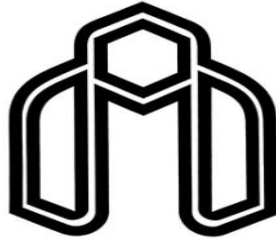


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی

عنوان:

مطالعه منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان، دامغان

دانشجو:

فاطمه توحیدی‌فر

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

بهمن ماه ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین
گروه: زیست محیطی و آبشناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه توحیدی فر
تحت عنوان: مطالعه منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان، دامغان

در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد *احمدی* مورد پذیرش قرار گرفت.
مورد ارزیابی و با درجه

| امضاء | اساتید مشاور | امضاء | اساتید راهنما |
|-------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | نام و نام خانوادگی: | دکتر غلامحسین کرمی | نام و نام خانوادگی: |
| | نام و نام خانوادگی: | | نام و نام خانوادگی: |

| امضاء | نماینده تحصیلات تکمیلی | امضاء | اساتید داور |
|-------|---------------------------------------|------------|---------------------|
| | نام و نام خانوادگی: دکتر افشین فشرافی | هادی جعفری | نام و نام خانوادگی: |
| | | رحیم باقری | نام و نام خانوادگی: |
| | | | نام و نام خانوادگی: |
| | | | نام و نام خانوادگی: |



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه توحیدی فرشته زمین‌شناسی گرایش آشناسی تحت عنوان مطالعه منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان، دامغان که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

| | | |
|--------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> مردود | <input type="checkbox"/> دفاع مجدد | <input checked="" type="checkbox"/> <u>قبول (با درجه: عالی - امتیاز: ۱۹/۶۵)</u> |
|--------------------------------|------------------------------------|---|

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| عضو هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------------|--------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنما | دکتر غلامحسین کرمی | دانشیار | |
| ۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | دکتر افشین قشلاقی | استادیار | |
| ۳- استاد ممتحن | دکتر هادی جعفری | استادیار | |
| ۴- استاد ممتحن | دکتر رحیم باقری | استادیار | |
| | | | |

رئیس دانشکده: امضاء

تقدیم بابوسه بردستان پدرم:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و...

پدرم راه تمام زندگیست.

تقدیم بابوسه بردستان مادرم:

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه نچ بود و وجودش برایم همه مهر... .

و تقدیم به خواهران و برادرانم که با تشویق ما و وجودشان همراهیم کردند

مشکر و قدردانی

تختین پاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دیای بیکران اندیشه، قهره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب اساتیدی بزرگ به تماشا بیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی بایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب پاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگیشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

پاس و مشکر بی‌کران از زحمات بی‌دریغ استاد عالی قدر جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشتند. در ادامه از کلیه استادان ارجمند در طول دوره تحصیل از جمله آقایان دکتر کاظمی، دکتر جعفری، دکتر شرازمینی، دکتر باقری و دکتر طاهری قدردانی و مشکر نموده و همچنین از کارمندان محترم دانشکده به ویژه سرکار خانم فارسی، آقای میرباقری و کالکنان محترم اداره آب دامغان آقای مهندس خراسانی و آقای مهندس ساگری مشکر می‌نمایم.

پاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم، به پدر، مادر و سایر عزیزان و دوستانم خانم ها کرمی، دادپور، ساداتی جامی، خلیلی، شیخ لیوسی، بسری، ابوالحسنی، حمید و حجاز که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است تقدیم می‌نمایم.

فاطمه توحیدی فر

بهمن ماه ۱۳۹۳

تعهد نامه

اینجانب **فاطمه توحیدی** فر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **آبشناسی** دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مطالعه منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان، دامغان** تحت راهنمایی دکتر **غلامحسین کرمی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

منطقه معلمان در حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب دامغان و در حاشیه شمالی کویر مرکزی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه شامل یک آبخوان آزاد می‌باشد که بخشی از دشت سرکویر را در بر می‌گیرد. این آبخوان از نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر تشکیل شده است. در این منطقه هیچ پیژومتری وجود ندارد و به همین دلیل برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل دشت از اطلاعات مربوط به چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌های منطقه در اسفند ماه ۱۳۹۲ استفاده شده است. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل تهیه شده، جهت عمومی جریان از شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق می‌باشد. بیشترین مقادیر گرادیان هیدرولیکی مربوط به بخش‌های شمال غربی (بالادست منطقه) بوده که حدود یک درصد است و کمترین مقادیر آن مربوط به بخش‌های جنوب شرقی (پایین دست منطقه) که حدود شش دهم درصد می‌باشد. علت این کاهش نسبی گرادیان هیدرولیکی در مناطق جنوبی، احتمالاً به دو دلیل است. اول این که به علت زهکشی آب زیرزمینی توسط قنات‌ها، دبی جریان آب زیرزمینی در پایین دست منطقه کمتر می‌شود. دوم این که احتمالاً در پایین دست منطقه شیب سنگ بستر آبخوان کمتر از بالادست منطقه می‌باشد. به منظور بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی در منطقه معلمان، از ۴ حلقه چاه و ۶ رشته قنات در اسفند ماه ۱۳۹۲ نمونه‌برداری به عمل آمد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و هم‌چنین دمای آب می‌باشد. سایر پارامترهای مورد ارزیابی شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات می‌باشند که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی در منطقه نشان می‌دهد که در جهت جریان آب زیرزمینی و با تغییر جنس واحدهای زمین‌شناسی و نزدیک‌تر شدن به منطقه شورزار و کویری کیفیت آب به طور قابل ملاحظه‌ای در بخش‌های جنوبی منطقه کاهش پیدا می‌کند. این کاهش به گونه‌ای است که مقادیر هدایت الکتریکی منطقه از ۳۰۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر در شمال منطقه به بیشتر از ۶۰۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر در جنوب منطقه افزایش می‌یابد. تیپ غالب آب در آبخوان منطقه از نوع کلروره- سدیک می‌باشد.

کلمات کلیدی: منطقه معلمان، آبخوان آزاد، دامغان، بررسی کیفی

مقالات مستخرج از این پایان نامه

۱- ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان دامغان، همایش کاربرد کامپیوتر در علوم زمین،

تهران، دی ماه ۱۳۹۳.

۲- بررسی کمی منابع آب زیرزمینی در منطقه معلمان دامغان، هجدمین همایش انجمن زمین شناسی

ایران، تهران، دی ماه ۱۳۹۳.

فهرست مطالب

| | |
|--|---|
| فصل اول: مقدمه..... | ۱ |
| ۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق..... | ۱ |
| ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... | ۲ |
| ۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه..... | ۳ |
| ۴-۱- آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه..... | ۵ |
| ۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه..... | ۸ |
| ۶-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... | ۸ |
| ۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... | ۸ |

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته درباره هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی

| | |
|---|----|
| مناطق خشک و نیمه خشک..... | ۱۳ |
| ۱-۲- عوامل موثر بر کمیت آب‌های زیرزمینی..... | ۱۳ |
| ۱-۱-۲- ارزیابی مقدار تغذیه در مناطق خشک و نیمه‌خشک..... | ۱۴ |
| ۲-۱-۲- برداشت از آب‌های زیرزمینی..... | ۱۶ |
| ۳-۱-۲- جریان ورودی سطحی و زیرزمینی به منطقه..... | ۱۹ |
| ۴-۱-۲- جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی..... | ۲۰ |
| ۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی..... | ۲۱ |
| ۱-۲-۲- نقش عوامل طبیعی بر کیفیت آب زیرزمینی..... | ۲۱ |
| ۲-۲-۲- تاثیر عوامل غیرطبیعی بر کیفیت آب زیرزمینی..... | ۲۴ |

فصل سوم: روش انجام کار.....

| | |
|---|----|
| ۱-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی..... | ۲۹ |
| ۲-۳- بررسی‌های زمین‌شناسی..... | ۳۰ |
| ۳-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه..... | ۳۰ |

- ۳-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده ۳۰
- ۳-۴- ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی ۳۱
- ۳-۵- ارزیابی داده‌های هیدروژئوشیمیایی ۳۱

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان منطقه معلمان ۳۳

- ۴-۱- مقدمه ۳۳
- ۴-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان منطقه ۳۳
- ۴-۲-۱- بررسی‌های ژئوفیزیکی ۳۴
- ۴-۲-۲- موقعیت چاه‌ها و قنات‌های منطقه ۴۰
- ۴-۲-۳- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان منطقه ۴۱
- ۴-۲-۴- نقشه هم‌عمق سطح ایستابی ۴۲
- ۴-۲-۵- برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان منطقه ۴۵
- ۴-۳- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه ۴۸
- ۴-۳-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی ۵۰
- ۴-۳-۲- بررسی نقشه pH ۵۳
- ۴-۳-۳- ارزیابی تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی ۵۶
- ۴-۳-۴- تعیین تیپ آب‌های زیرزمینی منطقه معلمان ۶۷
- ۴-۳-۵- بررسی شاخص‌های اشباع ۶۹
- ۴-۳-۶- شاخص کلرو-آلکالین ۷۱
- ۴-۳-۷- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی ۷۲
- ۴-۳-۸- بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه معلمان برای مصارف کشاورزی ۷۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادهای ۷۷

- ۵-۱- ارزیابی جهت کلی جریان در منطقه ۷۷
- ۵-۲- ارزیابی قابلیت انتقال منطقه ۷۷
- ۵-۳- بررسی ضخامت آبرفت در منطقه ۷۸

- ۴-۵- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه ۷۸
- ۵-۵- روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی ۷۹
- ۶-۵- تیپ آب‌های زیرزمینی ۷۹
- ۷-۵- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب ۷۹
- ۸-۵- بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی ۷۹
- ۹-۵- پیشنهادهایی برای مطالعه بیشتر ۸۰

پیوست‌ها ۸۱

منابع مورد استفاده ۸۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه..... ۲
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه برای دوره آماری ۵ ساله (از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱)..... ۵
- شکل ۱-۳- سیل در منطقه معلمان در سال ۱۳۹۳..... ۶
- شکل ۱-۴- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۲
- شکل ۱-۳- موقعیت نقاط اندازه‌گیری سطح آب و نمونه‌برداری در آبخوان معلمان..... ۳۲
- شکل ۱-۴- موقعیت نقاط سونداژ و پروفیل‌های منطقه..... ۳۵
- شکل ۲-۴- نقشه هم‌مقاومت عرضی آبخوان منطقه مورد مطالعه..... ۳۹
- شکل ۳-۴- نقشه هم‌پتانسیل منطقه معلمان..... ۴۳
- شکل ۴-۴- نقشه هم‌عمق منطقه معلمان..... ۴۴
- شکل ۵-۴- موقعیت چاه پمپاژ و منابع آبی مجاور آن در منطقه مورد مطالعه..... ۴۶
- شکل ۶-۴- نمودار کوپر و ژاکوپ برای آزمایش پمپاژ در منطقه مورد مطالعه..... ۴۷
- شکل ۷-۴- نمودار هانتوش برای آزمایش پمپاژ منطقه معلمان..... ۴۸
- شکل ۸-۴- نقشه هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۵۱
- شکل ۹-۴- نمودار همبستگی EC و TDS..... ۵۲
- شکل ۱۰-۴- ارتباط بین یون‌ها و هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه..... ۵۴
- شکل ۱۱-۴- نقشه اسیدیته نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۵۵
- شکل ۱۲-۴- نقشه سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۵۷
- شکل ۱۳-۴- نقشه کلر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۵۸
- شکل ۱۴-۴- نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها..... ۵۹
- شکل ۱۵-۴- نقشه سولفات آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۶۱
- شکل ۱۶-۴- نقشه بی‌کربنات آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۶۲
- شکل ۱۷-۴- نقشه نسبت یون کلر به مجموع آنیون‌ها در آب زیرزمینی..... ۶۳
- شکل ۱۸-۴- نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها در آب زیرزمینی آبخوان منطقه معلمان..... ۶۵
- شکل ۱۹-۴- نقشه تغییرات سختی آب زیرزمینی آبخوان منطقه معلمان..... ۶۶

- شکل ۴-۲۰- نمودار استیف مربوط به نمونه‌های منطقه معلمان..... ۶۸
- شکل ۴-۲۱- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان منطقه معلمان..... ۶۹
- شکل ۴-۲۲- نمودار شاخص اشباع یونی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان ۷۰
- شکل ۴-۲۳- شاخص CAI نمونه‌های چاه‌ها و قنات‌های منطقه مورد مطالعه..... ۷۱
- شکل ۴-۲۴- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۷۲
- شکل ۴-۲۵- نمودار ویلکوکس نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان..... ۷۴

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- مقادیر درجه حرارت و بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۳
- جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن ۴
- جدول ۱-۴- تغییر مقاومت مخصوص حقیقی لایه‌ها در منطقه مطالعاتی ۳۶
- جدول ۲-۴- مشخصات چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان معلمان ۴۰
- جدول ۳-۴- مشخصات چاه‌ها و قنات‌های منطقه معلمان در اسفند ماه ۱۳۹۲ ۴۱
- جدول ۴-۴- مقادیر آبدهی ثبت شده در اثر آزمایش پمپاژ در قنات‌های حسینان و معلمان ۴۵
- جدول ۴-۵- موقعیت چاه‌ها و قنات‌های نمونه‌برداری شده ۴۹
- جدول ۴-۶- مقادیر سایر پارامترهای شیمیایی چاه‌ها و قنات‌های نمونه‌برداری شده ۵۰
- جدول ۴-۷- رابطه بین EC و TDS در چاه‌ها و قنات‌های منطقه ۵۳
- جدول ۴-۸- مقادیر نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها آب‌های زیرزمینی منطقه معلمان ۶۰
- جدول ۴-۹- مقادیر نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها ۶۴
- جدول ۴-۱۰- شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان ۷۰
- جدول ۴-۱۱- ارزیابی کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی ۷۵

فصل اول: مقدمه

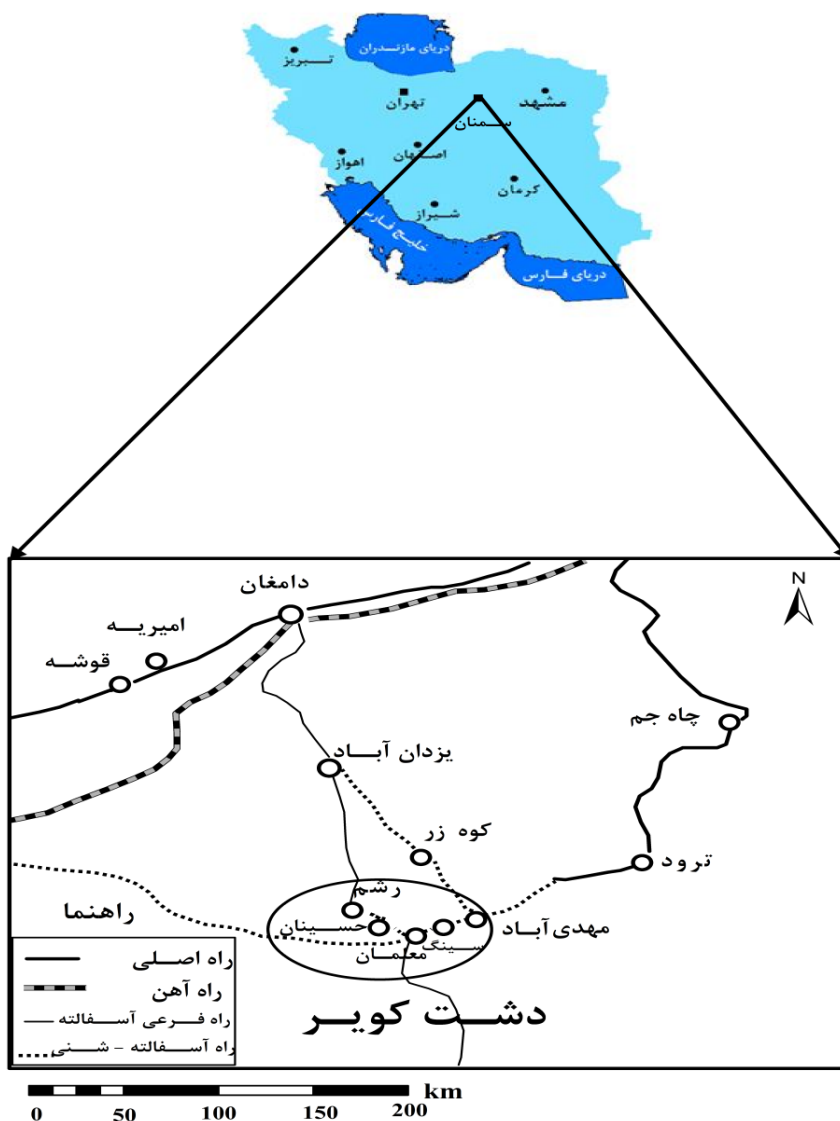
۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق

با توجه به این که بخش عظیمی از کشورمان دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد به دلیل کم بودن بارش از یک سو و زیاد بودن تبخیر از سوی دیگر، از نظر منابع آبی در وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به متوسط دنیا قرار گرفته و همواره با کم آبی مواجه است. اما در سال‌های اخیر پدیده تغییر اقلیم، وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی و نوسانات زیاد آب و هوایی، باعث کاهش چشمگیر آب‌های سطحی در کشور شده و در نتیجه استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی موجب کاهش شدید سطح آب در آبخوان‌ها و همچنین تغییر کیفیت آب آن‌ها شده است. این قبیل تغییرات، تنها بخشی از آثار نامطلوبی می‌باشد که به لحاظ افزایش در بهره‌برداری این منابع رخ داده است. بنابراین، حفاظت از این منابع با ارزش به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ سلامت و توسعه همه جانبه جوامع مطرح است. بدیهی است که در اولین اقدام جهت حفاظت و استفاده بهینه از این ذخایر آب زیرزمینی، باید شناخت و آگاهی دقیقی از پتانسیل این منابع بدست آورد و با انجام پایش‌های مستمر آگاهی همه جانبه‌ای را به خصوص از تغییرات کمی و کیفی بدست آورد.

منطقه معلمان در جنوب دامغان و در حاشیه شمالی دشت کویر واقع شده است. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک بوده و هیچ گونه منابع آب سطحی در آن وجود ندارد. اهمیت بررسی و حفاظت از منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی دوچندان می‌شود. بر اساس پیگیری‌های انجام شده تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی منابع آب زیرزمینی منطقه انجام نشده است. بنابراین هدف از انجام این مطالعه ارزیابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه معلمان می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه معلمان در ۱۲۰ کیلومتری جنوب دامغان در حاشیه شمالی دشت کویر واقع شده است. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی "۲۰' ۳۲° ۵۴" تا "۴۰' ۳۴° ۵۴" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۵° ۱۲' ۳۵" تا "۳۵° ۱۴'" شمالی قرار گرفته است. مهم‌ترین روستاهای این منطقه شامل روستاهای معلمان، حسینان، سینگ و رشم می‌باشد که شغل اصلی مردم دامداری و پرورش شتر است. مهم‌ترین راه‌های ارتباطی منطقه از سمت شمال، جاده‌های آسفالتی دامغان- معلمان و شاهرود- طرود- معلمان و از سمت جنوب جندق- معلمان می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

جهت بررسی وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات مربوط به ایستگاه هواشناسی سینگ، استفاده شده است. جدول (۱-۱) مقادیر درجه حرارت و بارندگی مربوط به منطقه معلمان را در یک دوره آماری پنج ساله (۱۳۸۷-۱۳۹۱) نشان می‌دهد (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۹۲).

جدول ۱-۱- مقادیر درجه حرارت و بارندگی در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۹۱ (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۹۲)

| زمان(ماه) | میانگین درجه حرارت ماهانه (درجه سانتی‌گراد) | میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر) |
|----------------|--|--------------------------------------|
| مهر | ۲۳/۹ | ۰/۵ |
| آبان | ۱۴/۶ | ۴/۸ |
| آذر | ۷/۸ | ۷/۳ |
| دی | ۶/۰۹ | ۱/۵ |
| بهمن | ۵/۹ | ۸/۸ |
| اسفند | ۱۱/۵ | ۸/۵ |
| فروردین | ۱۸/۲ | ۱۴ |
| اردیبهشت | ۲۵/۲ | ۳/۸ |
| خرداد | ۳۱/۵ | ۱/۵ |
| تیر | ۳۴/۷ | ۰/۱ |
| مرداد | ۳۴/۲ | ۰ |
| شهریور | ۲۹/۲ | ۰/۸ |
| میانگین سالانه | ۲۰/۲ | ۵۱/۶ |

با توجه به آمار ارائه شده توسط این ایستگاه، بیشترین مقدار بارندگی در فروردین ماه و بیشینه دما در تیر ماه می‌باشد. همچنین کمترین مقدار بارندگی نیز در این دوره آماری ۵ ساله به طور میانگین در مرداد ماه و حداقل دما نیز در بهمن ماه رخ می‌دهد. میانگین سالانه بارندگی و دما به ترتیب حدود ۵۱/۶ میلی‌متر و ۲۰/۲ می‌باشد. حدود ۶۰/۷ درصد از بارندگی در سه ماهه بهمن تا فروردین ماه رخ

می‌دهد که بیانگر تمرکز بالای بارندگی در این سه ماهه است. با توجه به آمار و اطلاعات ارائه شده در ایستگاه سینگ، بیشترین میزان بارندگی مربوط به سال آماری ۸۸-۱۳۸۷ با مقدار ۷۱ میلی‌متر و حداقل آن مربوط به سال آماری ۹۰-۱۳۸۹ با مقدار ۳۴ میلی‌متر می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه نیز در حدود ۴۶۴۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۹۲).

بسیاری از متخصصان هوا و اقلیم شناسی بر حسب نوع و اهداف مختلف یک یا چند عامل هواشناسی را انتخاب کرده و آن را پایه و اساس طبقه‌بندی مناطق قرار داده‌اند که پهنه‌بندی این مناطق می‌تواند توسط فرمول، ضریب و نمودار و امثال آن صورت بگیرد (علیزاده ۱۳۹۰). در این مطالعه جهت تعیین اقلیم منطقه از ضریب دمارتن و نمودار امبروترمیک استفاده شده که نتایج آن در زیر ارائه شده است. برای تعیین اقلیم منطقه، دمارتن با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه (De Martonne) معادله زیر را پیشنهاد می‌کند:

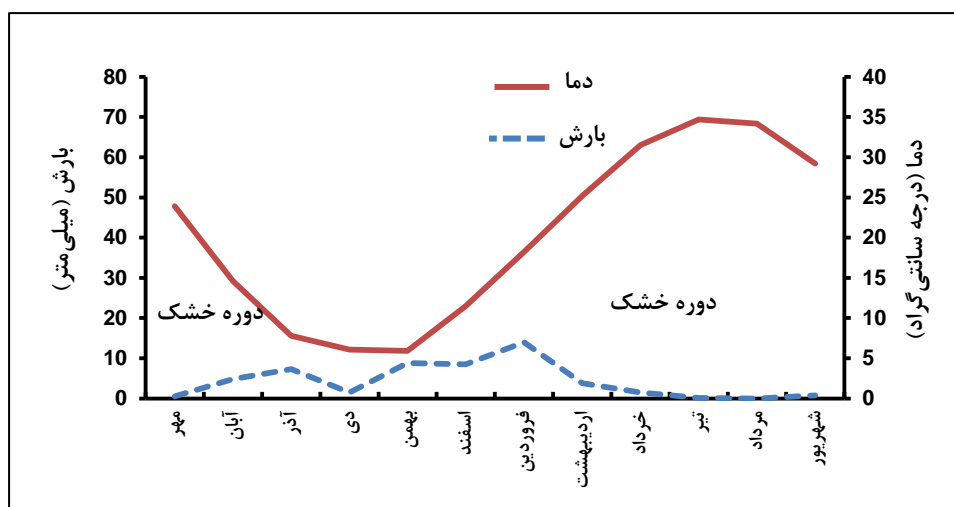
$$I = \frac{P}{T + 10} \quad \text{معادله (۱-۱)}$$

P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و I ضریب خشکی می‌باشد. با محاسبه ضریب خشکی و مراجعه به جدول (۱-۲) نوع اقلیم تعیین می‌شود. در منطقه معلمان ضریب I برای ایستگاه سینگ (با میانگین بارندگی ۵۱/۶ میلی‌متر و میانگین دمای ۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد) برابر با ۱/۷ بدست می‌آید که طبق جدول (۱-۲) اقلیم منطقه به طور قطعی از نوع خشک می‌باشد.

جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (به نقل از علیزاده ۱۳۹۰)

| نام اقلیم | محدوده ضریب خشکی دمارتن (I) |
|-------------|-----------------------------|
| خشک | کوچکتر از ۱۰ |
| نیمه خشک | ۱۰ تا ۱۹/۹ |
| مدیترانه‌ای | ۲۰ تا ۲۳/۹ |
| نیمه مرطوب | ۲۴ تا ۲۷/۹ |
| مرطوب | ۲۸ تا ۳۴/۹ |
| بسیار مرطوب | خشک بزرگتر از ۳۵ |

نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس تغییرات میانگین ماهانه دمای هوا و بارندگی ترسیم و در شکل (۲-۱) ارائه شده است. طبق این نمودار، ملاحظه می‌شود که منحنی‌های دما و بارش در هیچ زمانی همدیگر را قطع نکرده‌اند. بنابراین، بر اساس نمودار امبروترمیک می‌توان این چنین نتیجه گرفت که در این منطقه کلیه ماه‌های سال به عنوان ماه‌های خشک (دوره خشک) می‌باشد و در این منطقه هیچ دوره مرطوبی وجود ندارد.



شکل ۲-۱- نمودار امبروترمیک منطقه برای دوره آماری ۵ ساله (از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱)

۴-۱- آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

الف- آب‌های سطحی منطقه

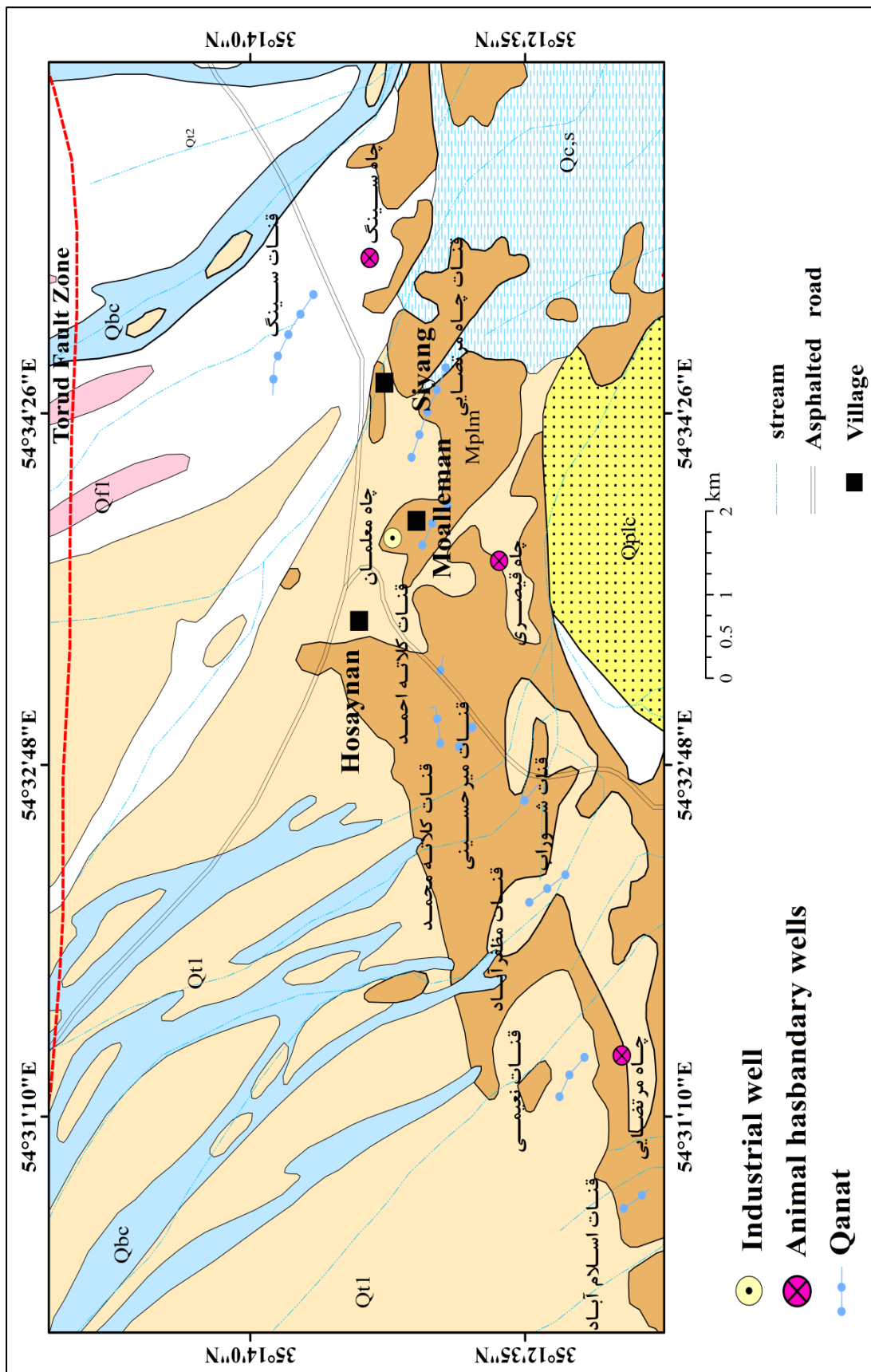
به دلیل عدم وجود آبراهه دائمی، ایستگاه هیدرومتری هم در منطقه احداث نشده است. اما در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه چهار آبراهه به نام‌های زرشکی، تنگه، رشم و نیک وجود دارد. در مواقعی که شدت بارندگی حدود ۴ میلی‌متر بر ساعت یا بیشتر باشد باعث ایجاد سیلاب می‌گردد. نمونه‌ای از این سیل‌ها در تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۱ رخ داده که شدت بارندگی حدود ۴ میلی‌متر در ساعت برآورد شده است. شکل (۳-۱) تصویری از سیل مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- سیل در منطقه معلمان در سال ۱۳۹۳

ب- آب‌های زیرزمینی منطقه

منطقه مورد مطالعه شامل یک آبخوان آزاد است که از دامنه ارتفاعات کوه‌های دزینا، آتشان، قلعه‌دختر، کم‌انجیر، انارو، تنوره تا حاشیه دشت کویر در جنوب معلمان امتداد یافته است. سیستم‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه شامل چاه، چشمه و قنات می‌باشد که مهمترین منبع تأمین آب برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. موقعیت چاه‌ها و قنات‌ها در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. اکثریت چاه‌های حفر شده در آبخوان به استثنای چاه حسینان که عمیق است چاه‌های کم عمق می‌باشند. عمق این چاه‌ها از ۱۰ تا ۳۰ متر بوده و دبی آن‌ها حدود یک لیتر بر ثانیه می‌باشد. از سوی دیگر، بیشترین دبی در چاه‌های منطقه مربوط به چاه سینگ است که دبی آن حدود ۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد. همچنین در بین قنات‌های حفر شده در آبخوان بیشترین آبدهی‌ها مربوط به قنات شمال سینگ با آبدهی حدود ۲۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که مظهر قنات مذکور در جنوب منطقه واقع شده ولی مادرچاه آن در قسمت پر آب و با کیفیت مناسب شمال دشت قرار گرفته است و عمق مادر چاه آن‌ها حدود ۵۰ متر می‌باشد. در منطقه معلمان هیچ گونه چشمه‌ای وجود ندارد.



شکل ۱-۴- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

از نظر مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه به چهار واحد کوهستان، تپه ماهور، دشت و واحد رودخانه تقسیم می‌شود. واحد مورفولوژیکی کوهستان به نواحی اطلاق می‌شود که اختلاف ارتفاع آن‌ها با نواحی مجاور به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد و این نواحی عمدتاً در شمال و شمال‌غرب منطقه واقع شده‌اند. واحد تپه ماهور به نواحی گفته می‌شود که اختلاف ارتفاع آن‌ها با نواحی مجاور بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر می‌باشد و این تیپ مورفولوژیکی عمدتاً به صورت یک نوار در حد فاصل دشت و ارتفاعات و در مجاور دامنه کوه‌ها، در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. واحد مورفولوژیکی دشت که اختلاف ارتفاع نقاط مختلف آن کمتر از ۵۰ متر می‌باشد، متشکل از مخروطه‌افکنه‌های قدیمی و جوان می‌باشند که بخش وسیعی از منطقه را تشکیل داده است. واحد رودخانه هم به طور مشخصی در نواحی مختلف حوضه مورد مطالعه با جهت شمالی- جنوبی قرار گرفته‌اند (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۸۹).

۱-۶- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شرق سمنان- جنوب دامغان و غرب شاهرود قرار گرفته است. از نگاه زمین‌شناسی ساختاری ایران، منطقه مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار گرفته است. از زمان‌های گذشته تا عهدحاضر تمام تحولات زمین‌شناسی ناحیه تحت تأثیر یک دسته گسل‌هایی قرار گرفته که جهتی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی دارد و ناحیه را به نوارهایی در همین امتداد تقسیم می‌کند. حرکت افقی چپ‌گرای احتمالاً گسله ترود باعث چین‌خوردگی‌های شدید رسوبات پیش از کرتاسه در این نواحی شده است که در خارج از این محدوده محسوس نیست (شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، اشراقی ۱۳۸۵).

۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از فلات مرکزی ایران است که از جوان‌ترین واحدهای رسوبی آبرفتی و بادرفتی متعلق به عهد حاضر تشکیل شده است. در این بخش به بررسی ویژگی‌های سازندهای مورد

مطالعه از قدیم به جدید پرداخته می‌شود.

۱-۶-۱- واحدهای سنگی سنوزئیک

نهشته‌های این زیر پهنه در طی دوره نئوژن ساخته شده است و از نوع نهشته‌های دریای کم ژرف تا شبه کولابی است که قسمت‌های شمالی حوضه رسوبی جندق را پدید آورده است. سن نهشته‌های این زیرپهنه بر روی هم از میوسن تا هولوسن است و به واحدهای سنگی زیر جداشدنی است:

الف - واحدهای سنگی میوسن

این واحد که با نماد Mplm مشخص شده است. در حقیقت بالاترین ترادف چینه‌نگاری ته‌نشست‌های رسوبات دریایی حوضه جندق را در بر می‌گیرد. از ستبرای بیش از ۲۰۰۰ متر برخوردار است و در گستره بزرگی رخنمون یافته است. ترکیب سازندگان آنرا تناوب مارن‌های ژپیس‌دار سبز، قرمز، صورتی، قرمز آجری همراه با افق‌های کمی ژپیس و نمک می‌سازد و در آنها میان لایه‌های کمی از ماسه‌سنگ‌های گری‌وک نیز ساخته شده است. به سوی لایه‌های بالایی واحد یادشده بیشتر ماسه‌سنگی تا کنگلومرا- ماسه‌سنگی می‌شود و به گونه ناپیوسته با ناپیوستگی دگرشیب توسط کنگلومرای Qplc پوشیده شده است. در جنوب منطقه معلمان واحد Qplc به طور محلی موازی بر روی مارن‌های Mplm جای گرفته است. اما به طور کلی گذر دو واحد یادشده ناپیوسته دگرشیب است. سن این واحد از میوسن پایانی تا پلیوسن می‌باشد و با سازند قرمز بالایی در حوضه رسوبی قم قابل مقایسه می‌باشد (شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، اشراقی ۱۳۸۵).

ب- واحد سنگی پلیو- پلئیسوسن

تشکیلات کنگلومرای ماسه‌سنگی Qplc غالباً در بخش جنوبی منطقه متمرکز شده‌اند و شامل نهشته‌های کنگلومرای درشت قلوه با سیمان کم ماسه‌ای و سخت نشده است که کوهپایه‌های کهن و بلند را پدید آورده است. زمان پیدایش این نهشته‌ها اواخر نئوژن و آغاز کواترنری (پلئیسوسن) است (شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، اشراقی ۱۳۸۵). در این واحد سنگی گسترش و ضخامت سنگ‌های

تخریبی همانند ماسه‌سنگ و کنگلومرا بر نهشته‌های کلوئیدی فزونی دارد. اما وجود واحدهای کلوئیدی در بین سایر سنگ‌ها موجب افت شدید نفوذپذیری و قدرت آبدهی آن‌ها شده است. چرا که این سنگ‌ها علاوه بر آن که غیرقابل نفوذ هستند، موجب پرشدگی درز و شکاف دیگر سنگ‌های سکانس نیز می‌گردند. این سنگ‌ها به لحاظ ذاتی سنگ‌هایی دارای توان و قدرت آبدهی ضعیف می‌باشند. میزان درز و شکاف در واحد سطح این دسته از سنگ‌ها در حد متوسط می‌باشد. آبدهی ویژه سنگ‌های این گروه حدود ۰/۰۵ لیتر در ثانیه در کیلومتر مربع است. (شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان ۱۳۸۹)

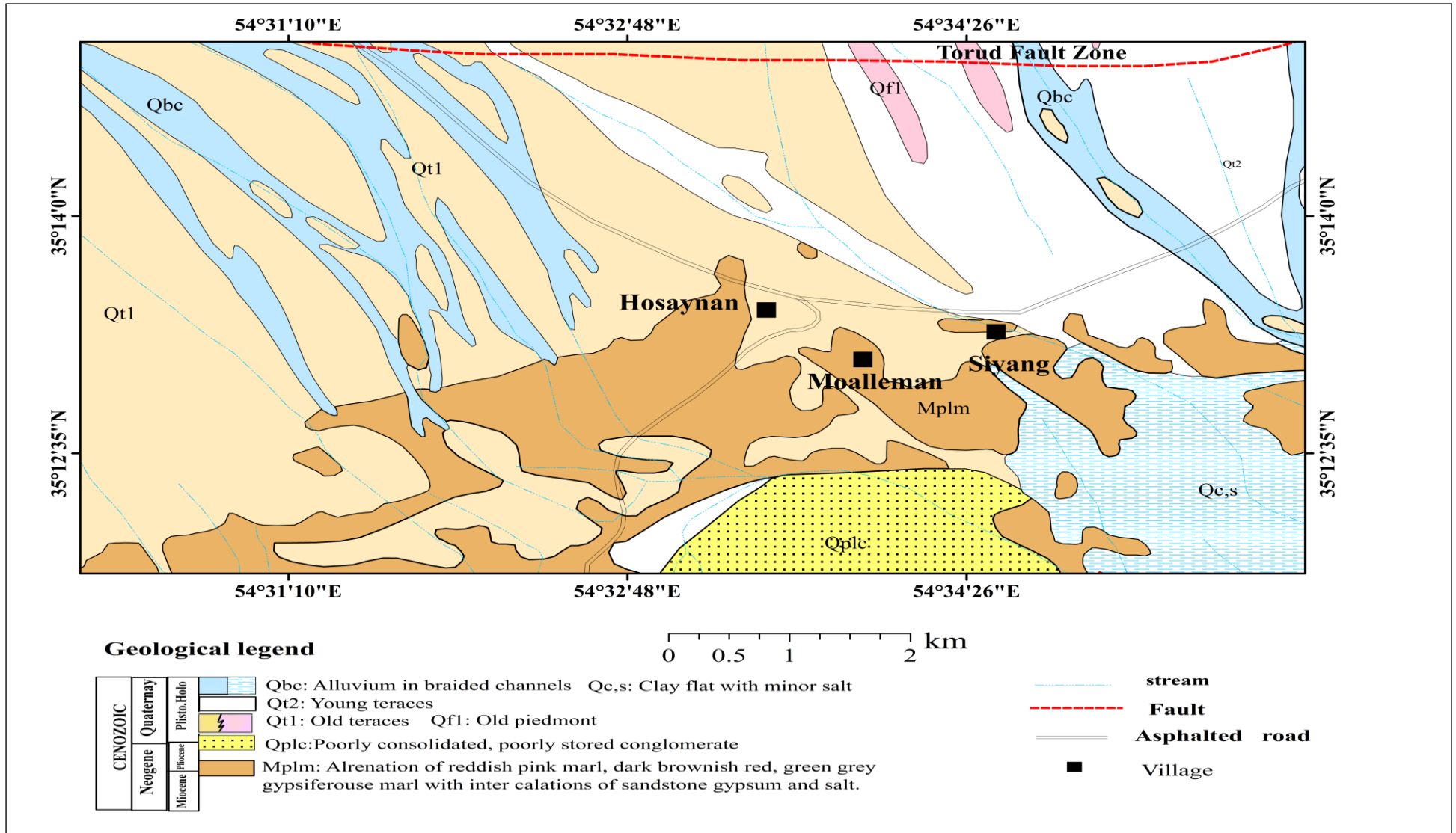
د- واحدهای سنگی هولوسن

واحدهای این دوره شامل رسوبات آبرفتی قدیمی می‌باشد که با نماد Qt1 در نقشه زمین شناسی مشخص شده‌اند. از سازندهای کنگلومرای ناهمگن و سیمان بسیار کم و سست تشکیل شده‌اند که در منطقه مورد مطالعه از گسترش و ستبرای زیادی برخوردار نمی‌باشند. واحد Qf1 از پادگانه‌های آبرفتی بلند ساخته شده است که گسترش کمی در منطقه دارد. از دیگر رسوبات این دوره Qt2 می‌باشد که شامل نهشته‌های آبرفتی جوان است و زمین‌های مسطح و پست را پدید آورده است. از سازندهای کنگلومرا با ذرات ریز تا متوسط، سخت نشده با سیمان سست و رسی-ماسه‌ای پیدایش یافته است. رسوبات Qbc شامل نهشته‌های رودخانه‌ای و سیلاب‌های بریده بریده‌ای هستند که بقایای آبرفت‌های Qt1 و Qt2 نیز در آنها به جا مانده است. واحد Qc,s از پهنه‌های رسی-سیلتی با نمک کم تشکیل شده که در آن پدیده‌های فروچاله، ریزش‌های ناگهانی کوچک یافت می‌شود (شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، اشراقی ۱۳۸۵).

۱-۶-۲- زمین شناسی ساختاری

منطقه معلمان بخشی از زون ایران مرکزی می‌باشد. این منطقه در اثر شرایط فشارشی و کششی مربوط به فاز پیرنه به وجود آمده است. در شمال منطقه مورد مطالعه گسل ترود قرار گرفته است. این

گسل از زمان کامبرین تاکنون چندین بار فعال شده که کلیه تحولات زمین‌شناسی این ناحیه در نتیجه حرکت این گسل‌ها است (شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰:۱ معلمان، اشراقی ۱۳۸۵). این گسل، منطقه را به صورت بلوک‌های زمین‌ساختی قطع کرده و با جابجایی واحدهای سنگی، باعث بالا آمدن ارتفاعات و توسعه دشت و تشکیل مورفولوژی کنونی شده و با همجواری واحدهای سنگی متفاوت، نقش بارزی را در محدود و محصور کردن آبخوان‌ها، ارتباط آن‌ها با یکدیگر و انتقال منابع آب به نقاط دوردست برعهده دارند. حرکت و فازهای تکتونیکی موثر بر حوضه علاوه بر ایجاد گسله و شکستگی‌های متعدد باعث توسعه چین‌خوردگی نیز شده‌اند. اما همانند دیگر نواحی ایران مرکزی، در این ناحیه نیز محور چین‌ها اغلب توسط امتداد گسله‌ها قطع و جابجا شده‌اند. به گونه‌ای که معمولاً تنها بخش‌های محدودی از چین قابل تشخیص بوده و تعقیب آن‌ها اغلب مقدور نمی‌باشد. به عبارت دیگر زمین‌ساخت حوضه بیش از هر چیز متأثر از عملکرد گسله‌ها می‌باشد و تشکیل آبخوان‌های کارستی و آبرفتی نیز از فعالیت و اثر این ساختارها تبعیت می‌نمایند (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۸۹).



شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان)

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته درباره

هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی مناطق خشک و نیمه خشک

مسئله کمبود آب برای کشور ایران که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد از دیرباز وجود داشته است. بنابراین، دسترسی به منابع آب زیرزمینی به ویژه در نواحی خشک، به علت کمبود منابع آب سطحی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، حائز اهمیت بوده و استفاده بهینه از این منابع آب یکی از مهمترین مسائل مطرح در توسعه پایدار می باشد. به همین منظور مطالعه و شناخت آب های زیرزمینی، که به لحاظ کمی و کیفی برای مصارف مختلف مناسب می باشند، ضروری است. در این فصل به برخی از عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، پرداخته خواهد شد.

۲-۱- عوامل موثر بر کمیت آب های زیرزمینی

ارتباط منابع آب زیرزمینی با مواد و سازندهای دربرگیرنده خود، سبب واکنش های متنوعی بین این مواد و آب می شود که این امر باعث تغییر کمیت و کیفیت آب موجود در آبخوان ها خواهد شد. نحوه واکنش و نوع آن، وابسته به پارامترهای مختلفی نظیر لیتولوژی، حجم آب، زمان ماندگاری و غیره می باشد (آوردند و همکاران ۱۳۸۹).

عوامل متعددی بر کمیت آب های زیرزمینی تأثیر می گذارند که می توانند شامل فرآیندهای طبیعی (نظیر بارندگی یا خشکسالی) یا ناشی از فعالیت های انسانی (مانند برداشت بی رویه یا تغذیه مصنوعی به لایه های آبدار) باشند، این عوامل در کنار یکدیگر قرار می گیرند و اثر یکدیگر را تشدید می کنند (Devlin and Sophocleus 2005). مهمترین عواملی که بر کمیت آب های زیرزمینی در یک منطقه تأثیرگذار هستند، شامل مقدار تغذیه سطحی، جریان های ورودی سطحی و زیرزمینی به منطقه، مقدار

برداشت از آب‌های زیرزمینی و جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی از منطقه می‌باشد که مختصری درباره این عوامل به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه خواهد شد.

۲-۱-۱- ارزیابی مقدار تغذیه در مناطق خشک و نیمه‌خشک

کرمی (۱۳۷۵) اظهار داشت که بخش وسیعی از پایین‌دست حوضه آبرگیر توچاه و کلاته‌ری از ماسه بادی تشکیل شده است. این رسوبات، به علت تراوایی بسیار بالا باعث می‌شوند که بخش اعظم بارندگی در محدوده پایینی بستر حوضه‌های مذکور به داخل زمین نفوذ می‌کند.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مقدار بارندگی اندک است ولیکن به دلیل این که این بارش اندک تمرکز زمستانه دارد و اغلب طی دو سه بارش رخ می‌دهد، تغذیه آبخوان‌ها در مکان‌ها با تراوایی مناسب به طور قابل توجهی انجام می‌شود. در واقع رخداد بخش اعظم بارندگی در دو سه بارش، اثر اندک بودن بارش در نواحی خشک و نیمه‌خشک تا اندازه‌ای کم‌رنگ می‌کند (کرمی ۱۳۷۷).

درویش‌پور و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی نوسانات سطح ایستابی ۱۹ پیزومتر و تغییرات آن در یک دوره ۱۰ ساله در دشت شهرکرد، دریافتند که با کاهش بارندگی و به ویژه برداشت بی‌رویه سبب افت سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت شده است. میزان این افت در نقاط مختلف دشت متفاوت است و از ۱/۵ متر تا ۹/۷ متر در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی دشت متغیر می‌باشد. همچنین مشخص گردید که بیشترین مقدار افت در محدوده مرکزی دشت یا پیکره اصلی دشت قرار گرفته است. در حالی که در قسمت‌های حاشیه‌ای و قسمت خروجی دشت این مقدار خیلی کمتر است که دلیل آن را وجود رودخانه دائمی جهان‌بین در بخش خروجی و وجود کوه‌های آهکی در قسمت حاشیه‌ای دشت ذکر کردند.

امیری و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی کوه‌دشت به این نتیجه رسیدند که سطح آب این آبخوان از سال ۸۶ تا ۸۸ به طور تقریبی ۵ متر افت دارد. نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین افت در مناطق جنوبی و جنوب شرقی بوده که به دلیل دوری از منابع تغذیه‌ای و پایین بودن میزان ذخیره آبی و ضریب آگذری این نواحی است. کمترین افت مربوط به نواحی مرکزی، شمالی و نیمه‌شرقی منطقه می‌باشد که به علت ضخامت بالای رسوبات آبرفتی و

رسوبات درشت‌دانه و قابلیت بالای این رسوبات در تأمین آب این نواحی می‌باشد. سیدشکری و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل مشخص کردند که مقدار هدایت الکتریکی از شرق و جنوب‌شرقی به سمت شمال و شمال‌غربی دشت افزایش می‌یابد. در این بررسی همچنین مشخص گردید، با آن که افت در مناطق شرقی و جنوب‌شرقی زیاد است اما کیفیت آب در این مناطق به علت ضخامت زیاد و تغذیه مناسب توسط درز و شکاف آندزیت‌ها از پتانسیل آب زیرزمینی تقریباً مناسبی برخوردار است. اما در قسمت شمالی و شمال‌غربی دشت به دلیل وجود سیمان رسی، سخت بودن و دانه‌ریز بودن آن‌ها از پتانسیل خوبی از نظر آب‌های زیرزمینی برخوردار نمی‌باشد. مردانه و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز به این نتیجه رسیدند که حدود ۸۶ درصد چاه‌ها همبستگی مثبتی با بارندگی دارند و دگرگونی‌های بارندگی باعث تغییر تراز آب زیرزمینی در جهت یکدیگر می‌شوند.

کستر و همکاران (Caster et al. 1994) با بررسی مطالعاتی که در زمینه تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اطراف دنیا انجام شده بود، به این نتیجه رسیدند که درصد تغذیه آب زیرزمینی این مناطق محدوده‌ای از ۱٪ تا ۳۰٪ بارندگی محلی است. آن‌ها همچنین با مدلسازی رفتار آبخوان کم‌عمق، در منطقه شمال‌شرق نیجریه تغذیه را تخمین زدند و بارندگی محلی را به عنوان بیشترین منبع تغذیه احتمالی و حدود ۱۷٪ در نظر گرفتند. آن‌ها دریافتند که تغذیه نسبتاً بالا در منطقه تلماسه ماسه‌ای به خاطر نرخ نفوذ بالا و تراکم پوشش گیاهی کم و در مناطق دشت سیلابی احتمالاً به دلیل تراکم پوشش گیاهی، خیلی کم می‌باشد.

سطح ایستابی عمیق و رودخانه‌های دهنده در مناطق خشک، در دره‌های آبرفتی رایج هستند. تغذیه غالب در این مناطق عمدتاً به صورت متمرکز و محدود به مناطقی می‌شود که آب در سطح زمین تجمع دارد (Scanlon et al. 2002). کمیت آب‌های زیرزمینی به طور مستقیم به شرایط تغذیه بستگی دارد که توسط میزان بارش سالانه، مشخصات سطح زمین، پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک کنترل می‌شود (Hetzal et al. 2008).

شیبانی (Shaibani 2008) تغذیه طبیعی که در آبخوان آبرفتی کم عمق در وادی واج در غرب عربستان سعودی صورت می‌گیرد را تقریباً ۵٪ بارندگی - رواناب ذکر کرد.

المدیج و رواح (Almedeij and Al-Ruwaih 2006) نوسانات تراز آب زیرزمینی را در مناطق مسکونی کویت و حومه با توجه به اطلاعات ۶ حلقه چاه پیژومتری مطالعه نمودند. آن‌ها الگوی تناوبی نوسانات آب زیرزمینی را به میانگین ماهانه درجه حرارت هوا و بارش ارتباط دادند. نتایج نشان داد که تراز آب زیرزمینی دارای رفتار فصلی است. افزون بر این، تراز آب زیرزمینی با درجه حرارت همبستگی منفی و با بارش همبستگی مثبتی نشان داد.

به طور کلی از مطالعات بالا نتیجه می‌شود اگر چه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بارندگی اندک است اما به دلیل این که این بارش اندک، تمرکز زمستانه دارد اثر اندک بودن بارش را نسبت به بارندگی بالا در مناطق مرطوب تا اندازه‌ای خنثی می‌کند. از سوی دیگر با توجه به این که نفوذپذیری زمین در این مناطق نسبتاً بالا است سبب می‌گردد که این بارندگی اندک آبخوان‌ها را تغذیه کند.

۲-۱-۲- برداشت از آب‌های زیرزمینی

آبدهی مجاز یا برداشت قابل اطمینان، عبارت از مقدار آبی است که سالانه می‌توان از یک حوضه آب زیرزمینی یا آبخوان برداشت کرد، بدون آن که نتیجه نامطلوبی به بار آورد. برداشت بیش از تغذیه، به پایین رفتن دائمی سطح ایستابی یا پیژومتریک منجر خواهد شد. افت دراز مدت سطح ایستابی یا پیژومتریک تنها نتیجه نامطلوب نیست. آثار نامطلوب استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی ممکن است دیر یا زود به صورت پایین رفتن تراز آب زیرزمینی، فرونشستن سطح زمین، ترک خوردن خاک، نفوذ آب از مناطق مجاور و سرانجام خالی شدن منبع آب بروز نمایند (صداقت ۱۳۸۷).

از نظر کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- مناطقی که وضعیت کمی و کیفی آب و همچنین وضعیت کیفی خاک به طور نسبی مناسب بوده و فعالیت کشاورزی به صورت قابل توجهی وجود دارد در این قبیل مناطق به علت برداشت بی‌رویه سطح آب زیرزمینی به شدت پایین افتاده است. ۲- مناطقی که کمیت و کیفیت آب مناسب نبوده است، یا خاک به لحاظ کیفی نامناسب بوده و فعالیت کشاورزی بسیار اندک است. که در این

گونه مناطق برداشت قابل توجهی وجود ندارد.

الف- مناطق خشک با منابع مناسب آب و خاک

حیدریان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی منابع آب زیرزمینی دشت ورامین دریافتند که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افزایش ۳/۶۶ برابری تخلیه چاه‌های بهره‌برداری حفر شده در سطح دشت از سال ۱۳۴۱ تا ۱۳۹۰، باعث شده است که سطح آب زیرزمینی در این دشت حدود ۳۴ متر پایین افتاده است. افت شدید سطح آب زیرزمینی در این دشت، باعث خشک شدن ۲۶۰ رشته قنات و کاهش آبدهی چاه‌ها موجود در منطقه شده است. شیرافکن (۱۳۹۲) اظهار داشت که به دلیل تجمع چاه‌های بهره‌برداری به ویژه چاه‌های صنعتی در بخش مرکزی دشت بهاباد یزد، افت سطح آب زیرزمینی در این بخش از دشت به طور قابل توجهی از دیگر مناطق دشت بالاتر می‌باشد. یزدی و جبلی (۱۳۹۲) در بررسی حوضه آبریز دشت یزد- اردکان دریافتند که به دلیل بالا رفتن میزان تقاضای آب، برداشت از این سفره‌ها مرتباً افزایش یافته و باعث ایجاد بیلان منفی شدیدی در این دشت گردیده است. به طوری که افت سالیانه آب زیرزمینی در حوضه‌های آبریز استان بین ۸۵-۱۰ سانتی‌متر و کسری بیلان حدود ۲۸۰ میلیون متر مکعب در دشت‌های استان برآورد شده است.

ما و همکاران (Ma et al. 2004) به منظور بررسی فعالیت انسان بر روی منابع آب زیرزمینی ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی، ژئوشیمیایی و ایزوتوپی را در منطقه خشک شمال غرب چین انجام دادند. بررسی‌های آنان نشان داد که فعالیت بشری به ویژه در توسعه بزرگ مقیاس منابع آب که با رشد ناگهانی جمعیت در ۵۰ سال اخیر همراه بوده منجر به تغییرات شدید در رژیم آب زیرزمینی شده است. به طوری که از نظر کمی در طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ تغذیه ۵۰ درصد کاهش یافته است و بهره‌برداری آب زیرزمینی سالانه حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب در مقایسه با تغذیه بیشتر بوده است. سطح آب زیرزمینی در بسیاری از موارد ۳ تا ۵ متر با یک حداکثر ۳۵ متر در چندین شهر تنزل یافته است. شهید و هزریکا (Shahid and Hazarika 2009) اثر خشکسالی را روی سه ناحیه در شمال غرب بنگلادش در ۸۵ حلقه چاه در دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۹۸ مطالعه کردند. نتایج حاکی از آن است که کمبود آب در ۴۲ درصد از نواحی ناشی از استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری بوده است.

جمشیدزاده و میرباقری (Jamshidzadeh and Mirbagheri 2011) از ۵۳ چاه مشاهده‌ای جهت ارزیابی کمی حوضه کاشان استفاده کردند. با توجه به اطلاعات به دست آمده از چاه‌های مشاهده‌ای به این نتیجه رسیدند، به دلیل استخراج بیش از حد آب زیرزمینی میانگین سطح ایستابی تقریباً ۷/۳۹ متر بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ کاهش یافته که یک میانگین افت سطح ایستابی ۰/۵ متر بر سال را نشان می‌دهد. با توجه به این تحقیق، استخراج بیش از حد آب زیرزمینی، به ویژه برای اهداف کشاورزی، تعادل هیدرولیکی و هیدروشیمیایی آب زیرزمینی را بر هم زده است.

اژدری و کاظمی (Ajrdary and Kazemi 2014) بررسی‌هایی را روی سطح آب زیرزمینی در سفره آبرفتی شاهرود انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در مدت ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۹ سطح آب زیرزمینی افتی حدود ۱۱/۴ متر در مدت ۱۶ سال داشته است. این مقدار تخلیه آبخوان معادل ۲۱۶ میلیون متر مکعب می‌باشد که علت این افت را اساساً به استخراج بیش از حد و یک کاهش اندک در بارندگی نسبت داده‌اند.

ب- مناطق خشک فاقد منابع مناسب آب و خاک

کرمی و همکاران (Karami et al. 2009) با ارزیابی منابع آب زیرزمینی در چهارده دشت منطقه شاهرود دریافتند که مقادیر افت آب زیرزمینی برای تمام دشت‌ها به جز برای دشت چاه‌جام خیلی زیاد است. آن‌ها دلیل این امر را برداشت نسبتاً اندک از آب‌های زیرزمینی در دشت چاه‌جام، به علت کیفیت پایین آب و خاک منطقه، دانستند. همچنین با بررسی‌های دیگر مشخص کردند که برای مثال در دشت میامی استخراج آب زیرزمینی حدود ۳۳۲ میلیون متر مکعب است. در حالی که در دشت چاه‌جام تخلیه سالانه آب زیرزمینی به طور نسبی خیلی کم و حدود ۲۲ میلیون متر مکعب بوده است. برداشت بیش از حد مجاز از دشت میامی علت ایجاد افت سطح آب زیرزمینی به مقدار حدود ۸۰ سانتی‌متر در سال می‌باشد، در حالی که در دشت چاه‌جام هیچ گونه افتی در سطح آب زیرزمینی مشاهده نمی‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده از مطالعات مختلف، برداشت از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و

نیمه خشک، در مناطقی که وضعیت کمی و کیفی آب و همچنین وضعیت کیفی خاک به طور نسبی مناسب باشد (از جمله شاهرود، ورامین، بهاباد، کاشان) به علت برداشت بی‌رویه، سطح آب زیرزمینی به شدت پایین افتاده است. اما در مناطقی که وضعیت کمی و کیفی آب مناسب نبوده است (نظیر دشت چاه‌جم)، برداشت قابل توجهی وجود ندارد.

۲-۱-۳- جریان ورودی سطحی و زیرزمینی به منطقه

الف- جریان ورودی سطحی

جریان ورودی سطحی در اکثریت مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل نبود آب‌های سطحی و بارندگی اندک تقریباً وجود ندارد که در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

صفوی و افشار (۱۳۸۶) با اجرای مدل ریاضی آبخوان لنجان، دریافتند که اندرکنش زاینده‌رود به عنوان یک عامل تغذیه کننده اصلی آبخوان باعث کاهش میزان افت و افزایش ذخیره دینامیک آن شده است. پاپن و مکوندی (۱۳۸۸) برجستگی‌های کم ارتفاع مجاور دشت و آبراهه‌های سطحی آن را عامل اصلی تغذیه آبخوان دشت عباس در خوزستان بیان کردند. آن‌ها همچنین اظهار کردند که این آبراهه‌ها تنها در فصل بارش دارای آب هستند و پس از ورود به دشت به یکدیگر پیوسته و رودخانه روفائیه را می‌سازند. قوشه‌ئی (۱۳۸۹) با محاسبه بیلان آب زیرزمینی در دشت دامغان اظهار کرد که به خاطر خشک بودن آب و هوا و رژیم بارندگی اندک، جریان‌های سطحی کمی در منطقه وجود دارد. بخشی از این جریان‌های سطحی ایجاد شده، در ضلع شمالی منطقه به خاطر وجود مخروط‌افکنه‌های دانه درشت به زمین نفوذ می‌کند. اما بقیه جریان‌های سطحی در طول دشت تبخیر و یا به کویر حاج علیقلی وارد می‌گردد.

ب- جریان ورودی زیرزمینی

جریان ورودی زیرزمینی هم در مناطق خشک به دلیل کمبود بارش و خشکسالی‌های متوالی، بسیار ناچیز است.

میرعباسی و همکاران (۱۳۸۶) برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت سرجان را علت روند افت آب زیرزمینی دانستند که این امر را سبب پیشروی سفره آب شور به سمت سفره آب شیرین و در نتیجه کاهش کیفیت آب زیرزمینی این منطقه مشخص کردند. حیدری و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی نقشه خطوط هم‌پتانسیل و جریان آب زیرزمینی دشت کاشان در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ دریافتند که به دلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جریان‌هایی از طرف دشت‌های قم، نطنز و کویر به طرف آبخوان دشت کاشان برقرار است اما تغذیه عمده دشت از طریق بارندگی در ارتفاعات تأمین می‌شود.

۲-۱-۴- جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی

الف- جریان‌های خروجی سطحی

به دلیل نبود منابع آب سطحی در مناطق خشک و نیمه خشک خروجی آب سطحی وجود ندارد یا بسیار اندک است.

حسن‌پور و همکاران (۱۳۸۸) دشت شبستر واقع در ارومیه را فاقد رودخانه دائمی دانستند. زمزم و همکاران (۱۳۸۸) اظهار کردند، دشت رفسنجان به دلیل آب و هوای خشک و قرارگیری در حاشیه کویر، فاقد رودخانه دائمی و منابع آب سطحی می‌باشد. روزی‌طلب و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که حوضه آبریز داریان در استان فارس فاقد جریان‌های سطحی دائمی هستند. دشت قاین در استان خراسان جنوبی، دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که رودخانه دائمی ندارد (ابراهیمی و همکاران ۱۳۹۲).

ب- جریان‌های خروجی زیرزمینی

سامانی و کاظمی‌گلیان (۱۳۸۱) با بررسی نقشه هم‌پتانسیل دشت قوچان و ترسیم جهت جریان، به این نتیجه رسیدند که مرز خروجی جریان آب زیرزمینی دیده نمی‌شود و تنها خروجی دشت مزبور از طریق برداشت چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. پاپن و مکوندی (۱۳۸۸) با بررسی نقشه تراز آب زیرزمینی مشخص کردند که خروجی آب زیرزمینی از دشت عباس واقع در استان خوزستان وجود

ندارد و خطوط جریان آب زیرزمینی به محل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در جنوب شرق محدوده همگرایی دارند. آن‌ها همچنین مشخص کردند که تخلیه آبخوان تنها از طریق چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌پذیرد. در دشت قم، ارست و همکاران (۱۳۹۱) با ترسیم نقشه هم‌پتانسیل دشت قم دریافتند که خروجی آب زیرزمینی صفر می‌باشد

همان گونه که در مطالب فوق بیان شد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل ریزش‌های جوی کم و خشکسالی‌های متوالی، تغذیه آب زیرزمینی بسیار کمتر از گذشته شده و جریان‌های سطحی اندکی آن هم به صورت فصلی ایجاد می‌شود. این شرایط آب و هوایی موجب شده که نفوذ از طریق جریان‌های سطحی و زیرزمینی و جریان‌های خروجی سطحی و زیرزمینی ناچیز شود.

۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات آن در یک منطقه تا حد زیادی توسط فرآیندهای طبیعی (سنگ‌شناسی، سرعت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب‌های تغذیه شده، تعامل آب با خاک و سنگ و تعامل با انواع دیگر آبخوان‌ها) و دخالت‌های انسانی (کشاورزی، صنعت، توسعه شهری، افزایش بهره‌برداری از منابع آب) تعیین می‌شود (Helena et al. 2000, Chan 2001).

۲-۲-۱- نقش عوامل طبیعی بر کیفیت آب زیرزمینی

پازند و همکاران (Pazand et al. 2011) ترکیب شیمیایی طبیعی آب زیرزمینی را حاصل از دو فرآیند اصلی ۱- نمک‌های اتمسفر که از آئروسول‌های دریایی، گرد و غبار و نمک‌های حاصل از تبخیر آب بارندگی تمرکز یافتند و ۲- واکنش آب زیرزمینی با مواد تشکیل دهنده آبخوان دانستند. عوامل طبیعی تأثیر به‌سزایی بر روی کیفیت آب زیرزمینی دارند که مهمترین عامل تأثیرگذار بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی، سازندهای زمین‌شناسی است. کیفیت طبیعی آب‌های زیرزمینی بسیار متغیر است و نشان‌دهنده شیمی آب تغذیه شده و ژئوشیمی خاک و سنگ‌های که آب با آن‌ها در تماس بوده است، می‌باشد (Bloomfield et al. 2013).

الف- نقش سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی

به منظور بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر سیستم جریان آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه گدارچای نقده در ارومیه و تعیین کیفیت آب برای مصارف، آقازاده و همکاران (۱۳۹۲) از نتایج آنالیز شیمیایی ۵۶ نمونه آب زیرزمینی در دو فصل خشک و تر استفاده کردند. بررسی آنها نشان داد که تیپ غالب آب‌های منطقه عمدتاً بی‌کربناته کلسیک و منیزیک بوده و لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده و محاسبه شاخص اشباع نسبت به کانی‌های مختلف مشخص کرد که گسترش سنگ‌های کربناته در شمال و شمال غرب محدوده باعث شده که این آب‌ها نسبت به کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) فوق اشباع و نسبت به کانی‌های سولفات (ژپس و انیدریت) اشباع باشند که این موضوع را بیانگر تاثیر لیتولوژی دربرگیرنده بر روی شیمی آب‌های زیرزمینی بیان کردند.

جوانمرد و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان (شرق آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های آماری و هیدروژئوشیمیایی، عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی را بررسی کردند. با استفاده از روش آماری سه عامل موثر در ترکیب شیمیایی آب شامل ۱- عوارض زمین‌زاد (نظیر انحلال کانی‌های تبخیری گچی) و انسان‌زاد (مصرف کودهای شیمیایی) ۲- انحلال هالیت و نفوذ آب‌های کلروره سدیک از رودخانه آجی چای ۳- تغذیه ناشی از بارندگی مشخص شد. همچنین با توجه به روش‌های هیدروژئوشیمیایی، مهمترین عامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، واکنش بین آب و مواد تشکیل دهنده سفره آبدار دانستند.

پازند و هزارخانی (Pazand and Hezarkhani 2012) با بررسی‌های هیدرووشیمیایی در منطقه نیمه‌خشک بوکان، واقع در شمال غرب ایران، به این نتیجه رسیدند که تشابه بین سنگ و شیمی آب زیرزمینی در منطقه تغذیه، واکنش مهمی از تعامل آب-سنگ را نشان می‌دهد. انواع شکل‌های هیدرووشیمیایی غالب آب زیرزمینی $Ca+Mg+SO_4+Cl$ ، $Ca+Mg+HCO_3$ ، $Na+Mg+SO_4+Cl$ و $Ca+Mg+HCO_3$ برای منطقه تعیین کردند. همچنین با بررسی نسبت همبستگی بین سدیم و کلر به این نتیجه رسیدند که نسبت این دو یون در نمونه‌ها بیشتر از یک است. بنابراین فرآیند تبادل یونی در منطقه مورد مطالعه شایع است و ممکن است از هوازگی سیلیکات‌ها ایجاد شده باشد. همچنین با

بررسی شاخص کلرو-آلکالین (Chloro-alkaline) $CAI = [Cl-(Na+K)]/Cl$ که توسط شولر ۱۹۷۷ پیشنهاد شد. تعویض یونی بین آب زیرزمینی و محیط میزبان مورد بررسی قرار دادند. اگر تبادل یونی یون‌های سدیم و پتاسیم از آب با منیزیم و کلسیم در سنگ باشد در این حالت تبادل مستقیم بوده و شاخص مثبت می‌باشد. اما اگر تبادل یونی معکوس باشد، در این حالت تبادل غیرمستقیم و منفی می‌شود. با توجه به این که مقادیر شاخص کلرو-آلکالین در حوضه بوکان منفی بدست آمد به این نتیجه رسیدند که کلسیم و منیزیم از آب با سدیم و پتاسیم در سنگ میزبان تبادل شده و واکنش‌های تبادل کاتیون-آنیون را علت آن بیان کردند.

زارعی و همکارانش (Zarei et al. 2014) مطالعاتی را بر روی آبخوان آبرفتی جناح واقع در جنوب ایران، با استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی انجام دادند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کیفیت آب این دشت به شدت کاهش پیدا کرده است، به گونه‌ای که مجموع مواد جامد حل شده از ۱/۶۳ تا ۳۳۵ گرم در لیتر در نمونه‌های آب زیرزمینی متغیر است. همچنین آن‌ها دریافتند که این آبخوان در معرض منابع متنوعی از عوامل شوری شامل تبخیر آب، وجود سازندهای تبخیری و گنبد‌های نمکی، نفوذ رودخانه و چشمه‌های ژئوترمال قرار گرفته است.

ب- تأثیر خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان بر کیفیت آب زیرزمینی

منظور از خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان، نوع رسوبات آبخوان، نوع آبخوان و ضرایب هیدرودینامیک می‌باشد. این عوامل با تأثیرگذاری بر روی سرعت جریان آب زیرزمینی، زمان ماندگاری آب در آبخوان و مقدار مسافتی که آب تا رسیدن به سطح ایستابی طی می‌کند، کیفیت آب زیرزمینی را تعیین می‌کند (کلانتریان ۱۳۸۸).

مکوندی و همکارانش (۱۳۸۸) با بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمی جهت تعیین کیفیت آب زیرزمینی و سطحی در منطقه رامهرمز، به این نتیجه رسیدند که آبخوان‌های متفاوت در دشت رامهرمز کیفیت متفاوتی دارند. رودخانه اعلا با آبخوان آزاد سطحی در ارتباط است و تغذیه‌کننده آبخوان می‌باشد. آب رودخانه از هدایت الکتریکی بالایی برخوردار است و آبخوان سطحی علاوه بر دانه‌بندی رسوبات (که عمدتاً از رسوبات ریزدانه حاوی گچ و نمک) تحت تأثیر آب رودخانه قرار گرفته

و کیفیت مناسبی ندارد. اما آبخوان‌های محبوس که از رسوبات نسبتاً دانه‌درشت‌تر تشکیل شده‌اند، کیفیت بهتری دارند.

ج- نقش سایر عوامل طبیعی بر کیفیت آب زیرزمینی

علاوه بر زمین‌شناسی، خصوصیات هیدروژئولوژیکی عوامل دیگری مثل کیفیت آب تغذیه شده، تأثیر آب‌های سطحی و تبخیر از سطح آب زیرزمینی هم بر کیفیت آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. زارعی و همکارانش (Zarei et al. 2014) با استفاده از معادله بیلان برای آبخوان جنه به این نتیجه رسیدند که تخلیه آب چشمه (با TDS ۳۷/۵ گرم بر لیتر و دبی ۲۰ لیتر در ثانیه) به درون رودخانه با میانگین نرخ جریان سالانه ۹۸۰ لیتر بر ثانیه کل جامدات حل شده را از میزان فعلی ۹/۸۹ گرم بر لیتر به ۱۰/۴ گرم بر لیتر افزایش داد. اگرچه این شوری رودخانه کمتر از ۵ درصد تغییر می‌کند، برآمد این طرح روی اکوسیستم رودخانه تأثیر خواهد گذاشت که با افزایش پمپاژ و استخراج بیش از حد از آب‌های زیرزمینی آبخوان جنه مجاور رودخانه منجر به نفوذ آب رودخانه به آب زیرزمینی این منطقه شده و کل جامدات حل شده آب زیرزمینی بیشتر از ۱۷/۱ گرم بر لیتر گردید.

۲-۲-۲- تأثیر عوامل غیرطبیعی بر کیفیت آب زیرزمینی

فعالیت‌های انسانی (کشاورزی، صنعت، توسعه شهری، افزایش بهره‌برداری از منابع آب) از عوامل مهمی هستند که در کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی نقش دارند. با توجه به این که در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود منابع آب سطحی، ذخایر آب زیرزمینی تنها منابع تأمین‌کننده آب می‌باشند، تأثیر این فعالیت‌ها بر روی کیفیت این منابع بسیار با اهمیت می‌باشد. در این بخش به اثرات این فعالیت‌ها بر روی منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداخته می‌شود.

الف- تأثیر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی بر کیفیت آب زیرزمینی

در بررسی روند شورشدن آب‌های زیرزمینی شمال دشت کاشان، گیتی و همکاران (۱۳۸۷) نشان

دادند که متوسط سطح ایستابی در طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۷۶، حدود ۱۶ متر افت داشته و علاوه بر آن هدایت الکتریکی متوسط منطقه در همین مدت از حدود ۴۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر به ۶۳۹۰ میکروموس بر سانتی‌متر بالغ گردیده است که برداشت بیش از حد آب زیرزمینی را علت عمده این موضوع دانستند. علاوه بر آن تغییرات هدایت الکتریکی متوسط منطقه در همین مدت ۴۳۴۱ میکروموس بر سانتی‌متر بوده است که به طور متوسط هر سال ۱۶۸ میکروموس بر سانتی‌متر بر شوری آب‌های منطقه افزوده شده است.

افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری در طی سال‌های اخیر و برداشت بیش از حد از آبخوان آبرفتی دشت قوچان- شیروان منجر به افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی در این منطقه و کاهش کیفیت آب شده است. با توجه به نتایج هیدروژئوشیمیایی آبخوان آب زیرزمینی دشت قوچان- شیروان، روند عمومی افزایش هدایت الکتریکی از جنوب‌شرق به شمال‌غرب یعنی در جهت جریان آب زیرزمینی است به این ترتیب که با حرکت آب زیرزمینی به سمت شهرها و مراکز آلودگی و دفن زباله مقدار آن‌ها افزایش می‌یابد. البته در برخی از مناطق روند فوق‌الذکر وجود ندارد به این ترتیب که در بعضی قسمت‌ها به طور ناگهانی مقدار هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرده است و دلیل عمده آن احتمالاً وجود کارخانه‌های صنعتی و مراکز دفن فاضلاب می‌باشد که به طور مسقیم وارد آب زیرزمینی می‌شوند و تأثیر آن به طور مشخص در شمال‌غرب دشت در منطقه خروجی دشت و نیز جنوب‌شرق فاروج دیده می‌شود (جعفری و رضایی ۱۳۸۹).

به منظور بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی دشت جیرفت، سلطانی و محمدی (۱۳۹۰) با بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی در یک دوره ۸ ساله در دشت جیرفت دریافتند که در برخی از سال‌های آبی شوری افزایش، و در برخی از سال‌ها شوری کاهش پیدا کرده است. اما میزان افت سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری به صورت صعودی افزایش یافته است که علت آن را خشکسالی‌های پی در پی و برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی ذکر کردند.

باغوند و همکارانش (Baghvand et al. 2010) با آنالیز یون‌های اصلی، جهت مطالعه کیفیت هیدروشیمی آب زیرزمینی در آبخوانی مجاور بیابان کویر مرکزی ایران، به این نتیجه رسیدند که تیپ غالب آب زیرزمینی در منطقه $Na+K-Cl+SO_4$ است که اساساً از تیپ رایج آب‌های شیرین در ایران

(Ca-HCO₃) متفاوت می‌باشد و طی بررسی توزیع مکانی آنیون‌ها و کاتیون‌ها و نیز هدایت الکتریکی، روند افزایشی به سمت شرق منطقه ملاحظه کردند. آن‌ها دلیل این افزایش را در طی سال‌های اخیر پمپاژ غیرقانونی آب زیرزمینی برای استفاده کشاورزی دانستند که موجب نفوذ آب شور از مناطق شرقی (بیابان کویر مرکزی و دریاچه نمک) و آب فسیلی (Connate) بالا آمده از آبخوان‌های عمیق‌تر دانستند

ب- تأثیر زه‌آب کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی

آب زیرزمینی می‌تواند توسط منابع گوناگون آلوده شود. برخی از متداول‌ترین منابع آلوده‌کننده شامل آب فروشسته از دفن زباله، موادشیمیایی در مخازن زیرزمینی، مواد ناشی از چاه‌های فاضلاب، مواد زاید صنعتی، مواد شیمیایی تزریقی از طریق چاه‌ها، آفت‌کش‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، دامداری و هجوم آب شور می‌باشد (هداک به نقل از چیت‌سازان ۱۳۸۰).

چاو و همکاران (Chae et al. 2003) با بررسی کیفیت آب زیرزمینی در یک ناحیه کشاورزی در کره به این نتیجه رسیدند که آب زیرزمینی در این منطقه به شدت توسط نیترات، آهن و منگنز آلوده شده است. ۴۵ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی غلظت نیترات بیشتر از استاندارد DWL (۳/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر) را نشان می‌دهند و ۳۲ درصد از آن‌ها غلظت نیترات بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را دارند (۳/۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۴۷ درصد از کل نمونه‌ها سطوح آهن و منگنز بالاتر از مقدار DWL داشتند. اورن و همکاران (Oren et al. 2004) با ترکیب آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و ایزوتوپی به منظور توصیف سیستم هیدروژئولوژی و روندهای تغذیه آب و نمک‌های آبخوان در اسرائیل دریافتند که آبیاری متمرکز و عمل کوددهی به طور قابل توجه کمیت و کیفیت تغذیه آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده و دو فرآیند آلودگی اصلی که هر دو مربوط به فعالیت انسانی‌اند شامل (۱) شور شدن به علت گردش نمک‌های حل شده در خود آب آبیاری، عمدتاً کلرید، سولفات، سدیم و کلسیم (۲) ورود مستقیم نیترات و پتاسیم از کوددهی و حوضچه‌های فاضلاب از دلایل آلودگی دانستند. همان گونه که در مطالب فوق بیان شد. عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی شامل عوامل طبیعی و

مصنوعی می‌باشند که هر کدام از این عوامل به تنهایی یا با همدیگر تاثیر به سزایی بر کیفیت آب زیرزمینی دارند که شدت این عوامل بسته به خصوصیات آبخوان در مناطق مختلف بسیار متفاوت است.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل، روند مطالعات انجام شده جهت مطالعه هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در آبخوان آزاد منطقه معلمان، به طور مختصر ارائه می‌گردد. به طور کلی در انجام این تحقیق کارهای زیر انجام شده است:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب در آبخوان منطقه معلمان
- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان
- نمونه‌برداری از چاه‌ها و قنات‌های منطقه مورد بررسی
- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آبخوان

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه معلمان، به دلیل عدم وجود چاه پیزومتری در منطقه مورد مطالعاتی، از اطلاعات سطح آب و نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری که در طی یک مرحله بازدید صحرایی در اسفندماه ۱۳۹۲ صورت گرفته استفاده شده است. با توجه به این که تعداد چاه‌های بهره‌برداری نسبتاً کم می‌باشد، از اطلاعات مربوط به سطح آب مادرچاه قنات‌ها، که به علت ضخامت کم آبخوان با سطح آب زیرزمینی محدوده چاه کم و بیش همخوانی دارد، نیز استفاده شده است. در این تحقیق همچنین از آمار و اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای سمنان شامل، گزارش‌های آزمایش پمپاژ و ژئوفیزیک صورت گرفته در منطقه نیز استفاده شده است. برای تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه، از آمار ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه استفاده شد.

۳-۲- بررسی‌های زمین‌شناسی

به منظور بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهیه شده، استفاده گردید. سپس در محیط نرم افزار Arc GIS 10 واحدهای لیتولوژی و ساختاری موجود در محدوده مطالعاتی تعیین و نقشه زمین‌شناسی تهیه گردید.

۳-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه

جهت بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه، از ۴ حلقه چاه و ۶ رشته قنات موجود در منطقه نمونه‌برداری شد. از جمله کارهای انجام شده در بازدید صحرایی، تعیین مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS می‌باشد. همچنین خواص آب مانند درجه حرارت، هدایت الکتریکی و اسیدیته در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب موجود در آب از قبیل سولفات، کلر، بی‌کربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم از بطری‌های پلاستیکی ۲۵۰ میلی‌لیتری استفاده شد، که به منظور جلوگیری از خطا، ۳ بار با آب چاه یا قنات مورد شستشو قرار گرفت. پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها جهت انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه دکتر مسعودیان واقع در دامغان فرستاده شد.

۳-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده

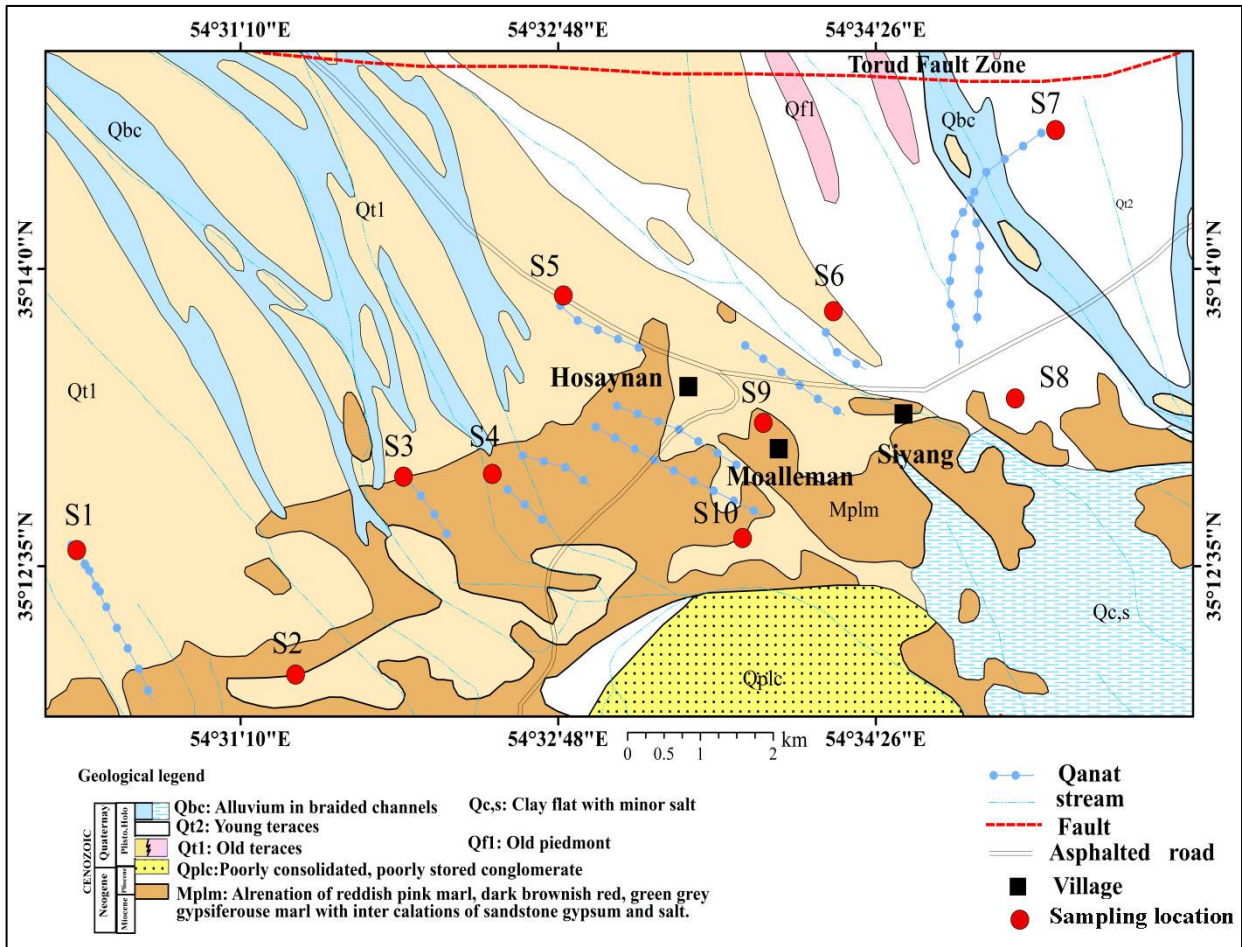
برخی از پارامترها شامل pH، هدایت الکتریکی (EC) و دما در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. برخی دیگر، شامل غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های آب در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفتند. اندازه‌گیری اسیدیته توسط دستگاه pH متر مدل YK-2001CT ساخت شرکت LUTRON کشور تایوان صورت گرفت. همچنین اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و دما توسط دستگاه EC متر مدل WP-84 ساخت شرکت TPS کشور استرالیا انجام شد. دقت آن در مقادیر زیر و بالای ۲۰۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر، به ترتیب برابر با ۱ و ۱۰ میکروموهس بر سانتی‌متر می‌باشد. همچنین دقت دستگاه EC متر برای اندازه‌گیری دما ۰/۱ سانتی‌گراد است.

۳-۴- ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی

یکی از مهم‌ترین ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی در هر منطقه، ترسیم نقشه هم‌پتانسیل و بررسی مناطق تغذیه و تخلیه، جهت عمومی جریان آب زیرزمینی و همچنین تغییرات مقادیر گرادیان هیدرولیکی می‌باشد. به دلیل عدم وجود چاه پیژومتری در منطقه مورد مطالعه، جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل و هم‌عمق دشت، از اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری در اسفندماه ۱۳۹۲ استفاده شده است. از آن جایی که تعداد چاه‌های بهره‌برداری نسبتاً کم می‌باشد از اطلاعات مربوط به سطح آب مادرچاه قنات‌ها، که به علت ضخامت کم آبخوان با سطح آب زیرزمینی محدوده چاه همخوانی دارد، استفاده شده است. طبق گزارش‌ها و داده‌های موجود در شرکت آب منطقه‌ای سمنان، خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات سطح آب زیرزمینی که در چاه‌ها و قنات‌های منطقه اندازه‌گیری شده، یک مورد آزمایش پمپاژ و همچنین گزارش ژئوفیزیک در سال ۱۳۸۸ منطقه، عمده اطلاعات پایه هیدروژئولوژی منطقه را تشکیل می‌دهد.

۳-۵- ارزیابی داده‌های هیدروژئوشیمیایی

به منظور بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی منطقه در اسفند ماه ۱۳۹۲ از چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه نمونه‌برداری به عمل آمد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و آزمایشگاه جهت ترسیم نقشه‌های کیفی از قبیل نقشه‌های هدایت الکتریکی و یون‌های سدیم، کلسیم، بی‌کربنات و سختی استفاده شد. این اطلاعات سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10 به صورت رقومی درآمد. نمودارهای کیفی از قبیل پایپر و استیف به منظور مقایسه سریع تعداد زیادی نمونه آب به طور همزمان، برای تعیین تیپ آب و سیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی استفاده شد. همچنین به منظور بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب از نمودارهای شولر و برای بررسی طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی از نمودار ویلکاکس استفاده گردید. برای تهیه نمودارهای مختلف و تعیین مقادیر سختی کل، ضریب اشباع، نسبت‌های بین یون‌های مختلف و محاسبه چند پارامتر دیگر از نرم‌افزارهای PHREEQC، AQQA و Chemistry استفاده شده است.



شکل ۳-۱- موقعیت نقاط اندازه‌گیری سطح آب و نمونه‌برداری در آبخوان معلمان

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی

آبخوان منطقه معلمان

۴-۱- مقدمه

آبخوان منطقه معلمان که آبخوانی آزاد می‌باشد بخشی از دشت سرکویر را شامل می‌شود. این آبخوان از نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر تشکیل شده است. به علت کمبود بارندگی و در نتیجه کمبود تغذیه سالانه در منطقه و همچنین شیب نسبتاً زیاد سنگ کف آبخوان، ضخامت زون اشباع در منطقه ناچیز است. در این منطقه هیچ پیزومتری وجود ندارد به همین دلیل تهیه نقشه هم‌افت، محاسبه بیلان و ترسیم هیدروگراف واحد منطقه امکان‌پذیر نشد. بنابراین، با تهیه نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی و نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی، جهت جریان و عمق آب زیرزمینی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از داده‌های ژئوفیزیکی به منظور ارزیابی ضخامت آبخوان و جنس سنگ کف در بخش‌های مختلف منطقه استفاده گردید. در ادامه فصل نیز کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان منطقه

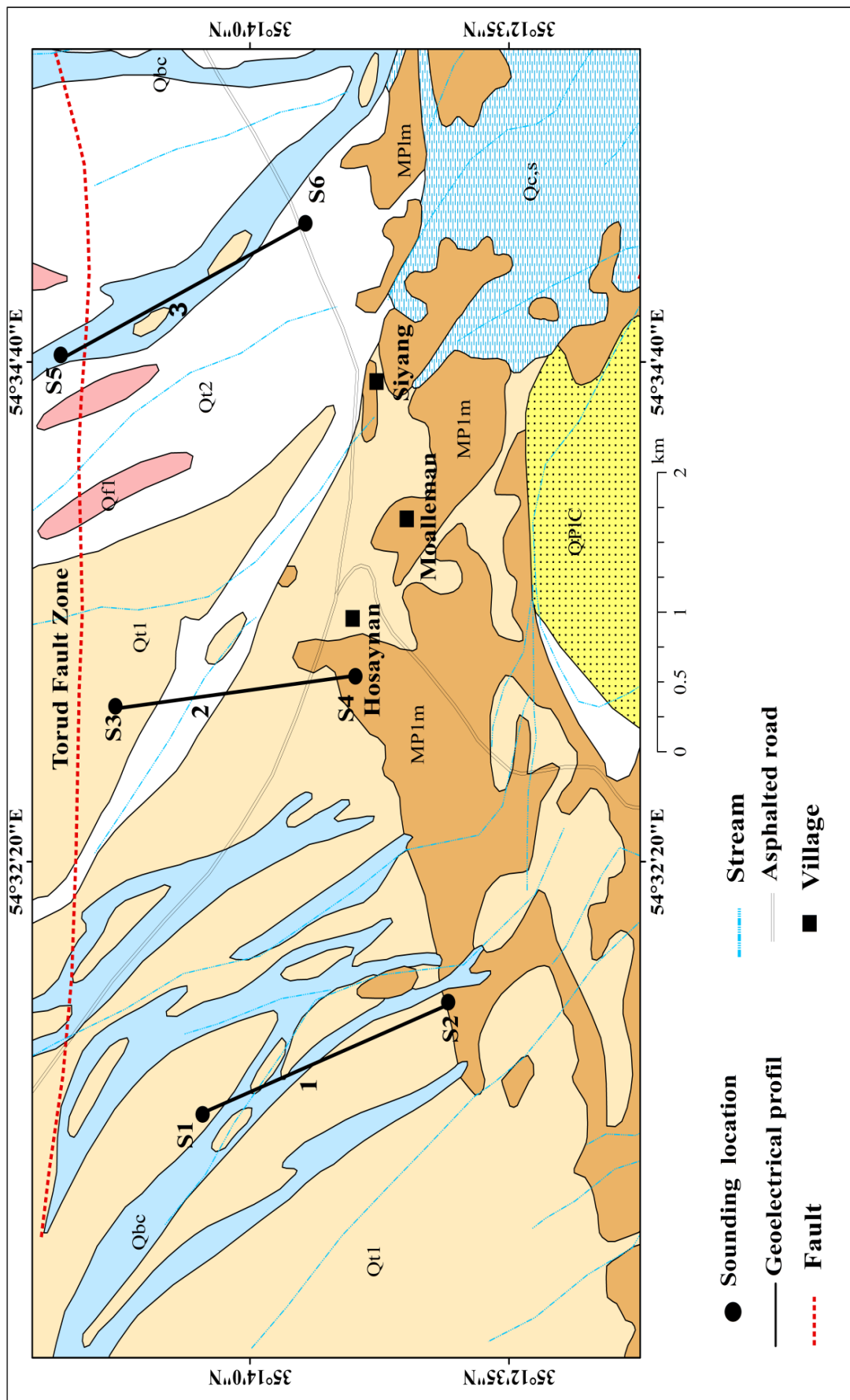
آبخوان منطقه معلمان، بخشی از دشت سرکویر می‌باشد که از چهار واحد کوهستانی، تپه ماهور، دشت و رودخانه تشکیل شده است. ارتفاعات عمدتاً از جنس سنگ‌های آهکی، دولومیت دگرگون شده و ولکانیکی تشکیل شده‌اند که عموماً دارای نفوذپذیری اندکی می‌باشند و تعداد اندکی چشمه با آبدهی کم را شامل می‌شوند. از جمله دیگر سنگ‌هایی که در منطقه رخنمون دارند و از نظر هیدروژئولوژیکی حائز اهمیت می‌باشند، واحدهای کنگلومرایی و ماسه‌سنگی دارای نمک و گچ می‌باشند که در

بخش‌های غرب و جنوب منطقه واقع شده‌اند. رسوبات موجود در منطقه شامل دو گروه نهشته‌های آبرفتی دشت و آبرفت‌های رودخانه‌ای می‌شوند. نهشته‌های آبرفتی دشت، از نهشته‌های آبرفتی مخروطه‌افکنه‌ای قدیمی همراه با مقداری از نهشته‌های واریزه‌ای دامنه‌ای و رسوبات کوبیری تشکیل شده‌اند. آبرفت‌های رودخانه‌ای عموماً شامل قلوه‌سنگ، شن و ماسه و کمی سیلت می‌شوند.

۴-۲-۱- بررسی‌های ژئوفیزیکی

الف- حفاری‌های اکتشافی

بررسی‌های اکتشافی که در سطح منطقه صورت گرفته شامل بررسی‌های ژئوفیزیکی و یک مرحله آزمایش پمپاژ می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، یک مرحله مطالعات ژئوفیزیکی به تعداد ۶ عدد سونداژ بر روی ۳ پروفیل تقریباً موازی با راستای شمال- جنوب انجام شد. این پروفیل‌ها توسط شرکت مهندسی مشاور سازند آب پارس در آذرماه سال ۱۳۸۸ طراحی و اجرا شد. شکل (۴-۱) موقعیت پروفیل‌ها و سونداژهای مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- موقعیت نقاط سونداژهای ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه

جدول (۴-۱) محدوده مقاومت ویژه حقیقی لایه‌های مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. طبق این جدول مقاومت ویژه حقیقی آبرفت‌های ریزدانه و درشت دانه مرطوب به ترتیب ۲۰ تا ۱۴ و ۳۰ تا ۳۵ اهم‌متر، آبرفت دانه متوسط و درشت دانه نیز ۳۵ تا ۱۱۰ اهم‌متر می‌باشد. لازم به ذکر است که مقاومت ویژه سنگ آهک بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم‌متر است و مقاومت ویژه شیل و مارن حدود ۲۰ تا ۴۰ اهم‌متر و سنگ‌های ولکانیکی ۸۰ تا ۱۸۰ اهم‌متر می‌باشد.

جدول ۴-۱- تغییر مقاومت مخصوص حقیقی لایه‌ها در منطقه مطالعاتی

| ردیف | لایه‌های زمین | مقاومت ویژه حقیقی (اهم‌متر) |
|------|--|-----------------------------|
| ۱ | خاک و نهشته‌های سطحی با دانه بندی درشت | ۱۵۰-۳۰۰ |
| ۲ | خاک و نهشته‌های سطحی با دانه بندی ریز تا متوسط | ۱۰-۱۰۰ |
| ۳ | آبرفت ریزدانه مرطوب | ۱۴-۲۰ |
| ۴ | آبرفت دانه متوسط مرطوب | ۳۰-۳۵ |
| ۵ | آبرفت دانه متوسط تا درشت دانه | ۳۵-۱۱۰ |
| ۶ | سنگ آهک | ۲۰۰-۵۰۰ |
| ۷ | شیل و مارن | ۲۰-۴۰ |
| ۸ | سنگ‌های ولکانیکی | ۸۰-۱۸۰ |

• مقاطع ژئوالکتریک

در منطقه معلمان، تعداد ۳ مقطع ژئوالکتریک از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی در راستای تقریبی شمال- جنوب تقریباً به موازات هم طراحی و اجرا گردید. مشخصات پروفیل‌های این منطقه در پیوست ۱ آورده شده است (مهندسین مشاور سازند آب پارس ۱۳۸۸). جهت بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی لایه‌های مختلف زمین و برآورد کمی ضخامت آن‌ها نقشه موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک و مقاطع در شکل (۴-۱) ترسیم شده است.

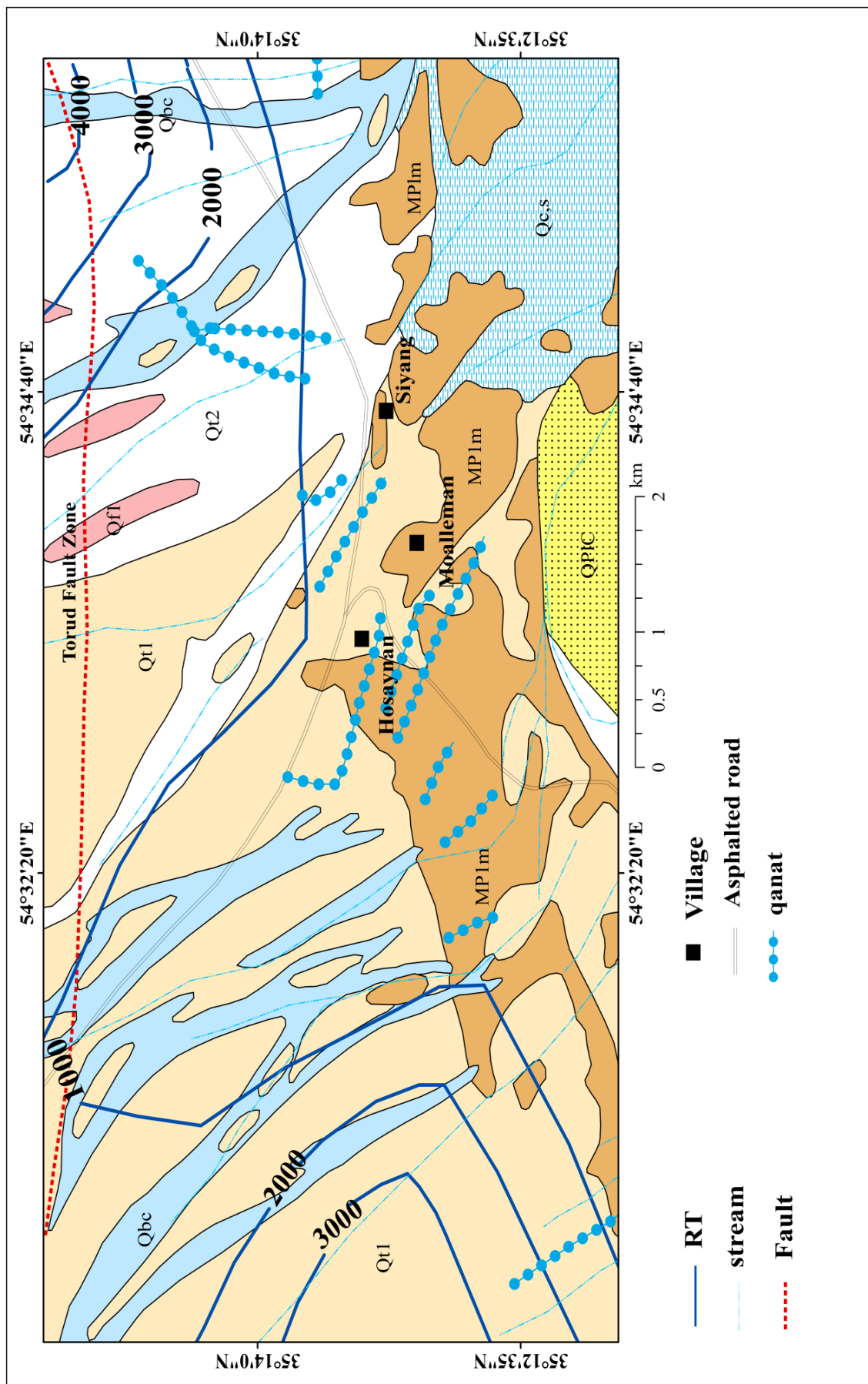
در راستای پروفیل ۱ لایه اول با مقاومت ۲۱ تا ۲۳۴ اهم‌متر بیانگر خاک و نهشته‌های سطحی منطقه

می‌باشد. ضخامت آن در حدود ۲ تا ۸ متر است. لایه دوم با مقاومت ۸ تا ۳۵ اهم‌متر مربوط به رسوبات ریز تا متوسط‌دانه و مرطوب منطقه می‌باشد. لایه انتهایی نیز دارای مقاومت ۳ تا ۶۱ اهم‌متر است. ابتدای پروفیل مربوط به سنگ‌های ولکانیکی و خشک منطقه می‌باشد و در انتهای پروفیل به کنگلومرا و بعد به مارن و ماسه‌سنگ تبدیل می‌گردد. در امتداد پروفیل ۲ که ضخامت لایه اول آن در حدود ۲ تا ۱۰ متر می‌باشد، در ابتدای پروفیل جنس سنگ‌ها آهک مارنی است و بعد به ماسه سنگ و مارن تبدیل می‌شود و لایه‌ها دارای مقاومتی بیش از ۸ اهم‌متر دارد. در امتداد پروفیل ۳ لایه اول با مقاومت ۲۳ تا ۱۱۸ اهم‌متر بیانگر خاک و نهشته‌های سطحی منطقه می‌باشد. طیف گسترده مقاومتی به دلیل تنوع در دانه‌بندی رسوبات سطحی می‌باشد. ضخامت آن در حدود ۲ تا ۱۰ متر است. لایه دوم با مقاومت ۸ تا ۵۰ اهم‌متر بیانگر رسوبات ریز تا متوسط‌دانه و در نزدیک ارتفاعات به دلیل وجود واریزه‌ها و خشکی لایه سطحی مقاومت افزایش می‌یابد. لایه انتهایی با مقاومت ۲ تا ۱۱۴ اهم‌متر با تغییرات جانبی شدید در ابتدای پروفیل ناشی از سنگ کف آهکی و در میانه پروفیل و همچنین انتهای پروفیل ماسه‌سنگ و سنگ مارن می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از انجام مطالعات ژئوالکتریک در منطقه معلمان، ملاحظه می‌شود که رسوبات مخروطه‌افکنه‌ها در مجاورت ارتفاعات در شمال و نواحی شرقی از دانه‌بندی نسبتاً درشتی برخوردار بوده که به تدریج به سمت مرکز، جنوب و جنوب شرق از اندازه دانه‌های آبرفت کم می‌شود. ضخامت آبرفت در بخش‌های دانه‌درشت شمالی از کمتر از ۵۰ متر تا بیش از ۱۵۰ متر تغییر می‌کند. در بخش‌های شمال‌غربی ضخامت آبرفت‌ها گاهی تا ۲۰۰ متر می‌رسد و در نواحی جنوبی منطقه از ضخامت آبرفت‌های دانه‌ریز غالباً کم می‌شود. به این ترتیب که شیب سنگ کف در بخش‌های جنوبی (پایین دست منطقه) در مقایسه با بخش‌های شمالی (بالادست منطقه) کمتر می‌باشد. نوع سنگ کف در قسمت‌های شمالی آبخوان عمدتاً ولکانیکی و کربناته است. در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه سنگ کف کنگلومرایبی بوده و در بخش‌های جنوبی منطقه به تدریج در عمق به سنگ بستر ماسه‌سنگی و مارنی تشکیلات قرمز فوقانی تبدیل می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۸۹).

• تغییرات مقاومت عرضی طبقات آبدار

با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک نقشه هم مقاومت عرضی (Resistivity Transverse) RT لایه‌های آبدار که از حاصلضرب مقاومت ویژه در ضخامت آن بدست می‌آید، تهیه شده است. این نقشه می‌تواند تا حدودی وضعیت آبدهی مناطق مختلف را بیان نماید. به این ترتیب که مناطق با مقاومت عرضی کمتر از ۷۰۰ اهم‌متر مربع مؤید آبدهی کم و مقاومت عرضی بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ اهم‌متر مربع آبدهی متوسط و بیش از ۲۰۰۰ اهم‌متر مربع دارای قابلیت آبدهی بالا می‌باشند. با توجه به نقشه (۲-۴) در حاشیه جنوبی منطقه مورد مطالعه، به دلیل این که دارای رسوبات ریز دانه و املاح زیاد هستند، مقادیر RT کاهش پیدا کرده و به تدریج از سمت جنوب به سمت شمال با افزایش اندازه دانه میزان RT افزایش یافته است. به گونه‌ای که در بخش‌های شمال‌غربی میزان RT بیش از ۳۰۰۰ اهم‌متر مربع و در بخش‌های جنوبی به کمتر از ۱۰۰۰ اهم‌متر مربع می‌رسد.



شکل ۴-۲ نقشه هم‌مقاومت عرضی آبخوان منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۲- موقیعت چاه‌ها و قنات‌های منطقه

سیستم‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه، شامل چاه، چشمه و قنات می‌باشند. در بین قنات‌های حفر شده در آبخوان منطقه، بیشترین آبدهی مربوط به قنات شمال سینگ با آبدهی حدود ۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد. مظهر قنات مذکور در جنوب دشت واقع شده ولی مادر چاه آن در قسمت شمال دشت در جنوب رشم قرار گرفته است. عمق مادر چاه قنات حدود ۵۰ متر می‌باشد. احتمالاً یکی از دلایل بالا بودن نسبی آبدهی این قنات از این قرار است که مسیر کوره زیرزمینی قنات در بخش‌های بالادست (تره‌کار قنات) مؤلفه‌های جریان آب زیرزمینی را قطع می‌کند. در منطقه مطالعاتی هیچ گونه چشمه وجود ندارد. از مجموع چاه‌های حفر شده در آبخوان منطقه، ۳ چاه برای دامداری و ۱ چاه برای صنعت استفاده می‌شوند (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲- مشخصات چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان معلمان
(دبی متوسط و تخلیه سالانه مربوط به سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ می‌باشد).

| نوع چاه‌ها | تعداد چاه‌ها | عمق متوسط (متر) | دبی متوسط هر چاه (لیتر بر ثانیه) | تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب) | درصد برداشت |
|------------|--------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|
| دامداری | ۳ | ۲۰ | ۳ | ۰/۰۹ | ۷۵ |
| صنعت | ۱ | ۱۰ | ۱ | ۰/۰۳ | ۲۵ |
| کل چاه‌ها | ۴ | ۱۵ | ۴ | ۰/۱۲ | ۱۰۰ |

۴-۲-۳- نقشه همپتانسیل آبخوان منطقه

به منظور ترسیم نقشه همپتانسیل و تعیین جهت جریان آب زیرزمینی به دلیل نبود پیرومتر در منطقه مورد مطالعه، از داده‌های عمق سطح آب ۶ رشته قنات و ۴ حلقه چاه در اسفند ماه ۱۳۹۲ استفاده شد. طبق جدول (۳-۴) ارتفاع نقطه نشانه مربوط به هر چاه و مادرچاه قنات‌ها از طریق Google Earth به دست آمده و با توجه به این ارتفاع به دست آمده ارتفاع سطح ایستابی از سطح مبنا (تراز دریاهای آزاد) محاسبه گردید و سپس نقشه همپتانسیل بر طبق داده‌های ارتفاع سطح ایستابی ترسیم شد.

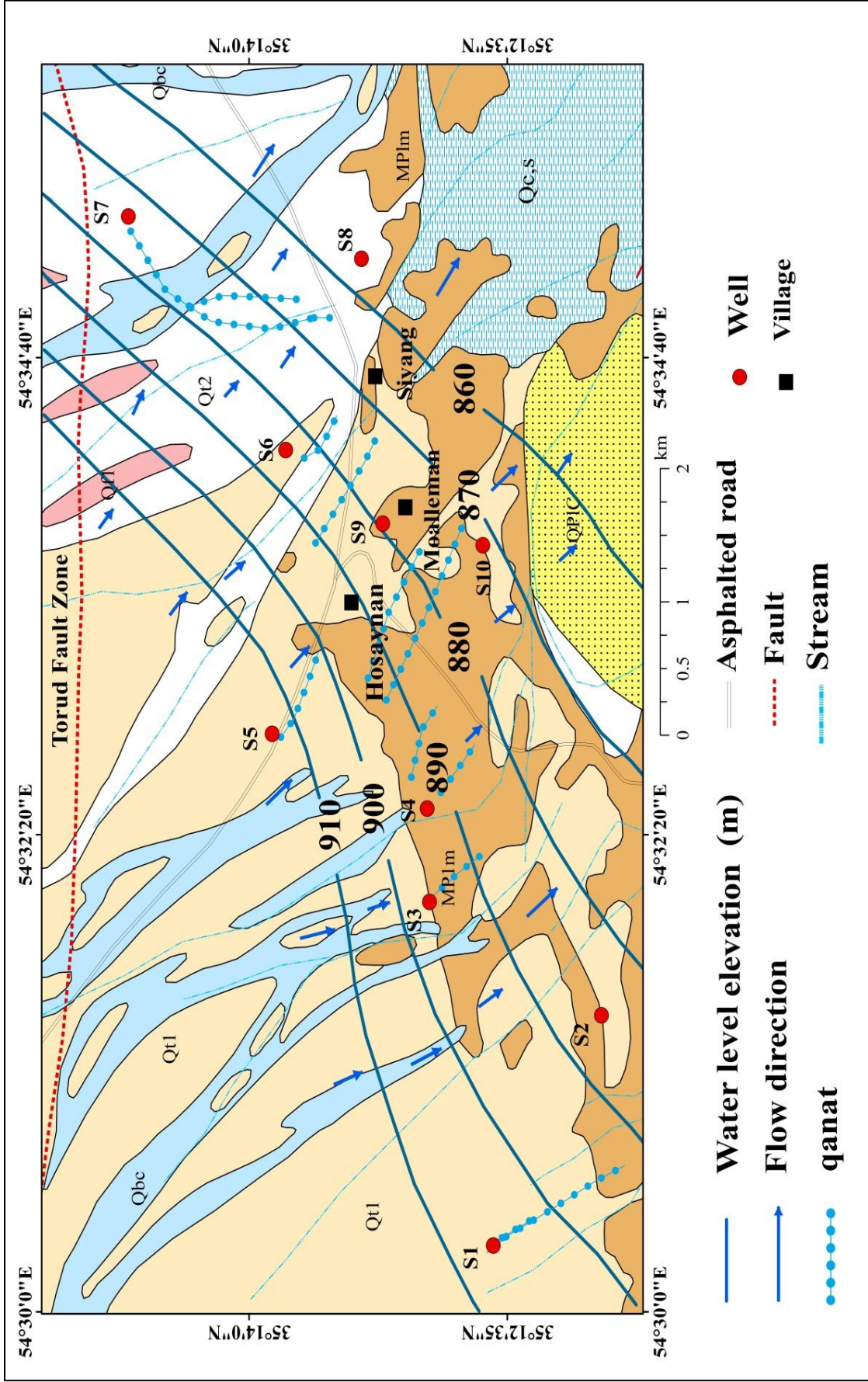
جدول ۳-۴- ارتفاع سطح آب زیرزمینی در چاه‌ها و قنات‌های منطقه معلمان در (اسفند ماه ۱۳۹۲)

| نام منبع آبی | علامت اختصاری | مختصات جغرافیایی | | عمق چاه (متر) | ارتفاع نقطه نشانه (متر) | ارتفاع سطح ایستابی از سطح دریا (متر) |
|-----------------|---------------|------------------|---------|---------------|-------------------------|--------------------------------------|
| | | X | Y | | | اسفند ماه ۹۲ |
| قنات اسلام آباد | S1 | ۲۷۲۹۲۶ | ۳۸۹۹۲۹۴ | ۲۵ | ۹۳۳ | ۹۰۸ |
| چاه مرتضایی | S2 | ۲۷۴۶۰۷ | ۳۸۹۸۱۵۴ | ۸۲ | ۸۹۴ | ۸۸۸ |
| قنات مظفرآباد | S3 | ۲۷۵۴۹۲ | ۳۸۹۹۸۷۷ | ۱۸ | ۹۱۴ | ۸۹۶ |
| قنات شوراب | S4 | ۲۷۶۱۸۵ | ۳۸۹۹۸۸۴ | ۱۵ | ۹۱۲ | ۸۹۷ |
| قنات حسینان | S5 | ۲۷۶۷۷۹ | ۳۹۰۱۴۴۳ | ۲۵ | ۹۳۷ | ۹۱۲ |
| قنات معلمان | S6 | ۲۷۸۸۸۱ | ۳۹۰۱۲۵۳ | ۲۲ | ۹۰۲ | ۸۸۰ |
| قنات سینگ | S7 | ۲۸۰۶۵۳ | ۳۹۰۲۸۷ | ۴۰ | ۹۲۷ | ۸۷۷ |
| چاه سینگ | S8 | ۲۸۰۲۸۱ | ۳۹۰۰۴۵۰ | ۲۲ | ۸۷۵ | ۸۵۳ |
| چاه معلمان | S9 | ۲۷۸۳۱۱ | ۳۹۰۰۲۸۲ | ۱۰ | ۸۸۷ | ۸۷۹ |
| چاه قیصری | S10 | ۲۷۸۱۲۵ | ۳۸۹۹۲۷۱ | ۱۵ | ۸۸۱ | ۸۷۷ |

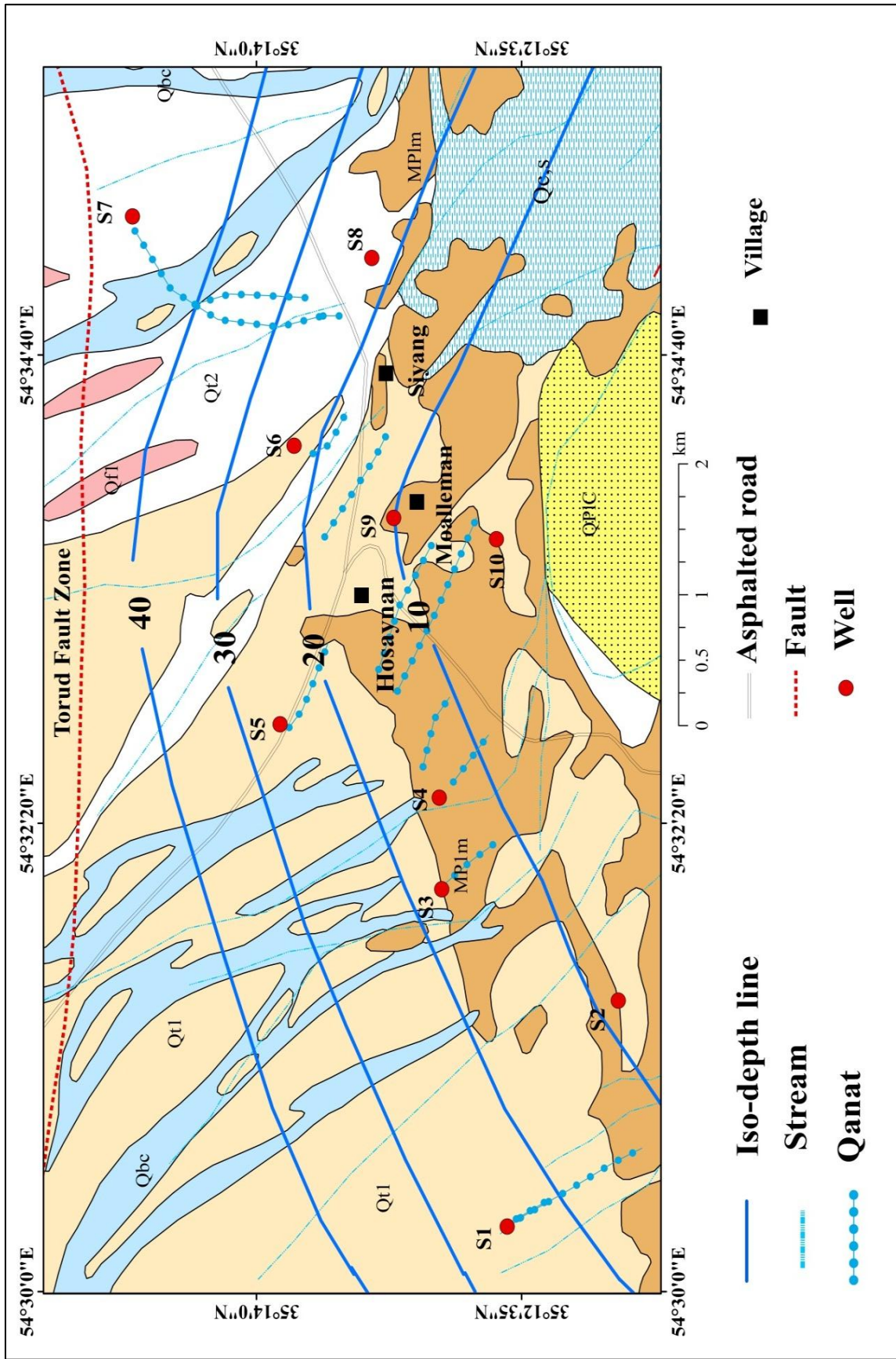
با توجه به نقشه همپتانسیل که در شکل (۴-۳) نشان داده شده است، بیشترین ارتفاع سطح ایستابی در بخش شمال غربی آبخوان و کمترین آن در سمت جنوب شرقی آبخوان می باشد. بر طبق این نقشه جریان ورودی منطقه به طور عمده از بخش های شمال غربی و جریان های خروجی منطقه از حاشیه جنوب شرقی دشت به درون کویر تخلیه می شود. همچنین با توجه به نقشه ملاحظه می شود که گرادیان هیدرولیکی در محدوده مورد مطالعه در بخش های شمال غربی حدود یک درصد و در بخش های جنوب شرقی حدود شش درصد می باشد. دلیل کاهش گرادیان هیدرولیکی در جهت جریان به دو دلیل می تواند رخ داده باشد. اول این که جریان آب زیرزمینی به علت زهکشی قنات ها در بخش جنوب شرقی کاهش یافته است. دوم این که احتمالاً شیب سنگ بستر نیز به سمت جنوب شرق (پایین دست) به طور نسبی کمتر شده است. علاوه بر مطالب فوق الذکر، ملاحظه می شود که خطوط همپتانسیل در آبخوان معلمان کم و بیش با هم موازی هستند دلیل موازی بودن خطوط همپتانسیل عمدتاً به این دلیل است که آبخوان از یکنواختی نسبی برخوردار است و در نقاط مختلف وضعیت دانه بندی رسوبات کم و بیش یکسان است. همچنین از دلایل دیگر می توان به ضخامت کم آبخوان در این منطقه اشاره کرد.

۴-۲-۴- نقشه هم عمق سطح ایستابی

با توجه به این که نقشه هم عمق سطح ایستابی، به منظور تعیین عمق سطح آب در نقاط مختلف دشت به کار می رود. در همین راستا نقشه هم عمق سطح ایستابی بر اساس داده های عمق سطح آب چاه ها و مادر چاه های اسفند ماه ۱۳۹۲ تهیه شد. مطابق نقشه هم عمق شکل (۴-۴)، عمق سطح آب زیرزمینی از شمال به جنوب کاهش می یابد. به این ترتیب که در بخش های شمالی (بالادست منطقه) عمق سطح آب زیرزمینی به بیشتر از ۴۰ متر و در بخش های جنوبی (پایین دست منطقه) به کمتر ۱۰ متر می رسد. لازم به ذکر است که یکنواختی آبخوان معلمان که در بخش قبلی اشاره شد به وضوح در این نقشه هم قابل مشاهده است.



شکل ۴-۳ نقشه هم‌پتانسیل منطقه معلمان



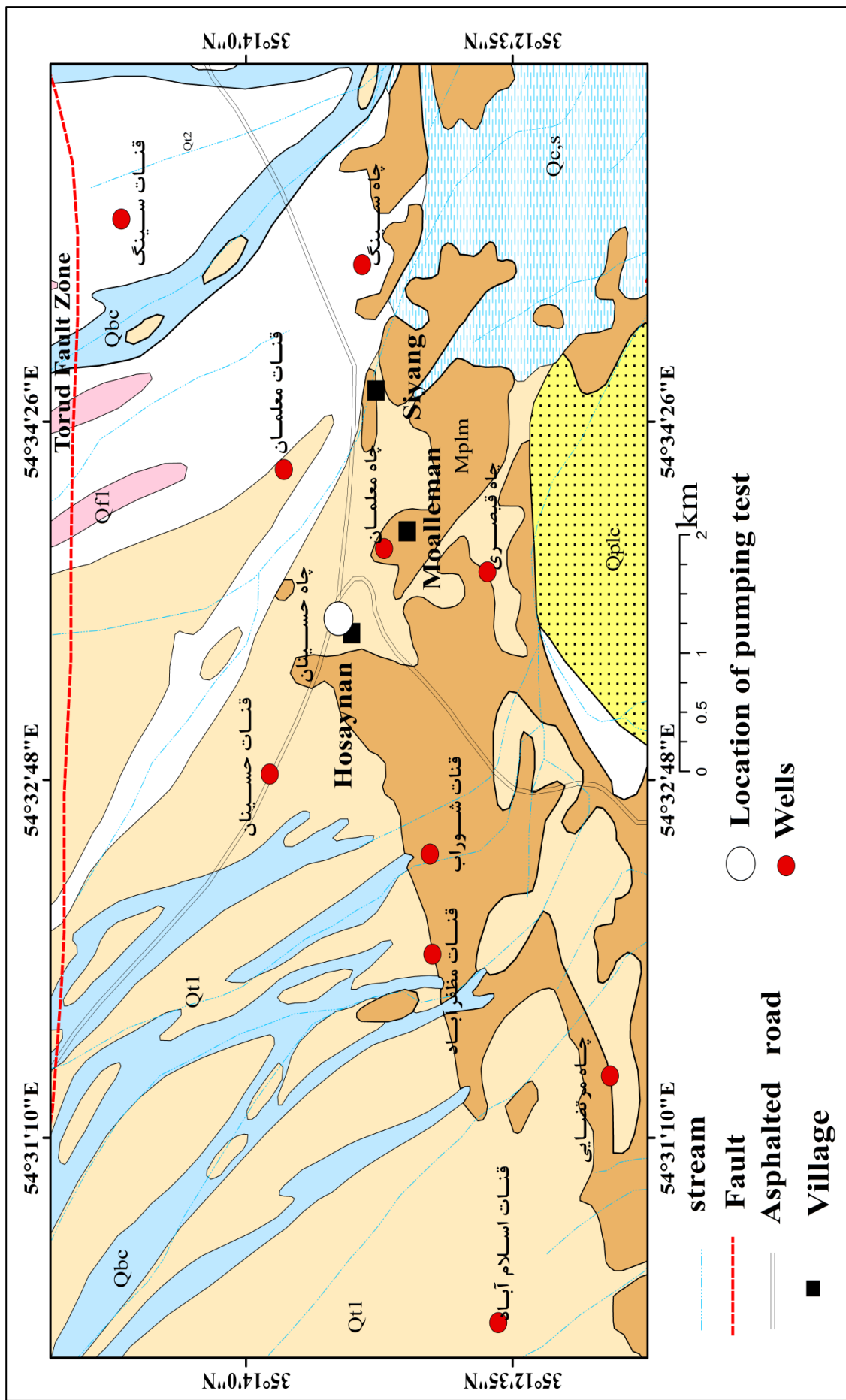
شکل ۴-۴ - نقشه هم عمق منطقه معلمان

۴-۲-۵- برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان منطقه

از داده‌های آزمایش پمپاژ جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، استفاده می‌شود. در آبخوان منطقه مطالعاتی، یک آزمایش پمپاژ در یکی از چاه‌های واقع در روستای حسینان در بهمن ماه ۱۳۹۲ انجام شده است. این چاه در شمال روستای حسینان حفر گردیده است. شکل (۴-۵) موقعیت این چاه پمپاژ و منابع آبی مجاور آن را نشان می‌دهد. همانطور که شکل (۴-۵) نشان می‌دهد نزدیکترین منابع آبی اطراف چاه قنات‌های معلمان و حسینان می‌باشند. قنات معلمان در شمال شرقی چاه قرار داشته و فاصله مادر چاه و قنات مذکور با چاه فوق‌الذکر حدود ۷۰۰ متر می‌باشد. قنات حسینان در بخش شمال غربی چاه قرار داشته و فاصله مادر چاه این قنات مذکور با چاه فوق‌الذکر حدود ۱۲۰۰ متر می‌باشد. جهت بررسی تاثیرات پمپاژ چاه بر منابع آبی مذکور در مراحل مختلف قبل، بعد و در حین پمپاژ، آبدهی قنات‌ها اندازه‌گیری شده است که به شرح جدول (۴-۴) می‌باشد. با توجه به جدول مذکور و کوتاه مدت بودن زمان پمپاژ و محدود بودن برداشت، آزمایش پمپاژ، تاثیری بر کمیت آبدهی قنات‌ها نداشته ولی به نظر می‌رسد در دراز مدت اگر برداشت به صورت مستمر از چاه مذکور به وقوع بپیوندد و شرایط اقلیمی نیز ثابت بماند، آبدهی چاه بر آبدهی قنات‌ها اطراف به خصوص قنات معلمان تاثیر سوء خواهد داشت (شرکت آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۹۲). اما با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان علت تغییر نکردن دبی قنات‌ها را به خطای آزمایش نسبت داد.

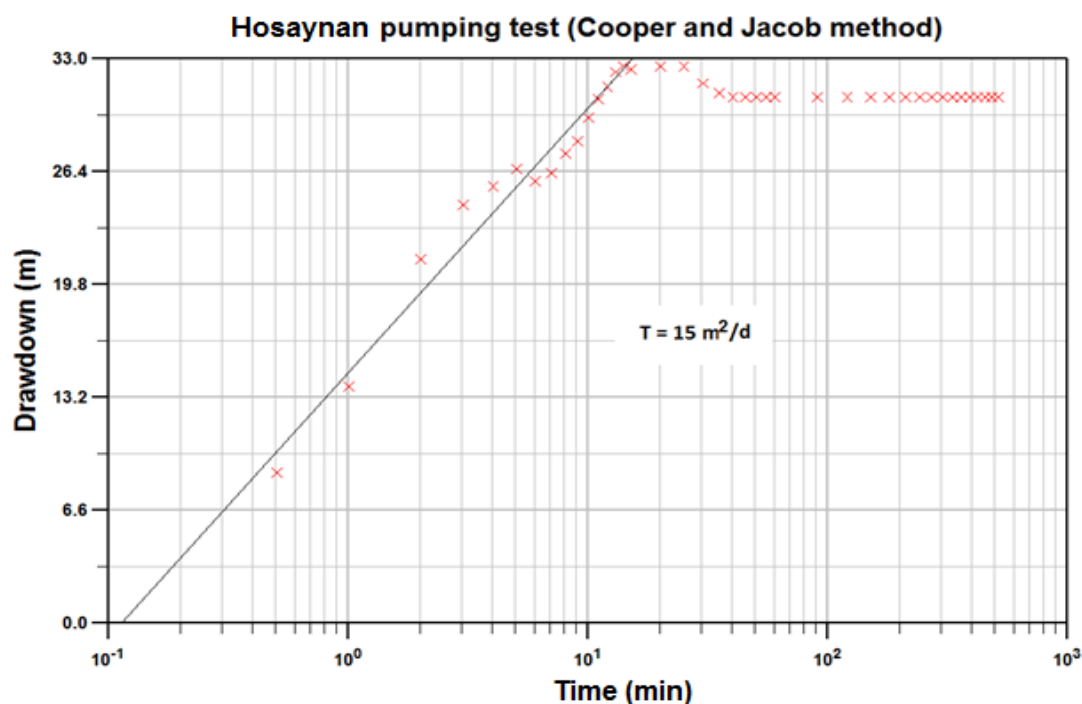
جدول ۴-۴- مقادیر آبدهی ثبت شده در اثر آزمایش پمپاژ در قنات‌های حسینان و معلمان (گزارش آب منطقه‌ای سمنان ۱۳۹۲)

| آبدهی (لیتر بر ثانیه) | | | نام قنات |
|-----------------------|-----------|--------------|----------|
| بعد از پمپاژ | حین پمپاژ | قبل از پمپاژ | |
| ۱۱ | ۱۰ | ۱۱ | حسینان |
| ۴ | ۴ | ۴ | معلمان |



شکل ۴-۵- موقعیت چاه پمپاژ و منابع آبی مجاور آن در منطقه مورد مطالعه

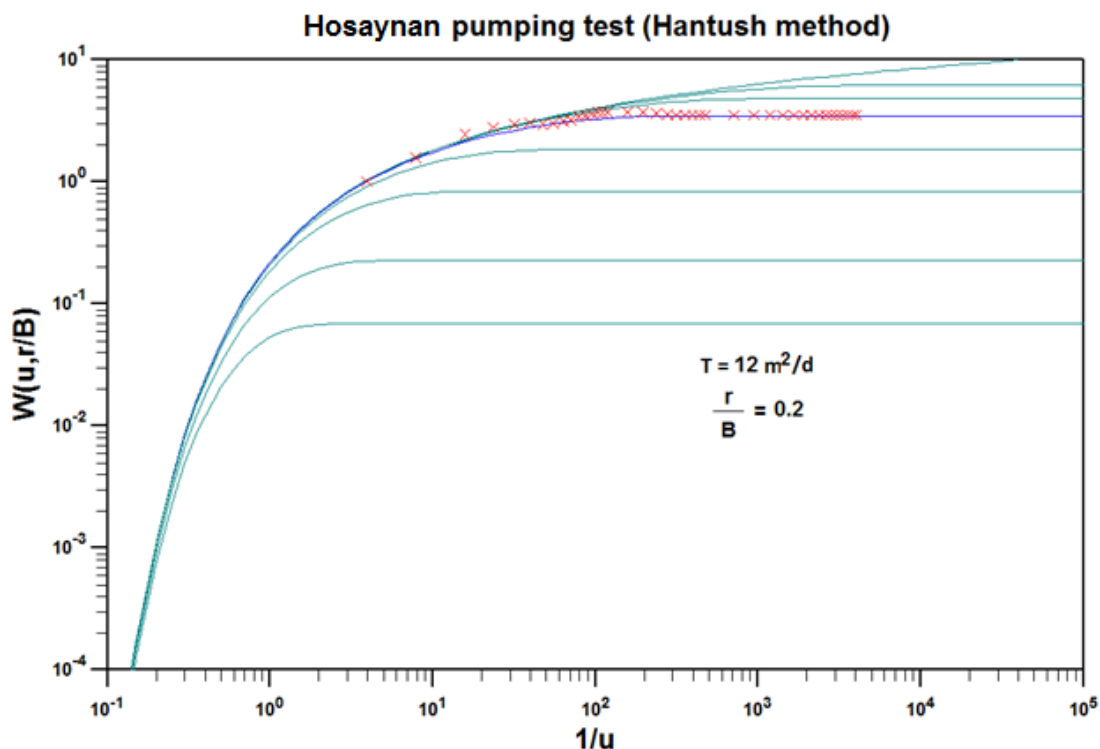
آزمایش انجام شده از نوع آزمایش با دبی ثابت بوده و تاریخ شروع آزمایش پمپاژ ۱۳۹۲/۱۱/۱۶ و مدت زمان آزمایش پمپاژ مرحله رفت ۲۱ ساعت و مدت زمان انجام مرحله برگشت سطح آب ۱۴۳ ساعت بوده است. در پیوست (۲) اطلاعات مرحله رفت و در پیوست (۳) اطلاعات مرحله برگشت این آزمایش پمپاژ نشان داده شده است. به منظور محاسبه قابلیت انتقال آبخوان از داده‌های افت- زمان آزمایش پمپاژ، توسط نرم افزار Aquifer Test جهت ترسیم نمودار نیمه‌لگاریتمی کوپر و ژاکوپ استفاده شد. با توجه به این که در منطقه مورد مطالعه چاه مشاهده‌ای وجود ندارد، محاسبه ضریب ذخیره امکان پذیر نشد.



شکل ۴-۶- نمودار کوپر و ژاکوپ برای آزمایش پمپاژ در منطقه مورد مطالعه

بر اساس نمودار کوپر و ژاکوپ که در شکل (۴-۶) ترسیم شده، ملاحظه می‌شود که تغییرات افت ابتدا افزایشی و بعد ثابت می‌شود. این موضوع می‌تواند به دو دلیل ذیل رخ داده باشد: ۱- آبخوان معلمان تا جایی که مقادیر افت بر منحنی منطبق است آبخوانی محبوس بوده و سپس از آن جایی که افت ثابت شده آبخوان آزاد می‌گردد. ۲- آبخوان منطقه یک آبخوان نشتی است. برای اطمینان بیشتر داده‌های این آزمایش با روش هانتوش مربوط به آبخوان‌های نشتی انطباق داده شد. همانطور که در شکل (۴-۶)

۷) دیده می‌شود داده‌های منطقه معلمان بر روی یکی از این منحنی‌ها انطباق خوبی را نشان می‌دهد و همچنین میزان T محاسبه شده با نمودار هانتوش با T که با روش کوپر و ژاکوب محاسبه شده است تقریباً نزدیک به هم می‌باشد. در نتیجه این دلایل می‌تواند نشان دهنده این باشد که آبخوان معلمان یک آبخوان نشتی است.



شکل ۴-۷- نمودار هانتوش برای آزمایش پمپاژ منطقه معلمان

۴-۳- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه

به منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، در اسفند ماه سال ۱۳۹۲ از چاه‌ها و قنات‌های منطقه نمونه‌برداری به عمل آمد. پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته و دما در منطقه اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها جهت آنالیز و تجزیه شیمیایی کامل، تحت شرایط استاندارد به آزمایشگاه دکتر مسعودیان به دامغان فرستاده شد. در جدول (۴-۵) نتایج آنالیزهای شیمیایی مربوط به ۴ حلقه چاه و ۶ رشته قنات نمونه برداری شده در منطقه معلمان ارائه شده است و همچنین در جدول (۴-۶) سایر پارامترهای مهم در بررسی هیدروژئوشیمی آب نشان داده شد.

جدول ۴-۵- موقعیت چاه‌ها و قنات‌های نمونه‌برداری شده و مقادیر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شد

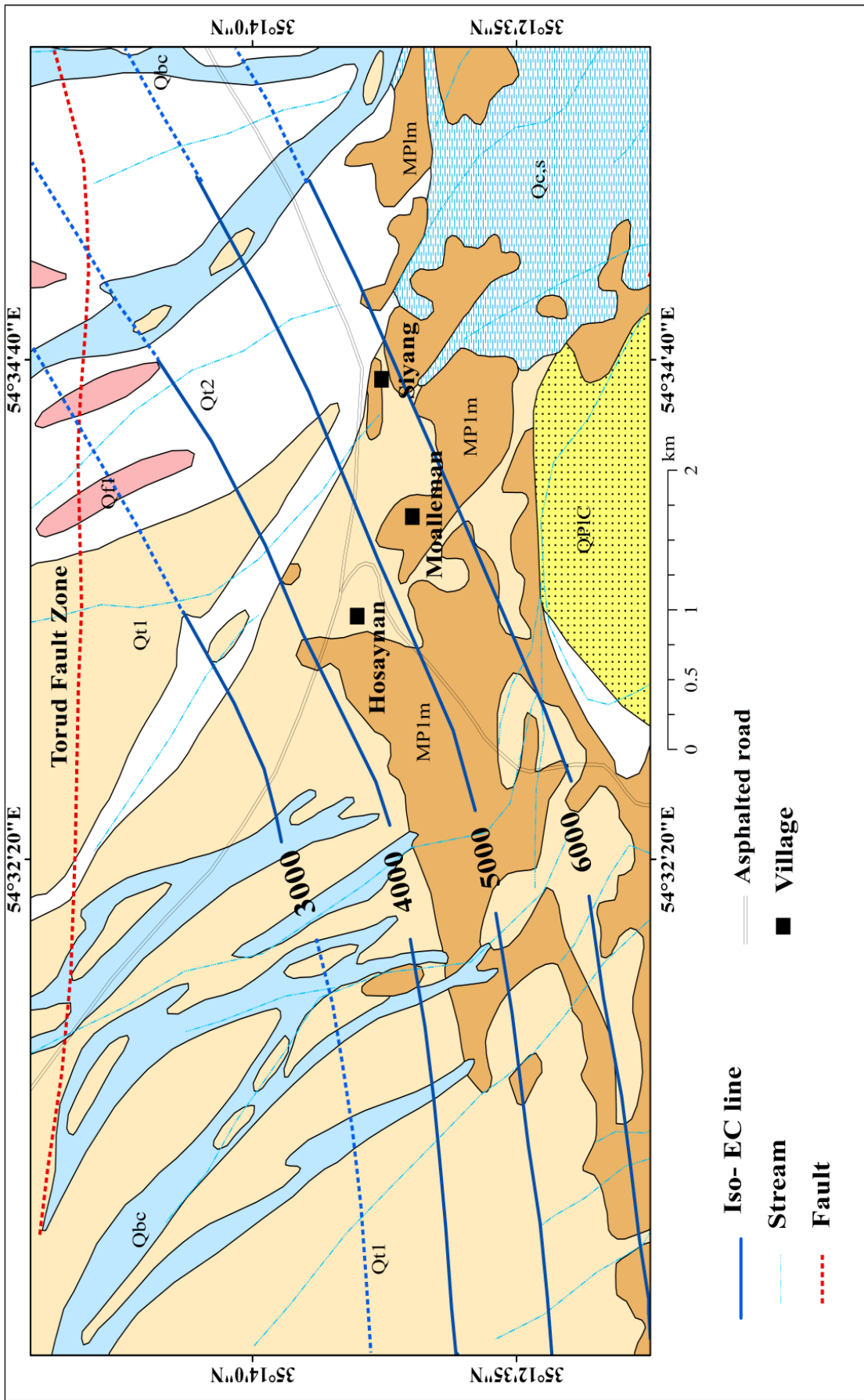
| نام محل نمونه برداری | علامت اختصاری | مختصات جغرافیایی | | EC ($\mu\text{mhos/cm}$) | غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|------------------|---------|----------------------------|---|------------------|----------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | | X | Y | | Na ⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ |
| قنات اسلام آباد | S1 | ۲۷۲۹۲۶ | ۳۸۹۹۲۹۴ | ۵۲۳۰ | ۴۰/۲ | ۲/۷ | ۰/۲ | ۴/۵ | ۳ | ۰/۰۹۶ | ۸ | ۴۱/۷ |
| چاه مرتضایی | S2 | ۲۷۴۶۰۷ | ۳۸۹۸۱۵۴ | ۶۲۱۰ | ۵۲/۱ | ۲/۷ | ۰/۳۸ | ۵/۸ | ۲/۵ | ۰/۰۸ | ۱۵ | ۴۳/۵ |
| قنات مظفرآباد | S3 | ۲۷۵۴۹۲ | ۳۸۹۹۸۷۷ | ۴۲۰۰ | ۳۱/۵ | ۲/۸ | ۰/۲ | ۴/۴ | ۳/۷ | ۰/۱۱ | ۷/۹ | ۳۰/۷ |
| قنات شوراب | S4 | ۲۷۶۱۸۵ | ۳۸۹۹۸۸۴ | ۴۰۵۰ | ۳۴/۸ | ۲/۳ | ۰/۲۳ | ۴/۲ | ۳/۳ | ۰/۱ | ۹/۱ | ۲۹ |
| قنات حسینان | S5 | ۲۷۶۷۷۹ | ۳۹۰۱۴۴۳ | ۳۲۸۰ | ۲۵ | ۲/۶ | ۰/۱۵ | ۳/۱ | ۳/۹ | ۰/۱۲ | ۶/۱ | ۲۱/۲ |
| قنات معلمان | S6 | ۲۷۸۸۸۱ | ۳۹۰۱۲۵۳ | ۴۲۱۰ | ۳۲/۲ | ۳/۷ | ۰/۳۱ | ۳/۹ | ۵/۶ | ۰/۱۸ | ۱۲/۳ | ۲۱/۷ |
| قنات سینگ | S7 | ۲۸۰۶۵۳ | ۳۹۰۲۸۷ | ۴۳۶۰ | ۳۳/۹ | ۱/۸ | ۰/۲۹ | ۵ | ۲/۵ | ۰/۰۸ | ۱۱/۴ | ۲۷/۵ |
| چاه سینگ | S8 | ۲۸۰۲۸۱ | ۳۹۰۰۴۵۰ | ۶۵۰۵ | ۴۳/۵ | ۴/۹ | ۰/۲۵ | ۹/۷ | ۳/۱ | ۰/۱ | ۹/۹ | ۴۳/۵ |
| چاه معلمان | S9 | ۲۷۸۳۱۱ | ۳۹۰۰۲۸۲ | ۵۶۵۰ | ۴۳ | ۵/۴ | ۰/۱۷ | ۳/۸ | ۸/۲ | ۰/۲۶ | ۶/۹ | ۳۶/۲ |
| چاه قیصری | S10 | ۲۷۸۱۲۵ | ۳۸۹۹۲۷۱ | ۶۱۷۰ | ۴۵/۶ | ۳/۷ | ۰/۲۳ | ۴/۹ | ۳/۲ | ۰/۱ | ۹ | ۴۴/۵ |

جدول ۴-۶- مقادیر سایر پارامترهای شیمیایی چاهها و قنات‌های نمونه برداری شده

| علامت اختصاری | pH | Na (%) | S.A.R. | Total Hardness (mg/l as CaCO ₃) | T.D.S (mg/l) |
|---------------|------|--------|--------|---|--------------|
| S1 | ۸/۵۳ | ۸۴/۸۷ | ۲۱/۱۸ | ۳۶۰ | ۳۱۲۸ |
| S2 | ۷/۷۸ | ۸۶/۰۶ | ۲۵/۲۷ | ۴۲۵ | ۳۸۰۲ |
| S3 | ۸/۳ | ۸۱/۴۹ | ۱۶/۶ | ۳۶۰ | ۲۴۴۹ |
| S4 | ۸/۴۸ | ۸۴/۳۴ | ۱۹/۳ | ۳۲۵ | ۲۶۱۳ |
| S5 | ۸/۳۸ | ۸۱/۵۲ | ۱۴/۸ | ۲۸۵ | ۱۹۷۹ |
| S6 | ۸/۰۹ | ۸۱/۰۵ | ۱۶/۵۱ | ۳۸۰ | ۲۶۳۱ |
| S7 | ۸/۴۶ | ۸۳/۴۱ | ۱۸/۳۸ | ۳۴۰ | ۲۵۹۶ |
| S8 | ۷/۸۲ | ۷۴/۹۷ | ۱۶/۱ | ۷۳۰ | ۳۴۹۴ |
| S9 | ۷/۳۲ | ۸۲/۴۳ | ۲۰/۰۴ | ۴۶۰ | ۲۹۰۲ |
| S10 | ۸/۱۱ | ۸۴/۱۹ | ۲۱/۹۹ | ۴۳۰ | ۳۴۲۵ |

۴-۳-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

قابلیت هدایت الکتریکی (EC) معیاری است که برای سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریسیته به کار برده می‌شود. از آن جا که هر چه غلظت نمک‌های محلول در آب بیشتر باشد مقادیر هدایت الکتریکی بیشتر است. با استفاده از هدایت الکتریکی آب، به سرعت می‌توان مقدار مواد محلول در آب را برآورد کرد. به همین منظور جهت بررسی وضع املاح و روند تغییرات هدایت الکتریکی در سطح آبخوان، نقشه هدایت الکتریکی منطقه ترسیم گردید (شکل ۴-۸). با توجه به نقشه هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود، به طوری که مقادیر هدایت الکتریکی منطقه از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در شمال غربی (بالادست منطقه) به ۶۰۰۰ میکروموس در جنوب شرقی (پایین‌دست منطقه) افزایش می‌یابد. از دلایل اصلی آن می‌توان به کمبود بارش و لیتولوژی منطقه اشاره کرد. با توجه به این که بخش‌های شمالی منطقه عمدتاً از واحدهای کنگلومرا و ماسه‌سنگ دانه درشت می‌باشند، آب دارای املاح کمتر و در نتیجه هدایت الکتریکی کمتر می‌باشد. اما در نواحی جنوبی به دلیل نزدیک شدن به محل تخلیه و کاهش نفوذپذیری آب‌های زیرزمینی دارای هدایت الکتریکی بالا و کیفیت نامناسبی می‌باشند.

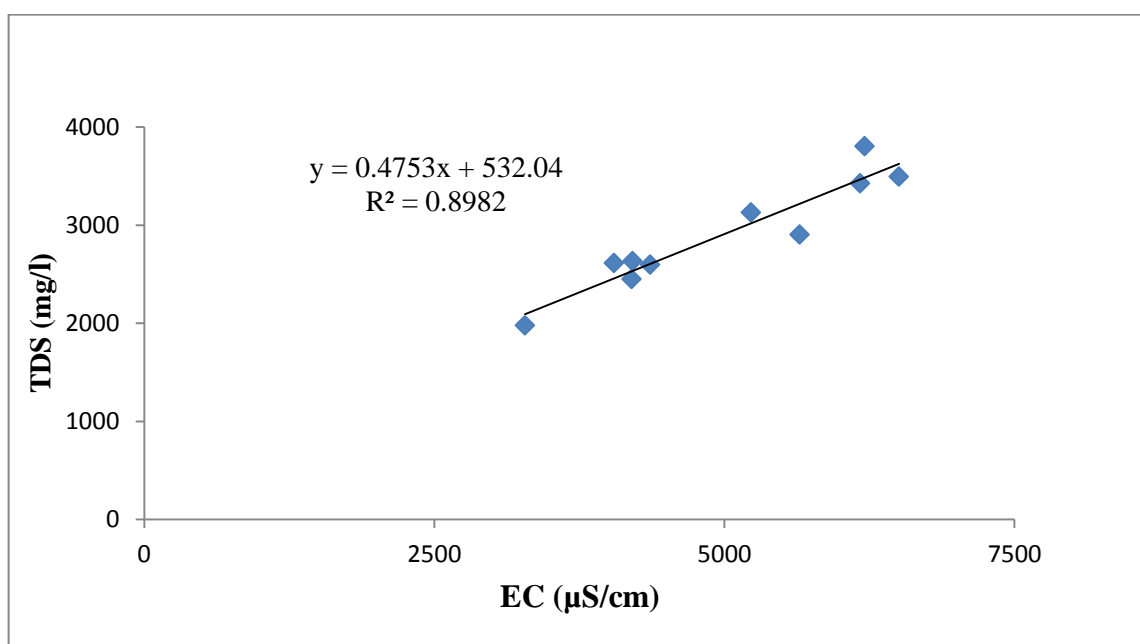


شکل ۴-۸- نقشه هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

همچنین به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نمودارهای مقایسه‌ای برای تعیین رابطه هدایت الکتریکی با کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی و رابطه کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب با هدایت الکتریکی رسم شده است.

الف- بررسی ارتباط هدایت الکتریکی با کل مواد جامد محلول

با توجه به نمودار شکل (۹-۴) هدایت الکتریکی رابطه مستقیم و همبستگی نسبتاً خوبی با کل مواد جامد محلول در آب دارد که این موضوع نشان‌دهنده آن است که افزایش مقادیر هدایت الکتریکی با افزایش مواد جامد محلول مرتبط است.



شکل ۹-۴- نمودار همبستگی EC و TDS

همچنین رابطه بین مقدار TDS و EC در جدول (۷-۴) نشان داده شده است، بیانگر آن است که رابطه بین این دو پارامتر به صورت زیر است.

$$TDS = 0.58 \times EC$$

رابطه (۱-۴)

جدول ۴-۷- رابطه بین EC و TDS در چاه‌ها و قنات‌های منطقه

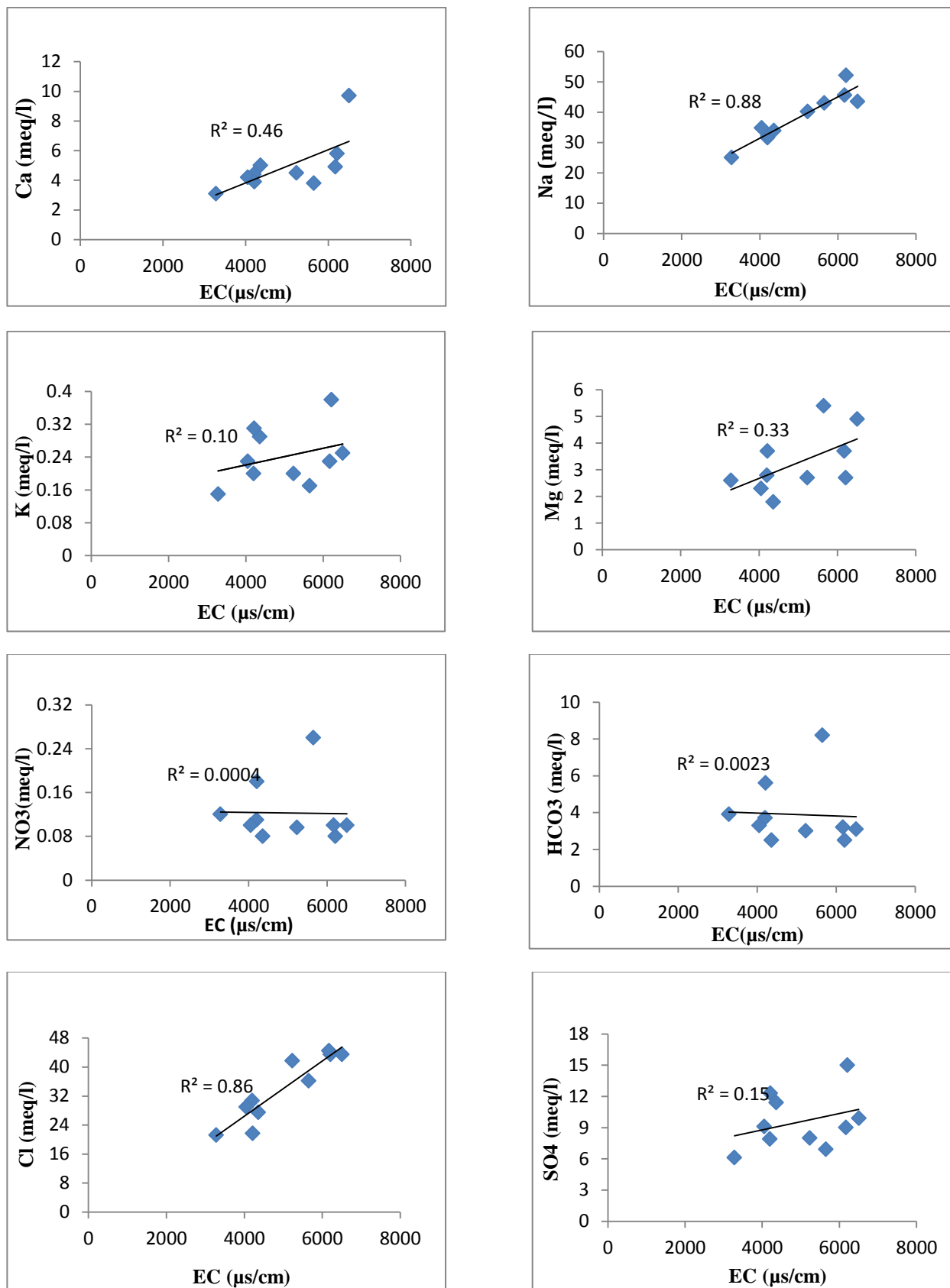
| نام محل نمونه‌برداری | EC($\mu\text{S/cm}$) | TDS(mg/l) | ضریب تبدیل EC به TDS |
|-------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| قنات اسلام آباد | ۵۲۳۰ | ۳۱۲۸ | ۰/۵۹ |
| چاه مرتضایی | ۶۲۱۰ | ۳۸۰۲ | ۰/۶۱ |
| قنات مظفرآباد | ۴۲۰۰ | ۲۴۴۹ | ۰/۵۸ |
| قنات شوراب | ۴۰۵۰ | ۲۶۱۳ | ۰/۶۴ |
| قنات حسینان | ۳۲۸۰ | ۱۹۷۹ | ۰/۶۰ |
| قنات معلمان | ۴۲۱۰ | ۲۶۳۱ | ۰/۶۲ |
| قنات سینگ | ۴۳۶۰ | ۲۵۹۶ | ۰/۵۹ |
| چاه سینگ | ۶۵۰۵ | ۳۴۹۴ | ۰/۵۳ |
| چاه معلمان | ۵۶۵۰ | ۲۹۰۲ | ۰/۵۱ |
| چاه حسینان | ۶۱۷۰ | ۳۴۲۵ | ۰/۵۵ |

ب- بررسی ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها

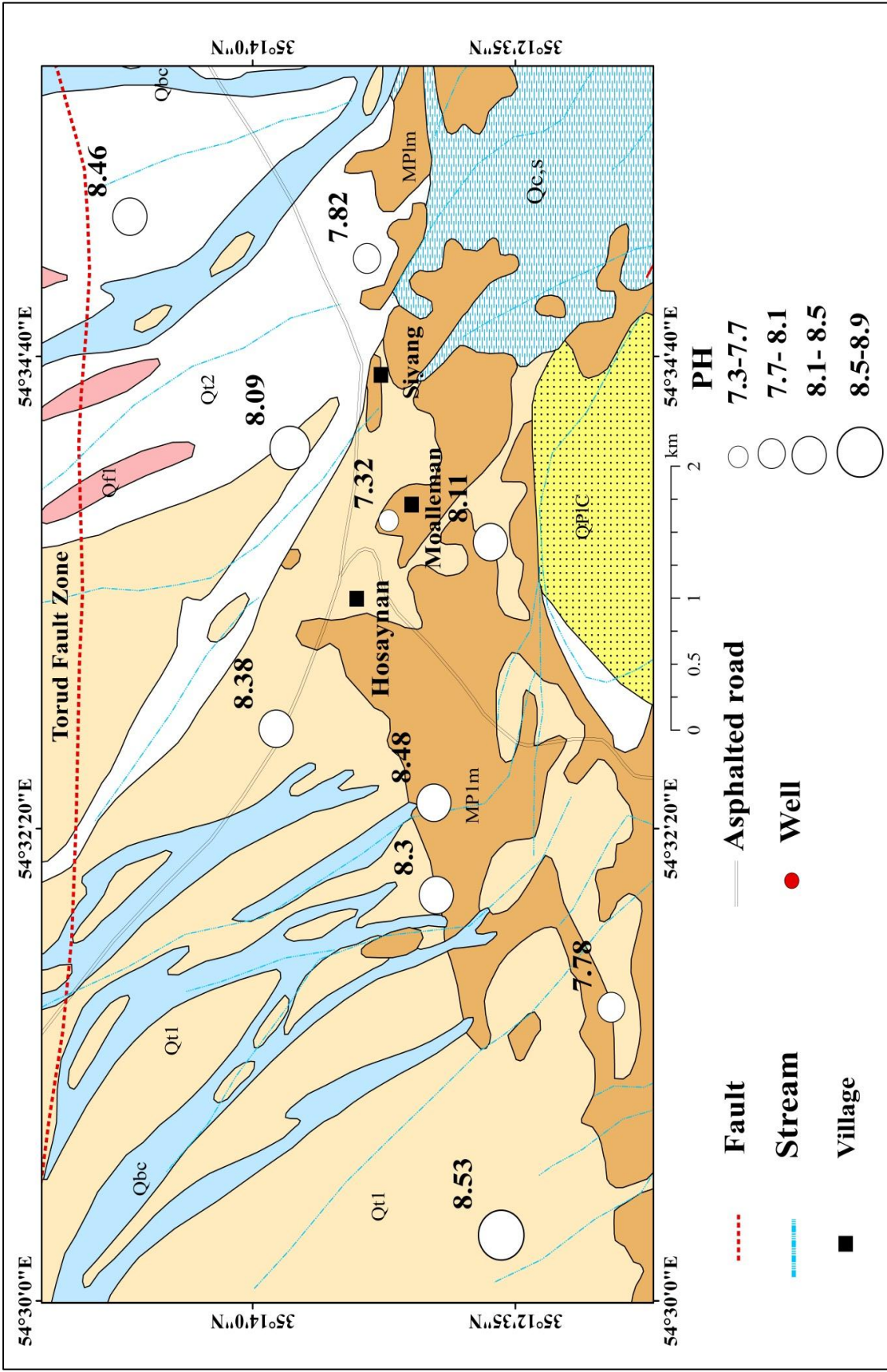
برای تعیین ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها نمودار تغییرات یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، سولفات و کلر در برابر هدایت الکتریکی رسم شده است. بر اساس نمودارهای رسم شده شکل (۴-۱۰)، مشاهده می‌شود که هدایت الکتریکی با تمام یون‌ها ارتباط مستقیمی دارد. در بین یون‌های مختلف سدیم و کلر دارای بیشترین همبستگی با میزان هدایت الکتریکی می‌باشند و بعد از این یون‌ها کلسیم و منیزیم دارای بیشترین همبستگی می‌باشد. ولی سایر یون‌ها تغییرات کاملاً یکنواختی را با هدایت الکتریکی نشان نمی‌دهند.

۴-۳-۲- بررسی نقشه pH

اسیدیته (pH) یکی از مهمترین خواص فیزیکی شیمیایی آب است که نشان دهنده یون هیدروژن در آب می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، حداقل اسیدیته ۷/۳۲ و حداکثر اسیدیته ۸/۵۳ می‌باشد. همانطور که در شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود، نمونه‌های آب اکثراً دارای pH بازی می‌باشند.



شکل ۴-۱۰- ارتباط بین یون‌ها و هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۱۱- نقشه اسیدبته نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مصلحان

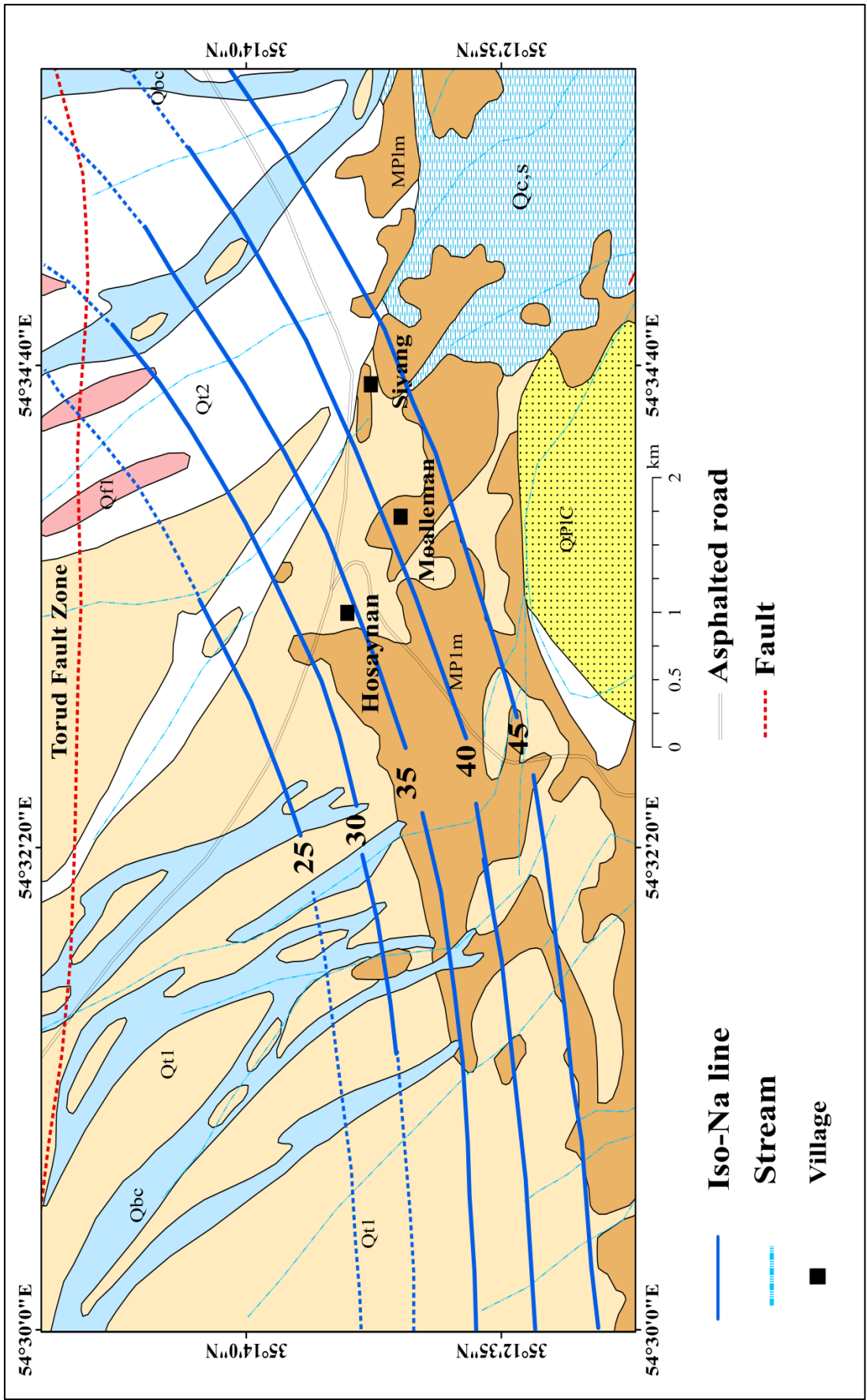
۴-۳-۳- ارزیابی تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

الف - تغییرات یون سدیم

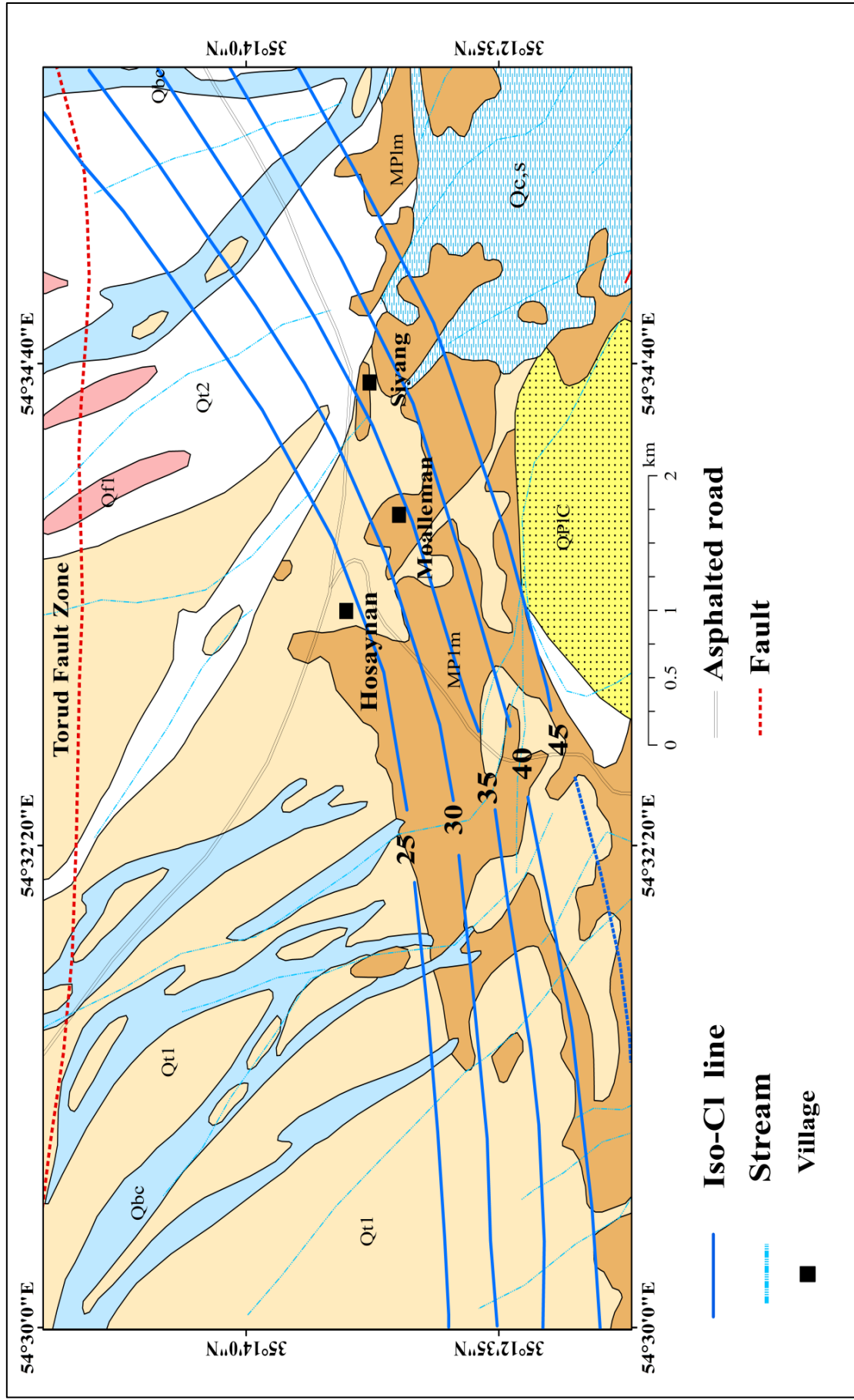
سدیم یکی از کاتیون‌های اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی است که مقادیر آن با درجه شوری آب رابطه مستقیم خیلی مشخصی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که هر چه درجه شوری آب کمتر باشد مقدار این کاتیون کمتر و هر چه درجه شوری آب بالاتر رود، مقدار این کاتیون بیشتر خواهد شد. شکل (۴-۱۲) نقشه سدیم را در آبخوان منطقه معلمان نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار سدیم از حدود ۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تا بیشتر از ۴۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در منطقه متغیر است. کمترین مقادیر سدیم مربوط به بخش‌های شمال‌غربی آبخوان (بالا دست منطقه) و بیشترین مقادیر مربوط به بخش‌های جنوب‌شرقی (پایین دست منطقه) است. در هر حال ملاحظه می‌شود که روند تغییرات این کاتیون اصلی کم و بیش شبیه به روند تغییرات هدایت الکتریکی است.

ب- تغییرات یون کلر

کلر یکی از فراوان‌ترین آنیون‌ها در نمونه آب زیرزمینی می‌باشد. مقدار کلر آب یکی از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت آب به ویژه برای مصارف شرب بوده و ازدیاد آن سبب افزایش شوری می‌گردد. همان طور که در شکل (۴-۱۳) مشاهده شد در بین آنیون‌ها، کلر بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی نشان می‌دهد و این بیانگر این مطلب است که با افزایش کلر بر میزان هدایت الکتریکی افزوده شده و با کاهش میزان هدایت الکتریکی میزان آن نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه کلر که در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که روند تغییرات کلر مطابق با روند تغییرات سدیم و هدایت الکتریکی می‌باشد. این تغییرات به گونه‌ای است که کمترین مقدار کلر مربوط به بخش‌های شمال‌شرقی (بالادست منطقه) آبخوان با میزان ۲۱/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین میزان سدیم با میزان ۴۴/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مربوط به بخش‌های جنوب‌شرقی (پایین دست منطقه) است.

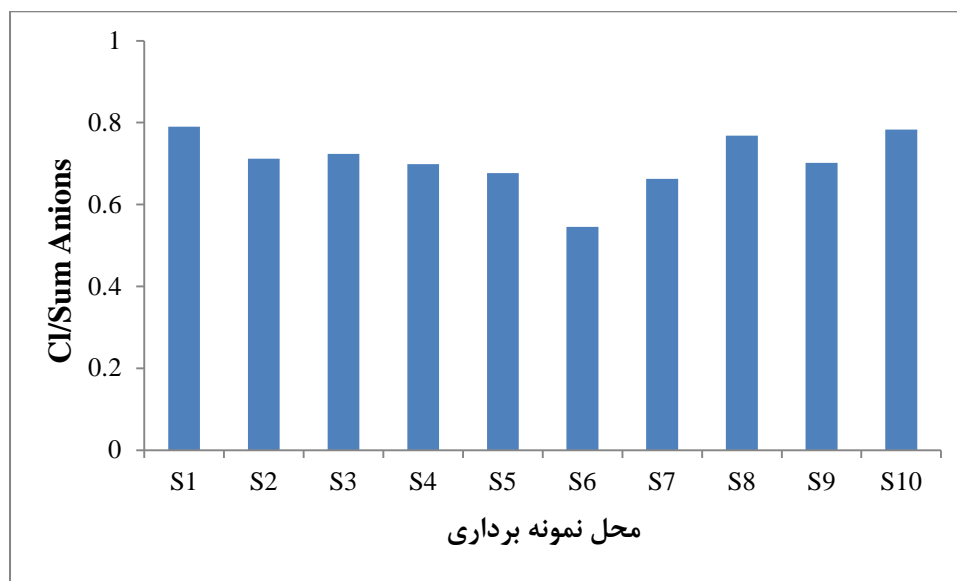


شکل ۴-۱۲- نقشه سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان



شکل ۴-۱۳- نقشه کور نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

یون کلر بیشتر از طریق انحلال هالیت، نفوذ آب شور دریا و نمک‌های اتمسفری به آب‌های زیرزمینی اضافه می‌شود. با توجه به خشک بودن آب و هوای منطقه، منشأ مقادیر بالای کلر در آبخوان محدوده مطالعاتی، مربوط به انحلال هالیت می‌باشد که این موضوع می‌تواند به واسطه نسبت یون کلر به مجموع آنیون‌ها اثبات می‌شود. اگر این نسبت بزرگتر از $0/8$ و TDS از 100 میلی گرم بر لیتر کمتر باشد، منشأ کلر آن نمونه آب باران بوده و در حالتی که این نسبت از $0/8$ کمتر باشد، هوازدگی سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه تأثیرگذار بوده است و در صورتی که این نسبت بیشتر از $0/8$ و TDS بیشتر از 500 میلی گرم بر لیتر داشته باشد، آب دریا، شورابه‌ها یا تبخیری‌ها در ایجاد ترکیب نمونه آب نقش داشته‌اند (Hounslow 1995). با توجه به شکل (۴-۱۴) مقدار نسبت کلر به مجموع نسبت آنیون‌ها در نمونه‌های انتخابی منطقه معلمان کمتر از $0/8$ است. بنابراین منشأ یون کلر از هوازدگی سنگ‌ها در آب زیرزمینی است.



شکل ۴-۱۴- نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها

ج- تغییرات سولفات

سولفات یکی از آنیون‌های اصلی است که از پارامترهای مؤثر در افزایش هدایت الکتریکی است. سولفات از منابع مختلفی می‌تواند در آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ کند. منشأ این یون در آب‌های زیرزمینی می‌تواند ناشی از انحلال ترکیبات سولفاته مانند ژیپس یا انیدریت و همچنین ورود

فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی در آب‌های زیرزمینی است. با توجه به شکل (۴-۱۵) مقدار یون سولفات در محدوده مطالعاتی از ۶/۱ تا ۱۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر است. به دلیل این که سولفات روند خاصی را نشان نمی‌دهد به صورت تغییرات مکانی نشان داده شده است.

د- تغییرات یون بی‌کربنات

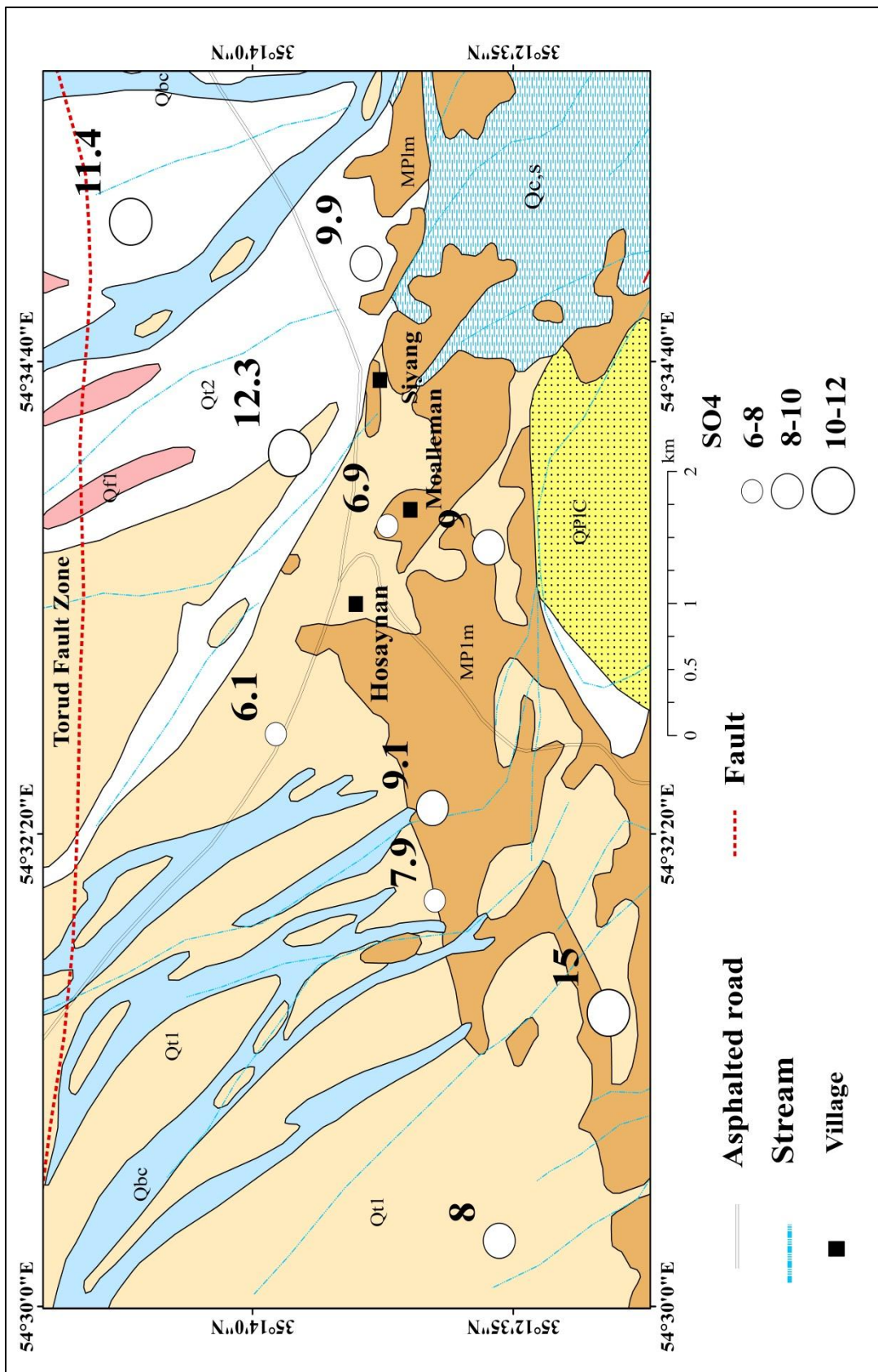
یون بی‌کربنات زمانی که آب و دی‌اکسید کربن با کانی‌های مختلف در یک فرآیندی که هیدرولیز اسیدی نامیده می‌شود واکنش دهد ایجاد می‌شود. با توجه به این که تغییرات یون بی‌کربنات نیز روند خاصی را نشان نمی‌دهد، تغییرات مکانی آن در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است که کمترین مقدار این یون ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین میزان این یون ۸/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

ه- نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها

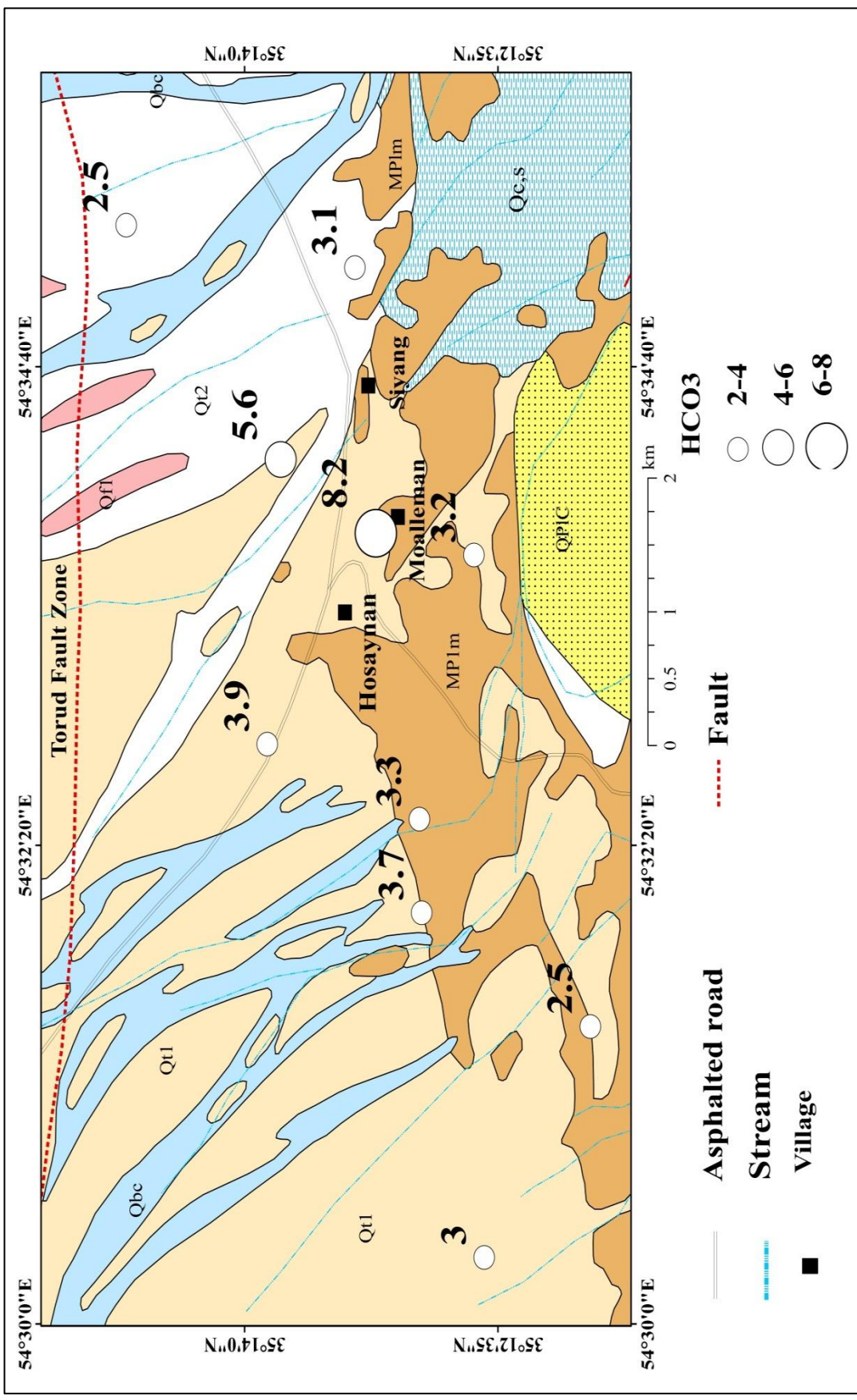
به منظور بررسی تخریب کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه از نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها استفاده می‌شود. به دلیل عدم وجود روند خاص در نمونه‌ها نقشه تغییرات مکانی این نسبت ترسیم شد (شکل ۴-۱۷). با توجه به جدول (۴-۸) حداقل این نسبت ۰/۵۴ و حداکثر آن ۰/۷۸ می‌باشد.

جدول ۴-۸- مقادیر نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها آب‌های زیرزمینی منطقه معلمان

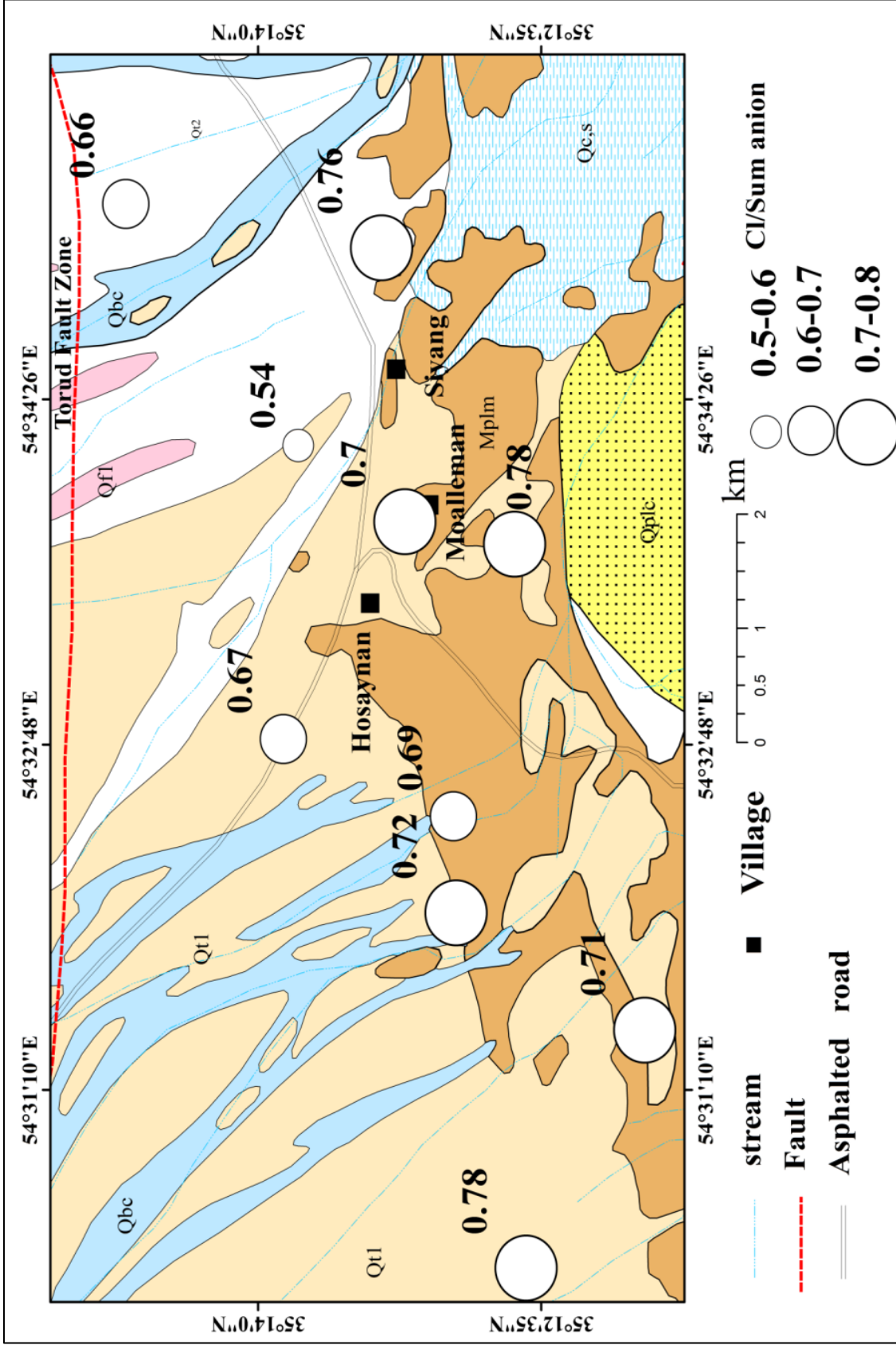
| نام محل نمونه برداری | نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها |
|----------------------|----------------------------|
| قنات اسلام آباد | ۰/۷۸ |
| چاه مرتضایی | ۰/۷۱ |
| قنات مظفرآباد | ۰/۷۲ |
| قنات شوراب | ۰/۶۹ |
| قنات حسینیان | ۰/۶۷ |
| قنات معلمان | ۰/۵۴ |
| قنات سینگ | ۰/۶۶ |
| چاه سینگ | ۰/۷۶ |
| چاه معلمان | ۰/۷ |
| چاه قیصری | ۰/۷۸ |



شکل ۴-۱۵- نقشه سولفات آب زیرزمینی منطقه معلمان



شکل ۴-۱۶ - نقشه بی کربنات آب زیرزمینی منطقه معلمان



شکل ۴-۱۷ - نقشه نسبت یون به مجموع آنیون‌ها در آب زیرزمینی

و- نسبت یون سدیم به مجموع کاتیون‌ها

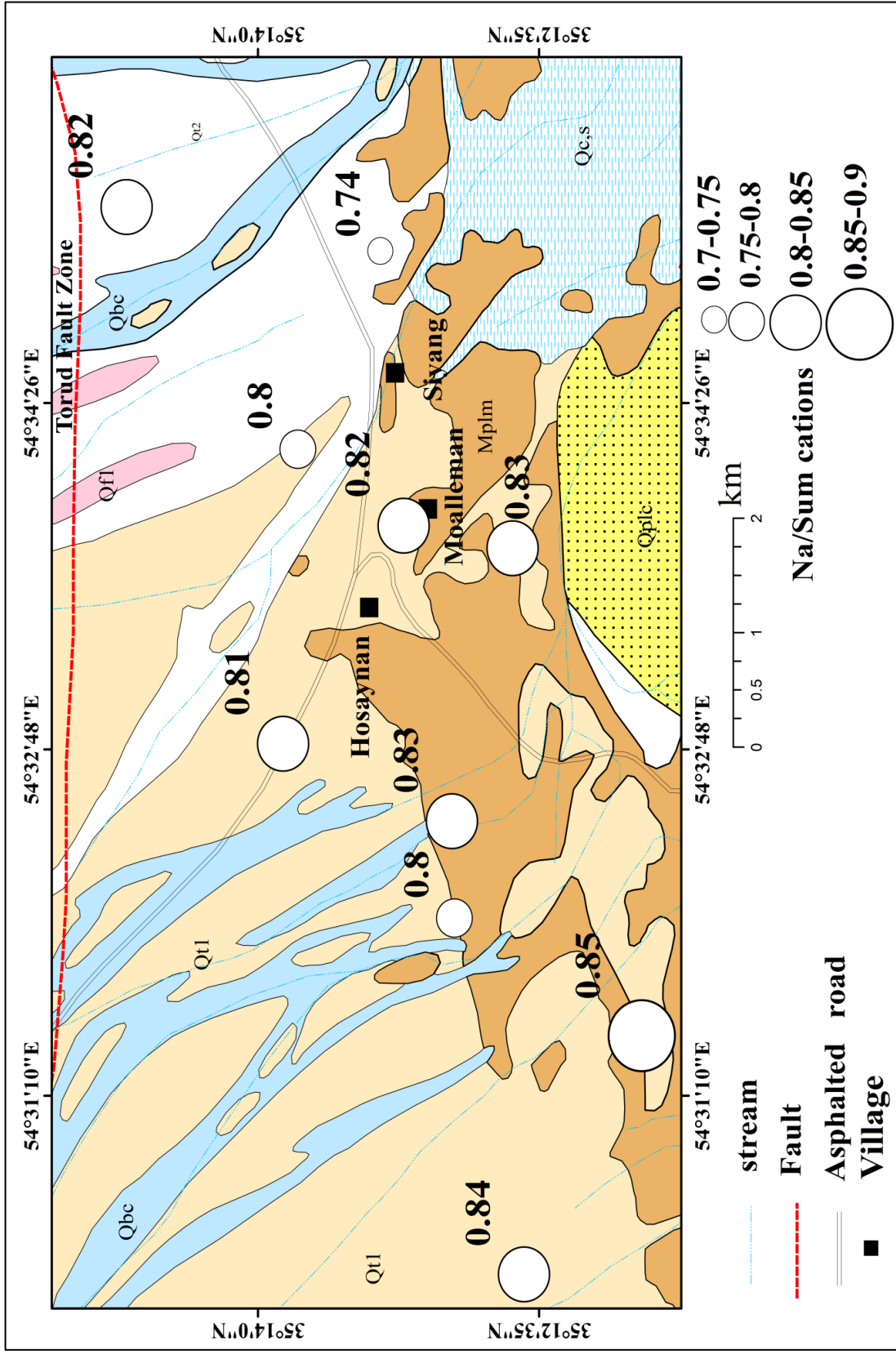
افزایش این نسبت نیز مانند افزایش نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها نشان دهنده تخریب کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه است. تغییرات مکانی آن در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود این نسبت در پایین‌دست منطقه بیشتر از بالادست منطقه است. همچنین مقادیر این نسبت در جدول (۴-۹) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۴-۹) کمترین و بیشترین مقدار این نسبت به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۵ است.

جدول ۴-۹- مقادیر نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها

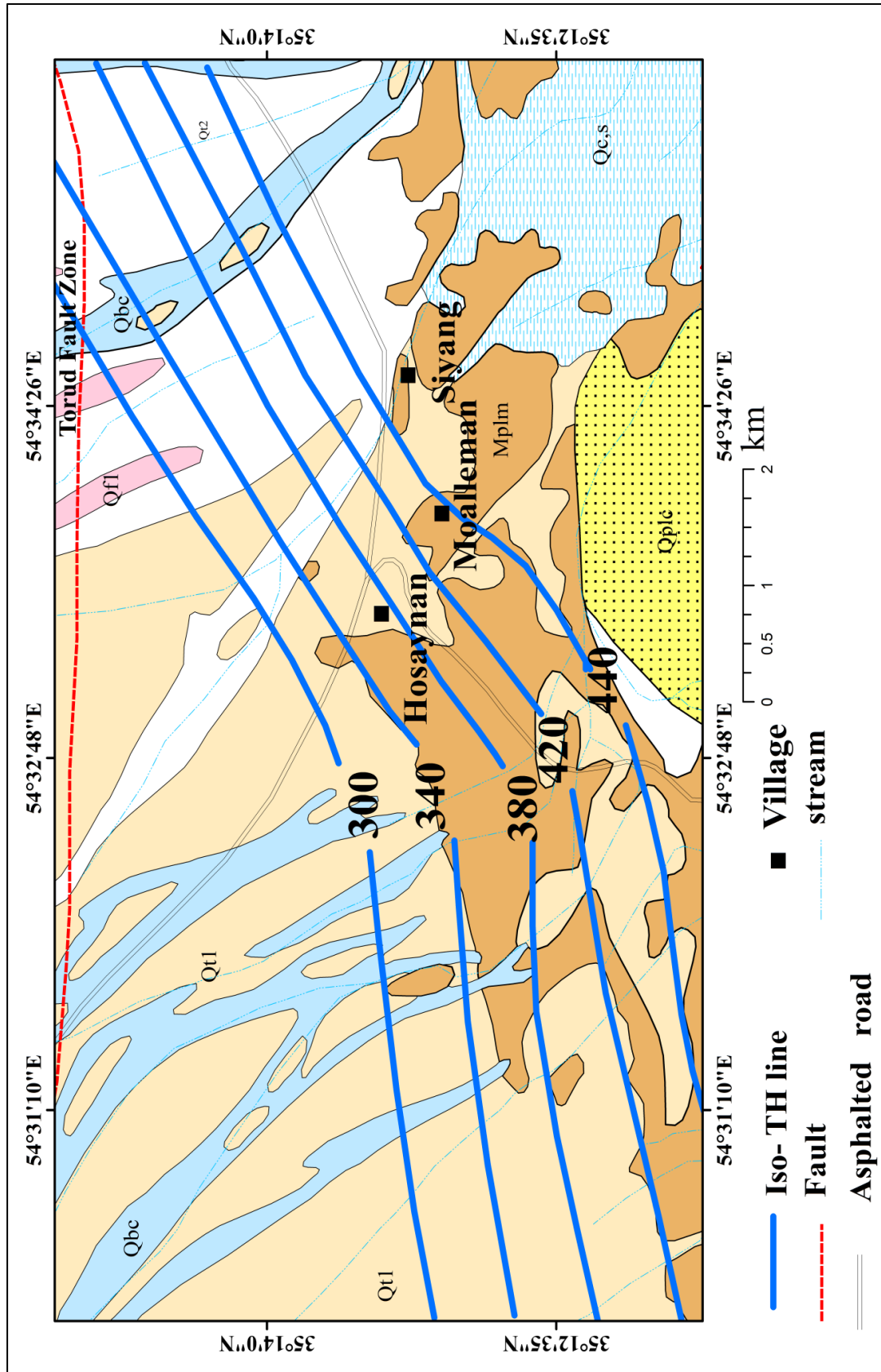
| نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها | نام محل نمونه برداری |
|------------------------------|----------------------|
| ۰/۸۴ | قنات اسلام آباد |
| ۰/۸۵ | چاه مرتضایی |
| ۰/۸ | قنات مظفرآباد |
| ۰/۸۳ | قنات شوراب |
| ۰/۸۱ | قنات حسینیان |
| ۰/۸ | قنات معلمان |
| ۰/۸۲ | قنات سینگ |
| ۰/۷۴ | چاه سینگ |
| ۰/۸۲ | چاه معلمان |
| ۰/۸۳ | چاه قیصری |

ر- بررسی سختی آب

سختی آب بیان کننده وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. به منظور بررسی روند تغییرات سختی آب در منطقه مورد مطالعه، نقشه تغییرات سختی تهیه گردید. با توجه به شکل (۴-۲۰) مقادیر سختی آب از سمت شمال غرب منطقه به سمت جنوب شرق منطقه افزایش یافته است. مقادیر سختی آب برای نمونه‌ها تغییراتی از ۲۸۵ تا ۷۳۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۸ - نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیون ها در آب زیرزمینی، آبخوان منطقه مصلحان

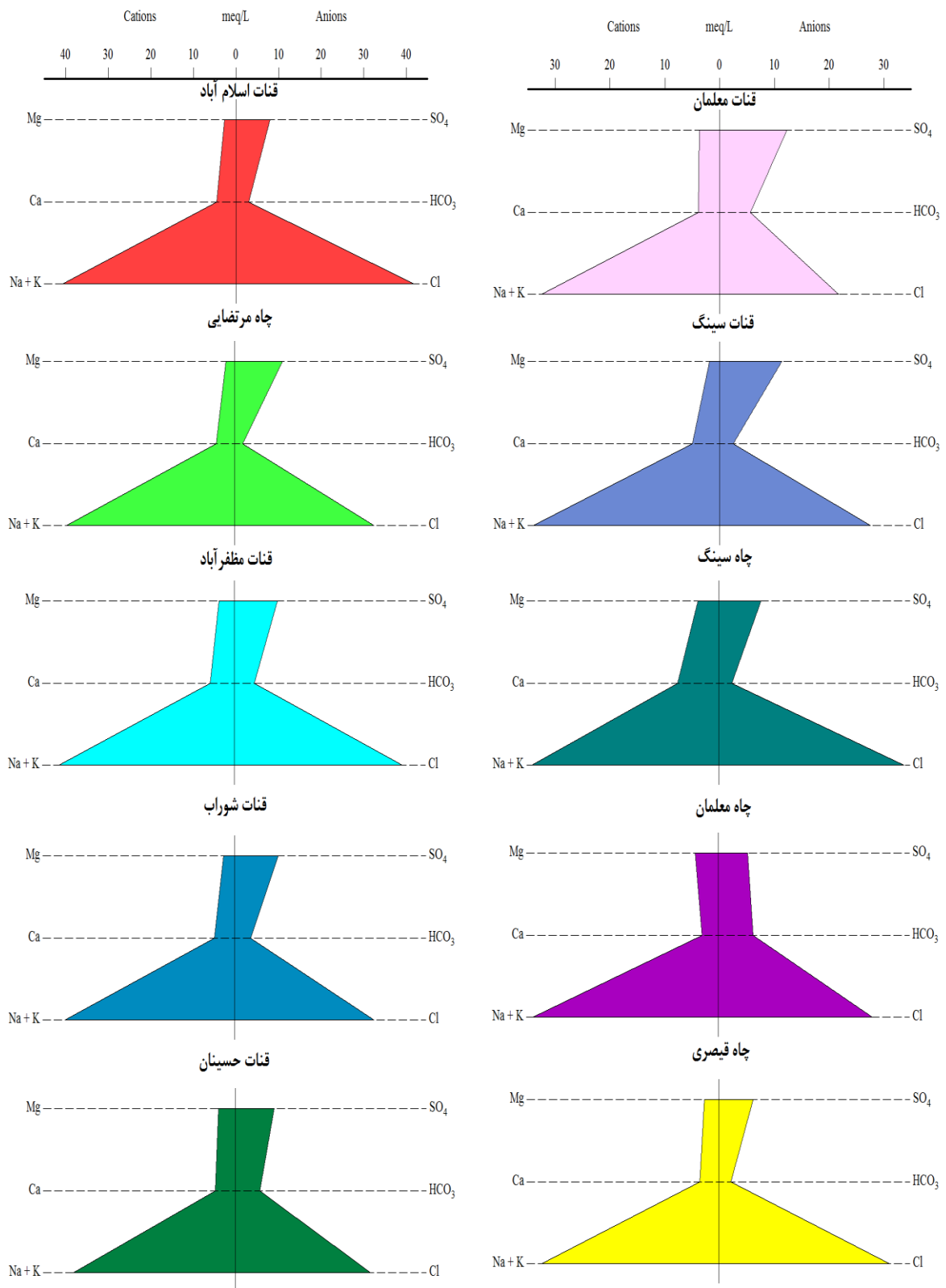


شکل ۴-۱۹ - نقشه تغییرات سختی آب زیرزمینی آبخوان منطقه معلمان

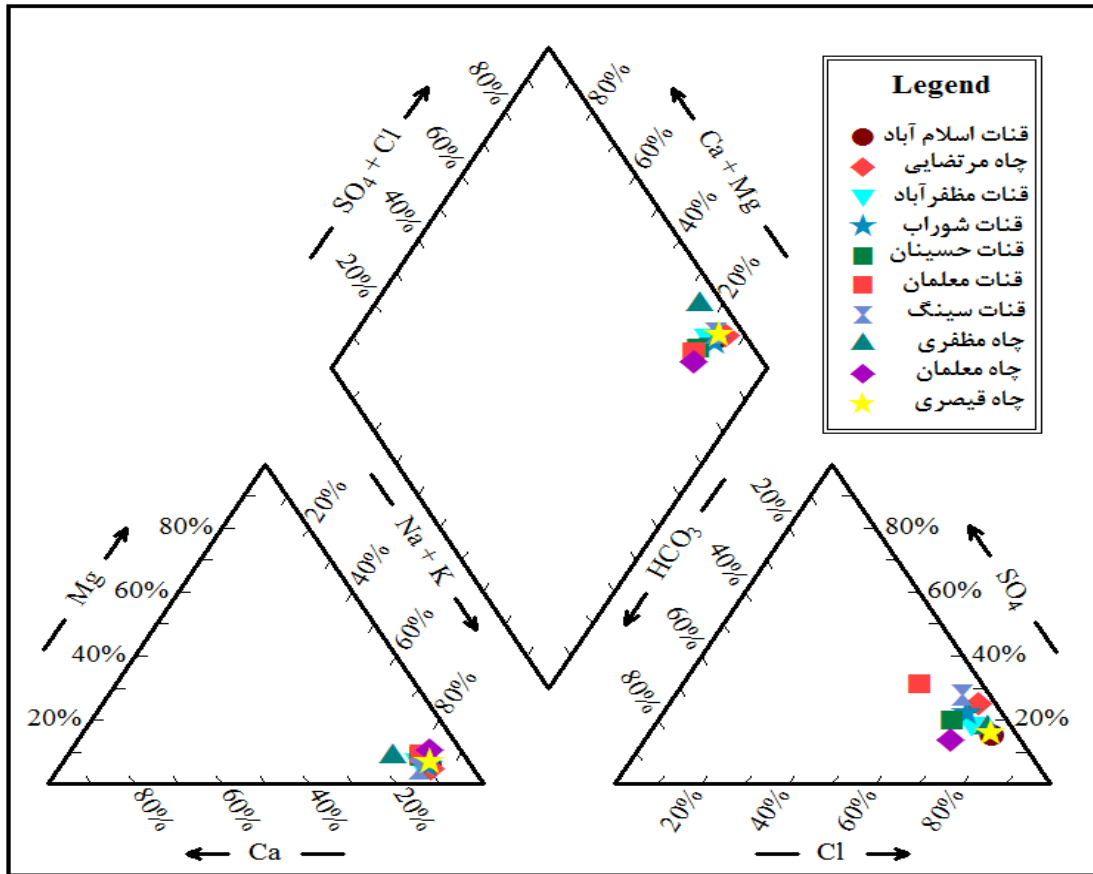
۴-۳-۴- تعیین تیپ آب‌های زیرزمینی منطقه معلمان

نمودارهای مختلفی برای نشان دادن نتایج تجزیه شیمیایی آب پیشنهاد شده است. در اغلب این نمودارها، آب زیرزمینی را محلولی شامل سه جزء کاتیونی: کلسیم، منیزیم و فلزات قلیایی (سدیم + پتاسیم) و سه جزء آنیونی: سولفات، کلرید و بی‌کربنات+کربنات در نظر می‌گیرند (صداقت ۱۳۸۷). بنابراین با استفاده از این نمودارها می‌توان تغییرات سایر یون‌ها را بررسی کرد. به همین منظور از نمودار استیف برای تعیین تیپ آب استفاده گردید. نمودار استیف یکی از روش‌های مناسب برای مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی با منشأهای متفاوت است و می‌تواند ترکیب شیمیایی غالب آن نمونه را تعیین کرده و برای هر نمونه آب یا چاه منحصر به فرد می‌باشد. همانطور که در شکل (۴-۲۰) دیده می‌شود تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه کلروره-سدیک می‌باشد. با توجه به این که نقاط نمونه‌برداری در قسمت خروجی دشت واقع شده‌اند و دارای هدایت الکتریکی بالایی می‌باشند این تیپ آبی توجیه پذیر می‌باشد.

نمودار متداول دیگری که در بررسی هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی استفاده شده است، نمودار پایپر می‌باشد. طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی این نمودار بر اساس توصیف غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها بوده و تیپ یک منطقه را از نظر زمین‌شناسی مشخص می‌کند (Freeze and Cherry 1979). با توجه به نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه که در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است، ملاحظه می‌شود که عناصر قلیایی و اسیدهای قوی به ترتیب غالب‌ترین زون‌های کاتیونی و آنیونی را شامل می‌شوند. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که تمام نمونه‌ها در گوشه راست لوزی واقع شده‌اند، که بیانگر شوری بالای آب‌های منطقه می‌باشد.



شکل ۴-۲۰- نمودار استیف مربوط به نمونه‌های منطقه معلمان



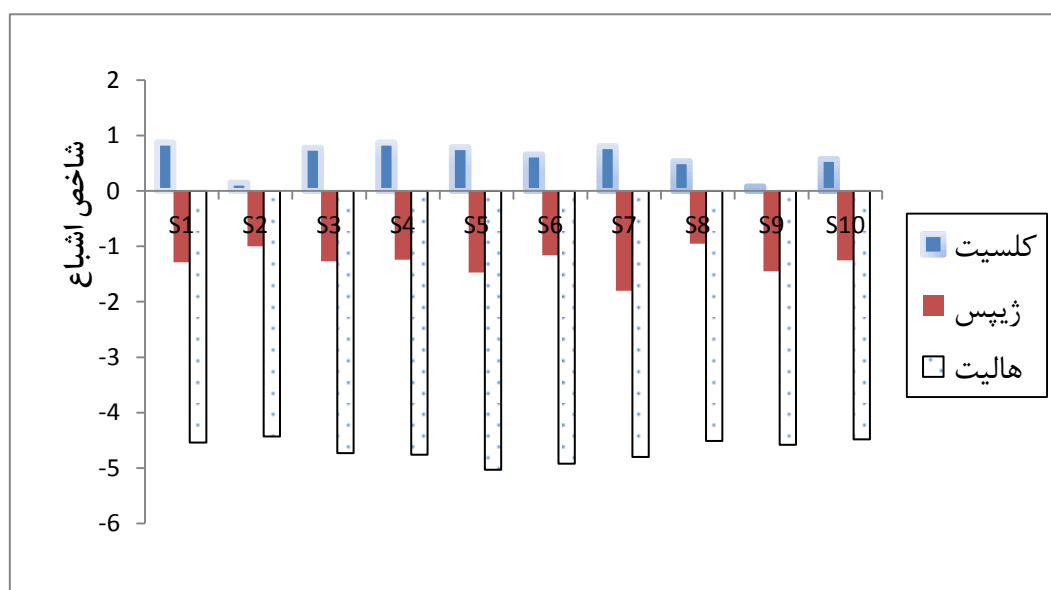
شکل ۴-۲۱- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان منطقه معلمان

۴-۳-۵- بررسی شاخص‌های اشباع

با توجه به تأثیر لیتولوژی سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، شاخص اشباع نمونه آب‌های زیرزمینی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای همین منظور شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان، از طریق نرم‌افزار PHREEQC محاسبه گردید. نتایج این محاسبات در جدول (۴-۱۰) ارائه شده است. همانطور که در شکل (۴-۲۲) مشاهده می‌شود اندیس اشباع کانی‌های ژپس، هالیت منفی و برای کانی کلسیت مثبت می‌باشد. با توجه به این نتایج مشخص می‌گردد که همه نمونه‌ها نسبت به کانی کلسیت فوق اشباع و نسبت به کانی‌های ژپس و هالیت غیر اشباع می‌باشند و می‌توانند بیشتر از این هم در آب انحلال یابند. شاخص اشباع کلسیت بیشتر از بقیه کانی‌ها است. این امر را می‌توان به زودتر به اشباع رسیدن کانی کلسیت در مقایسه با سایر کانی‌ها و حضور کلسیم و منیزیم در محیطی با شرایط pH پایین نسبت داد.

جدول ۴-۱۰- شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

| نام محل نمونه برداری | علامت اختصاری | کلسیت | ژپس | هالیت |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|
| قنات مظفرآباد | S1 | ۰/۸۷ | -۱/۲۹ | -۴/۵۴ |
| چاه مرتضایی | S2 | ۰/۱۵ | -۱ | -۴/۴۳ |
| قنات مظفرآباد | S3 | ۰/۷۸ | -۱/۲۷ | -۴/۷۳ |
| قنات شوراب | S4 | ۰/۸۷ | -۱/۲۴ | -۴/۷۶ |
| قنات حسینان | S5 | ۰/۷۹ | -۱/۴۷ | ۵/۰۳ |
| قنات معلمان | S6 | ۰/۶۶ | -۱/۱۶ | -۴/۹۲ |
| قنات سینگ | S7 | ۰/۸۱ | -۱/۸۰ | -۴/۸ |
| چاه سینگ | S8 | ۰/۵۴ | -۰/۹۵ | -۴/۵۱ |
| چاه معلمان | S9 | ۰/۰۸ | -۱/۴۵ | -۴/۵۸ |
| چاه قیصری | S10 | ۰/۵۸ | -۱/۲۵ | -۴/۴۸ |



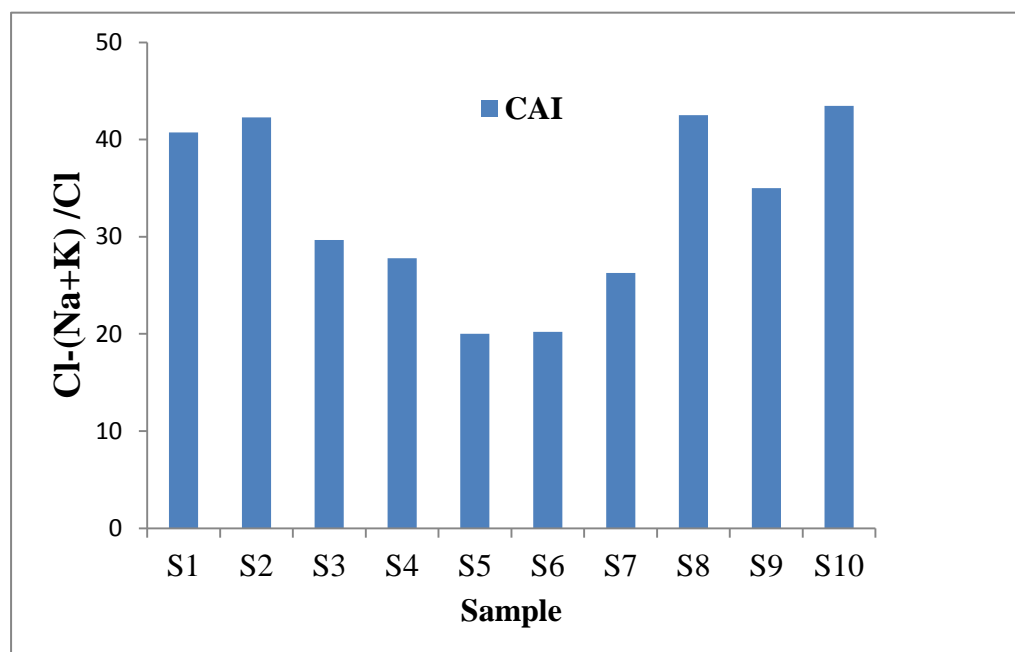
شکل ۴-۲۲- نمودار شاخص اشباع یونی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

۴-۳-۶- شاخص کلرو-آلکالین

برای تعیین تبادلی یونی بین آب زیرزمینی و محیط، از شاخص کلرو-آلکالین استفاده گردید. شاخص کلرو-آلکالین (Chloro-alkaline)، توسط شولر ۱۹۷۷ پیشنهاد شد. این شاخص با استفاده از رابطه (۲-۴) بدست می‌آید. بر اساس این شاخص اگر تعویض یونی یون‌های سدیم و پتاسیم از آب با منیزیم و کلسیم در سنگ باشد در این حالت تبادل یونی مستقیم بوده و شاخص مثبت می‌باشد. اما اگر تبادل یونی معکوس باشد، در این حالت تبادل غیرمستقیم و منفی می‌شود. با توجه به شکل (۴-۲۳) مقادیر شاخص کلرو-آلکالین برای تمامی نمونه‌های منطقه معلمان مثبت بدست آمد که نشان دهنده تبادل یونی یون‌های سدیم و پتاسیم از آب با منیزیم و کلسیم در سنگ می‌باشد که در این حالت تبادل یونی مستقیم بوده و شاخص مثبت است.

$$CAI = [Cl - (Na + K)] / Cl$$

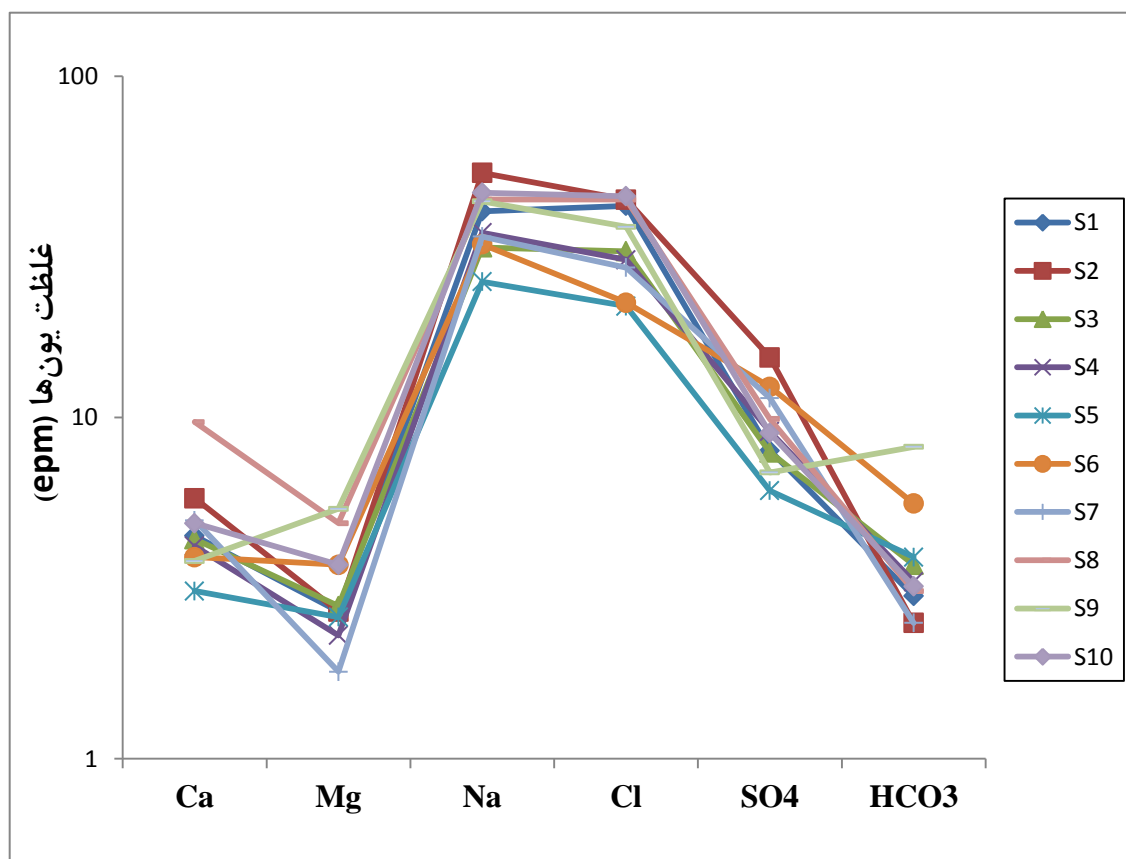
رابطه (۴-۲)



شکل ۴-۲۳- شاخص CAI نمونه‌های چاه‌ها و قنات‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۳-۷- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی

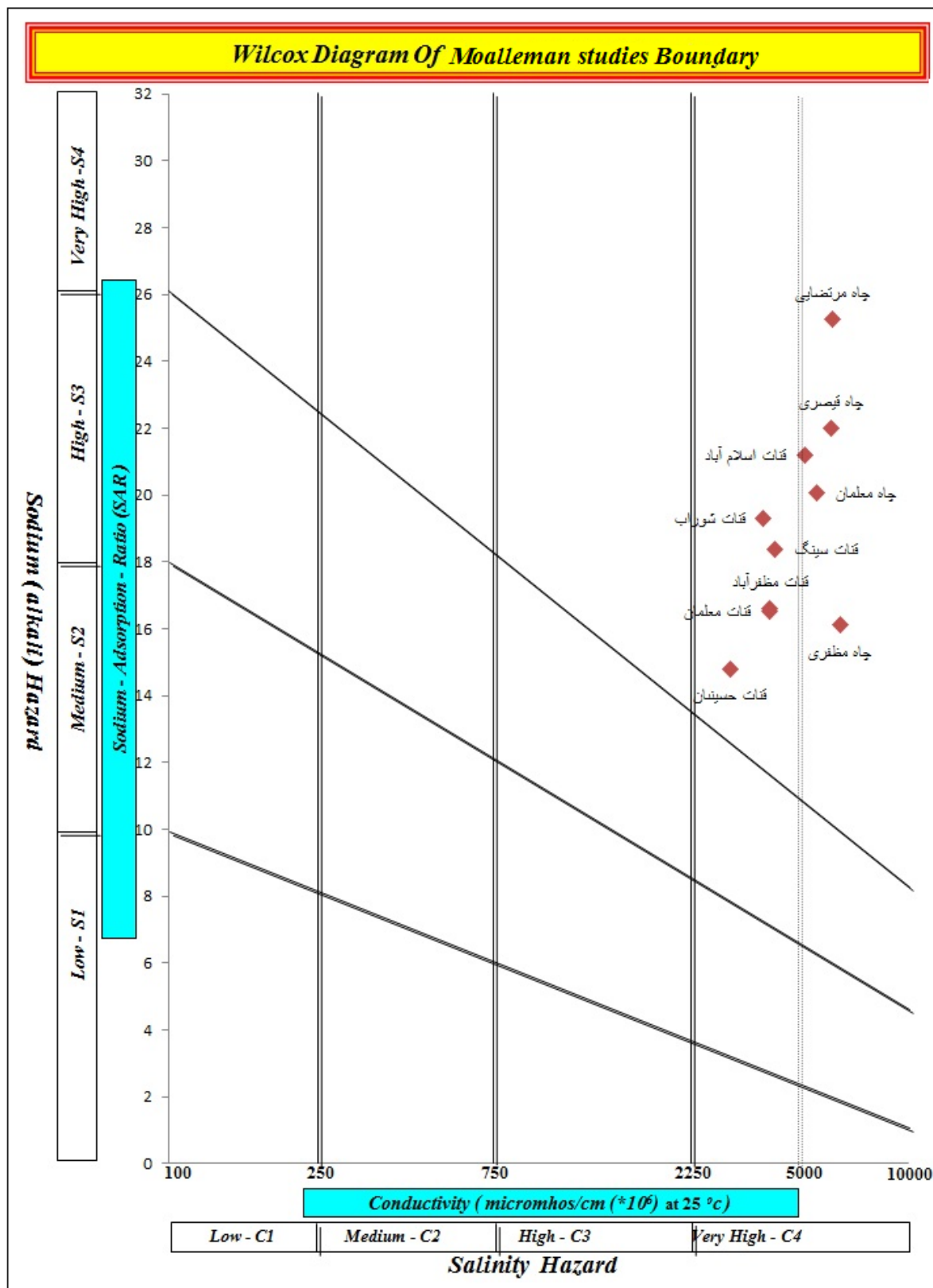
به منظور بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب از نمودار شولر (Schoeller) استفاده می‌شود. نمودار شولر یک نمودار نیمه‌لگاریتمی است که محور افقی آن مقادیر یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و بیکربنات بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. با توجه به این که محور قائم این نمودار لگاریتمی است، اگر خطی که غلظت دو یون را به هم متصل کرده با خطی که این دو یون را در نمونه دیگر متصل کرده موازی باشد، نشان دهنده آن است که نسبت این دو یون در هر دو نمونه مساوی است (Todd and Mays 2005). بر اساس نمودار نیمه لگاریتمی شکل (۴-۲۴) مشاهده می‌شود که روند منحنی غلظت یون‌ها برای تمامی نمونه‌ها کم و بیش یکسان می‌باشد که بیانگر آن است که منشأ تمامی نمونه‌ها یکسان است.



شکل ۴-۲۴- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

۴-۳-۸- بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه معلمان برای مصارف کشاورزی

جهت تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی از نمودار ویلکوکس (Wilcox) استفاده می‌شود. نمودار ویلکوکس بر اساس دو معیار نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (خطر شوری) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود. رده‌های C₁S₁ و C₄S₄ به ترتیب بهترین و بدترین رده کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارا می‌باشند. نمودار ویلکوکس برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان، در اسفند ماه ۱۳۹۲ ترسیم شده است. با توجه به نمودار ویلکوکس شکل (۴-۲۵) تمامی نمونه‌های آب منطقه در رده C₄S₄ قرار دارند و با توجه به این که نمونه‌ها مربوط به قسمت‌های خروجی دشت و حواشی شوره زارهای دشت کویر هستند برای کشاورزی نامناسب می‌باشند. درجدول (۴-۱۱) کیفیت این نمونه‌ها از نظر کشاورزی به تفکیک نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵- نمودار ویلکوکس نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه معلمان

جدول ۴-۱۱- ارزیابی کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

| نام محل نمونه برداری | علامت اختصاری | EC ($\mu\text{mmc}/\text{sho}$) | SAR (%) | کلاس آب | کیفیت آب برای کشاورزی |
|-------------------------|------------------|--------------------------------------|------------|---------|------------------------------------|
| قنات اسلام آباد | S1 | ۵۲۳۰ | ۲۱/۱ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| چاه مرتضایی | S2 | ۶۲۱۰ | ۲۵/۲ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| قنات مظفرآباد | S3 | ۴۲۰۰ | ۱۶/۶ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| قنات شوراب | S4 | ۴۰۵۰ | ۱۹/۳ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| قنات حسینیان | S5 | ۳۲۸۰ | ۱۴/۸ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| قنات معلمان | S6 | ۴۲۱۰ | ۱۶/۵ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| قنات سینگ | S7 | ۴۳۶۰ | ۱۸/۳ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| چاه سینگ | S8 | ۶۵۰۵ | ۱۶/۱ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| چاه معلمان | S9 | ۵۶۵۰ | ۲۰/۰۵ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| چاه قیصری | S10 | ۶۱۷۰ | ۲۱/۹ | C4-S4 | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این فصل، ابتدا نتایج مطالعات انجام شده به طور مختصر ذکر می‌شود و سپس پیشنهادهایی جهت تکمیل این تحقیق و بهبود وضعیت آبخوان ارائه خواهد شد.

۵-۱- ارزیابی جهت کلی جریان در منطقه

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل تهیه شده در اسفند ماه ۱۳۹۲ برای آبخوان منطقه معلمان جهت حرکت عمومی جریان آب زیرزمینی از سمت شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق می‌باشد. بیشترین گرادیان هیدرولیکی مربوط به بخش‌های شمال غربی منطقه بوده که حدود یک درصد می‌باشد و کمترین مقادیر گرادیان هیدرولیکی مربوط به قسمت‌های جنوب شرقی شش دهم درصد می‌باشد. دلیل این کاهش گرادیان در جهت جریان به دو دلیل می‌تواند رخ داده باشد. اول این که جریان آب زیرزمینی به علت زهکشی قنات‌ها در بخش جنوب شرقی کاهش یافته است. دوم این که احتمالاً شیب سنگ بستر نیز به سمت جنوب شرق (پایین دست) به طور نسبی کمتر شده است.

۵-۲- ارزیابی قابلیت انتقال منطقه

با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک نقشه هم مقاومت عرضی RT (Resistivity Transverse) لایه‌های آبدار تهیه شد. این نقشه می‌تواند تا حدودی وضعیت آبدهی مناطق مختلف را بیان نماید. در حاشیه جنوبی منطقه مورد مطالعه، به دلیل این که دارای رسوبات ریز دانه و املاح زیاد هستند، مقادیر RT کاهش پیدا کرده و به تدریج از سمت جنوب به سمت شمال با افزایش اندازه دانه میزان RT افزایش یافته است. به گونه‌ای که در بخش‌های شمال غربی میزان RT بیش از ۳۰۰۰ اهم‌متر مربع و در

بخش‌های جنوبی به کمتر از ۱۰۰۰ اهم‌متر مربع می‌رسد.

۵-۳- بررسی ضخامت آبرفت در منطقه

بخش عمده‌ای از آبخوان منطقه معلمان را رسوبات کواترنری پوشانده شده که به دنبال کاهش ارتفاعات از شمال منطقه به سمت جنوب دشت اندازه دانه‌ها کاهش می‌یابد. ضخامت آبخوان مناطق مختلف دشت متغیر می‌باشد به گونه‌ای که بیشترین ضخامت آبخوان منطقه در نواحی شمالی ۵۰ متر تا ۱۵۰ متر و در شمال‌غربی به ۲۰۰ متر می‌رسد و حداقل ضخامت آن در بخش‌های جنوبی منطقه کمتر از ۵۰ متر می‌باشد. جنس سنگ کف منطقه در قسمت‌های شمالی آبخوان عمدتاً ولکانیکی و کربناته بوده، اما در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه، سنگ کف کنگلومرایی بوده و در بخش‌های جنوبی منطقه به تدریج در عمق به سنگ بستر ماسه‌سنگی و مارنی تشکیلات قرمز فوقانی تبدیل می‌شود.

۵-۴- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهند که در جهت جریان آب زیرزمینی با تغییر جنس واحدهای زمین‌شناسی و نزدیک‌تر شدن به منطقه شورزار و کویری، کیفیت آب به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند. با توجه به این که بخش‌های شمالی منطقه عمدتاً از واحدهای دانه‌درشت تشکیل شده‌اند آب دارای کیفیت بسیارخوب و با هدایت الکتریکی کم است و در بخش‌های جنوبی منطقه با نزدیک شدن به منطقه کویری و شورزار سبب افزایش روند هدایت الکتریکی شده است. زمان زیاد ماندگاری آب زیرزمینی از محل تغذیه تا تخلیه، نفوذپذیری کم زمین و توپوگرافی پست در قسمت جنوب از عوامل موثر در بالا رفتن هدایت الکتریکی مناطق جنوبی است. کمترین مقادیر هدایت الکتریکی مربوط به بخش‌های شمال‌غربی منطقه و بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی مربوط به بخش‌های جنوب‌شرقی منطقه و به ترتیب ۳۲۸۰ و ۶۵۰۵ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشند. همچنین بررسی هدایت الکتریکی با یون‌های اصلی و کل جامدات حل شده، نشان داد که همبستگی مستقیم و خطی بین هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی و کاتیون‌ها وجود

دارد.

۵-۵- روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

برای بررسی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب، نقشه برخی یون‌های مهم نظیر سدیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها و نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها ترسیم شد. روند تغییرات یون‌های سدیم، کلر و سختی نشان می‌دهند که از تغییرات هدایت الکتریکی تبعیت می‌نماید و در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش یافته‌اند. اما تغییرات سولفات، بی‌کربنات، نسبت‌های کلر به مجموع آنیون‌ها و سدیم به مجموع کاتیون‌ها روند خاصی را نشان ندادند. همچنین با محاسبه شاخص کلرو-آلکالین در منطقه مشخص شد که تبادلی یونی مستقیم در منطقه غالب است.

۵-۶- تیپ آب‌های زیرزمینی

با توجه به نمودار استیف و پایپر تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کلروره-سدیک هستند که با توجه به این که نقاط نمونه برداری در قسمت خروجی دشت واقع شده‌اند این تیپ آبی را قابل توجیه است.

۵-۷- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب

به منظور بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب از نمودار شولر (Schoeller) استفاده شد. بر اساس نمودار نیمه لگاریتمی منطقه مورد مطالعه مشخص شد که روند منحنی غلظت یون‌ها برای تمامی نمونه‌ها کم و بیش یکسان می‌باشد که بیانگر آن است که منشأ تمامی نمونه‌ها یکسان است.

۵-۸- بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

جهت تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی از نمودار ویلکوکس (Wilcox) استفاده گردید. با توجه به نمودار ویلکوکس مشخص گردید که تمامی نمونه‌های آب منطقه در رده C4S4 قرار دارند و با توجه به این که نمونه‌ها مربوط به قسمت‌های خروجی دشت و حواشی شوره زارهای دشت کویر

هستند برای کشاورزی نامناسب می‌باشند.

۵-۹- پیشنهادهایی برای مطالعه بیشتر

به منظور بررسی‌های دقیق‌تر و جامع‌تر برای شناسایی و استفاده بهینه از آب زیرزمینی در آبخوان منطقه معلمان موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- ۱- ایجاد شبکه پیزومتری در منطقه جهت بررسی‌های دقیق‌تر کمی
- ۲- افزایش محل‌های انتخابی نمونه‌برداری برای بررسی جامع‌تر و دقیق‌تر کیفیت شیمیایی آبخوان در کل دشت
- ۳- ایجاد طرح‌های تغذیه مصنوعی به منظور استفاده از سیلاب‌های ایجاد شده در منطقه برای افزایش تغذیه در آبخوان منطقه
- ۴- انجام تعداد بیشتری آزمایش پمپاژ در دشت، به منظور شناخت جامع‌تری از مشخصات هیدروژئولوژیکی منطقه و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی T و S .

پیوست‌ها

جدول پیوست ۱- مشخصات پروفیل‌ها و سونداژهای منطقه

| پروفیل | سونداژ | x | y | z | فواصل نقاط نسبت به هم | طول پروفیل |
|--------|--------|--------|---------|------|-----------------------|------------|
| p1 | S1 | 274258 | 3902220 | 1020 | 2623 | 2623 |
| | S2 | 274991 | 3899717 | 919 | 2608 | 5231 |
| p2 | S3 | 277171 | 3903031 | 985 | 3027 | 3027 |
| | S4 | 277323 | 3900598 | 907 | 2438 | 5465 |
| p3 | S5 | 279673 | 3903522 | 976 | 3122 | 3122 |
| | S6 | 280545 | 3901025 | 888 | 2645 | 5767 |

جدول پیوست ۲- اطلاعات مربوط به مرحله رفت آزمایش پمپاژ در منطقه معلمان

| t (min) | s (m) | t (min) | s (m) |
|---------|-------|---------|-------|
| 0.5 | 8.75 | 15 | 32.34 |
| 1 | 13.8 | 20 | 32.5 |
| 2 | 21.25 | 25 | 32.5 |
| 3 | 24.42 | 30 | 31.53 |
| 4 | 25.5 | 35 | 30.95 |
| 5 | 26.5 | 40 | 30.7 |
| 6 | 25.8 | 45 | 30.7 |
| 7 | 26.28 | 50 | 30.7 |
| 8 | 27.4 | 55 | 30.7 |
| 9 | 28.15 | 60 | 30.7 |
| 10 | 29.52 | 90 | 30.7 |
| 11 | 30.58 | 120 | 30.7 |
| 12 | 31.3 | 150 | 30.7 |
| 13 | 32.19 | 180 | 30.7 |
| 14 | 32.55 | 210 | 30.7 |

جدول پیوست ۲- ادامه

| t (min) | s (m) | t (min) | s (m) |
|---------|-------|---------|--------|
| 240 | 30.7 | 570 | 569.5 |
| 270 | 30.7 | 600 | 599.5 |
| 300 | 30.7 | 630 | 629.5 |
| 330 | 30.7 | 660 | 659.5 |
| 360 | 30.7 | 690 | 689.5 |
| 390 | 30.7 | 720 | 719.5 |
| 420 | 30.7 | 750 | 749.5 |
| 450 | 30.7 | 780 | 779.5 |
| 480 | 30.7 | 1200 | 1199.5 |
| 510 | 30.7 | 1230 | 1229.5 |
| 540 | 539.5 | 1260 | 1259.5 |

جدول پیوست ۳- اطلاعات مربوط به مرحله برگشت آزمایش پمپاژ در منطقه معلمان

| t (min) | s (m) | t (min) | s (m) |
|---------|-------|---------|-------|
| 0.08 | -0.42 | 6 | 5.5 |
| 0.17 | -0.33 | 7 | 6.5 |
| 0.25 | -0.25 | 8 | 7.5 |
| 0.5 | 0 | 9 | 8.5 |
| 0.8 | 0.3 | 10 | 9.5 |
| 1 | 0.5 | 11 | 10.5 |
| 1.2 | 0.7 | 12 | 11.5 |
| 1.4 | 0.9 | 13 | 12.5 |
| 2 | 1.5 | 14 | 10.75 |
| 3 | 2.5 | 15 | 10.67 |
| 4 | 3.5 | 16 | 10.5 |
| 5 | 4.5 | 17 | 10.5 |

جدول پیوست ۳- ادامه

| t (min) | s (m) | t (min) | s (m) |
|---------|-------|---------|-------|
| 18 | 10.4 | 47 | 8.58 |
| 19 | 10.3 | 48 | 8.56 |
| 22 | 10.14 | 49 | 8.55 |
| 23 | 10.1 | 50 | 8.52 |
| 24 | 10.08 | 55 | 8.43 |
| 25 | 10.02 | 60 | 8.37 |
| 26 | 9.99 | 65 | 8.29 |
| 27 | 9.97 | 70 | 8.23 |
| 28 | 9.93 | 75 | 8.17 |
| 29 | 9.89 | 80 | 8.11 |
| 30 | 9.85 | 85 | 8.05 |
| 31 | 9.83 | 90 | 7.99 |
| 32 | 9.8 | 95 | 7.94 |
| 33 | 9.77 | 100 | 7.89 |
| 34 | 8.87 | 105 | 7.84 |
| 35 | 8.85 | 110 | 7.79 |
| 36 | 8.82 | 115 | 7.75 |
| 37 | 8.79 | 120 | 7.71 |
| 38 | 8.77 | 125 | 7.66 |
| 39 | 8.75 | 130 | 7.62 |
| 40 | 8.72 | 135 | 7.59 |
| 41 | 8.69 | 140 | 7.55 |
| 42 | 8.67 | 145 | 7.51 |
| 43 | 8.65 | 150 | 7.48 |
| 44 | 8.63 | 165 | 7.37 |
| 45 | 8.61 | 180 | 7.27 |
| 46 | 8.6 | 210 | 7.09 |

جدول پیوست ۳- ادامه

| t (min) | s (m) | t (min) | s (m) |
|----------------|--------------|----------------|--------------|
| 570 | 6.77 | 1140 | 5.34 |
| 600 | 6.69 | 1170 | 5.29 |
| 630 | 6.61 | 1200 | 5.24 |
| 660 | 6.53 | 1230 | 5.11 |
| 690 | 6.45 | 1260 | 5.05 |
| 720 | 6.37 | 1290 | 5 |
| 750 | 6.29 | 1320 | 4.93 |
| 780 | 6.21 | 1350 | 4.89 |
| 810 | 6.13 | 1380 | 4.8 |
| 840 | 5.97 | 1410 | 4.72 |
| 870 | 5.85 | 1440 | 4.63 |
| 900 | 5.79 | 1470 | 4.55 |
| 930 | 5.75 | 1500 | 4.5 |
| 960 | 5.69 | 1530 | 4.46 |
| 990 | 5.6 | 1560 | 4.43 |
| 1020 | 5.55 | 8190 | 0.35 |
| 1050 | 5.5 | 8370 | 0.3 |
| 1080 | 5.46 | 8580 | 0.23 |
| 1110 | 5.38 | | |

منابع مورد استفاده

- ابراهیمی م. ا. فتوحی ص. و کیانی س. (۱۳۹۲)، "بررسی خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت قاین در یک دوره زمانی مشخص"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان.
- ارست م. و شجاعی س. (۱۳۹۲)، "بررسی و تعیین بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت قم"، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.
- اشراقی ص. ع. (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقازاده ن. چیت‌سازان ن. و رجب‌زاده‌ساعی خ. ر. (۱۳۹۲)، "ارزیابی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه گدار چای نقده"، اولین همایش زمین‌شیمی کاربردی ایران، ص ۵۱۶-۵۱۱، دامغان.
- امیری و. نخعی م. موسایی ف. و سوری س. (۱۳۸۹)، "بررسی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت کوه‌دشت در محیط GIS"، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، تهران.
- آورند ر. علیپورتراب ش. و میرزایی ی. (۱۳۸۹)، "ارزیابی وضعیت آب‌های زیرزمینی و عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت این منابع در حوزه مطالعاتی فلاسوره"، اولین همایش مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری.
- پاپن پ. و مکوندی ا. (۱۳۸۸)، "تأثیر لیتولوژی بر بیلان آب زیرزمینی منطقه دشت چنانه استان خوزستان"، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، بهبهان.

- جوانمرد ز. اصغری مقدم ا. واعظی هیر ع. ر. و نجیب م. (۱۳۹۳)، "ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان (شرق آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی"، دومین همایش ملی بحران آب، شهرکرد.
- جعفری ف. و رضایی م. (۱۳۸۹)، "ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی دشت قوچان شیروان"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ص ۱۵۵-۱۴۵، کرمانشاه.
- حسن پور م. ع. میرحیدری ف. اصغری مقدم ا. و طهماسبی نژاد ه. (۱۳۸۸)، "ارزیابی خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان دشت شبستر و شبیه‌سازی آن با استفاده از مدل ریاضی Mood flow Visual"، دومین کنفرانس سراسری آب، بهبهان.
- حیدریان م. ح. کابلی ع. ر. و فاتح‌دیزجی ع. ر. (۱۳۹۱)، "اثرات زیست محیطی برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت ورامین"، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز.
- حیدری م. م. موسوی ر. و دباغی م. ر. (۱۳۹۰)، "بیلان آبی سفره آب زیرزمینی دشت کاشان اصفهان"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار.
- درویش پور ح. کرمی غ. ح. و فاضلی ع. (۱۳۹۰)، "بررسی هیدروژئولوژیکی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- روزی طلب م. اسفندیاری بیات م. و محمدنیا م. (۱۳۹۱)، "بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی از لحاظ شرب (مطالعه موردی: آبخوان دشت داریان فارس)"، دومین همایش ملی سلامت، محیط زیست و توسعه پایدار، بندرعباس.

- زمزم ع. رهنما م. ب. و رضایی ع. (۱۳۸۸)، "ارزیابی کمیت آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان به کمک PMWIN"، سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، تهران.
- سامانی ن. و کاظمی‌گلیان ر. (۱۳۸۱)، "هیدروژئولوژی و مدیریت آبخوان قوچان - شیروان با استفاده از مدل عددی Mood flow-2000"، مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۳۹-۴۴، کرمان.
- سلطانی ج. محمدی ا. (۱۳۹۰)، "ارزیابی کمی آب زیرزمینی دشت جیرفت"، پنجمین کنفرانس سراسری آب‌خیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان.
- سیدشکری س. صدیق ح. و دیندار ا. (۱۳۹۱)، "بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل"، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی، کرمان.
- شرکت آب منطقه‌ای سمنان، (۱۳۸۹)، "مطالعات شناسایی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کویر مرکزی"، وزارت نیرو، ۵۸۱ ص.
- شرکت آب منطقه‌ای سمنان، (۱۳۹۲)، "گزارش آزمایش پمپاژ منطقه حسینان"، وزارت نیرو، ۲۰ ص.
- شرکت آب منطقه‌ای سمنان، (۱۳۹۲)، "آماربرداری محدوده مطالعاتی کویر مرکزی".
- شیرافکن م. (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، "هیدروژئولوژی آبخوان بهاباد در استان یزد با تأکید بر عوامل مؤثر بر افت سطح ایستابی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- صداقت م. (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات

دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۸۷ص.

- صفوی ح. ر. و افشار ع. (۱۳۸۴)، "ارزیابی مجدد منابع آب زیرزمینی آبخوان لنجان در اندرکنش با زاینده رود"، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران.

- علیزاده الف. (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، جلد اول، چاپ سی و یکم، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۹۱۱ ص.

- قوشه‌ئی م. (۱۳۸۹)، "محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ص ۱۶۳-۱۵۱، کرمانشاه.

- کرمی غ. (۱۳۷۵)، "بررسی سیلاب‌ها و منابع آب زیرزمینی در منطقه بیابانی احمدآباد خارتوران"، دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زایی، ص ۳۸۰-۳۷۵، کرمان.

- کرمی غ. (۱۳۷۷)، "گزارش تحقیقاتی بررسی منابع آب زیرزمینی در منطقه بیابانی خارتوران، شاهرود"، شرکت خدمات مهندسی جهاد، ۱۷۵ص.

- کلانتریان س. ف. (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- گیتی ع. ر. مشهدی ن. خوشی ع. ا. و ترابی ع. (۱۳۷۸)، "بررسی روند شور شدن آب‌های زیرزمینی شمال دشت کاشان"، مجله بیابان، شماره ۲، دوره ۴، ص ۲۴-۱.

- مردانه م. افلاطونی م. و بوستانی ف. (۱۳۹۱)، "بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز"، مجله مهندسی منابع آب، شماره ۱۳، دوره ۵، ص ۹۶-۸۷.

- مکوندی ا. یاقوت‌نژاد ب. و تولایی م. (۱۳۸۸)، "بررسی تغییرات کمی و کیفی آب‌های موجود در محدوده رامهرمز"، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.

- مهندسین مشاور سازند آب پارس، شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان، (۱۳۸۸)، "مطالعات ژئوالکتریکی دشت سرکوبیر"، وزارت نیرو، ۵۳ ص.

- میرعباسی نجف‌آبادی ر. ساوه‌یی ع. ع. و رهنما م. ب. (۱۳۸۶) "ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی و اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان"، اولین همایش زمین‌شناسی زیست محیطی و پزشکی، کرمان.

- هداک پ. (۱۳۸۰)، "اصول هیدروژئولوژی"، جلد اول، چیت‌سازان م، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه اهواز، ۲۴۰ ص.

- یزدی م. و جبلی م. (۱۳۹۲)، "بررسی اثرات برداشت بی‌رویه و مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه آبریز یزد- اردکان)"، اولین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه‌خشک، سنندج.

- Ajdary H .K. Kazemi H .G. (2014). "Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran", **Hydrogeology Journal**, Vol 22 (2), pp469-480.

- Almedeij J., and Al-Ruwaih F. (2006). "Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas". **Journal of hydrology**, 328(3),pp. 677-684.

- Al-Shaibani A. M. (2008). "Hydrogeology and hydrochemistry of a shallow alluvial aquifer, western Saudi Arabia", **Hydrogeology journal**, 16(1), pp.155-165.

- Baghvand A., Nasrabadi T., Bidhendi G. N., Vosoogh A., Karbassi A., and Mehrdadi N. (2010). "Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert". **Desalination**, 260(1), pp. 264-275.

- Bloomfield J. P., Jackson, C. R., and Stuart M. E. (2013). "Changes in groundwater levels, temperature and quality in the UK over the 20th century: an assessment of evidence of impacts from climate change".

- Carter R. C., Morgulis E. D., Dottridge J., and Agbo J. U. (1994). "Groundwater modelling with limited data: a case study in a semi-arid dunefield of northeast Nigeria". **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 27(Supplement), S85-S94.

- Chae G. T., Kim K., Yun S. T., Kim K. H., Kim S. O., Choi B. Y., and Rhee C. W. (2004). "Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility". **Chemosphere**, 55(3), pp. 369-378.

- Chan C. H. (2001). "Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea", **Journal of Hydrology**, 253(1), pp.194-210.

- Devlin J. F., and Sophocleous M. (2005). "The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability". **Hydrogeology Journal**, 13(4), pp. 549-554.

- Freeze R. A., and Cherry J. A. (1979). *Groundwater*, Prentice Hall, England Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc, pp.604.

- Helena B., Pardo R., Vega M., Barrado E., Fernandez J M. and Fernandez L. (2000) "Temporal evolution of groundwater carbonate rock", **Internatinal Contributions to Hydrogeology**, pp 250-253.

- Hetzel F., Vaessen V., Himmelsbach T., Struckmeier W (BGR). And Villholth K. G (GEUS). (2008) "Groundwater and climate change challenges and possibilities", *Groundwater-Resources and management*.

- Hounslow A.W. (1995). **“Water quality data analysis and interpretation**. Lewis publishers, ckcpress, LLC, pp.378.
- Jamshidzadeh Z., and Mirbagheri S. A. (2011). “Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran”. **Desalination**, 270(1),pp. 23-30.
- Karami G. H., Bakhshi M., and Hosseini H. (2009). “Evaluating groundwater resources in Shahrood region”. In Proceedings of International Conference on Water Resources, Shahrood, Iran, pp. 24-32.
- Ma J. Z., Wang X. S., dan Edmunds W. M. (2005). “The characteristics of groundwater resources and their changes under the impacts of human activity in the arid Northwest China—a case study of the Shiyang River Basin”. **Journal of Arid Environments**, 61(2), pp.277-295.
- Oren O., Yechieli Y., Böhlke J. K., and Dody A. (2004). “Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, central Arava Valley, Israel”. **Journal of Hydrology**, 290(3), pp. 312-328.
- Pazand K., Hezarkhani A., Ghanbari Y., and Aghavali N. (2011). “Groundwater geochemistry in the Meshkinshahr basin of Ardabil province in Iran”. **Environmental Earth Sciences**, 65(3), pp. 871-879.
- Pazand K., and Hezarkhani A. (2012). “Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Bukan basin, Northwest of Iran”. **Applied Water Science**, 2(4), pp. 309-315.
- Scanlon B. R., Healy R. W., and Cook P. G. (2002). “Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge”. **Hydrogeology Journal**, 10(1), pp. 18-39.
- Schoeller H., (1977) “Geochemistry of groundwater. In: Groundwater studies: an international guide for research and practice”, Chap15. UNESCO, Paris, pp 1–18.

- Shahid S., and Hazarika M. K. (2010). “Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh”. **Water resources management**, 24(10),pp. 1989-2006.
- Todd D. K., and Mays L. W. (2005). “**Groundwater Hydrology**. John Wiley and sons, Inc, New York, pp.636.
- Zarei M., Sedehi F., and Raeisi E. (2014). “Hydrogeochemical characterization of major factors affecting the quality of groundwater in southern Iran, Janah Plain”. **Chemie der Erde-Geochemistry**, 74(4), pp. 671-680.

Abstract

Moalleman area is located about 120 km to the south of Damghan and at the northern edge of the central Kavir. The study area includes an unconfined aquifer that underlies the Sarkavir area. This aquifer is composed of alluvial deposits of present age. In this area there is no piezometric data and for the preparation of piezometric map of the plain, information relating to the pumping wells and qanats in the region in March 2014 was used. According to piezometric map, the direction of groundwater flow is from the northwest to the south and southeast. The highest hydraulic gradient value is about one percent and belongs to the northwestern parts (upstream area), and the lowest value is about six tenth of a percent and belongs to the southeastern parts (downstream area). The hydraulic gradient variation in the South is low, probably due to two reasons. First, because of drainage by qanats, water flow in the downstream is low. Second, the dip of the aquifer bedrock is probably decreases in the downstream part. In order to evaluate the quality of groundwater in the Moalleman area, samples were taken from 4 wells and 6 qanats in March 2014. Parameters measured at the sampling site, include electrical conductivity, pH and temperature of the water. Other parameters include sodium, potassium, calcium, magnesium, bicarbonate, chloride, and sulfate which have been measured in the laboratory. The results of electrical conductivity values show that the direction of groundwater flow and the change of the geological formations and by getting closer to the salt marsh and desert, the water quality in the southern part of the region is considerably reduced. This reduction is such that the electrical conductivity values are 3000 $\mu\text{mhos/cm}$ in the north but are higher than 6000 $\mu\text{mhos/cm}$ in the south. The predominant type of water in the aquifer is chloride-sodium.

Keywords: Moalleman, Unconfined aquifer, Damghan, Quality assesment



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
Hydrogeology and Environmental Geology Group

M. Sc. Thesis

**Study on groundwater resources in Moalleman region,
Damghan**

**By:
Fateme Tohidifar**

**Supervisor:
Dr. Gollam Hossein Karami**

February 2015