

## پژوهشی در جریان آب های زیرزمینی «مطالعه موردی حوضه آبریز مرند»

دکتر محمدرضا اصغری مقدم\*

کریم عباس زاده\*\*

چکیده:

آب های زیرزمینی بخشی از آب قابل استحصال از زیرزمین است که از طریق چاه ها، گالری ها و قنوتات به سطح زمین انتقال داده می شود. و با به طور طبیعی توسط چشمه ها از درون زمین تخلیه می گردد. که منبع عمده تأمین آب در بسیاری از مناطق دنیا به خصوص در اقلیم های خشک و نیمه خشک مانند ایران است. دشت مرند از نظر فعالیتهای کشاورزی و تراکم جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است و آب آشامیدنی صنعتی و کشاورزی آن عمدتاً از سفره های آب زیرزمینی این دشت تأمین می شود. از طرفی با توجه به افزایش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی و خشکسالی هایی که در ده ساله اخیر در منطقه رخ داده است، سطوح آب زیرزمینی افت شدید و قابل ملاحظه ای را نشان می دهند. از این جهت امروزه مدیریت بهره برداری آبخوان یکی از اصول اساسی در آبخوانداری به شمار می رود. بررسی کمی و شناسایی آب های زیرزمینی در هر منطقه کار نسبتاً پیچیده ای می باشد. زیرا اولاً جریان آب های زیرزمینی به مقدار زیادی تحت تأثیر شرایط زمین شناسی محل بوده و ثانیاً به دلیل ارتباط هیدرولیکی آب های زیرزمینی با آب های سطحی در سیکل هیدرولوژی، تخمین حجم و حرکت آب های زیرزمینی دارای پیچیدگی می باشد. هدف عمده از این مطالعه تعیین ضریب قابلیت انتقال (T) با استفاده از مقاومت عرضی نرمال شده (تصحیح شده) می باشد. در این روش از وابستگی ضرایب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی به پارامترهای غالباً مشترک استفاده کرده و با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های آب برداشت شده از منابع آب نتایج آزمایش پمپاژ و مقاطع ژئوفیزیکی، ضریب قابلیت انتقال بدست می آید. در نهایت با استفاده از متوسط قابلیت انتقال، شیب هیدرولیکی، ضخامت اشباع آبخوان و متوسط تخلخل، میزان متوسطی از سرعت جریان آب های زیرزمینی به دست می آید.

کلید واژه ها: مقاومت عرضی، شیب هیدرولیکی، قابلیت انتقال و سرعت آب زیرزمینی

\*استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

\*\* کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی - هیدرولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۲۵

علم هیدرولوژی آب های زیرزمینی در رابطه با کیفیت و کمیت و نیز نحوه توزیع و حرکت آب در زیر سطح زمین بحث می نماید. از این رو پایه های اساسی آن را علومی نظیر زمین شناسی، هیدرولوژی، شیمی، مکانیک سیالات، عمران آب و ژئوهیدرولوژی در محیط های مختلف و متخلخل تشکیل می دهد.

مهم ترین منشأ آب های زیرزمینی را بارش ها تشکیل می دهند و بارش ممکن است مستقیماً به زمین نفوذ کند و یا ابتدا توسط رودخانه ها یا دریاچه ها جمع آوری شده و سپس در طی زمان به زمین نفوذ کند. همچنین در زیرزمین سازندهایی از زمین شناسی وجود دارد که به اندازه کافی نفوذ پذیر بوده و حجم ذخیره سازی آب در آن ها خیلی بالا می باشد که آن ها لایه های آبدار یا آبخوان می نامند. (صفوی، ۱۳۸۵، صص ۳۷۵-۳۷۳)

مصالح تشکیل دهنده این لایه ها عمدتاً از شن و ماسه تحکیم نیافته می باشد که در دره های آبرفتی، بستر رودخانه های قدیمی و اطراف سواحل یافت می شوند. و هر چقدر اندازه دانه های شن بزرگ تر و گرد باشد، مقدار ذخیره آب در آن ها زیاد است چون تخلخل بالایی دارند، و بالعکس هر چقدر دانه بندی ریزتر باشد، قابلیت نفوذ و ذخیره آب کم می شود. (کردوانی، ۱۳۷۴)

### پایه های نظری تحقیق

در زیر سطح زمین لایه های آبداری وجود دارد که این لایه ها محیط های متخلخلی هستند که آب های زیرزمینی در آن ها ذخیره شده و قابل انتقال و استخراج می باشد. رس ها و دیگر خاک های تحکیم نیافته با اضافه شدن آب زیرزمینی و یا کاهش آن ممکن است منقبض و یا متورم گردند. به منظور بررسی کمی و فرآیندهای انتقال و استحصال آب های زیرزمینی از لایه های آبدار بایستی خواص فیزیکی آن ها نیز بررسی گردد. که این خواص پارامترهای مختلفی دارد که چند مورد از آن ها مورد بحث قرار می گیرد.

- ارتفاع نظیر فشار آب زیرزمینی در یک نقطه از لایه آبدار ارتفاعی است که آب در یک لوله عمودی نصب شده در آن نقطه، به خودی گیرد و ارتفاع نظیر فشار با استفاده از دستگاه فشارسنج اندازه گیری می گردد.

- بافت های خاک های تحکیم نیافته، خاک لایه های آبدار بر اساس اندازه قطر ذرات آن ها طبقه بندی می گردند که هر چقدر اندازه دانه ها درشت باشد، آب لایه مربوطه زیاد می گردد. که طبقه بندی اندازه دانه های خاک به شرح جدول زیر است. (صفوی، ۱۳۷۷)

جدول ۱ طبقه بندی خاک به روش سازمان کشاورزی آمریکا<sup>۱</sup>

نوع خاک	قطر میانگین ذرات
رس	$0-2 (\mu_m)$
لای و سیلت	$2-5 (\mu_m)$
ماسه بسیار ریزدانه	$50-100 (\mu_m)$
ماسه ریزدانه	$0.1-0.25 (mm)$
ماسه متوسط دانه	$0.25-0.5 (mm)$
ماسه درشت دانه	$0.5-1 (mm)$
ماسه بسیار درشت دانه	$1-2 (mm)$

<sup>۱</sup> - United State Department of Agriculture (USDA).

همچنین ذرات با قطر بزرگ ترا از ۲ میلی متر را به عنوان شن طبقه بندی کردند که مطابق استاندارد ASTM-D۲۴۸۸ به شرح جدول ۲ می باشد.

جدول ۲ طبقه بندی خاک های درشت دانه به روش ASTM-D۲۴۸۸

نوع خاک	قطر میانگین ذرات خاک (cm)
شن ریزدانه	۰/۶-۱/۹
شن درشت دانه	۱/۹-۷/۶
قلوه سنگ کوچک	۷/۶-۱۵/۲
قلوه سنگ بزرگ	۱۵/۲-۳۰/۸
پاره سنگ	>۳۰/۸

- تخلخل، تخلخل خاک نشان گر درصد خلل و فرج خاک نسبت به حجم کل خاک است، این خلل و فرج ممکن است توسط آب در خاک های اشباع و یا توسط آب و هوا در خاک های غیر اشباع پر شده باشد (کردوانی، ۱۳۷۴).

سایر خواص فیزیکی نیز وجود دارند که می توان درجه پوکی، درجه اشباع، وزن مخصوص ظاهری، چگالی مخصوص مواد جامد، آبدهی ویژه، نکه داشت ویژه، ضریب ذخیره و ذخیره ویژه را نام برد. همچنین آب در خاک زیر سطح زمین همواره در حال حرکت می باشد، هر چند سرعت آن بسیار ناچیز است. حرکت آب در زیر سطح زمین معمولاً در جهت افقی یا جانبی بوده و سرعت آن از ۱ تا ۵۰۰ متر در سال است (صفوی، ۱۳۸۵، صص ۳۸۸-۳۸۵).

سفره های آبی یا آبخوان، یا به صورت تحت فشارند یا غیر تحت فشار هستند. یک سفره تحت فشار یا آرتزین از بالا و پایین با یک لایه غیر قابل نفوذ در برگرفته شده است به طوری که ممکن است آب داخل آن فشاری بالاتر از فشار اتمسفر داشته باشد. در مقابل در سفره غیر تحت فشار یا آب آزاد از بالای سطح ایستابی آب زیرزمینی آزاد است و در بستر آن مواد متخلخل قرار دارد. مقدار آبی که در یک ناحیه می تواند بگیرد و ذخیره نماید به گستردگی و حجم سفره آب زیرین از نظر نگهداری آب، با اندازه گیری تخلخل آن و یا نسبت حجم فضای خالی تخلخل به حجم کل تشکیلات به دست می آید. اندازه حفره های موجود در سفره، از اندازه میکروسکوپی آن در خاک های رسی تا غارها و تونل های موجود در تشکیلات آهکی و خاکسترهای آذرین متغیر است (مولایی، ۱۳۷۷، ص ۹۱).

در تجزیه و تحلیل سفره های آب زیرزمینی و تعیین تغییرات سطح ایستابی در مناطق وسیع تر نیاز به کاربرد و روش هایی است که طراحی دقیق و جزئیات بیشتری دارند. و غالباً در آن ها از اعداد و ارقام تقریبی آماری استفاده می شود. لذا برای تعیین جهت و میزان جریان و تهیه اطلاعات مربوط به سطح پیزومتریک یک سفره یا سطح ایستابی حل معادله زیر با تلفیقی از قانون داریسی صورت می گیرد.

$$\frac{\delta}{\delta x} \left( T_x \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( T_y \frac{\delta h}{\delta y} \right) + R = S \frac{\delta h}{\delta t}$$

R = نشان دهنده و رود آب به سفره

T = نشان دهنده جهت جریان آب در سفره غیر همگرا

h = سطح ایستابی

S = آبدۀ ویژه سفره

Ty و Tx = تابعی از h است

در این روش برای تعیین تأثیر تغییرات ناشی از افزایش پمپاژ یا کاهش تغذیه به علت استفاده از اراضی روی سفره، جریان چشمه ها یا سایر مشخصه های مورد نظر، از معادله جریان آب سفره استفاده می شود. همچنین تعیین پارامترهایی که برای رفع آلودگی موجود در سفره - با استفاده از فنون لازم - ضروری است (همان، صص ۱۱۱-۱۱۲). ضریب هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره یا آبدۀ ویژه، خواص هیدرودینامیکی لایه های آبدار هستند که تعیین کننده سرعت حرکت آب در خاک و نیز تغییرات سطح ایستابی و پیزومتریک در انواع لایه های آبدار است. پیش بینی دقیق وضعیت حرکت آب زیرزمینی بستگی به تخمین و ارزیابی دقیق این ضرایب هیدرودینامیکی دارد. ضرایب هیدرودینامیک از جمله پایه ای ترین اطلاعات مورد نیاز جهت بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی است. مقادیر ضریب هیدرولیکی برای تعیین ارتباط هیدرولیکی آب های سطحی با آب های زیرزمینی، طراحی سیستم های زهکشی، تخمین نشست از کانال های باز یا مخازن و پیش بینی رفتار آلودگی آب های زیرزمینی بسیار موثر بوده و بایستی مقادیر نزدیک به واقعیت از آن تخمین زد. همچنین تعیین ضرایب هیدرودینامیک لایه های آبدار به روش پمپاژ بر اساس فرضیات زیر استوار است:

- ۱- لایه های آبدار همگن، همرو و دارای نیم بی نهایت افقی میباشد.
- ۲- جریان در لایه آبدار فقط در جهت افقی است.
- ۳- آب از ذخیره لایه آبدار حاصل می گردد. و سریعاً سطح ایستابی یا پیزومتریک پایین می افتد.
- ۴- هیچ گونه جریان دیگری در لایه های آبدار به غیر از پمپاژ از چاه وجود ندارد.
- ۵- دبی چاه پمپاژ ثابت است.
- ۶- حجم آبی که به داخل چاه وارد می گردد و پمپاژ می شود، در مقایسه با حجم آب در کل لایه آبدار ناچیز است.
- ۷- چاه به طور کامل در لایه آبدار حفر گردیده و در کل لایه آبدار جداره چاه به صورت مشبک یا سوراخ دار است (صفوی، ۱۳۸۵، صص ۴۳۳-۴۴۲).

از ویژگی های سفره های آب زیرزمینی به موارد زیر نیز می توان اشاره کرد:

- ۱- تخلخل سفره یا سفره ها که کنترل کننده میزان آب قابل ذخیره می باشد.
- ۲- ضریب ذخیره که کنترل کننده میزان آبی است که می توان از سفره استخراج کرد.
- ۳- قابلیت انتقال (حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی در ضخامت موثر سفره) که حاکم بر میزان سهولت عبور آب از درون سازندهای نفوذپذیر به چاه ها و مجاری طبیعی می باشد.
- ۴- وجود موقعیت مرزهای هیدرولیکی (پرایس، ۱۳۷۵).

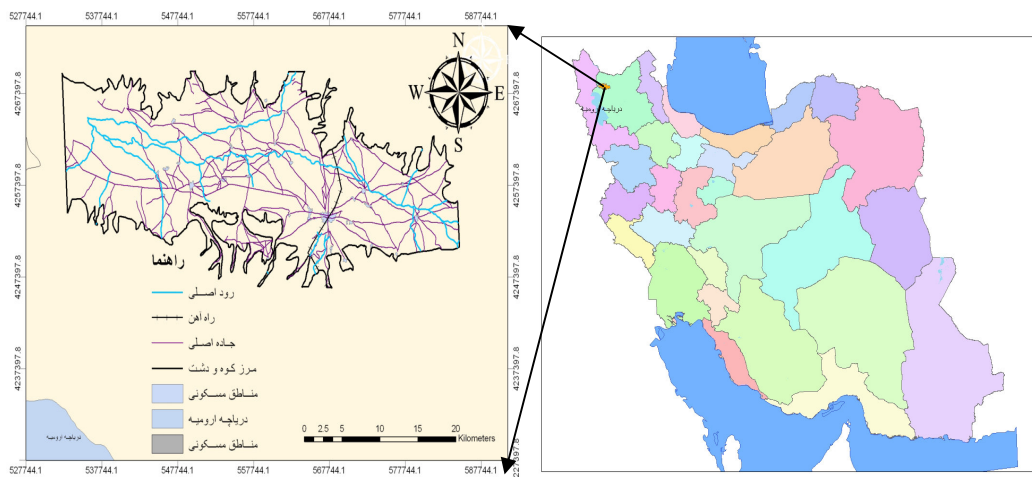
آبخوان یک مخزن ذخیره زیرزمینی است و به عنوان مجرایسی که آب از میان آن به سمت رودخانه ها، چاه ها، زهکش ها یا دیگر نقاط تخلیه حرکت می کند نیز به کار می رود. درست همان طور که تغییرات سطح آب نموداری برای تغییر ذخیره در یک مخزن سطحی است، نوسانات ارتفاع سطح ایستابی یا سطح پیزومتری نیز نمودارهایی برای تغییرات در حجم نسبی ذخیره آب زیرزمینی است. حجم نسبی آبی که ذخیره می شود یا از ذخیره خارج می شود و یا از طریق دو عامل هیدرولوژیک مهم به تغییر سطح آب مربوط ارتباط دارد. این دو پارامتر آبدۀ ویژه

ظاهری برای آبخوان های سطح ایستابی و ذخیره ویژه برای آبخوان های تحت فشار است (دیوید، بی و همکاران، ۱۳۸۴، ص ۲۱).

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب آذربایجان شرقی بین طول شرقی  $۴۵^{\circ} - ۱۵'$  تا  $۴۶^{\circ} - ۵'$  و عرض شمالی  $۳۸^{\circ} - ۱۸'$  تا  $۳۸^{\circ} - ۴۶'$  واقع شده و از شمال به منطقه جلفا و لیواری، از جنوب به منطقه شبستر و کوه های میشو، از غرب به منطقه خوی و از شرق به منطقه ورزقان، رشته کوه مگانه و پیرداغ محدود می شود. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریای آزاد ۱۴۰۰ متر است. سطح کل منطقه مورد مطالعه حدود ۲۱۰۰ کیلو متر مربع و سطح خود دشت مرند حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع می باشد. بزرگترین منطقه مسکونی که در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، شهرستان مرند می باشد که در ۶۰ کیلومتری شمال غربی شهر تبریز قرار گرفته است. شکل ۱ نقشه موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی از جمله راه آهن و راه های اصلی آسفالت دشت را نشان می دهد.

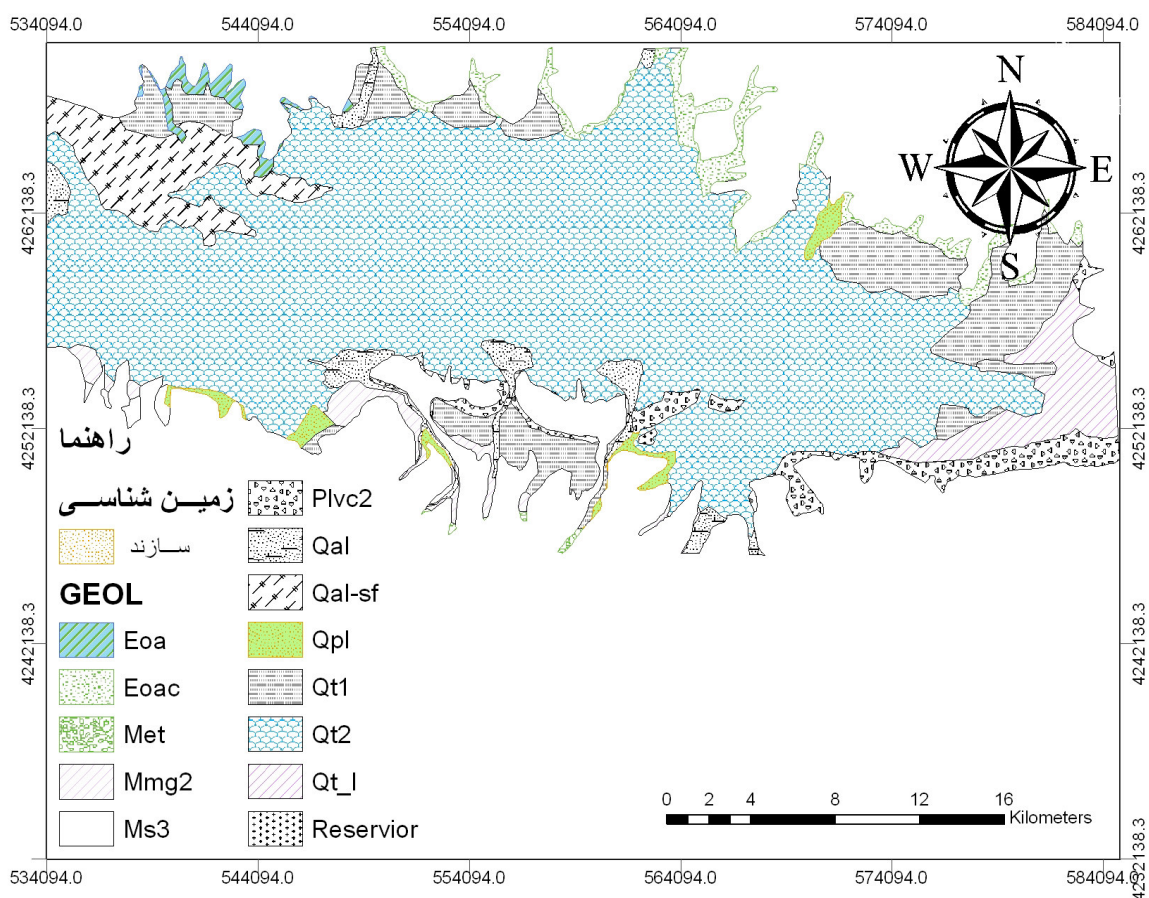
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۰)



### - زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

رشته کوه البرز جزئی از رشته جبال آلپ - هیمالیا است که در طی حرکت کوهزایی آلپ پایانی به صورت فعلی درآمد است. بر طبق تقسیم بندی نبوی (۱۳۵۵) زون البرز - آذربایجان نام می گیرد. این بخش از البرز همراه قسمتی دیگر از غرب و جنوب غرب ایران، بخش سلطانیه - میشو و زاگرس در تقسیم بندی افتخارنژاد (۱۳۵۹) در دوره سیلورین و دونین پیشین بالا آمدگی واحدی را تشکیل داده است. و در طی دونین پسین (تشکیلات جیروود) با حوضه رسوبی ایران و البرز شرقی ارتباط برقرار می سازد و زون البرز - آذربایجان را براساس موقعیت جغرافیایی به واحدهای البرز شرقی و کپه داغ، البرز مرکزی و البرز غربی و آذربایجان تقسیم کرده است. که منطقه مورد مطالعه در زون سوم این تقسیم بندی یعنی زون البرز غربی - آذربایجان قرار دارد. (نبوی ۱۳۵۵، )

شکل ۲. نقشه زمین شناسی دشت مرند (شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۰)



مطالعات نشان می دهد که در محدوده مورد مطالعه تناوب چینه شناسی با سنگهای پرکامبرین شروع و به رسوبات آبرفتی دوران چهارم ختم می شود. کوههای میشو به صورت یک هورست با پهنای تقریبی ۱۳ کیلومتر و طول ۳۱ کیلومتر میان گسل جای گرفته است. یکی از این گسل ها از دامنه شمالی و دیگری از دامنه جنوبی میشو می گذرد. روند کلی این گسل شرقی - غربی است.

#### - هواشناسی منطقه مورد مطالعه

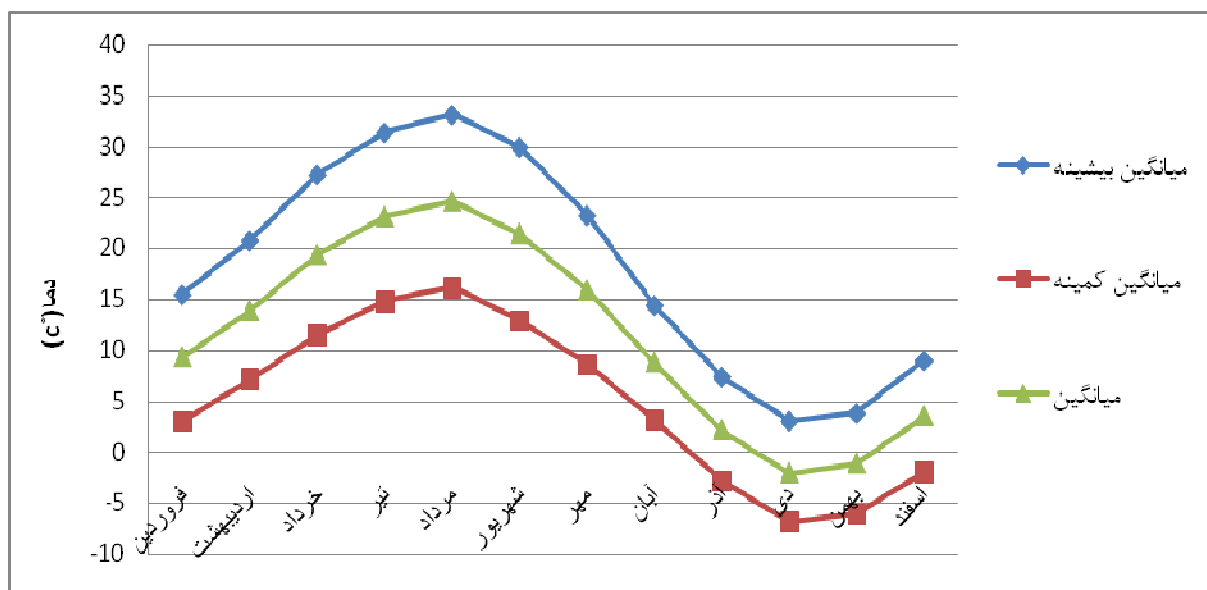
چرخه آب در طبیعت رابطه مستقیم با اقلیم آن منطقه دارد برای استفاده منطقی و صحیح از منابع آبی، مستلزم شناخت دقیق کمی و کیفی و جمع آوری داده ها و اطلاعات مناسب اقلیمی است، به طور کلی بارش های جوی منبع اصلی آبهای سطحی و زیرزمینی را تشکیل می دهند. منطقه مورد مطالعه از نظر بارش های جوی فقیر است. بارندگی بین بیشینه ۴۵۰ میلی متر و کمینه ۱۵۰ میلی متر در سال، در نواحی کوهستانی و جلگه ای متغیر است. آب و هوای منطقه از نوع خشک و سرد است و تحت تأثیر هوای مدیترانه ای و قرار دارد (پاک نیت، ۱۳۹۰).

میانگین دمای متوسط سالانه در منطقه مورد مطالعه در مرداد با دمای متوسط ۲۴/۶ درجه سانتی گراد گرم ترین ماه و در دی ماه با متوسط ۲/۲۰- درجه سانتی گراد سرد ترین ماه سال است.

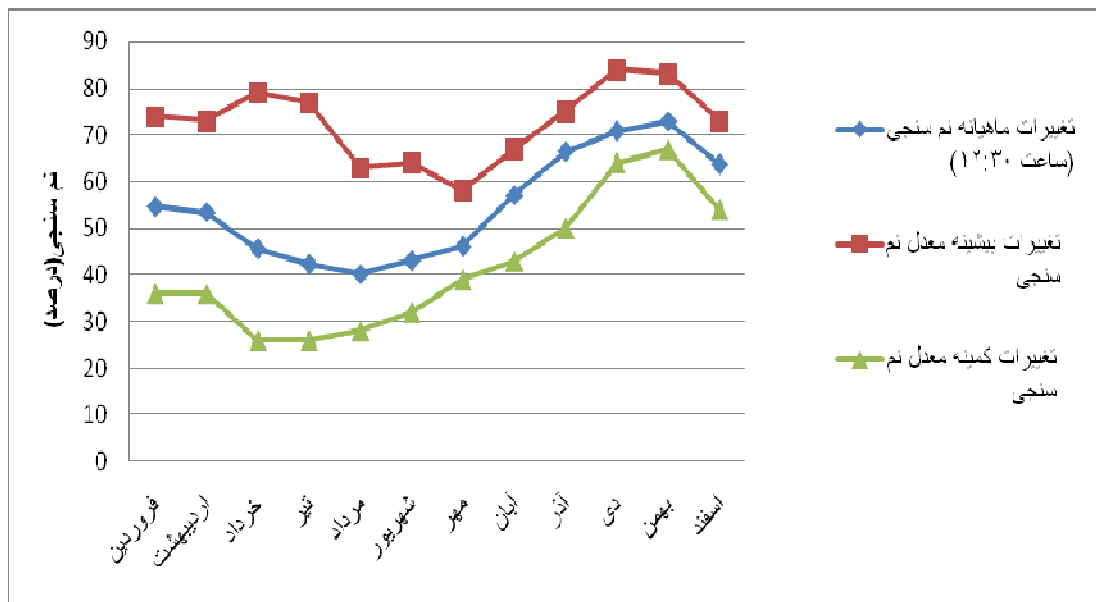
رطوبت نسبی منطقه حداکثر ۷۹ درصد و حداقل مقدار آن ۲۶ درصد بوده که از مرداد ماه با کاهش دما، رطوبت افزایش یافته و از بهمن ماه با افزایش تدریجی دما، رطوبت کاهش می یابد.

با استفاده از داده های باران سنجی در ایستگاه های هواشناسی منطقه، بیشترین بارش ماهانه در اردیبهشت ماه و کمترین آن در شهریورماه است. میانگین بارش سالانه در طول یک دوره ۲۶ ساله (۱۳۶۳-۸۹) برای یکی از ایستگاه های منطقه مرنند (ایستگاه چرچر) حداکثر ۴۵۰ میلی متر و حداقل ۱۵۰ میلی متر و میانگین بارش سالانه ۲۷۵/۳ میلی متر گزارش شده است.

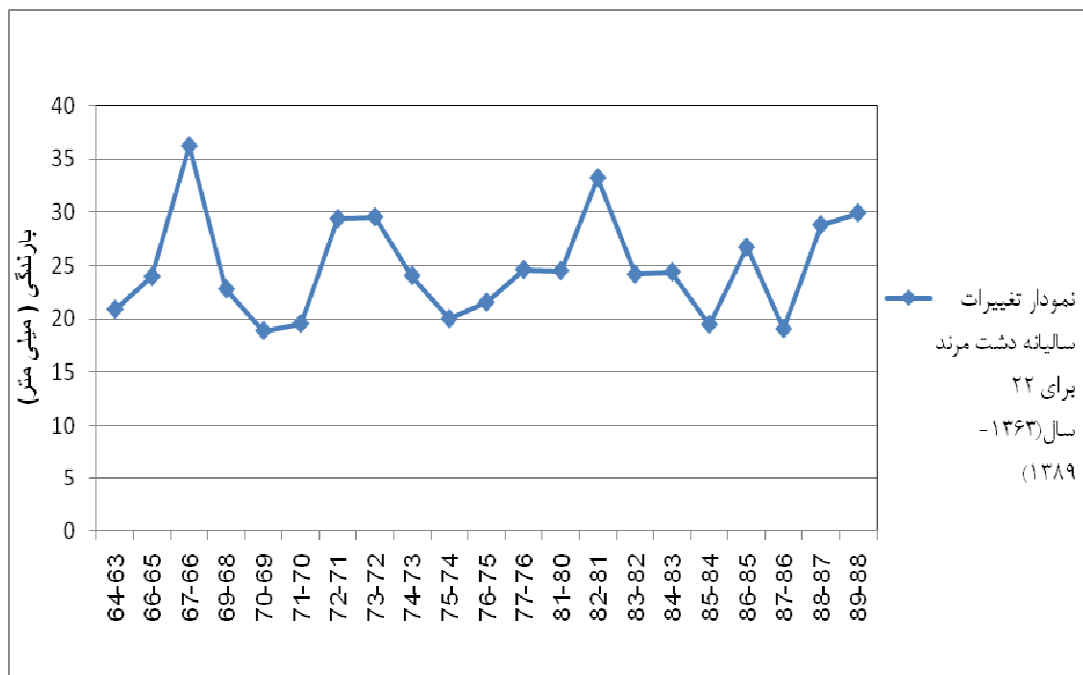
شکل ۳. تغییرات دمای ماهانه ایستگاه تبخیر سنجی چرچر (C°) (شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۰)



شکل ۴. نمودار تغییرات رطوبت (بر حسب درصد) دشت مرنند (۱۳۷۷-۱۳۸۹) (شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۰)



شکل ۵. نمودار تغییرات بارش سالیانه دشت مرند برای ۲۶ سال (شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۰)





## مواد و روش ها:

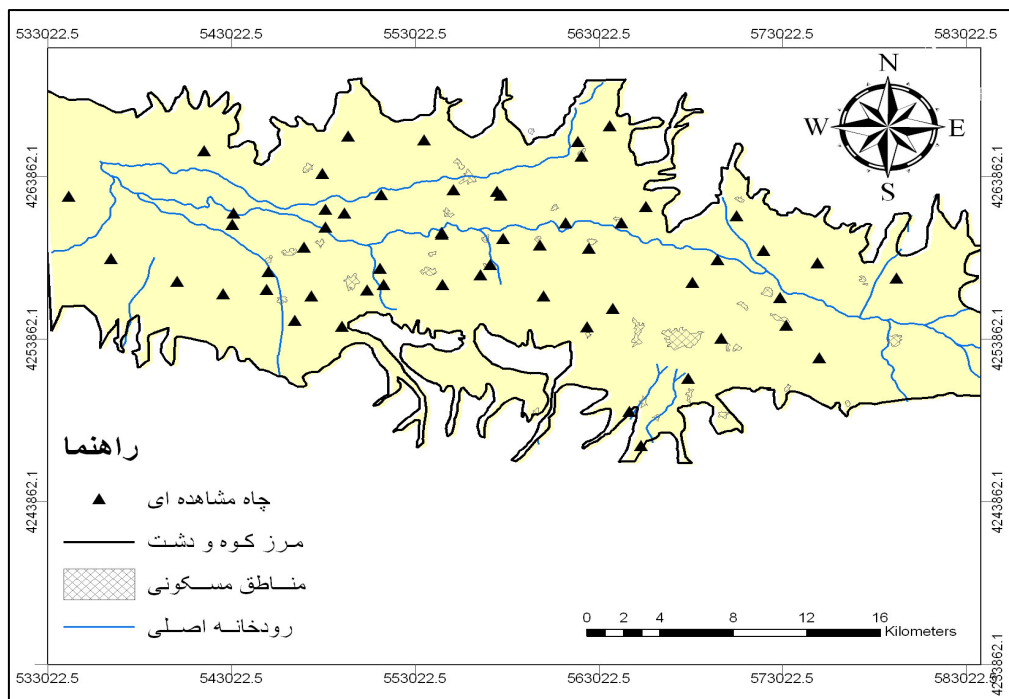
مطالعات این تحقیق با جمع آوری یک سری داده و جمع آوری اطلاعات کتابخانه ای مرتبط با منطقه آغاز شد. با توجه به اینکه آسان ترین راه دسترسی به قسمتی از آب های زیرزمینی، چاه های موجود منطقه بودند، مطالعه آن چاه ها اهمیت بالایی داشتند. در این راستا به دست آوردن آمار و محل چاه ها و مطالعات ژئوفیزیک برخی از چاه ها در مراحل مختلف بر اهمیت موضوع می افزود.

مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک در دو مرحله در حوضه مرند به شرح زیر انجام گرفته است:

مرحله اول در سال ۱۳۵۳ توسط مهندسان مشاور پارس کنسولت - ث - ژ شامل ۵۷ سونداژ الکتریکی بر روی ۹ پروفیل در قسمت غرب حوضه مرند انجام شده است.

مرحله دوم در سال ۱۳۵۷ توسط کارشناسان وزارت نیرو شامل ۶۵ سونداژ الکتریکی بر روی ۱۰ پروفیل در قسمت غرب و شرق حوضه مرند انجام شده است.

شکل ۶. موقعیت چاه های مشاهده ای موجود در حوضه مرند

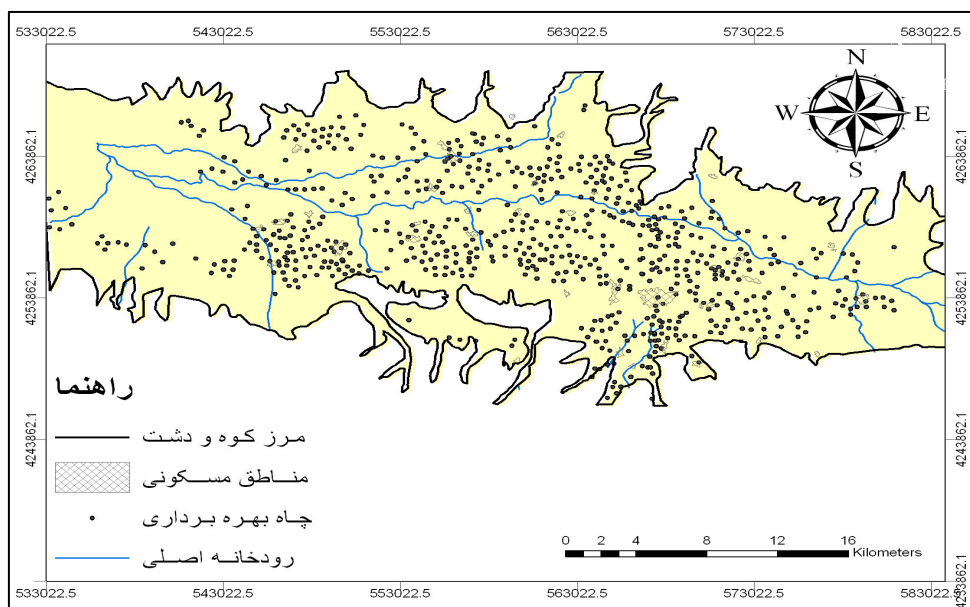


منبع: کارشناسان وزارت نیرو سال ۱۳۵۷

طبق آمار در سال آبی ۸۶-۸۵ تعداد ۸۳۷ حلقه چاه بهره برداری اعم از کشاورزی، شرب و صنعتی در محدوده مطالعاتی موجود می باشد. تعداد ۸۰۰ حلقه از آن ها چاه های عمیق و ۳۷ حلقه چاه نیمه عمیق هستند. تعداد چاه

های عمیق فعال ۶۶۹ حلقه و چاه های نیمه عمیق فعال ۱۹ حلقه می باشند، که تخلیه سالانه آن ها ۱۶۳/۷۵۸ میلیون متر مکعب است (پاک نیت، ۱۳۹۰).

شکل ۷. موقعیت چاه های بهره برداری حوضه مرند



منبع: کارشناسان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی سال آبی ۸۶-۸۵

مهمترین خاصیتی که در بررسی های انجام شده مورد بررسی قرار می گیرد، مقاومت عرضی لایه های آبدار محیط متخلخل می باشد. وابستگی ضرایب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی به پارامترهای غالباً مشترک، انگیزه یافتن رابطه ای بین آنها مطرح کرده است (هان و همکاران، ۱۹۹۵)

قابلیت انتقال ( $T$ ) حاصل ضرب ضخامت لایه آبدار ( $b$ ) و ضریب آب گذاری ( $K$ ) می باشد.

$$T = K \cdot b \quad (1)$$

از طرفی مقاومت عرضی ( $RT$ ) نیز حاصل ضرب ضخامت لایه آبدار (بخش اشباع از آب) ( $b$ ) و مقاومت ظاهری ( $\rho$ ) است.

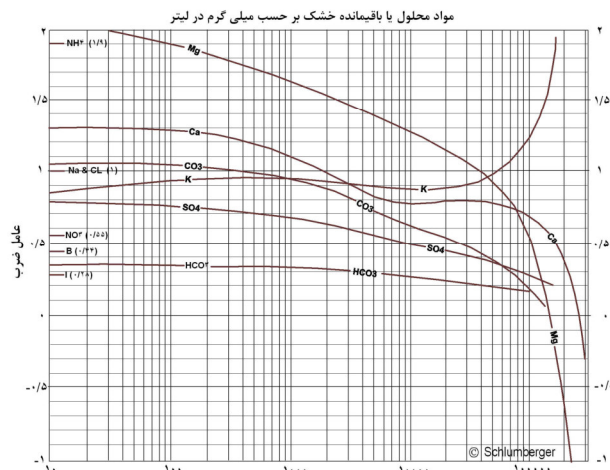
$$RT = \rho \cdot b \quad (2)$$

چنانچه این دو رابطه با هم مقایسه گردد. ملاحظه می شود که ضخامت لایه آبدار ( $b$ ) در هر دو یکی بوده، در رابطه اولی  $K$  بستگی به دانه بندی خاک و در رابطه دومی  $\rho$  علاوه بر دانه بندی به شوری (غلظت املاح آب) نیز بستگی دارد، حال چنانچه اثر شوری متفاوت در نقاط مختلف سفره حذف و یکنواخت گردد، همبستگی  $RT$  و  $T$  بیشتر می گردد. قبل از برقراری رابطه همبستگی بین این دو لازم است که  $RT$  تصحیح گردد، و به روش ذیل عمل می شود.

با توجه به مختلف بودن کمیت هر یک از کاتیون ها و آنیون ها و همچنین متفاوت بودن قدرت تفکیک یونی آنها بایستی هر یک از آنها را به یک نمک طعام معادل تبدیل نمود. بدین صورت که با مشخص کردن میزان باقیمانده خشک بروی محور افقی و رسم نمودار مربوطه و رسم عمودی به سمت بالا، ضرایب لازم برای هر یک از کاتیون ها و

آنیون‌ها از محل تقاطع خط عمود مزبور، با منحنی‌های مربوطه حاصل می‌گردد. این ضرایب را در مقدار یون‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر ضرب و از جمع آنها میزان نمک طعام معادل بدست می‌آید (لوئیس و همکاران، ۱۹۹۸).

شکل ۸ نمودار تبدیل آنیون و کاتیونهای مختلف بر حسب NaCl



با توجه به نمک‌های معادل بدست آمده برای نقاط نمونه برداری شده، نقشه هم ارزش و نقشه نمک طعام معادل تهیه شد (شکل ۹). با استفاده از این نقشه و نقشه مقاومت عرضی تهیه شده، مقدار نمک طعام معادل و مقاومت عرضی برای هر سونداژ بدست آمد. سپس جهت محاسبه مقاومت عرضی تصحیح شده، مقدار مقاومت عرضی هر سونداژ را بر نمک طعام معادل آن سونداژ ضرب و در عدد هزار (میزان نمک طعام پایه ۱۰۰۰ میلی‌گرم در نظر گرفته شد) تقسیم شد. سپس برای هر سونداژ یک مقاومت عرضی تصحیح شده، بدست آمد و نقشه مقاومت عرضی تصحیح شده، تهیه شد. (شکل ۱۰)

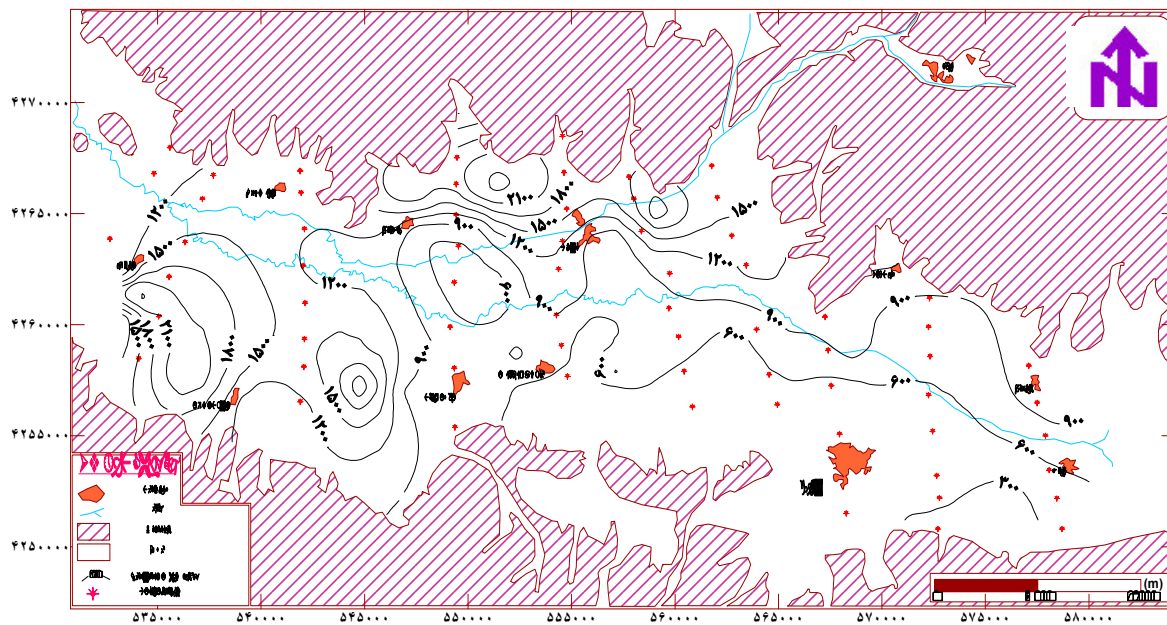
با پیاده نمودن چاه‌های پمپاژ شده بر روی نقشه مقاومت عرضی تصحیح شده، مقادیر  $RT$  نیز در محل هر پمپاژ از روی نقشه قرائت گردید. سپس رابطه (۳) بین دو عامل  $RT$  و  $T$  با تهیه نموداری برای دشت مرند بدست آمد.

$$T = 0,0242 \quad (3)$$

$$RT + 97,08$$

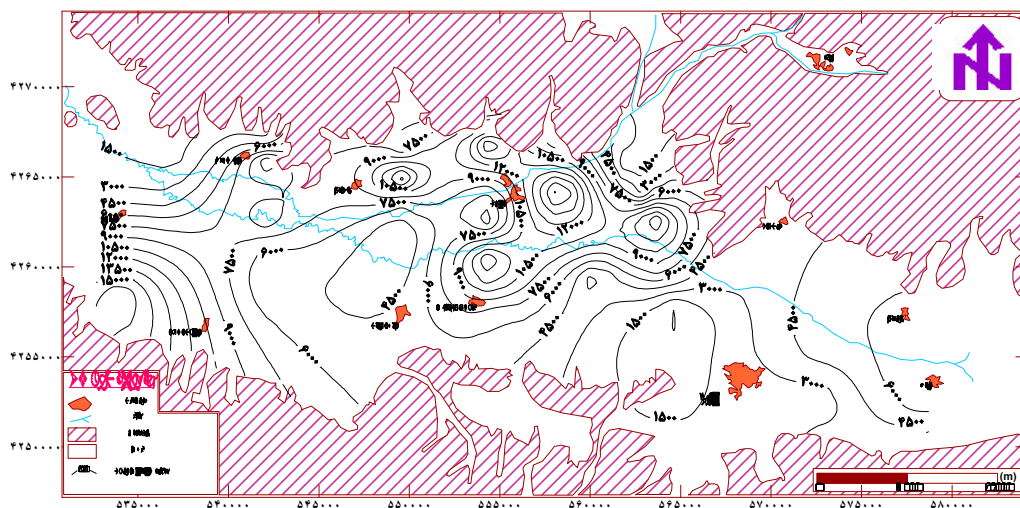
با توجه به رابطه فوق، برای هر سونداژ از روی نقشه  $RT$  تصحیح شده، میزان قابلیت انتقال محاسبه و بر اساس آن، نقشه قابلیت انتقال برای دشت تهیه شد (شکل ۱۱).

شکل (۹) - نقشه نمک طعام معادل (میلی گرم در لیتر)



ترسیم: علاف نجیب، ۱۳۸۱  
مأخذ: سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی

شکل (۱۰) - نقشه هم ارزش مقاومت عرضی تصحیح شده (اهم متر مربع)



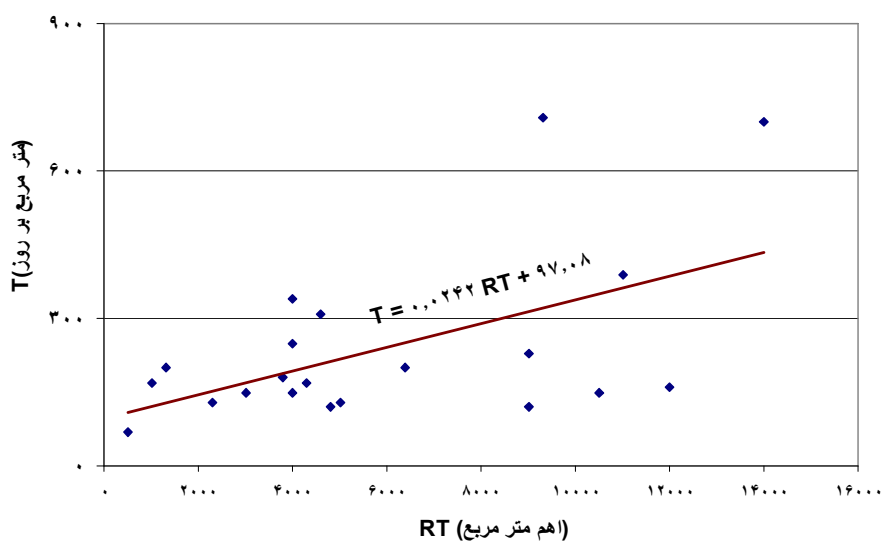
ترسیم: علاف نجیب، ۱۳۸۱  
مأخذ: سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی

سپس با توجه به موقعیت چاه های پمپاژ و نقشه مقاومت عرضی تصحیح شده، برای هر چاه پمپاژ، نموداری بر حسب دو عامل مذکور در مقیاس حسابی تهیه شده که به روی آن رابطه بین دو عامل  $RT$  و  $T$  مشخص است (شکل ۱۱).

به طوری که ملاحظه می گردد رابطه به صورت زیر می باشد:

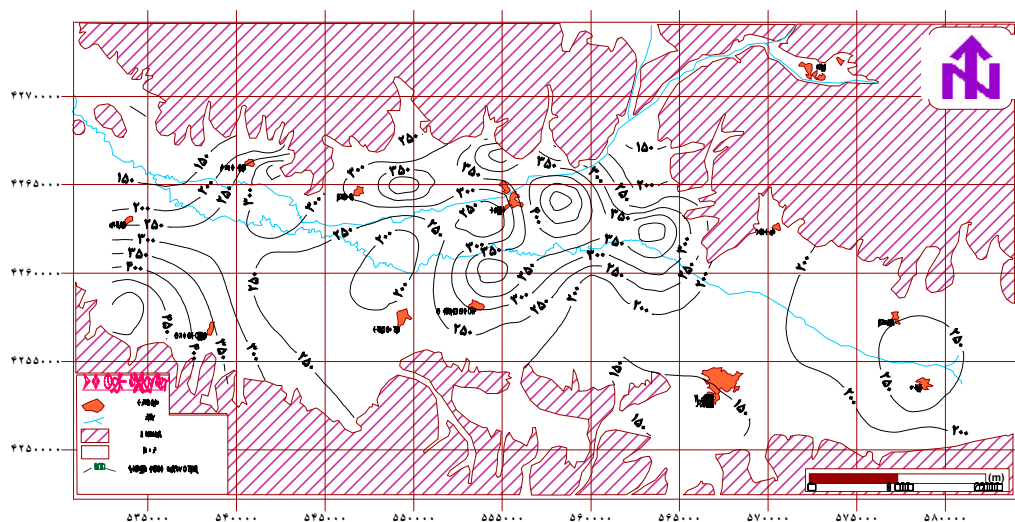
$$T = 0,0242 RT + 97,08 \quad (5)$$

شکل (۱۱) - نمودار تناسب  $RT$  تصحیح شده نسبت به مقادیر  $T$  در منطقه مرند



حال می توان با توجه به رابطه فوق، برای هر سونداژ که  $RT$  تصحیح شده بر آن محاسبه شده، قابلیت انتقال را نیز برای آن محاسبه نمود، و بر اساس آن نقشه قابلیت انتقال برای دشت تهیه شد. شکل (۱۲)

شکل (۱۲) - نقشه قابلیت انتقال ( $m^2/day$ ) با استفاده از مقاومت عرضی تصحیح شده منطقه مرند



در ادامه با استفاده از نقشه تراز آب زیرزمینی و با استفاده از رابطه

$$V = (T \times I) / b \quad (6)$$

V: سرعت داری

T: قابلیت انتقال

I: شیب هیدرولیکی

b: ضخامت لایه آبدار (اشباع)

با قراردادن مقادیر متوسطی از قابلیت انتقال، شیب هیدرولیکی و ضخامت اشباع آبخوان مرند در رابطه شماره ۶ می توان مقدار متوسطی از سرعت داری را بدست آورد. برای دشت مرند میزان سرعت داری در حدود ۱۰ سانتیمتر در روز بدست آمد.

با توجه به اینکه سرعت واقعی آب زیرزمینی همان سرعت داری نیست مقدار سرعت واقعی را از رابطه ذیل بدست آمد:

$$V_a = V / a \quad (7)$$

V: سرعت داری

a: متوسط تخلخل

که برای آبخوان دشت مرند با در نظر گرفتن ۰/۴ تخلخل، میزان سرعت واقعی در حدود ۲۵ سانتیمتر در روز بدست آمد.

### جمع بندی و نتیجه گیری:

بهره برداری بیش از حد مجاز از سفره آب زیرزمینی و کاهش میزان بارش در سال های اخیر، باعث افت شدید در سطح آب زیرزمینی شده است که این امر باعث خشک شدن تعدادی از منابع آب زیرزمینی اعم از چاه چشمه و قنات در منطقه شده است لذا تعیین ضرایب هیدرودینامیکی به عنوان پایه و اساس مدیریت بهره برداری از آبخوان به عنوان یک اصل مهم و حیاتی مورد توجه قرار می گیرد. تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان از جمله ضریب قابلیت انتقال به کمک نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک باعث صرفه جویی در حفاری چاه های اکتشافی و پیزومتری شده و با استفاده از نقشه مقاومت عرضی منطقه و نمک طعام معادل، ضریب قابلیت انتقال برای سایر نقاط دشت به دست می آید. لازم به ذکر است که ضرایب هیدرودینامیکی (ضریب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره) جهت محاسبه ورودی و خروجی آبخوان و در نهایت جهت بیان آب زیرزمینی و حجم ذخیره استاتیک و دینامیکی آبخوان مورد استفاده قرار می گیرد.

منابعی که به طور مستقیم و غیر مستقیم مورد استفاده قرار گرفته است:

۱. اصغری مقدم، م.ر، (۱۳۷۸) جغرافیای طبیعی شهر ۲، انتشارات مسعی، تهران.
۲. اصغری مقدم، م.ر. رجبی، الف، (۱۳۸۳) جغرافیای طبیعی شهر ۳، چاپ پنجم، انتشارات سرا، تهران.
۳. اصغری مقدم، م.ر، (۱۳۸۰) بررسی روند ایجاد رودخانه‌ها، مجله دانشنامه، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۴. اصغری مقدم، م.ر، (۱۳۸۷) مبانی هیدرولوژی برای جغرافیا، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
۵. افتخارنژاد، ج. (۱۳۵۹)، "تفکیک بخش های مختلف ایران از نظر ساختمانی در ارتباط با حوضه های رسوبی"، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲.
۶. پاک نیت، م. (۱۳۹۰) "بررسی پتانسیل نشست زمین در دشت مرنده ناشی از افت سطح ایستابی آبخوان منطقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر فیروز برادر رضی زاده، دپارتمان زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.
۷. پرایس، م. (۱۳۷۵)؛ "شناخت آب های زیرزمینی" ترجمه منوچهرچیت سازان، انتشارات دانشگاه شهیدچمران اهواز.
۸. درویش زاده، ع، (۱۳۷۰). "زمین شناسی ایران" انتشارات دانش امروز، تهران.
۹. دیوید، بی وهمکاران. (۱۳۸۴) "هیدرولوژی وهیدرولیک آب های زیرزمینی" ترجمه دکتر محمودشریعتمدارطالقانی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۱۰. ری، کی، لنزی و ژوزف، ب، فرانزینی. (۱۳۷۷)؛ "مهندسی منابع آب" ترجمه محمدحسن مولایی، جلد اول، انتشارات سازمان آب منطقه ای، تهران.
۱۱. سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی، (۱۳۶۹). گزارش مطالعات چاه های منطقه مرنده در سال های آبی ۸۵-۸۶.
۱۲. سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی، (۱۳۸۰). گزارشات زمین شناسی مطالعات آب های زیرزمینی و سطحی دشت مرنده.
۱۳. سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی، (۱۳۸۷). مطالعات امکان یابی رودخانه های مرزی ایران و ترکیه، گزارش دشت مرنده.
۱۴. صفوی، ح، ر. (۱۳۸۵)؛ "هیدرولوژی مهندسی" انتشارات ارکان، اصفهان.

۱۵. عباس زاده، ک، (۱۳۹۰). "بررسی عوامل موثر در تغییر مورفولوژی مسیر رودخانه‌ها مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای"، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمدرضا اصغری مقدم، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
۱۶. علاف نجیب، م، (۱۳۸۱). هیدروژئولوژی دشت مرند و تأثیر تغییرات سطح آب در کیفیت آب زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۱۷. کردوانی، پ. (۱۳۷۴)؛ "ژئوهیدرولوژی آب های زیرزمینی" انتشارات دانشگاه تهران.
۱۸. مهندسین مشاور تماوان، (۱۳۷۶)، "طرح بند انحرافی کانال آب رسانی و مخزن ذخیره روستای بناب مرند.
۱۹. مهندسین مشاور پارس کنسولت، ث، ژ، ژ، (۱۳۵۳). "بررسی ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک" طرح مطالعات آب های مرزی ایران و ترکیه.
۲۰. نبوی، م، ح. (۱۳۵۵)، "دیاچه ای بر زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان آب زمین شناسی کشور، تهران.
۲۱. نجمایی، م. (۱۳۶۸)؛ "هیدرولوژی مهندسی" انتشارات سارا، تهران.
۲۲. وزارت نیرو، (۱۳۵۷). گزارش مطالعات ژئوفیزیک دشت مرند.
۲۳. Seok Han, W. and Soo Choi, B. and Lee, K. (۱۹۹۵). Relation between electrical and hydraulic properties of aquifer in the Ganam area. Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, Vol. ۲, No. ۲, pp. ۷۸-۸۴.
۲۴. Ioannis F. Louis, George A. Karantonis, Nikolaos S. Voulgaris and Filippou I. Louis. (۱۹۹۸). The contribution of geophysical methods in the determination of aquifer parameters: the case of Mornos River delta, Greece. Department of Geophysics & Geothermic, University of Athens, Panepistimiopolis, Ilissia, Athens ۱۵۷۸۴, Greece.