

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 صادقی‌اقدام^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 پیرومتری 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 کمیت 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.

واژه‌های کلیدی: 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 ذخیره‌شده 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 به درستی 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 خواننده 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 آبی 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 آبراهه‌های 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

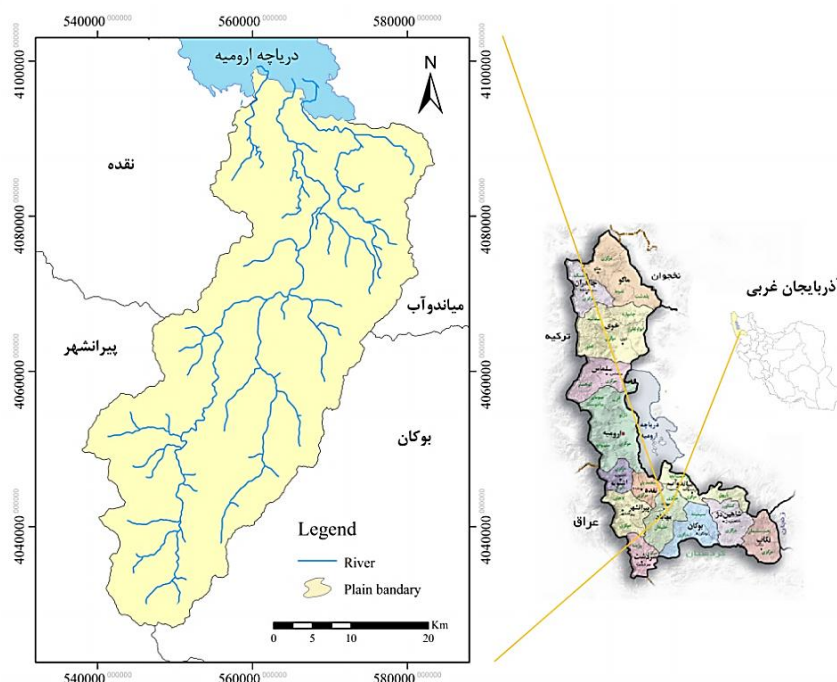
۱. منطقه مطالعاتی

- موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی دشت مهاباد به مساحت ۸۲۹ کیلومترمربع 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 (6: Vrba et al, 2006) 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 (84: Njamnsi & Mbue, 2009).

با مطالعه بیان 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 (مقیم، ۱۳۸۸: ۱۸۱). همچنین مطالعات بیان 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 قرارگیری دشت مهاباد

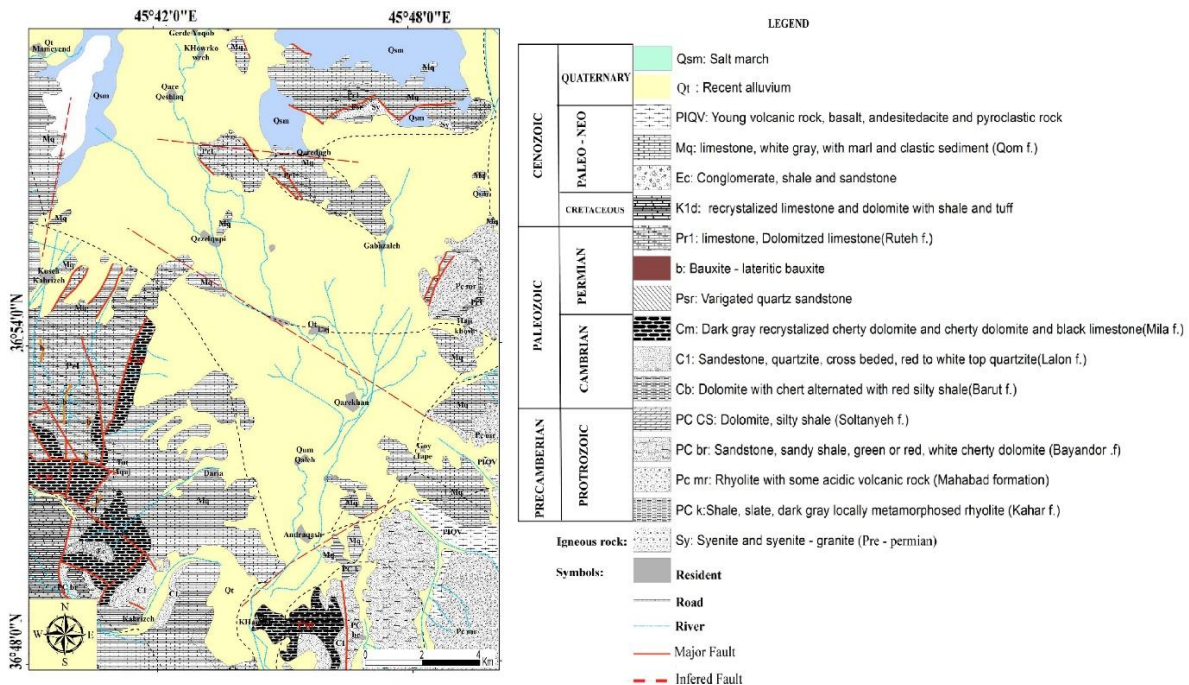
تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۸۹

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 کمیّت 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 کمیّت 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 آهک‌های این سازند باعث تشکیل لایه‌های آب‌دار معلق در نواحی مرتفع و دشت شده است. بازالت و

سازندهای زمین‌شناسی بسته به جنس، گسترش و ویژگی‌هایی همچون نفوذپذیری نقش عمده‌ای در ارتباط با کمیّت 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 رخمون بخش‌های جنوبی منطقه، به‌علت نفوذپذیری بسیار پایین و گسترش محدود آن اهمیت بسیار کمی بر کمیّت منابع آبی منطقه دارد. سازند مهاباد (Pcmr) در بخش جنوب و جنوب شرقی منطقه همراه با شیب تند توپوگرافی برونزدهای 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 چشمه‌های کارستیک شمال منطقه و بخش غربی

ضریب ذخیره پایین آبخوانها جریانات مداوم سطحی، سریعاً سفره آب زیرزمینی را اشباع کرده و بنابراین سطح آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف طغیانی و پرابی، 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.

برش‌های ولکانیکی (PIQV) به سن پلیوپلیستوسن واقع در بخش جنوب شرقی منطقه دارای نفوذپذیری بالایی هستند ولی به دلیل گسترش کم اهمیت چندان از لحاظ کمیت بر منابع آب منطقه ندارند. تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت در برخی مناطق، منحصرأ به بسترهای آبرفتی رودخانه مه‌باد (Qt) و افق‌های نفوذپذیر اطراف حاشیه دشت شامل رسوبات کواترنری (Qt و Qsm) محصور شده است. باتوجه به



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۸۹

آخرین حرکات فاز کوهزایی آلبی پیش از میوسن شکل گرفته‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۵).

گسل‌های اخیر که در حال حاضر بخش عمده آن‌ها در زیر پوشش آبرفتی دشت مدفون شده‌اند، عمدتاً هم‌رند با ساختارهای ژئومورفولوژیکی منطقه هستند. بررسی‌ها و مطالعات صحرائی 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 کم سفره 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 ۲۹ 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 ۱۰۲ 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 ۱۳۲۰ متر بوده و از آب‌وهوای معتدلی کوهستانی برخوردار است. ارتفاعات حواشی دشت، تأثیر کمی روی سفره آب زیرزمینی دارند ولی سنگ‌های دولومیتی‌پرمین 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 پیژومتری 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 بالاآمدگی 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	۱۲۹۵/۴۰	۱۲۹۵/۳۴	۱۲۹۵/۹۱	۱۲۹۵/۸۴	۱۲۹۵/۶۹	۱۲۹۵/۴۴	۱۲۹۵/۳۰	۱۲۹۵/۷۴	۱۲۹۴/۸۰	۱۲۹۴/۹۴
داره‌لک	۱۲۸۸/۹۵	۱۲۸۸/۲۶	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۲۰	۱۲۸۹/۴۰	۱۲۸۹/۲۹	۱۲۸۹/۲۱	۱۲۸۸/۹۴	۱۲۸۸/۲۷	۱۲۸۸/۴۷	۱۲۸۸/۵۱	۱۲۸۸/۶۴
قزل‌قویی	۱۲۸۷/۴۵	۱۲۸۷/۲۵	۱۲۸۷/۲۹	۱۲۸۷/۲۶	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	۱۲۸۱/۶۷	۱۲۸۱/۶۸	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	۱۲۸۵/۹۸	۱۲۸۵/۲۹	۱۲۸۵/۲۸	۱۲۸۵/۲۰	۱۲۸۵/۰۲	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 آب 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.

به منظور 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. باتوجه 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 پیزومترها و هیدروگراف واحد دشت

جدول ۲: مشخصات ضرایب هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی دشت مهاباد

ردیف	تاریخ آزمون	محل	عمق چاه (m)	ضریب قابلیت آبداری (m ² /d)	ضریب نفوذپذیری (m/d)	ضریب ذخیره (%)	ضریب آب‌دهی (m ³ /h)
۱	۱۳۴۴/۰۷	گوگ‌تپه	۵/۱۶	۲۲/۷	-	-	-
۲	۱۳۴۴/۰۷	لیج	۴/۹۸	۴/۹۸	-	-	۱/۵
۳	۱۳۴۴/۰۷	دانش‌خانه	۴/۵	۲/۹۹۵	-	-	۲
۴	۱۳۴۴/۰۷	قره‌قشلاق	۴/۴	۶/۸۱۳	-	-	۱/۹
۵	۱۳۴۴/۰۷	قم‌قلعه	۵/۶	۹/۹	-	-	۱/۵
۶	۱۳۴۴/۰۷	قزی‌آباد	۴/۲	۴/۲۳۶	-	-	۳/۱
۷	۱۳۴۴/۰۷	آگری‌قاش	۵/۳	۸/۲۷	-	-	۲/۱۵
۸	۱۳۸۹/۰۵	قره‌خان	۹۶	۹۳۹	۱۱/۲۵	۳/۱	۸۵/۵۴
۹	۱۳۸۹/۰۵	قجی‌آباد	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 درنهایت 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 درنهایت با متوسط‌گیری از آن‌ها نسبت آب تبخیریافته 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 اختصاص‌یافته به عمق‌های ۰/۵ تا ۳ متری انجام‌یافته و درنهایت 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 نفوذیافته، از طریق بارندگی، Q_r آب نفوذیافته از طریق جریان‌های سطحی آبیاری، Q_{sw} آب نفوذیافته از طریق پساب‌های شهری و صنعتی و بهداشتی، Q_{out} دبی خروجی از محدوده دشت، Q_{ex} آب تخلیه شده توسط چاه‌چشمه و قنوات، 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:

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

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: مهندسين مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

جدول ۴: تبخیر آب‌های زیرزمینی با توجه 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 تبخیر شده (Mm ³)

مأخذ: مهندسين مشاور فراز آب، ۱۳۸۹

نفوذ از جبهه ورودی با استفاده از داده‌های به دست آمده از چاه‌های اکتشافی دشت و بررسی چاه‌های موجود در محدوده دشت و باتوجه به فرمول دارسی (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 $۵/۱ Mm^3$ برآورد شد.

$$Q=TLI \quad \text{رابطه ۳:}$$

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 $۱۷۴ Mm^3$ ، مقدار $۱۳۰ Mm^3$ جهت مصارف کشاورزی و $۶ Mm^3$ برای مصارف شرب، صرف می‌شود، $۳۸ Mm^3$ در رودخانه جریان پیدا می‌کند، از مقدار فوق، $۸/۸ Mm^3$ به آبخوان نفوذ می‌یابد که شامل نفوذ از آب جاری در رودخانه و جریان‌های ناشی از فاضلاب در این مسیر است از مقدار $۱۷۴ Mm^3$ آورد، $۴۴ Mm^3$ در رودخانه جریان یافته و $۱۳۶ Mm^3$ جهت مصارف کشاورزی صرف می‌شود که از رقم فوق $۶۳/۶ Mm^3$ صرف تبخیر و تعرق شده و $۳۴ Mm^3$ 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 در نظر گرفتن توأم آبیاری سطحی (حالت رایج) و تحت فشار محاسبه شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹) و میزان نفوذ آب آبیاری به آبخوان ۲۵٪ در نظر 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	توت‌آغاج	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

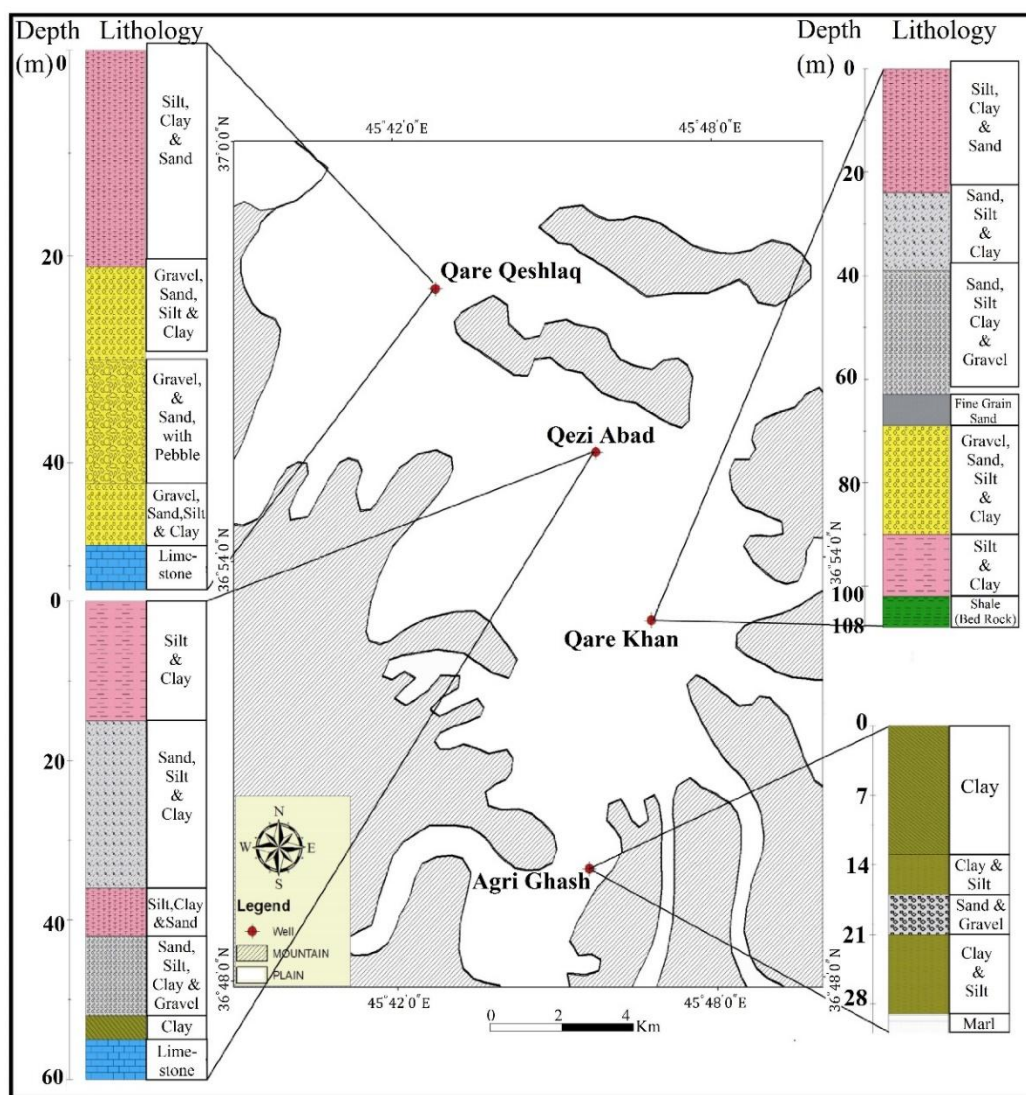
به جهت افزایش چاه‌های بهره‌برداری، تخلیه از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌ها بعد از تبخیر و تعرق، بیشترین درصد تخلیه را به خود اختصاص می‌دهد. مقادیر تخلیه از آبخوان، باتوجه به آمار موجود در منطقه ۲۳ Mm^3 است. با استفاده از داده‌های به دست آمده از چاه‌های اکتشافی دشت و بررسی چاه‌های موجود در محدوده دشت 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 به جز حاشیه دشت، دارای لایه‌های فوقانی با نفوذپذیری کم و لایه‌های تحتانی در قسمت بالای سنگ کف دارای نفوذپذیری بالا است. نقشه هم‌ضخامت رسوبات

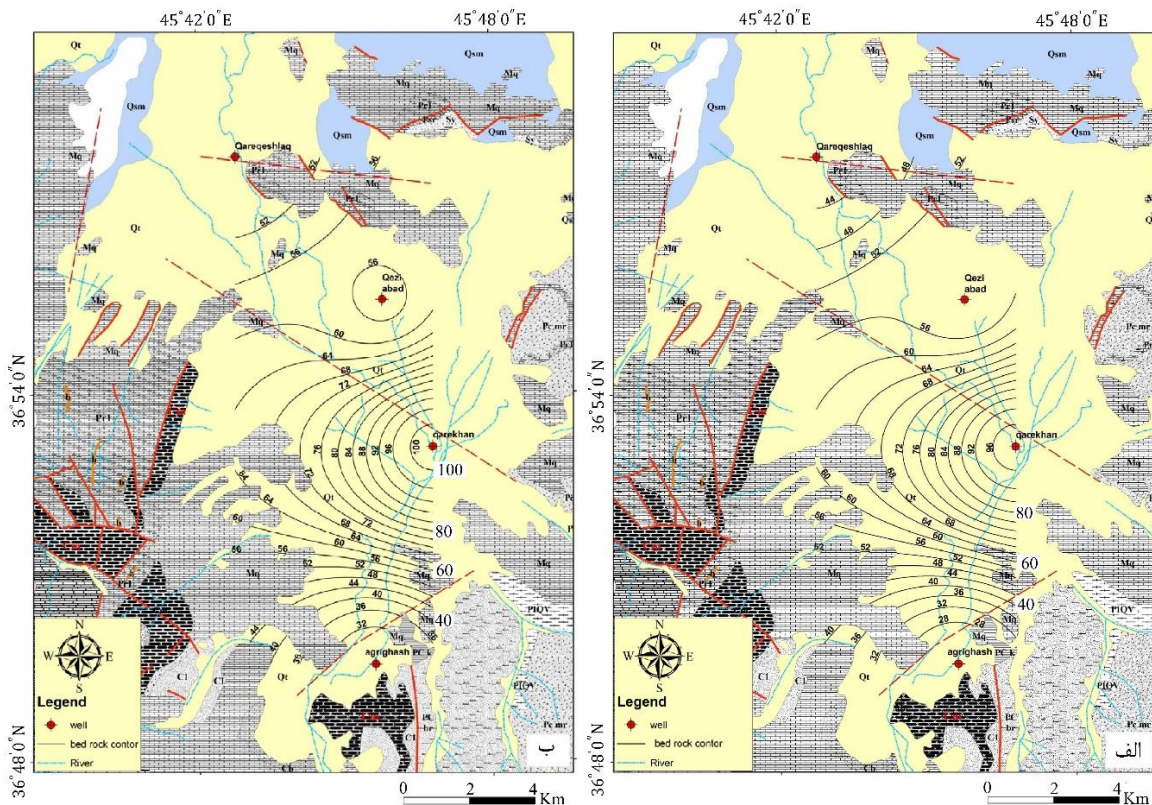
شوره‌زارها است؛ از جمله شوره‌زارهای قویی باباعلی و سیران‌گلی. براساس مشاهدات صحرائی، شیب بسیار کم توپوگرافی و شیب‌های معکوس باعث تمرکز آب و افزایش املاح و شور شدید رسوبات است. بالابودن سطح آب زیرزمینی و ناکارآمدی کانال‌های زه‌کشی نیز همه‌ساله باعث افزایش میزان شوری آب و خاک در این بخش شده است.

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 (ب) نقشه هم‌عمق سنگ کف دشت مه‌آباد

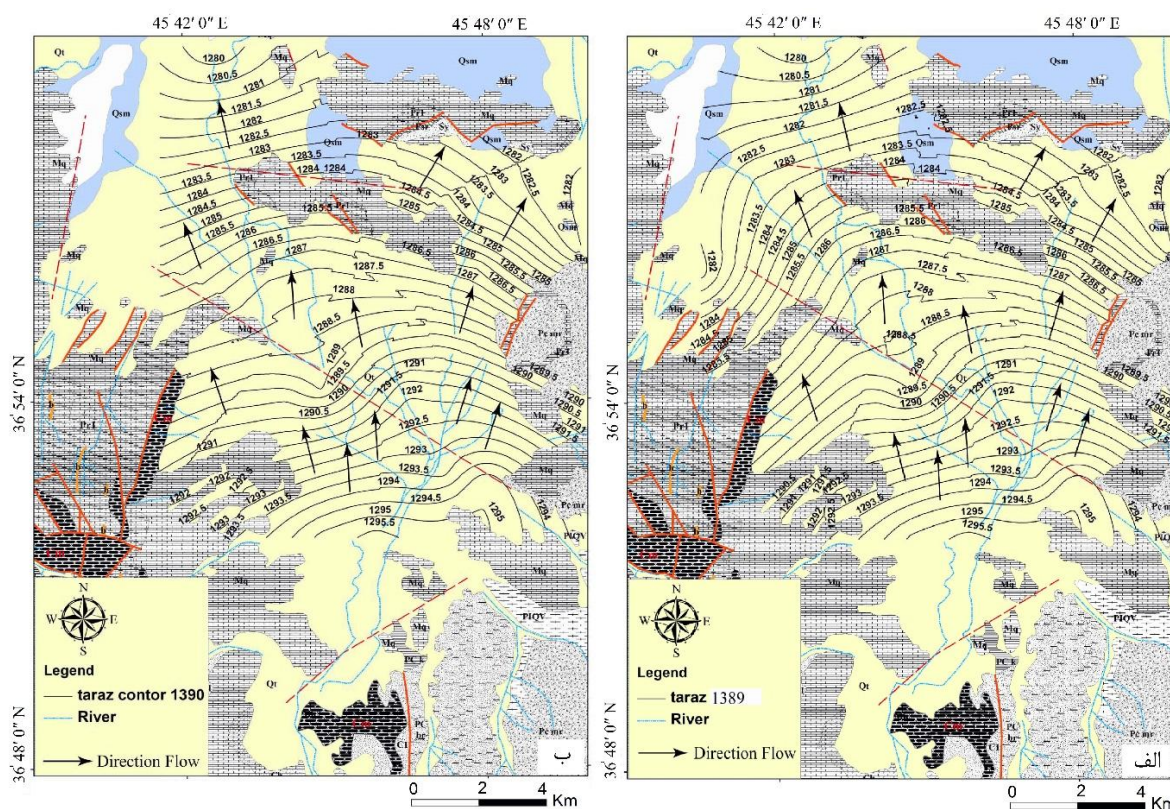
تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰

براساس منحنی تراز سطح ایستابی فصول خشک و تر، جهت اصلی جریان آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال و در امتداد رودخانه مه‌آباد 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 مه‌ماه 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 مه‌آباد 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 تا ۱ متر در شمال و جبهه خروجی دشت در روستای قره‌قشلاق 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.

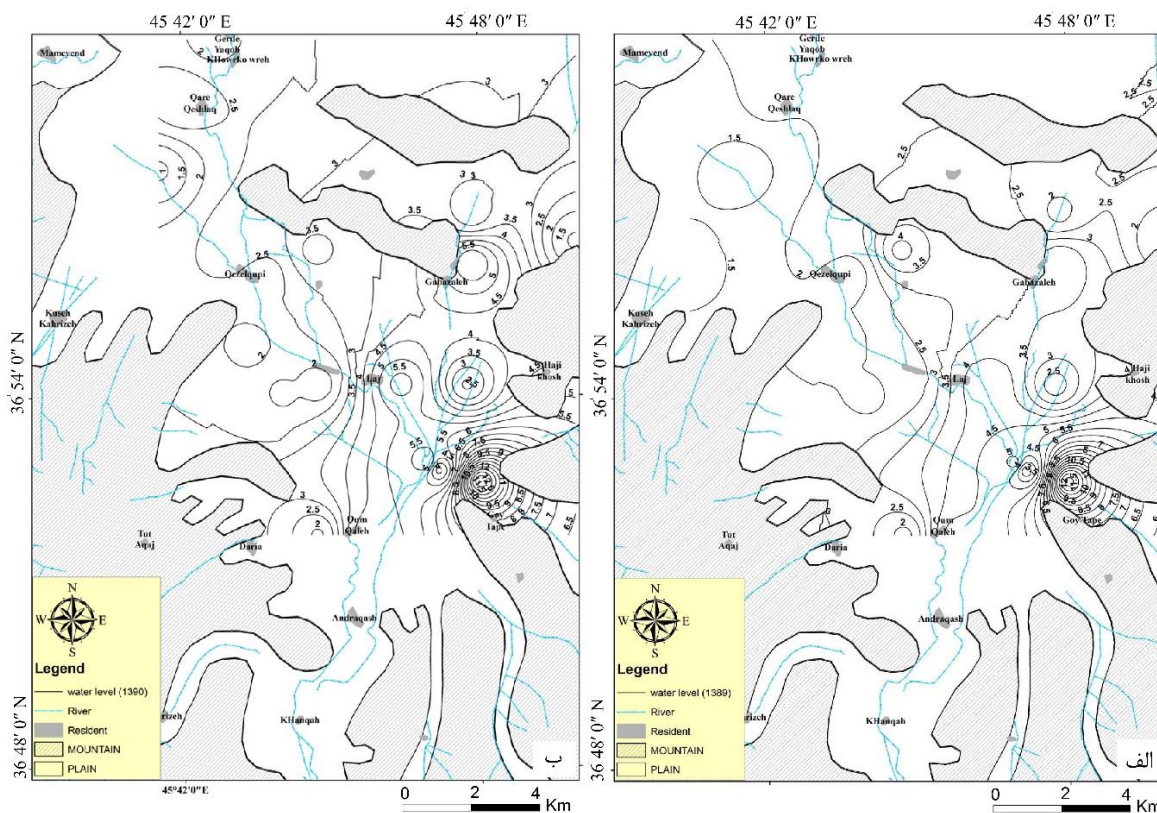
براساس نقشه منحنی هم‌عمق سطح ایستابی دشت مهاباد تهیه شده برای خردادماه ۱۳۹۰ و مهرماه ۱۳۸۹، حداکثر عمق برخورد به سطح ایستابی ۱۲ متر در جبهه ورودی جنوب شرقی دشت و درحالی‌که حاشیه ارتفاعات گوگ‌تپه و احتمالاً ناشی از بهره‌برداری بیش از حد سفره آب زیرزمینی است و



ب) نقشه سطح تراز آب زیرزمینی ۱۳۹۰

شکل ۵: الف) نقشه سطح تراز آب زیرزمینی ۱۳۸۹

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰



شکل ۶: الف) نقشه هم‌عمق سطح ایستابی دشت مهاباد ۱۳۸۹ ب) نقشه هم‌عمق سطح ایستابی دشت مهاباد ۱۳۹۰

تهیه و ترسیم: نوین پور، ۱۳۹۰

حداقل آن $510 \text{ m}^2/\text{d}$ 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 2 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 $939 \text{ m}^2/\text{d}$

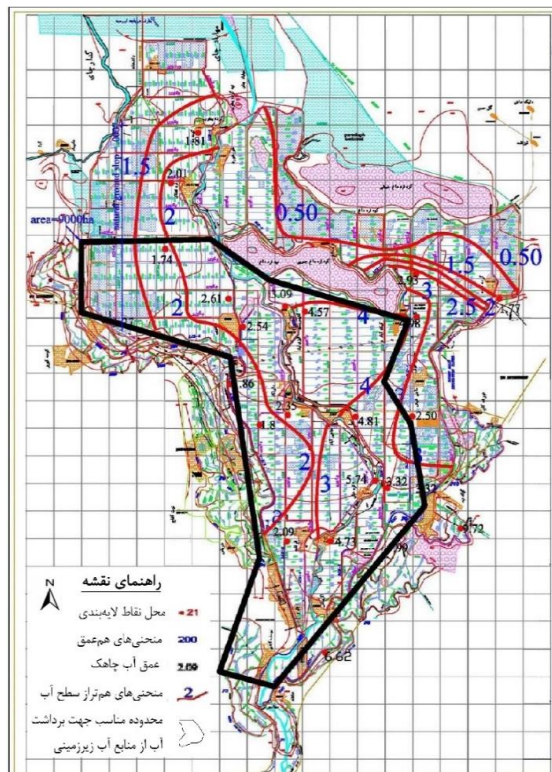
تبخیر از سطح زمین را شامل می‌شود، که این مقدار می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب منطقه و تلفیق آب زیرزمینی و سطحی با دقت کافی مدنظر قرار گیرد.

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 آبنجی سد مخزنی در بخش ورودی دشت و از ایستگاه‌های آبنجی 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.

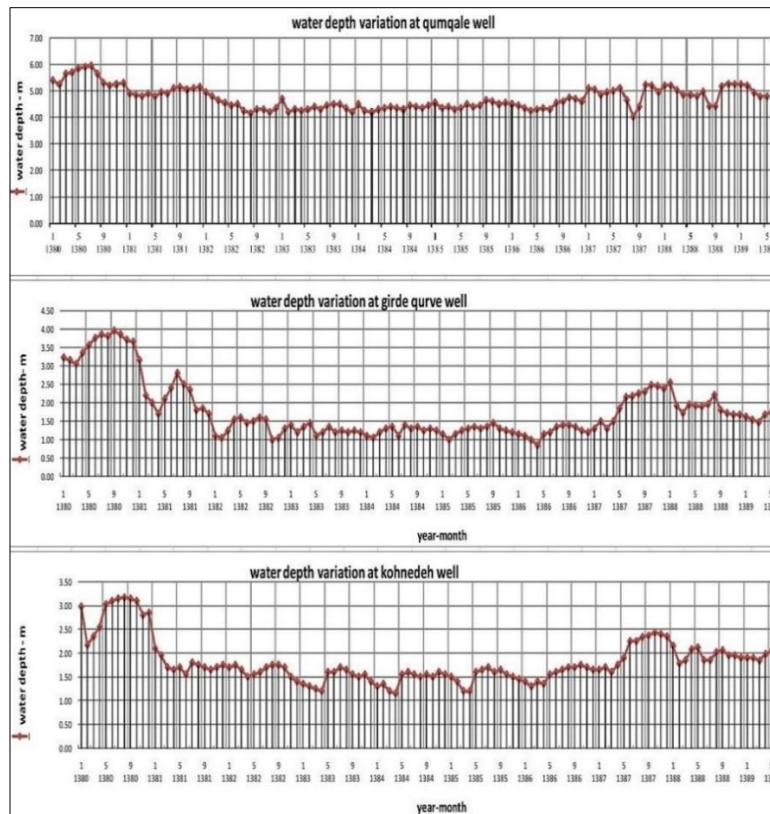
باتوجه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مهاباد؛ از قبیل ضخامت آبخوان، جهت جریان، مناطق تغذیه و تخلیه و دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی، مناطق مناسب جهت حفاری چاه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، در امتداد مسیر جریان رودخانه مهاباد از جنوب دشت به طرف شمال (شامل روستای اگریقا، قم‌قلعه، گوگ‌تپه و قره‌خان و همچنین مناطق شمال و جنوب شرق روستای دارلک تا انتهای اراضی روستای قزل‌قویی) 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، معین‌کردن 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: منحنی‌های متوسط هم‌عمق آب زیرزمینی و محدوده مناسب جهت برداشت آب از منابع آب زیرزمینی تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۹۰



شکل ۸: تغییرات سطح آب در تعدادی از چاه‌های 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 در نظر گرفتن 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:

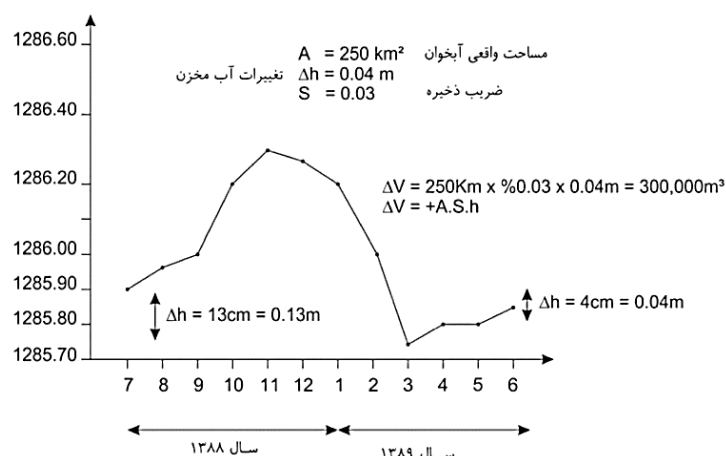
$$\Delta V = (5/1 + 8/5 + 8/8 + 34) - (3/19 + 23 + 12/4 + 17/44) = 0/37$$

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 در نظر 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 در نظر گرفت.

رابطه ۵:

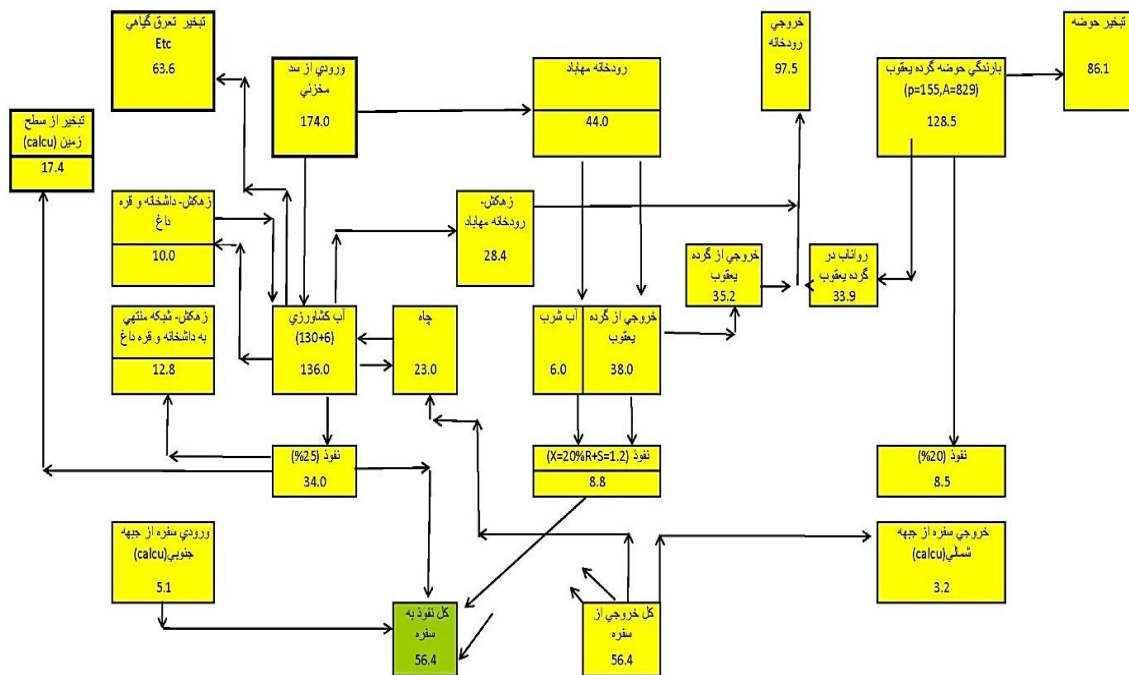
$$\Delta V = 0/04 \times 250 \times 10^6 \times 0/03 = 0/3$$

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 اندازه‌گیری‌شده در



شکل ۹: هیدروگراف واحد دشت مه‌باد

تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور فراز آب، ۱۳۹۰



شکل ۱۰: بیلان آبی دشت مهباد براساس آوردهای با احتمال ۷۵٪

تهیه و ترسیم: مهندسین مشاور فرارز آب، ۱۳۹۰

است. شناسایی مناطق مناسب در جهت تعیین موقعیت برداشت، عمق چاه‌ها و میزان برداشت از چاه، استفاده بهینه از آب زیرزمینی و در نظر گرفتن حداقل حجم قابل برداشت از سفره تضمین‌گر لازم، برای جلوگیری از بروز هرگونه عارضه نامطلوب، پایین نگه داشتن حجم زه‌آب‌ها و تولید محصول، مناسب خواهد بود. در محاسبات بیلان علاوه بر تخلیه، از چاه‌های موجود به‌عنوان یکی از پارامترهای پتانسیل تخلیه آبخوان، جریان زه‌کش شده از آبخوان به زه‌کش‌های شبکه و همچنین تبخیر آب‌های زیرزمینی از سطح زمین می‌تواند نشاگر کل پتانسیل سفره باشد، که حدود ۵۳/۲ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود. باتوجه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مهباد 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 مهباد از جنوب دشت به طرف شمال دشت است. همچنین

مطالعات دقیق‌تر و جامع‌تر آینده محدودۀ مطالعاتی به‌منظور مدیریت بهینه آبخوان و جلوگیری از ایجاد شرایط نامطلوب در حوضه ضروری است. نبود اطلاعات دقیق و کمی پارامترهای مطالعاتی برای کل دشت مهباد و همچنین فاصله زمانی زیاد با مطالعات پیشین، تغییر شدید پارامترهای آب، خاک و اقلیم، نسبت به زمان حال، دقت شناخت و تشخیص و درمان را کاهش می‌دهد. به‌این‌دلیل در آینده، انجام مطالعات و اکتشافات سطحی و زیرسطحی در مقیاس‌های بزرگ پیشنهاد می‌شود.

نتیجه

براساس مطالعات هیدروژئولوژیکی بیشترین نفوذپذیری و تغذیه آبخوان دشت مهباد از سازندهای روتی، قم و کواترنری است. همچنین نتایج حفاری‌های اکتشافی و بررسی‌های صحرائی در دشت مهباد منجر به شناسایی دو گسل مدفون شد که باعث تغییرات ناگهانی عمق سنگ کف و ایجاد فروافتادگی و تغییر ناگهانی مسیر جریان بستر رودخانه مهبادچای شده

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). ۲۹۶-۲۸۲.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۵). زمین‌شناسی ایران برای رشته جغرافیا، تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- رهنما، بهزاد؛ محسن ناصری؛ بنفشه زهرایی (۱۳۹۳). تشخیص ساختار بهینه و تحلیل عدم‌قطعیت مدل بیلان آبی ماهانه. مجله پژوهش آب ایران. ۸ (۱۴). ۸۶-۷۷.
- 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 کیلومترمربع) 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 به‌این ترتیب 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, NewYork.535 p.
- Young, R. A. (1970). Safe yield of aquifers: An economic reformation. *Jour. Irrig. Div. Amer. Soc. Civil Engrs*, 96(4), 377-385.

Geography and Development
16nd Year-No.51 – Summer 2018
Received: 12/01/2017 Accepted: 01/06/2017

The Assessment of Hydrogeological Characteristics and Sustainable Development of Groundwater of Mahabad Plain Aquifer

Dr. Esfandiar AbasNovinpour

Assistant Professor of Geology

University of Urmia

Fariba Sadeghi Aghdam

Ph.D Student of Hydrogeology

University of Tabriz

Introduction

Hydrogeological study of groundwater is important in order to accurately understand the characteristics of the aquifer and its behavior (Fitts,2002; Todd & Mize,2005). So that the prediction of the stored water volume and extractable water from an aquifer depends on the accurate estimation of hydrogeological parameters. The results of detailed hydrological studies of groundwater resources in a semi-arid country such as Iran can lead to the use of proper methods for exploitation of these resources and ultimately, to be consumed correctly and with the highest efficiency.

The main subjects of the quantitative monitoring of groundwater include the study of factors such as groundwater level, the discharge of selective utilization resources and the discharge of groundwater resources, which can be achieved by analyzing the changes in these factors over time and combining the results (Thangarajan, 2007) .

In most cases, extraction of groundwater resources is excessive in terms of recharge amount and leads to a dangerous trend in aquifer conditions (Niamnsi & Mbue, 2009). The water balance is a quantitative issue of groundwater that is very important in development design issues and water resource management (Fetter, 1994; Gaur et al, 2011). Also, aquifer water balance studies can be used for optimal management of surface and groundwater resources (Peranginangin et al, 2004), application of its equations for pumping experiments in aquifers (Ruud et al., 2004), discharge forecasting calculations (Stephanie et al,2010), and reducing damage caused by floods and droughts.

Previous studies on the groundwater resources of Mahabad plain was limited. Also, studies have not covered the entire plain area and is mainly related to the early parts of the plain. Therefore, the need for more and comprehensive studies in this plain is necessary.

In the study area of Mahabad plain various formations have different hydrodynamic characteristics due to the lithological variation that play an important role in recharging and discharging of groundwater aquifers.

Study of various geological formations is one of the basic requirements of hydrological studies in terms of Lithological effects on the quantity and quality of groundwater and the role of geological structures in relation to the formation of hydrodynamic units .

The recognition of different geological formations in terms of lithology effects, the quantity and quality of groundwater and the role of geological structures in relation to the formation of hydrodynamic units is one of the essential requirements of hydrogeological basic studies.

Considering that a large part of the aquifer recharging is carried out by the Mahabad river bed and the streams around the plain also due to the hydraulic relationship between different formations and alluvial deposits of the plain, the quantity and quality of groundwater resources of the Mahabad plain in relation to land formations Has been studied.

Methods and Material

The study area of the Mahabad Plain with an area of 829 km² located in the Northwest of Iran, In the West Azerbaijan province and the Southern part of Urmia Lake (Figure1) .

Geology

Geological formations have a major role in relation to the quantity of groundwater resources, depending on lithology, expansion and characteristics such as permeability.

The Formation of Pck, Pcb and Pccs with its outcrops in the southern parts of the region, due to its very low permeability and limited expansion, has little importance on the quantity of water resources in the region. Pcmr Formation in the southern and southwestern part of the region, along with the topographic steep slope of rocky outcrop contains the formation water. The karstic structures of the Pr 1 formation, along with seam, split and fracture systems, have increased the permeability of this rock unit and the formation of karstic springs in the north of the region. The low permeability of Shale and Tuff of the Cretaceous is indicative of the low importance of this unit for quantity and quality of the water resources of the region.

Qum Formation (Mq) forms the dominant lithology of the region, which has a very important role in recharging groundwater aquifer with high permeability due to the tectonic processes and gaps. Groundwater recharge of plain is enclosed exclusively in all areas of the Mahabad River (Qt) and the permeable horizons surrounding the plain boundary, including Quaternary sediments (Qt and Qsm) in some areas.

Structural features

The structural patterns in the region are the result of various tectonic events from the Precambrian to the Quaternary. Current structures of Mahabad plain have formed the last movements of the Alpine orogeny phase before Miocene.

Field studies in Mahabad plain led to the identification of two burial faults

Hydrology and Hydrogeology

Mahabad Plain is part of the Urmia Lake Basin. The altitudes of the plain margins, have little effect on the groundwater aquifer. However, Permian dolomitic rocks and Oligomiocene horizons are somewhat effective in recharging of the plain margine, due to the presence of joints and fractures and the possibility of the presence of karst phenomena. Recharging the aquifer take place throughout the year from the altitudes and through the Mahabad River bed with continuous flow.

Using the combination of exploratory drilling results and field studies, it has been determined that the main structure of Mahabad plain consists of the occurrence of alluvial deposits of rivers and Lakes' fine-grained terraces.

The groundwater aquifer in this plain is unconfined with a thickness of 30 to 90 meters. The main direction of the flow is from the south to the north and in the direction of the flow of the Mahabad River.

Data Analyses

For the purpose of hydrogeological studies, determination of the aquifer characteristics and water balance, the data obtained from the Regional Water Authority of the West Azarbaijan Province has been of great help. The systematic observations of piezometric wells have been used to study the fluctuations and the depth of the water table.

In order to study the hydrogeological properties of the Mahabad plain aquifer, hydrodynamic coefficients of aquifer, as well as all the recharge and discharge factors necessary for calculating the groundwater balance were considered. To calculate the water balance of the plain, long-term average data were used at the dam site of the Mahabad River and the Gherd Yaghoub hydrometeorological station. Also, the water table, unit hydrograph of the piezometer, and the unit hydrograph of the plain, drawn using the statistical period, and is used in calculations.

In order to calculate the Mahabad plain water balance in the corresponding calculations, the area between the dam reservoir (beginning part of the plain) and the Gherd Yagub Measuring station (end part of the plain) with the area of 829 Km² has been used.

Results and Discussion

According to the exploratory well logs, it can be said that the whole plain except the plain border has upper layers have low permeability and lower layers at the top of the bedrock have high permeability. Alluvial deposits of the plain area can be divided into three zones due to the particle size and thickness, which is influenced by the flow regime governing sedimentation and tectonic processes.

Based on the isopotential contour of the water table for the dry and wet seasons, the main direction of the groundwater flow is from the south to the north and along the Mahabad River. Based on the isopotential contour of the water table depth in Mahabad plain, the maximum depth of the water table is 12 meters in the southeastern at the entrance to the plain and at least 1 meter of the north at the end part of the plain. In this area evaporation from groundwater over time causes massive salt marsh .

The quantity and quality of groundwater resources in the Mahabad plain will be more related to the quality and quantity of geological formations, surface water resources, soil texture, evaporation, and the effects of the advent of the saltwater frigate marshes. Based on the studies, it has been determined that most of the recharge of the Mahabad aquifer is in the input and middle parts of the plain, with the Mahabad River bed and the streams around the plain.

The significant difference in the transmissivity between the middle and the end parts of the plain is probably due to changes in the thickness of the layers between these two regions, which correlates with the related isopach map of alluvial deposits.

The aquifer specific storage coefficient is the reaction of the reservoir's water table against recharge and discharge. According to the calculations, the specific storage for the entire plain can be considered as 2%.

Measuring of water table and the result of the studding hydrograph of piezometers, indicate that the groundwater aquifer of Mahabad plain is completely saturated and changes in the reservoir volume during the water balance period are negligible.

Considering the hydrogeological characteristics of the aquifer of Mahabad plain such as aquifer thickness, flow direction, recharge and drainage areas and other hydraulic features, suitable areas for drilling extraction wells for utilization of groundwater are along the flow basin of the Mahabad River from the south to the north part of the plain.

The change in the volume of the reservoir was calculated according to the water budget equation and million cubic meters. Water balance in with regard to the parameter's unit was calculated to be +0,37 .the plain can be calculated considering different climatic conditions and extraction of the network In this study, the state of the situation was chosen which has the most adaptation conditions of the existing situation and there is a high degree of certainty of continuous extraction without any particular changes.

Conclusions

According to hydrogeological studies, the most permeability and aquifer recharge of Mahabad plain is due to the Ruteh, Qom and Quaternary formations. Also, the results of exploratory drilling and field surveys in Mahabad plain led to the identification of two hidden faults, which caused sudden changes in the depth of the bedrock and the formation of depression and abrupt changes in the flow path of the Mahabad River bed.

Identification of suitable areas for determining extracting areas, depth of wells, the rate of extracting from the well, the optimal use of groundwater with regarding to the minimum capacity of the aquifer extraction, are an appropriate guarantee for preventing any adverse effects, keeping the drainage volume down and producing the crop.

The optimal use of groundwater and taking into account the minimum volume to be removed from the table, the guarantee necessary to prevent any adverse events, keeping down the drainage volume forms and producing the appropriate product.

According to the results of the studies, considering the actual area of the aquifer of Mahabad plain (250km²) and the average depth of the water table in the water balance period (4m), the permissible annual allowable extraction water in the aquifer area is equivalent to 30Millions of cubic meters per year. And to prevent mixing of brine and fresh water the value of groundwater table is 1279 meters.

The results indicate the aquifer balance state. In this way, optimal aquifer management and continuous development of groundwater are necessary in order to prevent adverse conditions in the aquifer area.

Considering the reduction of rainfall in recent years and in order to fulfilling the Water requirement of the area such as agriculture, optimal management of irrigation and reduction of groundwater use should be considered, in order to preserve the water resources of the plain.

Keywords: Groundwater, Hydrogeological characteristics, Mahabad Plain, Sustainable development, Water balance.

References

- 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.
- Darvishzadeh, A (1996). *Geology of Iran for geography*. Tehran, Payam Noor University Press. In Persian.
- Faraaz Ab Consulting Engineers (2011). Water balance average curves map, curative studies and improvement of irrigation and drainage network of Mahabad. In Persian.

- Fitts, Ch. R. (2002). Groundwater science. Academic Press, An Imprint of Elsevier Science, UK. 450p.
- 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 and Geoinformation, 13, 127-139.
- 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.
- Ministry of Energy (2010). Guidelines for estimating drainage coefficient in irrigated lands in arid and semiarid regions. Publication, Deputy Director of Strategic Planning and Control, President of the Center, Data and Information Center, No.492. In Persian.
- Moghimi, H (2009). Applied Hydrology. Tehran, Payam Noor University Press. In Persian.
- Niamnsi, 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), 40-83.
- 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.
- Poormohammadi, S., Dastorani, M. T., Masah Bavani, A. R., Jafari, H., Rahimian, M. H (2015). A model for determination of surface and groundwater balance components In Tuyserkhan Plain. Water and soil science, 25(3), 282-296. In Persian.
- Rahnoma, B., Naseri, M., and Zahrai, B (2014). Identifying optimized structure and uncertainty analysis of monthly water balance model. IWRJ, 8(14), 77-86. In Persian.
- 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. Springer Netherlands.
- DOI, 8-5729-4020-1-97810, 1007
- Todd, D. K & Mays, L. W (2005). Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, New York. 5535p.
- Young, R. A (1970). Safe yield of aquifers: An economic reformation. Jour. Irrig. Div. Amer. Soc. Civil Engrs, 96(4), 377-385.