





دانشکده علوم زمین  
گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی  
پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی

## **ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه سرو، ارومیه**

ویدا انصاری

استاد راهنما:  
دکتر غلامحسین کرمی

دی ماه ۱۳۹۴

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

موباشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرما بخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

و همچنین برادران و خواهرانم، همراهان، همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم...

## تقدیر و تشکر

ضمن سپاس و تسلیش به درگاه ایزد منان که به من توانایی داد که با استعانت از او بتوانم این پژوهش را انجام دهم، بر خود لازم

می بینم از دکر می و تشویق اساتید و دوستان که در نگارش این مجموعه مرایای نمودند، قدردانی نمایم:

جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی، استاد راهنما، که در طول نگارش این مجموعه بار راهنمایی های عالمانه و بجایشان، سکندار شایسته ای در

هدایت این پایان نامه بوده اند.

در ادامه از کلیه اساتید ارجمند در طول دوره تحصیل از جمله آقایان دکتر کاظمی، دکتر جعفری، دکتر باقری، دکتر طاهری و همچنین

کارمندان محترم دانشکده خانم های فارسی و سعیدی قدردانی و تشکر می نمایم.

همچنین از مسئولین محترم شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان غربی، که در طی اجرای این تحقیق، همکاری صمیمانه ای با من

داشتند.

و در خاتمه از بهرامان زندگیم، پدر، مادر و سایر عزیزان و همچنین دوستان ارجمندم خانم های نهرابی، موسایی، زارع، دهقان، چرامین،

اشکو و خانی بندانی و دیگر دوستانی که مراد انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی و تشکر می نمایم.

ویدا انصاری

دی ماه ۱۳۹۴

## تعهد نامه

اینجانب **ویدا انصاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **آشناسی دانشکده علوم زمین** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه سرو، ارومیه** 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 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 سرو در شمال غرب ارومیه و در مجاورت مرز ایران و ترکیه قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه شامل دو دشت سرو و هورسین می‌باشد. آبخوان‌های تشکیل شده در این دشت‌ها از نوع آزاد می‌باشند که عمدتاً از گراول، شن دانه درشت تا ریز، ماسه، رس و سیلت تشکیل شده‌اند. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این دشت‌ها از اطلاعات مربوط به ۱۱ پیژومتر و ۱۳ حلقه چاه بهره‌برداری استفاده گردیده است. در دشت هورسین، بر اساس نقشه هم‌پتانسیل تهیه شده، جهت غالب جریان آب زیرزمینی از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. هم‌چنین گرادیان هیدرولیکی در این دشت از یک تا دو درصد متغیر است. در دشت سرو، بر اساس نقشه هم‌پتانسیل، جهت جریان آب زیرزمینی از شمال غرب، غرب و جنوب به سمت جنوب شرق می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی در این دشت از ۰/۶ تا ۰/۸ درصد متغیر است. بر اساس هیدروگراف واحد دشت، سطح آب زیرزمینی در دشت هورسین از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ حدود ۵/۶ متر پایین افتاده است که احتمالاً به دلیل برداشت بیش از حد از آبخوان بوده است. در دشت سرو، سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ تغییرات قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. حداکثر هدایت الکتریکی در دشت هورسین ۴۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر و حداکثر آن در دشت سرو ۸۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. سختی آب زیرزمینی در دشت هورسین از ۲۶۵ تا ۳۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و در دشت سرو از ۲۸۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم متغیر می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آبخوان آزاد، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، منطقه سرو

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- انصاری و. و کرمی غ. (۱۳۹۴)، "بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان دشت سرو در استان آذربایجان غربی" نخستین کنگره آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- انصاری و. و کرمی غ. (۱۳۹۴)، "ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان منطقه سرو، ارومیه" نخستین کنفرانس بین المللی محیط زیست و منابع طبیعی، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز.



# فهرست مطالب

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: مقدمه .....                                        | ۱  |
| ۱-۱- بیان مسئله .....                                       | ۲  |
| ۲-۱- موقعیت جغرافیایی .....                                 | ۲  |
| ۳-۱- هواشناسی منطقه .....                                   | ۴  |
| ۴-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه .....                     | ۶  |
| ۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه .....                               | ۷  |
| ۲-۴-۱- زمین شناسی ساختمانی .....                            | ۹  |
| ۵-۱- هیدروژئولوژی منطقه .....                               | ۱۰ |
| ۶-۱- هیدروژئولوژی منطقه .....                               | ۱۲ |
| فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین .....                       | ۱۵ |
| ۱-۲- هیدروژئولوژی .....                                     | ۱۶ |
| ۲-۲- هیدروژئوشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی .....           | ۱۷ |
| ۱-۲-۲- کیفیت آب در نواحی کشاورزی .....                      | ۱۸ |
| ۲-۲-۲- کیفیت آب در نواحی خشک و نیمه خشک .....               | ۱۹ |
| ۳-۲-۲- تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی ..... | ۲۱ |
| ۴-۲-۲- کیفیت آب در نواحی با پمپاژ سنگین .....               | ۲۲ |
| ۵-۲-۲- کیفیت آب در مجاورت سیستم دفن زباله .....             | ۲۳ |
| ۶-۲-۲- کیفیت آب در مجاورت فاضلاب های شهری و خانگی .....     | ۲۴ |
| ۷-۲-۲- کیفیت آب در نواحی کارستی .....                       | ۲۵ |
| فصل سوم: روش انجام کار .....                                | ۲۷ |
| ۱-۳- جمع آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی .....   | ۲۸ |

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| ۲۸ | ۲-۳- بررسی های زمین شناسی.....      |
| ۲۸ | ۳-۳- بررسی های هیدروژئولوژیکی.....  |
| ۳۰ | ۴-۳- بررسی های هیدروژئوشیمیایی..... |

#### فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه سرو..... ۳۳

|    |                                                                        |
|----|------------------------------------------------------------------------|
| ۳۴ | ۱-۴- ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه.....                     |
| ۳۴ | ۱-۱-۴- مطالعات ژئوفیزیکی منطقه.....                                    |
| ۴۱ | ۲-۱-۴- ارزیابی نقشه همپتانسیل منطقه سرو.....                           |
| ۴۴ | ۳-۱-۴- بررسی تغییرات زمانی سطح آب در منطقه مورد مطالعه.....            |
| ۴۶ | ۲-۴- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....                    |
| ۵۰ | ۱-۲-۴- بررسی نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه.....                |
| ۵۱ | ۲-۲-۴- بررسی مقادیر pH منطقه مورد مطالعه.....                          |
| ۵۳ | ۳-۲-۴- ارزیابی غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی در منطقه.....           |
| ۶۲ | ۴-۲-۴- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منطقه با استفاده از نمودارهای کیفی..... |
| ۶۸ | ۵-۲-۴- ارزیابی پارامترهای کیفی محاسبه شده در منطقه سرو.....            |
| ۷۲ | ۶-۲-۴- ارزیابی شاخص های اشباع در نمونه های آب منطقه سرو.....           |

#### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۷۵

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| ۷۶ | ۱-۵- نتیجه گیری.....                                              |
| ۷۶ | ۱-۱-۵- بررسی ضخامت آبرفت در منطقه مورد مطالعه.....                |
| ۷۶ | ۲-۱-۵- ارزیابی جهت عمده جریان آب زیرزمینی در منطقه سرو.....       |
| ۷۶ | ۳-۱-۵- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه.....                |
| ۷۷ | ۴-۱-۵- بررسی مقادیر هدایت الکتریکی در منطقه.....                  |
| ۷۷ | ۵-۱-۵- ارزیابی سایر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در منطقه سرو..... |
| ۷۹ | ۲-۵- پیشنهادها.....                                               |

#### منابع مورد استفاده..... ۸۰

## فهرست شکل؛

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۳
- شکل ۲-۱- نمودار امپروترمیک منطقه سرو برای دوره آماری ۱۲ ساله (۱۳۹۲ - ۱۳۸۰) ..... ۶
- شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱
- شکل ۱-۳- موقعیت چاه‌های پیزومتری در منطقه مطالعاتی ..... ۲۹
- شکل ۲-۳- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۷
- شکل ۱-۴- موقعیت سونداژها و پروفیل‌ها در منطقه مورد مطالعه ..... ۳۵
- شکل ۲-۴- نقشه هم‌ضخامت آبرفت منطقه مورد مطالعه ..... ۳۸
- شکل ۳-۴- نقشه هم‌مقاومت عرضی آبرفت ..... ۳۹
- شکل ۴-۴- نقشه هم‌پتانسیل منطقه سرو ..... ۴۳
- شکل ۵-۴- نمودار هیدروگراف واحد دشت هورسین ..... ۴۵
- شکل ۶-۴- نمودار هیدروگراف واحد دشت سرو ..... ۴۶
- شکل ۷-۴- نقشه هدایت الکتریکی منطقه مطالعاتی ..... ۵۲
- شکل ۸-۴- نمودار تغییرات pH در منطقه مطالعاتی ..... ۵۳
- شکل ۹-۴- نقشه تغییرات مکانی یون سدیم ..... ۵۵
- شکل ۱۰-۴- نقشه تغییرات مکانی یون کلسیم ..... ۵۶
- شکل ۱۱-۴- نقشه تغییرات مکانی یون منیزیم ..... ۵۷
- شکل ۱۲-۴- نقشه تغییرات مکانی یون سولفات ..... ۶۰
- شکل ۱۳-۴- نقشه تغییرات مکانی یون بی‌کربنات ..... ۶۰
- شکل ۱۴-۴- نقشه تغییرات مکانی یون کلر ..... ۶۱
- شکل ۱۵-۴- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین ..... ۶۴

- شکل ۴-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو..... ۶۴
- شکل ۴-۱۷- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین..... ۶۵
- شکل ۴-۱۸- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو..... ۶۶
- شکل ۴-۱۹- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین..... ۶۷
- شکل ۴-۲۰- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو..... ۶۸
- شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات سختی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی..... ۷۰
- شکل ۴-۲۲- نمودار شاخص اشباع یونی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه سرو..... ۷۳

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- آمار درجه حرارت و بارندگی در یک دوره ۱۲ ساله (۸۰-۹۲)..... ۴
- جدول ۱-۲- رده بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۹۰)..... ۵
- جدول ۴-۱- تغییر مقاومت مخصوص الکتریکی لایه‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۴۱
- جدول ۴-۲- ارتفاع سطح آب زیرزمینی پیزومترها در منطقه مورد مطالعه..... ۴۲
- جدول ۴-۳- مقادیر هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شده در چاه‌های منطقه سرو..... ۴۷
- جدول ۴-۴- مقادیر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در منطقه سرو..... ۴۸
- جدول ۴-۵- مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای نمونه‌های آب در چاه‌های منطقه مطالعاتی..... ۴۹
- جدول ۴-۶- شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه سرو..... ۷۳



## فصل اول:

### مقدمه

## ۱-۱- بیان مسئله

در بحث تأمین منابع آب شرب دو پارامتر کمیت و کیفیت آب با یکدیگر مورد توجه می‌باشند. در زمانهای گذشته به دلیل کم بودن تعداد جمعیت، آلودگی منابع آب اهمیت چندانی نداشت و از منابع موجود به راحتی و بدون نگرانی از مسائل آلودگی استفاده می‌شده است. اما امروزه با ازدیاد جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا برای استفاده از آب سالم برای شرب و سایر مصرف‌ها، منابع آب تحت تأثیر آلودگی‌ها قرار گرفته‌اند. روز به روز که بر تعداد جمعیت افزوده می‌شود مصرف آب زیادتر می‌شود. در حالی که مقدار آب کره زمین ثابت است. در نتیجه هر چه زمان می‌گذرد، نیاز و وابستگی انسان به آب بیشتر می‌شود که آب‌های زیرزمینی در بین سایر منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای جهت مصرف شرب، کشاورزی و صنعت برخوردار می‌باشد. با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفیت آنها ضروری است.

منطقه سرو - هورسین در شمال غرب شهرستان ارومیه واقع شده است و مهم‌ترین منبع تأمین آب برای مصارف مختلف (به‌ویژه کشاورزی) از آب‌های زیرزمینی این منطقه می‌باشد. از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای بر روی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه صورت نگرفته است، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی آبخوان منطقه می‌باشد.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی

محدوده مطالعاتی سرو - هورسین در غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در مجاورت مرز ایران و ترکیه قرار گرفته است. این محدوده از شمال به شهرستان سلماس، از غرب منطبق بر مرز ایران و ترکیه، از جنوب به محدوده سیلوانا - زیوه و از شرق به شهرستان ارومیه محدود می‌گردد. وسعت محدوده مورد مطالعه حدود ۲۱۶ کیلومتر مربع بوده و بین طول‌های ۴۴ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۸ درجه شمالی واقع شده است.

محدوده مورد مطالعه، شامل دشتهای سرو و هورسین می‌باشد. حداکثر، حداقل و متوسط ارتفاع دشت سرو به ترتیب ۱۹۰۰، ۱۷۳۰ و ۱۷۷۰ متر می‌باشد. بیشترین ارتفاع محدوده مطالعاتی سرو ۲۹۲۰ متر (کوه میدان) و حداقل آن ۱۴۸۰ متر در محل خروج نازلوچای از محدوده سرو و ورود به محدوده ارومیه در نزدیکی روستای تپیک است.



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

## ۳-۱- هواشناسی منطقه

با استفاده از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در نقاط مختلف منطقه، وضعیت آب و هوا و اقلیم منطقه مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۱-۱) نشان‌دهنده متوسط درجه حرارت و بارندگی ماهانه در یک دوره ۱۲ ساله در منطقه می‌باشد.

جدول ۱-۱- آمار درجه حرارت و بارندگی در یک دوره ۱۲ ساله (۸۰-۹۲)  
(شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی)

| زمان<br>(ماه)  | میانگین درجه حرارت ماهانه<br>(درجه سانتی‌گراد) | میانگین بارندگی ماهانه<br>(میلی‌متر) |
|----------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| مهر            | ۱۲/۹                                           | ۱۳/۲                                 |
| آبان           | ۵/۵                                            | ۶۱/۹                                 |
| آذر            | -۰/۳                                           | ۲۴/۴                                 |
| دی             | -۰/۲                                           | ۱۹/۷                                 |
| بهمن           | ۱/۰۶                                           | ۳۴/۲                                 |
| اسفند          | ۶/۵                                            | ۵۲/۷                                 |
| فروردین        | ۱۱/۵                                           | ۵۷/۳                                 |
| اردیبهشت       | ۱۶                                             | ۵۹/۴                                 |
| خرداد          | ۲۱/۲                                           | ۲۶/۵                                 |
| تیر            | ۲۴                                             | ۱۱/۵                                 |
| مرداد          | ۲۳/۵                                           | ۴/۴                                  |
| شهریور         | ۱۹                                             | ۱۱/۶                                 |
| میانگین سالانه | ۱۱/۷                                           | ۳۷۷/۳                                |

بر اساس دوره آماری ۱۲ ساله (۱۳۸۰ - ۱۳۹۲)، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد و بیشینه دما در تیر ماه و کمینه دما در آذر ماه می‌باشد. حداقل و حداکثر دمای مطلق در ایستگاه هواشناسی مرز سرو به ترتیب -۰/۳ درجه و ۲۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. همچنین متوسط بارندگی سالیانه ۳۷۷/۳ میلی‌متر و بیشترین و کمترین مقدار بارندگی به ترتیب در آبان و مرداد ماه می‌باشد. متوسط تعداد روزهای یخبندان در این حوضه،

۱۴۰ روز معادل چهار ماه و نیم سال بوده، به طوری که از آبان تا اواخر اسفند یخبندان وجود دارد و از اواسط فروردین تا اواخر مهر دوره بدون یخبندان می‌باشد. تغییرات رطوبت نسبی از حداقل ۵۰ درصد در شهریور ماه تا ۸۰ درصد در بهمن ماه است. جهت تعیین اقلیم منطقه از ضریب دمارتن<sup>۱</sup> و نمودار امبروترمیک استفاده شده است که نتایج آن در زیر ارائه شده است. برای تعیین اقلیم منطقه، دمارتن با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه معادله (۱-۱) را پیشنهاد کرده است:

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

ضریب  $I$  متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و  $T$  متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، خشکی می‌باشد. با محاسبه ضریب خشکی و مراجعه به جدول (۲-۱) نوع اقلیم منطقه تعیین می‌شود. در دشت سرو ضریب خشکی برابر با ۱۷/۴ بدست می‌آید که با توجه به جدول (۲-۱) اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک می‌باشد.

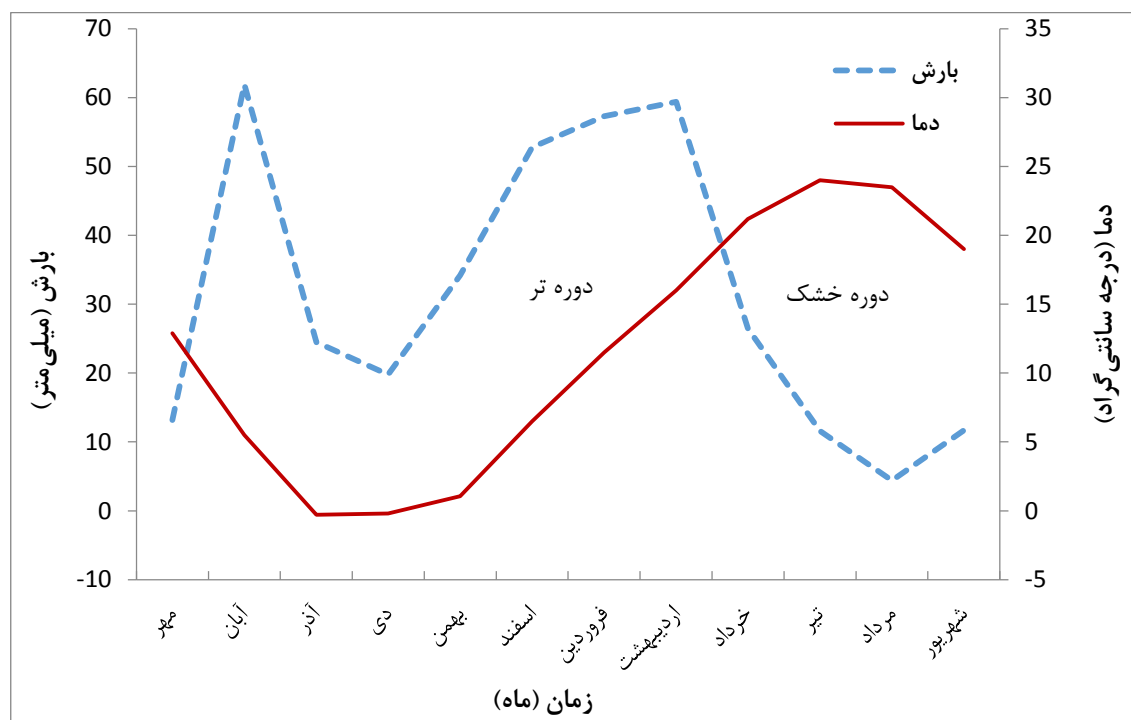
جدول ۲-۱- رده بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۹۰)

| نام اقلیم   | محدوده ضریب خشکی دمارتن |
|-------------|-------------------------|
| خشک         | کوچتر از ۱۰             |
| نیمه‌خشک    | ۱۰ - ۱۹/۹               |
| مدیترانه‌ای | ۲۰ - ۲۳/۹               |
| نیمه‌مرطوب  | ۲۴ - ۲۷/۹               |
| مرطوب       | ۲۸ - ۳۴/۹               |
| بسیار مرطوب | 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 منحنی بارش در دوره زمانی اواسط مهر تا اواخر اردیبهشت ماه بالاتر از منحنی دما قرار گرفته است و این مطلب بیانگر یک

<sup>1</sup> De Martonne

دوره تر نسبتاً طولانی در منطقه می‌باشد. دوره خشک منطقه از اوایل خرداد ماه شروع شده و تا اواسط مهر ماه ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۲-۱- نمودار امپروترمیک منطقه سرو برای دوره آماری ۱۲ ساله (۱۳۸۰ - ۱۳۹۲)

#### ۴-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه سرو، بخشی از زون سنندج - سیرجان است. بر اساس تقسیم‌بندی علوی نائینی (۱۹۷۲) این منطقه محل برخورد دو زون ساختاری ایران مرکزی و سنندج - سیرجان می‌باشد. بر اساس تحریرات نبوی (۱۳۵۵) این منطقه در زون خوی - مهاباد قرار دارد و دارای اختصاصات لیتولوژیکی زون‌های ساختمانی ایران مرکزی، سنندج - سیرجان و البرز آذربایجان است. در این بخش چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه به طور مختصر ارائه خواهد شد.

## ۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه

شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی، در محدوده‌ی مورد مطالعه واحدهای سنگی گوناگونی از مزوزوئیک تا عصر حاضر رخمون دارند که به اختصار معرفی می‌شوند:

## الف - واحدهای سنگی مزوزوئیک

از مجموعه‌های مزوزوئیک، آمیزه‌های رنگی افیولیتی<sup>۱</sup> به طور عمده در سه محدوده از ورقه سرو برونزد دارد که عبارتند از: نوار آمیزه رنگین شمال سرو، تراشه افیولیتی شمال شرق گنگچین، منتهی‌الیه جنوب غرب منطقه مورد مطالعه.

آمیزه‌های یاد شده دارای خمیره سرپانتینی هستند که مجموعه‌ای از قطعات گابرویی، گدازه‌های بالشی، آهک‌های پلاژیک، رادیولاریت و هم‌ارزهای دگرگونه آنها، در آن خمیره، به صورت بلوک‌های بی‌ریشه، شناورند. سطوح تماس همه یا اجزاء آمیزه رنگین با هم و سطوح تماس زون آمیزه رنگین با واحدهای دیگر گسلیده‌اند. در حقیقت، این آمیزه‌ها را می‌توان تراشه‌های تکتونیکی یک مجموعه افیولیتی بزرگتر به شمار آورد.

جایگزینی تکتونیکی این واحد، بی‌تردید، در زمان پس از کرتاسه زیرین و پیش از ائوسن زیرین روی داده است، زیرا کنگلومراهای قاعده ائوسن زیرین، سرشار از قطعات این آمیزه‌اند. پیدایش این آمیزه رنگین، بر اثر حرکتهای دیاپیریک سرپانتینیت (هارزبورژیت‌های گوشته‌ای دگرگون شده)، پدیدار شده است، که این موضوع منجر به ایجاد وضعیت و ساخت امروزی منطقه شده است.

## ب - مجموعه ترشیر

مجموعه سنگهایی که در این گروه قرار می‌گیرند شامل واحدهای سنگی مربوط به پالئوسن، ائوسن و پلیوسن می‌باشند.

<sup>1</sup> Coloured mélange

**- واحد سنگی پالتوسن**

واحد  $E_1$  در درون واحد  $E_C$  قرار گرفته و در بسیاری موارد به طور جانبی به واحد  $E_C$  تبدیل می‌شود و به طور عمده از آهک نومولیت‌دار تشکیل شده است و این مجموعه به پالتوسن تا ائوسن پایینی نسبت داده می‌شود. واحد  $E_{sm}$  به طور عمده از ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا، شیل به رنگ‌های سبز زیتونی، خاکستری تشکیل شده و بر روی واحدهای  $E_C$  و  $E_1$  رسوب نموده و گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد.

**- واحد سنگی ائوسن**

واحد کنگلومرای ائوسن در بخش میانی منطقه، از سرو تا کوه بلندوک گسترش دارد. واحد مذکور به طور عمده از کنگلومرا، میکروکنگلومرا و ماسه‌سنگ درشت دانه، تشکیل شده است و ضخامت آن در برخی موارد به ۱۰۰۰ متر می‌رسد. این واحد بیشتر از قطعات آواری پیکره‌های سنگی کهن‌تر تشکیل شده است. در این میان، قله‌های گرانیتی، میلونیت‌های گرانیتی، میلونیت‌های بازیک، مرمرهای قدیمی، ماسه‌سنگ‌های لالون و قطعات گابروئی، فراوان است. اندازه قطعات گاهی به نیم متر می‌رسد. در میان قطعات این کنگلومرا، آهک‌های کرتاسه بالائی و آهک‌های کرتاسه پایینی دیده می‌شود.

**- واحد سنگی پلیوسن**

واحد  $Ng^c$ ، هم‌ارز کنگلومرای بختیاری است که به طور عمده، از کنگلومرائی تشکیل شده که در مناطق کوهپایه‌ای و فروافتادگی‌های ساختاری، تجمع یافته‌اند. درجه جورشدگی این کنگلومراها و سخت‌شدگی و سیمانی‌شدن آنها بسیار ضعیف است. سن این واحد به احتمال بسیار قوی، پلیوسن بالائی تا پلیوستوسن پائینی است.

**ج- مجموعه کواترنر**

مجموعه سنگی کواترنر شامل دو گروه آذرین و رسوبی می‌باشند که به اختصار معرفی می‌شوند:

- واحد  $Q^v$ 

این واحد از آگلومرا، برش، بمب‌های آتشفشانی، گدازه‌های ورقی، گدازه‌های منشوری، گدازه‌های فرشی و گدازه‌های طنابی<sup>۱</sup> تشکیل شده است. گدازه‌ها و آذرآواری‌های این واحد دارای ترکیباتی از اولیوین بازالت، پیروکسن بازالت، تراکی بازالت و آندزیت بازالت هستند.

- واحدهای  $Q^{al}$ ,  $Qt_2$ ,  $Qt_1$ 

رسوبات واحد  $Qt_1$ ، به طور فراگیر و به صورت پادگانه‌ها، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی، گودی‌های منطقه را پر کرده و بیشتر سست و بی‌سیمان بوده و به صورت افقی و گاهی با ضخامت قابل ملاحظه در فرونشست‌های بین کوهستانی تجمع یافته‌اند. این رسوبات کمتر چین‌خورده و فقط در کوهپایه‌ها و نزدیک زون‌های گسلی فعال، مانند گسل هشتیان اندکی از حالت افقی بیرون شده‌اند.

رسوبات  $Qt_2$  به طور عمده از فرسایش  $Qt_1$  و سایر رسوبات و سنگ‌های کهن تشکیل یافته و سطح دشت‌ها و پادگانه‌های جوانتر را پوشانده‌اند.

رسوبات  $Q^{al}$  جوان‌ترین رسوبات کواترنراند و به طور عمده رسوبات بستر رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند که بیشترشان از جنس شن و ماسه سخت نشده‌اند.

## ۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

محدوده مورد مطالعه در مزوزوئیک و احتمالاً تریاس، دچار بازشدگی شده و افیولیت‌هایی ایجاد شده‌اند که همراه با گسل فشارشی، با راستای شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند. عملکرد گسل مذکور، حدود ۲ تا ۳ کیلومتری شرق روستای گلاکانی و در شمال غرب منطقه مورد مطالعه، در جنوب غربی روستای برده‌زی قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد، در این مرحله یک ناپیوستگی اصلی دیگر، به صورت گسل امتداد لغز با راستای شمال غرب - جنوب شرق عمل

---

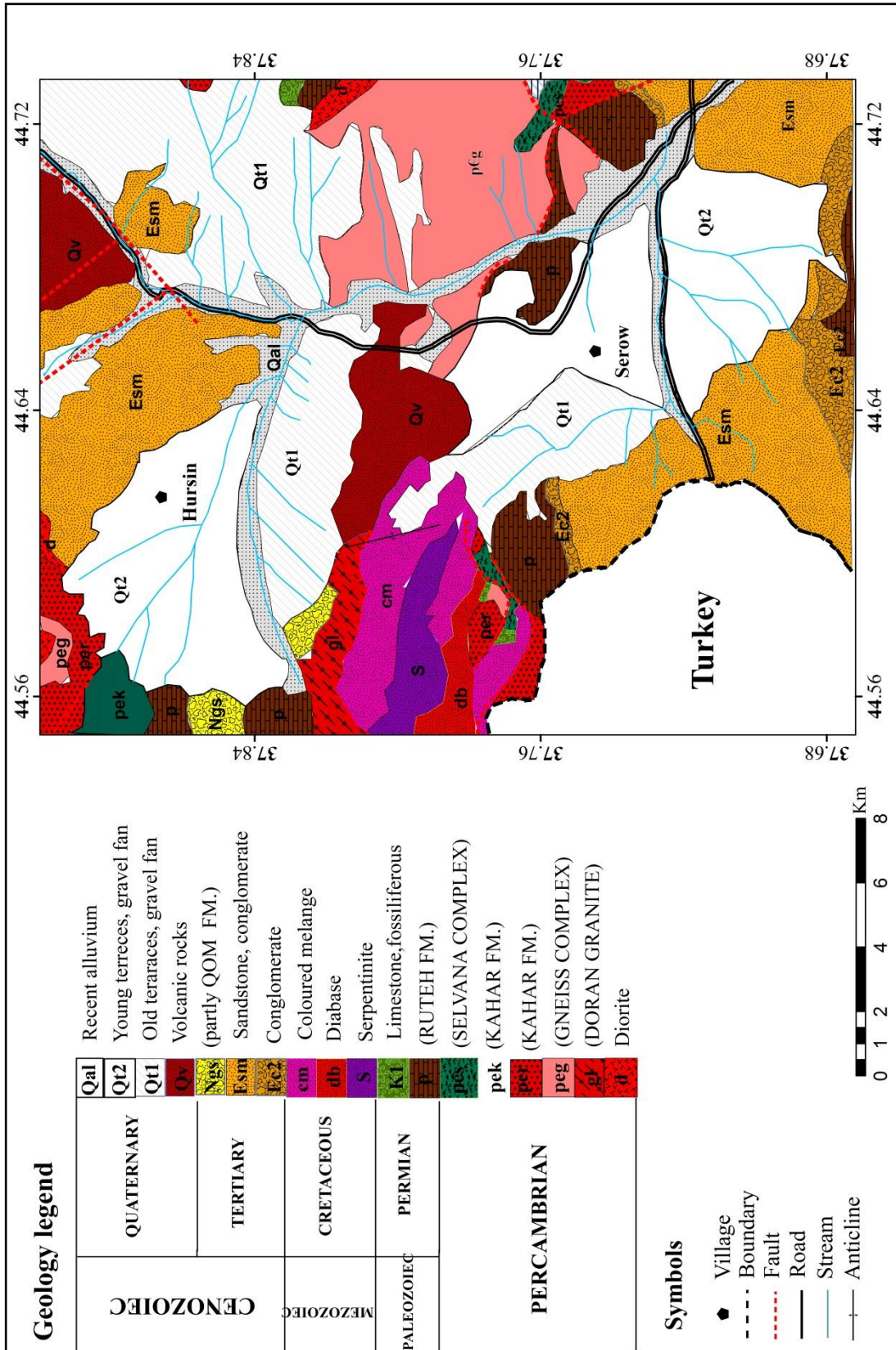
<sup>1</sup> Ropy Lava

نموده است. گسل مذکور، باعث جابجائی سازندهای شمال شرقی و شمال غربی نسبت به یکدیگر شده است.

## ۱-۵- هیدرولوژی منطقه

منابع تأمین آبهای سطحی منطقه سرو، سرشاخه‌های رودخانه نازلوچای (قصریک و گنبدچای) می‌باشد که شاخه اصلی آن از شمال به جنوب جریان دارد و از ارتفاعات شمالی و شمال غربی محدوده مطالعاتی سرو سرچشمه می‌گیرد و پس از گذشتن از دشت سرو در محلی به نام گندک‌ملا با شاخه دیگری که از کشور ترکیه و در محل روستای سرو وارد ایران شده و از غرب به شرق در دشت سرو جریان یافته، می‌پیوندد و رودخانه نازلو را تشکیل می‌دهند. رودخانه نازلو در محل روستای تپیک به محدوده مطالعاتی ارومیه وارد شده و در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد. به دلیل بدون تغییر بودن رژیم هیدرولوژیکی منطقه، با گرم شدن هوا، میزان جریانهای سطحی افزایش می‌یابد که بیشترین این مقدار، در ماه دوم از فصل بهار یعنی اردیبهشت ماه می‌باشد و پس از آن میزان آبهای سطحی رو به کاهش گذاشته و در اوایل پائیز و تا قبل از بارندگیهای سالیانه منطقه، این کاهش ادامه می‌یابد.

آبخوان دشت سرو، به صورت یک ناودیس با امتداد شمالی - جنوبی که توسط رسوبات حاصل از فرسایش و رسوبات سیلابی و آبرفتی پوشیده شده، شکل گرفته است. دشت سرو از سمت شمال منتهی به تپه‌های کم‌ارتفاع دشت هورسین می‌باشد و از سمت غرب به ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه، کوههای کتول داغی - کوه بایدوست محدود می‌گردد که محل عبور مسیله‌ها و رودخانه سرو بوده که پس از عبور از حد واسط گنگچین و کورانه به رودخانه زیریک‌چای می‌پیوندد. ارتفاعات شرقی این دشت منتهی به کوه چهارشنبه، مشرف به محدوده سرو می‌باشد که از نظر تغذیه آبخوان دشت، فاقد اهمیت می‌باشد. این دشت از سمت جنوب، مشرف به ارتفاعات کوه قوچ می‌باشد که محل عبور مسیله‌های موجود بوده و پس از عبور از قسمتی از دشت و تغذیه آبخوان زیرزمینی به رودخانه سرو پیوسته و از طریق آن از دشت خارج می‌شود.



شکل ۱-۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ (سرو)

## ۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه

دشت سرو، با مساحت ۶۰ کیلومتر مربع و با تعداد ۷ حلقه چاه پیزومتر، تحت پوشش شبکه پیزومتری به مساحت ۵۶ کیلومترمربع و دشت هورسین با مساحت ۲۵ کیلومترمربع و با تعداد ۴ حلقه چاه پیزومتر، تحت پوشش شبکه پیزومتری به مساحت ۲۵ کیلومترمربع می باشد.

جنس سازندهای حاشیه دشت، در ارتفاعات غربی، شمال غربی و جنوبی، از نوع ماسه سنگ، سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی و کنگلومرا است که از نظر تغذیه سفره، حائز اهمیت می باشند. به طوری که نزولات جوی عمدتاً از طریق آبراهه های سطحی واقع در ارتفاعات مذکور و درز و شکافها و مخروط افکنه های موجود در منطقه، به زمین نفوذ نموده و در اعماق زمین به آبهای زیرزمینی رسیده و آن را تغذیه می کنند. مازاد نزولات فوق به صورت جریانات سطحی، از طریق آبراهه ها، مسیل ها و رودخانه سرو، از محدوده خارج شده و به رودخانه نازلوچای می پیوندند. جنس سازندهای شمالی دشت، بیشتر از نوع ولکانیکی شامل بازالت، آندزیت، ریولیت و در گوشه شمال غربی از نوع آمیزه رنگین می باشد. به علت رسوب گذاری خاص ناشی از جریان سیلابی در منطقه، جنس لایه های تشکیل دهنده آبخوان، بیشتر از نوع گراول، شن دانه درشت تا ریز، ماسه، رس و سیلت می باشد. متوسط عمق سطح آب زیرزمینی دشت سرو، در قسمتهای ورودی دشت ۲۰ متر، در میانه دشت ۹ متر و در خروجی های آن یک متر می باشد. میانگین عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۹۱-۹۲ برابر ۶/۷۶ متر برآورد شده است. دشتهای سرو و هورسین، دارای یک سفره آزاد است که در مجموع ۲۵۶ حلقه چاه (عمیق و نیمه عمیق) بهره برداری در آن حفر شده است، این محدوده مطالعاتی دارای ۲۷ دهنه چشمه و فاقد قنات است.

با توجه به اطلاعات حاصل از حفاری چاه های بهره برداری و اکتشافی دشت سرو، ضخامت لایه های آبرفتی را در بخش های شمالی و جنوبی حداکثر تا ۷۰ متر و در مخروط افکنه بخش میانی دشت حداکثر تا ۱۰۰ متر، می توان برآورد نمود. در قسمت خروجی دشت، این ضخامت حدود ۵۰ متر یا کمتر می باشد. با توجه به اطلاعات حاصل از زمین شناسی و مطالعات حفاری

چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری، جنس سنگ کف آبخوان دشت سرو از نوع ماسه‌سنگ می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که سفره آب زیرزمینی این دشت از نوع آزاد است.



## فصل دوم:

### مروری بر تحقیقات پیشین

## ۲-۱- هیدروژئولوژی

مسأله کمبود آب برای کشورهای چونی ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می باشد از دیرباز وجود داشته است، لذا دسترسی به منابع آب جهت شرب، کشاورزی و صنعت از نظر کیفی و کمی حائز اهمیت می باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، متوسط بارندگی سالانه کشور حدود ۲۲۴ میلی متر است که کمتر از یک سوم باران سالانه جهان می باشد. در نتیجه بهره برداری از آب های زیرزمینی به عنوان یک منبع قابل اطمینان که در تمام طول سال می توان از آن استفاده کرد و در مقابل بارندگی کوتاه مدت کمتر تحت تأثیر می باشند، مورد توجه قرار گرفته است (سیادت ۱۳۷۹). علاوه بر عوامل طبیعی همچون بارندگی، عوامل غیرطبیعی از جمله احداث سد در بالادست سفره، احداث طرح های تغذیه مصنوعی، برداشت بی رویه، کاهش تخلیه آب زیرزمینی و افزایش تغذیه، ورود فاضلابها، آب های ناشی از آبیاری زمین های کشاورزی و غیره بر روی تغییرات تراز آب زیرزمینی تأثیر داشته است (بساک و همکاران ۱۳۸۹).

دشت شهرکرد که کشاورزی در آن گسترش قابل توجهی دارد، در سال های اخیر با کاهش بارندگی و به ویژه پمپاژ بی رویه دچار مقداری افت سطح ایستابی شده است. از عواقب برداشت بیش از حد از آب های زیرزمینی، می توان به افت مداوم سطح آب زیرزمینی، تخریب کیفیت آب زیرزمینی، افزایش هزینه استخراج آب و صدمه به اکولوژی منطقه را نام برد. با بررسی هایی که توسط کرمی و همکاران (۱۳۸۹) در دشت شهرکرد صورت گرفته، مشخص شد که سطح آب زیرزمینی در اثر عوامل مختلف به خصوص برداشت بیش از آبدی مجاز دشت در حال کاهش است. بیشترین مقدار افت مربوط به ناحیه مرکزی دشت و کمترین مقدار در اطراف دشت می باشد.

دشت جوین در خراسان رضوی دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد و متوسط دمای آن در یک دوره ۳۰ ساله حدود ۱۶/۷ درجه سانتی گراد و متوسط بارندگی در دشت ۲۱۸ میلی متر است. در این دشت به دلیل وجود تعداد زیادی چاه های عمیق و نیمه عمیق و عدم انجام به موقع تغذیه آبخوان و همچنین وقوع خشکسالی های اخیر در این مناطق، سطح ایستابی

بسیاری از چاه‌های عمیق در طی چندین سال اخیر افت چشمگیری داشته است. بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان استفاده از آن را برای مصارف کشاورزی و شرب دشوار کرده است. در اکثر قسمت‌های شرق و غرب آبخوان در مقابل عامل افت به دلیل کم بودن ضخامت آبخوان این مناطق از حساسیت بالایی برخوردار هستند (روشن و همکاران ۱۳۹۱).

مطالعاتی که توسط کلانتری و همکاران (۱۳۹۲) در دشت قم انجام گرفت، نشان داد که آبخوان مورد مطالعه در کل منطقه از نوع آزاد می‌باشد. جهت جریان آب زیرزمینی به دلیل شکل ویژه آبخوان و به دلیل وجود ارتفاعات تاقدیسی سازند قم (تاقدیس سراج) در یک مسیر از نواحی شمال غرب دشت به سمت شرق و در مسیر دیگر به سمت جنوب و جنوب شرق هدایت می‌شود. با توجه به نتایج آزمون پمپاژ چاههای منطقه، بیشترین مقدار ضریب نفوذپذیری در موقعیت شهر قم و کمترین مقدار آن در انتهای جنوبی دشت محاسبه شده است.

## ۲-۲- هیدروژئوشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی

با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند در اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفیت آنها ضروری است. مناسب بودن آب برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت با توجه به کیفیت آب تعیین می‌شوند. کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین‌شناسی و غیره تغییر می‌کند. آب زیرزمینی در مناطقی که دارای آب و هوای مرطوب، خاک درشت و سطح آب زیرزمینی کم‌عمق هستند، به شدت تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرد. همچنین آب زیرزمینی در مناطق شهری آلوده تحت تأثیر ورود فلزات سنگین، عناصر کمیاب و مواد آلی با مقادیر متغیر قرار می‌گیرد که همه آنها بر روی منابع آب و خاک تأثیرگذار هستند (Navarro and Carbonel 2006). در زیر پاره‌ای از عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی و کیفیت آب زیرزمینی ذکر می‌شود.

## ۲-۱-۲- کیفیت آب در نواحی کشاورزی

افزایش نیتрат ناشی از فعالیتهای کشاورزی در آبهای زیرزمینی یک مشکل عمده در سراسر جهان محسوب می‌شود. الگوهای استفاده زمین کشاورزی وابسته به شرایط زمین‌شناسی و آب و هوا دارد. شسته شدن نیترات یک مسئله رایج و شایع در بیشتر مناطق کشاورزی آبیاری شده در جهان، به ویژه در جایی که محصولات با نیاز به مقدار آب و نیتروژن زیاد تمایل به افزایش خطر بالقوه آلودگی نیترات آبهای زیرزمینی دارد. استاندارد غلظت نیترات ( $\text{NO}_3$ ) برای آب شرب دارای حد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA<sup>۱</sup>) ارائه شده است.

نوعی دیگر از آلودگی که توسط فعالیتهای کشاورزی ایجاد می‌شود، آفت‌کش‌هاست که در طولانی‌مدت مسئله‌ای مهم‌تر است. مطالعه حوضه‌های آبرفتی عمیق آبهای زیرزمینی کالیفرنیا، نشان می‌دهد که مدت زمان انتقال مواد شیمیایی از سطح زمین به سطح آب زیرزمینی طولانی بوده و ممکن است دهها سال طول بکشد (Cohen 1986).

منطقه رودخانه زرد<sup>۲</sup> در کشور چین نقش مهمی را در تولید مواد غذایی در این کشور ایفا می‌کند. در این منطقه، سطح آب زیرزمینی همیشه سطحی یا کم‌عمق است، از یک تا ۱۰ متر متغیر است که این به دلیل تغذیه مؤثر از آبیاری سطح می‌باشد. به دلیل فعالیتهای کشاورزی عمده در این منطقه مقدار آلودگی آبهای زیرزمینی توسط نیترات افزایش یافته است. بر طبق گزارش‌های حاصله از ژانگ و همکاران (Zhang et al. 1996) بیش از نیمی از ۶۹ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری‌شده در شمال چین دارای نیترات بیش از حد استاندارد برای شرب، و بالاترین نیترات دارای غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که این نشان‌دهنده یک وضعیت جدی از آلودگی نیترات در آب زیرزمینی است.

ترکیب آب زیرزمینی سطحی در نهشته‌های آبرفتی ماندگو<sup>۳</sup> در کشور پرتقال توسط فرایندهای طبیعی و هم‌چنین فرایندهای انسانی که تا حد زیادی در ارتباط با فعالیتهای کشاورزی

<sup>۱</sup> United States Environmental Protection Agency

<sup>۲</sup> Yellow River

<sup>۳</sup> Mondego

می‌باشند، کنترل می‌شوند. در این مطالعه که توسط آندراد و همکاران (Andrade *et al.* 2011) انجام پذیرفته، فرایندهای اصلی به وجود آمده، آلودگی نیترات می‌باشد، از سوی دیگر تغذیه آب زیرزمینی از آبیاری آبهای سطحی و تبخیر و تعرق فرایندهای افزایش یافته آلودگی هستند. تجزیه و تحلیل مدل خوشه‌ای و نتایج مدل، مناطق اصلی تحت تأثیر آلودگی نیترات را در مرکز و شرق ماندگو تحت کشت گیاه و محصولات ذرت، در رسوبات دانه درشت با سطح آب زیرزمینی پایین عنوان کردند.

بونتون و همکاران (Bonton *et al.* 2010) کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات آن را در یک منطقه‌ی کشاورزی در کشور کانادا و تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی را بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب منطقه، مانند یونهای اصلی، pH، هدایت الکتریکی و نیترات را ارزیابی کردند. در منطقه مورد مطالعه ۴۰ درصد نمونه‌ها مقدار نیترات بالای حد مجاز داشته‌اند و از هدایت الکتریکی به عنوان یک شاهد برای حضور نیترات و یونهای کلسیم و کلر استفاده کردند. هم‌چنین از همبستگی نیترات، کلسیم و کلر به این نتیجه رسیدند که این یونها دارای منبع یکسانی که کود شیمیایی است می‌باشند.

## ۲-۲-۲- کیفیت آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک

آبخوان دشت زنجان در حوضه آبرگیر رودخانه سفیدرود در استان زنجان قرار گرفته است که مهمترین منابع آب موجود در این دشت را آبهای زیرزمینی تشکیل می‌دهد و بخش عمده آن به مصارف کشاورزی می‌رسد. بنابراین، مطالعه خصوصیات آب زیرزمینی و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر سفره برای مدیریت بهتر آب زیرزمینی مهم می‌باشد. مطالعات هیدروژئوشیمی صورت گرفته در این منطقه توسط شریفی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که منابع آب زیرزمینی در دشت از لحاظ شرب در رده خوب قرار دارد، هم‌چنین از لحاظ حداکثر کیفیت آب شرب می‌تواند در رده قابل قبول تا نامناسب قرار گیرد.

آبخوان زاهدان در شمال حوضه آبرگیر زاهدان که یک ناحیه خشک می‌باشد، قرار گرفته است. بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی این آبخوان به دلیل تأمین بخشی از آب شرب، کشاورزی و

صنعتی این شهر ضروری است. به منظور اجرای برنامه پایش منابع آب زیرزمینی و بررسی فرایندهای کنترل کننده و تعیین منشاء کاتیون ها و آنیون های آب زیرزمینی این آبخوان، از ۲۶ حلقه چاه بهره برداری نمونه برداری شد. تجزیه و تحلیل نمونه های آب زیرزمینی در آبخوان زاهدان نشان می دهد که کاتیون و آنیون غالب به ترتیب  $Na^+$ ،  $Cl^-$  و  $SO_4^{2-}$  بوده و تیپ آب زیرزمینی در جهت جریان آب زیرزمینی از بی کربناته سدیک به سولفاته سدیک و در نهایت به کلرور سدیک تغییر می کند (حافظی مقدس و همکاران ۱۳۹۳).

حوضه آبگیر آندراکس<sup>۱</sup> یکی از مناطق بسیار خشک در اروپا، جنوب شرقی اسپانیا (آلمریا) می باشد که مقدار بارش در این منطقه کم، حدود ۳۵۰ - ۲۰۰ میلی متر بر سال و به صورت نامنظم می باشد. به طوری که حدود ۷۰ درصد بارش ها در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد. این منطقه به شدت در معرض فعالیت تکتونیکی سانزدی گالدینو<sup>۲</sup> قرار گرفته است که فعالیت ژئوترمال را تسهیل می کند. مطالعاتی که مارتوس و همکاران (Martos et al. 1999) بر روی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی انجام دادند، نشان داد که بر اساس شیمی یون اصلی و به ویژه روی مقادیر برم و لیتیم، این دو یون در غلظت های بالایی در منطقه حضور دارند که این بیانگر آن است که رسوبات نمک دار در منطقه در ارتباط با نهشته های گچ دار و فعالیت های حرارتی می باشند.

آبخوان زئوس - کوتین<sup>۳</sup> در جنوب شرقی تونس که یک منطقه خشک و نیمه خشک با متوسط بارش سالانه ۲۳۰ - ۱۰۰ میلی متر و نرخ تبخیر بین ۱۶۰۰ - ۱۳۰۰ میلی متر بر سال است، واقع شده است. در این منطقه آب های سطحی خیلی کمیاب است یا وجود ندارد و برای تأمین مصارف مختلف خود از آب زیرزمینی با کیفیت متغیر استفاده می شود. مطالعاتی که توسط هامزویی و همکاران (Hamzaoui et al. 2010) در این زمینه صورت گرفته، نشان داد که ترکیبات هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی به طور عمده توسط الگوی جریان آب زیرزمینی کنترل شده است که از توپوگرافی منطقه مطالعاتی تبعیت می کند. به طور کلی یک افزایش قابل

<sup>1</sup> Andrax

<sup>2</sup> Sanzde Galdeano

<sup>3</sup> Zeuss - koutine

توجهی در درجه کانی شدن آب در جهت جریان آب مشاهده شده است ( جنوب غرب به شمال شرق).

### ۲-۲-۳- تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی

بهاروند و همکاران (۱۳۸۶) نقش سازندهای مختلف زمین شناسی بر کیفیت آبهای زیرزمینی شمال خرم آباد را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج شیمیایی نمونه های آب گرفته شده از مخزن کارستی بنگستان، آب این مخزن از نظر شرب جزء آبهای خوب محسوب می شود و از نظر کیفی نسبت به مخزن کارستی آسماری از وضعیت بسیار مطلوبی برخوردار می باشد. از این رو سازند تبخیری گروه فارس به عنوان یک سازند تخریب کننده کیفیت منابع آبهای زیرزمینی منطقه به حساب می آید.

بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در دهدشت غربی مهمترین منبع آبی جهت مصرف کشاورزی محسوب می شود. عوامل متعددی در کیفیت و کمیت منابع آب این آبخوان تأثیر منفی داشته اند که از آن جمله می توان موقعیت جغرافیایی، ویژگیهای توپوگرافی و واقع شدن دشت در قسمت سرشاخه آبراهه ها و گسترش سازندهای زمین شناسی ناتروا در این بخش و همچنین تأثیر این تشکیلات بر روی منابع آب زیرزمینی را نام برد. از بین عوامل فوق بیشترین تأثیر را تشکیلات زمین شناسی بر روی کیفیت آب و ویژگیهای توپوگرافی و کاهش بارندگی بر روی کمیت آب آبخوان دهدشت غربی داشته اند به طوری که کشاورزی را در این زمین ها با محدودیت روبرو ساخته است. بر این اساس نمودار ویلکاکس جهت طبقه بندی آب در مصارف کشاورزی ترسیم و نتایج حاصل از آن در دهدشت غربی نشان داد که آب زیرزمینی این دشت جزء آبهای شور محسوب می شود که این امر نشان دهنده تأثیر سازندهای زمین شناسی گروه فارس (گچساران، میشان و آغا جاری) بر روی این منابع آبی می باشند (حمزه و همکاران ۱۳۸۹). اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی منابع آب زیرزمینی دشت خوی نشان دادند مهمترین و مؤثرترین عامل بر هیدروشیمی دشت، تأثیر سازندهای میوسن و پلیوسن با محتوای

کنگلو مرای قرمز، ماسه، آهک، مارن و انحلال کانی‌های موجود در این سازندها می‌باشد. این عامل به علت تأثیر هدایت الکتریکی در آن، مؤثرترین عامل در شوری آب نیز به حساب می‌آید. تحقیقات موخری و همکاران (Mukherjee et al. 2008) در حوضه بنگال که در بنگلادش و هند واقع شده است و بزرگترین سیستم رسوبی دلتایی در دنیا می‌باشد، بیانگر این است که شیمی غالب آب زیرزمینی در این منطقه عمدتاً از نوع بی‌کربنات کلسیم و در بعضی نقاط کلرید کلسیم است. همچنین آب زیرزمینی دارای مقادیر بالای آرسنیک، آهن، منگنز و مقادیر کم سولفات و نترات می‌باشد. فرایند اولیه کنترل کننده هیدروشیمی آب زیرزمینی، زمین‌شناسی منطقه است که شامل انحلال کلسیت، هوازگی سیلیکات، واکنش‌های اکسایشی – کاهشی آبخوان و همچنین اختلاط آب شور با آب شیرین می‌باشد.

#### ۲-۲-۴- کیفیت آب در نواحی با پمپاژ بیش از حد

آبهای زیرزمینی جزء مهمترین منابع آب شیرین هستند. این تنها منبع برای بسیاری از جوامع به دلیل آسیب‌پذیری نسبتاً کم آن نسبت به آلودگی و ذخیره‌سازی نسبتاً بالای آن می‌باشد. در بسیاری از مناطق ساحلی، بدتر شدن کمیت و کیفیت آب زیرزمینی به طور عمده ناشی از پمپاژ سنگین می‌باشد.

دشت شبستر در شمال شرق دریاچه ارومیه واقع شده است. در سالهای اخیر به دلیل حفر چاههای عمیق و برداشت بیش از حد از آنها، کیفیت آبهای زیرزمینی در دشت به خصوص در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی به شدت کاهش یافته و نفوذ آب شور به آب شیرین باعث شده تا تعدادی از چاههای آب در این مناطق بدون استفاده قرار گیرند. دلایل شوری شامل اختلاط آب شور دریاچه ارومیه با آب شیرین آبخوانها، تبخیر از آب زیرزمینی و انحلال رسوبات تبخیری از آب زیرزمینی و نفوذ از رودخانه‌های مجاور شور می‌باشد (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۸۰).

یوشیکا و همکاران (Yoshioka et al. 2002) با تحقیقاتی که در منطقه چین و ژاپن انجام دادند، نشان دادند که به دلیل پمپاژ سنگین در این مناطق، کاهش در سطح آب زیرزمینی و

نشست در شهرهای ساحلی ژاپن و چین رخ داده است. در ژاپن و چین، آب و هوا و لندفرم‌ها کاملاً متفاوت می‌باشند. خصوصیات هیدروژئولوژیکی در این مناطق نیز متفاوت می‌باشند به طوری که در دشت شمالی چین با بارش سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر، مقدار شوری و نشست زمین و کاهش در سطح آب زیرزمینی وجود دارد. در ژاپن (ژاپن مرکزی) با وجود بارش سالانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر، مقدار برداشت آب زیرزمینی بالا باعث فرونشست زمین شده است. مقدار شوری در این مناطق ناشی از فعالیتهای کشاورزی و به ویژه پمپاژ سنگین معرفی شده است.

مطالعات صورت گرفته توسط کمرا و همکاران (Kamra et al. 2002) در بلوک گوهانا واقع در استان هاریانا هند بیانگر این مطلب است که در این ناحیه لایه‌های آب شیرین بر روی زون‌های آب شور قرار گرفته‌اند و پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی باعث ورود آب شور به لایه‌های آب شیرین شده است و کیفیت آب را تخریب کرده است. بنابراین، روشهای پمپاژ باید به صورت کنترل شده و اصلاح شده انجام شود.

## ۲-۲-۵- کیفیت آب در مجاورت سیستم دفن زباله

دفن زباله، ساده‌ترین، ارزانترین و کم‌هزینه‌ترین روش مؤثر برای دفع فاضلاب در کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال توسعه در جهان می‌باشد (Barret and Lawlor 1995). با این حال در بیشتر کشورهای توسعه‌یافته مقدار دفن زباله‌ها و همچنین مقدار باطله‌های جامد شهری دفن شده در طول سال در حال کاهش می‌باشد. با توجه به (USEPA 2008)، مقدار کل باطله جامد شهری (MSW<sup>1</sup>) دفن شده در ایالات متحده حدود ۵ میلیون تن، از ۱۴۲/۳ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ تا ۱۳۷/۲ میلیون تن در سال ۲۰۰۷ کاهش یافته است. زباله‌های دفن شده در معرض آب‌های زیرزمینی یا در اثر نفوذ از طریق بارش و همچنین نفوذ آب از داخل زباله می‌تواند انواع ترکیبات آلی و غیرآلی مانند کادمیم، کروم، مس، سرب و غیره را وارد زمین کنند که این عمل موجب آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود (Lee et al. 1993, Christensen et al. 2001).

<sup>1</sup> Municipal Solid Waste

آدئولو و همکاران (Adeolu et al. 2011) مدیریت نادرست مواد زائد جامد را با توجه به نبود یا عدم وجود مهندسی مدرن دفن زباله در کلان شهر لاگوس نیجریه را یک مشکل عمده زیست محیطی بیان کرده‌اند و این مسئله را یکی از تهدیدهای اصلی آب‌های زیرزمینی ذکر کرده‌اند. مقیاس این تهدید به غلظت و سمیت آلاینده در شیرابه، نوع و نفوذپذیری طبقات زمین‌شناسی، عمق سطح ایستابی و جهت جریان آب زیرزمینی وابسته است. آنها مطالعاتی بر روی تأثیر نفوذ شیرابه بر روی کیفیت آب زیرزمینی در سیستم لندفیل در قاضی‌پور دهلی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به غلظت‌های بالای بعضی از ترکیبات آلی و غیرآلی در آب زیرزمینی نزدیک محل دفن زباله، کیفیت آن برای شرب و سایر اهداف خانگی تخریب شده است و بررسی کردند که کیفیت آب زیرزمینی با افزایش در عمق و مسافت چاه از منبع آلودگی بهبود می‌یابد.

## ۲-۶- کیفیت آب در مجاورت فاضلاب‌های شهری و خانگی

طبق بررسی‌های انجام شده بر روی آب‌های زیرزمینی منطقه ناتینگهام در انگلستان مشخص شده که منابع اصلی نیتروژن، آب نشتی لوله‌های فاضلاب و آبشویی از زمین‌های آلوده می‌باشد. هر چند فاضلاب نشتی منبع مهمی برای نیتروژن در مقیاس ناحیه‌ای نیست، اما می‌تواند سبب آلودگی جدی آب زیرزمینی شده و به علت در برداشتن آلاینده‌هایی همچون ارگانیک‌های بیماری‌زا و مواد شیمیایی صنعتی و شوینده‌ها مشکلاتی را برای سلامتی جامعه ایجاد کند (Cronin et al. 2003).

مطالعاتی که جینز هوما و همکاران (Jinzhu et al. 2008) بر روی کیفیت آب در حوضه ووئی<sup>۱</sup> در شمال شرق چین انجام داده‌اند، مشخص شد که در این منطقه شیمی آب‌های زیرزمینی در طی ۲۰ سال اخیر به سرعت تغییر کرده است که منجر به تجمع آلاینده‌های بسیار خطرناک در آب زیرزمینی شده است و باعث ایجاد شوری زیاد و آلودگی نترات در قسمت‌های شمالی حوضه شده است. عامل اصلی این آلاینده‌ها، ورود فاضلاب‌های شهری، خانگی و صنعتی می‌باشد.

<sup>1</sup> Wuwei

## ۷-۲-۲- کیفیت آب در نواحی کارستی

رضایی و همکاران (۱۳۷۷) با تحقیقی که بر روی آب چشمه‌های کارستی تاقدیس رحمت انجام داده‌اند، یکی از علل کاهش کیفیت در چشمه‌های کارستی را آب دشت مجاور دانسته‌اند که تحت اثر پدیده‌های نفوذ آب شور به داخل لایه‌های آبدار کارستی و پدیده پخش باعث کاهش کیفیت آب کارستی شده است.

طبق تحقیق انجام شده توسط رئیسی و همکاران (۱۳۷۹) بر روی تاقدیس کارستی راوندی در استان ایلام، یکی دیگر از علل تغییرات هیدروشیمیایی منابع آب موجود در کارست، مربوط به مقداری از آب بارندگی است که در سازند گچساران نفوذ کرده و به سازند آسماری می‌رسد و باعث کاهش کیفیت آب چشمه‌های خروجی از آهک آسماری می‌گردد.

گنبد‌های نمکی یکی دیگر از فاکتورهایی است که بر روی کیفیت آب کارست و چشمه‌های کارستی مؤثر می‌باشد که باعث کاهش قابل ملاحظه کیفیت آب می‌شود. به طوری که پورکرمانی و همکاران (۱۳۸۷) گنبد نمکی قلعه گچی را بر روی مقدار شوری آب زیرزمینی دشت داریان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گسل بمو عامل اصلی به وجود آمدن گنبد نمکی ایزدخواست و در نتیجه عامل پیشروی شوری آب زیرزمینی در منطقه می‌باشد.



فصل سوم:

روش انجام کار

در این فصل، کلیه کارهای انجام شده جهت بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه سرو، به طور اختصار ارائه می‌گردد. مهم‌ترین این کارها عبارتند از:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی
- بررسی‌های زمین‌شناسی
- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی
- بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی

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

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی، از پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه سرو استفاده شده است. داده‌های سطح آب زیرزمینی و داده‌های کیفی توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی اندازه‌گیری و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین برای تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه از داده‌های هواشناسی که شامل مقدار بارندگی و درجه حرارت، درصد رطوبت و تبخیر می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است.

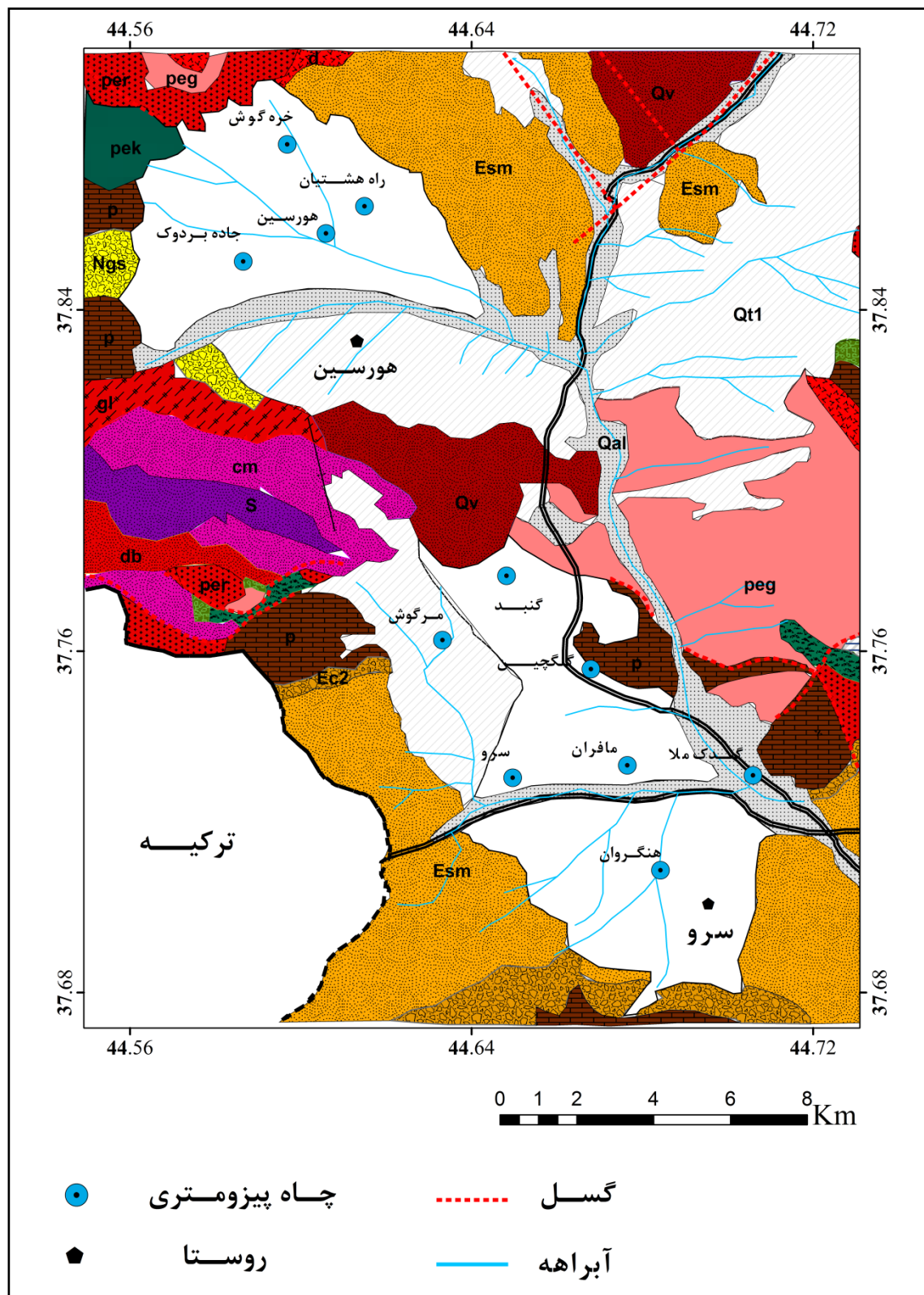
### ۳-۲- بررسی‌های زمین‌شناسی

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه سرو، از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سرو که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده، استفاده گردید. برای تهیه نقشه مورد نظر از نرم‌افزار Arc Gis 10 استفاده شده است.

### ۳-۳- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی

برای بررسی کمی منطقه سرو، از آمار ۱۱ پیزومتر در اسفند ماه ۱۳۹۲ که توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی اندازه‌گیری شده، استفاده گردید. نقشه هم‌پتانسیل با استفاده از داده‌های سطح آب زیرزمینی در پیزومترها به منظور تعیین جهت جریان عمومی آب زیرزمینی ترسیم گردید.

موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. همچنین برای بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی از هیدروگراف واحد دشت استفاده شده است.



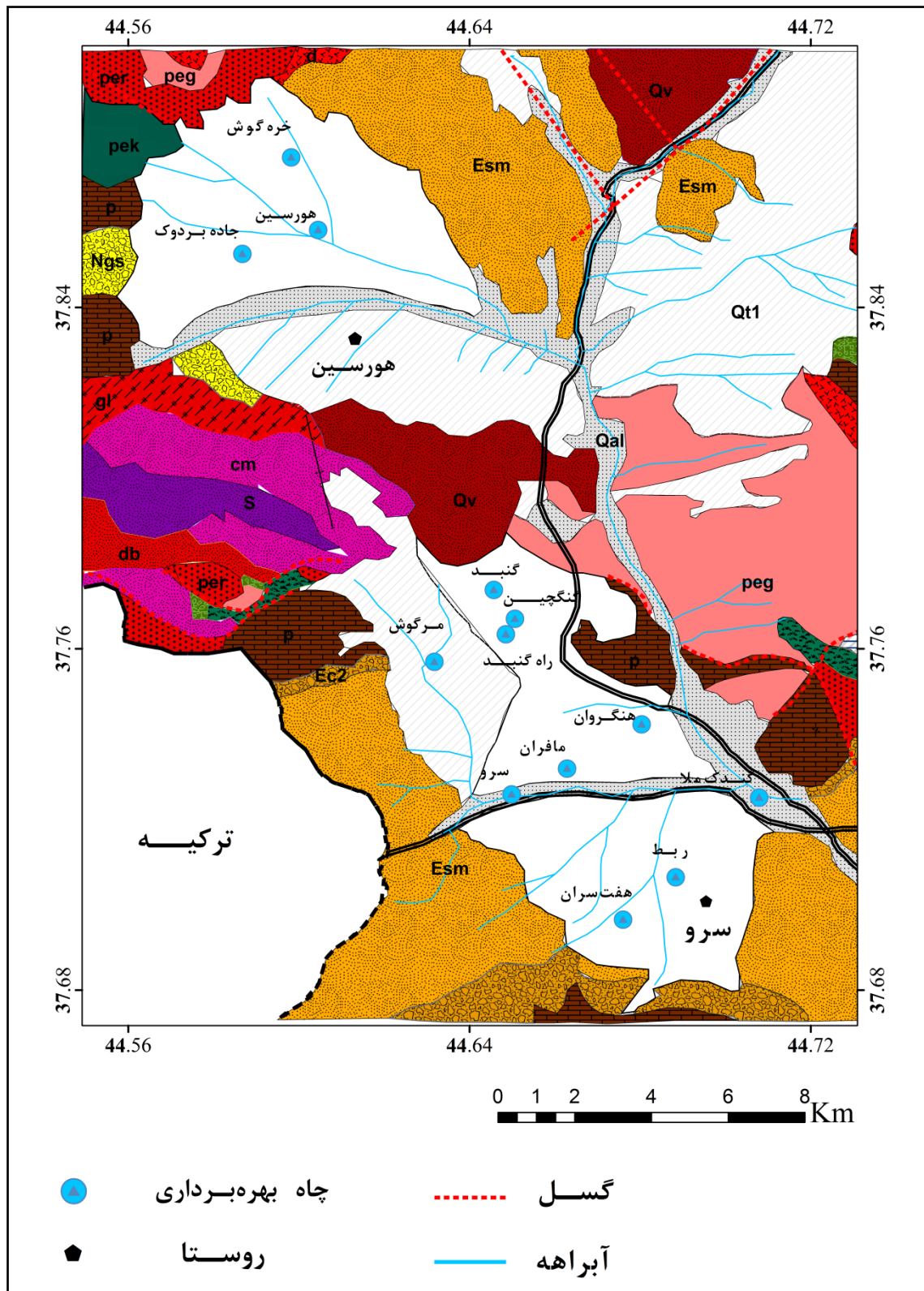
شکل ۳-۱- موقعیت چاه‌های پیزومتری در منطقه مطالعاتی

برای رسم هیدروگراف واحد دشت ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGis 10 محدوده مورد مطالعه به روش تیسن شبکه‌بندی گردید و سپس با توجه به آن مساحت هر یک از چندضلعی‌ها محاسبه شده و برای ترسیم هیدروگراف دشت استفاده گردید. با توجه به اینکه دشت سرو و هورسین از لحاظ خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی متفاوت می‌باشند، بنابراین برای دو دشت به صورت جداگانه هیدروگراف واحد ترسیم شده است.

هم‌چنین مطالعات ژئوفیزیکی نیز در منطقه که در سال ۱۳۸۸ توسط شرکت مهندسی مشاور یارن معدن آرا انجام پذیرفته، مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی ضخامت لایه‌های آبرفتی و هم‌چنین مقاومت ویژه آبخوان از نقشه‌های هم‌ضخامت و مقاومت عرضی استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات مربوطه نقشه‌های فوق برای منطقه سرو ترسیم گردید.

### ۳-۴- بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی

به منظور بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه، از ۱۳ نمونه چاه انتخابی در شهریور ماه سال ۱۳۹۳ استفاده گردید. موقعیت چاه‌های انتخابی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و آزمایشگاه جهت ترسیم نقشه‌های کیفی از قبیل نقشه‌های هدایت الکتریکی، کلر، سدیم و سولفات استفاده شد. نمودارهای کیفی از قبیل نمودار پایپر و استیف جهت تعیین تیپ آب و سیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی ترسیم گردید. هم‌چنین به منظور بررسی روند مقدار یون‌های اصلی در آب از نمودار شولر استفاده گردید. سایر پارامترها از قبیل تعیین شاخص اشباع، سختی کل از نرم‌افزارهای *AQqa*, *Phreeqc*, *Rockwork* استفاده گردید.



شکل ۳-۲- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه



## فصل چہارم:

بررسی هیدروژنولوژیکی و هیدروژنوشیمیایی

منطقه سرو

آبخوان منطقه سرو به صورت یک ناودیس با امتداد شمالی - جنوبی در غرب شهرستان ارومیه واقع گردیده است. این آبخوان از رسوبات حاصل از فرسایش و رسوبات سیلابی و آبرفتی تشکیل شده است. جنس لایه‌های تشکیل‌دهنده آبخوان به علت رسوبگذاری خاص ناشی از جریان سیلابی در منطقه، از نوع گراول، شن دانه درشت تا ریز، ماسه، رس و سیلت می‌باشد. ضخامت لایه‌های آبرفتی در نقاط مختلف دشت متفاوت می‌باشد. به این ترتیب که در بخش‌های شمالی و جنوبی حداکثر تا ۷۵ متر، در مخروط افکنه و بخش میانی دشت، حداکثر تا ۱۰۰ متر و در قسمت جنوب شرقی یا خروجی دشت حدود ۵۰ متر برآورد شده است.

منطقه سرو شامل دو دشت سرو و هورسین می‌باشد و با استفاده از پیزومترهای موجود در این دو دشت نقشه هم‌پتانسیل برای منطقه و هیدروگراف واحد دشت به طور جداگانه برای دشت‌های سرو و هورسین ترسیم شده است. هم‌چنین با استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی به بررسی و ارزیابی ضخامت آبخوان و جنس سنگ کف پرداخته شده است. بررسی‌های کیفی نیز در ادامه این فصل ارائه شده است.

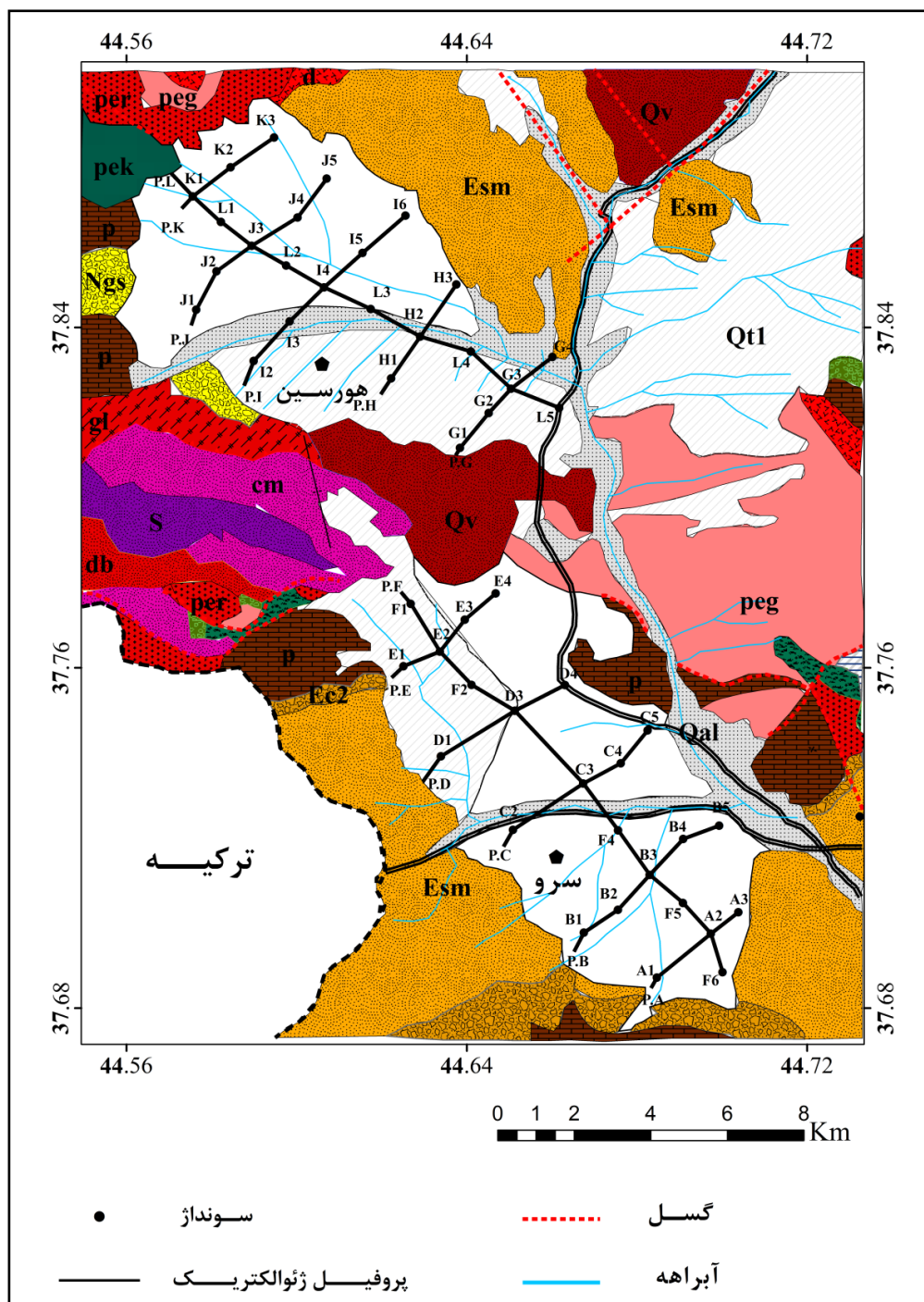
#### ۴-۱- ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی‌های هیدروژئولوژیکی در منطقه مورد مطالعه، نقشه هم‌پتانسیل جهت تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، مناطق تغذیه و تخلیه، تعیین مقادیر شیب هیدرولیکی ترسیم شده است. جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از داده‌های چاه‌های پیزومتری در اسفند ماه سال ۱۳۹۲ استفاده شده است. هم‌چنین بررسی‌های ژئوفیزیکی نیز در منطقه در سال ۱۳۸۸ توسط مهندسین مشاور یارن معدن آرا انجام پذیرفته است (شرکت آب منطقه‌ای ارومیه). هم‌چنین به منظور بررسی تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از هیدروگراف واحد دشت استفاده شده است.

#### ۴-۱-۱- مطالعات ژئوفیزیکی منطقه

برای بررسی کمی لایه‌های زمین‌شناسی از نظر ضخامت لایه‌ها، مقاومت مخصوص حقیقی آن‌ها، از مقاطع ژئوالکتریکی استفاده شده است. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۴۹ سونداژ در

امتداد ۱۲ پروفیل برداشت شده است که تعداد ۲۴ سونداژ آن در دشت سرو در امتداد ۶ پروفیل و تعداد ۲۵ سونداژ الکتریکی آن در دشت هورسین در امتداد ۶ پروفیل واقع شده‌اند (شکل ۴-۱). محدوده تغییرات مقاومت ویژه لایه‌ها با توجه به سونداژها و چاه‌های بهره‌برداری در جدول (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- موقعیت سونداژها و پروفیل‌ها در منطقه مورد مطالعه (مشاور یارن معدن آرا ۱۳۸۸)

با استفاده از بررسی‌های ژئوفیزیکی، مقاومت مخصوص لایه‌ها در نقاط مختلف منطقه مطالعاتی برآورد گردیده است. طبق جدول (۴-۱) مقاومت ویژه حقیقی رسوبات آبرفتی دانه ریز و دانه متوسط ۸ تا ۵۰ اهم‌متر، آبرفت‌های دانه درشت بیش از ۵۰ اهم‌متر، آهک و سنگ‌های دولومیتی ۱۰۰ تا ۲۴۰ اهم‌متر و مقاومت ویژه کنگلومرای نئوژن ۱۳۰ تا ۱۷۰ اهم‌متر می‌باشد.

جدول ۴-۱- تغییر مقاومت مخصوص الکتریکی لایه‌ها در منطقه مورد مطالعه

| ردیف | سازند یا آبرفت                                    | مقاومت الکتریکی<br>(اهم‌متر) |
|------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| ۱    | رسوبات آبرفتی دانه ریز                            | ۸ - ۲۰                       |
| ۲    | رسوبات آبرفتی دانه متوسط                          | ۲۰ - ۵۰                      |
| ۳    | رسوبات آبرفتی دانه درشت                           | > ۵۰                         |
| ۴    | ماسه سنگ، مارن و کنگلومرا - $E^{sm}$              | ۲۳ - ۸۰                      |
| ۵    | کنگلومرای درشت دانه و ماسه سنگ کنگلومرای - $E^c$  | ۲۹ - ۸۰                      |
| ۶    | آهک و دولومیت‌های پرمین (سازند روته) - Pr         | ۱۰۰ - ۲۴۰                    |
| ۷    | گنایس‌های میلونیتی شده - gn                       | ۱۵۰                          |
| ۸    | گدازه‌ها و آذرآواری‌های بازالتی و آندزیتی - $Q^v$ | ۹۰                           |
| ۹    | کنگلومرای نئوژن - $Ng^c$                          | ۱۳۰ - ۱۷۰                    |

#### الف - نقشه هم‌ضخامت آبرفت

شکل (۴-۲) نقشه هم‌ضخامت آبرفت را برای دشت‌های سرو و هورسین نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۴-۲) ملاحظه می‌شود، ضخامت رسوبات آبرفتی واقع در دشت‌های سرو - هورسین بین ۱۳۵ - ۶۲ متر تخمین زده شده است. در دشت هورسین ضخامت رسوبات آبرفتی بالاتر از ۱۰۰ متر در حوالی سونداژهای  $L_2$ ،  $I_4$  تا  $I_5$ ،  $L_3$ ،  $H_2$ ،  $G_3$  و  $L_5$  دیده

می‌شود که محدوده‌ی گودی دشت هورسین را نشان می‌دهد. در محدوده‌ی سایر سونداژها ضخامت رسوبات آبرفتی کاهش می‌یابد که بیانگر بالا بودن سنگ کف در این قسمت‌ها می‌باشد و به نظر می‌رسد گسل‌هایی که از طرف ابتدای پروفیل K وارد دشت می‌شود، نقش اصلی را در این بخش از پروفیل ایفا می‌کنند.

در دشت سرو بیشترین ضخامت رسوبات آبرفت (بالا تر از ۱۰۰ متر) در حوالی سونداژهای B<sub>2</sub> تا B<sub>4</sub>, F<sub>4</sub>, C<sub>3</sub> تا C<sub>5</sub>, E<sub>2</sub> تا E<sub>4</sub> دیده می‌شود. در این دشت در دو قسمت حالت گودی یا دره مدفون مشاهده می‌شود که یکی منطبق بر سونداژهای B<sub>3</sub>, شرق F<sub>4</sub>, C<sub>4</sub> و دیگری منطبق بر غرب سونداژ D<sub>3</sub>, F<sub>2</sub> و انتهای پروفیل E می‌باشد.

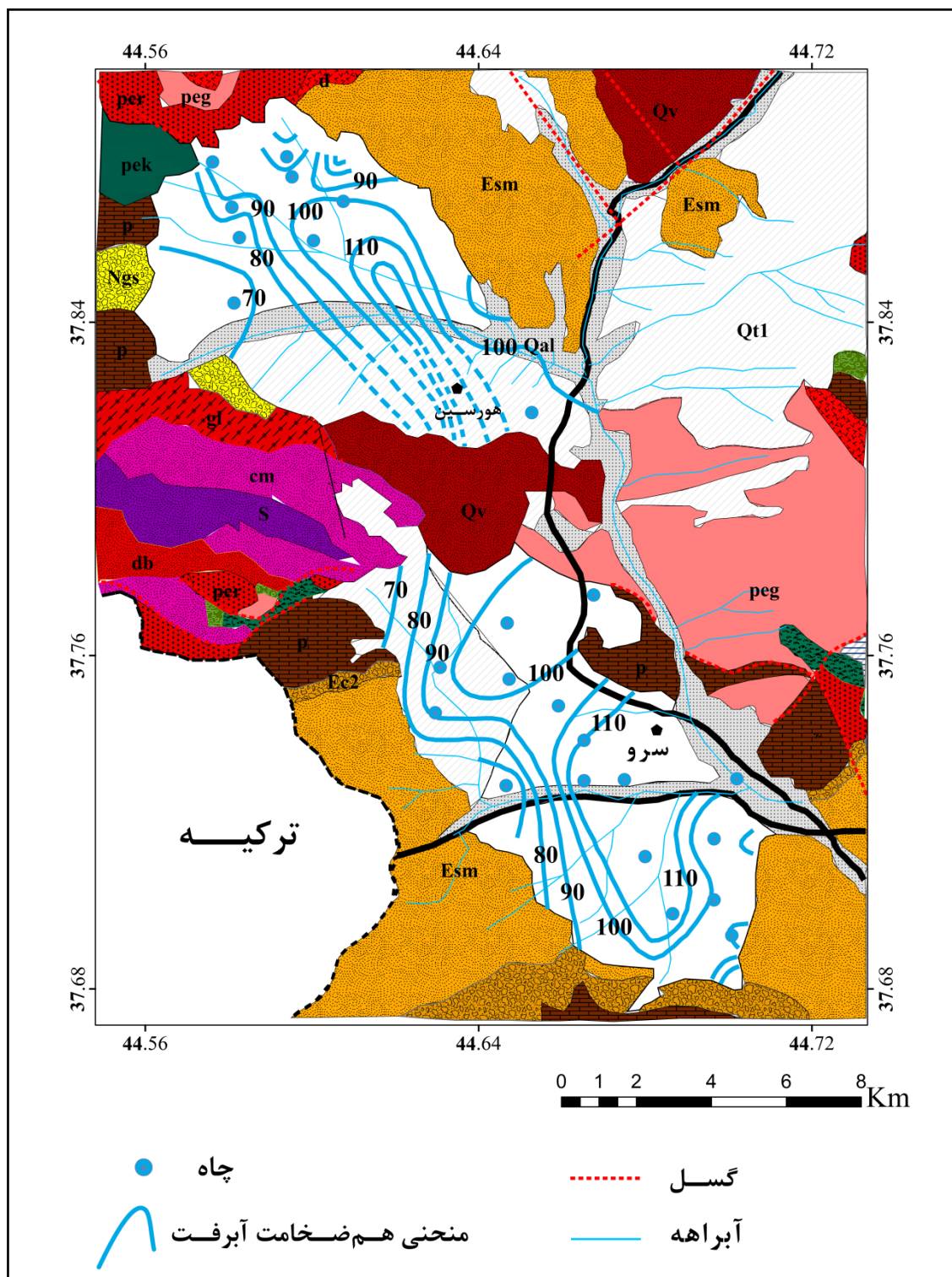
در دشت سرو به علت بالا بودن سنگ کف در نواحی جنوبی در محدوده‌ی پروفیل A, سونداژهای F<sub>5</sub> تا F<sub>6</sub> و حوالی سونداژهای ابتدایی پروفیل‌های B, C و D ضخامت رسوبات آبرفتی کمتر از ۱۰۰ متر بوده و تا حدود ۷۰ متر می‌رسد.

هم چنین در نواحی شمال غربی دشت سرو نیز (محدوده‌ی سونداژهای E<sub>1</sub> و F<sub>1</sub>) ضخامت آبرفت کم می‌باشد که نشان‌دهنده بالا بودن سنگ کف در این نواحی است. چنان که در نقشه ملاحظه می‌شود، نواحی واقع در سمت راست پروفیل F از ضخامت آبرفت بیشتری نسبت به نواحی واقع در سمت چپ آن می‌باشد و این امر به علت عملکرد گسل واقع در سمت راست پروفیل فوق می‌باشد.

#### ب- نقشه هم‌مقاومت عرضی آبرفت

شکل (۳-۴) نقشه مقاومت عرضی آبرفت (RT<sup>۱</sup>)، که با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی تهیه شده است، را نشان می‌دهد. مقادیر مقاومت عرضی آبرفت می‌تواند تا حدودی مقدار آبدی مناطق مختلف را نشان دهد. به این ترتیب که مناطق با مقاومت عرضی کمتر از ۷۰۰ اهم‌متر مربع بیانگر آبدی کم، مقادیر بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ اهم‌متر مربع بیانگر آبدی متوسط و مقادیر

<sup>1</sup> Transverse Resistivity

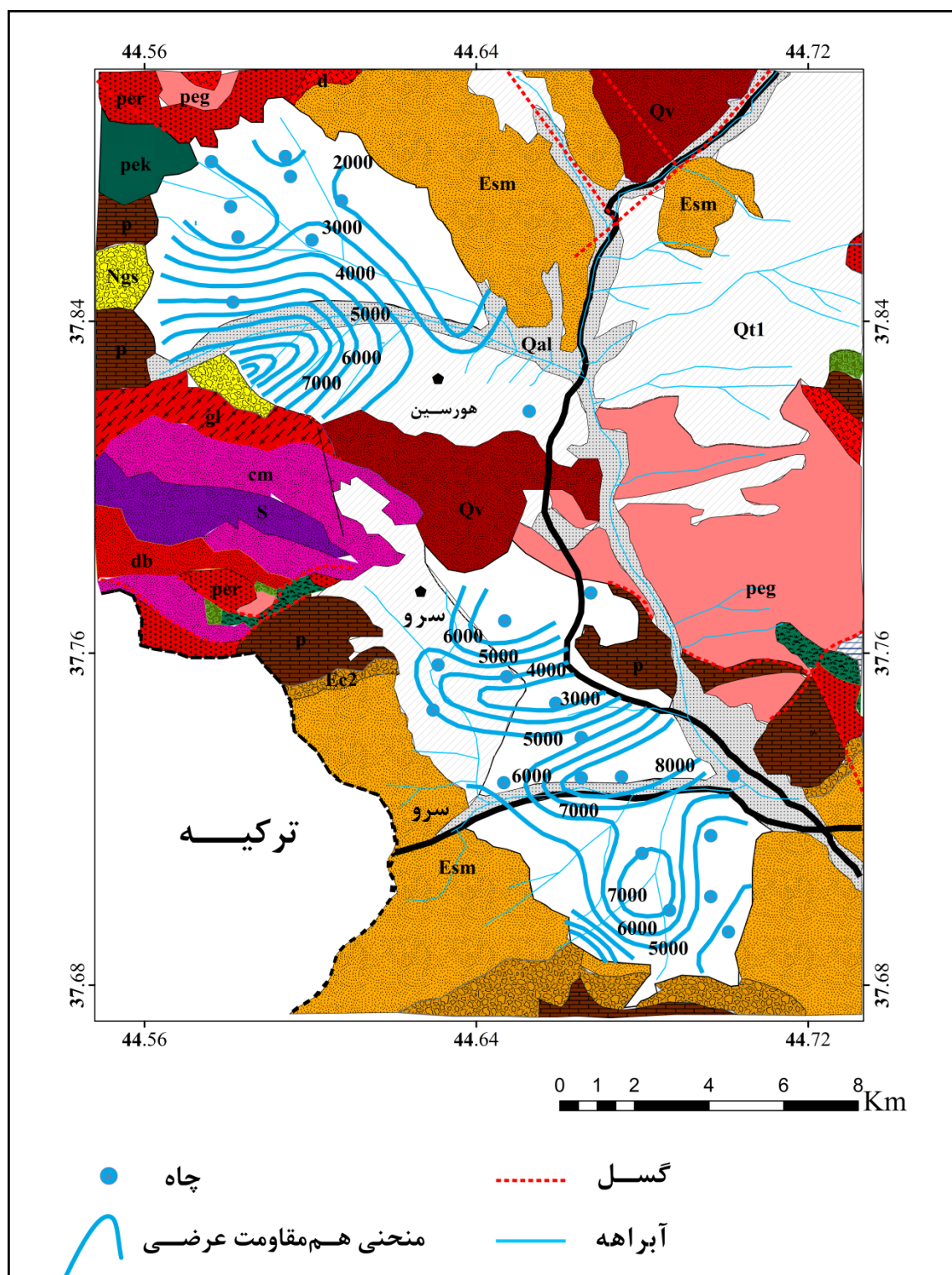


شکل ۴-۲- نقشه هم‌ضخامت آبرفت منطقه مورد مطالعه (مشاور یارن معدن آرا ۱۳۸۸)

با مقاومت عرضی بیش از ۲۰۰۰ اهم مترمربع آبدهی بالایی را در منطقه نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل (۳-۴) ملاحظه می‌شود، مقادیر مقاومت عرضی در دشت سرو کمتر از ۲۰۰۰ اهم مترمربع تا بیش از ۹۰۰۰ اهم مترمربع و در دشت هورسین کمتر از ۱۰۰۰ اهم مترمربع تا بیش از ۱۴۰۰۰ اهم مترمربع در نوسان است.

در بخش‌های شمال شرقی دشت هورسین، مقادیر مقاومت عرضی کاهش پیدا کرده است. این زون کم‌مقاومت عرضی بیشتر در محدوده‌ی پروفیل‌های J و K و انتهای پروفیل‌های H و J به چشم می‌خورد که حاکی از رسوبات دانه ریزتر و در نتیجه آبدهی کمتر می‌باشد. به تدریج از سمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی دشت، مقادیر مقاومت عرضی با افزایش اندازه دانه‌های رسوبی افزایش می‌یابد. به طوری که مقدار مقاومت عرضی در بخش‌های شمال شرقی به کمتر از ۲۰۰۰ اهم متر مربع و در بخش‌های جنوب غربی بیش از ۱۴۰۰۰ اهم متر مربع می‌باشد.

هم‌چنین در دشت سرو در محدوده‌ی پروفیل A و محدوده‌ی سونداژهای D<sub>3</sub> تا D<sub>4</sub> و F<sub>2</sub>، مقادیر مقاومت عرضی کمتر از سایر قسمت‌های این دشت بوده که بیانگر دانه ریز بودن رسوبات و کم بودن مقدار آبدهی است.



شکل ۴-۳- نقشه هممقاومت عرضی آبفت (مشاور یارن معدن آرا ۱۳۸۸)

#### ۴-۱-۲- ارزیابی نقشه همپتانسیل منطقه سرو

به منظور تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت و تغییرات مقدار گرادیان هیدرولیکی، نقشه همپتانسیل منطقه با استفاده از داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای مختلف برای اسفند ماه سال ۱۳۹۲ (جدول ۴-۲)، ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در منطقه مطالعاتی از ۱۱ پیزومتر به منظور تهیه نقشه همپتانسیل استفاده شده است که ۴ پیزومتر در دشت هورسین و ۷ پیزومتر در دشت سرو قرار گرفته است.

شکل (۴-۴) نقشه همپتانسیل دشت‌های هورسین و سرو را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل (۴-۴) مشاهده می‌شود، بیشترین تراز سطح آب زیرزمینی در دشت هورسین در نواحی شمال غربی دشت با ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متر و کمترین تراز آن در بخش جنوب شرقی دشت با ارتفاع حدود ۱۶۴۰ متر واقع شده است.

تغذیه آبخوان آبرفتی از ارتفاعات شمال غربی دشت انجام می‌شود و تقریباً هیچ تغذیه‌ای از طرفین دشت انجام نمی‌شود. تخلیه دشت علاوه بر برداشت از چاه‌ها به محدوده جنوب شرقی دشت یا انتهای دشت مربوط می‌شود.

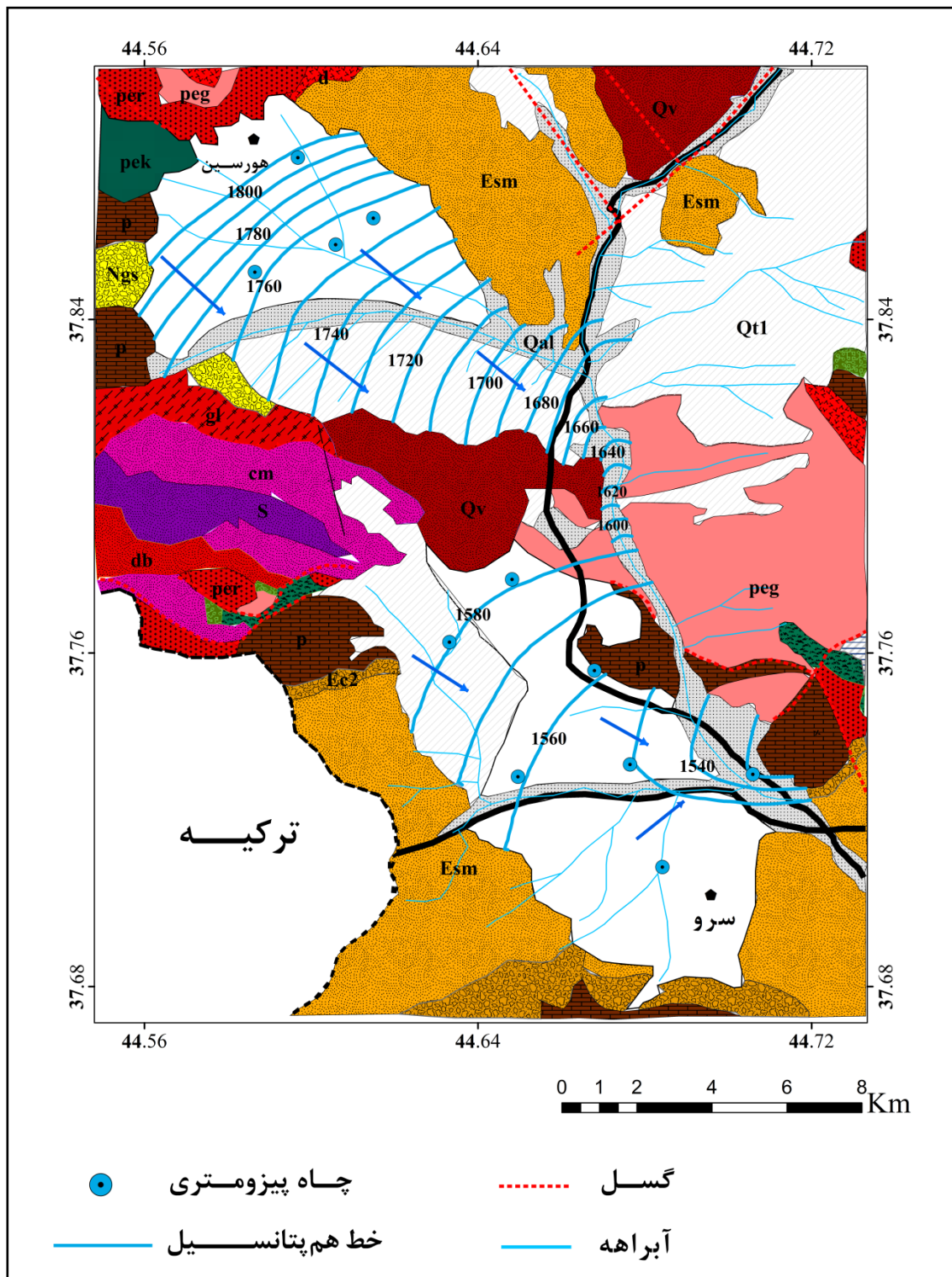
مقدار گرادیان هیدرولیکی در نواحی مرکزی دشت هورسین نسبت به بالادست و پایین دست دشت کمتر می‌باشد. به طوری که در نواحی مرکزی، مقدار گرادیان هیدرولیکی حدود یک درصد و در نواحی بالادست و پایین دست حدود دو درصد می‌باشد. بالا بودن گرادیان هیدرولیکی در نواحی بالادست دشت هورسین به دلیل تغذیه آبخوان آبرفتی به وسیله ارتفاعات غربی و شمال غربی منطقه می‌باشد. بنابراین، بالا بودن دبی جریان آب زیرزمینی باعث افزایش گرادیان هیدرولیکی می‌شود. با برداشت آب از طریق چاه‌های موجود در دشت، مقدار دبی جریان آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی دشت کاهش می‌یابد. کاهش مقدار دبی جریان آب زیرزمینی به نوبه خود باعث کم شدن گرادیان هیدرولیکی در نواحی مرکزی دشت می‌شود. علاوه بر دبی، عامل دیگری که در کاهش گرادیان هیدرولیکی تأثیرگذار است، عرض دشت می‌باشد. همانطوری که در معادله دارسی ( $Q=KbWi$ ) دیده می‌شود، مقدار گرادیان

هیدرولیکی با دبی (Q) رابطه مستقیم و با عرض آبخوان (W) رابطه معکوسی دارد، به طوری که هر چه عرض آبخوان بیشتر باشد، گرادیان هیدرولیکی در منطقه کاهش می‌یابد که این مسئله در مرکز دشت هورسین تا حدودی مشاهده می‌شود.

در دشت سرو تراز آب زیرزمینی از حدود ۱۶۰۰ متر تا حدود ۱۵۳۰ متر متغیر می‌باشد. با توجه به نقشه فوق ملاحظه می‌شود که جهت جریان آب زیرزمینی از نواحی شمال غربی، غرب و جنوبی به سمت بخش‌های شرق و جنوب شرقی دشت می‌باشد. مقدار گرادیان هیدرولیکی در دشت سرو حدود ۰/۶ تا ۰/۸ درصد برآورد شده است.

جدول ۴-۲- ارتفاع سطح آب زیرزمینی پیژومترها در منطقه مورد مطالعه

| علامت اختصاری   | نام پیژومتر | مختصات بر حسب UTM |         | ارتفاع نقطه نشانه (متر) | سطح آب (متر) |
|-----------------|-------------|-------------------|---------|-------------------------|--------------|
|                 |             | X                 | Y       |                         |              |
| W <sub>1</sub>  | گنگچین      | ۴۷۰۷۵۱            | ۴۱۷۸۷۷۴ | ۱۵۶۴/۸۶                 | ۱/۲۸         |
| W <sub>2</sub>  | گندک ملا    | ۴۷۴۰۸۶            | ۴۱۷۶۰۰۲ | ۱۵۳۲/۰۲                 | ۲/۰۷         |
| W <sub>3</sub>  | مافران      | ۴۷۱۴۹۴            | ۴۱۷۶۲۷۰ | ۱۵۵۶/۳۴                 | ۳/۱۲         |
| W <sub>4</sub>  | مرگوش       | ۴۶۷۶۹۱            | ۴۱۷۹۵۴۰ | ۱۵۸۵/۰۵                 | ۳/۷۷         |
| W <sub>5</sub>  | هورسین      | ۴۶۵۳۳۲            | ۴۱۹۰۱۲۶ | ۱۷۶۷/۹۵                 | ۱۰/۱۵        |
| W <sub>6</sub>  | هنگروان     | ۴۷۲۱۶۸            | ۴۱۷۳۵۴۰ | ۱۶۰۱/۳۷                 | ۱۳/۷۲        |
| W <sub>7</sub>  | راه‌هشتیان  | ۴۶۶۱۳۰            | ۴۱۹۰۸۲۷ | ۱۷۷۶                    | ۱۷/۳۷        |
| W <sub>8</sub>  | گنبد        | ۴۶۹۰۱۸            | ۴۱۸۱۲۰۵ | ۱۶۰۲/۰۷                 | ۲۰/۴۵        |
| W <sub>9</sub>  | سرو         | ۴۶۹۱۲۵            | ۴۱۷۵۹۵۵ | ۱۵۸۶/۸۲                 | ۲۴/۳۳        |
| W <sub>10</sub> | جاده بردوک  | ۴۶۳۶۲۵            | ۴۱۸۹۴۰۲ | ۱۷۹۶/۶۸                 | ۳۳/۸۲        |
| W <sub>11</sub> | خره‌گوش     | ۴۶۴۵۴۴            | ۴۱۹۲۴۴۳ | ۱۸۳۷/۲۲                 | ۳۷/۴۱        |



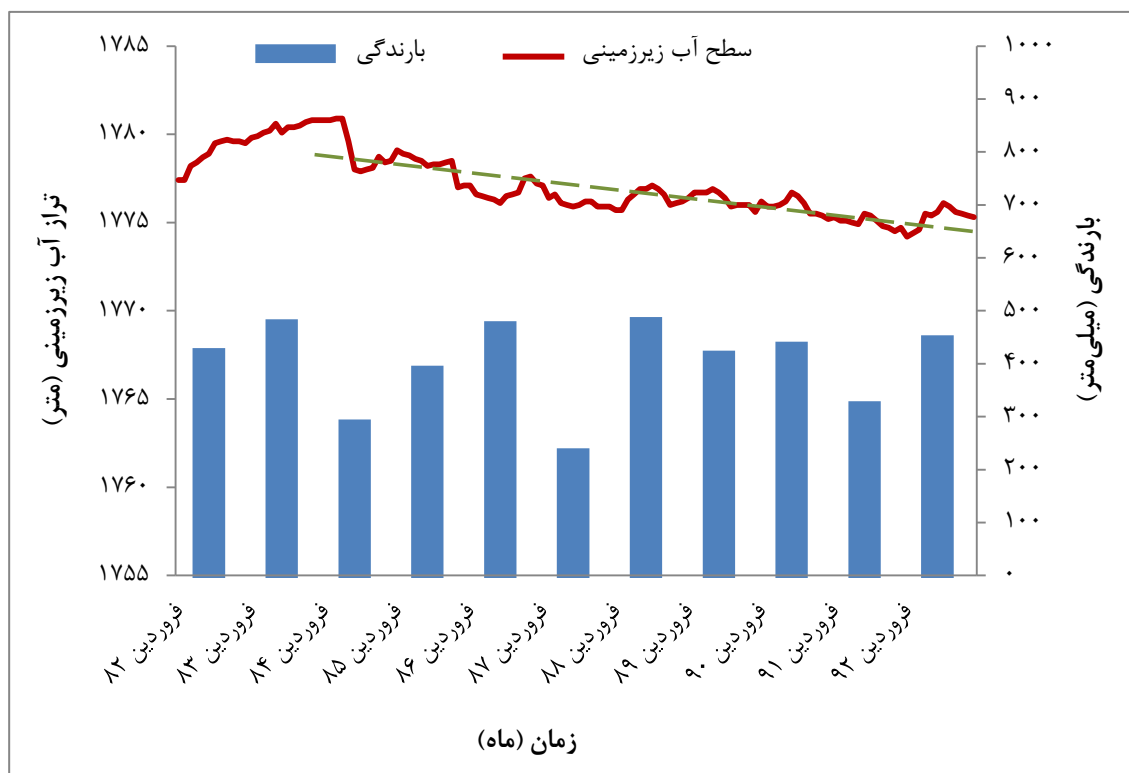
شکل ۴-۴- نقشه همپتانسیل منطقه سرو

#### ۴-۱-۳- بررسی تغییرات زمانی سطح آب در منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی و همچنین بررسی وضعیت افت در یک دوره طولانی مدت از هیدروگراف واحد دشت استفاده می‌شود. با استفاده از هیدروگراف واحد دشت (هیدروگراف معرف دشت) تغییرات سطح آب زیرزمینی برای دشت سرو و هورسین برای یک دوره ۱۱ ساله از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی با بارندگی، مقدار بارندگی سالانه نیز در طی این دوره ۱۱ ساله بر روی هیدروگراف‌ها نشان داده شده است. برای تهیه هیدروگراف واحد دشت، ابتدا مرز دشت و موقعیت چاه‌های پی‌زومتری مشخص گردید و سپس با استفاده از روش میانگین وزنی تیسن متوسط سطح آب در دشت برای ماه‌های مختلف محاسبه شد. با ترسیم مقادیر متوسط سطح آب در برابر زمان در یک دستگاه مختصات، هیدروگراف واحد دشت ترسیم شد.

#### الف- هیدروگراف واحد دشت هورسین

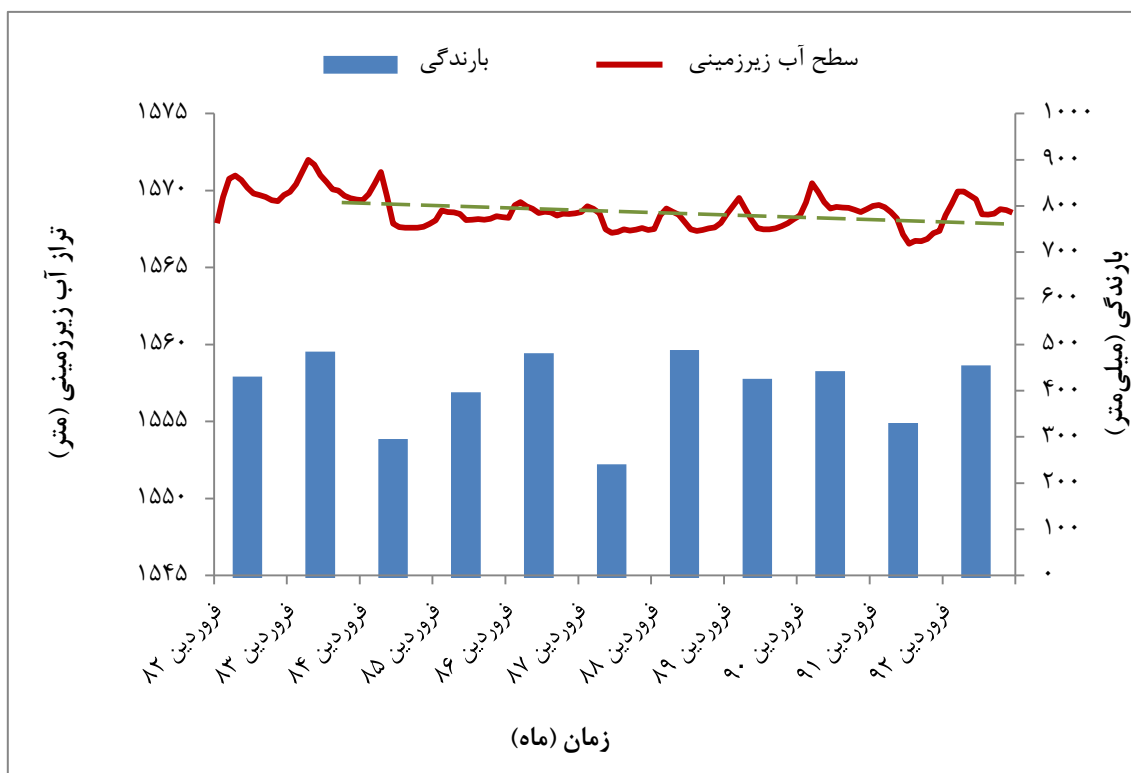
با توجه به شکل (۴-۵) ملاحظه می‌شود که به غیر از سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ که سطح آب زیرزمینی در این دشت یک روند افزایش نسبی را نشان می‌دهد، در بقیه موارد سطح آب زیرزمینی در دشت هورسین تا حدودی یک روند کاهشی را ارائه می‌دهد. به این ترتیب که سطح آب زیرزمینی در این دشت در فروردین ماه سال ۱۳۸۳ برابر با ۱۷۷۹/۸ متر و در فروردین ماه ۱۳۹۲ برابر با ۱۷۷۴/۲ متر می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در این دوره ۱۱ ساله سطح آب زیرزمینی حدود ۵/۶ متر افت داشته است که علت این افت، احتمالاً برداشت بی‌رویه از چاه‌ها می‌باشد. علت روند افزایشی در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به احتمال زیاد به این خاطر است که سهم برف از بارش سالانه بیشتر بوده است.



شکل ۴-۵- هیدروگراف واحد دشت هورسین

#### ب- هیدروگراف واحد دشت سرو

شکل (۴-۶) هیدروگراف واحد دشت سرو را نشان می‌دهد. همانطوری که از هیدروگراف واحد دشت سرو ملاحظه می‌شود، سطح آب زیرزمینی در این دشت از سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ یک روند افزایشی را نشان می‌دهد که علت آن همانند دشت هورسین به احتمال زیاد به خاطر این است که در طی این دو سال سهم برف از بارش سالانه به طور قابل توجهی بیشتر بوده است. از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ سطح آب زیرزمینی در این دشت تقریباً روند ثابتی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که سطح آب زیرزمینی در فروردین ماه ۱۳۸۳ برابر با ۱۵۶۹/۹ متر و در فروردین ماه ۱۳۹۲ برابر با ۱۵۶۸/۴ متر می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود، مقدار افت در طی این دوره ۱۱ ساله حدود ۱/۵ متر است. به طور کلی بررسی هیدروگراف واحد دشت سرو بیانگر این مطلب است که در این دشت تغییرات سطح آبخوان ارتباط مستقیمی با مقدار بارندگی منطقه داشته است و افت غیرطبیعی در آن مشاهده نگردیده است.



شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد دشت سرو

#### ۴-۲- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منطقه سرو (دشت‌های سرو و هورسین) از ۱۳ حلقه چاه موجود در منطقه نمونه‌برداری به عمل آمد. علاوه بر این، هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. جدول (۴-۳) مشخصات چاه‌های نمونه‌برداری شده و مقادیر هدایت الکتریکی و pH آنها را نشان می‌دهد. همچنین نمونه‌های برداشته شده در آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته و برای تمام آنها غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی اندازه‌گیری شده است. کاتیون‌های اندازه‌گیری شده شامل یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیون‌های اندازه‌گیری شده شامل یون‌های بی‌کربنات، کلر و سولفات می‌باشند. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری و همچنین درصد خطای آزمایش محاسبه شده برای تمام نمونه‌ها در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول ۴-۳- مقادیر هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شده در چاه‌های منطقه سرو

| pH  | هدایت الکتریکی<br>(میکروموس بر<br>سانتی‌متر) | UTM     |        | نام چاه  | علامت<br>اختصاری |
|-----|----------------------------------------------|---------|--------|----------|------------------|
|     |                                              | Y       | X      |          |                  |
| ۷/۱ | ۴۰۰                                          | ۴۱۷۲۱۹۲ | ۴۷۱۴۳۵ | هفت‌سران | W <sub>1</sub>   |
| ۷/۴ | ۴۱۰                                          | ۴۱۷۵۴۵۸ | ۴۶۹۱۴۴ | سرو      | W <sub>2</sub>   |
| ۷/۲ | ۴۴۰                                          | ۴۱۷۳۲۹۰ | ۴۷۲۵۲۶ | ربط      | W <sub>3</sub>   |
| ۸/۱ | ۵۳۰                                          | ۴۱۷۹۶۲۱ | ۴۶۹۰۴۰ | راه‌گنبد | W <sub>4</sub>   |
| ۸/۱ | ۵۱۰                                          | ۴۱۸۰۰۲۳ | ۴۶۹۲۲۹ | گنگچین   | W <sub>5</sub>   |
| ۸   | ۴۳۰                                          | ۴۱۸۰۷۷۵ | ۴۶۸۷۹۷ | گنبد     | W <sub>6</sub>   |
| ۷/۸ | ۴۹۰                                          | ۴۱۷۶۱۲۳ | ۴۷۰۲۹۱ | مافران   | W <sub>7</sub>   |
| ۸/۱ | ۴۲۰                                          | ۴۱۷۸۹۱۲ | ۴۶۷۵۶۲ | مرگوش    | W <sub>8</sub>   |
| ۷/۶ | ۸۱۰                                          | ۴۱۷۵۳۵۶ | ۴۷۴۲۵۹ | گندک‌ملا | W <sub>9</sub>   |
| ۷/۸ | ۶۳۰                                          | ۴۱۷۷۲۷۱ | ۴۷۱۸۳۷ | هنگروان  | W <sub>10</sub>  |
| ۷/۶ | ۴۸۰                                          | ۴۱۹۰۱۴۹ | ۴۶۵۲۰۸ | هورسین   | W <sub>11</sub>  |
| ۷/۹ | ۳۰۰                                          | ۴۱۹۲۰۴۰ | ۴۶۴۶۶۱ | خره‌گوش  | W <sub>12</sub>  |
| ۷/۸ | ۳۶۰                                          | ۴۱۸۹۵۳۳ | ۴۶۳۶۴۴ | بردوک    | W <sub>13</sub>  |

جدول ۴-۴- مقادیر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در منطقه سرو (شهریور ۱۳۹۳، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی)

| % Error | غلظت (epm) |                  |                  |                 |                |          |                               |                 |                               | نام چاه  | علامت اختصاری   |
|---------|------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------|-----------------|
|         | Sum Cat.   | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Sum Ani. | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |          |                 |
| ۱/۶     | ۵/۱        | ۲/۷              | ۱/۹              | ۰/۵             | -              | ۵/۹      | ۵/۱                           | ۰/۴             | ۰/۴                           | هفت‌سران | W <sub>1</sub>  |
| ۱/۳     | ۵/۲        | ۲/۸              | ۱/۸              | ۰/۵             | ۰/۱            | ۵/۸      | ۵/۰                           | ۰/۴             | ۰/۴                           | سرو      | W <sub>2</sub>  |
| ۰/۶     | ۵/۳        | ۲/۸              | ۱/۹              | ۰/۶             | -              | ۵/۸      | ۴/۸                           | ۰/۵             | ۰/۵                           | ربط      | W <sub>3</sub>  |
| ۰       | ۷/۰        | ۳/۳              | ۲/۵              | ۱/۲             | -              | ۶/۸      | ۴/۳                           | ۱/۱             | ۱/۴                           | راه گنبد | W <sub>4</sub>  |
| ۰       | ۶/۷        | ۳/۲              | ۲/۴              | ۱/۰             | ۰/۱            | ۶/۶      | ۴/۴                           | ۰/۹             | ۱/۳                           | گنگچین   | W <sub>5</sub>  |
| ۱/۶     | ۵/۸        | ۲/۹              | ۲/۲              | ۰/۶             | ۰/۱            | ۶/۱      | ۵/۰                           | ۰/۵             | ۰/۶                           | گنبد     | W <sub>6</sub>  |
| ۰       | ۶/۳        | ۳/۱              | ۲/۳              | ۰/۹             | -              | ۶/۲      | ۴/۳                           | ۰/۸             | ۱/۱                           | مافران   | W <sub>7</sub>  |
| ۰       | ۵/۳        | ۲/۸              | ۲/۰              | ۰/۵             | -              | ۶/۰      | ۵/۱                           | ۰/۵             | ۰/۴                           | مرگوش    | W <sub>8</sub>  |
| ۲/۰     | ۹/۱        | ۳/۸              | ۲/۸              | ۲/۳             | ۰/۲            | ۸/۵      | ۳/۳                           | ۲/۵             | ۲/۷                           | گندک‌ملا | W <sub>9</sub>  |
| ۱/۷     | ۸/۱        | ۳/۷              | ۲/۶              | ۱/۷             | ۰/۱            | ۷/۶      | ۳/۸                           | ۱/۸             | ۲/۰                           | هنگروان  | W <sub>10</sub> |
| ۲/۰     | ۵/۹        | ۳/۱              | ۲/۰              | ۰/۸             | -              | ۵/۲      | ۴/۲                           | ۰/۸             | ۱/۱                           | هورسین   | W <sub>11</sub> |
| ۰       | ۴/۷        | ۲/۶              | ۱/۷              | ۰/۴             | -              | ۵/۶      | ۵/۲                           | ۰/۲             | ۰/۲                           | خره‌گوش  | W <sub>12</sub> |
| ۱/۰     | ۴/۹        | ۲/۶              | ۱/۸              | ۰/۵             | -              | ۵/۶      | ۵/۱                           | ۰/۲             | ۰/۳                           | بردوک    | W <sub>13</sub> |

همانطوری که از جدول (۳-۴) ملاحظه می‌شود، حداقل هدایت الکتریکی محدوده مطالعاتی برابر با ۳۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و حداکثر مقدار آن برابر با ۸۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. هم‌چنین کمترین مقدار pH حدود ۷/۱ و بیشترین مقدار آن حدود ۸/۱ برآورد شده است.

با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی، پارامترهای سختی، کل مواد جامد محلول ( $TDS^1$ )، نسبت جذب سدیم ( $SAR^2$ ) و درصد سدیم (%Na) برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده است. در جدول (۵-۴) مقادیر این پارامترها ارائه شده است.

جدول ۵-۴- مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای نمونه‌های آب در چاه‌های منطقه مطالعاتی

| نام چاه  | سختی<br>(mg/l as CaCO <sub>3</sub> ) | کل مواد جامد محلول<br>(mg/l) | نسبت جذب<br>سدیم | درصد سدیم |
|----------|--------------------------------------|------------------------------|------------------|-----------|
| هفت‌سران | ۲۷۹/۶                                | ۲۶۰                          | ۰/۳۲۹            | ۹/۸       |
| سرو      | ۲۸۷/۸                                | ۲۶۶/۵                        | ۰/۳۲۹            | ۱۱/۵      |
| ربط      | ۲۸۴/۸                                | ۲۸۶                          | ۰/۳۹۱            | ۱۱/۳      |
| راه‌گنبد | ۳۲۴/۴                                | ۳۴۴/۵                        | ۰/۷۰۴            | ۱۷/۱      |
| گنگچین   | ۲۹۰/۸                                | ۳۳۱/۵                        | ۰/۵۹۷            | ۱۶/۴      |
| گنبد     | ۳۰۵                                  | ۲۷۹/۵                        | ۰/۳۷۵            | ۱۲/۱      |
| مافران   | ۳۳۵/۸                                | ۳۱۸/۵                        | ۰/۵۴۷            | ۱۴/۳      |
| مرگوش    | ۳۴۷                                  | ۲۷۳                          | ۰/۳۲۲            | ۹/۴۳      |
| گندک‌ملا | ۳۸۲/۸                                | ۵۲۶/۵                        | ۱/۲۶۶            | ۲۷/۴      |
| هنگروان  | ۳۹۷                                  | ۴۰۹/۵                        | ۰/۹۵۷            | ۲۲/۲      |
| هورسین   | ۳۱۵/۴                                | ۳۱۲                          | ۰/۵۰۰            | ۱۳/۵      |
| خره‌گوش  | ۲۶۵/۴                                | ۱۹۵                          | ۰/۲۷۲            | ۸/۵       |
| بردوک    | ۲۶۸/۴                                | ۲۳۴                          | ۰/۳۳۷            | ۱۰/۲      |

<sup>1</sup> Total Dissolved Solid

<sup>2</sup> Sodium Absorption Ratio

با توجه به جدول (۴-۵) ملاحظه می‌شود که حداقل سختی نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به دشت هورسین حدود ۲۶۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و حداکثر مقدار آن برابر ۳۹۷ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم مربوط به دشت سرو می‌باشد. کمترین مقدار TDS حدود ۱۹۵ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر مقدار آن حدود ۵۲۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شده است. همچنین حداقل و حداکثر نسبت جذب سدیم به ترتیب ۰/۲۷ و ۱/۳ و مقدار درصد سدیم در منطقه مطالعاتی به ترتیب برابر با ۸/۵ و ۲۷/۴ برآورد شده است.

#### ۴-۲-۱- بررسی نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه

قابلیت هدایت الکتریکی معیاری است که برای سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریسیته به کار برده می‌شود. این فاکتور تحت تأثیر حضور مواد جامد محلول از قبیل آنیون‌های کلر، سولفات و فسفات و یا کاتیون‌های سدیم، منیزیم، کلسیم واقع می‌شود، در نتیجه دارای رابطه مستقیمی با مقدار غلظت نمک‌های محلول در آب می‌باشد. از عوامل تأثیرگذار بر روی قابلیت هدایت الکتریکی می‌توان به لیتولوژی، مدت زمان اقامت آب در آبخوان، سرعت حرکت آب زیرزمینی و بارش‌های جوی اشاره نمود. شکل (۴-۷) نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

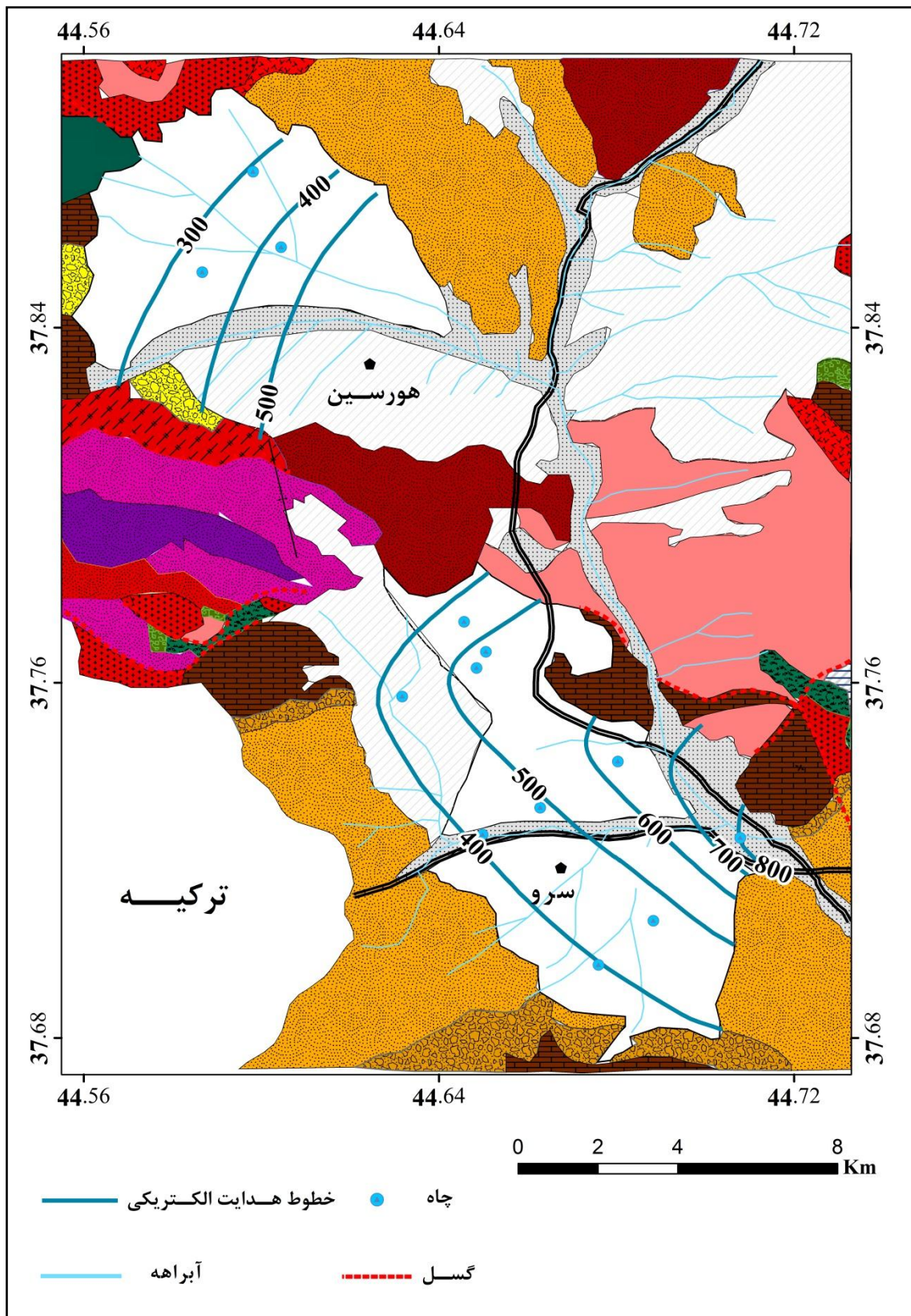
همانطوری که از شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود، در دشت هورسین حداقل مقدار هدایت الکتریکی حدود ۳۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و حداکثر مقدار آن بیش از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. در نقشه هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی مقدار هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که نقشه هدایت الکتریکی با نقشه هم‌پتانسیل مطابقت دارد. با توجه به اینکه جهت جریان آب زیرزمینی از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی دشت هورسین می‌باشد، بنابراین روند افزایش مقدار هدایت

الکتریکی نیز مطابق با جهت جریان آب زیرزمینی از شمال غربی به سمت جنوب شرقی دشت هورسین می‌باشد.

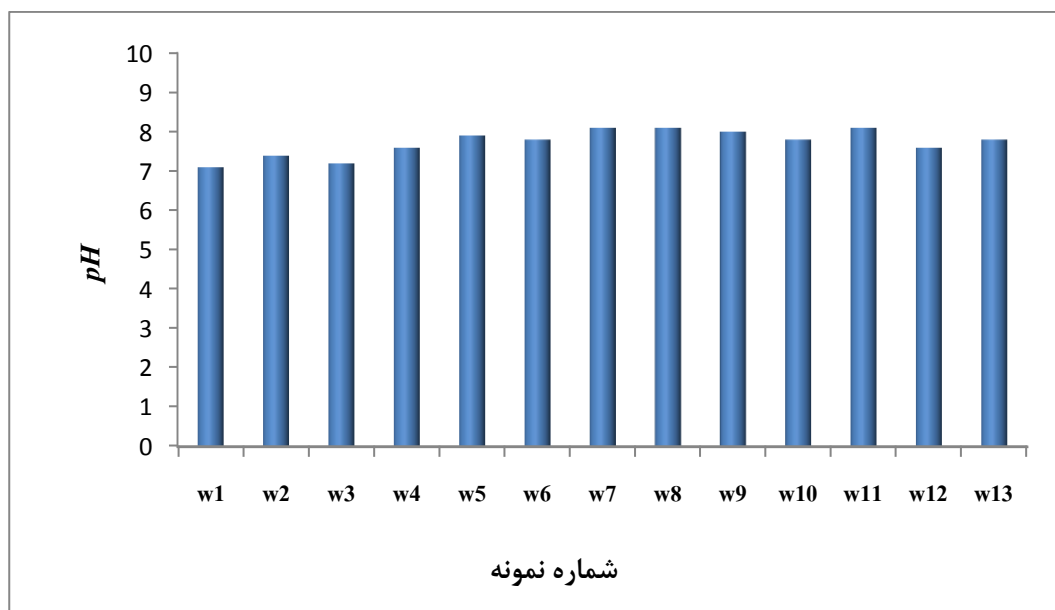
مقدار هدایت الکتریکی در دشت سرو از ۴۰۰ تا بیش از ۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. با توجه به نقشه هدایت الکتریکی ملاحظه می‌گردد که در دشت سرو در جهت جریان آب زیرزمینی هدایت الکتریکی نیز افزایش پیدا می‌کند. هدایت الکتریکی از حدود ۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر از سمت غرب، شمال غرب و جنوب به حدود ۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در سمت جنوب شرق دشت افزایش یافته است. با توجه به اینکه دشت هورسین در بخش ورودی آبخوان واقع شده و اکثر سازندهای زمین‌شناسی این دشت از نوع سنگهای ولکانیکی می‌باشد، در نتیجه آب‌های زیرزمینی این دشت از املاح کمتر و کیفیت مناسبی برخوردارند. اما در دشت سرو به دلیل نزدیک شدن به محل تخلیه و کاهش نفوذپذیری، آب‌های زیرزمینی این دشت نسبت به دشت هورسین املاح بیشتری را دارا هستند.

#### ۴-۲-۲- بررسی مقادیر pH منطقه مورد مطالعه

pH از مهم‌ترین خواص فیزیکوشیمیایی آب است که نشان‌دهنده یون هیدروژن در آب می‌باشد. pH آب‌های طبیعی بین ۶ تا ۹ است که برای آب شرب محدوده ۷ تا ۸/۵ مطلوب می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه تغییرات pH ناچیز می‌باشد به طوری که کمترین pH حدود ۷/۱ و بیشترین مقدار آن حدود ۸/۱ می‌باشد. بنابراین می‌توان این چنین اظهار نمود که مقادیر pH در آب‌های زیرزمینی منطقه در حدود آب‌های طبیعی قرار گرفته‌اند. شکل (۴-۸) مقادیر اسیدیته نمونه‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- نقشه هدایت الکتریکی منطقه مطالعاتی



شکل ۴-۸- نمودار تغییرات pH در منطقه مطالعاتی

#### ۴-۲-۳- ارزیابی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منطقه

کیفیت آب زیرزمینی به دو عامل، منشاء آب زیرزمینی (آب رودخانه یا آب بارندگی) و واکنش‌های شیمیایی بین آب و محیطی که آب در آن جریان است، بستگی دارد. معمولاً جهت تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، پس از نمونه‌گیری، آزمایش‌های تجزیه شیمیایی روی نمونه‌ها انجام شده و با مقایسه نتایج با مقادیر استاندارد، کیفیت آب جهت هر نوع مصرف مشخص می‌گردد. عناصر و ترکیبات مختلفی در آب‌ها وجود دارند که روی کیفیت شیمیایی و فیزیکی مؤثر می‌باشند. در این میان بررسی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی می‌توانند بسیاری از ویژگی‌های آب را نشان داده و به کمک آن‌ها، سایر مشخصات آب نیز تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه تغییرات یون‌های اصلی در آب زیرزمینی روند خاصی را نشان نمی‌دهند، نقشه تغییرات مکانی برای این یون‌ها ترسیم گردید.

#### الف- تغییرات یون سدیم

یکی از عنصرهای تأثیرگذار بر کیفیت منابع آبی، عنصر سدیم می‌باشد به طوری که غلظت بالای آن باعث افزایش املاح در آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش شوری می‌شود. نقشه (۴-۹)

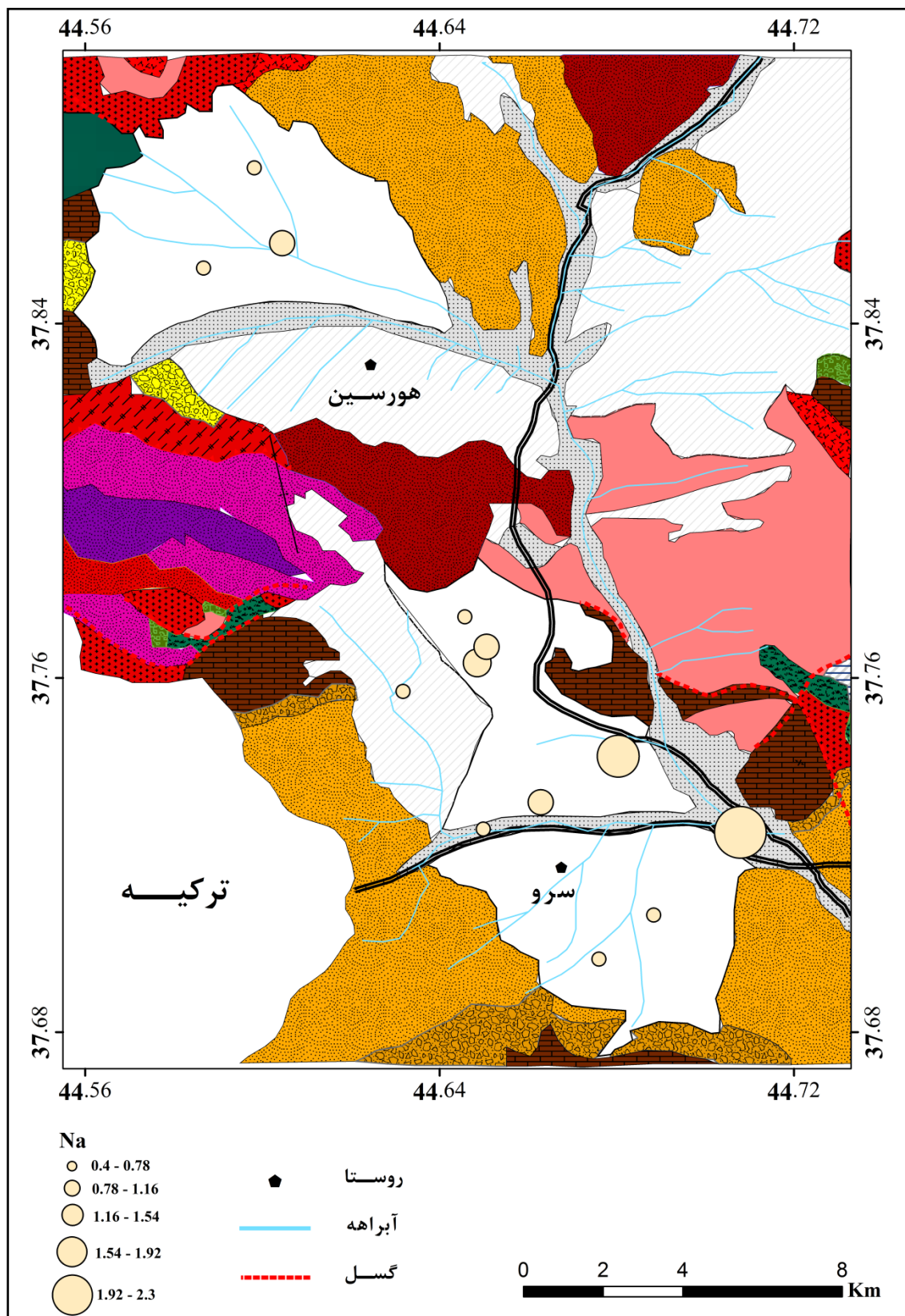
تغییرات مکانی یون سدیم را در منطقه نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود، حداقل غلظت یون سدیم در منطقه مورد مطالعه برابر با  $0/4$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر و حداکثر غلظت آن برابر با  $2/3$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. به طوری که نمونه‌های واقع در نواحی شمال غربی دشت هورسین و بخش‌های غربی و جنوب غربی دشت سرو دارای مقادیر کم سدیم می‌باشند و نواحی واقع در شرق و جنوب شرقی دشت سرو مقدار سدیم بیشتری را دارا هستند. دلیل بالا بودن سدیم در این نواحی ممکن است، ورود آبهای سطحی (رودخانه) به داخل آب زیرزمینی و مدت زمان اقامت آب و همچنین فاصله از منطقه تغذیه به منطقه تخلیه باشد. قابل ذکر است که مقادیر یون سدیم تغییرات بسیار کمی را در منطقه نشان می‌دهد که به دلیل شرایط لیتولوژی مناسب در منطقه و پایین بودن مقدار درجه حرارت در منطقه می‌باشد.

#### ب- تغییرات یون کلسیم

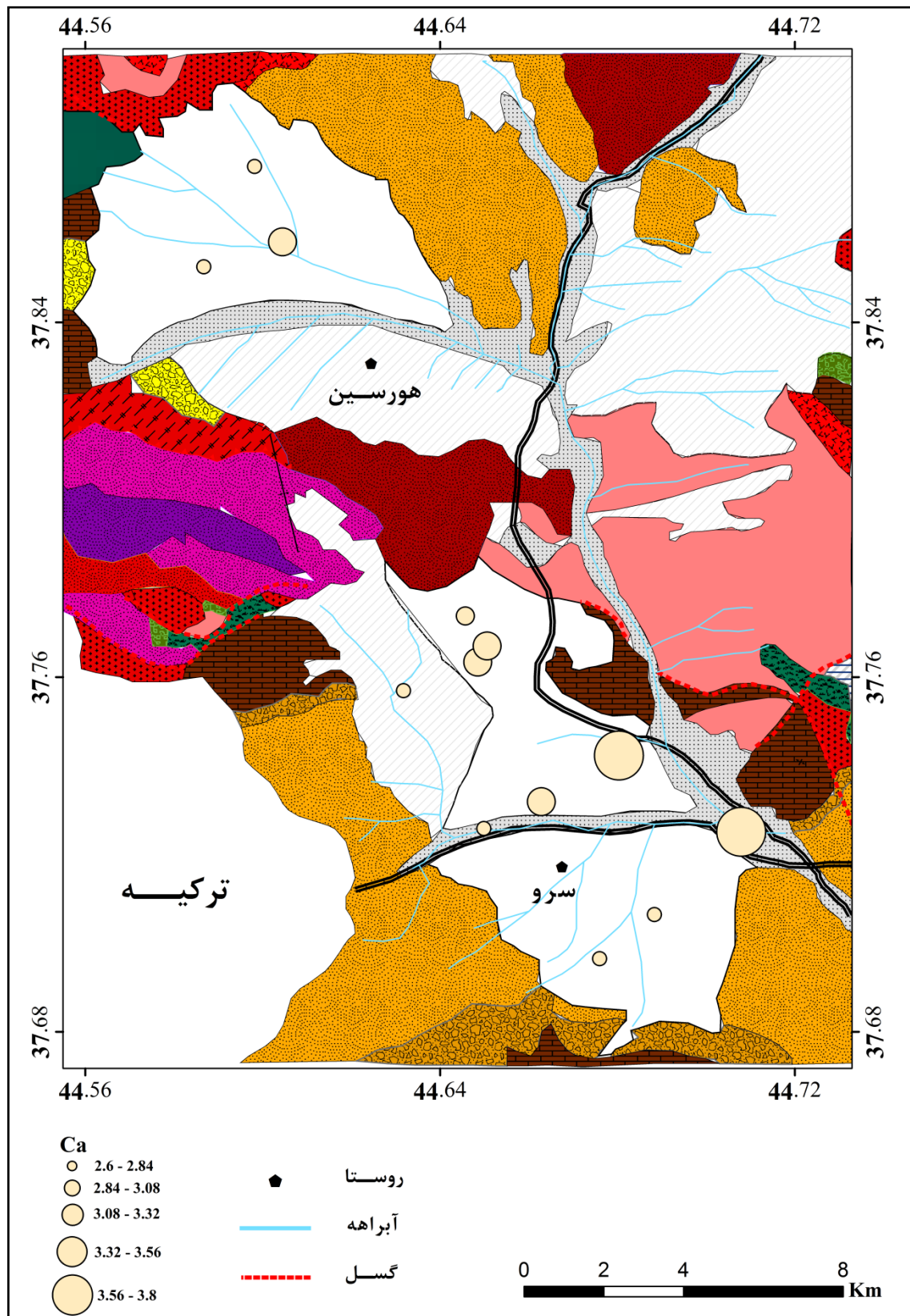
شکل (۴-۱۰) نقشه تغییرات مکانی یون کلسیم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۱۰)، کمترین مقدار یون کلسیم حدود  $2/6$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین مقدار آن حدود  $3/8$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

#### ج- تغییرات یون منیزیم

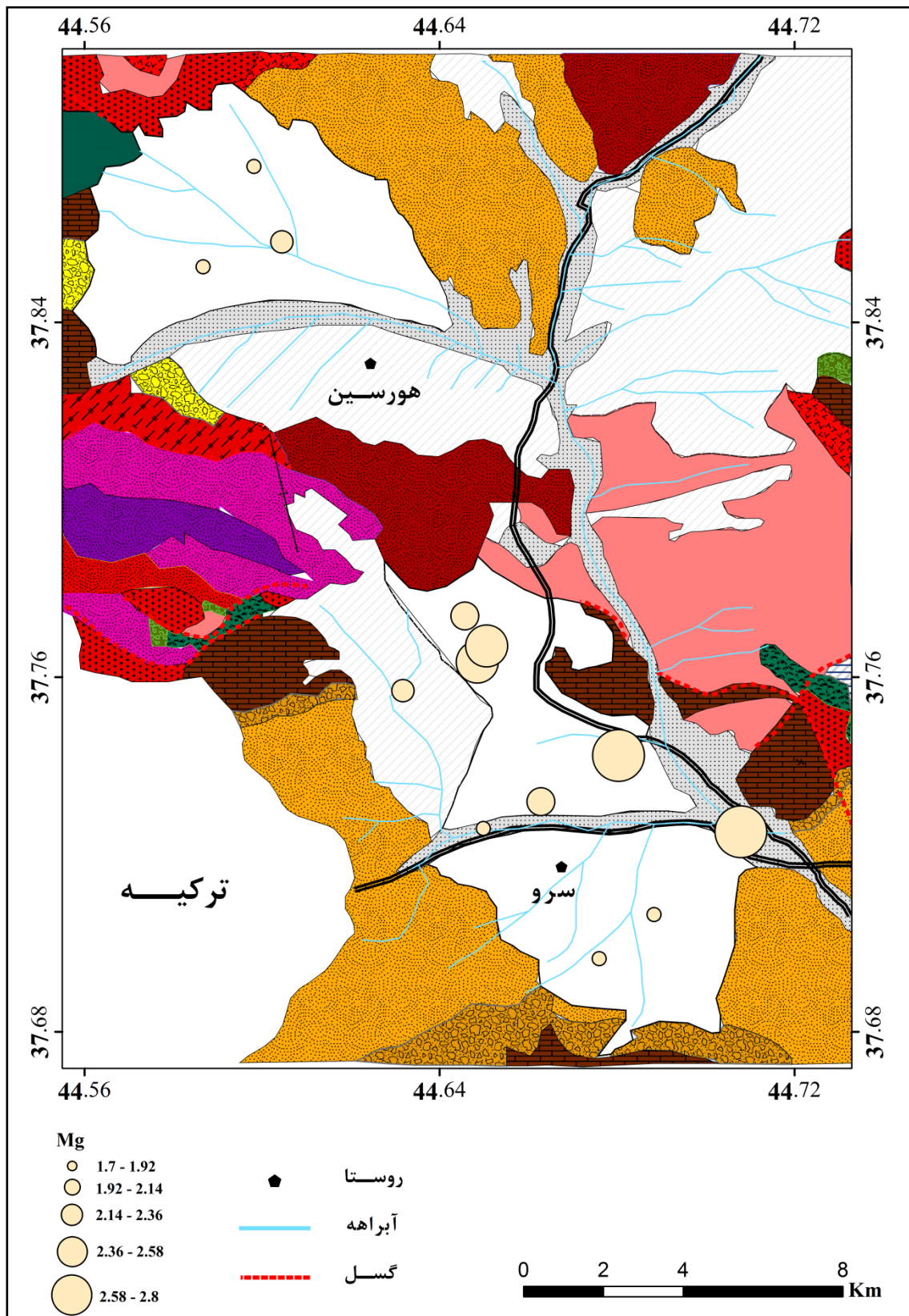
شکل (۴-۱۱) نقشه تغییرات مکانی یون منیزیم را نشان می‌دهد. همانطوری که مشاهده می‌گردد، کمترین مقدار منیزیم برابر  $1/7$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین مقدار آن برابر  $2/8$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.



شکل ۴-۹- نقشه تغییرات مکانی یون سدیم



شکل ۴-۱۰ نقشه تغییرات مکانی یون کلسیم



شکل ۴-۱۱- نقشه تغییرات مکانی یون منیزیم

#### د- تغییرات یون سولفات

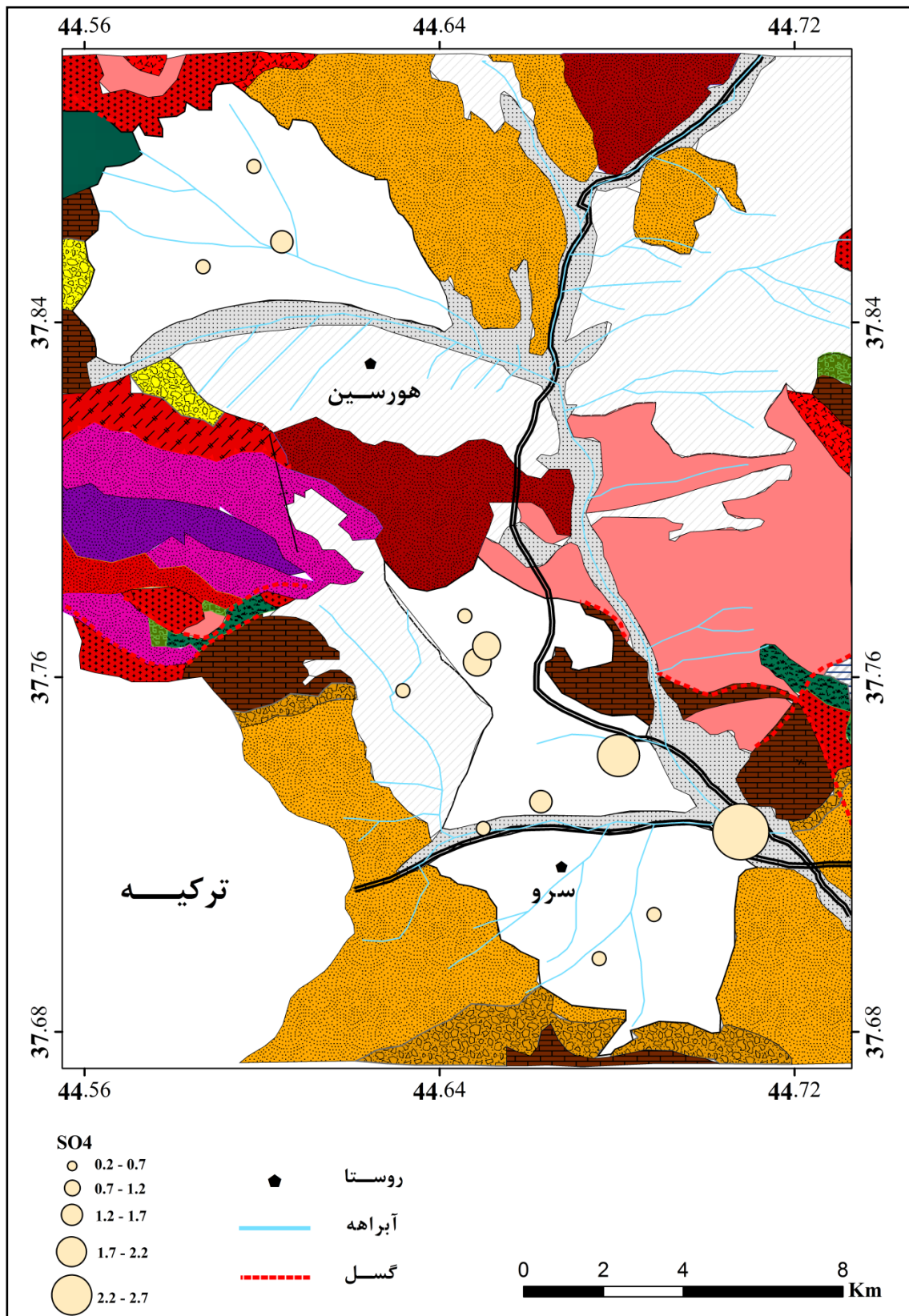
سولفات در تمام آب‌های طبیعی به مقدار فراوان وجود دارد. سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب محلول‌اند، اما سولفات‌های کلسیم یا گچ قابلیت حل محدودی دارند (علیزاده ۱۳۸۷). منشاء اصلی سولفات، ژیپس، انیدریت و اکسیداسیون سنگ معدن سولفید است. با توجه به شکل (۴-۱۲) مقدار سولفات در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه سرو بین ۰/۲ تا ۲/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر می‌باشد.

#### ذ- تغییرات یون بی‌کربنات

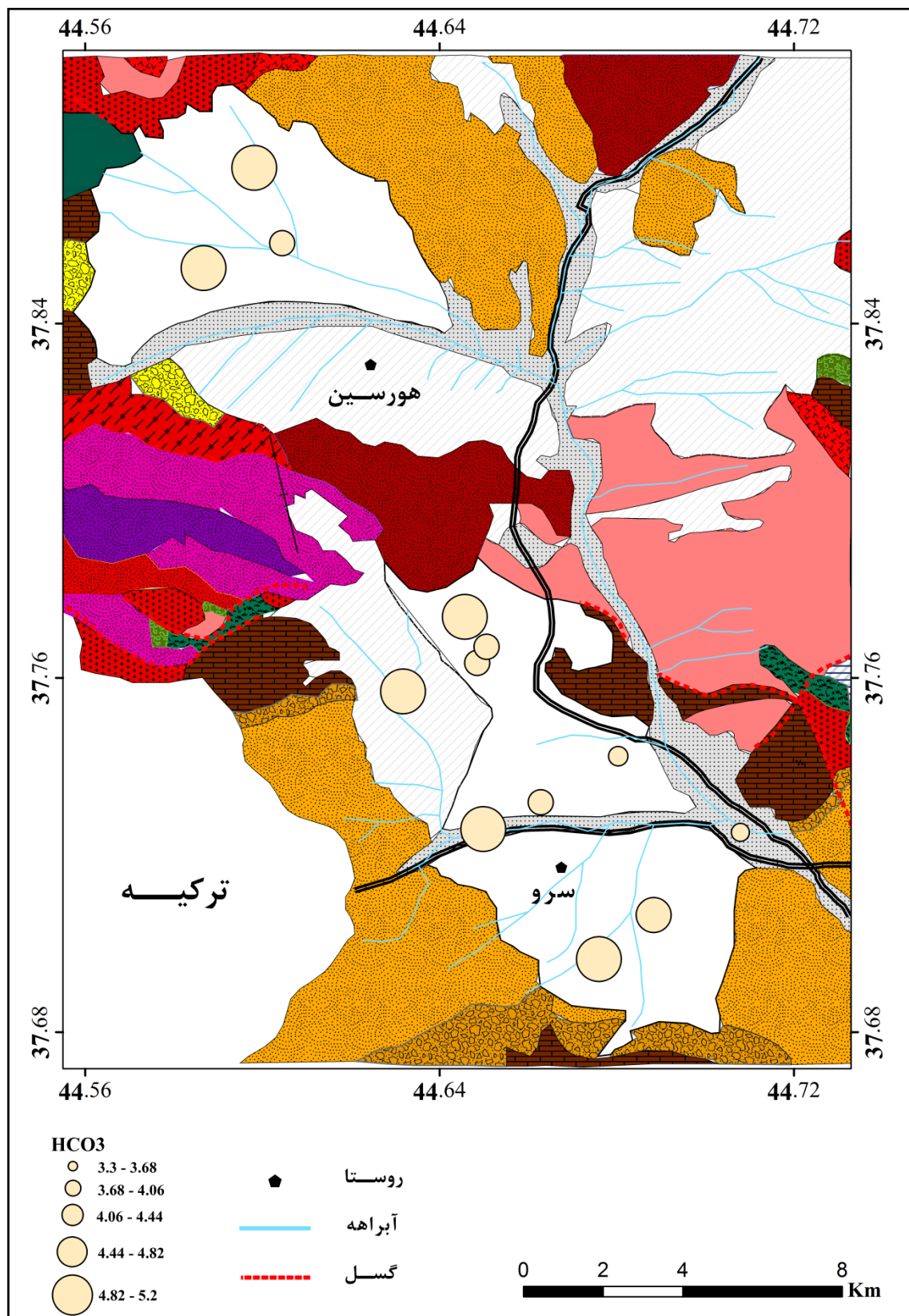
بی‌کربنات مهم‌ترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی است. این یون در اثر فرایندی که در نتیجه واکنش دی‌اکسید کربن و آب با کانی‌های مختلف صورت می‌گیرد ایجاد می‌شود. شکل (۴-۱۳) نقشه تغییرات مکانی یون بی‌کربنات را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۴-۱۳) دیده می‌شود، کمترین مقدار بی‌کربنات برابر ۳/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین مقدار این یون برابر ۵/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. مقدار بالای این یون به دلیل وجود سازندهای آهکی و دولومیتی در منطقه می‌باشد.

#### ر- تغییرات یون کلر

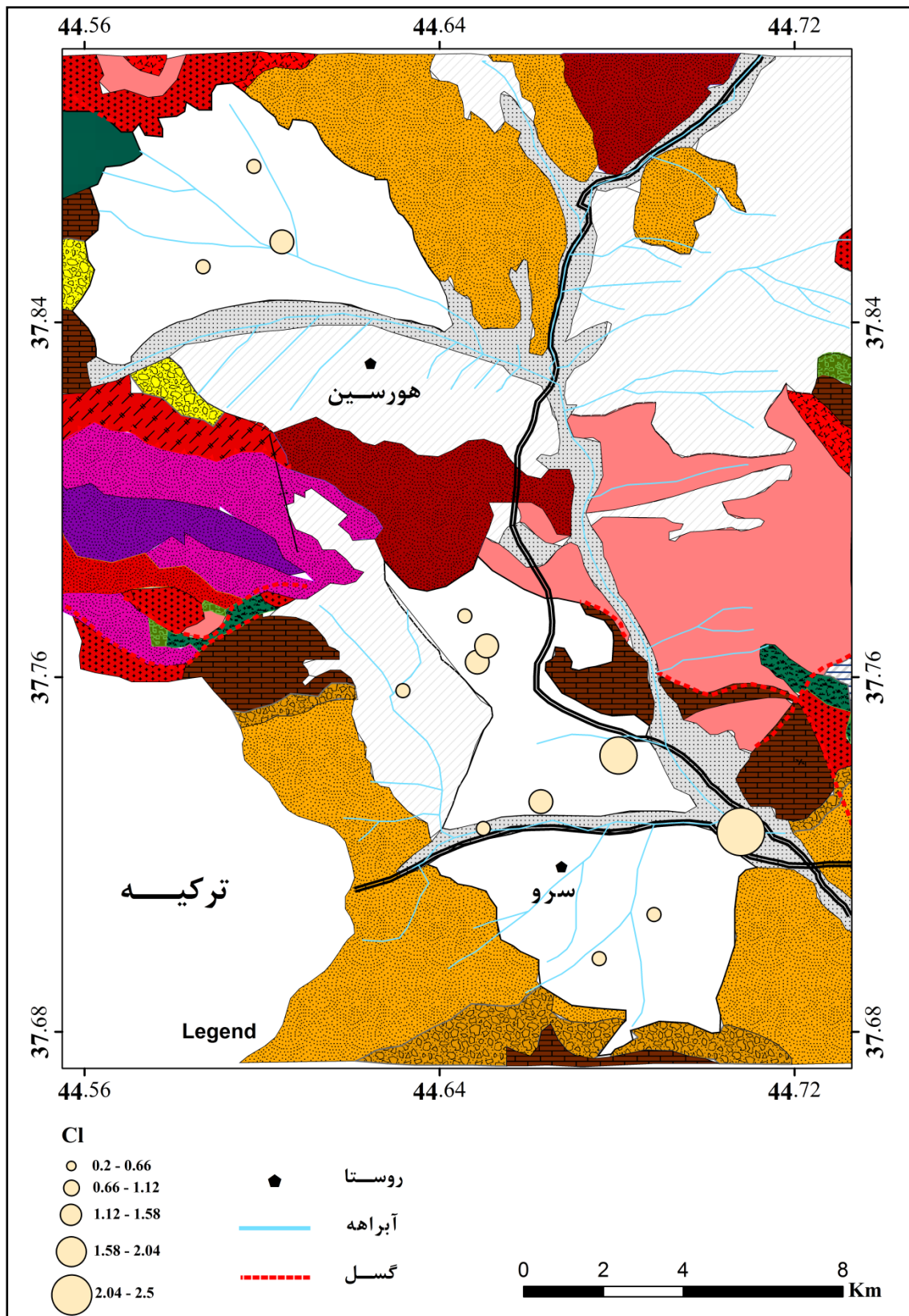
یکی از آنیون‌های اصلی نمک‌های محلول که بر کیفیت و شوری منابع آبی تأثیرگذار است عنصر کلر می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به زمین‌شناسی منطقه که جنس بیشتر سنگ‌های منطقه، آذرین می‌باشد، یون کلر تغییرات ناچیزی را نشان می‌دهد. شکل (۴-۱۴) نقشه تغییرات یون کلر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۱۴)، حداقل غلظت کلر برابر ۰/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و حداکثر غلظت آن برابر ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد که این نشان‌دهنده مناسب بودن کیفیت آب برای مصارف گوناگون است.



شکل ۴-۱۲- نقشه تغییرات مکانی یون سولفات



شکل ۴-۱۳- نقشه تغییرات مکانی یون بی کربنات



شکل ۴-۱۴- نقشه تغییرات مکانی یون کلر

#### ۴-۲-۴- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منطقه با استفاده از نمودارهای کیفی

بکارگیری نمودارهای کیفی برای ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌تواند از دیدگاه‌های مختلف حائز اهمیت باشد. برای مثال طبقه‌بندی آب‌ها، مقایسه زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی و مقایسه منشاء آنها از موارد مهمی است که می‌تواند در نمودارهای کیفی مورد توجه قرار گیرد. در این قسمت از نمودارهای پایپر، استیف و شولر استفاده شد.

#### الف- نمودار پایپر

روند تکامل هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی می‌تواند توسط آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمودار پایپر نشان داده شود. پراکندگی و تنوع رخساره‌های ژئوشیمیایی با استفاده از نشانه‌هایی که در تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌ها به وجود می‌آید تعیین می‌شوند.

نمودار مثلثی پایپر می‌تواند رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی را تعیین کند زیرا آنها به طور واضح رابطه بین مهمترین عناصر حل شده در نمونه‌های آب زیرزمینی را نشان می‌دهند.

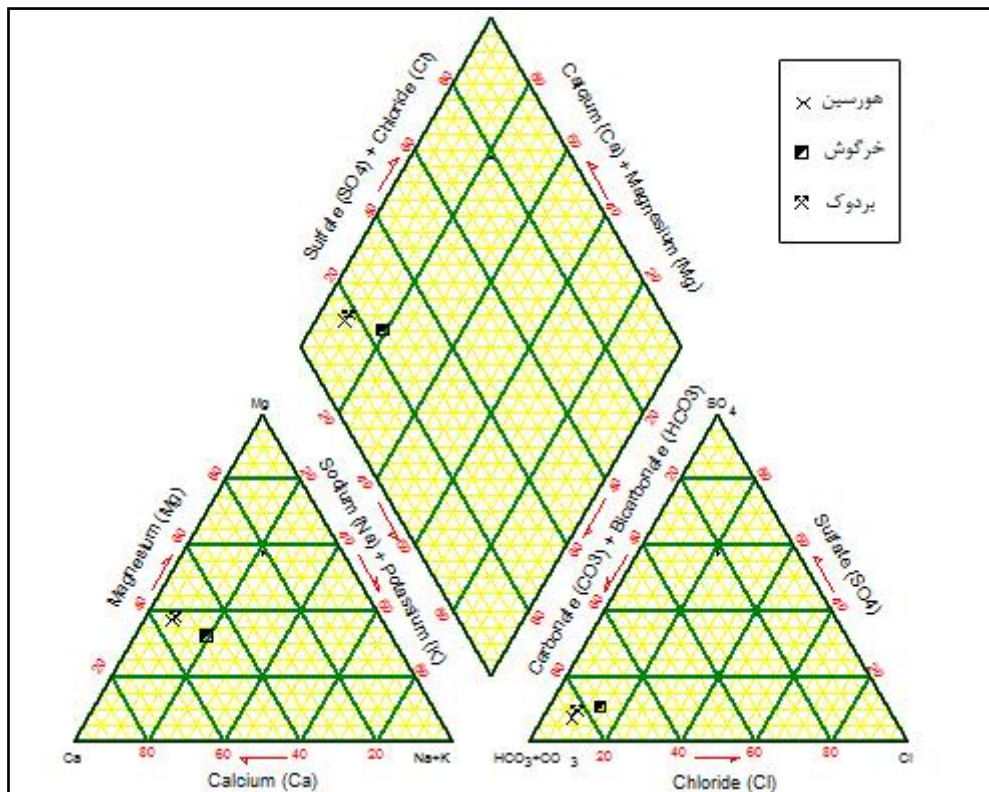
در طبقه‌بندی پایپر، آب‌ها بر اساس آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلروره و نیز بر پایه کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیمی، کلسیمی و سدیمی تقسیم‌بندی می‌شوند.

نمودار پایپر برای دشت‌های سرو و هورسین به صورت جداگانه ترسیم گردید. شکل (۴-۱۵) نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که عناصر قلیایی خاکی و اسیدهای ضعیف به ترتیب غالب‌ترین زون‌های کاتیونی و آنیونی را شامل می‌شوند. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که تمامی نمونه‌ها در گوشه چپ لوزی واقع شده‌اند که بیانگر بالا بودن کیفیت آب در دشت هورسین می‌باشد.

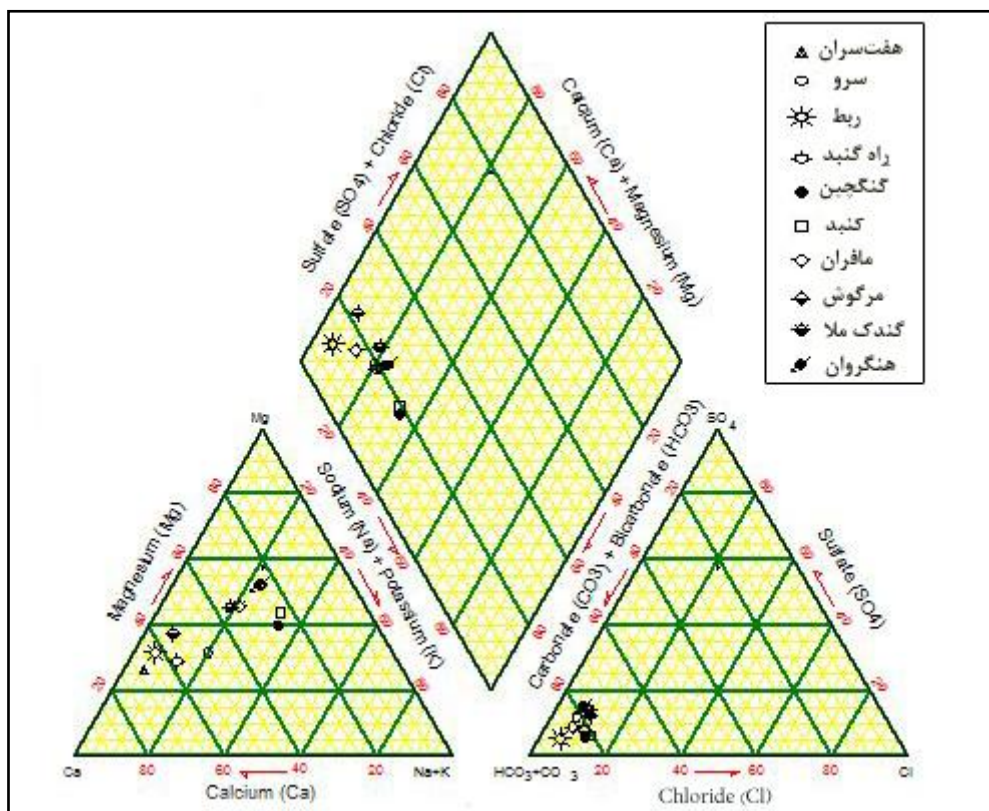
نمودار پایپر ترسیم شده برای دشت سرو در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است. با توجه به نمودار ترسیم شده، مشاهده می‌گردد که نمونه‌های آب زیرزمینی این دشت نیز همانند دشت هورسین در گوشه سمت چپ لوزی قرار گرفته‌اند. این مطلب بیانگر این است که املاح محلول در این آبها نسبتاً کم می‌باشد و این آبها کیفیت بالایی را شامل می‌شوند. در دشت سرو نیز همانند با دشت هورسین، عناصر قلیایی خاکی بر عناصر قلیایی غلبه دارند و هم‌چنین اسیدهای ضعیف بر اسیدهای قوی غلبه دارند.

#### ب- نمودار استیف

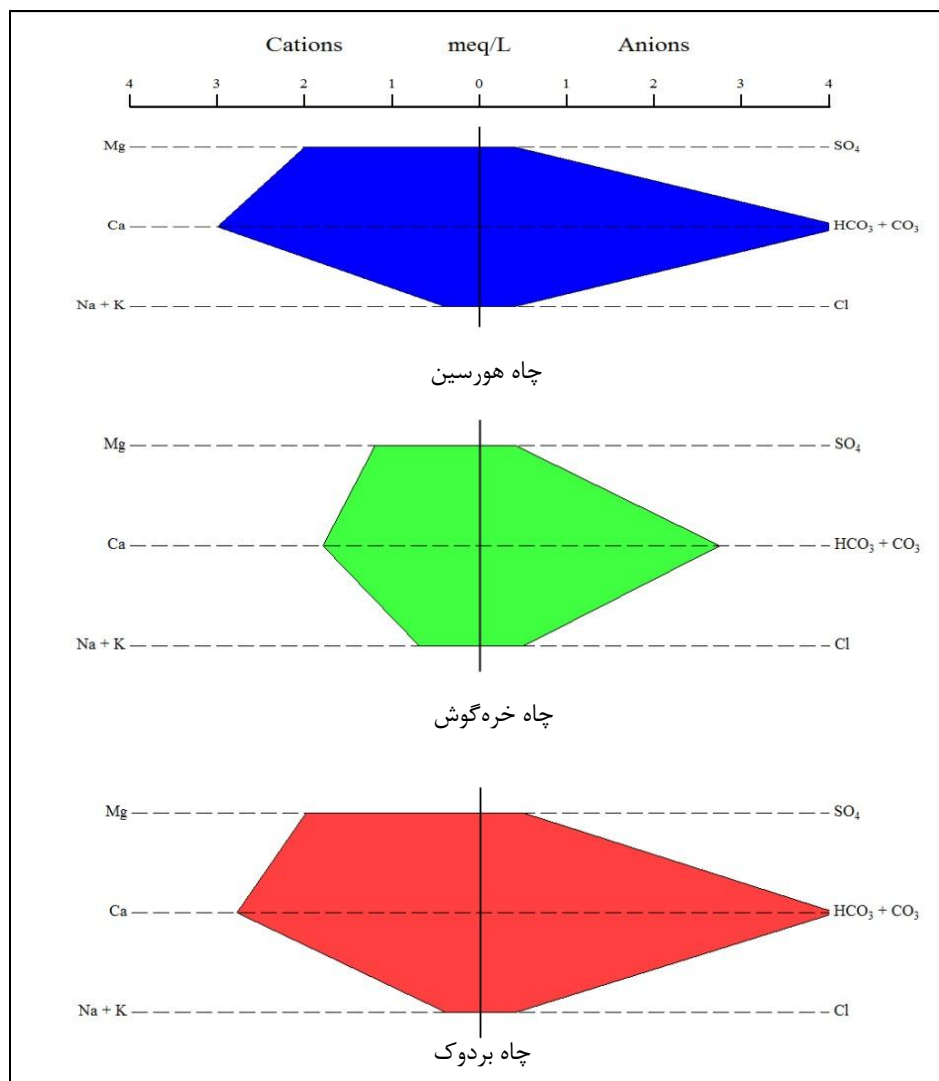
در نمودار استیف، تمرکز نسبی یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، بی‌کربنات و سولفات به صورت اشکال چند ضلعی برای هر نمونه به صورت جداگانه نشان داده می‌شود. هم‌چنین در این نمودار مقایسه مشاهده‌ای سریع بین نتایج آنالیزهای انفرادی داده‌ها امکان‌پذیر است. در این نمودار نیز همانند نمودار پایپر، سه تیپ بی‌کربناته، سولفاته و کلروره و سه رخساره سدیمی، منیزیمی، کلسیمی برای انواع آبها در نظر گرفته می‌شود. به علاوه، جهت تعیین تیپ آب در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از این نمودار استفاده می‌گردد. شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های هورسین و سرو را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۴-۱۷) ملاحظه می‌شود، تیپ و رخساره تمام نمونه‌های آب در دشت هورسین بی‌کربناته - کلسیک می‌باشد.



شکل ۴-۱۵- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین



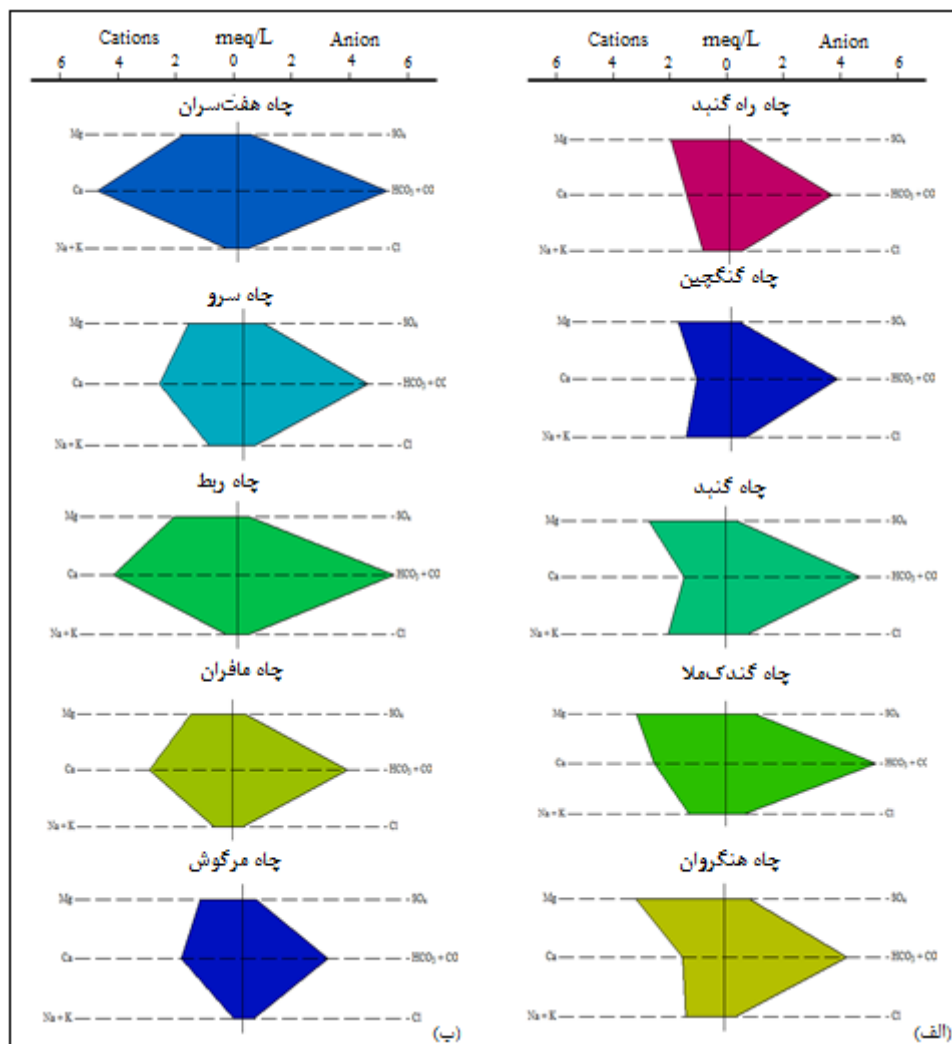
شکل ۴-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو



شکل ۴-۱۷- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین

بر اساس نمودار استیف ترسیم شده برای دشت سرو، ملاحظه می‌شود که این دشت می‌تواند به دو زون تقسیم‌بندی شود. در زون یک، تیپ و رخساره آب‌ها بی‌کربناته- منیزیک می‌باشد. همانطور که شکل (۴-۱۸) نشان می‌دهد، این زون در سمت شمال و شرق دشت سرو واقع شده است. به احتمال زیاد در این بخش از دشت کانی‌های حاوی منیزیم از قبیل منیزیت، دولومیت و سیلیکات‌های منیزیم‌دار در رسوبات و نهشته‌های آبرفتی به طور نسبی فراوانتر

می‌باشند. در زون دو، تیپ و رخساره غالب آبها بی‌کربناته- کلسیک است که بیانگر غلبه با کانی‌های کلسیم‌دار از قبیل کلسیت و ژیپس می‌باشد.

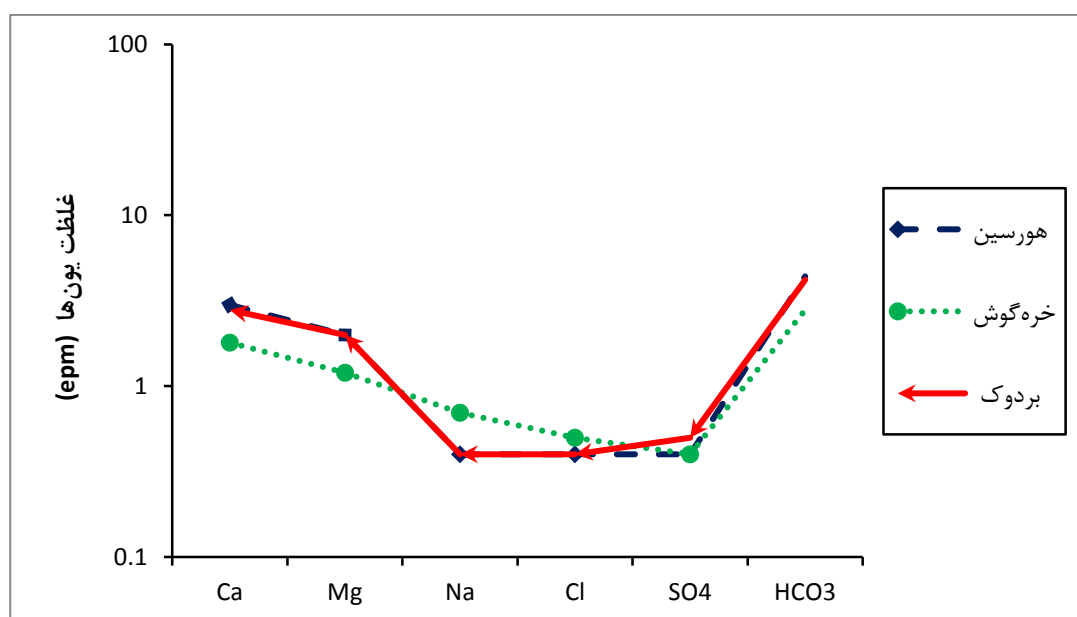


شکل ۴-۱۸- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو: الف) زون ۱ ب) زون ۲

### ج-نمودار نیمه‌لگاریتمی شولر

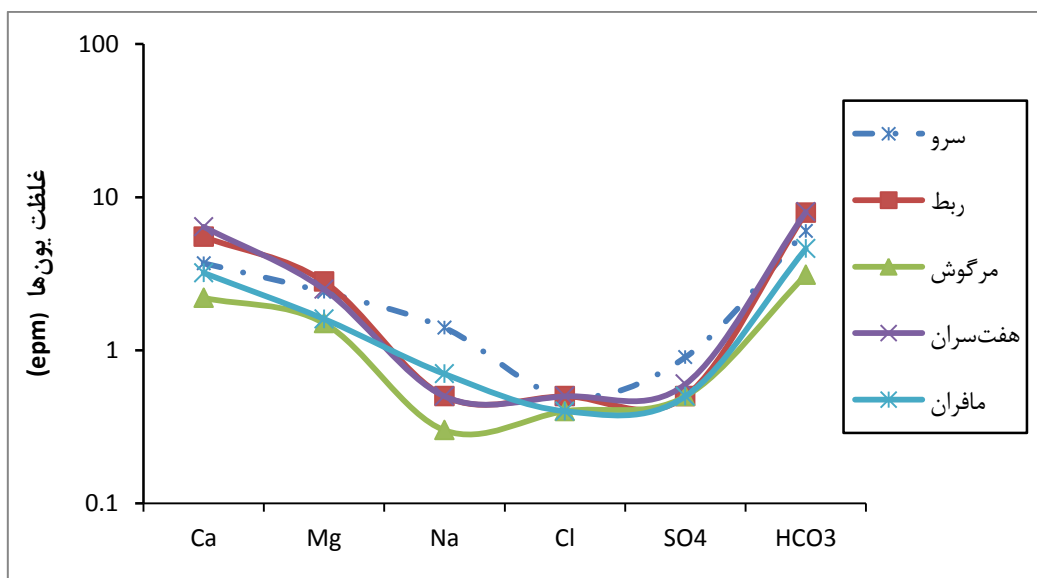
به منظور بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی از نمودار شولر استفاده می‌شود. نمودار شولر یک نمودار نیمه‌لگاریتمی است که محور افقی آن مقادیر یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات را بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر نشان می‌دهد و محور قائم آن غلظت یون‌ها را به صورت لگاریتمی نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار 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، بیانگر آن است که نسبت این دو یون در هر دو نمونه مساوی است (Todd and Mays 2005).  
بر اساس نمودار نیمه‌لگاریتمی شکل (۴-۱۹) ملاحظه می‌گردد که تمام نمونه‌ها در دشت هورسین کم و بیش دارای روند یکسانی می‌باشند و بنابراین منشاء تمامی نمونه‌ها تقریباً یکسان می‌باشد.

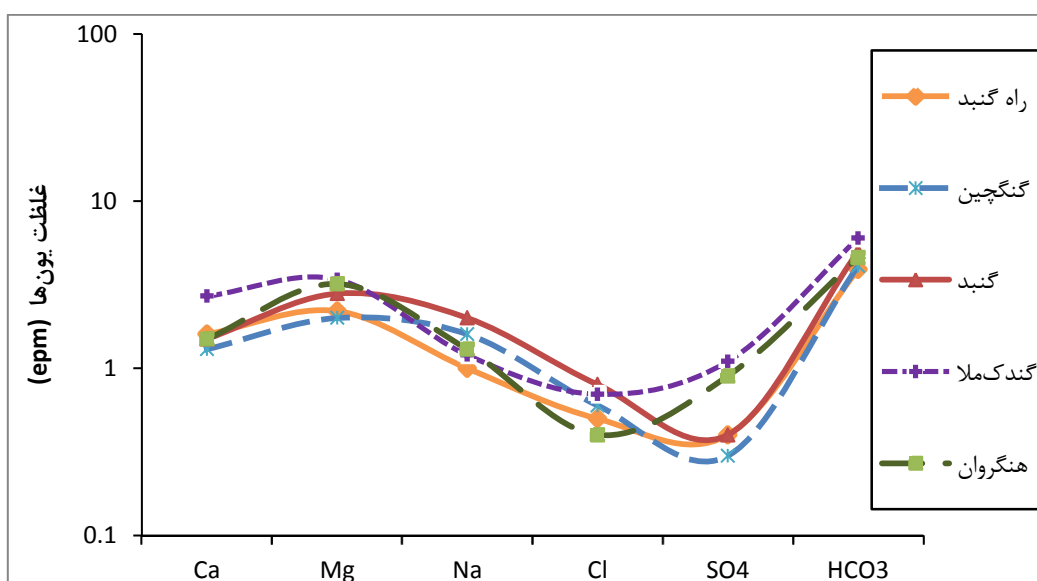


شکل ۴-۱۹- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هورسین

نمودار شولر برای نمونه‌های آب مربوط به دشت سرو نیز ترسیم شده است (شکل ۴-۲۰). بر اساس این نمودار ملاحظه می‌شود که این دشت می‌تواند به دو گروه تقسیم‌بندی شود. گروه اول نمونه‌های واقع در غرب و جنوب غربی دشت سرو را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴-۲۰) مشاهده می‌شود، اکثر نمونه‌ها کم و بیش دارای روند یکسانی می‌باشند که بیانگر یکی بودن منشاء نمونه‌های دشت سرو است. گروه دوم نمونه‌های واقع در نواحی شرق و شمال شرقی دشت سرو را نشان می‌دهد. با توجه به روند تمامی نمونه‌ها در شکل (۴-۲۰) مشاهده می‌شود که نمونه‌های واقع در این نواحی از نظر غلظت یونهای اصلی دارای منشاء یکسانی هستند.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۲۰- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سرو: الف) زون ۱ (ب) زون ۲

#### ۴-۲-۵- ارزیابی پارامترهای کیفی محاسبه شده در منطقه سرو

مهمترین پارامترهای کیفی که معمولاً با غلظت یونهای اصلی محاسبه می‌شوند شامل کل مواد جامد محلول، سختی، درصد سدیم و نسبت جذب سدیم می‌باشد. این پارامترها برای نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه سرو به طور خلاصه ارائه می‌شوند:

## الف- کل مواد جامد محلول

منظور از TDS کل ناخالصی‌های جامد حل شده در آب است که نشان‌دهنده مجموع غلظت همه یونهای موجود در آب می‌باشد. مقدار TDS نمونه‌های آب در منطقه مطالعاتی از دو روش قابل اندازه‌گیری است:

### - روش تبخیر

یکی از روش‌های تعیین TDS این است که حجم مشخصی از نمونه آب را گرفته و پس از صاف کردن، نمونه آب را تبخیر کرده، وقتی که تمام آب تبخیر شد، رسوب باقیمانده خشک باقی می‌ماند که در واقع همان ترکیبات قبلی در نمونه آب هستند. با وزن کردن باقیمانده خشک می‌توان وزن مواد جامد محلول را بر حسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرد.

### - روش محاسباتی

روش دیگر اندازه‌گیری TDS روش محاسباتی می‌باشد. در این روش با استفاده از معادله (۱-۴) مقدار کل مواد جامد محلول را می‌توان بدست آورد. با توجه به معادله (۱-۴) مقدار کل مواد جامد محلول در منطقه سرو برآورد گردید. به این ترتیب که کمترین مقدار TDS در منطقه مطالعاتی برابر ۱۹۵ میلی‌گرم بر لیتر و بیشترین مقدار آن برابر ۵۲۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

$$TDS_{(mg/l)} = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+] + [Cl^-] + [SO_4^{2-}] + 0.59 [HCO_3^-] \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

## ب- سختی

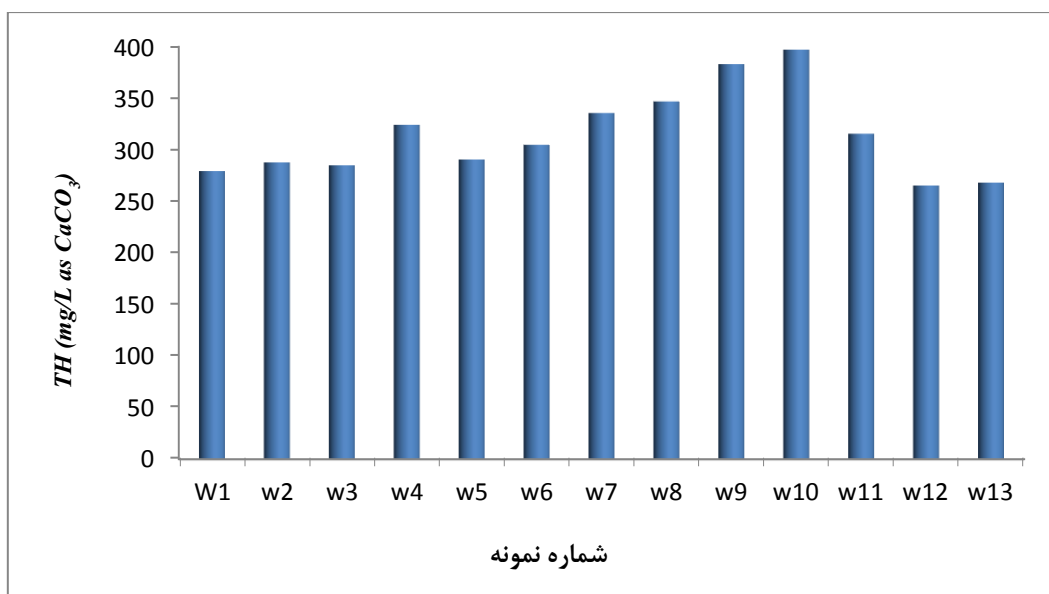
غلظت بالای مقادیر کلسیم و منیزیم یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در افزایش سختی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری سختی (TH<sup>۱</sup>) آب زیرزمینی از معادله (۲-۴) استفاده شده است. با استفاده از معادله فوق، سختی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup> Total Hardness

برآورد گردید. شکل (۴-۲۱) نمودار تغییرات سختی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه سرو را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار شکل (۴-۲۱) ملاحظه می‌شود، سختی آب نمونه‌های منطقه مطالعاتی دارای محدوده‌ای بین ۲۶۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم در بخش شمالی دشت هورسین و ۳۹۷ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم در بخش جنوبی دشت سرو می‌باشد. این نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در بخش‌های ورودی آبخوان دارای سختی متوسط و در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه دارای سختی زیاد می‌باشد. به طور کلی آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعاتی دارای سختی کم تا متوسط می‌باشند.

$$TH (mg / L \text{ as } CaCO_3) = 2.5 [Ca^{2+}] + 4.1 [Mg^{2+}] \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

غلظت کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است.



شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات سختی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی

#### ج- درصد سدیم و نسبت جذب سدیم

غلظت سدیم یکی از مهم‌ترین پارامترها در هیدروژئوشیمی منابع آب، به ویژه ارزیابی کیفیت آب آبیاری، می‌باشد. دلیل این مطلب از این قرار است که سدیم هم خصوصیات

فیزیکی خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و هم باعث مسمومیت‌زایی برای گیاهان می‌شود. از آنجایی که غلظت سدیم بسیار حائز اهمیت است، پارامترهای مختلفی برای بیان آن استفاده می‌شود که دو مورد از معروفترین آنها درصد سدیم و نسبت جذب سدیم می‌باشد.

#### - درصد سدیم

با استفاده از معادله (۳-۴) می‌توان مقدار درصد سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را اندازه‌گیری کرد. حداقل درصد سدیم در منطقه مطالعاتی حدود ۸/۵ می‌باشد که در دشت هورسین واقع شده است و حداکثر درصد سدیم مربوط به بخش جنوب شرقی دشت سرو با مقدار ۲۷/۴ می‌باشد.

$$\%Na = \frac{(Na + K)}{Ca + Mg + Na + K} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

واحد غلظت یونها برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر (epm)، می‌باشد (Todd 2007).

#### ب- نسبت جذب سدیم

به منظور تعیین مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) در منطقه سرو از معادله (۴-۴) استفاده شده است. با توجه به معادله فوق، حداقل مقدار نسبت جذب سدیم حدود ۰/۲۷ و حداکثر مقدار آن حدود ۱/۳ برآورد شده است.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}} \quad \text{معادله (۴-۴)}$$

غلظت یونها در معادله با واحد میلی‌اکی والان بر لیتر (epm)، بیان می‌شود.

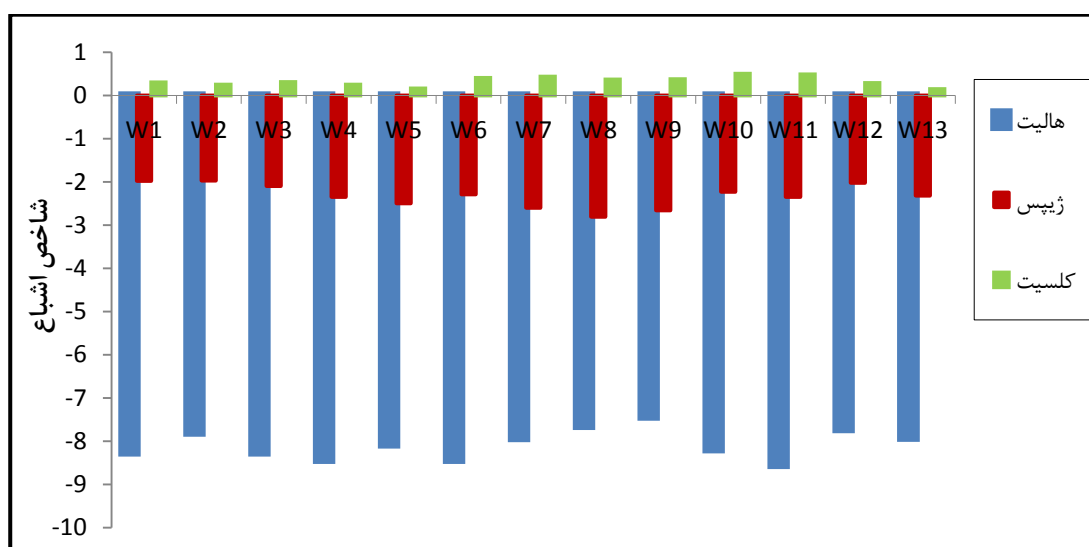
#### ۴-۲-۶- ارزیابی شاخص‌های اشباع در نمونه‌های آب منطقه سرو

جهت ارزیابی وضعیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به لحاظ مقدار حلالیت یا رسوب‌دهندگی کانی‌ها و شناخت منشاء شوری، مقادیر شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت برای تمام نمونه‌های آب منطقه با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC محاسبه شده است. نتایج این محاسبات در جدول (۴-۶) ارائه شده است. با توجه به شاخص‌های اشباع، می‌توان حالت تعادل یا اشباع‌شدگی آب زیرزمینی را نسبت به کانی‌ها تعیین کرد. به طوری که اگر مقدار شاخص اشباع صفر باشد، کانی به حالت اشباع رسیده است. مقادیر بیشتر از صفر یا مقادیر مثبت حالت فوق اشباع را نشان می‌دهند که کانی در این شرایط رسوب می‌کند. حالت تحت اشباع نیز وقتی روی می‌دهد که مقادیر نمایه اشباع کمتر از صفر یعنی منفی باشد، در این حالت انحلال کانی اتفاق می‌افتد (Hiscock 2005).

همانطور که در شکل (۴-۲۲) ملاحظه می‌شود، شاخص اشباع کلسیت در تمام نقاط مثبت می‌باشد که بیانگر فوق اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این کانی می‌باشد. شاخص دولومیت نیز همانند شاخص کلسیت در تمام نمونه‌ها مثبت می‌باشد. مقادیر بالای شاخص‌های کلسیت و دولومیت به این خاطر است که کانی کلسیت و دولومیت در مقایسه با بقیه نمونه‌ها زودتر به حالت اشباع می‌رسد. با توجه به غالب بودن مواد کربناته در منطقه مطالعاتی این موضوع توجیه‌پذیر می‌باشد. شاخص اشباع ژیپس و هالیت در تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی منفی می‌باشد که تحت اشباع بودن کانی‌های فوق در آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. شاخص هالیت نسبت به شاخص ژیپس خیلی پایین‌تر از حالت اشباع است و دلیل آن حلالیت بالای هالیت در مقایسه با ژیپس می‌باشد.

جدول ۴-۶- شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه سرو

| نام محل  | کلسیت | ژیپس  | هالیت | دولومیت |
|----------|-------|-------|-------|---------|
| هفت‌سران | ۰/۳   | -۱/۹۸ | -۸/۲۶ | ۰/۱۹    |
| سرو      | ۰/۲۵  | -۱/۹۷ | -۷/۸  | ۰/۲۹    |
| ربط      | ۰/۳۱  | -۲/۱  | -۸/۲۶ | ۰/۲۸    |
| راه گنبد | ۰/۴۴  | -۲/۶  | -۷/۹۳ | ۰/۹۹    |
| گنگچین   | ۰/۳۷  | -۲/۸۱ | -۷/۶۵ | ۰/۹۱    |
| گنبد     | ۰/۳۸  | -۲/۶۶ | -۷/۴۳ | ۱       |
| مافران   | ۰/۵   | -۲/۲۳ | -۸/۱۹ | ۰/۶۸    |
| مرگوش    | ۰/۴۹  | -۲/۳۵ | -۸/۵۵ | ۰/۷۹    |
| گندک‌ملا | ۰/۲۹  | -۲/۰۲ | -۷/۷۲ | ۰/۶۴    |
| هنگروان  | ۰/۱۵  | -۲/۳۲ | -۷/۹۲ | ۰/۵۸    |
| هورسین   | ۰/۲۵  | -۲/۳۵ | -۸/۴۳ | ۰/۲۷    |
| خره‌گوش  | ۰/۱۶  | -۲/۵  | -۸/۰۸ | ۰/۱۱    |
| بردوک    | ۰/۴۱  | -۲/۲۹ | -۸/۴۳ | ۰/۶۵    |



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



## فصل پنجم:

### نتیجه گیری و پیشنهادها

در این فصل ابتدا نتایج حاصل از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه سرو به طور اختصار بیان می‌شود. سپس راهکارها و پیشنهادهایی به منظور تکمیل این تحقیق ارائه خواهد شد.

## ۵-۱- نتیجه‌گیری

### ۵-۱-۱- بررسی ضخامت آبرفت در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه هم‌ضخامت ترسیم شده در منطقه سرو، ملاحظه می‌شود که ضخامت آبرفت در دشت هورسین بین ۷۰ تا ۱۲۰ متر و در دشت سرو بین ۷۰ تا ۱۱۰ متر متغیر است. همچنین ملاحظه می‌شود که میانگین ضخامت آبرفت در دشت‌های هورسین و سرو کم و بیش با هم برابر بوده و حدود ۱۰۰ متر می‌باشد.

### ۵-۱-۲- ارزیابی جهت عمده جریان آب زیرزمینی در منطقه سرو

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل، در دشت هورسین مناطق عمده تغذیه آبخوان ارتفاعات شمال غربی و منطقه عمده تخلیه جنوب شرقی دشت می‌باشد. همچنین گرادیان هیدرولیکی در این دشت بین یک تا دو درصد متغیر می‌باشد. در دشت سرو، تغذیه دشت از طریق ارتفاعات شمال غربی، غربی و جنوبی دشت انجام می‌شود و جریان‌های تغذیه‌ای پس از همگرایی از بخش شرقی دشت تخلیه می‌شوند. گرادیان هیدرولیکی در این دشت بین ۰/۶ تا ۰/۸ درصد متغیر است.

### ۵-۱-۳- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه

با توجه به هیدروگراف واحد دشت هورسین، سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۳ روند افزایشی نشان می‌دهد که علت این امر به احتمال زیاد به خاطر سهم بیشتر برف از بارش

سالانه می‌باشد. از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ سطح آب زیرزمینی به روند کلی افت را نشان می‌دهد. به طوری که در طی دوره ۱۱ ساله سطح آب زیرزمینی به اندازه ۵/۶ متر افت داشته است که علت افت سطح آب زیرزمینی در این دشت به دلیل برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین در دشت سرو نیز در طی این دو سال اولیه یک روند افزایشی در سطح آب زیرزمینی دیده می‌شود و در سالهای بعدی روند کلی سطح آب زیرزمینی تقریباً ثابت می‌باشد. به طوری که در طی این دوره ۱۱ ساله سطح آب زیرزمینی به اندازه ۱/۵ متر افت داشته است.

#### ۵-۱-۴- بررسی مقادیر هدایت الکتریکی در منطقه

مقادیر هدایت الکتریکی در دشت هورسین بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و در دشت سرو بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. روند تغییرات هدایت الکتریکی در دشت هورسین دقیقاً با جهت جریان آب زیرزمینی همخوانی نشان می‌دهد. به این ترتیب که در جهت جریان آب زیرزمینی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز افزایش پیدا می‌کند. در دشت سرو نیز همانند با دشت هورسین، روند تغییرات هدایت الکتریکی با جهت جریان آب زیرزمینی همخوانی خوبی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که در این دشت، در جهت جریان آب زیرزمینی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش از سمت شمال غرب، غرب و جنوب دشت سرو به سمت جنوب شرقی در محل خروجی دشت می‌باشد. بالا بودن مقدار هدایت الکتریکی در بخش جنوب شرقی به دلیل فاصله از محل تغذیه و نزدیک شدن به محل تخلیه، کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش املاح موجود در آب زیرزمینی می‌باشد.

#### ۵-۱-۵- ارزیابی سایر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در منطقه سرو

##### الف- تیپ آب در دشت‌های هورسین و سرو

بر اساس نمودار استیف ترسیم شده برای دشت هورسین و سرو مشخص شد که در دشت هورسین تیپ غالب نمونه‌های آب زیرزمینی بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. تیپ غالب نمونه‌های

آب دشت سرو در نواحی شمال و شرق بی‌کربناته منیزیک و در نواحی غرب و جنوب غرب بی‌کربناته کلسیک می‌باشد.

#### ب- سختی آب در دشت‌های هورسین و سرو

سختی آب در دشت هورسین بین ۳۱۵-۲۶۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم متغیر است و در دشت سرو بین ۴۰۰-۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم متغیر می‌باشد.

#### ج- درصد سدیم در دشت هورسین و سرو

از آنجایی که غلظت سدیم یکی از پارامترهای مهم جهت مصارف آبیاری می‌باشد، از پارامتر درصد سدیم جهت بیان آن استفاده شده است. در منطقه هورسین درصد سدیم بین ۸/۵ تا ۱۳/۵ و در دشت سرو بین ۹/۵ تا ۲۷/۵ متغیر می‌باشد.

#### د- شاخص‌های اشباع

با توجه به نمودار شاخص اشباع، مشخص شد که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت در تمام نقاط مثبت می‌باشد که بیانگر فوق اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این کانی می‌باشد. مقادیر بالای شاخص‌های کلسیت و دولومیت به این خاطر است که کانی کلسیت و دولومیت در مقایسه با بقیه نمونه‌ها زودتر به حالت اشباع می‌رسد. با توجه به غالب بودن مواد کربناته در منطقه مطالعاتی این موضوع توجیه‌پذیر می‌باشد. شاخص اشباع ژپس و هالیت در تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی منفی می‌باشد که تحت اشباع بودن کانی‌های فوق در آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. شاخص هالیت نسبت به شاخص ژپس خیلی پایین‌تر از حالت اشباع است و دلیل آن حلالیت بالای هالیت در مقایسه با ژپس می‌باشد.

## ۵-۲- پیشنهادها

جهت بررسی‌های دقیق‌تر و جامع‌تر وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت‌های هورسین و سرو پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- انجام چند آزمایش پمپاژ به منظور تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان در دشت‌های هورسین و سرو

- احداث دو پیزومتر در دشت هورسین و سه پیزومتر در دشت سرو به منظور تکمیل شبکه پیزومتری این دو دشت

- اندازه‌گیری غلظت عناصر فرعی و کمیاب در دشت‌های هورسین و سرو

## منابع مورد استفاده

- اصغری مقدم ا. و جلالی ل. (۱۳۹۱)، "تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روشهای آماری و هیدرووشیمیایی"، مجله محیط‌شناسی. شماره ۲.
- امیرحسینی م. و کرمی غ. (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی تغییرات ۲۰ ساله سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- بساکي م. و کرمی غ. (۱۳۸۹)، "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کردکوی"، چهاردهمین انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه ارومیه.
- بهاروند س.، احمدی خلجی، ادیب ا و یوسفی راد (۱۳۸۶)، "نقش سازندهای مختلف زمین شناسی بر کیفیت آب های زیرزمینی شمال شهر خرم آباد"، سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست.
- پناهی م.، ناصری ع. و بهنیا ع. (۱۳۸۹)، "ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مناطق مرکزی کرمانشاه برای مصارف کشاورزی"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
- پورکرمانی م. و ناصری ح. (۱۳۸۷)، "تأثیر ساختاری گنبد نمکی قلعه گچی بر شوری آب های زیرزمینی دشت داریان"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۶۹.
- توحیدی فر ف. و کرمی غ. (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه منابع آب زیرزمینی منطقه معلمان، دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- جاویدی م. و کرمی غ. (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت سعادتشهر در استان فارس"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- جعفری ف. و رضایی م. (۱۳۸۹)، "ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی دشت قوچان شیروان"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.

حافظی مقدس ن. ،دولتی ج. و لشکری پور غ.(۱۳۹۳)، "بررسی عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان زاهدان با استفاده از روش های تحلیل عاملی، نمایه های اشباع و نمودارهای ترکیبی"، نشریه آب و خاک، جلد ۲۸، شماره ۴، ص ۶۹۴ – ۶۷۹.

حمزه ف. و بهزاد ا.(۱۳۸۹)، "بررسی تاثیر سازندهای زمین شناسی بر روی کیفیت آب، آبخوان دهدشت غربی"، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا.

رضایی ل. و کرمی غ.(۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی در جنوب شرقی داراب"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.

روشن م. ،قنبرپور م. و سبزواری ا.(۱۳۹۱)، "بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت جوبین در خراسان رضوی"، جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای شماره ۳.

سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۳.

سیادت س. ب. و انصاری ژ. (۱۳۷۹)، "تاثیر پدیده خشکسالی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی دشت اراک، استان مرکزی".

شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۳.

شریفی ا. ،عباسی م. ، گلیان م. و دهکرده س. (۱۳۸۹)، "بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان دشت زنجان در استان زنجان"، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

علیزاده ا. (۱۳۸۵)، "اصول هیدروژئولوژی کاربردی"، جلد اول، چاپ بیستم، دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد، ص ۷۶۸ – ۷۷۴.

کرمی غ.(۱۳۸۹)، "بررسی هیدروژئولوژیکی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری"، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

کلانتری ن.(۱۳۹۲)، "بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی در دشت قم"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین.

مهندسين مشاور يارن معدن آراء، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، (۱۳۸۸)، "مطالعات ژئوفیزیکی منطقه سرو"، وزارت نیرو.

نقشه زمین‌شناسی منطقه سرو ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

محمدی ی. و حقیقت ر. (۱۳۸۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی و آلودگی آبهای زیرزمینی منطقه رامسر"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی .

Aderemi, A. O., Oriaku, A. V., Adewumi, G. A., & Otitolaju, A. A. (2011). Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(11), 933-940.

Aghazadeh, N., & Mogaddam, A. A. (2010). Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, Northwest of Iran. *Journal of environmental protection*, 1(01), 30 .

Andrade, A., & Stigter, T. (2011). Hydrogeochemical controls on shallow alluvial groundwater under agricultural land: case study in central Portugal. *Environmental Earth Sciences*, 63(4), 809-825 .

Barrett, A., & Lawlor, J. (1995). The Economics of solid waste management in Ireland. Economic and Social Research Institute (ESRI) Research Series .

Bonton, Alexandre, R., Alian, B., Christian, R., & Manuel, J. (2010). Assessment of groundwater quality and its variation in the capture zone of a pumping well in an agricultural area. *Agricultural water management* 97, no.6: 824-834.

Chandrasekar, N., Selvakumar, S., Srinivas, Y., Wilson, J. J., Peter, T. S., & Magesh, N. (2014). Hydrogeochemical assessment of groundwater quality along the coastal aquifers of southern Tamil Nadu, India. *Environmental Earth Sciences*, 71(11), 4739-4750 .

Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Bjerg, P. L., Jensen, D. L., Christensen, J. B., Baun, A., Heron, G. (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, 16(7), 659-718

Cohen, D. (1986). Ground water contamination by toxic substances. A California assessment. Paper presented at the ACS Symposium series-American Chemical Society (USA).

Cronin, A. A., Taylor, R. G., & Fairbairn, J. (2003). Rising solute trends from regional groundwater quality monitoring in an urban aquifer, Nottingham, UK. *MATERIALS AND GEOENVIRONMENT*, 50, 97-100 .

Font-Capó, J., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Martí, D., Carbonell, R., Pérez-Estaún, A., Obradors, J. (2006). Modelling and quantifying the hydrogeological effects in the advance of a tunnel excavation by TBM.

Kamra, S., Lal, K., Singh, O., & Boonstra, J. (2002). Effect of pumping on temporal changes in groundwater quality. *Agricultural water management*, 56(2), 169-178 .

Karimi, H. (2012) .Hydrogeology of Karstic Area. *HYDROGEOLOGY–A GLOBAL PERSPECTIVE*, 1 .

Lee, G., & Jones-Lee, A. (1993). Groundwater quality protection: A suggested approach for water utilities. Report to the CA/NV AWWA section source water quality committee, 8 .

Lloyd, J. (1999). Groundwater in arid and semiarid regions .

Ma, Z., Kang, S., Zhang, L., Tong, L., & Su, X. (2008). Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. *Journal of Hydrology*, 352(3), 239-249 .

Makni, J., Brahim, F. B., Hassine, S., Bouri, S., & Dhia, H. B. (2014). Hydrogeological and mixing process of waters in deep aquifers in arid regions: south east Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 799-809 .

Martos, F. S ., Bosch, A. P., & Calaforra, J. (1999). Hydrogeochemical processes in an arid region of Europe (Almeria, SE Spain). *Applied Geochemistry*, 14(6), 735-745 .

Navarro, A., & Carbonell, M. (2007). Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment: The Besòs river basin (Barcelona, Spain). *Journal of Environmental Management*, 85(2), 259-269 .

Ostovari, Y., Sh, Z., Harchegani, H., & Asgari, K. (2013). Effects of geological formation on groundwater quality in Lordegan Region, Chahar-mahal-va-Bakhtiyari, Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(17), 1983-1992.

Powell, K. L., Taylor, R. G., Cronin, A. A., Barrett, M. H., Pedley, S., Sellwood, J., Lerner, D. N. (2003). Microbial contamination of two urban sandstone aquifers in the UK. *Water Research*, 37(2), 339-352 .

Sakura, Y., Tang, C., Yoshioka, R., & Ishibashi, H. (2003). Intensive use of groundwater in some areas of China and Japan. *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities* .

Shekhar, S., & Sarkar ,A. (2013). Hydrogeological characterization and assessment of groundwater quality in shallow aquifers in vicinity of Najafgarh drain of NCT Delhi. *Journal of Earth System Science*, 122(1), 43-54 .

SHEN, Y., LEI, H., YANG, D., & KANAE, S. (2011). Effects of agricultural activities on nitrate contamination of groundwater in a Yellow River irrigated region. *Water Quality: Current Trends and Expected Climate Change Impacts*, 348, 73-80 .

SUN, D.-x., & MA, X.-c. (2011). Survey on Results of Enclosed Community of *Nitraria tangutonum* in the Lower Reaches of Shiyang River. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 4, 013 .

Tijani, M. N. (1994). Hydrogeochemical assessment of groundwater in Moro area, Kwara State, Nigeria. *Environmental Geology*, 24(3), 194 -202.

Todd, k. (1976). *Groundwater hydrology*. Second Edition, University of California, Consulting Engineers, INC. 167.

Utom, A. U., Odoh, B. I., & Egboka, B. C. (2013). Assessment of hydrogeochemical characteristics of groundwater quality in the vicinity of Okpara coal and Obwetti fireclay mines, near Enugu town, Nigeria. *Applied Water Science*, 3(1), 271-283 .

---

Zhou ,Y., Wang, Y., Li, Y., Zwahlen, F., & Boillat, J. (2013). Hydrogeochemical characteristics of central Jiangnan Plain, China. *Environmental Earth Sciences*, 68(3), 765-778 .

## **Abstract**

Serow area is located in the north west of Urmia city adjacent to the Iran – Turkey border. The studied area includes two plains of Serow and Hursin. The aquifers of these plains are unconfined types which are formed mostly by gravel, coarse and fine sands, clay and silt. In order to evaluate the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of these plains, information of 11 piezometers and 13 pumping wells was used. In Hursin plain, based on its equipotential map, the dominant groundwater flow is from the north west to the south east. Besides, the hydraulic gradient in this plain varies from one to two percent. In Serow plain, according to the equipotential map, the main direction of groundwater flow is from the north – west, west and South to the South East. Hydraulic gradient in this plain varies from 0.6 to 0.8 percent. On the basis of unit hydrograph of the plain, the groundwater level in Hursin plain from 2004 to 2013 has been reduced about 5.6 meters which is probably due to excessive withdrawal of groundwater. In Serow plain, the groundwater level has not been change significantly from 2004 to 2013. The maximum electrical conductivity in Hursin plain is 480  $\mu\text{mhos/cm}$  and that is about 900  $\mu\text{mhos/cm}$  in Serow plain. The hardness of groundwater in Hursin plain varies from 265 to 315 mg/lit as calcium carbonate while it varies from 280 to 400 mg/lit as  $\text{CaCO}_3$  in Serow plain.

**Keywords:** Serow area, unconfined aquifer, hydrogeology, hydrogeochemistry



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

M. Sc. Thesis

**Evaluating the Hydrogeological and Hydrogeochemical  
Characteristics of aquifer in Serow area, Urmia**

**Vida Ansari**

**Supervisor:**

**Dr. Gholam Hossein Karami**

**January 2016**