطح آزاد در داش‌خانه ۱۵۳۰ میلی‌متر (۱/۵۳ متر در سال) برآورد شد. مقدار تبخیر آب زیرزمینی از سطح زمین ۱۷/۴ میلیون متر مکعب به‌دست آمد.

معادله بیلان آب زیرزمینی مطابق رابطه ۱ (Sokolov & Chapman, 1974: 17) از چندین پارامتر تشکیل شده است که از طریق اندازه‌گیری مستقیم، روش‌های محاسباتی معمول و یا از طریق برآورد تعیین می‌شوند. پارامترهای ورودی با علامت مثبت و خروجی با علامت منفی تعیین می‌شوند و جمع جبری آن‌ها میزان تغییرات حجم مخزن را مشخص می‌کند. در رابطه $\pm \Delta V$ مقادیر تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی، Q_{in} دبی ورودی به محدوده دشت، Q_p آب نفوذ یافته، از طریق بارندگی، Q_r آب نفوذ یافته از طریق جریان‌های سطحی آبیاری، Q_{sw} آب نفوذ یافته از طریق پساب‌های شهری و صنعتی و بهداشتی، Q_{out} دبی خروجی از محدوده دشت، Q_{ex} آب تخلیه شده توسط چاه‌چشمه و قنوت، E مقدار تبخیر و تعرق از سطح آب زیرزمینی یا Q_{ET} تبخیر و تعرق واقعی، Q_D آب زه‌کش شده از سفره توسط رودخانه یا زه‌کش است.

تغییرات حجم مخزن آب زیرزمینی را می‌توان براساس رابطه ۲ نیز محاسبه کرد. که در رابطه h تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف واحد دشت مهاباد A مساحت دشت و S متوسط ضریب ذخیره آبخوان است.

رابطه ۱:

$$\pm \Delta V = Q_{in} + Q_p + Q_r + Q_{sw} - (Q_{out} + Q_{ex} + Q_{ET} + Q_{DA})$$

رابطه ۲:

$$\Delta V = h \times A \times S$$

مساحت کل حوضه آبریز رودخانه مهاباد تا گردیعقوب (انتهای دشت) برابر 1635 Km^2 می‌باشد که از این سطح مقدار 806 Km^2 از اراضی بالادست سد مخزنی مهاباد به‌صورت ورودی در تغذیه سد دخالت دارد. به‌منظور محاسبه بیلان دشت مهاباد در محاسبات سطح مابین سد مخزنی (ابتدای دشت) تا ایستگاه اندازه‌گیری گردیعقوب (انتهای دشت) به مساحت 829 Km^2 استفاده شده است.

جدول ۳: مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده به روش‌های مختلف

Turk	USDA-SCS	Emprical	FAO/AGLW	روش
۳۰۱	۲۹۵/۱	۱۴۵/۷	۱۰۲	تبخیر (mm)

مأخذ: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

جدول ۴: تبخیر آب‌های زیرزمینی باتوجه به نقشه منحنی هم‌تراز آب زیرزمینی و سطوح اختصاص یافته به عمق‌های مختلف

۲-۳	۱/۵-۲	۰/۵-۱/۵	۰-۰/۵	عمق سطح ایستابی (m)
۲/۱۳	۲/۱۳	۳/۱۳	۱۰/۰۵	حجم آب تبخیرشده (Mm ³)

مأخذ: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

نفوذ از جبهه ورودی با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از چاه‌های اکتشافی دشت و بررسی چاه‌های موجود در محدوده دشت و باتوجه به فرمول داری (رابطه ۳) که در آن $Q(m^3/d)$ حجم آب ورودی یا خروجی، $T(m^2/d)$ ضریب قابلیت انتقال آب در سفره، $L(m)$ طول جبهه جریان و $I(\%)$ شیب متوسط جریان آب زیرزمینی است. مقدار جریان ورودی از جبهه موجود در محدوده بالادست منطقه قره‌خان و قم‌قلعه برابر $۵/۱Mm^3$ برآورد شد.

رابطه ۳: $Q=TLI$

از عوامل تخلیه آب زیرزمینی دشت، چاه‌های بهره‌برداری (به‌ویژه چاه‌های غیرمجاز) بسیار مؤثر است. این عامل در دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه در تخلیه بیش از حد آبخوان‌ها به معضلی بسیار بزرگ تبدیل شده است. میزان تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری مجاز روستاهای دشت مهاباد طبق جدول ۵ ارائه شده است.

آب کشاورزی در تغذیه آب زیرزمینی مؤثر بوده و بیشتر سهم تغذیه را به خود اختصاص می‌دهد. باتوجه به اینکه از مقدار $۱۷۴Mm^3$ ، مقدار $۱۳۰Mm^3$ جهت مصارف کشاورزی و $۶Mm^3$ برای مصارف شرب، صرف می‌شود، $۳۸Mm^3$ در رودخانه جریان پیدا می‌کند، از مقدار فوق، $۸/۸Mm^3$ به آبخوان نفوذ می‌یابد که شامل نفوذ از آب جاری در رودخانه و جریان‌های ناشی از فاضلاب در این مسیر است از مقدار $۱۷۴Mm^3$ آورد، $۴۴Mm^3$ در رودخانه جریان یافته و $۱۳۶Mm^3$ جهت مصارف کشاورزی صرف می‌شود که از رقم فوق $۶۳/۶Mm^3$ صرف تبخیر و تعرق شده و $۳۴Mm^3$ آن در آبخوان زیرزمینی نفوذ می‌یابد. در این حالت باتوجه به وضعیت موجود، آبیاری و کشاورزی منطقه سطح زیر کشت ۱۳۵۸۷ هکتار بوده که نیاز آبی و تبخیر و تعرق با درنظرگرفتن توأم آبیاری سطحی (حالت رایج) و تحت فشار محاسبه شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹) و میزان نفوذ آب آبیاری به آبخوان ۲۵٪ درنظر گرفته شده است.

جدول ۵: میزان تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری مجاز روستاهای دشت مهاباد

ردیف	نام روستا	سطح زیر کشت چاه‌ها (هکتار)	تخلیه سالانه (هزار متر مکعب)	ردیف	نام روستا	سطح زیر کشت چاه‌ها (هکتار)	تخلیه سالانه (هزار متر مکعب)
۱	اگریقاش	۵۰۳/۵	۹۶۳۸/۴	۱۳	قزل قویی	۷/۰	۱۶۴/۹
۲	ترشکان	۲۱/۰	۴۴۴/۳	۱۴	قم قلعه	۱۳۵/۴	۲۰۶۸/۵
۳	توت‌آغاچ	۴/۰	۶۸/۴	۱۵	گابازله	۱۱/۰	۱۶۷/۸
۴	حاجی خوش	۳۳۹/۸	۵۸۱/۹	۱۶	کوسه کهریز	۲۱/۵	۲۹۱/۷
۵	خانقاه	۲۷/۹	۴۲۴/۰	۱۷	کیک‌آباد	۴۷/۷	۶۶۳/۸
۶	خورخوره	۱۱/۵	۱۶۵/۶	۱۸	گاپیس	۱۰/۵	۱۵۱/۲
۷	داره‌لک	۷۷/۳	۱۶۴۳/۰	۱۹	گرده یعقوب	۳/۰	۴۳/۲
۸	دریاس	۲۷/۵	۴۳۴/۷	۲۰	گوگ‌تپه	۶۵/۹	۲۱۱۷/۰
۹	قچی‌آباد	۹/۲	۱۲۵/۳	۲۱	لج	۱۰۹/۳	۱۴۸۸/۴
۱۰	قره‌خان	۴/۰	۶۴/۸	۲۲	یوسف‌کند	۱۸۷/۹	۲۶۵۹/۲
۱۱	قره‌داغ	۶/۶	۹۶/۵	۲۳	کهنه‌ده	۳/۵	۴۳/۲
۱۲	قره‌قشلاق	۲۱/۲	۳۱۲/۸	۲۴	گردگروی	-	۳۴/۶
جمع						۱۳۵۶/۲	۲۳۸۹۳/۲

مأخذ: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

آبرفتی و نقشه هم‌عمق سنگ کف دشت مهاباد مطابق شکل ۴ ارائه شده است. باتوجه به موارد ذکر شده رسوبات آبرفتی محدوده دشت را از جهت ذرات و ضخامت کم، که متأثر از رژیم حاکم بر محیط رسوب‌گذاری و فرآیندهای تکتونیکی بوده، می‌توان به سه پهنه تفکیک کرد: پهنه اول با سنگ کف از نوع آهک و مارن از ابتدای دشت و درجهت جنوب به شمال شروع شده و تا حوالی اراضی روستاهای گوگ‌تپه و قره‌خان ادامه دارد. ضخامت آبرفت، با رسوبات اکثراً ریزدانه نسبت به پهنه‌های دیگر بسیار کم بوده به طوری که در لوگ زمین‌شناسی چاه اکتشافی روستای اگریقاش به عمق ۳۱ متر می‌رسد. دومین پهنه در حد فاصل دو گسل، از محدوده اراضی نواحی روستاهای گوگ‌تپه و قره‌خان شروع شده و تا روستاهای گردیعقوب و قره‌قشلاق ادامه دارد. رسوبات این پهنه در عمق، شامل گراول و ماسه بوده و از نفوذپذیری بالایی برخوردار هستند، ضخامت آبرفت نیز نسبت به دو پهنه دیگر بسیار بالاست و تا عمق ۱۰۲ متر می‌رسد. از بخش‌های میانی پهنه به طرف شمال و انتهای دشت، ضخامت آبرفت کم شده

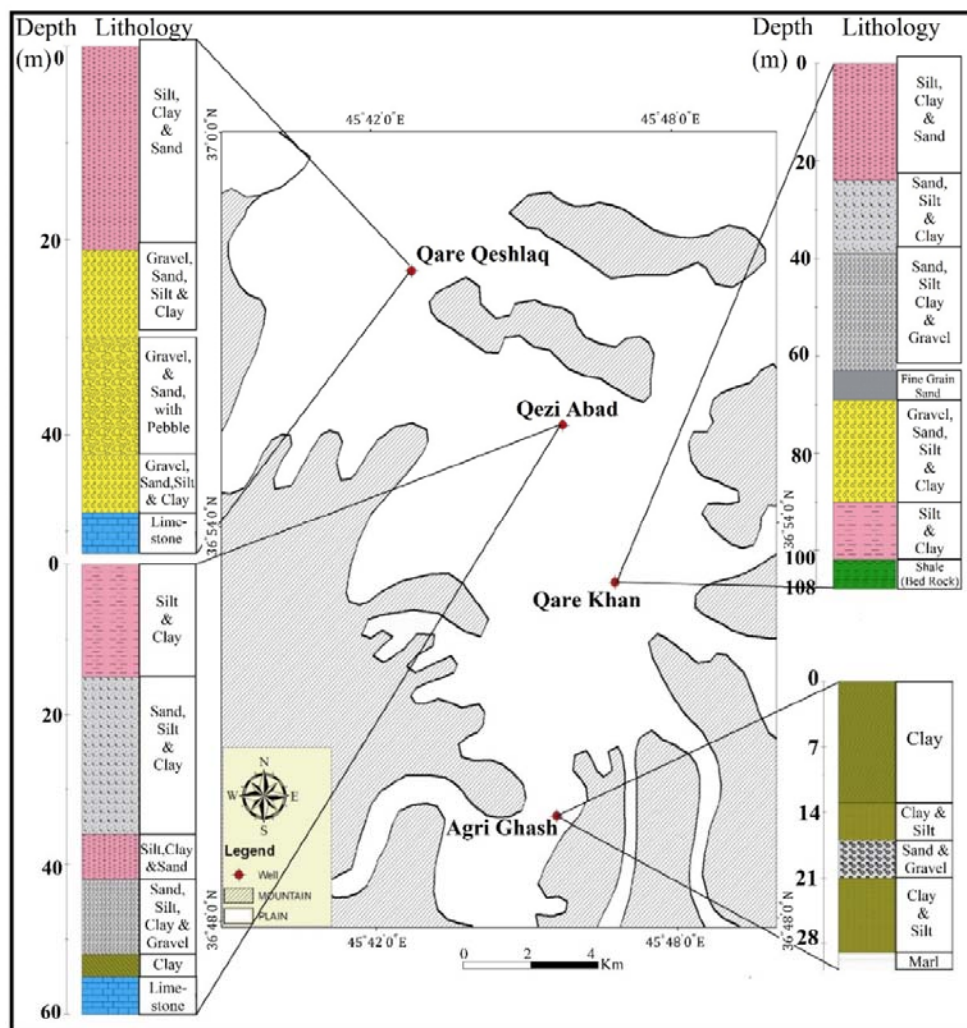
به جهت افزایش چاه‌های بهره‌برداری، تخلیه از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌ها بعد از تبخیر و تعرق، بیشترین درصد تخلیه را به خود اختصاص می‌دهد. مقادیر تخلیه از آبخوان، باتوجه به آمار موجود در منطقه ۲۳ Mm^3 است. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از چاه‌های اکتشافی دشت و بررسی چاه‌های موجود در محدوده دشت و باتوجه به رابطه ۳ مقدار جریان خروجی از جبهه موجود در محدوده بالادست منطقه قره‌قشلاق برابر $۳/۱۹ \text{ Mm}^3$ برآورد شد.

نتایج و بحث

براساس لاگ چاه‌های اکتشافی و شکل (۳) آبرفت منطقه از سطح زمین تا عمق ۱۰ متر عموماً ریزدانه و از نوع سیلت و رس با نفوذپذیری کم، از عمق ۱۰ تا عمق ۳۰ عموماً دارای لایه‌های سیلتی و رسی همراه با ماسه و از عمق ۳۰ متری به بعد رسوبات اکثراً درشت‌دانه و ترکیبی از گراول، ماسه‌سنگ، سیلت و رس است. می‌توان گفت که کل دشت به‌جز حاشیه دشت، دارای لایه‌های فوقانی با نفوذپذیری کم و لایه‌های تحتانی در قسمت بالای سنگ کف دارای نفوذپذیری بالا است. نقشه هم‌ضخامت رسوبات

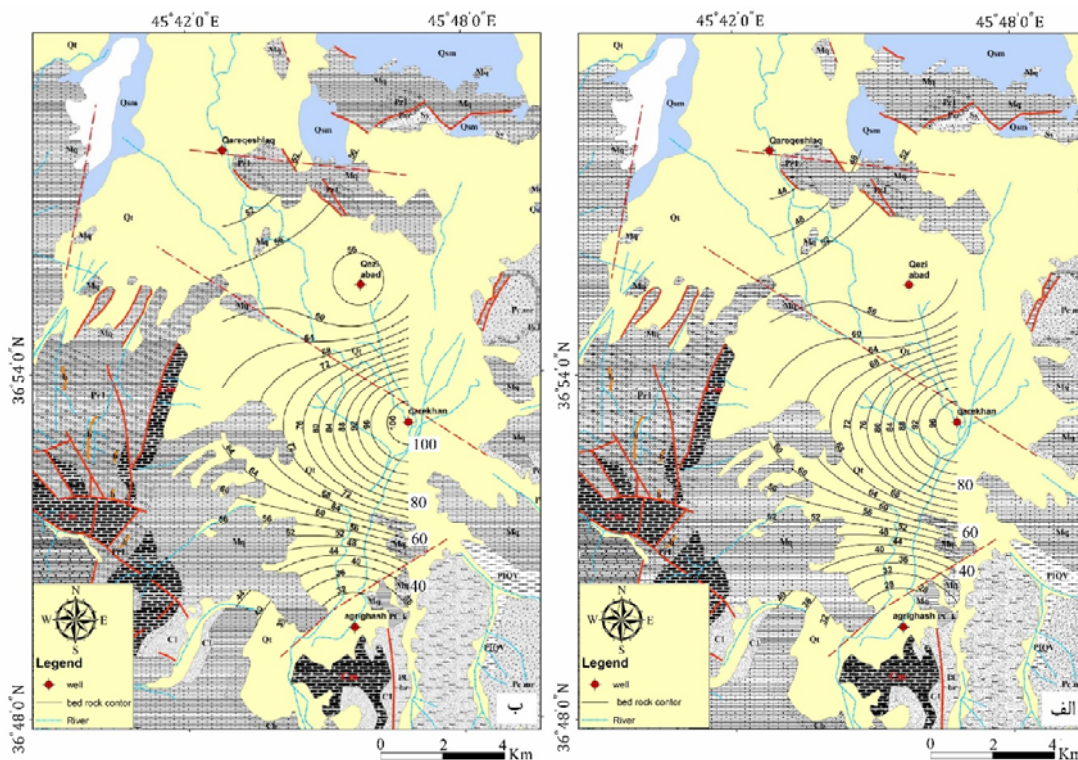
شوره‌زارها است؛ از جمله شوره‌زارهای قویی بابعلی و سیران‌گلی. براساس مشاهدات صحرایی، شیب بسیار کم توپوگرافی و شیب‌های معکوس باعث تمرکز آب و افزایش املاح و شور شدید رسوبات است. بالابودن سطح آب زیرزمینی و ناکارآمدی کانال‌های زه‌کشی نیز همه‌ساله باعث افزایش میزان شوری آب و خاک در این بخش شده است.

به‌طوری‌که در چاه‌های اکتشافی روستای قره‌قشلاق تا عمق ۴۸ متری کاهش پیدا می‌کند. براساس مطالعات سطحی سومین پهنه در شمال منطقه مطالعاتی و از روستای قره‌قشلاق و گردیعقوب به طرف دریاچه ارومیه است. در این بخش، وسعت رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای بسیار کم و محدود به امتداد بستر رودخانه مه‌باد می‌شود و بخش وسیعی از آن شامل رسوبات دانه‌ریز دریاچه‌ای و مردابی از نوع تبخیری و



شکل ۳: نقشه موقعیت چاه‌های اکتشافی در دشت مه‌باد همراه با ستون لاگ زمین‌شناسی آن‌ها

تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۹۰



شکل ۴: الف) نقشه هم‌ضخامت رسوبات آبرفتی دشت تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰

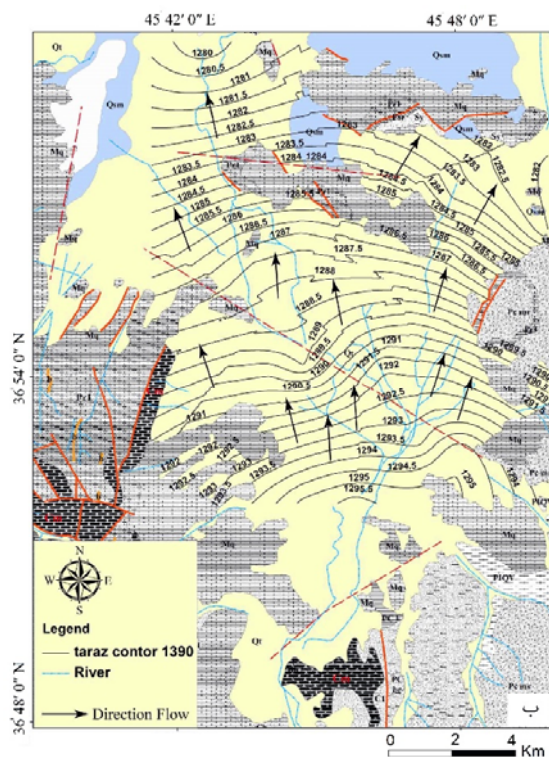
ب) نقشه هم‌عمق سنگ کف دشت مهاباد

براساس منحنی تراز سطح ایستابی فصول خشک و تر، جهت اصلی جریان آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال و در امتداد رودخانه مهاباد است. در بخش‌های میانی و انتهایی دشت جهت جریان تقریباً جنوب شرق - شمال غرب است که در خروجی دشت به سمت شمال تغییر می‌یابد. به علت وجود رشته‌کوه‌های بریده و منطقه‌های نفوذناپذیر (لنزهای مارنی) به‌ویژه در بخش‌های میانی و انتهایی دشت (محدوده جنوب و شمال روستای قره‌داغ) در جهت جریان آزاد و مستقیم آب زیرزمینی موانعی ایجاد شده است که باعث انحراف خطوط جریان آب زیرزمینی شده است. براین اساس شیب هیدرولیکی در جهت ورودی دشت ۱۲/۳ در هزار، در بخش میانی ۵/۲ در هزار و به‌طور متوسط ۰/۵ در هزار برای کل دشت قابل تعمیم است.

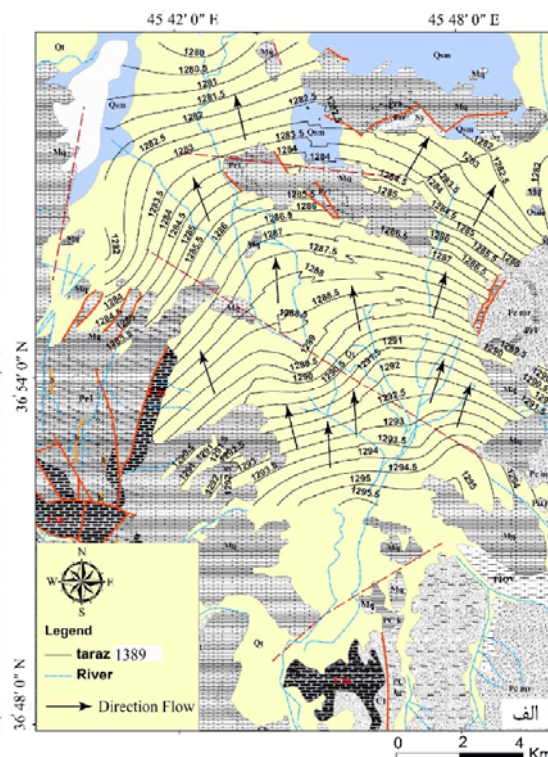
تراز سطح ایستابی برای سال آبی با حداقل تراز مهرماه ۱۳۸۹ و حداکثر تراز خردادماه ۱۳۹۰ مطابق شکل (۵) تهیه و بررسی شد. بیشترین ارتفاع تراز سطح ایستابی در جبهه ورودی دشت با مقدار ۱۳۹۵/۵ متر و با اختلاف ارتفاع ۱۵/۵ متر از پست‌ترین سطح تراز با مقدار ۱۲۸۰ متر در جبهه خروجی دشت است. از جبهه ورودی دشت تا بخش‌های میانی، رودخانه مهاباد باعث تغذیه آب زیرزمینی از بخش میانی دشت به طرف روستای قزل‌قویی در بخش انتهایی دشت به‌ویژه در فصول پرآبی، آب زیرزمینی باعث تغذیه رودخانه و آبراهه‌های فرعی می‌شود به‌طوری‌که در برخی مناطق رودخانه به‌صورت یک زه‌کش طبیعی عمل کرده و باعث تخلیه آب زیرزمینی می‌شود.

حداقل ۱ تا ۲ متر در شمال و جبهه خروجی دشت در روستای قره‌شلاق است، که در این مناطق تبخیر از آب زیرزمینی در طول زمان، باعث تشکیل شوره‌زارهای وسیع می‌شود. در کل دشت به‌طور میانگین عمق سطح آب بین ۲-۵ متر متغیر است.

براساس نقشه منحنی هم‌عمق سطح ایستابی دشت مه‌باد تهیه شده برای خردادماه ۱۳۹۰ و مهرماه ۱۳۸۹، حداکثر عمق برخورد به سطح ایستابی ۱۲ متر در جبهه ورودی جنوب شرقی دشت و در حاشیه ارتفاعات گوگ‌تپه و احتمالاً ناشی از بهره‌برداری بیش از حد سفره آب زیرزمینی است و

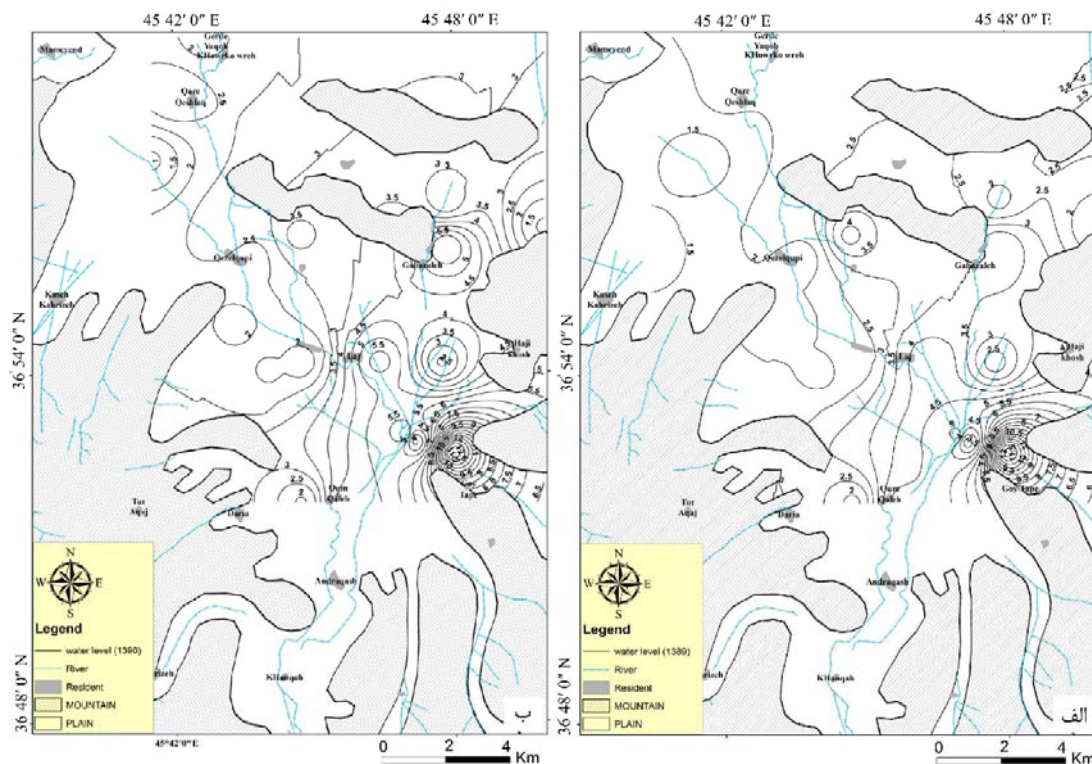


شکل ۵: الف) نقشه سطح تراز آب زیرزمینی ۱۳۸۹



ب) نقشه سطح تراز آب زیرزمینی ۱۳۹۰

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰



ب) نقشه هم‌عمق سطح ایستابی دشت مهاباد ۱۳۹۰

شکل ۶: الف) نقشه هم‌عمق سطح ایستابی دشت مهاباد ۱۳۸۹

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰

حداقل آن $510 \text{ m}^3/\text{d}$ در شمال دشت و روستای قره‌قشلاق می‌رسد. تفاوت قابل توجه ضریب قابلیت انتقال آب بین بخش‌های میانی و انتهایی دشت احتمالاً ناشی از تغییرات ضخامت لایه‌های آبدار بین این دو منطقه است، که این تغییر با نقشه هم‌ضخامت رسوبات آبرفتی، نیز هم‌خوانی دارد. ضریب ذخیره سفره، نمایانگر عکس‌العمل سطح آب مخزن در برابر تخلیه و تغذیه است. طبق محاسبات انجام‌یافته، ضریب ذخیره برای بخش‌های میانی دشت $3/1$ درصد و در جبهه خروجی روستای قره‌قشلاق $0/3$ درصد است و مقدار آن برای کل دشت را می‌توان ۲ درصد در نظر گرفت.

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی اکثراً از طریق چاه‌ها صورت می‌گیرد و علاوه بر آن چند دهانه چشمه، نیز از سازندهای سخت تخلیه می‌شود که

براساس بررسی‌های به عمل آمده مشخص شده است که بخش اعظم تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دشت مهاباد در جبهه ورودی و بخش‌های میانی دشت، توسط بستر رودخانه مهاباد و آبراهه‌های اطراف دشت صورت می‌گیرد. به عبارتی یک ارتباط هیدرولیکی بین سازندهای مختلف اطراف و رسوبات آبرفتی دشت وجود دارد. در سایر مناطق به علت بافت ریزلایه‌های فوقانی آبرفت و کاهش نفوذپذیری، تغذیه چندانی صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد بیشتر در ارتباط با کیفیت و کمیت سازندهای زمین‌شناسی، منابع آب سطحی، بافت خاک، تبخیر و اثرات پیشروی جبهه آب شور مرداب‌ها خواهد بود.

براساس جدول ۱ حداکثر ضریب قابلیت انتقال در بخش میانی دشت و چاه قره‌خان و $939 \text{ m}^2/\text{d}$

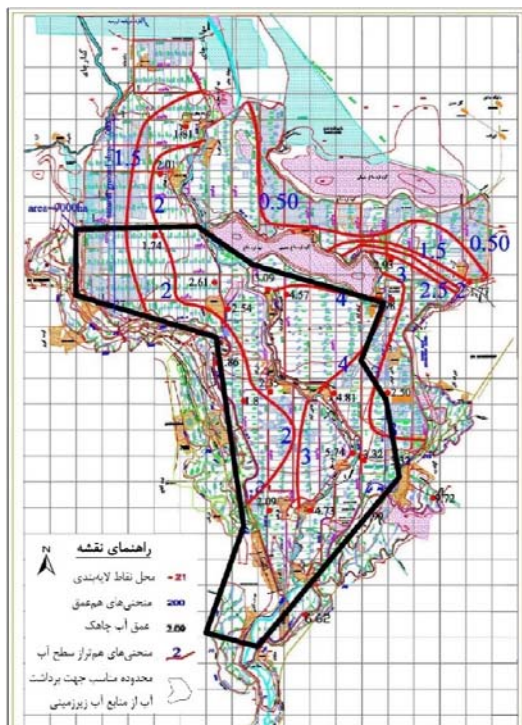
تبخیر از سطح زمین را شامل می‌شود، که این مقدار می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب منطقه و تلفیق آب زیرزمینی و سطحی با دقت کافی مدنظر قرار گیرد.

تغییرات سطح آب در تعدادی از چاه‌های دشت مهاباد مطابق شکل ۸ ارائه شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده سطح تراز آب، در چاه‌های مشاهده‌ای دشت مهاباد و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سفره آب زیرزمینی دشت مهاباد کاملاً اشباع بوده و تغییرات حجم مخزن در دوره بیلان ناچیز است. نتایج آنالیز تغییرات سطح آب و هیدروگراف پیژومترها نشانگر تغذیه کافی آبخوان از منطقه تغذیه است. محاسبه مقدار حجم تخلیه شده، سالانه توسط کانال‌های زه‌کشی از داده‌های ایستگاه‌های آبسنجی سد مخزنی در بخش ورودی دشت و از ایستگاه‌های آبسنجی گردیعقوب در بخش خروجی دشت، باتوجه به تراز عوامل ورودی و خروجی انجام شده است، که مقدار تخلیه برابر $25/4 \text{ Mm}^3$ برآورد شد.

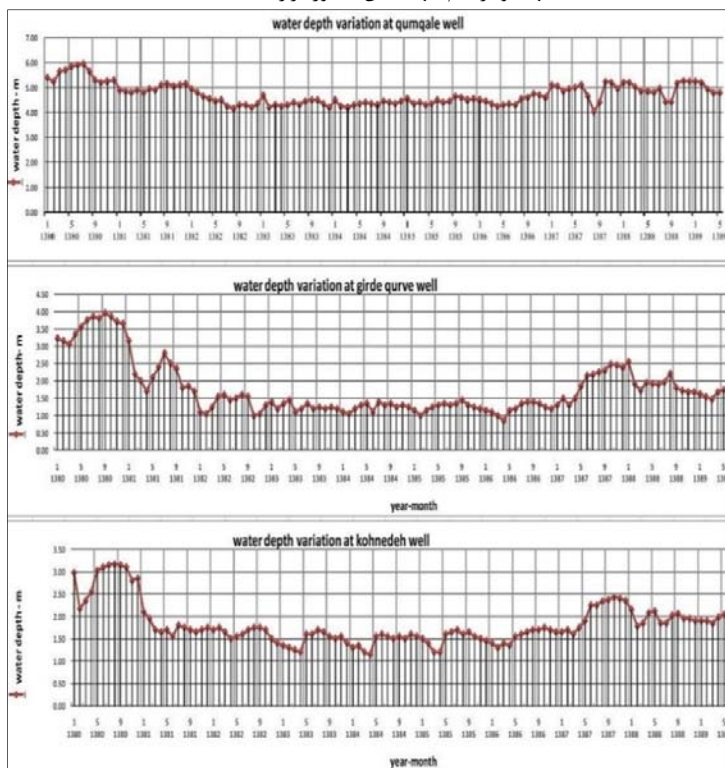
باتوجه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مهاباد؛ از قبیل ضخامت آبخوان، جهت جریان، مناطق تغذیه و تخلیه و دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی، مناطق مناسب جهت حفاری چاه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، در امتداد مسیر جریان رودخانه مهاباد از جنوب دشت به طرف شمال (شامل روستای اگریقا، قم‌قلعه، گوگ‌تپه و قره‌خان و همچنین مناطق شمال و جنوب شرق روستای دارلک تا انتهای اراضی روستای قزل‌قوپی) دشت است. قسمت‌های میانی دشت (ابتدای ارتفاعات سازند کربناته) و از روستای کیک‌آباد و قره‌داغ به طرف شمال و به‌ویژه شمال شرقی دشت به‌عنوان مناطق نامناسب جهت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است.

به‌جهت پایین‌بودن کیفیت آب آن‌ها، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. میزان تخلیه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت مهاباد (جدول ۴) توسط چاه‌ها $23/9 \text{ Mm}^3/\text{year}$ برآورد شده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش کیفیت نزولات جوی و افت کیفیت منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و انتهایی دشت، تعداد حفر چاه در دشت، به‌ویژه در مناطق ابتدایی دشت و حاشیه ارتفاعات افزایش یافته است.

باتوجه به مطالعات کیفی دشت، مهمترین راه جلوگیری از تهاجم آب شور به سفره آب شیرین، معین کردن میزان آب قابل برداشت از سفره آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی برای برداشت کمی پیش‌بینی‌شده به نحوی که سطح آب زیرزمینی از رقوم درنظر گرفته شده پایین‌تر نرود. باتوجه به منحنی‌های شکل (۷) رقوم سطح زمین در ابتدای محدوده ۱۳۰۰ و در انتهای محدوده ۱۲۸۵ و در انتهای شبکه ۱۲۷۷ است باتوجه به ضریب ذخیره دشت برابر ۳ درصد و شیب هیدرولیکی حدود ۲ متر و جهت تخلیه مناسب سفره و جهت جلوگیری از تداخل سفره‌های شور و شیرین حداکثر تراز آب زیرزمینی ۱۲۷۹ متر بوده و سطح آب زیرزمین در بالادست در وضعیت ماکزیمم برابر ۱۲۹۸ و در پایین‌دست برابر ۱۲۸۳ خواهد بود؛ بنابراین حجم سفره در این قسمت برابر 31 Mm^3 به‌دست می‌آید. باتوجه به حجم نفوذ حدود 40 Mm^3 که به‌دست آمده از محاسبات بیلان، جهت تعادل سفره و جلوگیری از نفوذ سفره‌های شور و شیرین رقم 31 Mm^3 به‌عنوان حداکثر پتانسیل تخلیه یا حجم قابل‌برداشت از آب‌های زیرزمینی، مورد توصیه و تأکید قرار می‌گیرد و تفاوت برابر 9 Mm^3 از این مقادیر به‌عنوان ضریب اطمینان جهت آب خارج شده توسط زه‌کش‌ها و



شکل ۷: منحنی های متوسط هم عمق آب زیرزمینی و محدوده مناسب جهت برداشت آب از منابع آب زیرزمینی تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور قراز آب، ۱۳۹۰



شکل ۸: تغییرات سطح آب در تعدادی از چاه های دشت مهاباد تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰

ایستگاه‌های موجود در محل سد مخزنی و ایستگاه گردیعقوب (خورخوره) انجام شده است که محاسبات مربوط به این قسمت، از عوامل تخلیه باتوجه به تراز عوامل ورودی و خروجی انجام می‌شود که مقادیر Qd1 و Qd2 به‌عنوان تعادل بین جریان‌های زه‌کشی رودخانه و زه‌کش‌های داش‌خانه و قره‌داغ به‌ترتیب برابر $12/8 \text{ Mm}^3$ و 10 Mm^3 برآورد شد.

بیان در دشت را می‌توان با درنظرگرفتن وضعیت اقلیمی مختلف و بهره‌برداری از شبکه محاسبه کرد. در این مطالعه، حالتی که بیشترین تطابق با شرایط بهره‌برداری وضعیت موجود برقرار است و اطمینان زیادی در جهت بهره‌برداری مداوم و بدون تغییرات خاص وجود دارد انتخاب شد. فرض بر این است که دبی‌های اتفاق افتاده در رودخانه، بارندگی و نیازهای آبی براساس احتمال وقوع ۷۵٪ محاسبه و در بیان جایگزین می‌شوند. این حالت نیز مورد توصیه سازمان FAO برای محاسبات نیاز آبی گیاهان است. بیان آب زیرزمینی منطقه، براساس داده‌های موجود مطابق فلوجارت ارائه شده در شکل ۱۰ محاسبه شد که نتایج نشانگر حالت تعادل آبخوان است.

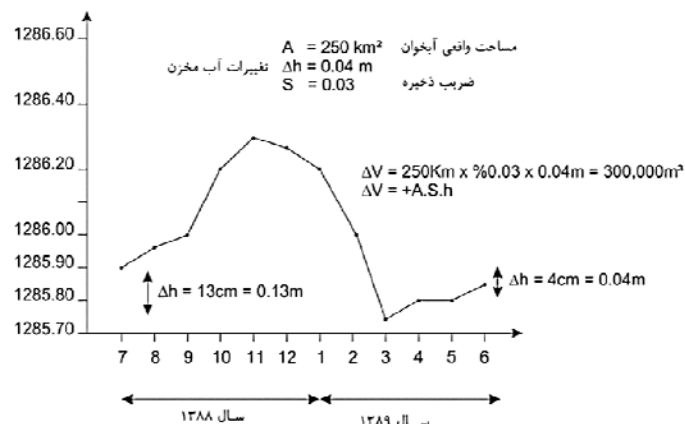
تغییرات حجم آب مخزن مطابق معادله بیان (رابطه ۱) به‌طور مختصر به‌صورت رابطه ۴ است که باتوجه به واحدهای معادله بیان تغییرات حجم مخزن معادل $\Delta V = +0/37$ میلیون متر مکعب است. رابطه ۴:

$$\Delta V = (5/1 + 8/8 + 8/8 + 34) - (3/19 + 23 + 12/4 + 17/44) = 0/37$$

تغییرات حجم مخزن آب زیرزمینی را می‌توان براساس رابطه ۲ نیز محاسبه کرد. در شرایطی که مساحت دشت (مساحت واقعی آبخوان) معادل Km^2 ۲۵۰ درنظر گرفته شود، مقادیر تغییرات حجم مخزن معادل $\Delta V = +0/3 \text{ Mm}^3$ برآورد شد (رابطه ۵). اختلاف رقم $\Delta V = +0/07 \text{ Mm}^3$ ناچیز بوده و ناشی از درصد خطا در محاسبات و میانگین واحدهای بیان می‌توان درنظر گرفت. رابطه ۵:

$$\Delta V = 0/04 \times 250 \times 10^6 \times 0/03 = 0/3$$

باتوجه به اینکه زه‌کشی منطقه از طریق رودخانه مه‌باد و توسط زه‌کش‌های داش‌خانه و قره‌داغ و گرده‌گروی انجام می‌گیرد؛ بنابراین مقادیر نسبی در بین آن‌ها باتوجه به دبی‌های اندازه‌گیری شده در



شکل ۹: هیدروگراف واحد دشت مه‌باد تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۹۰

منابع

- پورمحمدی، سمانه؛ محمدتقی دستورانی؛ علیرضا مسباح‌بوانی؛ هادی جعفری؛ محمدحسن رحیمیان (۱۳۹۴). مدلی برای تعیین اجزای بیلان آب سطحی و زیرزمینی دشت تویسرکان. مجله دانش آب و خاک. ۲۵(۳). ۲۸۲-۲۹۶.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۵). زمین‌شناسی ایران برای رشته جغرافیا، تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- رهنما، بهزاد؛ محسن ناصر؛ بنفشه زهرایی (۱۳۹۳). تشخیص ساختار بهینه و تحلیل عدم‌قطعیت مدل بیلان آبی ماهانه. مجله پژوهش آب ایران. ۸ (۱۴)، ۷۷-۸۶.
- مقیمی، همایون. (۱۳۸۸). آب‌شناسی کاربردی، تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور. ۲۶۱ صفحه.
- مهندسین مشاور فرازآب (۱۳۹۰). نقشه منحنی‌های متوسط تراز آب، مطالعات علاج‌بخشی و به‌سازی شبکه آبیاری و زه‌کشی مهاباد.
- وزارت نیرو (۱۳۸۹). راهنمای برآورد ضریب زه‌کشی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. مرکز داده‌ورزی و اطلاع‌رسانی. نشریه شماره ۴.
- Bastiaanssen, W. G. M. & Chandrapala, L. (2003). Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agricultural Water Management*, 58, 171-192.
- Chauvin, G. M., Flerchinger, G. N., Link, T. E., Marks, D., Winstral, A. H., & Seyfried, M. S. (2011). Long-term water balance and conceptual model of a semi-arid mountainous catchment. *Journal of Hydrology*, 400, 133-140.
- Fitts, Ch. R. (2002). *Groundwater science*. Academic Press, An Imprint of Elsevier Science, UK. 450 p.
- Gaur, S., Chahar, B., & Didier, R (2011). Grailot, Combined use of groundwater modeling and potential zone analysis for management of groundwater. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 13, 127-139.

قسمت‌های میانی دشت به‌طرف شمال و به‌ویژه شمال شرقی دشت به‌عنوان مناطق نامناسب جهت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است. آبخوان دشت مهاباد از لحاظ مناطق بهره‌برداری به سه منطقه تقسیم می‌شود، که در محدوده بسیار مناسب با در نظر گرفتن مقادیر مخروط افت، شعاع تأثیر و ضخامت آبخوان فاصله چاه‌ها از یکدیگر برابر با ۱۰۰ متر مناسب است. همچنین با در نظر گرفتن دبی میانگین چاه‌های اکتشافی، مقدار آب‌دهی سالانه هر چاه، حدود ۷۵۰ هزار مترمکعب در سال است.

نتایج این مطالعات نشان داد که مقدار آب قابل بهره‌برداری مجاز از آبخوان دشت مهاباد با در نظر گرفتن مساحت واقعی آبخوان دشت مهاباد (۲۵۰ کیلومتر مربع) و نقشه هم‌عمق سطح ایستابی در دوره بیلان به‌طور میانگین برای کل دشت معادل ۴ متر، حجم آب مجاز قابل بهره‌برداری، سالانه بدون ایجاد شرایط نامطلوب در حوضه آبخوان، معادل ۳۰ میلیون مترمکعب در سال است و رقوم مناسب سطح آب زیرزمینی در جهت جلوگیری از اختلاط آب‌های شور و شیرین ۱۲۷۹ متر است.

نتایج، نشانگر حالت تعادل آبخوان است و به‌این‌ترتیب مدیریت بهینه آبخوان و توسعه پایدار از آب زیرزمینی به‌منظور جلوگیری از ایجاد شرایط نامطلوب در حوضه آبخوان ضروری است. با توجه به کاهش بارندگی‌ها در سال اخیر و روی آوردن به آب زیرزمینی برای رفع نیازهای آبی منطقه، همچون کشاورزی می‌بایست مدیریت بهینه آبیاری و کاهش استفاده از آب زیرزمینی توجه داشت، تا به این وسیله بتوان منابع آبی دشت را حفظ کرد.

- Jacob, D. (2001). A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77(1-4), 61-73.
- Vrba, J., Hirata, R., Giraman J., Haie N., Lipponen A., Neupane B., Shah T., & Wallin B. (2006). Sustainability of Groundwater Resources and its Indicators. International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publicationl. No. 302.
- Njamnsi, Y. N. & Mbue, I. N. (2009). Estimation for ground water balance based on recharge and discharge: a tool for sustainable ground water management, zhongmu county alluvial plain aquifer, Henan province, china. *Journal of American Science*, 5(2), 83-90.
- Peranginangin, N., R. Sakthivadivel, N.R. Scott, E. Kendy & T.S. Steenhuis (2004). Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonesia. *Journal of Hydrology*, 292, 1-22.
- Ruud, N., Harter, T., & Naugle, A (2004). Estimation of groundwater pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated agricultural basin. *Journal of Hydrology* 297, 51-73.
- Sokolov, A. A. & Chapman, T. G. (1974). Methods for water balance computations, An international guide for research and practice. A contribution to the International Hydrological Decade, The Unesco Press, Place de Fontenoy, 75700 Paris. 127 p.
- Stephanie, K., Kamp, F., & Burges, S.J. (2010). Quantifying the water balance in a planar hill slope plot: effects of measurement errors on flow prediction. *Journal of Hydrology*, 380, 191-202.
- Thangarajan, M. (2007). Groundwater. Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management. 1st edition. Springer Netherlands. 362 p.
- Todd, D. K & Mays, L. W. (2005). Groundwater hydrology. John Wiley & Sons, New York. 535 p.
- Young, R. A. (1970). Safe yield of aquifers: An economic reformation. *Jour. Irrig. Div. Amer. Soc. Civil Engrs*, 96(4), 377-385.