



## تعیین هدایت هیدرولیکی بر اساس قابلیت انتقال تصحیح شده و تأثیر تراکم چاه‌ها و مازاد برداشت آب بر آبخوان دشت شبستر

محمد خالدي<sup>۱</sup>، ابوالفضل مجنونی هریس<sup>۲\*</sup>، احمد فاخری فرد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

\* نویسنده مسئول: majnooni1979@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷

### چکیده

دشت شبستر در شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع شده که به منظور مطالعه آب زیرزمینی و به دست آوردن ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان این دشت، آزمایش‌های پمپاژ بر روی چاه‌های بهره‌برداري و اکتشافی موجود در منطقه صورت گرفته است. با تعیین و تعمیم پارامتر قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی به محدوده مورد مطالعه می‌توان بهترین مکان‌ها برای استحصال آب زیرزمینی را تعیین نمود و از وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیر به آبخوان بر اثر برداشت نامتعارف جلوگیری به عمل آورد. برای افزایش صحت و دقت آزمایش پمپاژ، بایستی چاه‌های انتخابی از نوع کامل بوده و به طور کامل در داخل آبخوان حفر شده باشند اما به علت در دسترس نبودن ضخامت آبخوان در هنگام حفاری، بسیاری از چاه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های پمپاژ از نوع ناقص بوده و با ایجاد مقاومت در برابر جریان ورودی به چاه‌های ناقص، مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده کمتر از واقعیت برآورد می‌شود. در این تحقیق پس از محاسبه دقیق سنگ بستر با کمک سونداژهای الکتریکی و لاگ‌های حفاری، ضخامت آبخوان در محل چاه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های پمپاژ تعیین و ضریب قابلیت انتقال چاه‌هایی که به صورت ناقص حفر شده بودند با رابطه کوزنی تصحیح گردید. سپس هدایت هیدرولیکی محاسبه و برای تمام محدوده مطالعاتی بسط داده شد. میانگین ضریب قابلیت انتقال کل آبخوان دشت شبستر برابر ۴۱۰ مترمربع بر روز و متوسط هدایت هیدرولیکی آن ۴/۵۲ متر بر ثانیه تعیین گردید. بررسی موقعیت و برداشت چاه‌های بهره‌برداري و تأثیرگذاری این روند استحصال بر روی تراز آب زیرزمینی دشت شبستر، نشان داد که تراکم چاه‌های بهره‌برداري در مناطقی که آبخوان دارای هدایت هیدرولیکی نسبی کمتری می‌باشد افت موضعی شدیدی در تراز آب زیرزمینی آبخوان این دشت ایجاد نموده است.

واژه‌های کلیدی: آزمایش پمپاژ، تراز آب زیرزمینی، ضریب کوزنی، هیدروگراف.

### مقدمه

هیدرولیکی است که با مشخص بودن ضخامت آبخوان (b) و ضریب قابلیت انتقال (T) آن تعیین می‌گردد. ضریب قابلیت انتقال پارامتری است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می‌دهد و به دلیل تغییر دانه‌بندی و ضخامت لایه آبدار در نقاط مختلف آن متغیر است (شمسائی، ۱۳۹۱). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک برداشت از آب‌های

جهت بررسی و تصمیم‌گیری در مورد آب‌های زیرزمینی، شناخت آبخوان یکی از پراهمیت‌ترین موارد در این رابطه به حساب می‌آید که این خود مستلزم به دست آوردن ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان و شرایط ژئوفیزیک آن می‌باشد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان، ضریب هدایت

رسیدند که تراز هیدرولیکی محاسبه شده توسط مدل با مقادیر مشاهده شده در محل کلیه پیژومترها مطابقت خوبی دارند. اسلام و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم و اثرات بشری بر وضعیت آب زیرزمینی و بازبینی روش‌های ارائه شده برای ارزیابی پرداختند و در نتیجه، تأثیر تغییر اقلیم بر آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار دادند. دواندل و همکاران (۲۰۱۷) با انجام آزمایش‌های هیدرولیکی بر روی آبخوانی در منطقه کالوندینای جدید، ضمن ارائه نقشه هدایت هیدرولیکی و مشخص نمودن ناهمگونی این آبخوان، نقشه‌ای برای قابلیت انتقال این منطقه ارائه نمودند که از این نقشه‌ها می‌توان به‌عنوان نقطه شروعی برای مدل‌سازی استفاده نمود. ونگ و همکاران (۲۰۱۷) با به دست آوردن هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی اشباع نمونه‌های لس برداشت شده از شیب‌های شمال فلات جینگ‌یانگ به وسیله آزمایش با بار متغیر به بررسی تنوع فضایی این پارامتر که منجر به نفوذ آب و ایجاد لغزش در این محل می‌شود پرداختند. جورج و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه ایالت اوبولوی شرقی در نیجریه به تخمین پارامترهای هیدرولیکی به وسیله سونداژ الکتریک پرداختند. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) با بهره‌گیری از اطلاعات ژئوالکتریک با پتانسیل‌یابی منابع آبی کارستی، تخمینی برای محل‌های مناسب حفر چاه ارائه داده‌اند. برزگر و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش‌های مختلف فازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز را بهینه‌سازی نمودند. آن‌ها به وسیله متغیرهای هیدرولیکی و سایر خصوصیات کمی آبخوان، نقشه نهایی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را تهیه و با وزن‌دهی، شاخص دراستیک را محاسبه کردند. در مطالعه دیگری آبدار اصفهانی و کلانتری (۱۳۹۲) برای بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت قم، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان شامل ضریب ذخیره و قابلیت انتقال را اندازه‌گیری و تغییرات این ضرایب در بخش‌های مختلف دشت را تعیین کردند. مرادی و اسپهند (۱۳۹۰) طی تحقیقی وضعیت هیدروژئولوژی دشت جایدرد در لرستان را برای تعیین خصوصیات

زیرزمینی به دلیل عدم اطلاعات کافی بهره‌برداران از وضعیت آبخوان با آبدهی منطقه و تغذیه آبخوان مطابقت نداشته و این عدم تعادل خسارات جبران‌ناپذیری را بر وضعیت آب زیرزمینی و در نهایت بر معیشت کشاورزان و بهره‌برداران وارد خواهد ساخت. برای تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌ها، از آزمایش پمپاژ که یکی از معتبرترین و متداول‌ترین روش‌هاست و شرایط بخش بزرگ‌تری از سفره آبدار را منعکس می‌کند، استفاده می‌شود (تاد، ۱۹۸۷ و والتون، ۱۹۸۰). آزمایش پمپاژ روشی متداول برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان است که به وسیله برداشت آب از یک چاه با یک دبی ثابت یا متغیر و مشاهده تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی در یک یا دو چاه مشاهده‌ای دیگر با یک فاصله مشخص از چاه اصلی یا ثبت اندازه‌گیری سطح آب در چاه پمپاژ صورت می‌گیرد (غفوری خرائق، ۱۳۹۱). از نتایج آزمایش پمپاژ می‌توان در چاه‌های کشاورزی یا بهره‌برداری که تقریباً دارای شرایط چاه کامل (چاه‌هایی کاملاً نفوذپذیر که عمق آن‌ها تا کف آبخوان بوده و نماینده یک زون هیدروژئولوژیکی هستند) باشند، برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان استفاده می‌گردد (کرسیک، ۲۰۰۷). با این حال به علت هزینه‌بر بودن عملیات حفاری و ایجاد چاه‌های جدید، اغلب برای انجام آزمایش پمپاژ از چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری موجود در منطقه استفاده می‌شود؛ اما اکثر این چاه‌ها به علت در دسترس نبودن ضخامت آبخوان به صورت ناقص حفاری شده و قابلیت انتقال محاسبه شده این چاه‌ها از طریق آزمایش پمپاژ نیاز به اصلاح دارند. عابدی و گلابچیان (۱۳۹۴) ضرایب هیدرودینامیکی منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز کوهپایه - سگری را با استفاده از مدل MODFLOW برآورد کردند. در تحقیق فوق پس از تهیه لایه‌های ورودی به مدل، متغیرهای مؤثر در مدل‌سازی شرایط مرزی و شبکه‌بندی آبخوان، اقدام به اجرا و واسنجی مدل در حالت ماندگار و غیرماندگار نموده و هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه یا ضریب ذخیره (S) آبخوان را تعیین کردند. آن‌ها همچنین به این نتیجه

هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی این منطقه بررسی کردند. در حوضه دریاچه ارومیه یکی از دشت‌های بحرانی از نظر آب زیرزمینی دشت شبستر می‌باشد. به دلیل برداشت بیش از اندازه آب برای مصارف باغات در بسیاری از نقاط این دشت بخصوص در منطقه وایقان آثار تخریب سفره در غالب نشست زمین و سینک‌هول‌ها آشکار شده است. در شکل ۱ نمونه‌ای از نشست زمین در مقایسه با یک چاه پیژومتری نشان داده شده است. هدف از این تحقیق بررسی تراکم چاه‌های برداشت، تعیین و اصلاح قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی و ارتباط آن‌ها با تراز سطح ایستابی در آبخوان دشت شبستر می‌باشد.

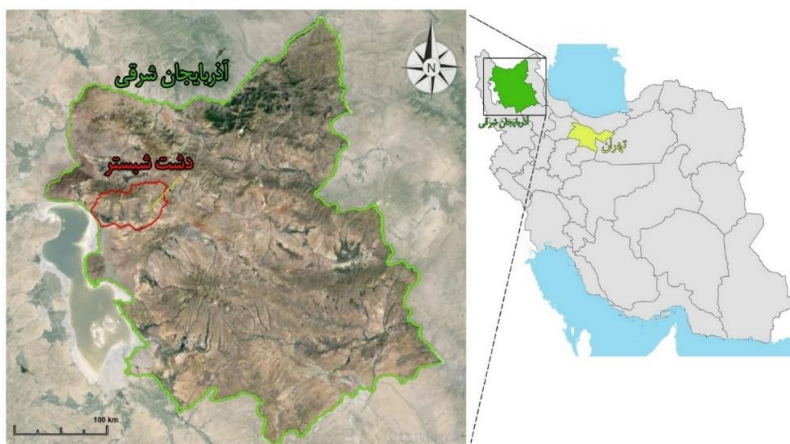


شکل ۱- نشست زمین در منطقه وایقان دشت شبستر.

دشت و ۶۱۶/۷ کیلومترمربع را نیز ارتفاعات تشکیل می‌دهند. این محدوده، از طرف شمال به حوضه زیلبرچای مرنده، از غرب به محدوده مطالعاتی تسوج، از شرق به تبریز و از جنوب به دریاچه ارومیه و پهنه‌های نمکی - رسی محدود می‌شود. طبق مطالعات انجام گرفته، آبخوان این دشت از نوع آزاد (بی‌نام ۱۳۹۳) و به وسعت ۴۸۴/۶ کیلومترمربع در قسمت جنوبی این دشت گسترش یافته است. در شکل ۲ موقعیت دشت شبستر در کشور و استان نشان داده شده است.

#### مواد و روش‌ها

دشت شبستر در غرب استان آذربایجان شرقی و یکی از زیر حوضه‌های ۲۵ گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که در ۶۰ کیلومتری غرب شهرستان تبریز واقع شده است. بزرگ‌ترین نواحی مسکونی این محدوده، شهرهای شبستر، صوفیان، خامنه و شندآباد است. مساحت کلی این محدوده ۱۲۵۴/۷ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۲/۴۲ درصد کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه را در بر می‌گیرد. از این میزان ۶۳۸ کیلومترمربع مربوط به وسعت



شکل ۲- موقعیت دشت شبستر در استان و کشور.

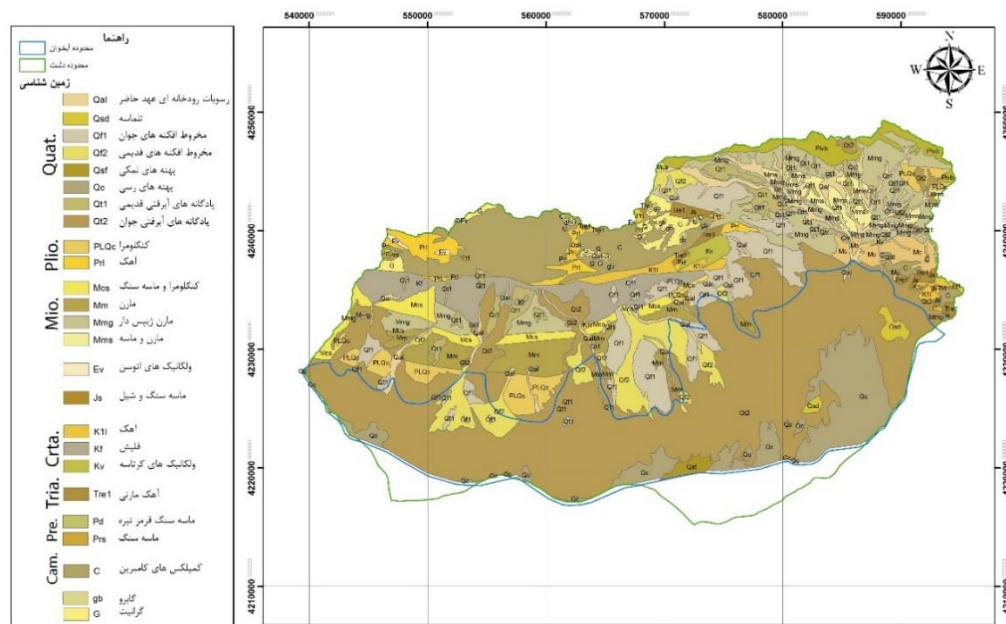
## ساختار آبخوان

به واحد سنگ رس-سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرا متعلق به عهد حاضر می‌باشد. در ارتفاعات محدوده مطالعاتی با وسعت ۵۴۲ کیلومترمربع سازندهایی که امکان ذخیره آب در آن‌ها ایجاد شده شامل سنگ‌های آهکی کرتاسه، سازند الیکا، سازند روته و سازند تیزکوه است. رسوبات تبخیری متعلق به میوسن با وسعت ۱۰۷ کیلومترمربع باعث کاهش کیفیت منابع آب موجود در این محدوده مطالعاتی گردیده‌اند.

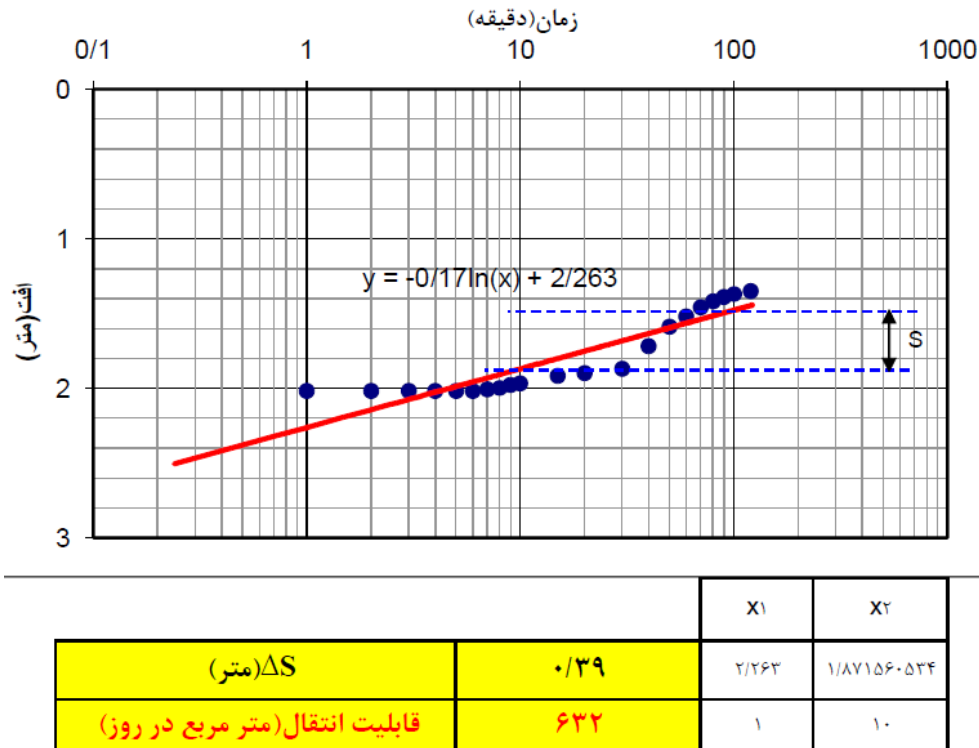
### محاسبه قابلیت انتقال

جهت به دست آوردن قابلیت انتقال آبخوان دشت شبستر، اطلاعات تعداد ۴۱ حلقه چاه بهره‌برداری و مشاهده‌ای که به منظور انجام آزمایش پمپاژ به کاررفته بودند از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ای از داده‌های آزمایش پمپاژ که نشان‌دهنده قابلیت انتقال در منطقه ایقان می‌باشد در شکل ۴ آورده شده است. این چاه‌ها به صورت نسبتاً مناسبی در دشت شبستر پراکنده شده بودند. در این مطالعه مقادیر ضریب قابلیت انتقال از روش‌های مناسب مثل منحنی‌های افت- زمان و روش ژاکوب (ژاکوب، ۱۹۵۰) با استفاده از اطلاعات حاصل از آزمایش پمپاژ محاسبه شد.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ارائه شده در شکل ۳ محدوده مطالعاتی شبستر- صوفیان نشان می‌دهد که این محدوده در بین رشته‌کوه میشو و شوره زاری قرار گرفته که جداکننده آن از دشت تبریز می‌باشد. بیشتر سازندهای زمین‌شناسی پیرامون این دشت از مارن و ماسه‌سنگ‌ها به وجود آمده که ناتراوا و یا دارای تراوایی کم هستند. رواناب‌های سطحی کوه میشو از راه تعدادی رودخانه، مسیل و آبراهه به سمت دشت شبستر- صوفیان و در آخر به سمت دریاچه ارومیه جریان می‌یابند. همراه این رواناب‌های سطحی، آبرفت به این دشت وارد و در نقاط مختلف آن ته‌نشین گردیده‌اند و تحت تأثیر فرسایش ناشی از این رواناب‌ها، تعدادی دره آبرفتی درون سازندهای زمین‌شناسی به وجود آمده که می‌توان به دره‌های داریان، شانجان و سیس اشاره نمود (بی‌نام ۱۳۹۳). وسعت رسوبات ناپیوسته در سطح محدوده مطالعاتی مذکور ۷۸۱ کیلومترمربع و وسعت سازندهای سخت در این محدوده مطالعاتی ۴۷۴ کیلومترمربع می‌باشد. قدیمی‌ترین سنگ‌های محدوده مطالعاتی مربوط به شیل و اسلیت سازند کهر متعلق به پرکامبرین می‌باشد. وسیع‌ترین واحد زمین‌شناسی با وسعت ۱۱۷ کیلومترمربع مربوط



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی دشت شبستر.



شکل ۴- محاسبه قابلیت انتقال حاصل از آزمایش پمپاژ در منطقه وایقان شبستر.

کوزنی، قابلیت انتقال چاه‌های ناقص تصحیح گردید و هدایت هیدرولیکی منطقه به دست آمد. کوزنی (کوزنی، ۱۹۳۳) با دخیل کردن این کاهش تقریبی، برای اصلاح قابلیت انتقالی که از آزمایش پمپاژ در چاه‌های ناقص به دست می‌آید فاکتور زیر را ارائه داده است:

$$F = \frac{L}{b} \left[ 1 + 7 \cos \left( \frac{\pi L}{2b} \right) \sqrt{\frac{r}{2L}} \right] \quad [1]$$

که در آن  $F$  فاکتور اصلاح کوزنی،  $b$  ضخامت کل آبخوان،  $r$  شعاع چاه و  $L$  عمق حفر چاه در آبخوان می‌باشد. قابلیت انتقال تصحیح‌شده نیز با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

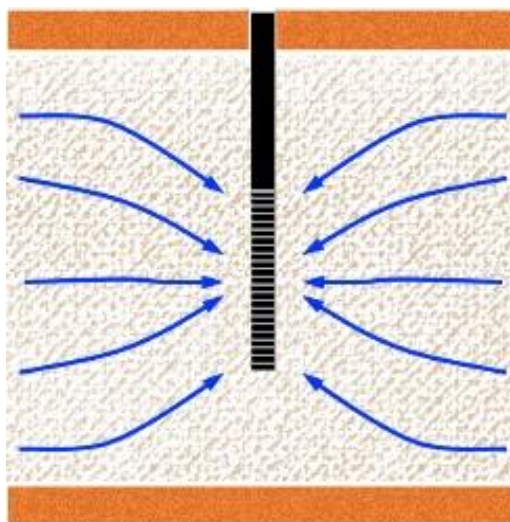
$$T = T' \times \frac{1}{F} \quad [2]$$

که در آن  $T'$  قابلیت انتقال به دست آمده از آزمایش پمپاژ،  $F$  ضریب تصحیح کوزنی و  $T$  قابلیت انتقال تصحیح‌شده می‌باشد.

تعیین ضرایب هیدرودینامیکی لایه‌های آبدار به روش پمپاژ بر اساس فرضیاتی از جمله در نظر گرفتن افقی جریان در لایه آبدار و حفر کامل چاه در لایه آبدار استوار است (صفوی، ۱۳۹۰) ولی با توجه به اینکه اکثر چاه‌های مزبور تمامی ضخامت سفره را قطع نکرده‌اند و جزء چاه‌های ناقص بشمار می‌آیند، لذا ضریب قابلیت انتقال به دست آمده برای آن‌ها کمتر از مقدار واقعی محاسبه شده است. در شرایطی که چاه در آبخوان به طور کامل نفوذ نکرده و جریان ورودی با مقاومت جزئی مواجه خواهد بود. حفاری ناقص چاه در آبخوان باعث به وجود آمدن جریان عمودی در مجاورت چاه می‌شود و این به نوبه خود باعث از دست دادن بار آبی در پمپاژ است (شکل ۵).

زمانی که چاه فقط در بخشی از آبخوان حفر شود، متوسط طول مسیر جریان افزایش می‌یابد به طوری که جریان با مقاومت بیشتری مواجه می‌شود. به همین علت برای محاسبه دقیق‌تر قابلیت انتقال پس از برآورد ضخامت آبخوان با استفاده از رابطه





شکل ۵- شماتیک ایجاد جریان عمودی در مجاورت چاه‌های ناقص.

ابتدا ضخامت آبخوان دشت شبستر محاسبه و به کمک نتایج به دست آمده از لاگ‌های حفاری پیژومترهای موجود در منطقه تدقیق گردید. نمونه‌ای از لاگ حفاری چاه مشاهده‌ای واقع در منطقه آق کهریز دشت شبستر در شکل ۶ آورده شده است. همچنین پس از محاسبه تراز سنگ کف، خطوط هم ضخامت آبخوان تعیین و نتایج آن در شکل ۷ ارائه شد.

با توجه به توپوگرافی کم شیب منطقه، عمده تغییرات ضخامت آبخوان به علت پستی و بلندی‌های سنگ کف پدید آمده است. با بررسی عمق چاه‌های پمپاژ، ضخامت آبخوان و همچنین محاسبه ضخامت اشباع در محل چاه‌ها و در زمانی که آزمایش پمپاژ صورت گرفته، ضریب قابلیت انتقال در چاه‌هایی که به صورت کامل در آبخوان نفوذ نکرده بودند و ناقص محسوب می‌شدند اصلاح و نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه گردید. با توجه به ضخامت آبخوان محاسبه‌شده از تعداد ۴۱ چاه مورد آزمایش، فقط ۱۱ مورد در تمام ضخامت آبخوان حفر شده‌اند که نیازی به محاسبه ضریب کوزنی برای آن‌ها نبود. در ۳۰ چاه ناقص مشخص شده، مقادیر قابلیت انتقال برای هر آزمایش پمپاژ تصحیح گردید. همچنین پهنه‌بندی قابلیت انتقال آبخوان دشت شبستر با استفاده از روش زمین‌آمار انجام و در شکل ۶ نشان داده شده است.

با در دست داشتن ضخامت اشباع آبخوان ( $b$ ) و قابلیت انتقال ( $T$ ) می‌توان هدایت هیدرولیکی ( $K$ ) را با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود (شمسائی ۱۳۹۱):

$$T = K \times b \quad [3]$$

در ادامه ضخامت آبخوان به وسیله سونداژ الکتریکی محاسبه و تدقیق گردید. پس از محاسبه تراز سنگ کف، خطوط هم ضخامت آبخوان در محیط ArcGIS به روش کریجینگ ترسیم و ضخامت آبخوان در محل چاه‌هایی که آزمایش پمپاژ در آن‌ها صورت گرفته بود، مشخص شد.

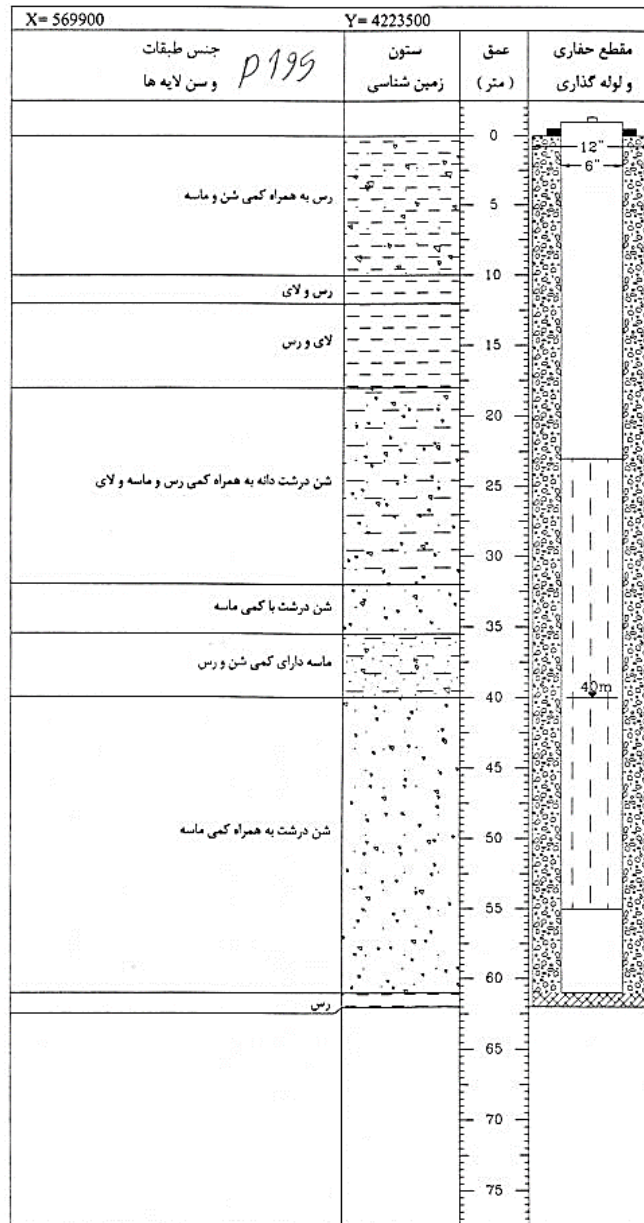
#### تراز آب زیرزمینی

برای تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی، به وسیله ۳۹ پیژومتر موجود در منطقه که اطلاعات کاملی در تمام ماه‌های سال آبی ۹۳-۹۲ داشته‌اند میانگین تراز آبی آبخوان در این سال محاسبه گردید و به کمک نرم‌افزار ArcGIS نقشه هم پتانسیل تراز سطح ایستایی کل آبخوان دشت مورد مطالعه، ترسیم گردید (شکل ۸). همچنین هیدروگراف تراز آب زیرزمینی آبخوان شبستر برای ۶ سال آبی از سال ۸۸-۱۳۸۷ الی ۹۳-۱۳۹۲ ترسیم گردید (شکل ۹).

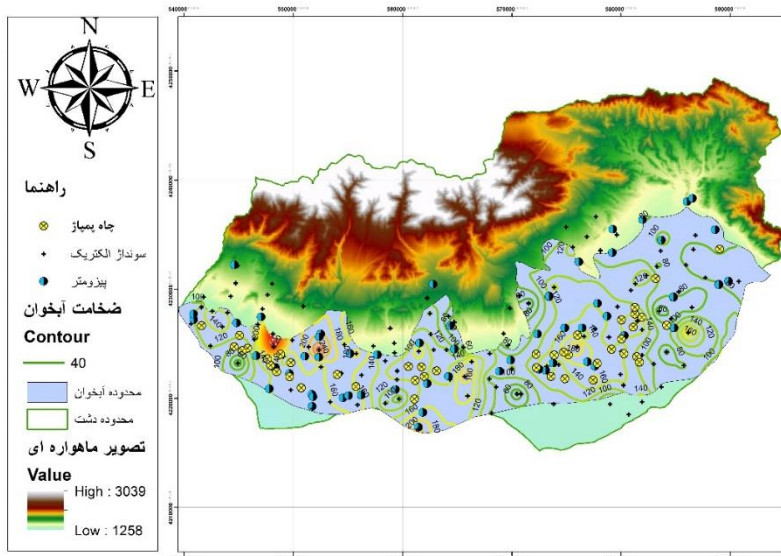
#### نتایج و بحث

ضخامت آبخوان ( $b$ ) و ضریب قابلیت انتقال ( $T$ )

بررسی شکل فوق نشان داد که بیشترین مقدار قابلیت انتقال برابر ۲۹۷۴/۴۹ مترمربع بر روز در منطقه بیگجه خاتون و کمترین آن برابر ۴۵ مترمربع بر روز در منطقه علیشاه واقع در نواحی مرکزی آبخوان دشت شبستر قرار گرفته است. میانگین ضریب قابلیت انتقال کل آبخوان دشت شبستر برابر ۴۱۰ مترمربع بر روز تعیین گردید. سالاری (۱۳۹۴) بیشترین و کمترین مقدار قابلیت انتقال اصلاح شده را برای آبخوان بم در استان کرمان به ترتیب برابر ۲۶۹۱ و ۶۴۸ مترمربع بر روز گزارش نموده‌اند. همان طوری که مشاهده می‌شود حداکثر مقدار قابلیت انتقال دو آبخوان شبستر و بم به هم نزدیک هستند. مقایسه منطقه بیگجه خاتون شبستر و اراضی ریگان بم نشان داد که در هر دو منطقه دارای سازندهایی با جنس ماسه دانه‌درشت هستند. تجمع ماسه درشت در هر دو این مناطق به دلیل قرار گرفتن در مسیر آب می‌باشد.



شکل ۶- لاک حفاری مربوط به چاه مشاهده‌ای شهرستان شبستر (آق کهریز).



شکل ۷- نقشه هم ضخامت آبخوان دشت شبستر.

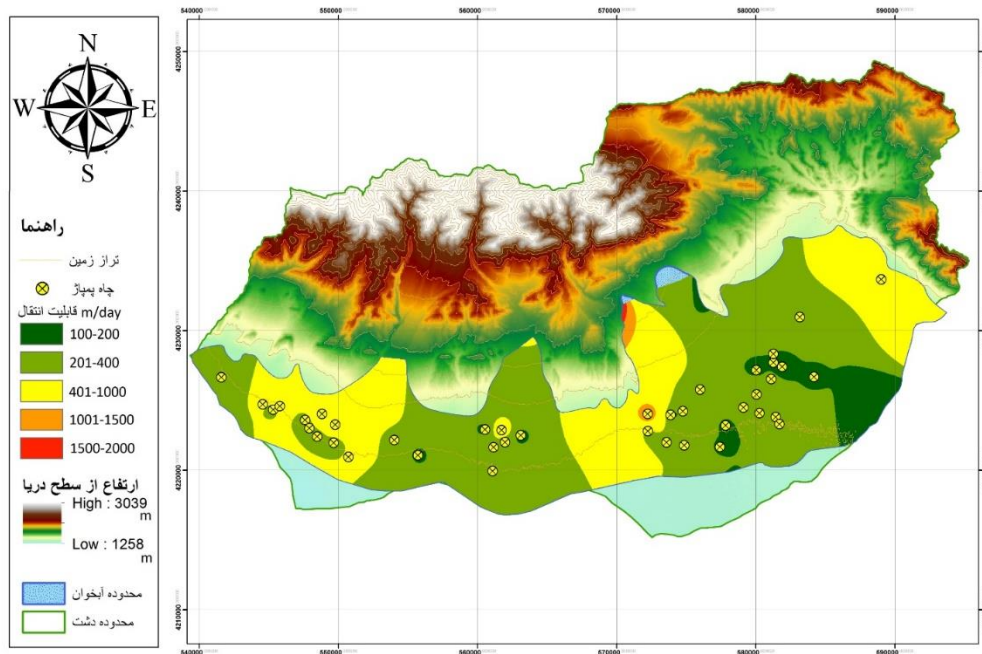
جدول ۱- ضریب قابلیت انتقال اصلاح شده چاه‌های پمپاژ آبخوان دشت شبستر.

شماره چاه	محل چاه	قابلیت انتقال اصلاح شده (مترمربع بر روز)	شماره چاه	محل چاه	قابلیت انتقال اصلاح شده (مترمربع بر روز)
۱	شرفخانه	۲۶۹/۹۱	۲۲	علیشاه	۶۳۵/۸۰
۲	دیزج مهر	۵۳۰/۵۲	۲۳	علیشاه*	۴۵
۳	علی بیگلو	۱۹۲/۸۰	۲۴	درویش بقال*	۱۶۰
۴	علی بیگلو	۷۸۹/۷۶	۲۵	علیشاه	۱۳۲/۰۹
۵	یوسف‌آباد	۸۸/۷۲	۲۶	ملک‌زاده	۲۸۷/۹۲
۶	یوسف‌آباد	۳۰۳/۱۵	۲۷	ساربانقلی	۱۲۰/۷۱
۷	یوسف‌آباد	۹۱/۰۹	۲۸	زیناب	۲۱۹/۷۹
۸	یوسف‌آباد	۱۵۶۱/۲۹	۲۹	نظزلو*	۳۳۵
۹	کافی الملک*	۱۰۰	۳۰	نظزلو*	۱۲۰
۱۰	کوزه کنان*	۱۲۰۰	۳۱	نظزلو	۴۷۰/۵۴
۱۱	کافی الملک	۵۳۰/۶۴	۳۲	نظزلو	۳۴۳/۴۸
۱۲	شندآباد	۳۱۵/۷۸	۳۳	نظزلو	۲۶۱/۵۳
۱۳	شندآباد	۱۰۷/۲۱	۳۴	نظزلو*	۱۹۰
۱۴	وایقان	۵۵/۶۵	۳۵	نظزلو*	۱۹۵
۱۵	وایقان	۴۲۰/۹۰	۳۶	نظزلو	۱۹۸/۱۴
۱۶	وایقان	۴۵۱/۸۱	۳۷	نظزلو	۲۵۰/۵۱
۱۷	دیزج خلیل	۱۰۳۵/۰۷	۳۸	نظزلو	۸۲/۹۰
۱۸	وایقان	۲۳۶/۶۶	۳۹	صوفیان*	۳۱۰
۱۹	دیزج خلیل	۵۰/۳۸	۴۰	قم تپه*	۱۳۵
۲۰	بیگجه خاتون	۲۹۷۴/۴۹	۴۱	قم تپه*	۶۴۵
۲۱	علیشاه	۳۴۹/۳۴			* چاه‌هایی که نیاز به اصلاح نداشتند.



آن ته نشین گردیده‌اند و تحت تأثیر فرسایش ناشی از این رواناب‌ها، تعدادی دره آبرفتی درون سازندهای زمین‌شناسی به وجود آمده که می‌توان به دره‌های داریان، شانجان و سیس اشاره نمود. آبرفت‌های ته نشین شده در دره‌های آبرفتی منطقه از نوع رودخانه‌ای و دانه درشت هستند که به سمت مناطق جنوبی دشت دانه‌ریز می‌گردند. پدید آمدن این دره‌ها در نقشه پهنه‌بندی قابلیت انتقال به خوبی بیانگر افزایش قابلیت انتقال در این مناطق می‌باشد (شکل ۸).

با توجه به نقشه قابلیت انتقال و مقایسه آن با نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان نتیجه گرفت به دلیل اینکه عمده مساحت آبرفت نسبتاً همگن می‌باشد، تنها در قسمت‌های جنوب شرقی آبرفت وجود پهنه‌های نمکی و رسی دلیل بر کاهش شدید قابلیت انتقال در این مناطق می‌باشد. رواناب‌های سطحی کوه میشو از راه تعدادی رودخانه، مسیل و آبراهه به سمت دشت مورد مطالعه و در نهایت به دریاچه ارومیه جریان یافته‌اند. همراه این رواناب‌های سطحی، آبرفت‌ها به این دشت وارد و در نقاط مختلف



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی قابلیت انتقال اصلاح‌شده آبخوان دشت شبستر بر حسب مترمربع بر روز.

حداکثر و حداقل هدایت هیدرولیکی به ترتیب برابر  $28/2$  و  $0/45$  متر بر روز در پهنه آبخوان به دست آمد. قشقای نژاد و همکاران (۱۳۹۵) کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی را برای دشت گلگیر برابر  $0/4$  متر بر روز گزارش نمودند. قشقای نژاد و همکاران (۱۳۹۵) کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی را برای دشت گلگیر برابر  $0/4$  متر بر روز گزارش نمودند. مقایسه محل وقوع کمترین هدایت هیدرولیکی در دشت شبستر و گلگیر نشان داد که هر دو مقدار در منطقه آبرفتی روی داده است و منطقه گلگیر در آن قسمت شامل سازندهای رسی و گچی می‌باشد. قابل ذکر است که کمترین هدایت هیدرولیکی دشت شبستر فقط در یکی از چاه

### هدایت هیدرولیکی

ضریب هدایت هیدرولیکی در رسوبات و سنگ‌ها به اندازه و تعداد فضاهای خالی و نحوه آرایش آن‌ها بستگی دارد (چیت‌سازان و کشکولی ۱۳۸۱). این ضریب در شبیه‌سازی جریان آب در خاک و جذب آب توسط گیاهان نیز کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. پس از تعیین ضخامت اشباع آبخوان و قابلیت انتقال تصحیح‌شده، هدایت هیدرولیکی در محل چاه پمپاژ محاسبه گردید. مقادیر هدایت هیدرولیکی حاصل‌شده برای ۴۱ چاه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. مطابق جدول فوق متوسط هدایت هیدرولیکی چاه‌ها برابر  $4/52$  متر بر ثانیه تعیین گردید. مقادیر

های منطقه علیشاه روی داده است و بقیه چاه‌ها در اطراف آن دارای هدایت هیدرولیکی پایینی نیستند لذا احتمال دارد در محل این چاه بخصوص سازندهای رسی مجتمع وجود داشته باشد. در بررسی لاگ‌های اطراف این چاه سازندهای رسی و سیلتی قابل مشاهده بود. در با مقایسه هدایت هیدرولیکی حاصل شده در جدول ۲ و مقادیر گزارش شده در جدول ۳ می‌توان به نوع سنگ‌ها و رسوبات موجود در منطقه پی برد. نتایج مقایسه نشان داد که جنس غالب سازند منطقه ماسه دانه‌ریز می‌باشد. این نتیجه با نتایج گزارش شده در لاگ‌های حفاری همخوانی دارد.

جدول ۲- هدایت هیدرولیکی چاه‌های پمپاژ آبخوان دشت شبستر.

شماره چاه	محل چاه	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ادامه شماره چاه	محل چاه	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
۱	شرفخانه	۱/۹۷	۲۲	علیشاه	۴/۸۶
۲	دیزج مهر	۴/۰۵	۲۳	علیشاه*	۰/۴۵
۳	علی بیگلر	۳/۶۱	۲۴	درویش بقال*	۲/۱۲
۴	علی بیگلر	۷/۲۶	۲۵	علیشاه	۰/۹۶
۵	یوسف‌آباد	۰/۷۹	۲۶	ملک‌زاده	۲/۸۱
۶	یوسف‌آباد	۳/۷۴	۲۷	ساربانقلی	۰/۷۲
۷	یوسف‌آباد	۰/۸۵	۲۸	زیناب	۱/۷۹
۸	یوسف‌آباد	۱۱/۱۶	۲۹	نظزلو*	۳/۲۱
۹	کافی الملک*	۰/۸۹	۳۰	نظزلو*	۲/۸۸
۱۰	کوزه کنان*	۱۳/۰۳	۳۱	نظزلو	۴/۰۹
۱۱	کافی الملک	۴/۲۱	۳۲	نظزلو	۲/۵۳
۱۲	شندآباد	۳/۰۲	۳۳	نظزلو	۲/۲۵
۱۳	شندآباد	۰/۶۱	۳۴	نظزلو*	۳/۴۵
۱۴	وایقان	۰/۵۹	۳۵	نظزلو*	۲/۹۷
۱۵	وایقان	۳/۳۶	۳۶	نظزلو	۱/۴۹
۱۶	وایقان	۵/۶۱	۳۷	نظزلو	۲/۳۹
۱۷	دیزج خلیل	۸/۹۶	۳۸	نظزلو	۰/۶۵
۱۸	وایقان	۲/۳۶	۳۹	صوفیان*	۱۳/۵۰
۱۹	دیزج خلیل	۱/۱۶	۴۰	قم تپه*	۲/۷۷
۲۰	بیگجه خاتون	۲۸/۲۰	۴۱	قم تپه*	۲۰/۸۲
۲۱	علیشاه	۳/۰۵	* چاه‌هایی که نیاز به اصلاح نداشتند.		

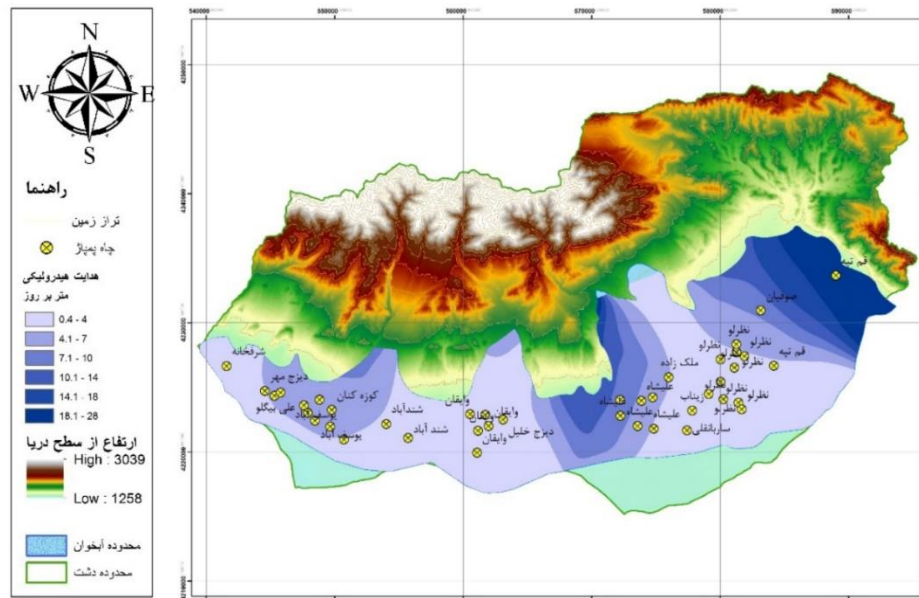
جدول ۳- مقادیر هدایت هیدرولیکی در برخی سازندها (صفوی ۱۳۹۰).

هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	جنس سازند
۰/۰۱-۰/۲	خاک‌های رسی
۱۰ <sup>-۸</sup> -۱۰ <sup>-۲</sup>	لایه‌های رسی عمیق
۱-۵	ماسه‌های دانه‌ریز
۵-۲۰	ماسه‌های دانه‌متوسط
۲۰-۱۰۰	ماسه‌های دانه‌درشت
۵-۱۰۰	مخلوط ماسه و شن
۰/۰۰۱-۰/۱	مخلوط رس، ماسه و شن

بالا و سازندهای درشت هستند، می‌تواند به دلیل تأثیرپذیری مستقیم از ضخامت آبخوان در نواحی جنوبی دشت شبستر باشند. در منطقه قوم تپه واقع در بخش شرقی دشت که بر اساس نقشه پهنه‌بندی دارای هدایت هیدرولیکی بالا می‌باشد، مقادیر هدایت هیدرولیکی بالا چندان قابل‌اعتماد نیست، چرا که در این منطقه فقط یک چاه پمپاژ به عمق ۱۱۵ و عمق آب ۱۰۸ متر گزارش شده است.

لذا آزمایش پمپاژ در داخل چنین چاهی با ۷ متر آب از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. علاوه بر آن بررسی لاگ حفاری این منطقه ناقص بود و فقط دارای یک لاگ ۲۳ متری با سازند غالب ماسه بادی می‌باشد.

نتایج پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی در گستره آبخوان دشت شبستر در شکل ۷ نشان داده شده است. این متغیر با تأثیرپذیری از ضخامت اشباع آبخوان و قابلیت انتقال به صورت مستقیم، در نواحی نظرلو، وایقان و شرفخانه مقدار کمتری نسبت به نواحی مرکزی و شمال شرقی آبخوان دارد. بررسی نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی که در شکل ۹ آورده شده، نشان می‌دهد که مقادیر هدایت هیدرولیکی بالا در امتداد مسیل‌ها روی داده است. همان طوری که مشاهده می‌شود قسمت‌های شمالی دشت کوهستانی بوده و طبیعی است که بستر این مسیل‌ها از سازندهای درشت و با هدایت هیدرولیکی بالا شکل گرفته باشد. کاهش هدایت هیدرولیکی در مناطقی که دارای قابلیت انتقال



شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شبستر بر حسب متر بر روز.

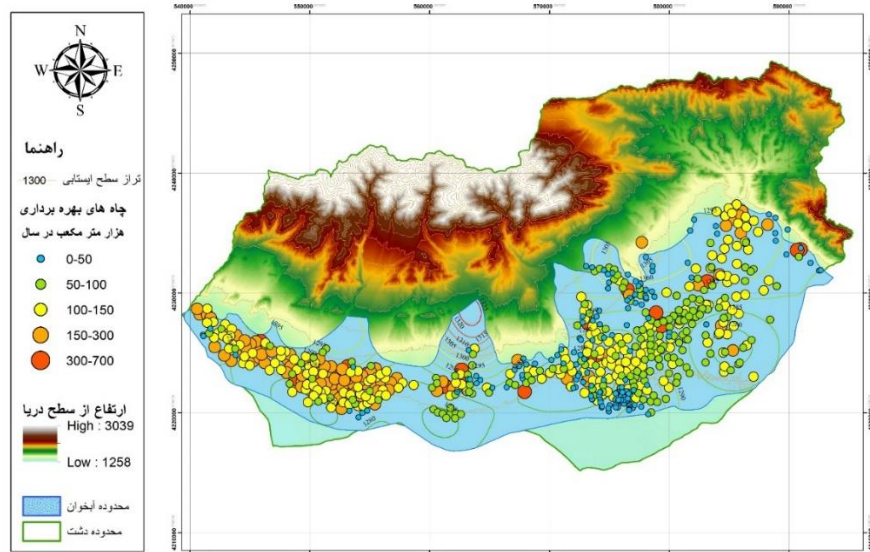
هستند، بیشترین تأثیر را در افت منطقه‌ای سطح آب زیرزمینی داشته است. البته تغییر اقلیم، کاهش روند بارندگی، افزایش تبخیر-تعرق و خشک شدن دریاچه ارومیه در تسریع چنین شرایطی بی‌تأثیر نبوده است. در شکل ۱۰ موقعیت و میزان چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان دشت شبستر نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌گردد، در برخی نواحی تراکم بالای چاه‌هایی با برداشت متوسط تا کم با قابلیت انتقال بسیار ضعیف و با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از هم باعث افت شدید سطح

برهمکنش تراکم چاه‌ها و تراز سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به علت برداشت‌های زیاد از آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، دشت شبستر با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. اکثر چاه‌های موجود در منطقه بدون توجه به مبنای مطالعات آب زیرزمینی در مناطق با آبدهی کم و به صورت عمیق حفر و در حال پمپاژ غیرمتعارف هستند؛ بنابراین توسعه کشاورزی و به تبع آن اضافه برداشت از سفره آب زیرزمینی در مناطقی که از نظر قابلیت انتقال ضعیف

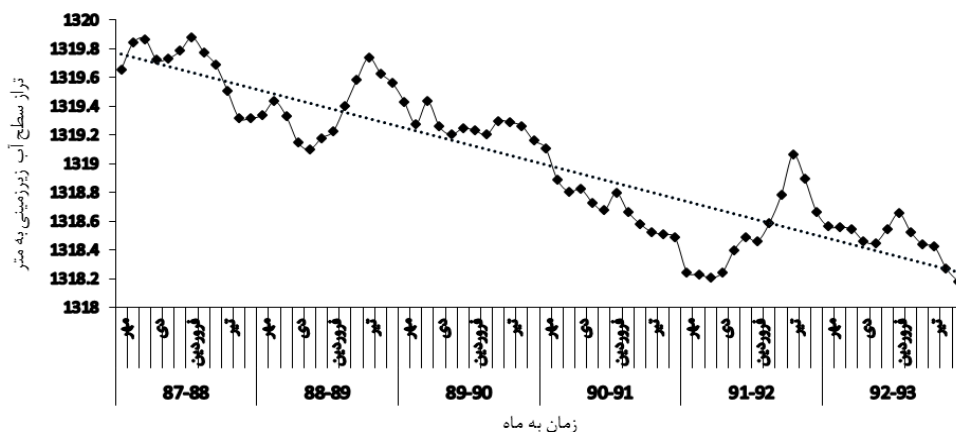
سطح آب از تراز ۱۳۱۹/۸ به تراز ۱۳۱۸/۱ متر تنزیل یافته است و این کاهش با رویه فعلی برداشت این چاه‌های متراکم بیشتر نیز خواهد شد.

پدیده دیگری که آبخوان دشت شبستر را تهدید می‌کند معکوس شدن جریان آب از سازندهای نمکی به طرف آب شیرین دشت می‌باشد. چرا که نزول سریع سطح آب زیرزمینی آبخوان باعث افزایش تغییر گرادیان جریان آب خواهد بود. سازمان آب منطقه استان آذربایجان شرقی وجود سه جبهه ورودی آب زیرزمینی از سمت دریاچه ارومیه به داخل آبخوان شبستر را گزارش نموده است (بی‌نام ۱۳۹۳).

آب زیرزمینی شده است. با توجه به قابلیت انتقال ضعیف این مناطق و استمرار در برداشت از منابع آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های بهره‌برداری عمیق، آبخوان توانایی جبران این اضافه برداشت‌ها را ندارد و این مناطق شاهد افزایش شیب نزولی تراز سطح آب زیرزمینی می‌باشد. این روند کاهش‌ی علی‌رغم تحمیل خسارات اقتصادی بر معیشت کشاورزان و بهره‌برداران، خسارات جبران‌ناپذیری بر وضعیت آبخوان خواهد داشت. در شکل ۱۱ هیدروگراف شش ساله تراز سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت شبستر طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ نشان داده شده است. همان طوری که شکل فوق نشان می‌دهد در مدت شش سال



شکل ۱۰- موقعیت و میزان چاه‌های بهره‌برداری و وضعیت تراز آب زیرزمینی در آبخوان دشت شبستر.



شکل ۱۱- هیدروگراف شش ساله تراز سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت شبستر.

## نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده عمده رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان دشت شبستر از جنس ماسه دانه‌ریز تا درشت می‌باشد ولی قابلیت انتقال این آبخوان در نواحی مرکزی و قسمتی از غرب دشت به علت قرارگیری در مسیل‌ها دارای مقادیر بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد که در مقابل، کمترین مقدار این پارامتر در شرق آبخوان و در نزدیکی پهنه‌های رسی و نمکی مشاهده می‌شود. به علت عمیق شدن ضخامت آبخوان در برخی مناطق، علی‌رغم وجود قابلیت انتقال بالا، مقادیر هدایت هیدرولیکی نسبتاً کمی در این نواحی مشاهده می‌گردد. بیشترین هدایت هیدرولیکی در بیگجه خاتون و کمترین این مقدار در علیشاه به دست آمده است. عدم توجه به آبدهی سازندهای منطقه و حفر چاه‌های متراکم در مناطقی که از این نظر مناسب بهره‌برداری نمی‌باشند و از لحاظ تغذیه‌پذیری ضعیف هستند، علاوه بر کاهش تراز سطح ایستابی در کل آبخوان، افت موضعی در تراز سطح آب زیرزمینی این آبخوان را پدید آورده‌اند که باعث تغییر در جبهه‌های آب زیرزمینی این آبخوان شده و جریان ورودی از دریاچه ارومیه به آبخوان را مقدور ساخته است.

## منابع

آبادار اصفهانی، س.، کلانتری، ن. ۱۳۹۲. بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی دشت قم. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲-۵۰.

احمدی، ف.، علیجانی، ف.، ناصری، ح.، ۱۳۹۶. کاربرد روش‌های سنجش ازدور و ژئوالکتریک در اکتشاف آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی جنوب کوه‌دشت، لرستان. هیدروژئولوژی، سال دوم، شماره ۲، ۲۹-۴۳.

برزگر، ر.، اصغری مقدم، ا.، ندیری، ع.، فیجانی، ا. ۱۳۹۳. استفاده از روش‌های مختلف فازی برای بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز. فصلنامه زمین‌شناسی و محیط‌زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، ۲۱۱-۲۲۲.

چیت‌سازان، م.، کشکولی، ح.ع. ۱۳۸۱. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی. انتشارات دانشگاه چمران (اهواز). ۶۸۰ ص.

سالاری، ه. ۱۳۹۴. بررسی خواص هیدرولیکی بر روی آبدهی منابع آب زیرزمینی دشت بم. فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، سال نهم، شماره ۳۳. ۹۳-۱۰۳.

شمسائی، ا. ۱۳۹۱. هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل، مهندسی زهکشی. جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۹۲ ص.

صفوی، ح. ر. ۱۳۹۰. هیدروژئولوژی مهندسی. چاپ سوم. انتشارات ارکان دانش. ۷۲۴ ص.

عابدی، ج.، گلابچیان، م. ۱۳۹۴. برآورد ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز کوهپایه-سگری با استفاده از مدل MODFLOW. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره ۷۲، ۲۸۱-۲۹۲.

قشقایب‌نژاد، س.، چیت‌سازان، م. و میرزایی، س. ی. ۱۳۹۵. تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک. هیدروژئولوژی، سال اول، شماره ۲، ۲۴-۳۷.

مرادی، ک.، اسپهبد، م. ر. ۱۳۹۰. بررسی هیدروژئولوژیکی دشت جایدرد به منظور تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب. سی و مین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، ۱۴۶-۱۵۸.

مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار. ۱۳۹۳. مطالعات بهنگام سازی بیان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه منتهی به سال آبی ۹۰-۸۹.

غفوری خرائق، س. ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین روش تخمین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران. ۱۰۹ ص.

Aslam, R.A., Shrestha, S., Parsad Pandey, V. 2018. Groundwater vulnerability to climate change: A review of the assessment methodology, Science of the Total Environment. 612: 853-875.

Dewandel, B., Jeanpert, J., Ladouche, B., Join, J.L., Marechal, J.C. 2017. Inferring the heterogeneity, transmissivity and hydraulic conductivity of crystalline aquifers from a detailed water-table map, Journal of Hydrology 550: 118-129.



- Kresic, N. 2007. Hydrogeology and groundwater modeling. 2ed. CRC Press. 830 p.
- Todd, D. K. 1980. Groundwater hydrology, 2 edition. John Wiley & sons, New York. 552 p.
- Walton, W. C. 1987. Groundwater pumping tests. Lewis Publishers, Inc., U.S.A. 203 p.
- Wang, W., Wang, Y., Sun, Q., Zhang, M., Qiang, M.L. 2017. Spatial variation of saturated hydraulic conductivity of a loess slope in the South Jingyang Plateau, China, Engineering Geology, Available online 2 August.
- George, N.J., Atat, J.G., Umoren, E.B. and Etebong, I. 2017. Geophysical exploration to estimate the surface conductivity of residual argillaceous bands in the groundwater repositories of coastal sediments of EOLGA, Nigeria. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics.
- Norouzi, H., Nadiri, A.A., Moghaddam, A.A., Gharekhani, M. 2018. Comparing Performans of Fuzzy Logic, Artificial Neural Network and Random Forest Models in Transmissivity Estimation of Malekan Plain Aquifer, Journal of ecohydrology. 5(3): 739-751. doi.org/10.22059/ije.2018.239914.707
- Jacob, C. 1950. Flow of groundwater. Engineering hydraulics, 5,321 p.
- Kozeny, j. 1933. Theorie und berechnung der brunnen wasserkraft und wassenwirtschaft. 28: 86-116.