

الله الرحمن الرحيم



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های آتشفشانی نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین، جنوب شاهرود

نگارنده: جلال دولت آبادی

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

شهریور ۱۳۹۸

تاریخ: ۹۸/۶/۳۰  
۹۸-۶۱۱۵۸

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

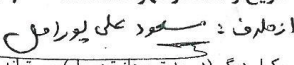
فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد جلال دولت آبادی با شماره دانشجویی ۹۵۰۶۱۶۴ رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان ژئوشیمی آبهای زیرزمینی در سنگ‌های آتشفشانی نوار ماگمایی تروود-چاه شیرین، جنوب شاهرود که در تاریخ ۹۸/۰۶/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: علمی/فنی): <input checked="" type="checkbox"/>	مردود <input type="checkbox"/>
نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/>	عملی <input checked="" type="checkbox"/>

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر گیتی فرقانی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۸/۶/۳۰  
از طرف: 

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

---

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

و

همسر مهربانم

## شکر و قدردانی

خدای راسبی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیصم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیایم، از ریشه آن شاخ و برگ کیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگاری که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کردند. به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت، امنیت و آسایش برای من فراهم آورده است، به مسری که حس تعهد و مسئولیت را در زندگی مان تلاوتی خدایی داده است و مراد راه رسیدن به اهداف عالی یاری نموده.

بسی شایسته است از استاد فریخته و فرزانه جناب آقای دکتر بادی جعفری که دلسوزانه و با حسن خلق مراد این مسیر اهنایی کردند، کمال شکر را داشته باشیم. بر خود وظیفه می دانم در کسوت شاکردی از زحمات ارزشمند دیگر اساتید ارجمند از جمله دکتر کریمی و دکتر باقری صمیمانه شکر نمایم.

و در پایان از تمام بهکلاسی ها و عزیزانی که در به اتمام رساندن این پایان نامه مرایاری نمودند شکر و قدردانی می نمایم.

# تعهد نامه

اینجانب جلال دولت آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ژئوشیمی آب های زیرزمینی در سنگ های آتشفشانی نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین، جنوب شاهرود

تحت راهنمایی دکتر هادی جعفری متعهد می شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

افزایش روزافزون جمعیت و نیاز بیشتر به آب توجه محققین را به سایر منابع آبی جلب کرده است. آبخوان‌های موجود در سازند سخت یکی از منابع حائز اهمیت در نواحی خشک هستند که فاقد آبخوان-های آبرفتی می‌باشند. در این تحقیق نوار ماگمایی ترود - چاه‌شیرین واقع در جنوب شاهرود، جهت بررسی ژئوشیمی منابع آب موجود در آن انتخاب گردیده است. این نوار ماگمایی بدلیل تنها منبع تأمین کننده آب روستاهای اطراف از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. دو مرحله نمونه‌برداری در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ و تیرماه ۱۳۹۷ از منابع آب موجود صورت گرفته است که طی این دو مرحله تعداد ۳۴ نمونه جهت انجام آزمایشات مختلف جمع‌آوری شده است. در مرحله اول غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی بررسی گردید. بررسی تغییرات مکانی، افزایش مقدار هدایت الکتریکی و دمای منابع آب را در طول مسیر جریان نشان می‌دهد. مقدار pH از ارتفاعات بیشتر به سمت ارتفاعات کمتر به دلیل انحلال کانی‌های سولفیدی در طول مسیر، کاهش می‌یابد. تغییرات زمانی یون‌های اصلی نشان می‌دهد که غلظت کاتیون‌ها در بهمن‌ماه بیشتر از تیرماه می‌باشد. غلظت آنیون‌ها نیز در بهمن‌ماه کمتر از تیرماه اندازه‌گیری شده است. با توجه به نمودارهای شولر و پایپر تیپ آب در هر دو نوبت نمونه‌برداری سولفات-سدیک می‌باشد. بررسی نتایج آزمایشات مربوط به فلزات سنگین با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) نشان می‌دهد که غلظت تمامی عناصر به‌جز نمونه سیینگ نسبت به عنصر سلنیم، پایین‌تر از حد استاندارد و در حد مجاز می‌باشد. مطالعات ایزوتوپی انجام شده، نشان می‌دهد که آب‌های خروجی از نوار ماگمایی ترکیبی مشابه با بارش محلی منطقه دارند، که این امر نشان می‌دهد منابع آب منطقه از بارش‌های جوی فعلی منشأ می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** سازند سخت، نوار ماگمایی ترود - چاه‌شیرین، هیدروژئوشیمی، فلزات سنگین

---

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۳
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۵
۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....	۸
۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۸
۱-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه.....	۹
۲-۵-۱- واحدهای سنگ چینه‌ای موجود در منطقه.....	۱۰
۱-۲-۵-۱- پرمین.....	۱۰
۲-۲-۵-۱- کرتاسه.....	۱۱
۳-۲-۵-۱- ائوسن.....	۱۱
۴-۲-۵-۱- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق.....	۱۵
۵-۲-۵-۱- مارن‌های میوسن.....	۱۶
۶-۲-۵-۱- کنگلومرای پلیوسن.....	۱۶
فصل دوم: تعاریف و مروری بر مطالعات پیشین.....	۱۷
۱-۲- مقدمه.....	۱۸
۲-۲- هیدروژئولوژی سازندهای سخت.....	۱۸
۳-۲- هیدروژئوشیمی سازندهای سخت.....	۲۰



۲۴	۴-۲- فلزات سنگین موجود در سازند سخت.....
۲۵	۵-۲- سوابق مطالعات انجام شده در مورد هیدروژئوشیمی سازندهای سخت.....
۲۷	فصل سوم: روش انجام کار.....
۲۸	۱-۳- مقدمه.....
۲۸	۲-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها.....
۳۱	۳-۳- اندازه گیری پارامترهای هیدروشیمیایی.....
۳۱	۱-۳-۳- اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی نمونه ها.....
۳۲	۲-۳-۳- اندازه گیری غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی .....
۳۲	۱-۲-۳- کروماتوگرافی یونی (IC) .....
۳۲	۳-۳-۳- اندازه گیری فلزات سنگین.....
۴۱	۴-۳-۳- اندازه گیری ایزوتوپی.....
۴۱	۴-۳- محاسبه کل مواد جامد محلول (TDS).....
۴۲	۵-۳- روش ها و نرم افزارهای مورد استفاده در تحلیل داده ها.....
۴۳	فصل چهارم: ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی .....
۴۴	۱-۴- مقدمه.....
۴۴	۲-۴- ویژگی های هیدروشیمیایی منابع آب موجود در نوار ترود- چاه شیرین.....
۴۶	۱-۲-۴- بررسی تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب .....
۴۶	۱-۱-۲-۴- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و دما.....

۴۹.....	۲-۱-۲-۴- تغییرات مکانی pH
۵۰.....	۳-۱-۲-۴- تغییرات مکانی آنیون ها و کاتیون ها
۵۶.....	۴-۱-۲-۴- تغییرات مکانی جزء مولکولی سیلیس (SiO <sub>2</sub> )
۵۷.....	۲-۲-۴- بررسی تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب
۵۸.....	۱-۲-۲-۴- تغییرات زمانی EC
۵۸.....	۲-۲-۲-۴- تغییرات زمانی دما و pH
۶۰.....	۳-۲-۲-۴- تغییرات زمانی غلظت آنیون ها و کاتیون ها
۶۵.....	۵-۲-۲-۴- محاسبه سری زمانی شاخص اشباع با استفاده از نرم افزار PHREEQC
۶۸.....	۳-۴- ارزیابی غلظت فلزات سنگین موجود در منابع آب سازند سخت تروود-چاه شیرین
۶۹.....	۱-۳-۴- بررسی فلزات سنگین موجود در منابع آب نوار ماگمایی تروود- چاه شیرین
۷۲.....	۱-۱-۳-۴- باریم (Ba)
۷۳.....	۲-۱-۳-۴- مولیبدن (Mo)
۷۳.....	۳-۱-۳-۴- آنتیموان (Sb)
۷۳.....	۴-۱-۳-۴- سلنیم (Se)
۷۴.....	۲-۳-۴- بررسی میزان آلودگی براساس شاخص فلزی (MI)
۷۵.....	۴-۴- بررسی خصوصیات ایزوتوپی منابع آب نوار ماگمایی تروود - چاه شیرین
۷۷.....	<b>فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها</b>
۷۸.....	۱-۵- نتیجه گیری

۵-۲- پیشنهادها..... ۸۰

منابع فارسی..... ۸۱

منابع لاتین..... ۸۴

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.....۴
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین ۱۰.....۶
- شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....۱۶
- شکل ۱-۳- پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۳۰
- شکل ۳-۲- اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی در محل نمونه‌برداری (EC، pH و دما).....۳۱
- شکل ۱-۴- تغییرات هدایت الکتریکی منابع آب نوار ماگمایی تروود-چاه‌شیرین در برابر ارتفاع.....۴۷
- شکل ۲-۴- پراکندگی هدایت الکتریکی (EC).....۴۸
- شکل ۳-۴- تغییرات دمایی منابع آب موجود در سازند سخت تروود-چاه‌شیرین نسبت به ارتفاع.....۴۹
- شکل ۴-۴- تغییرات مکانی pH منابع آب موجود در سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۰
- شکل ۵-۴- تغییرات مکانی کاتیون‌های موجود در منابع آب سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۱
- شکل ۶-۴- تغییرات مکانی آنیون‌های موجود در منابع آب سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۲
- شکل ۷-۴- دیاگرام شولر مربوط به منابع آبی سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۳
- شکل ۸-۴- نمودار پایپر منابع آب موجود در نوار ماگمایی تروود-چاه‌شیرین (بهمن ۹۶).....۵۴
- شکل ۹-۴- نمودار پایپر منابع آب موجود در نوار ماگمایی تروود-چاه‌شیرین (تیر ۹۷).....۵۵
- شکل ۴-۱۰- تغییرات غلظت سیلیس نسبت به ارتفاع.....۵۷
- شکل ۴-۱۱- تغییرات مکانی سیلیس در منابع آبی موجود در سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۷
- شکل ۴-۱۲- تغییرات زمانی EC در منابع آبی موجود در سازند سخت تروود-چاه‌شیرین.....۵۸

- شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی درجه حرارت در منابع آب سازندسخت تروود-چاهشیرین.....۵۹
- شکل ۴-۱۴- تغییرات زمانی pH در منابع آبی موجود در سازندسخت تروود-چاهشیرین.....۶۰
- شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت کاتیون سدیم موجود در منابع آب سازند سخت تروود- چاهشیرین.....۶۱
- شکل ۴-۱۶- تغییرات غلظت آنیون کلر موجود در منابع آب سازند سخت تروود- چاهشیرین.....۶۱
- شکل ۴-۱۷- مقایسه غلظت کلر در مقابل سدیم.....۶۱
- شکل ۴-۱۸- تغییرات غلظت کاتیون کلسیم موجود در منابع آب.....۶۲
- شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت آنیون سولفات موجود در منابع آب .....۶۲
- شکل ۴-۲۰- مقایسه غلظت سولفات در مقابل کلسیم.....۶۳
- شکل ۴-۲۱- مقایسه غلظت بی کربنات در مقابل کلسیم.....۶۳
- شکل ۴-۲۲- تغییرات غلظت کاتیون منیزیم موجود در منابع آب .....۶۴
- شکل ۴-۲۳- تغییرات غلظت منیزیم در مقابل کلسیم.....۶۴
- شکل ۴-۲۴- تغییرات غلظت آنیون بی کربنات موجود در منابع آب .....۶۵
- شکل ۴-۲۵- تغییرات زمانی شاخص اشباع مربوط به کانی‌های مختلف .....۶۷
- شکل ۴-۲۶- غلظت فلزات سنگین در مقایسه با حد مجاز سازمان بهداشتی جهانی (WHO).....۷۱
- شکل ۴-۲۷- تغییرات غلظت باریم نسبت به سولفات.....۷۲
- شکل ۴-۲۸- تغییرات شاخص فلزی در منابع آب موجود در نوار ماگمایی تروود - چاهشیرین.....۷۵
- شکل ۴-۲۹- تغییرات ایزوتوپ‌های دوتریوم و اکسیژن ۱۸.....۷۶

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین ۱۰ ساله بارندگی و دما در ایستگاه کوه‌زر در منطقه مورد مطالعه..... ۵
- جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۹)..... ۷
- جدول ۳-۱- مشخصات نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در نوار ترود- چاه‌شیرین ..... ۲۹
- جدول ۳-۲- نتایج آنالیز شیمیایی توسط دستگاه IC مربوط به بهمن ۹۶..... ۳۳
- جدول ۳-۳- نتایج آنالیز شیمیایی توسط دستگاه IC مربوط به تیر ۹۷..... ۳۵
- جدول ۳-۴- غلظت فلزات سنگین منابع آب موجود در سازند سخت ترود- چاه‌شیرین..... ۳۷
- جدول ۳-۵- نتایج آنالیز ایزوتوپی منابع آب موجود در سازند سخت ترود- چاه‌شیرین..... ۴۱
- جدول ۴-۱- میانگین پارامترهای هیدروشیمیایی در بهمن‌ماه و تیر‌ماه..... ۴۴
- جدول ۴-۲- مقادیر شاخص اشباع در نمونه‌های آب موجود در سازند سخت ترود- چاه‌شیرین..... ۶۶
- جدول ۴-۳- غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های نمونه‌برداری..... ۷۰
- جدول ۴-۴- مقادیر شاخص فلزی منابع آب موجود در نوار ماگمایی ترود- چاه‌شیرین..... ۷۴

---

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق

امروزه در جهان کمبود منابع آب به عنوان یکی از بزرگ‌ترین معضلات شناخته می‌شود. بحران منابع آبی باعث شده است تمامی منابعی که قابل استخراج و بهره‌برداری می‌باشند، به طور دقیق مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرند. سنگ‌های آتشفشانی (ولکانیکی) که از سرد شدن مواد مذاب در سطح زمین تشکیل می‌شوند، می‌توانند به عنوان یک منبع آبی شناخته شوند. این سنگ‌ها عمدتاً دارای تخلخل و نفوذپذیری اولیه کمی می‌باشند و نفوذپذیری ثانویه در آن‌ها بر اثر شکستگی‌ها و یا هوازگی پس از سخت شدن سنگ‌ها حاصل می‌شود. سنگ‌های آتشفشانی به دلیل ذخیره و آبدهی کمتر نسبت به آبرفت‌ها و سازندهای آهکی، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند، این نوع منابع آبی علی‌رغم ذخیره و آبدهی کم آن‌ها، در مناطقی که کمبود و نیاز شدید به آب وجود دارد، می‌توانند حائز اهمیت باشند.

رخنمون‌های سازندهای سخت حدود ۲۰ درصد از سطح خشکی‌های زمین را به خود اختصاص می‌دهد و آب‌های خروجی از این سازندها اکثراً از کیفیت مطلوبی برخوردار می‌باشند. با توجه به کیفیت بالای این آبخوان‌ها و کمبود منابع آبی در دسترس امروزه این سازندها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند و مطالعات گسترده‌تری پیرامون این موضوع صورت گرفته است (Federico et al., 2002).

کیفیت مطلوب آب‌های خروجی از سازندهای سخت می‌تواند به دلیل عدم تماس آب با ماتریس سنگ میزبان خود باشد. جریان آب در این سازندها عمدتاً از میان درز و شکستگی‌ها صورت می‌گیرد و این امر باعث شده مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) کمتری نسبت به سازندهای آبرفتی از خود نشان دهند. یکی دیگر از علت‌های پایین بودن TDS در سازندهای سخت، هوازگی کم و آهسته کانی‌های سیلیکاته موجود در آن‌ها می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت در حد مطلوب، میانگین TDS در آن‌ها حدود ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و تیپ اغلب این آب‌ها  $\text{Ca-HCO}_3$  می‌باشد (Alwathaf et al., 2013).



---

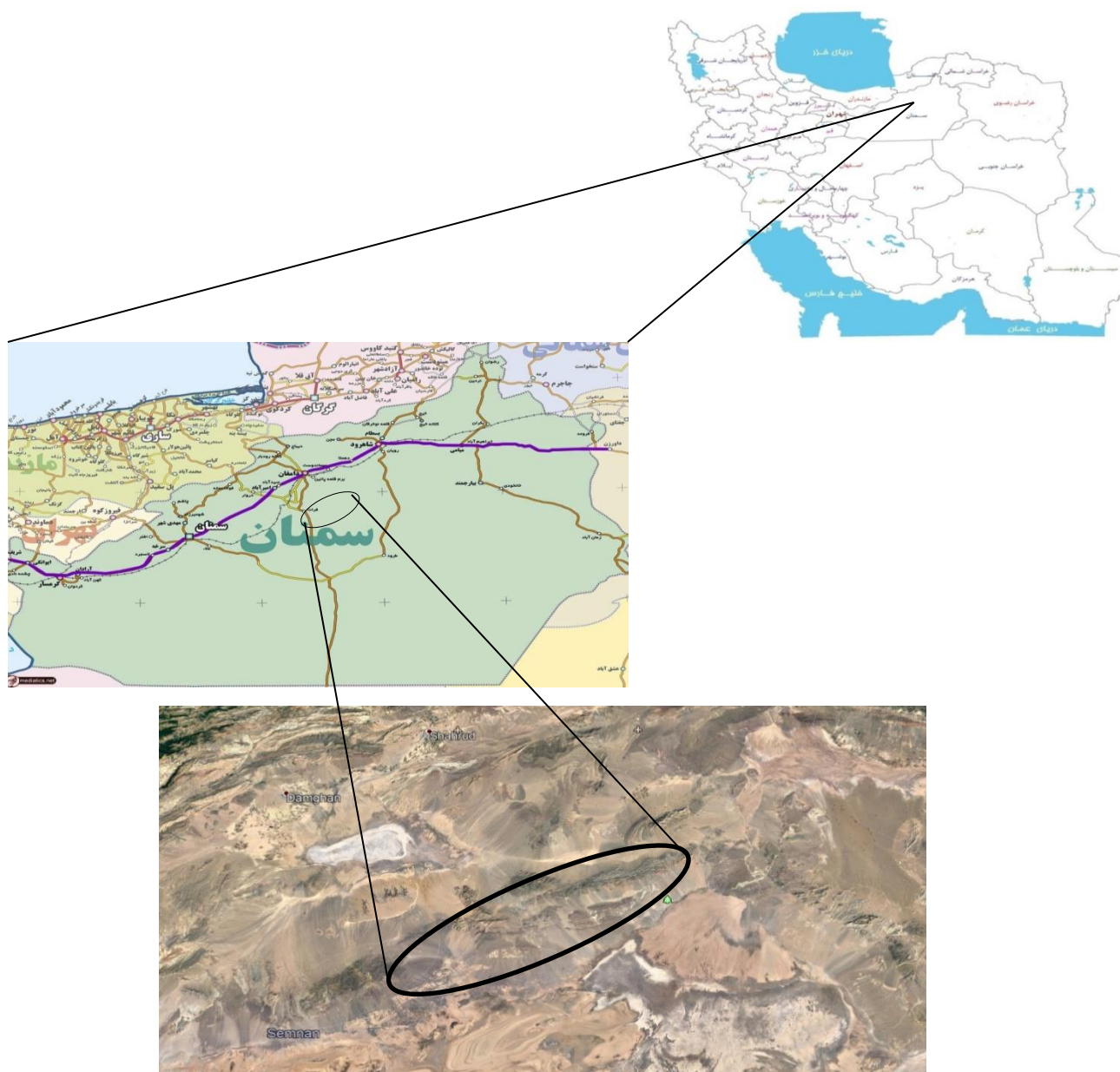
نوار ماگمایی ترود- چاهشیرین طیف متنوعی از سنگ‌های ولکانیکی (عمدتاً آندزیت و بازالت)، آذرآواری‌ها (توف) و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب داسیتی را شامل می‌شود. با توجه به مورفولوژی منطقه، آب مورد استفاده روستاهای مجاور، از طریق چشمه‌ها، قنات‌ها و چاه‌های حفاری شده از این سنگ‌ها منشأ می‌گیرند. بنابراین مطالعه هیدروشیمیایی و بررسی کیفیت منابع آب موجود در سازندهای سخت منطقه ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون هیچگونه مطالعه‌ای درباره هیدروشیمی آب موجود در این سازند سخت صورت نگرفته است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی هیدروشیمی منابع آبی موجود در سنگ‌های ولکانیکی این نوار ماگمایی می‌باشد. در این تحقیق منابع آب موجود از لحاظ کیفی، میزان آلودگی به فلزات سنگین و ترکیب ایزوتوپی آب مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مرکز استان سمنان و در جنوب دریاچه نمک حاج‌علی‌قلی با ارتفاع تقریبی ۱۸۵۰ متر واقع شده است. از نظر ابعادی نوار ماگمایی ترود- چاهشیرین ۵۰ کیلومتر در راستای طولی کشیدگی دارد و عرض آن حدود ۲۵ کیلومتر می‌باشد. وسعت این منطقه حدود ۱۲۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد و از نظر جغرافیایی این نوار در طول  $30^{\circ} 54'$  تا  $55^{\circ} 54'$  شرقی و عرض  $15^{\circ} 35'$  تا  $30^{\circ} 35'$  شمالی واقع شده است که روند شمال شرق- جنوب غربی دارد.

راه‌های اصلی دسترسی به منطقه، جاده‌های آسفالت‌ه دامغان- معلمان به طول ۱۲۰ کیلومتر و شاهرود- طرود به طول ۱۳۰ کیلومتر می‌باشد. برای دسترسی به قسمت غربی توده از جاده خاکی روستاهای سوسنوار و رشم می‌توان استفاده کرد. بخش شمالی توده که دهستان کوه‌زر در مرکزیت آن قرار دارد، نیز از طریق جاده‌های خاکی منطقه قابل دسترسی است. جاده شوسه معدن چاه‌موسی دسترسی به قسمت شرقی توده را امکان‌پذیر ساخته است و مسیر آسفالت‌ه طرود- معلمان نیز امکان دسترسی به بخش جنوبی

توده را فراهم می‌کند. مهمترین مراکز مسکونی منطقه، روستای کوه‌زر، امامزاده پیرمردان و روستای رشم می‌باشند. شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش، اندک بودن زمین‌های قابل کشت و زرع و نبود امکانات کافی باعث شده که این ناحیه از نظر تمرکز جمعیت بسیار پایین باشد.



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

### ۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

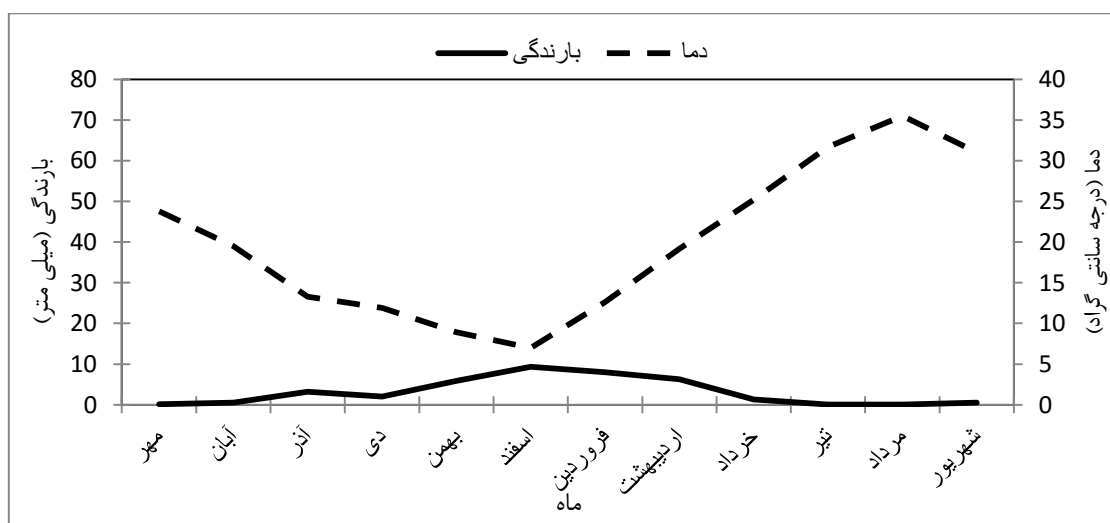
به طور کلی منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک کویری می باشد. در بیشتر اوقات سال، جریان های هوای گرم و خشک کویری سبب افزایش درجه حرارت هوا شده و دما در گرم ترین روزهای سال به بیش از ۵۰ درجه سانتی گراد نیز می رسد. میزان بارندگی بسیار کم و در حدود ۳۷/۵ میلی متر در سال است (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱- میانگین ۱۰ ساله بارندگی و دما در ایستگاه کوهر در منطقه مورد مطالعه

دما (درجه سانتی گراد)	بارندگی (میلی متر)	ماه
۲۳/۸	۰/۱۶	مهر
۱۹/۵	۰/۵۴	آبان
۱۳/۳	۳/۲۱	آذر
۱۱/۹	۲/۰۴	دی
۸/۹	۵/۸۷	بهمن
۷/۰	۹/۳۳	اسفند
۱۲/۶	۸/۰۰	فروردین
۱۹/۲	۶/۲۵	اردیبهشت
۲۵/۲	۱/۳۳	خرداد
۳۱/۷	۰/۰۸	تیر
۳۵/۵	۰/۰۸	مرداد
۳۱/۰	۰/۵۰	شهریور
-----	۳۷/۳۹	جمع سالانه

بیشترین میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه مربوط به اسفند ماه و کمترین آن نیز در تیر و مرداد ماه صورت می‌گیرد. بالاترین دمای ثبت شده در مرداد ماه و پایین‌ترین آن مربوط به اسفند ماه می‌باشد (جدول ۱-۱). قرار گرفتن منطقه در حاشیه شمالی کویر بزرگ ایران و نیز وجود کوه‌های نسبتاً مرتفع، موجب تغییرات فشار، جابجایی هوا و وزش باد در منطقه می‌شود. علاوه بر بادهای محلی، بادهای غربی و کویری نیز بر آب و هوای این منطقه تاثیر می‌گذارند. بادهای غربی مرطوب و باران‌زا هستند و بادهای کویری موجب افزایش دما و خشکی هوا می‌شوند. با این حال، در ارتفاعات شرایط آب و هوایی تا حدودی متفاوت است و معمولاً در فصل زمستان با بارش‌های باران و برف مواجه می‌باشند که این وضعیت سبب برودت هوا در فصل زمستان تا چند درجه زیر صفر می‌شود. از طرف دیگر تابستان‌های نسبتاً معتدلی را برای این مناطق سبب می‌شود (خواجehزاده، ۱۳۸۸).

با توجه به داده‌های جدول (۱-۱) که شامل میانگین بلند مدت (۱۰ ساله) میزان بارندگی و دمای ماهانه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد نمودار امبروترمیک منطقه ترسیم شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های بارش و دما ایستگاه کوه‌زر دامغان

با توجه به نمودار امبروترمیک دوره‌هایی که منحنی بارش بالاتر از منحنی دما قرار می‌گیرد، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک را مشخص می‌کند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل پایین بودن میزان بارندگی سالیانه، منحنی بارش کاملاً زیر منحنی دما قرار گرفته است و هیچ‌گونه همپوشانی ندارند (شکل ۱-۲). در این صورت با توجه به نمودار امبروترمیک منطقه، تمام طول سال به عنوان فصل خشک معرفی می‌شود.

روش دمارتن (De Martonne) ساده‌ترین روش برای تعیین اقلیم یک منطقه می‌باشد. در این روش با استفاده از میانگین دما و بارش سالیانه، ضریبی به نام ضریب خشکی یا ضریب اقلیمی به دست می‌آید که با استفاده از این ضریب می‌توان نوع اقلیم منطقه را مشخص نمود (علیزاده، ۱۳۸۹). ضریب خشکی دمارتن با استفاده از معادله (۱-۱) محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه  $I$  ضریب خشکی،  $P$  میانگین بارش سالیانه (بر حسب میلی‌متر) و  $T$  میانگین دمای سالیانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. با توجه به این رابطه ضریب خشکی دمارتن منطقه مورد مطالعه ۰/۱۱ محاسبه شده و بر اساس جدول (۱-۲) اقلیم منطقه از نوع خشک تعیین می‌گردد.

جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۹)

نوع اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه‌مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

#### ۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه

نمایان‌ترین ویژگی مورفولوژیک منطقه اختلاف ارتفاع یا ناهمواری‌های مشهود آن می‌باشد که به بیش از ۱۹۰۰ متر بالغ می‌شود. در جنوب منطقه، کویر نمک با حدود ۴۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا از پست‌ترین نقاط فلات داخلی ایران و منطقه محسوب می‌شود. مرتفع‌ترین نقاط، قله‌های کوه دارستان (۲۳۱۱ متر)، کوه بابا احمد (۲۳۰۷ متر) و کوه پوسیده (۱۹۷۰ متر) نیز در مرکز نوار مورد مطالعه دیده می‌شوند.

رودخانه یا آبراهه‌های منطقه که عمدتاً در بخش جنوبی نوار به چشم می‌خورند و دارای روند شمالی-جنوبی می‌باشند، اغلب خشک و از نوع رودخانه‌های فصلی به‌شمار می‌آیند. در ناحیه مورد نظر به‌دلیل تنوع واحدهای سنگی و مقاومت غیر یکسان سنگ‌ها در برابر پدیده‌های تکتونیکی و فرسایشی، دره‌هایی به شکل‌های متفاوت و بیشتر بصورت V شکل ایجاد شده است.

#### ۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ساختاری ایران، در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار گرفته است و بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود می‌باشد که در ۱۲۰ کیلومتری جنوب دامغان واقع شده است.

در این منطقه سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی به سن ائوسن میانی تا الیگومیوسن رخنمون دارند و طیف ترکیبی وسیعی را به خود اختصاص می‌دهند. سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن به سن کرتاسه، ژوراسیک و تریاس به‌طور محدود در این منطقه مشاهده می‌شوند. سنگ‌های جوانتر از الیگومیوسن به‌صورت رسوبات کنگلومرای پلیوسن و رسوبات آبرفتی عهد حاضر در منطقه رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی میزبان توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق منطقه، هم‌ارز سازند کرج به سن ائوسن محسوب می‌شوند. سنگ‌های آذرین منطقه غالباً دارای ماهیت

---

نفوذی و نیمه‌نفوذی می‌باشند و ترکیب آن‌ها از گابرو تا گرانیت متغیر است و به‌صورت استوک، آپوفیز و دایک رخنمون پیدا کرده‌اند که نمونه‌های بارز آن‌ها شامل گرانیت کوه زر- باغو، گرانیت گندی، مونزوئیت چالو و... می‌باشند (خواجه‌زاده، ۱۳۸۸).

از لحاظ ساختاری، منطقه تحت تاثیر گسل‌های بزرگ عمدتاً شرقی- غربی قرار گرفته است. عملکرد گسل‌ها، همراه با حضور سیالات گرمابی به ایجاد زون‌های دگرسانی آرژیلیتی، سیلیسی و به مقدار کمتر پروپیلیتی منجر شده است. دگرسانی‌های انجام شده با کانه‌زایی ترکیبات حاوی مس، سرب، روی، طلا، نقره و ... همراه شده است. کانسارهای مس چاه‌موسی، سرب و روی چشمه حافظ، سرب و روی گندی، سرب سوسنوار، طلای کوه‌زر و ... نمونه‌های بارز کانه‌زایی صورت گرفته می‌باشند (شهاب‌پور، ۱۳۹۴).

#### ۱-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

منطقه مورد مطالعه توسط خادمی (۱۳۸۶) در قالب رساله دکتری با عنوان ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه ترود به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. نامبرده از مجموع مطالعات انجام شده به این نتیجه می‌رسد که ابتدا طی یک رژیم کششی گسل‌های پی‌سنگی عمیق فعال شده و باعث شده است که به تدریج در اواسط ائوسن یک حوضه رسوبی کم عمق در منطقه به وجود آید. سپس با توسعه این حوضه کششی و با کمک مجاری به وجود آمده توسط گسل‌های عمیق ماگمای حد واسط تا بازیک نشأت گرفته از گوشته فوقانی به درون این حوضه‌های رسوبی راه یافته یا به عبارتی به درون آن‌ها فوران کرده‌اند. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که فوران این ماگماها در طی چند مرحله صورت گرفته و سپس در ائوسن بالایی خروج گدازه‌ها به تدریج متوقف شده و حوضه آتشفشانی - رسوبی نیز به تدریج دچار بالآمدگی شده و عمق حوضه کاهش یافته و رسوبات ماسه سنگی مربوط به محیط‌های کم عمق در آن نهشته شده‌اند. در اواخر ائوسن این حوضه‌ها کاملاً از آب خارج شده است. در حدفاصل

---

اواخر ائوسن تا میوسن ماگماهایی با ترکیب بازیگ تا حدواسط و به مقدار کمتر اسیدی با ماهیت کالکوالکالن به درون مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن تزریق شده‌اند و پیامدهای متعددی از جمله دگرگونی، دگرسانی و کانسارسازی را به همراه داشته‌اند. در میوسن دوباره در اثر عملکرد رژیم‌های کششی و تشکیل حوضه‌های گرابنی، حوضه‌های رسوبی کم عمق در منطقه ایجاد شده که شاهد آن حضور سنگ‌های مارنی و ماسه سنگی میوسن در جنوب منطقه مورد مطالعه در حد فاصل معلمان - ترود و... می‌باشد. این رسوبات در شمال کویر بزرگ و در جنوب معلمان نیز قابل مشاهده است. سپس در طی پلیوسن - پلیستوسن رسوبات آواری تخریبی حاصل از فرسایش سنگ‌ها قدیمی‌تر به صورت مخروط‌افکنه‌های بزرگ و نهشته‌های کنگلومرایی پلیوسن - پلیستوسن رخنمون پیدا کرده‌اند.

#### ۱-۵-۲- واحدهای سنگ چینه‌ای موجود در منطقه

##### ۱-۵-۲-۱- پرمین

شیست‌های پالئوزوئیک (منسوب به پرمین) همراه سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه سنگی و آتشفشانی دگرگون شده و تبلور مجدد یافته در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند. این شیست‌ها دارای رنگ خاکستری مایل به سبز هستند و شدیداً متورق می‌باشند. مقاطع نازک تهیه شده از آن‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها دارای ترکیب میکاشیستی و میکاشیستی گرافیت‌دار هستند و در حد رخساره شیست سبز تا رخساره آمفیبولیت و زون بیوتیت و زون گارنت دگرگون شده‌اند. کوارتزهای حاصل از فرآیند دگرگونی به صورت رگه و رگ‌چه به مقدار قابل ملاحظه‌ای در لابلاهای شیست‌ها یافت می‌شوند و می‌توانند به عنوان یک منبع اقتصادی جهت تهیه سیلیس به حساب آیند. با توجه به شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان سن این سنگ‌ها به پرمین نسبت داده شده است.



#### ۱-۵-۲-۲- کرتاسه

سنگ‌های کرتاسه با طیف ترکیبی آهک‌های میکرایتی فسیل‌دار خاکستری رنگ و شیل و مارن‌های مدادی خاکستری رنگ در غرب و جنوب غرب منطقه رخنمون دارند و از ضخامت قابل توجهی برخوردار هستند. در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های کرتاسه با سنگ‌های قدیمی‌تر از خود مرز عادی ندارند. این سنگ‌ها دارای رنگ خاکستری روشن هستند و دارای لایه‌بندی متوسط تا ضخیم بوده و حاوی فسیل‌های متعدد از جمله براکیوپودها و دو کفه‌ای‌ها هستند. شیل و مارن‌ها که از حجم کمتری برخوردار هستند، در اثر تحمل تنش‌های تکتونیکی خرد شده و به صورت مدادی ظاهر شده‌اند و رخنمون‌های بسیار زیبایی را به نمایش گذاشته‌اند. سنگ‌های کرتاسه توسط تعداد زیادی از دایک‌های آندزیتی قطع شده‌اند و متحمل دگرگونی مجاورتی شده‌اند. دگرگونی مجاورتی از سخت شدگی مارن‌های مدادی تا تشکیل اسکارن‌های حاوی گارنت و وزوویانیت متغیر است. ضخامت منطقه‌ای که تحت تاثیر دگرگونی مجاورتی قرار گرفته است از چند سانتی‌متر تا چند متر متغیر می‌باشد. همچنین تزریق توده‌های نفوذی به درون سنگ‌های کرتاسه با کانه‌زایی باریت، مگنتیت، گالن، مالاکیت و آزوریت همراه بوده است.

#### ۱-۵-۲-۳- ائوسن

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های متعلق به پالئوسن رخنمون ندارند. با توجه به نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن با کنگلومرایبی به سن ائوسن شروع می‌شود و سپس به یک مجموعه آتشفشانی - رسوبی تبدیل می‌گردد که تناوبی از گدازه‌های حدواسط تا بازیک و مقداری توف، شیل توفی، ماسه‌سنگ توفی، شیل و ماسه‌سنگ و به‌ندرت کنگلومرا می‌باشد. در دامنه جنوبی منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن به شدت چین خورده‌اند و چین‌های زیبایی از جمله چین‌های جناغی را به نمایش می‌گذارند. جهت بررسی جزئی‌تر واحدهای سنگی در محدوده مورد

---

مطالعه، از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان استفاده شده است. بر این اساس واحدهای سنگی ائوسن به شرح زیر تفکیک شده است:

## الف - واحد ولکانیکی ائوسن

در میان واحدهای ولکانیکی و توفی ائوسن، این واحد بیشترین گسترش را داشته و ضخامت بیش از ۱۵۰۰ متر دارد. براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته، سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی این واحد را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم‌بندی نمود:

### ۱- سنگ‌های ولکانیکی

آندزیت: آندزیت‌ها در مشاهدات صحرایی به صورت مورفولوژی برجسته و تیره رنگ و متناوب با واحدهای آذرآواری (معمولاً رنگ زرد و روشن) دیده می‌شوند، در سطح تازه به رنگ خاکستری تیره و گاهی متمایل به رنگ قهوه‌ای تا قرمز (به علت آغستگی با اکسید آهن) مشاهده می‌شود. آندزیت‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت پورفیری هستند، که نشان دهنده سرد شدن ماگما در دو مرحله می‌باشد. پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست‌های شکلدار و با ماکل پلی سنتتیک مشاهده می‌شود، که گاهی سالم و در برخی موارد به کانی‌های رسی، کلسیت، کلریت و سرسیت دگرسان شده‌اند. کانی‌های تیره آن‌ها شامل هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های تیره می‌باشد. کانی‌های فرومنیزین آبدار نظیر آمفیبول و بیوتیت دارای حاشیه سوخته هستند یا به عبارتی آپاسیتی و به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. در برخی موارد در پلاژیوکلازهای منطقه‌بندی شده ادخال‌های اکسی‌هورنبلند نیز مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه نیز نظیر کلسیت و کوارتز هستند که درز و شکاف‌ها و حفرات موجود در آندزیت را پر کرده‌اند.

تراکی آندزیت: در اغلب رخنمون‌ها، گدازه‌های تراکی آندزیتی، آندزیت بازالتی و آندزیتی با هم دیده می‌شوند اما رنگ گدازه‌های تراکی آندزیتی روشن‌تر از آندزی-بازالت‌ها و آندزیت‌ها می‌باشد و به رنگ کرم

---

تا قهوه‌ای روشن رخنمون دارند. طوری که بلورهای درشت پلاژیوکلاز، کوارتزهای خلیج‌خورده و مقدار خیلی کمی پیروکسن در خمیره‌ی ریز بلور از همین کانی‌ها قابل تشخیص است. تراکی‌اندزیت‌ها در مقاطع نازک، بافت پورفیری و میکرولیتی جریانی دارند. کانی تیره در این نمونه‌ها بیشتر پیریت است که معمولاً به حالت دانه پراکنده و بعضاً به شکل تجمعی مشاهده می‌شود.

**آندزیت- بازالت:** در واحد ولکانیکی ائوسن نمونه‌هایی مشاهده شده که ترکیب آندزیت- بازالت دارند و در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره و خاکستری متمایل به سبز دیده می‌شوند. بافت‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها پورفیری، گلومروپورفیری، میکرولیتی- جریانی و بافت آمیگدال (بادامکی) می‌باشد. بافت آمیگدال در نمونه‌های عمقی مشاهده می‌شود که حفرات سنگ را بیشتر کانی‌های کوارتز و کلسیت پر کرده است. فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلازها با بلورهای شکلدار تا نیمه‌شکلدار در زمینه میکرولیتی هستند. بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز حالت منطقه‌بندی و غربالی دارند و به کربنات، سرسیت و کلریت دگرسانی نشان می‌دهند.

## ۲- سنگ‌های ولکانیکی - پیروکلاستی

سنگ‌های آذرآواری براساس اندازه ذرات (خاکستر، لاپیلی، بمب یا بلوک)، به پنج گروه توف، لاپیلی توف، لاپیلی، لاپیلی توف برشی و آگلومرا دسته‌بندی شده است. توف‌ها سنگ‌های ولکانوکلاستیکی هستند، که از خاکستر و قطعات آتشفشانی تشکیل شده‌اند و براساس اجزاء شیشه، بلور و خرده‌های سنگی به سه دسته؛ توف شیشه‌ای، کریستال توف و لیتیک- توف تقسیم‌بندی می‌شوند. واحدهای آذرآواری منطقه مورد مطالعه شامل توف ماسه‌ای، توف برش، کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا هستند.

**توف ماسه‌ای:** توف‌های ماسه‌ای نیز یکی دیگر از سنگ‌های آذرآواری تشکیل دهنده واحد ولکانیکی ائوسن در منطقه رباعی می‌باشد که در مشاهدات صحرائی و نمونه دستی به رنگ سبز متمایل به زرد

---

است. این سنگ‌ها میزبان اصلی کانی‌زایی آهن، مس و طلا در منطقه هستند و در بررسی‌های میکروسکوپی بلورهای خودشکل و نیمه‌شکل‌دار کوارتز به صورت دانه پراکنده همراه با کانی‌های تیره (هماتیت، الیژیست، مگنتیت، پیریت و غیره) مشاهده می‌شود. کانی مافیک موجود در این سنگ‌ها هورنبلند است که به مقدار کمی در بعضی مقاطع قابل مشاهده است و بیشتر به کانی‌های ثانویه کلریت و اکسید آهن دگرسان شده‌اند.

**توف برش ولکانیکی ائوسن:** توف برش‌ها به طور متناوب با گدازه‌ها قرار دارند و این سنگ‌ها میزبان اصلی کانی‌زایی مس منطقه هستند. توف برش‌ها در مقاطع نازک میکروسکوپی به شدت دگرسان هستند و دارای کانی‌های اکسی‌هورنبلند، پلاژیوکلاز و تیره می‌باشند که به کانی‌های ثانویه از جمله سرسیت، کلریت، کلسیت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند. در این سنگ‌ها رگه-رگچه‌های سیلیسی (کوارتزهای نهان بلور) و کربناتی (کلسیت و دولومیت) مشاهده می‌شود که حاوی کانی‌های تیره نظیر بورنیت، کالکوسیت و کولیت هستند.

**کریستال توف:** کریستال توف‌ها یکی دیگر از سنگ‌های آذرآواری موجود در منطقه می‌باشد که کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت هستند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در برخی موارد حالت تحلیل‌رفتگی دارند که ناشی از تغییرات نظیر دما و فشار در طی صعود ماگما یا تغییرات شیمیایی آن می‌باشد. هورنبلندها و بیوتیت‌ها نیز از حاشیه حالت سوختگی دارند که آپاسیته شده و به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند.

### **ب: واحد آندزیت - توف**

این واحد شامل قطعات درشت آندزیتی در زمینه توفی می‌باشد. این سنگ‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی در حد لیتیک توف یا آگلومرا هستند که کانی‌های تشکیل دهنده آنها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کانی-

---

های تیره می‌باشد. کانی‌های تیره شامل پیریت و به مقدار کمی کالکوپیریت است که به طور پراکنده در متن سنگ قرار دارند.

واحد توف دگرسان شده: این واحد فرعی جزئی از زیر واحدهای توفی می‌باشد که در برخی از نقاط منطقه در اثر دگرسانی به بنتونیت تبدیل شده است که دارای رنگ سفید و روشن می‌باشد. در این واحد کانی‌های نظیر کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، ارتوکلاز و سانیدین گزارش شده است.

#### ۱-۵-۲-۴- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن توسط تعداد زیادی استوک، آپوفیز و دایک با ترکیبی متغیر از گابرو تا گرانیت قطع می‌شود. تعیین سن دقیقی بر روی این سنگ‌ها انجام نشده است، ولی با توجه به تشابه وقایع زمین‌شناسی صورت گرفته در این محل و به دلیل نفوذ آن‌ها در سنگ‌های ائوسن میانی تا بالایی، به نظر می‌رسد این توده‌ها دارای سن الیگومیوسن باشند. نفوذ این توده‌ها به درون سنگ‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و دگرسانی‌های گرمایی به‌ویژه از نوع آرژلیتی همراه بوده است. این توده نیمه عمیق (ساب‌ولکان) می‌باشد و دارای ترکیبی در حد داسیت است که در بیشتر نقاط بافت پورفیری از خود نشان می‌دهد. واحد یاد شده در رسوبات سنگ آهکی کرتاسه نفوذ کرده و اثر ضعیفی از دگرگونی مجاورتی در سنگ آهک‌ها به صورت تبلور مجدد و تشکیل بلورهای گارنت و همچنین رخداد کانی‌زایی آهن (اسکارن‌زایی) در محل برخورد این ساب‌ولکان‌ها با سنگ آهک برجای گذاشته است. کانی‌های اصلی سنگ شامل پلاژیوکلاز با درصد حجمی ۳۵-۴۵ درصد، کوارتز ۲۰-۳۵ درصد و آلکالی فلدسپات‌ها تقریباً ۲۰-۱۵ درصد، سنگ را شامل می‌شود که معمولاً کائولینیتی شده و در نور طبیعی، تقریباً کدر دیده می‌شود. کانی‌های مافیک شامل بیوتیت و هورنبلند هستند که مجموعاً ۱۰-۱۵ درصد سنگ را می‌سازند. کانی‌های تیره نیز در بعضی مقاطع دیده می‌شود که بیشتر مگنتیت و پیریت هستند. بلورهای پلاژیوکلاز

---

حالت خودشکل تا بی‌شکل با ماکل پلیسنتیک و منطقه‌بندی دارند. کوارتزاها به‌صورت شکل‌دار تا نیمه-شکل‌دار دیده می‌شوند که بیشتر حالت خلیج‌خوردگی دارند. بیوتیت نیز گاهی به‌صورت فنوکریست‌های خودشکل تا بی‌شکل دیده می‌شود که در بعضی نمونه‌ها به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده است. بلورهای آمفیبول با چند رنگی سبز در مقاطع نازک مشاهده می‌شود که دارای شکل بلورین نیمه‌شکل‌دار هستند و غالباً به کلریت تجزیه شده‌اند. کانی‌های تشکیل‌دهنده زمینه شامل کوارتز، کانیه‌های رسی، پلاژیوکلاز، کلسیت و مقدار جزئی اپیدوت می‌باشد.

#### ۱-۵-۲-۵- مارن‌های میوسن

منطقه جنوب گسل طرود عمدتاً توسط مارن‌های میوسن پوشیده شده‌است. باریکه‌ای از این سنگ‌ها در حد فاصل معلمان تا طرود - مولحه رخنمون دارند. این سنگ‌ها غالباً از رسوبات مارنی، سیلتستونی، میکروکنگلومرایی، مارن‌های گچ‌دار، میان لایه‌های ژیپسی و نمک تشکیل شده‌اند. در بعضی موارد به شدت چین خورده و در مجموع تاقدیس و ناودیس‌های بزرگی را به نمایش می‌گذارند.

#### ۱-۵-۲-۶- کنگلومرای پلیوسن

کنگلومرای پلیوسن عمدتاً به صورت مخروط‌افکنه‌های بزرگ در دامنه‌های شمالی منطقه مورد مطالعه و در حوالی روستاهای شیمی، کوه‌زر، کلاته‌جعفر و ... رخنمون دارند. اجزاء سازنده کنگلومرای پلیوسن غالباً قطعات سنگی نشأت گرفته از سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی - رسوبی ائوسن و توده‌های نفوذی قطع‌کننده آن‌ها می‌باشند.

---

# فصل دوم

تعاریف و مروری بر مطالعات پیشین

منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک که دارای بارندگی کم و کمبود منابع آب سطحی می- باشند، اصلی ترین و تنها منبع تأمین کننده آب به شمار می آیند. تغییرات در کیفیت آب زیرزمینی در یک ناحیه در واقع تابعی از پارامترهای فیزیکی شیمیایی است که خود متأثر از سازندهای زمین شناسی منطقه و فعالیت های انسان زاد می باشد. علاوه بر این در مناطق خشک، کمبود بارش و بالا بودن نرخ تبخیر نیز به طور مستقیم بر کیفیت منابع آب زیرزمینی اثر می گذارد. در این فصل تئوری تحقیق در خصوص کیفیت آب های زیرزمینی در سازندهای سخت و مرور مطالعات گذشته در ارتباط با شیمی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت ارائه می گردد.

## ۲-۲- هیدروژئولوژی سازندهای سخت

سازندهای سخت دارای درز و شکستگی، از دو زون مختلف ماتریکس و شکستگی تشکیل شده اند. نفوذپذیری سازندهای سخت دارای منشأ ثانویه است. ماتریکس دارای هدایت هیدرولیکی بسیار پایین می باشد که از طریق درزه و شکستگی ها نفوذپذیر می شود. زون شکستگی دارای تخلخل کم و هدایت هیدرولیکی بالا، ولی بخش ماتریکس دارای شرایط برعکس یعنی تخلخل بالا و هدایت هیدرولیکی پایین می باشد. بسته به تخلخل و نفوذپذیری شکستگی ها و بلوک های ماتریکس، می توان سازندهای درز و شکاف دار را در سه گروه دسته بندی کرد: الف- در این حالت تخلخل و نفوذپذیری فقط از طریق شکستگی ها صورت می گیرد و ماتریکس نفوذناپذیر است، ب- تخلخل دوگانه که در کنترل جریان آب زیرزمینی هم شکستگی و هم ماتریکس نقش دارند ولی شکستگی نقش اصلی را ایفا می کند، ج- شرایط ناهمگن را نشان می دهد که شکستگی ها با رسوبات پر شده و نفوذپذیری به طور قابل توجهی کاهش یافته است (زحمتی و مرادی نیا، ۱۳۹۷).



---

در سنگ‌های دارای شکستگی حرکت آب زیرزمینی عمدتاً در امتداد ناپیوستگی‌ها از جمله درزه‌ها، شکستگی‌ها و زون‌های برشی صورت می‌گیرد. در سازندهای سخت به دلیل ساختار متفاوت آن‌ها با خاک مسئله هدایت هیدرولیکی در جریان آب متفاوت بوده و شرایط حاکم کاملاً متأثر از شرایط ناپیوستگی‌ها است به گونه‌ای که جهت و موقعیت ناپیوستگی‌ها، فاصله آن‌ها از یکدیگر، میزان درز و شکاف، بازشدگی شکاف‌ها و شکل دیواره درزه از فاکتورهای مهم حاکم بر شرایط هیدرولیکی محسوب می‌گردند. از مهمترین عواملی که جریان آب زیرزمینی را در سازندهای سخت کنترل می‌کند می‌توان به تخلخل اولیه و ثانویه، تماس بین شکستگی‌ها (ارتباط بین شکستگی‌ها و بازشدگی آنها)، مواد پرکننده داخل شکستگی‌ها، زبری و صافی درزه‌ها و سطح آنها اشاره کرد.

در گذشته سازندهای سخت به علت نفوذپذیری کم و همچنین مشکلات حفاری چاه‌های آب، به منظور توسعه آب‌های زیرزمینی به کار نمی‌رفتند. به هر حال در چند دهه اخیر، به علت نیاز به آب آشامیدنی سالم برای جمعیت وسیع شهری، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، این آبخوان‌ها در سطح دقیق‌تری به منظور توسعه آب زیرزمینی بررسی شده‌اند. سازندهای سخت شامل سنگ‌های آذرین (آندزیت، داسیت، بازالت و ....)، سنگ‌های دگرگونی (گنیس‌ها، گرانولیت‌ها، کوارتزیت‌ها، شیست‌ها و ....) و دولومیت‌ها می‌باشند. سازندهای سخت مناطق سیر پرکامبرین مهم در نقاط مختلف جهان، از جمله در کشورهای کانادا، اسکانیدیناوی، شمال شرقی ایالات متحده، هند، سریلانکا، چین، استرالیا، روسیه و بسیاری از کشورهای آفریقایی را تشکیل می‌دهند. همچنین رخنمون‌هایی از سنگ‌های متبلور با گسترش کمتر اما بسیار مهم در مناطقی واقع در اسپانیا، فرانسه و در اروپای مرکزی یافت می‌شود. کل وسعت رخنمون‌های سنگ‌های مناطق یادشده در حدود ۲۰ درصد از سطح فعلی زمین یعنی در حدود ۳۰ میلیون کیلومترمربع می‌باشد (یزدی‌زاده، ۱۳۹۵).

---

واژه Hard Rock (سازند سخت) یک اصطلاح غیر عمومی و در عین حال مبهم در علوم زمین و هیدرولوژی می‌باشد و به همین دلیل در مورد مفهوم همه جانبه آن اتفاق نظر یکسانی بین محققین علوم زمین وجود نداشته و تعاریف گوناگونی از آن شده است. در گذشته هیدرولوژیست‌ها این واژه را منحصراً برای تمامی سنگ‌های آذرین و دگرگونی به کار می‌بردند، بعدها این اصطلاح برای سنگ‌های متبلور هم به کار برده شده است. اما امروزه اکثر متخصصین این اصطلاح را برای تمامی سازندهای متراکم اعم از سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگ، دولومیت، سنگ‌آهک و ...)، سنگ‌های آذرین (بازالت، ریولیت، توف، گرانیت و ...) و سنگ‌های دگرگونی (مرمر و گنایس و ...) به کار می‌برند (افشاری، ۱۳۷۹).

## ۲-۳- هیدروژئوشیمی سازندهای سخت

کیفیت شیمیایی آب در سنگ‌های آتشفشانی معمولاً خوب است، مگر در مناطق خشک که مواد محلول ممکن است در محل تغذیه به علت تبخیر، تغلیظ شوند. کیفیت آب به اندازه کمیت آن حائز اهمیت می‌باشد. آب باران و برف پس از تماس با خاک و کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، تغییرات شیمیایی پیچیده‌ای را متحمل می‌شوند. همچنین فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب دارند. در سنگ‌های متبلور، جریان آب زیرزمینی اساساً از طریق شکستگی‌ها صورت می‌گیرد، در نتیجه سطح تماس بین آب و ماتریس سنگ در مقایسه با سنگ‌هایی که دارای تخلخل اولیه می‌باشند، کم است. به علاوه سنگ‌های متبلور اساساً حاوی کانی‌های سیلیکاته می‌باشند که خیلی آهسته هوازده می‌شوند. بنابراین در حالت کلی، آب زیرزمینی در سنگ‌های دگرگونی و سنگ‌های آذرین نفوذی، مواد جامد محلول کمی دارد و تیپ آب از نوع بی‌کربناته-کلسیک ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ) می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه-خشک به علت بارش کم و تبخیر زیاد، آب زیرزمینی ممکن است مقدار مواد جامد محلول (TDS) بالایی داشته باشد (Singhal and Gupta, 2010).

---

آب زیرزمینی معمولاً حاوی کاتیون‌ها و آنیون‌های حل شده می‌باشد که می‌توانند غلظت‌های جامدات محلول (TDS) کمتر از ۱۰۰ تا بیش از ۵۰۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشته باشند (Hem, 1985). فراوانی نسبی عناصر و یون‌های مختلف در آب‌های زیرزمینی به طور عمده به تحرک شیمیایی آن‌ها بستگی دارد. تحرک یک عنصر در هیدروسفر توسط انحلال‌پذیری ترکیبات مختلف آن تعیین می‌گردد. به عنوان مثال سیلیس، آلومینیم و آهن که در سنگ‌های آذرین بیشترین فراوانی را دارند، دارای تحرک کم در هیدروسفر می‌باشند. کلر نیز در پوسته زمین نسبتاً کمیاب است، اما به صورت گسترده در هیدروسفر یافت می‌شود. همچنین غلظت سدیم در اکثر موارد بیشتر از پتاسیم می‌باشد، این در حالی است که هر دو به مقدار تقریباً برابری در سنگ‌های آذرین حضور دارند (Singhal and Gupta, 2010).

ژئوشیمی سنگ بستر و نوع کانی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی می‌باشند. کانی‌های اصلی سنگ‌های آذرین و دگرگونی عموماً کوارتز و کانی‌های آلومینوسیلیکاته از قبیل فلدسپارها و میکاها هستند. سنگ‌های آذرین اسیدی (مثل گرانیت‌ها) و معادل دگرگونی آن‌ها (گنایس‌ها) مقادیر قابل ملاحظه‌ای کوارتز و کانی‌های آلومینوسیلیکاته دیگر نظیر فلدسپارها و میکاها دارند. تحت شرایط pH و دمای موجود، انحلال‌پذیری کوارتز بسیار کم است. فلدسپارها و میکاها در آب‌هایی که دی‌اکسیدکربن در آنها حل شده است، به صورت نامتجانس حل می‌شوند. این فرآیند سبب آزادسازی کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به داخل آب می‌شود و یک باقیمانده رسی که غنی از آلومینوسیلیکات‌ها (رس) می‌باشد برجا می‌ماند. بازالت‌ها عمدتاً حاوی کانی‌های غنی از کلسیم و منیزیم می‌باشند. بنابراین آب‌های زیرزمینی در بازالت‌ها مقدار بالایی از عناصر قلیایی خاکی و مقدار کمتری قلیایی دارد. معمولاً TDS کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. در بین آنیون‌ها  $\text{HCO}_3$  نسبت به  $\text{Cl}$  و  $\text{SO}_4$  غالب می‌باشد. pH معمولاً بین ۶/۷ تا ۸/۵ و مقدار سیلیس بالا (بیش از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) است (Singhal and Gupta, 2010).

---

منشأ کاتیون سدیم به عنوان یکی از عناصر اصلی موجود در منابع آب، ممکن است از هالیت، شوره‌ها، آب دریا، برخی سیلیکات‌ها و بعضی از کانی‌های کمیاب باشد. غلظت سدیم همچنین در نتیجه تبادل یونی، زمانی که رس‌های حاوی سدیم با کلسیم و منیزیم واکنش می‌دهند، افزایش می‌یابد. غلظت بالای یون سدیم به احتمال زیاد از انحلال فلدسپات‌ها به خصوص آل‌بیت می‌باشد. از میان سنگ‌های آذرین کانی‌های دربردارنده سدیم شامل آل‌بیت، فلدسپارهای پلاژیوکلاز، نفلین و سودالیت هوازده می‌باشد، که سدیم به صورت محصول اولیه آزاد می‌شود (Biswajeet Pradhan et al., 2011).

عنصر منیزیم یکی از کاتیون‌های اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی است و از عوامل تأثیرگذار بر سختی آب می‌باشد. در میان سنگ‌های آذرین کانی‌های اولیوین، بیوتیت و هورنبلند از مهم‌ترین منابع حضور منیزیم در آب‌های زیرزمینی می‌باشند. در سنگ‌های رسوبی دولومیت و در سنگ‌های دگرگونی تالک، دیوپسید و سرپانتین منشأ منیزیم به‌شمار می‌آیند. معمولاً همراه با کلسیت، منیزیم وجود دارد. با توجه به فراوانی کلسیت، مقدار کلسیم در آب‌های زیرزمینی اغلب بیش از منیزیم است. دلیل دیگر فراوانی کمتر منیزیم نسبت به کلسیم این است که انحلال کانی‌های غنی از منیزیم به کندی صورت می‌گیرد. عمده‌ترین منبع حاوی مقادیر بالای منیزیم (Mg) دولومیت می‌باشد. همچنین منیزیم می‌تواند در اثر انحلال سیلیکات‌های الیوین، پیروکسن، آمفیبول و میکا وارد آب شود (Hounslow, 1995).

کاتیون کلسیم به عنوان یکی از رایج‌ترین عناصر موجود در آب‌های زیرزمینی به‌شمار می‌آید. منشأ این عنصر در آب‌های زیرزمینی، کلسیت، دولومیت، آراگونیت، ژیپس و انیدریت می‌باشد (Obiefuna and Sheriff, 2011). کلسیم در سنگ‌های آذرین ممکن است از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول باشد (Al-Ahmadi, 2013).

---

آنیون بی‌کربنات از سه منشأ وارد آب زیرزمینی می‌شود. مقداری از آن از طریق انحلال کانی کلسیت و مقدار جزئی از آن همراه با بارش، به صورت محلول در آب زیرزمینی یافت می‌شود. بخش عمده بی‌کربنات ناشی از انحلال گاز کربنیک موجود در منطقه غیراشباع آبخوان می‌باشد. مهم‌ترین منبع ورود یون‌های کربنات و بی‌کربنات به آب‌های زیرزمینی، وجود دی‌اکسیدکربن در آب و حضور سنگ‌های کربناته است. دی‌اکسیدکربن در اثر انحلال در آب و سنگ‌های کربناته در اثر تجزیه توسط اسیدها، یون بی‌کربنات تولید می‌کنند. هوازدگی کانی‌های سیلیکاته موجود در سنگ نیز ممکن است منبع بی‌کربنات در نظر گرفته شود (Gastmans et al., 2010).

در سازندهای سخت معمولاً میزان یون کلر کم می‌باشد. منشأ کلر عمدتاً خارجی بوده و می‌تواند از آب دریا باشد. یون کلر بیشتر به صورت نمک‌های سدیم و منیزیم با انحلال‌پذیری بالا در آب وجود دارد. میزان این یون از فاکتورهای اصلی و تعیین‌کننده در مصارف گوناگون به‌خصوص برای مصرف شرب به شمار می‌رود. منبع رایج کلر هالیت، نفوذ آب دریا، شورابه‌ها و چشمه‌های داغ می‌باشد (Hounslow, 1995). کلر ممکن است بر اثر انحلال نمک‌های قابل حل نهشته شده در خاک به سبب نرخ تبخیر بالا وارد آب زیرزمینی شود. غلظت بالای کلر در آب زیرزمینی می‌تواند در رابطه با هوازدگی کانی‌ها، کودهای شیمیایی و مخازن فاضلاب باشد (Al-Ahmadi, 2013).

ژپس به عنوان منشأ اصلی آنیون سولفات به شمار می‌رود. تجزیه و شکست مواد ارگانیکی، حضور سولفات قابل شستشو در محصولات کشاورزی و کودها، مدفوع حیوانات و اکسیداسیون مواد معدنی سولفاته از عوامل مؤثر دیگر بر حضور سولفات در آب‌های زیرزمینی می‌باشند (Samoorithy et al., 2008). در حالت کلی یک منشأ احتمالی کلرید و سولفات انحلال نمک‌های کلریدی و سولفاته موجود در درز و شکاف‌های سنگ می‌باشد.

---

خصوصیات شیمیایی آب، نتیجه انتقال جرم، بین آب موجود در خلل و فرج، درز و شکاف و شکستگی‌های سنگ میزبان با کانی‌های تشکیل دهنده آن سنگ می‌باشد. این انتقال جرم عمدتاً به پارامترهایی نظیر دما، pH و عوامل شیمیایی از جمله شرایط اکسایش-کاهش، فرآیندهای تبادل یونی، غلظت شیمیایی محلول‌های هوازدهی و ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان بستگی دارد. همچنین عوامل فیزیکی از جمله مدت زمان ماندگاری آب (Residence time) در تماس با کانی و طول مسیر جریان (Flow paths) بر شیمی آب مؤثر می‌باشند. زیاد بودن زمان ماندگاری، فرصت مناسبی برای وقوع واکنش‌های میان آب و مواد محیط متخلخل است. مسیرهای جریان نیز نوع موادی را که آب با آن‌ها در تماس است، تعیین می‌نمایند (یزدی‌زاده، ۱۳۹۵).

#### ۲-۴- فلزات سنگین موجود در سازند سخت

فلزات سنگین در میان سایر آلاینده‌های منابع آب، به دلیل سمی بودن و تأثیر مستقیم بر روی موجودات آبی اهمیت بالاتری دارند. این آلاینده‌ها می‌توانند منشأهای مختلف زمین‌شناسی و انسانی داشته باشند. فلزات سنگین شامل فلزاتی ضروری و غیرضروری است که برای مدت زمان طولانی در آب باقی نمی‌مانند و معمولاً به صورت معلق یا توسط مواد معدنی و آلی تثبیت می‌گردند. تجمع و انباشت فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی (دریاچه‌ها، آب‌های زیرزمینی و مخازن) می‌تواند اثرات سوء زیادی بر سلامت موجودات و بخش بیولوژیکی منابع آب داشته باشد، به طوری که پژوهش‌های گسترده‌ای در طی سالیان اخیر در ارتباط با تجمع فلزات سنگین در منابع آبی انجام شده است. منابع آب زیرزمینی در مناطق نیمه خشک یک جزء اصلی از منابع آب برای آشامیدن و کشاورزی را تشکیل می‌دهد. افزایش بهره‌برداری از این منابع و سهم ضایعات سطحی به دلیل فعالیت‌های برنامه‌ریزی نشده انسان، پایداری این منابع را به خطر انداخته است (Singaraja et al., 2013). علاوه بر این، گزارش‌های اخیر در مورد حضور عناصر

---

سمی، از جمله عناصر رادیواکتیو در آب‌های زیرزمینی باعث شده که علاوه بر توجه به کمیت آب‌های زیرزمینی نظارت بر کیفیت آب از نظر عناصر رادیواکتیو امری ضروری باشد (Singh, 1995). متداول-ترین عنصر رادیواکتیو در پوسته زمین اورانیوم است که حضور آن در آب‌های زیرزمینی رایج نمی‌باشد. با این حال، اورانیوم در آب‌های زیرزمینی ممکن است در غلظت‌های بالا در مناطق مرتبط با ذخایر معدنی، هوازگی سنگ‌های گرانیتی و در برخی از آبخوان‌های سنگی رخ دهد (Prat, 2009).

## ۲-۵- سوابق مطالعات انجام شده در مورد هیدروژئوشیمی سازندهای سخت

مُر و همکاران (۱۳۸۴) با موضوع زمین آب شیمی و زمین دماسنجی چشمه‌های آب گرم و معدنی دامنه جنوبی و جنوب غربی آتشفشان تفتان به این نتیجه رسیدند که بطو کلی آب‌های گرم دامنه جنوبی و جنوب غربی تفتان یک آب سولفات- کلرید اسیدی با میزان بالای منیزیم هستند که کلر بطور اولیه از ماگما گرفته شده است. همچنین با توجه به نسبت  $SO_4/Cl$  بر روی دیگرام مثلثی  $HCO_3^- - Cl - SO_4$  آب-های گرم دامنه جنوبی و جنوب غربی تفتان ماهیت بخارات ماگمایی و آب‌های آتشفشانی دارند.

اصغری مقدم و فیجانی (۱۳۸۵) با مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی آبخوان‌های کارستی و بازالتی منطقه ماکو به این نتیجه دست یافتند که نمونه‌های بازالتی به طور عمده دارای تیپ بی‌کربنات سدیم- کلسیم و نمونه‌های آهکی دارای تیپ بیکربنات کلسیم- منیزیم هستند. در منطقه مطالعاتی از بین ۸ یون اصلی و مقادیر فلئور، فسفات، نترات و سیلیس، مقادیر فلئور از غلظت بالاتر از حد استاندارد WHO است.

بررسی هیدروژئوشیمی سازندهای سخت ریولیتی شرق مهاباد توسط کرده‌لاچین (۱۳۹۵) نشان می‌دهد که در بین آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود بی‌کربنات و کلسیم بیشترین اختلاف را با منابع مشابه در پهنه-های ریولیتی دنیا دارند که با توجه به این موضوع تیپ بی‌کربنات-کلسیک برای منابع آب موجود در

---

ریولیت مه‌آباد در نظر گرفته شده است. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در طول مسیر جریان و همراه با افزایش TDS منابع آب، افزایش می‌یابد. همچنین غلظت یون سیلیس از ارتفاعات به سمت محل‌های کم ارتفاع‌تر افزایش می‌یابد، که ناشی از پیشرفت واکنش‌های هوازدگی می‌باشد.

مطالعات یزدی‌زاده (۱۳۹۵) بر روی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدروشیمیایی در منابع آب زیرزمینی سازند سخت منطقه شیرکوه نشان می‌دهد که کاتیون غالب کلسیم بوده که ناشی از انحلال کلسیت و ژپس و هوازدگی کانی‌های موجود در سنگ‌های گرانیتی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در میان تمامی آنیون‌ها، یون بی‌کربنات بیشترین مقدار را داشته است. بر این اساس تیپ نمونه‌های آب از نوع بی-کربناته-کلسیک است که با توجه به سازند سخت منطقه مورد مطالعه این موضوع قابل توجیه می‌باشد. همچنین میانگین جزء مولکولی سیلیس در آب‌های گرانیتی شیرکوه حدود ۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. غلظت سیلیس در سایر سنگ‌های گرانیتی در نقاط مختلف دنیا از ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد.

ساتیانارایانان و همکاران (Satyanarayanan et al., 2006) برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی یک آبخوان سنگ گرانیتی در نزدیکی حیدرآباد (هند)، غلظت عناصر کمیاب Fe, Mn, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, U, Pb, Ba, Sb, Cd, Mo, Sr, As, Zn, Cu و همچنین یون‌های اصلی را در نمونه‌های آب اندازه‌گیری نمودند. داده‌های تحلیلی نشان داد که در چاه‌های دستی و گمانه‌ها مقادیر یون‌های شیمیایی اصلی و pH یکسان بوده، ولی غلظت برخی عناصر مانند Fe, Be, Co, Pb, U, Zn, Mn, Al متفاوت می‌باشد، که دلیل این امر را می‌توان به واکنش‌های هوازدگی سیلیکات‌ها و فرآیندهای انحلال که توسط باران و جریان آب زیرزمینی در امتداد درز و شکستگی‌های سنگ رخ می‌دهند، نسبت داد. آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه جهت مصارف شرب نامناسب و برای اهداف کشاورزی مناسب تشخیص داده شد.



---

# فصل سوم

## روش انجام کار

در این تحقیق برای بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب موجود در نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین در مرحله اول مطالعات اولیه شامل بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی، بررسی راه‌های دسترسی به منطقه و تعیین مناطق نمونه‌برداری صورت پذیرفت. پس از آن، بازدیدهای صحرایی، نمونه‌برداری‌های اولیه، مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی انجام شد. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی، غلظت فلزات سنگین و ایزوتوپی به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شدند. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه در دو مرحله (بهمن ۹۶ و تیر ۹۷) انجام شده و تمامی مراحل ذکر شده مربوط به دو مرحله می‌باشد. در این فصل نحوه نمونه‌برداری، آنالیز نمونه‌ها و روش‌های تجزیه و تحلیل نتایج آنالیزها ارائه می‌گردد.

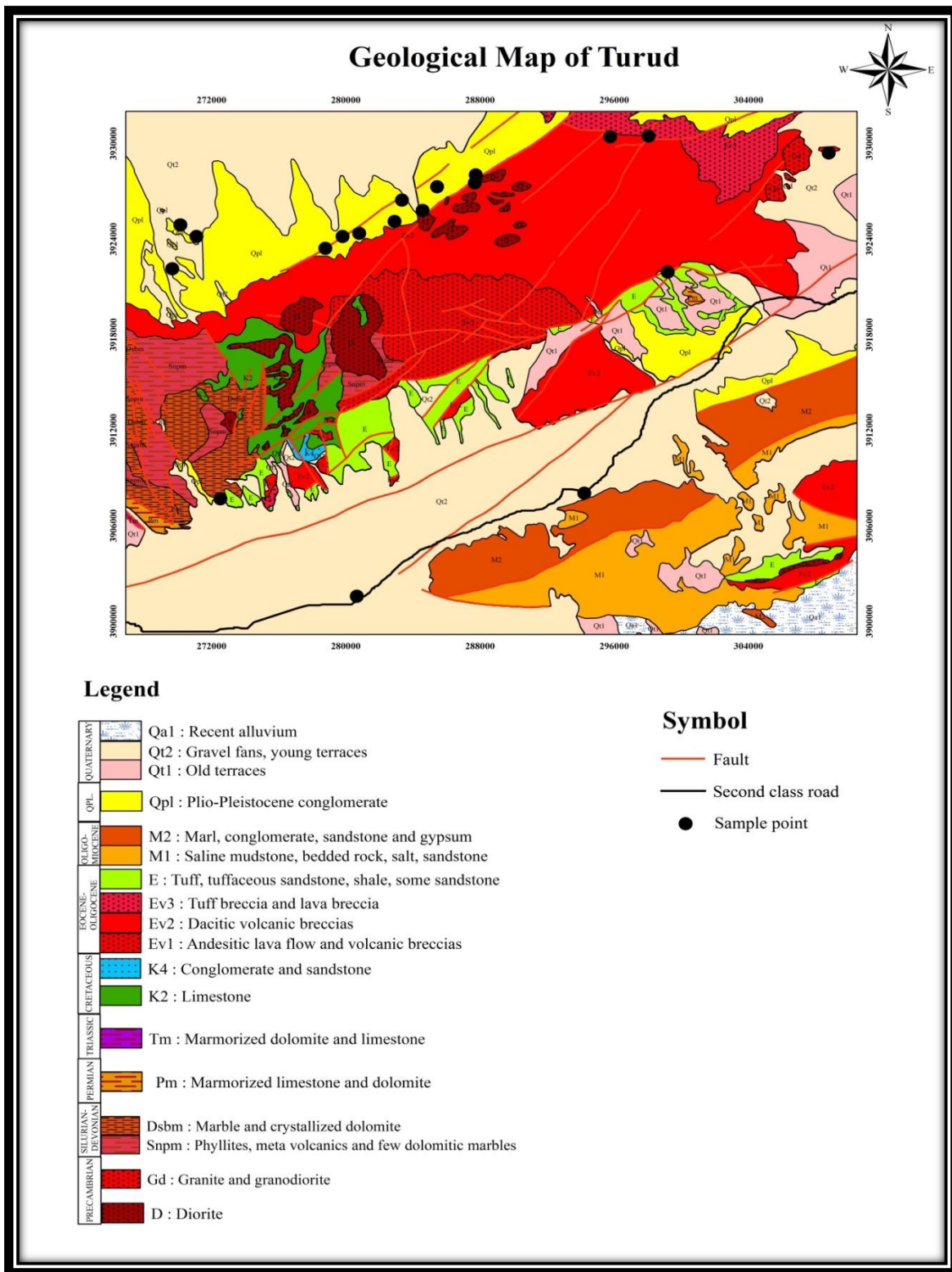
### ۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نقاط نمونه‌برداری به‌صورتی انتخاب شده است که از پراکندگی قابل قبولی برخوردار باشند و تعداد نمونه‌های برداشت شده از منطقه به کلی منطقه را پوشش دهند تا در نهایت نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌ها گویای وضعیت کلی از نوار ماگمایی مورد مطالعه باشد. برداشت نمونه و اندازه‌گیری پارامترهای مربوطه از منطقه در دو مرحله صورت گرفته است که نمونه‌های مرحله اول در بهمن ماه ۹۶ و نمونه‌های مرحله دوم در تیر ماه ۹۷ برداشت شده‌اند. نمونه‌های جمع‌آوری شده اغلب از دهانه قنات‌ها بوده و تنها چند نمونه مربوط به چشمه‌های موجود در منطقه می‌باشند. از مجموع ۳۴ نمونه برداشت شده، ۱۵ مورد از آن‌ها مربوط به مرحله اول و ۱۹ مورد مربوط به مرحله دوم می‌باشند.

جهت جمع‌آوری نمونه‌های هر نقطه از بطری‌های پلاستیکی نیم لیتری شفاف و تیره استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که تمامی بطری‌های یاد شده قبل از استفاده با آب همان نقطه نمونه‌برداری کاملاً شسته شده و سپس کاملاً پر و فاقد هیچگونه حباب هوایی به آزمایشگاه منتقل شده‌اند.

جدول ۳-۱- مشخصات نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در نوار تروود- چاه شیرین

شماره نمونه	محل نمونه برداری	عرض جغرافیایی*	طول جغرافیایی*	ارتفاع
۱	درویش	۲۹۷۴۳۳	۳۹۲۹۸۴۴	۱۳۹۱
۲	تنوره	۲۹۵۱۵۴	۳۹۲۹۷۹۹	۱۴۷۱
۳	چاه موسی	۳۰۸۱۶۵	۳۹۲۸۷۹۲	۱۱۰۷
۴	پیرمردان	۲۹۸۵۷۳	۳۹۲۱۳۰۸	۱۴۵۰
۵	بیدستان	۲۹۳۶۰۳	۳۹۰۷۴۲۷	۱۲۱۹
۶	سیینگ	۲۸۰۰۵۱	۳۹۰۰۹۵۵	۱۲۱۹
۷	رشم	۲۷۱۹۱۹	۳۹۰۷۰۷۰	۱۳۴۱
۸	یان	۲۶۹۰۴۷	۳۹۲۱۵۱۶	۱۵۵۴
۹	حاشیه جاده	۲۶۹۵۳۱	۳۹۲۴۲۷۵	۱۴۷۰
۱۰	کلاته	۲۷۰۴۸۸	۳۹۲۳۵۴۲	۱۴۸۳
۱۱	کوه شاه	۲۷۹۱۹۷	۳۹۲۳۵۴۰	۱۶۴۰
۱۲	کلاته حاج علی	۲۷۸۱۶۹	۳۹۲۲۷۹۷	۱۶۴۹
۱۳	سلم آباد	۲۸۰۱۸۵	۳۹۲۳۷۳۸	۱۶۲۶
۱۴	کوه زر	۲۸۲۲۹۰	۳۹۲۴۴۸۶	۱۶۴۷
۱۵	شیمی	۲۸۲۷۳۵	۳۹۲۵۸۳۱	۱۶۰۷
۱۶	ده نو	۲۸۳۹۷۰	۳۹۲۵۱۸۰	۱۷۰۴
۱۷	نوا	۲۸۴۸۲۹	۳۹۲۶۶۷۰	۱۵۹۴
۱۸	باغو	۲۸۷۰۷۲	۳۹۲۶۹۰۲	۱۶۸۴
۱۹	علیخان	۲۸۷۱۲۸	۳۹۲۷۴۰۹	۱۶۴۳



شکل ۳-۱- پراکندگی نقاط نمونه برداری در سازند سخت ترود-چاه شیرین

### ۳-۳- اندازه‌گیری پارامترهای هیدروشیمیایی

#### ۳-۳-۱- اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی نمونه‌ها

اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل هدایت الکتریکی (EC)، (pH) و دمای آب که ممکن است به علت جابجایی نمونه‌ها تا آزمایشگاه مربوطه تغییر کنند، معمولاً در بازدیدهای صحرایی و در محل خروج آب از قنات یا چشمه انجام می‌شوند.

هدایت الکتریکی قابلیت یک محلول جهت انتقال جریان الکتریکی است و واحد اندازه‌گیری آن میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. هدایت الکتریکی (EC) و همچنین درجه حرارت نمونه آب‌های برداشت شده از منطقه توسط دستگاه EC متر با دقت ۰/۰۱ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. pH که بیانگر قدرت اسیدی یک نمونه می‌باشد، توسط دستگاه pH متر با دقت ۰/۱ در محل خروجی منبع آبی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳-۲- اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی در محل نمونه‌برداری (EC، pH و دما)

### ۳-۳-۲- اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

نمونه آب‌های برداشت شده به آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شده و به روش کروماتوگرافی یونی (IC) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

### ۳-۳-۲-۱- کروماتوگرافی یونی (IC)

تمامی نمونه‌های برداشت شده در بهمن‌ماه و تیرماه توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) موجود در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود آنالیز شدند. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای تزریق به دستگاه، در ابتدا حجم معینی از نمونه (۵ میلی لیتر) را جدا نموده سپس توسط سرنگ‌های مخصوص از فیلترهای سرسرنگی عبور داده، سپس دستگاه را در حالت Inject قرار داده و نمونه توسط سرنگ به داخل دستگاه تزریق می‌شود. پس از خوانده شدن نمونه توسط دستگاه IC خروجی داده‌ها به صورت نمودار در دسترس قرار می‌گیرند که با تجزیه و تحلیل نمودارها توسط کارشناس آزمایشگاه می‌توان مقدار عددی عناصر اندازه‌گیری شده را استخراج کرد (جدول ۳-۲ و ۳-۳).

### ۳-۳-۳- اندازه‌گیری فلزات سنگین

جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین، تعداد ۱۳ نمونه از منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. نمونه‌ها در شیشه‌های کدر نیم‌لیتری جمع‌آوری شده و پراکندگی آن‌ها به گونه‌ای می‌باشد که بتواند بیانگر وضعیت کلی آب خروجی از نوار ماگمایی تروود-چاه‌شیرین باشد. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها آن‌ها به آزمایشگاه اندازه‌گیری فلزات سنگین (زرآزما) ارسال گردید، که به روش MMS-01 و با دقت ppb مورد آنالیز قرار گرفته‌اند (جدول ۳-۴).

جدول ۳-۲- نتایج آنالیز شیمیایی توسط دستگاه IC مربوط به بهمن ماه

نمونه	Cl	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	TDS	pH	EC	T
۱	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
۲	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
۳	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
۴	۱/۵۹	۴/۳	۰/۳۱	۱/۸۵	۰/۰۱۵	۷/۷۲	۸۱۷/۵	۷/۹۶	۶۸۲	۱۶/۵
۵	۲/۶۳	۴/۳	۱۳/۰۴	۳/۸۷	۰/۱۱۶	۱۰/۷۸	۱۷۹۱/۹	۷/۵	۱۷۱۵	۱۸/۳
۶	۲۴/۶۷	۲/۱	۹/۴۶	۴/۲۴	۰/۰۶۱	۳۲/۱۷	۲۷۱۵/۶	۷/۹۵	۲۹۵۰	۱۸/۸
۷	۳/۲۶	۲/۹	۲/۳۰	۲/۸۸	۰/۰۱۶	۵/۳۲	۶۴۸/۵۵	۸/۰۵	۷۳۵	۱۷/۲
۸	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
۹	۱/۹۴	۳/۰	۲/۶۹	۱/۳۹	۰/۱۰۷	۷/۰۰	۷۹۱/۸	۸/۰۱	۱۰۲۳	۱۱/۳
۱۰	۱/۲۹	۲/۷	۲/۴۲	۱/۲۶	۰/۰۲۳	۴/۷۴	۵۷۸/۱	۸/۱۶	۷۴۳	۱۰/۸
۱۱	۱/۱۷	۳/۸	۲/۷۰	۲/۵۶	۰/۰۲۵	۸/۷۸	۱۰۳۷/۵	۸/۳۵	۱۱۸۶	۶/۳
۱۲	۰/۹۶	۳/۲	۱/۲۹	۰/۷۶	۰/۰۲۲	۴/۳۶	۴۷۸/۸۲	۸/۲۶	۶۰۴	۴/۵
۱۳	۱/۳۸	۳/۳	۳/۸۲	۲/۶۹	۰/۰۳۰	۶/۱۰	۹۰۳/۹۴	۸/۱۸	۱۱۲۰	۵/۵
۱۴	۱/۸۶	۳/۶	۲/۰۸	۱/۲۶	۰/۰۲۸	۴/۷۸	۶۲۲/۸۴	۸/۳۶	۷۳۶	۶/۴
۱۵	---	---	---	---	---	---	---	---	۵۴۴	۷/۹
۱۶	۱/۶۳	۲/۷	۳/۱۳	۰/۹۵	۰/۰۳۳	۳/۴۶	۴۹۳/۵	۷/۹۳	۵۷۸	۷/۱
۱۷	۱/۰۳	۳/۰	۱/۵۶	۰/۴۵	۰/۰۲۳	۶/۱۸	۵۴۹/۰۷	۸/۲۵	۶۳۲	۱۲/۴
۱۸	۱/۴۵	۲/۹	۳/۵۶	۱/۲۱	۰/۰۶۳	۹/۰۶	۹۲۳/۹	۸/۰۷	۱۰۰۵	۱۰/۴
۱۹	۱/۷۷	۲/۵	۴/۳۶	۱/۳۲	۰/۰۵۳	۸/۸۹	۹۵۴/۷۷	۸/۱۲	۱۰۲۵	۱۰/۸
بیشینه	۲۴/۶۷	۴/۳	۱۳/۴	۴/۲۴	۰/۱۱	۳۲/۱۷	۲۷۱۵/۶	۸/۳۶	۲۹۵۰	۱۸/۸
کمینه	۰/۹۶	۲/۱	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۰۱	۳/۴۶	۴۷۸/۸	۷/۵	۵۴۴	۴/۵
میانگین	۳/۳۳	۳/۱۵	۳/۷۷	۱/۹۱	۰/۰۴	۸/۵۳	۸۸۷/۳	۸/۰۹	۱۰۱۸/۵	۷/۱۴

غلظت تمام یون‌ها برحسب epm، غلظت TDS برحسب ppm، غلظت EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر و دما برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ادامه جدول ۲-۳

خطا	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Li	PO <sub>4</sub>	F	NO <sub>3</sub>	Br	NO <sub>2</sub>	نمونه
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۲
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۳
۱/۴۴	---	۱/۹۲	---	---	---	---	۰/۰۱۲	---	---	۴
۵/۰۸	---	۱۸/۲۱	---	۰/۱۰۴	---	۰/۰۵۳	---	---	۰/۰۲	۵
۴/۵۷	---	۱۵/۰۵	---	---	---	۰/۰۱۳	---	۰/۰۸	---	۶
۶/۰۴	---	۳/۱۳	---	---	---	۰/۰۱۰	۰/۰۲۹	---	---	۷
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۸
۰/۵۴	---	۶/۲۵	---	۰/۱۸۶	---	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵	---	---	۹
۳/۴۳	---	۳/۹۶	---	۰/۱۴۳	---	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵	---	---	۱۰
۲/۴۵	---	۹/۹۰	---	۰/۰۹۴	---	۰/۰۱۰	---	---	---	۱۱
۰/۶۰	---	۲/۲۹	---	---	---	۰/۰۰۸	۰/۰۴۷	---	---	۱۲
۱/۰۶	---	۸/۳۲	---	۰/۱۴۳	---	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	---	۰/۰۲	۱۳
۳/۷۶	---	۳/۴۱	---	۰/۱۴۳	---	۰/۰۰۴	۰/۰۶۷	---	---	۱۴
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۱۵
۵/۸۹	---	۲/۳۰	---	---	---	۰/۰۱۲	۰/۰۸۵	---	---	۱۶
۶/۹۰	---	۳/۰۶	---	---	---	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	---	---	۱۷
۴/۶۰	---	۸/۲۹	---	---	---	۰/۰۴۴	---	---	---	۱۸
۵/۰۴	---	۸/۹۴	---	---	---	۰/۰۲۶	---	---	---	۱۹
۶/۹۰	---	۱۸/۲۱	---	۰/۱۸۶	---	۰/۰۵۳	۰/۰۸۵	۰/۰۸	۰/۰۲	بیشینه
۰/۵۴	---	۱/۹۲	---	۰/۰۹۴	---	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۸	۰/۰۲	کمینه
۳/۶۷	---	۶/۷۹	---	۰/۱۳	---	۰/۰۲۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۲	میانگین

غلظت تمام یون‌ها بر حسب ppm و SiO<sub>2</sub> بر حسب epm می‌باشد.



جدول ۳-۳- نتایج آنالیز شیمیایی توسط دستگاه IC مربوط به مرحله دوم (تیر ۹۷)

نمونه	Cl	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	TDS	pH	EC	T
۱	۱۵/۰۶	۲/۵	۱۳/۰۰	۲/۹۲	۰/۰۵۷	۱۷/۲۰	۲۰۵۳/۶۸	۷/۵۲	۳۵۲۰	۲۰/۵
۲	۱/۱۵	۳/۶	۴/۷۸	۱/۵۱	۰/۰۳۵	۵/۴۰	۸۶۴/۶۲	۷/۲۷	۱۳۵۵	۱۸/۵
۳	۶/۷۷	۳/۵	۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۰۳۸	۱۲/۰۹	۹۷۵/۱۸	۷/۶	۱۸۱۴	۲۱/۵
۴	۱/۶۰	۴/۲	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۶	۵/۹۷	۵۷۳/۴۶	۷/۷۶	۸۸۵	۲۶
۵	۲/۶۵	۴/۸	۹/۵۰	۳/۰۰	۰/۱۰۳	۱۰/۸۹	۱۸۰۸/۷۹	۷/۲۵	۲۶۳۶	۳۰/۵
۶	۲۳/۱۱	۱/۸	۶/۷۰	۲/۸۷	۰/۰۷۵	۲۷/۲۲	۲۳۶۱/۹۴	۷/۵۴	۴۴۵۲	۲۶/۵
۷	۳/۰۱	۳/۴	۱/۶۸	۲/۴۲	۰/۰۲۳	۵/۰۹	۶۵۳/۳۱	۷/۶	۱۰۲۶	۲۳/۵
۸	۳/۶۴	۲/۶	۳/۳۴	۱/۷۲	۰/۰۳۸	۹/۶۸	۱۰۱۱	۷/۷۸	۱۷۱۶	۲۴/۲
۹	۱/۹۹	۳/۵	۳/۳۴	۱/۳۳	۰/۰۶۹	۶/۹۳	۸۷۵/۰۵	۷/۱۳	۱۳۶۵	۱۸/۵
۱۰	۱/۲۷	۲/۸	۱/۹۰	۰/۹۶	۰/۰۲۶	۴/۷۸	۵۹۹/۳۹	۷/۸۲	۹۴۶	۱۹/۸
۱۱	۱/۰۹	۳/۵	۲/۵۹	۲/۵۲	۰/۰۳۱	۸/۴۹	۹۹۵/۳۹	۷/۶۹	۱۶۱۵	۱۷/۵
۱۲	۰/۹۰	۳/۳	۱/۳۳	۰/۸۹	۰/۰۲۴	۴/۳۶	۵۰۸/۷۹	۷/۹۱	۷۷۷	۱۹
۱۳	۱/۵۳	۳/۲	۴/۱۵	۳/۰۵	۰/۰۳۰	۶/۹۴	۹۷۷/۸۲	۷/۵	۱۴۷۸	۱۷/۷
۱۴	۱/۷۵	۲/۷	۱/۸۲	۰/۹۷	۰/۰۳۸	۴/۷۵	۵۶۱/۸۸	۷/۶۹	۹۳۸	۱۹/۸
۱۵	۱/۲۴	۲/۷	۱/۷۸	۱/۰۲	۰/۰۲۲	۲/۸۷	۴۲۹/۵۵	۷/۶۸	۶۶۵	۱۹/۳
۱۶	۱/۲۱	۲/۹	۲/۲۵	۰/۷۱	۰/۰۲۵	۲/۸۶	۴۴۱/۳۵	۷/۵۴	۶۸۶	۱۷/۳
۱۷	۱/۰۲	۳/۱	۱/۳۱	۰/۴۲	۰/۰۲۲	۵/۶۹	۵۵۷/۱۷	۷/۹۸	۸۲۴	۲۴/۸
۱۸	۱/۳۱	۳/۹	۳/۰۶	۱/۰۲	۰/۰۴۶	۷/۸۸	۹۳۹/۷۸	۷/۷۳	۱۲۷۵	۱۹/۷
۱۹	۱/۵۶	۲/۹	۳/۴۳	۱/۰۷	۰/۰۴۱	۷/۴۲	۹۰۶/۴۰	۷/۶۸	۱۳۳۹	۱۹/۷
بیشینه	۲۳/۱۱	۴/۸	۱۳/۰۰	۳/۰۵	۰/۱	۲۷/۲۲	۲۳۶۱/۹	۷/۹۸	۴۴۵۲	۳۰/۵
کمینه	۰/۹	۱/۸	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲	۲/۸۵	۴۲۹/۵	۷/۱۳	۶۶۵	۱۷/۳
میانگین	۳/۸	۳/۲	۳/۵۶	۱/۵۴	۰/۰۴	۸/۲۳	۹۳۹/۳۴	۷/۶	۱۵۴۲	۲۱/۳

غلظت تمام یون‌ها برحسب epn، غلظت TDS برحسب ppm، غلظت EC برحسب میکروزیمنس بر

سانتی‌متر و دما برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ادامه جدول ۳-۳

خطا	NH <sub>4</sub>	Li	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	F	NO <sub>3</sub>	Br	NO <sub>2</sub>	نمونه
۳/۸۵	---	۰/۴۳	۱۳/۳۷	۳۱/۴۶	---	---	۰/۱۹	---	---	۱
۰/۱۵	---	---	۶/۹۳	۳۲/۱۰	---	---	۰/۰۷	---	---	۲
۰/۱۴	---	---	۳/۶۶	۳۱/۰۳	---	---	۰/۲۲	---	---	۳
۶/۳۳	---	---	۱/۷۰	۲۹/۷۵	---	---	۰/۰۶	---	---	۴
۵/۵۹	---	---	۱۸/۷۹	۳۹/۵۹	---	۰/۰۳۱	---	---	---	۵
۰/۸۸	---	---	۱۲/۵۰	۳۴/۰۳	---	۰/۰۲۵	۰/۰۹	---	---	۶
۰/۳۱	---	---	۲/۸۲	۲۳/۱۱	---	۰/۰۱۰	۰/۰۲	---	۰/۰۱۳	۷
۱/۷۹	---	---	۷/۹۵	---	---	۰/۰۱۰	۰/۰۶	---	---	۸
۱/۳۱	---	۰/۱۴	۶/۵۹	---	---	۰/۰۱۹	۰/۰۴	---	---	۹
۳/۱۵	---	---	۴/۰۲	۳۰/۳۹	---	۰/۰۲۱	۰/۰۶	---	---	۱۰
۰/۲۸	---	---	۹/۰۷	۲۸/۸۹	۰/۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱۱
۱/۲۲	---	---	۲/۲۲	---	---	۰/۰۰۷	۰/۰۲	---	---	۱۲
۲/۶۳	---	---	۸/۷۱	---	---	---	۰/۰۰۸	---	---	۱۳
۰/۰۹	---	---	۳/۱۰	۲۷/۱۸	---	۰/۰۱	۰/۰۳	---	---	۱۴
۱/۱۸	۰/۰۴	---	۱/۵۸	---	---	۰/۰۰۹	۰/۰۶	---	---	۱۵
۱/۰۸	---	---	۱/۵۵	۲۶/۹۶	---	۰/۰۰۷	۰/۰۶	---	---	۱۶
۲/۴۱	---	---	۲/۹۱	۲۹/۱۰	---	۰/۰۱۷	۰/۰۴	---	---	۱۷
۱/۸۰	---	۰/۴	۷/۶۱	۳۳/۳۸	---	۰/۰۱۸	۰/۰۲	---	---	۱۸
۱/۵۷	---	۰/۲۹	۸/۱۳	---	---	۰/۰۴۲	---	---	---	۱۹
۶/۳۳	۰/۰۴	۰/۴۳	۱۸/۷۹	۳۹/۵۹	---	۰/۰۴۲	۰/۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	پیشینه
۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۱۴	۱/۵۵	۲۳/۱۱	---	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	کمینه
۱/۸۸	۰/۰۴	۰/۳۱	۶/۴۸	۳۰/۵۳	---	۰/۰۱۷	۰/۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	میانگین

غلظت تمام یون‌ها برحسب epم و SiO<sub>2</sub> برحسب ppm می‌باشد.

جدول ۳-۴- غلظت فلزات سنگین منابع آب موجود در سازند سخت تروود- چاه شیرین

یون	نمونه													واحد	دقت اندازه- گیری
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸		
Ba	۲۱/۰۴	۱۹/۵۱	۰/۵	۰/۵	۲۸/۶۵	۱۱/۴۹	۰/۵	۵/۹	۸/۰	۵۰/۷۴	۷۱/۷۶	۰/۵	۰/۵	ppb	۱
Li	۱۰۲/۱۸	۳۶/۹۳	۴۰/۷۵	۱۷/۱۵	۴۵/۲۸	۵۲/۹۱	۲۰/۴۵	۲۱/۲۳	۲۷/۵۱	۱۵/۳۲	۱۲/۳	۱۴/۹۹	۳۳/۶۹	ppb	۱
Mo	۱/۸۲	۳/۵۹	۱۰/۲۶	۳/۸۵	۳/۹	۴/۲۴	۴/۶۳	۹/۸۶	۶/۴۲	۰/۱۴	۱/۵۲	۳/۷۴	۲۲/۴۲	ppb	۰/۱
Rb	۱/۵۶	۱/۳۳	۲/۲۱	۲/۴۶	۱/۵۹	۴/۹۹	۲/۲۲	۰/۵	۱/۶۱	۱/۵۳	۱/۸۵	۲/۲۱	۳/۴	ppb	۱
Sb	۵/۸۲	۴/۴۹	۲/۱۶	۴/۲۷	۱/۳	۱/۱۸	۱/۳	۲/۰۴	۳/۰۷	۱/۱۲	۰/۵	۱/۳۱	۴/۹	ppb	۱
Sc	۸/۵۶	۹/۹۳	۱۱/۶۳	۱۲/۱۷	۱۳/۳۶	۹/۶۵	۷/۱۵	۱۰/۵۱	۹/۴	۸/۳۹	۸/۵	۹/۳۱	۱۱/۶۸	ppb	۱
Se	۸/۲۵	۳/۷۷	۷/۸۹	۴/۰۵	۶/۳۳	۱۷/۲۸	۶/۱۹	۴/۰۵	۳/۲۷	۴/۲۷	۴/۱۳	۲/۸۴	۱/۷۱	ppb	۰/۱
Sr	۵۵۶۰	۱۶۲۰	۱۱۲۰	۳۵۰	۲۸۶۰	۴۵۴۰	۱۰۹۰	۱۰۰۰	۱۵۴۰	۱۱۰۰	۱۰۴۰	۵۳۰	۱۰۲۰	ppb	۰/۰۱
Ag	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	ppb	۰/۵
Al	۵۰	۲۰	۵	۵	۵۰	۴۰	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۵	۱۰	ppb	۰/۰۱
As	<۱	<۱	<۱	۱۷/۴۴	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱

ادامه جدول ۳-۴

یون	نمونه													واحد	دقت اندازه- گیری
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸		
Be	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	ppb	۰/۲
Bi	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Cd	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Ce	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Co	<۱	<۱	<۱	<۱	۱/۰۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Cr	<۱	<۱	۱/۶۶	۱/۳۶	<۱	۱۹/۱۵	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Cs	۰/۱۱	<۰/۱	۰/۱۹	۱/۲۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	۰/۱	۰/۳۳	۱/۵۴	ppb	۰/۱
Cu	<۱	<۱	<۱	<۱	۲/۵۹	۲/۰۲	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Dy	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Eu	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Fe	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	ppm	۰/۰۱
Gd	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	ppb	۰/۵

ادامه جدول ۳-۴

یون	نمونه													واحد	دقت اندازه- گیری
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸		
In	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	ppb	۰/۵
La	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Lu	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Mn	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	ppb	۰/۰۱
Nb	<۰/۱	<۰/۱	2.57	۴/۹۴	۰/۶۹	<۰/۱	<۰/۱	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۹	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Nd	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	ppb	۰/۵
Ni	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
P	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	ppb	۰/۰۱
Pb	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Pr	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
S	۲۵۷	۱۳۵/۷	۷۵/۸	۳۵/۹	۳۶۱/۷	۲۴۱/۹	۵۳	۷۸/۳	۱۸۳/۷	۶۳/۵	۳۳/۲	۵۵/۳	۱۳۹/۸	ppm	۰/۰۱
Si	۱۴/۷	۱۵	۱۴/۵	۱۳/۹	۱۸/۵	۱۵/۹	۱۰/۸	۱۴/۲	۱۳/۵	۱۲/۷	۱۲/۶	۱۳/۶	۱۵/۶	ppm	۰/۰۱

ادامه جدول ۳-۴

یون	نمونه													واحد	دقت اندازه- گیری
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸		
Sm	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Sn	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Ta	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Tb	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Te	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	ppb	۰/۱
Th	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Ti	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	ppb	۰/۰۱
U	۱/۸۸	<۱	۱/۳۵	<۱	۱/۱۶	<۱	۲/۱۶	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
V	۷/۵۹	۲/۵۲	<۱	۴/۸۱	<۱	<۱	<۱	۱/۸۸	۱/۵۷	۱/۴۳	<۱	۲/۵۶	<۱	ppb	۱
W	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Yb	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	ppb	۱
Zn	۱۰/۶۲	<۱	<۱	<۱	<۱	۴/۷۸	۵/۲۴	<۱	<۱	۲۴/۹۶	<۱	<۱	<۱	ppb	۱

### ۳-۳-۴- اندازه‌گیری ایزوتوپی

جهت آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار دوتریوم و اکسیژن ۱۸ تعداد ۱۰ نقطه به‌صورت پراکنده از منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. پس از آن نمونه‌ها در بطری‌های پلاستیکی کدر از نقاط مورد نظر جمع‌آوری شده و جهت انجام آزمایشات مربوطه به آزمایشگاه تحت نظر آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (مصباح انرژی) ارسال گردید. نتایج حاصل مربوط به آزمایش ایزوتوپی در جدول (۳-۵) آورده شده است.

جدول ۳-۵- نتایج آنالیز ایزوتوپی منابع آب موجود در سازند سخت ترو-چاه‌شیرین

شماره نمونه	۱	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۸
نام منطقه	درویش	چاه‌موسی	پیرمردان	بیدستان	سپینگ	رشم	کلاته	کوه‌شاه	کوه‌زر	باغو
D/H	-۵۲/۹۴	-۵۲/۵۶	-۵۸/۴۴	-۵۹/۶۸	-۶۰/۳۴	-۶۰/۹۹	-۶۳/۱۵	-۶۱/۰۶	-۶۱/۵۰	-۵۹/۳۷
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	-۸/۵۴	-۸/۲۷	-۹/۵۳	-۹/۶۰	-۹/۴۷	-۱۰/۰۰	-۹/۶۶	-۹/۴۹	-۹/۷۵	-۹/۸۶

برای محاسبه غلظت سیلیس برحسب ppm ابتدا نمونه توسط دستگاه ICP مورد آنالیز قرار گرفته و مقدار یون Si از آن استخراج می‌شود (جدول ۳-۴)، سپس مقادیر به دست آمده در ضریب ۲/۱۴ ضرب می‌شود و مقدار سیلیس برای هر نمونه بدست می‌آید (جدول ۳-۳).

### ۳-۴- محاسبه کل مواد جامد محلول (TDS)

مواد جامد محلول در آب (TDS) از مجموع جرم یون‌ها به اضافه جزء ملکولی سیلیس محاسبه می‌شود (جدول ۳-۲ و ۳-۳) و واحد آن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر یا ppm بیان می‌شود (رابطه ۳-۱). مقدار TDS به دست آمده از این طریق، با مقدار خشک آن که از طریق خشک کردن و تبخیر حجم معینی از آب در

---

دمای معین (معمولا ۱۰۵ - ۱۸۰ درجه سانتی گراد) متفاوت می‌باشد. زیرا در نتیجه حرارت دادن، بی-کربنات‌ها به کربنات تبدیل و گازها و بعضی مواد فرار خارج می‌شوند.

$$\text{TDS}_{(\text{mg/l})} = \text{Sum of ions}_{(\text{mg/l})} + \text{SiO}_2_{(\text{mg/l})} \quad \text{رابطه ۳-۱:}$$

### ۳-۵- روش‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحلیل داده‌ها

به منظور بررسی نتایج آنالیزهای صورت گرفته و تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی حاصله، از روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی استفاده شده است. در ابتدا از نرم‌افزار Google Earth برای شناخت کلی از منطقه، بررسی راه‌های ارتباطی، مساحت منطقه و منابع آب موجود جهت نمونه‌برداری، استفاده گردید. پس از آن نرم‌افزارهای کاربردی ArcGIS جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از نرم‌افزار AQQA جهت رسم نمودارهای شولر، پایپر و استیف، از PHREEQC برای محاسبه شاخص اشباع کانی‌ها و از نرم افزار Excel برای رسم نمودارهای توزیع عناصر و پارامترهای کیفی استفاده شده است.



---

# فصل چهارم

ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی منابع آب

زیرزمینی نوار ترود - چاه شیرین

#### ۴-۱- مقدمه

در این فصل کلیه اطلاعات و داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی منابع آب زیرزمینی در نوار ترود- چاه‌شیرین در بهمن‌ماه و تیرماه مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در ابتدا توصیفی از خصوصیات هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی ارائه شده و سپس توزیع مکانی و زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نتایج آنالیزها با استفاده از نمودارهای ترکیبی و گرافیکی بررسی شده، تیپ و مکانیسم‌های حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی شناسایی می‌گردد. در پایان با استفاده از داده‌های مربوط به آنالیزهای ایزوتوپی، منشاء آب‌های ورودی به نوار ماگمایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۲- ویژگی‌های هیدروشیمیایی منابع آب موجود در نوار ترود- چاه‌شیرین

میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی موجود در نوار ترود- چاه‌شیرین طی دو مرحله نمونه‌برداری در بهمن‌ماه و تیرماه در جدول (۴-۱) ارائه شده‌اند.

جدول ۴-۱- میانگین پارامترهای هیدروشیمیایی طی نوبت اول و دوم نمونه‌برداری (غلظت یون‌ها برحسب ppm و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد)

EC	pH	Na	Mg	K	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TDS	پارامترها
۱۰۱۸/۵	۸/۱	۱۹۶/۱	۲۲/۹	۱/۷۳	۷۵/۴	۱۲۵/۵	۲۶۹/۷	۱۹۲/۳	---	۸۸۷/۳	میانگین بهمن‌ماه
۱۵۵۶/۶	۷/۶	۱۸۹/۵	۱۸/۵	۱/۵۸	۷۱/۳	۱۳۴/۳	۳۱۱/۳	۱۹۵/۵	۳۰/۵	۹۲۶/۳	میانگین تیرماه
۱۲۸۷/۵	۷/۸۵	۱۹۲/۸	۲۰/۷	۱/۶۵	۷۳/۳۵	۱۲۹/۹	۲۹۰/۵	۱۹۳/۹	۳۰/۵	۹۰۶/۸	میانگین سالانه

---

به‌طور کلی میانگین EC و غلظت آنیون‌های اندازه‌گیری شده در تیرماه نسبت به بهمن‌ماه روند افزایشی داشته‌اند، که این افزایش غلظت با توجه به کاهش تغذیه و کمتر شدن حجم آبخوان در تیرماه قابل توجه می‌باشد.

بالا بودن غلظت کاتیون‌های سدیم و کلسیم و مقدار آنیون‌های کلر و سولفات و جزء ملکولی سیلیس می‌تواند به دلیل وجود کانی‌هایی از قبیل پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، پیروکسن و آمفیبول موجود در سنگ‌های داسیتی و آندزیتی منطقه باشد. عبور آب تغذیه شونده از لابه‌لای سنگ‌های آتشفشانی و انحلال کانی‌های سنگ میزبان می‌تواند بر ترکیب شیمیایی آب‌های منطقه اثرگذار باشد. مقیاس جهانی سیلیس در آب‌های موجود در سازندهای سخت طبق نظر فریز و چری (۱۹۷۹) بین ۳۰ - ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۱۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه مقدار سیلیس در حالت بیشینه خود یعنی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد.

میانگین هدایت الکتریکی (EC) نمونه آب‌های برداشت شده از نوار ماگمایی ترود- چاه‌شیرین طی دو نوبت نمونه‌برداری در بهمن‌ماه و تیرماه ۱۲۸۷/۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به میانگین کل مواد جامد محلول (TDS) در نمونه‌ها که مقدار ۹۰۶/۸ است، رابطه بین TDS و EC به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{TDS} = 0.7 \text{ EC} \quad \text{رابطه ۴-۱:}$$

در این رابطه مقدار EC بر حسب میکروزیمنس یا میکروموس بر سانتی‌متر و مقدار TDS بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

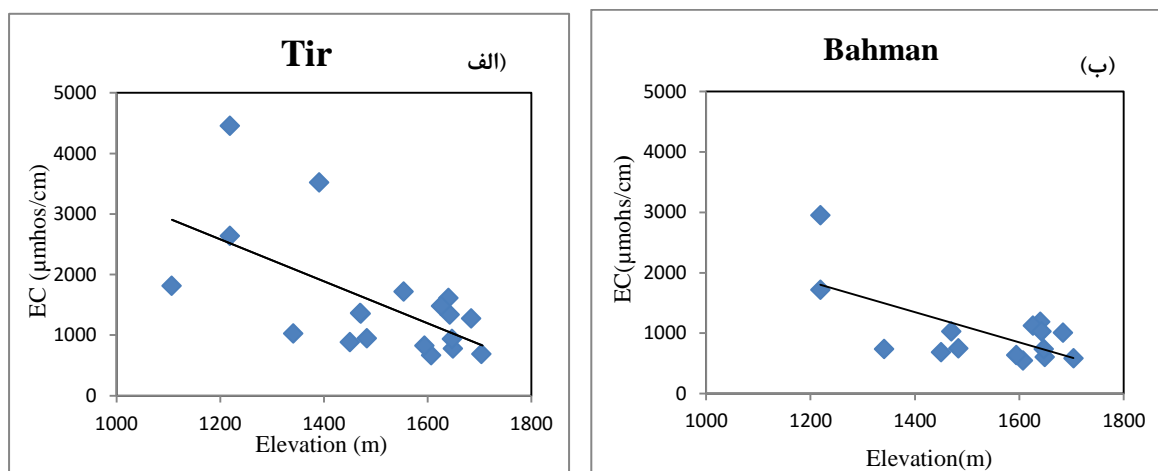
#### ۴-۲-۱- بررسی تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب نوار ترود- چاه شیرین

در این بخش به بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، دما و pH غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های نمونه‌های برداشت شده طی بهمن‌ماه و تیرماه پرداخته می‌شود.

#### ۴-۲-۱-۱- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و دما

جهت بررسی تغییرات مکانی دما و هدایت الکتریکی منابع آب نوار ترود - چاه شیرین مقادیر این پارامترها در برابر ارتفاع رسم گردیده‌اند. تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به ارتفاع منابع آب موجود در نوار ترود- چاه شیرین در بهمن‌ماه و تیرماه در شکل (۴-۱) آورده شده است. داده‌های برداشت شده از مقادیر EC و نمودارهای رسم شده نشانگر این می‌باشد که مقدار هدایت الکتریکی مربوط به هر نمونه در تیرماه (۴-۱، الف) بیشتر از مقدار هدایت الکتریکی همان نمونه در بهمن‌ماه (۴-۱، ب) می‌باشد. بالا بودن مقدار EC در تیرماه می‌تواند به دلیل کاهش تغذیه آبخوان، افزایش طول مسیر جریان و افزایش زمان ماندگاری آب در تماس با توده سنگی باشد، که این عامل ضمن افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها باعث افزایش مقدار EC در تیرماه می‌شود.

طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده مقدار EC در بهمن‌ماه از ۵۴۴ تا ۲۹۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر بوده در صورتی‌که در تیرماه مقدار آن از ۶۶۵ تا ۴۴۵۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌یابد. مقدار هدایت الکتریکی با ارتفاع برداشت نمونه‌ها رابطه عکس دارد (شکل ۴-۱)، به این صورت که با کاهش ارتفاع محل برداشت نمونه بر مقدار EC افزوده می‌شود. افزایش طول مسیر جریان، زمان ماندگاری، تنوع لیتولوژی‌های عبوری و همچنین در دسترس قرار گرفتن مواد قابل حل بیشتر از عوامل تاثیرگذار بر افزایش هدایت الکتریکی با کاهش ارتفاع می‌باشند.



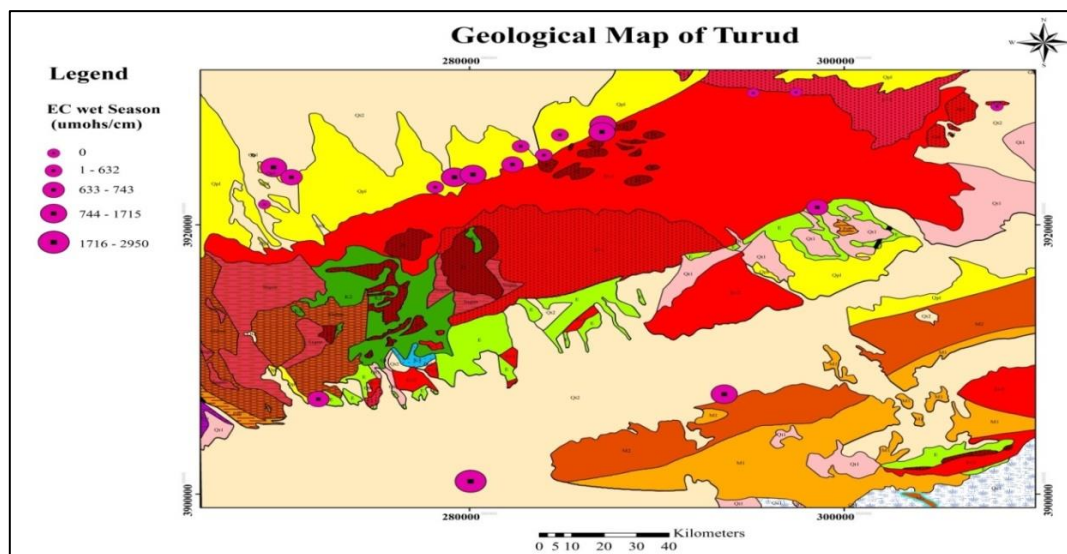
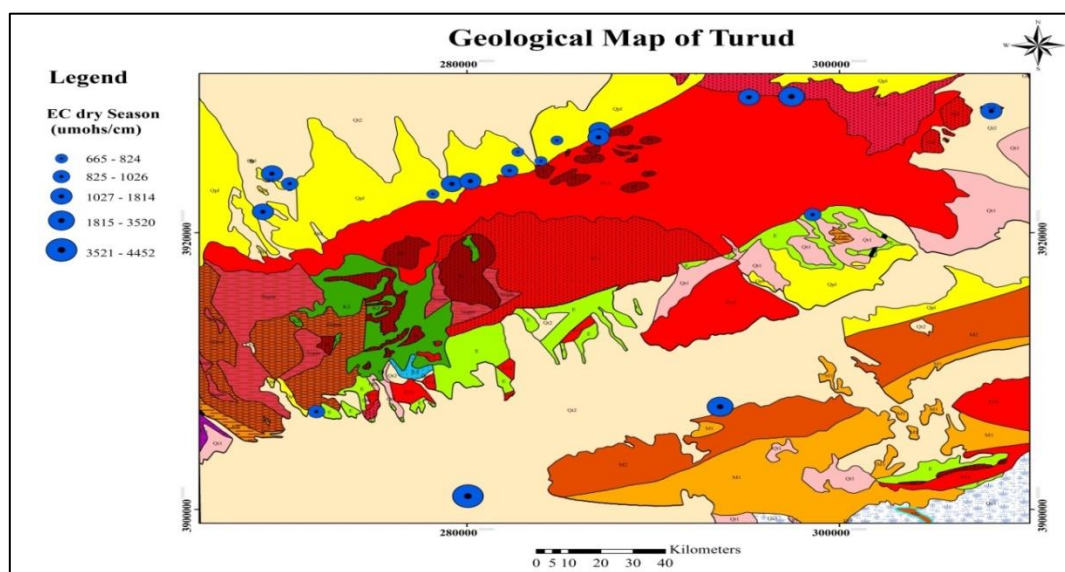
شکل ۴-۱- تغییرات هدایت الکتریکی منابع آب نوار ماگمایی ترود-چاه شیرین در برابر ارتفاع آن‌ها در تیرماه (الف) و بهمن‌ماه (ب)

شکل (۲-۴) پراکندگی مکانی هدایت الکتریکی در نوار ترود- چاه شیرین را نشان می‌دهد، در مجموع مقدار هدایت الکتریکی در ضلع جنوبی نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین به دلیل وجود واحدهای مارنی و همچنین افزایش طول مسیر جریان بیشتر می‌باشد. در مجموع نمونه‌های با ارتفاع کمتر در هر دو نوبت نمونه‌برداری (شکل ۲-۴) از هدایت الکتریکی بالاتری برخوردار می‌باشند.

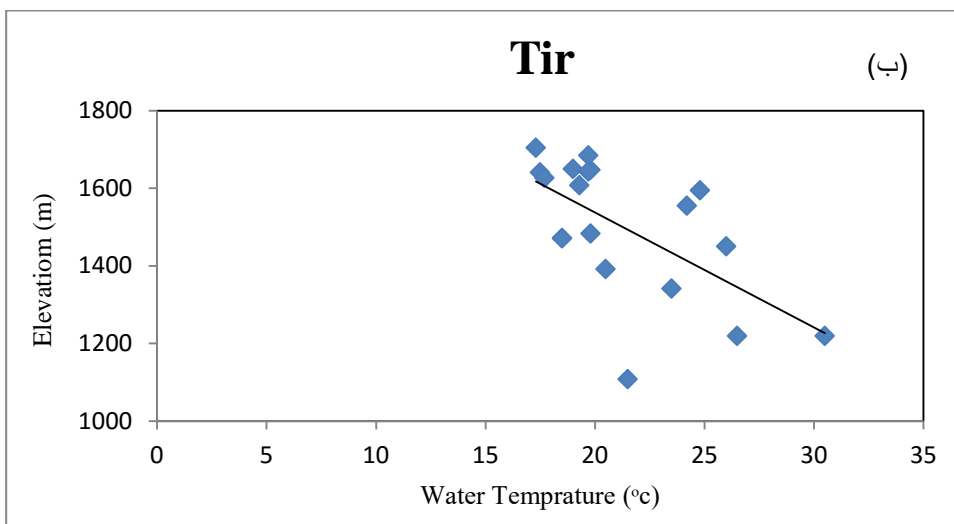
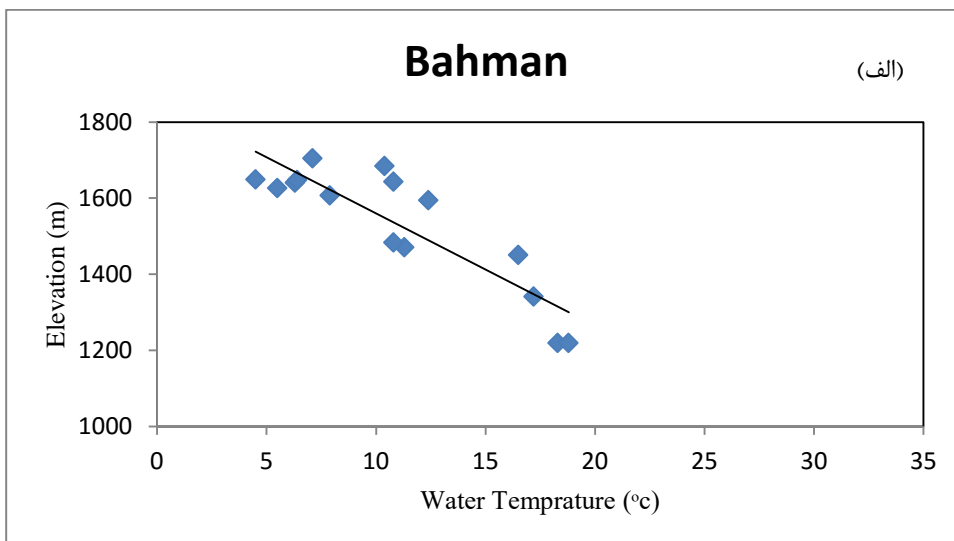
مقادیر هدایت الکتریکی نسبت به ارتفاع در تمامی نمونه‌ها یکنواخت نبوده و از روند کلی تبعیت نمی‌کنند، که این امر می‌تواند در رابطه با ناهمگنی و ناهمسانی آبخوان سازند سخت باشد. در آبخوان سازند سخت حرکت آب در شکستگی‌های سنگ سبب عدم پیوستگی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی منابع آب می‌شود.

شکل (۳-۴) تغییرات دمایی منابع آب منطقه مورد مطالعه را نسبت به ارتفاع برداشت نمونه‌ها در بهمن‌ماه (الف، ۳-۴) و تیرماه (ب، ۳-۴) نشان می‌دهد. داده‌های برداشت شده از دمای آب نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع، دمای آب افزایش می‌یابد که این امر به تبعیت از افزایش دمای هوا، طولانی‌تر شدن مسیر جریان و زمان ماندگاری بیشتر آب در آبخوان صورت می‌پذیرد و نشانگر این است که درجه حرارت آب‌های خروجی از آبخوان سازند سخت با دور شدن از منشاء (منطقه تغذیه)

افزایش می‌یابد. میانگین دمای آب در بهمن‌ماه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد و در تیرماه به ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با توجه به نوسانات دمایی در طول سال (کاهش میانگین دما در بهمن‌ماه و افزایش آن در تیرماه) نوسانات دمایی منابع آب زیرزمینی در طول سال قابل توجیه می‌باشد. با توجه به نوسانات زیاد دمای منابع آب زیرزمینی در طول سال به نظر می‌رسد آبخوان موجود در سازند سخت منطقه تروند عمدتاً یک آبخوان سطحی می‌باشد.



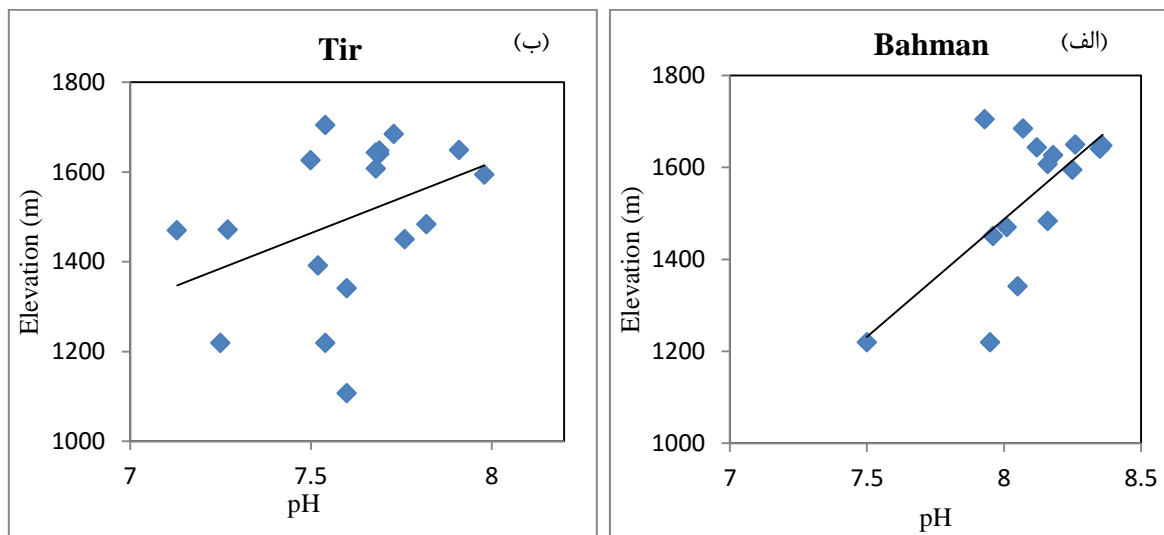
شکل ۴-۲- پراکندگی هدایت الکتریکی (EC) در تیرماه (بالا) و بهمن‌ماه (پایین) در منابع آب سازند سخت تروند-چاه‌شیرین



شکل ۴-۳- تغییرات دمایی منابع آب موجود در سازند سخت تروود-چاه شیرین نسبت به ارتفاع در بهمن‌ماه (الف) و تیرماه (ب)

#### ۴-۲-۱-۲- تغییرات مکانی pH

بررسی نتایج اندازه‌گیری pH نشان می‌دهد که مقدار این پارامتر در بهمن‌ماه (شکل ۴-۴، الف) و تیرماه (شکل ۴-۴، ب) با کاهش ارتفاع و دور شدن از محل تغذیه روند کاهشی از خود نشان می‌دهند به طوری که نمونه‌های برداشت شده از ارتفاعات بالاتر در منطقه مورد مطالعه pH بالاتری نسبت به نمونه‌های با ارتفاع کمتر دارند.



شکل ۴-۴- تغییرات مکانی pH منابع آب موجود در سازندسخت ترود-چاه شیرین در بهمن ماه (الف) و تیرماه (ب)

وجود کانی‌های سولفیدی در سنگ‌های آندزیتی و داسیتی نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین می‌تواند به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل کننده pH باشد. انحلال این کانی‌ها توسط آب عبوری از درز و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی در طول مسیر باعث کاهش مقدار pH در ارتفاعات کمتر شده است.

#### ۴-۲-۱-۳- تغییرات مکانی آنیون‌ها و کاتیون‌ها

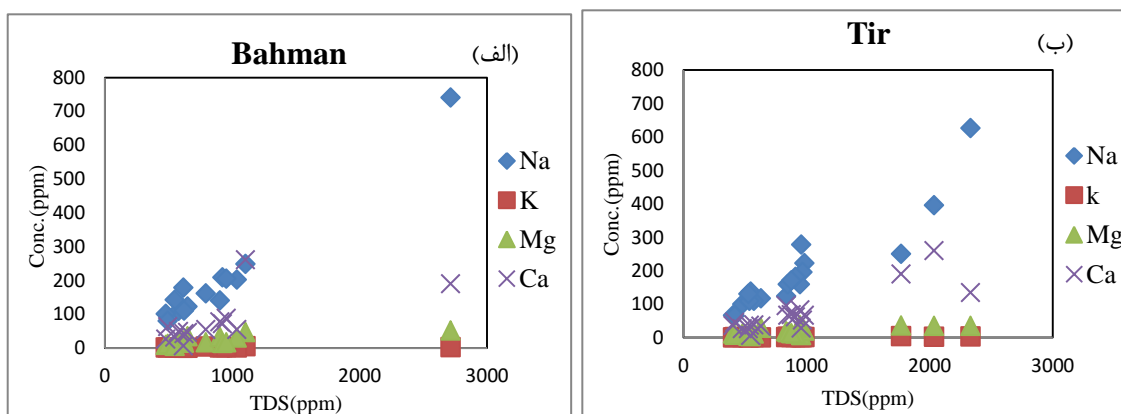
بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) در طول مسیر جریان و در ارتفاعات مختلف تغییر یافته است. در ارتفاعات پایین‌تر مقدار TDS در حالت بیشینه و در ارتفاعات بالا در کمترین مقدار می‌باشد. این افزایش مقدار در TDS را می‌توان به دلیل افزایش محتوای یونی و ملکولی آب‌ها در نظر گرفت. بنابراین از TDS می‌توان به عنوان معیاری از تغییرات مکانی منابع در طول مسیر جریان استفاده نمود. به همین دلیل جهت بررسی تغییرات مکانی یون‌ها در طول مسیر جریان از پارامتر TDS استفاده می‌شود.



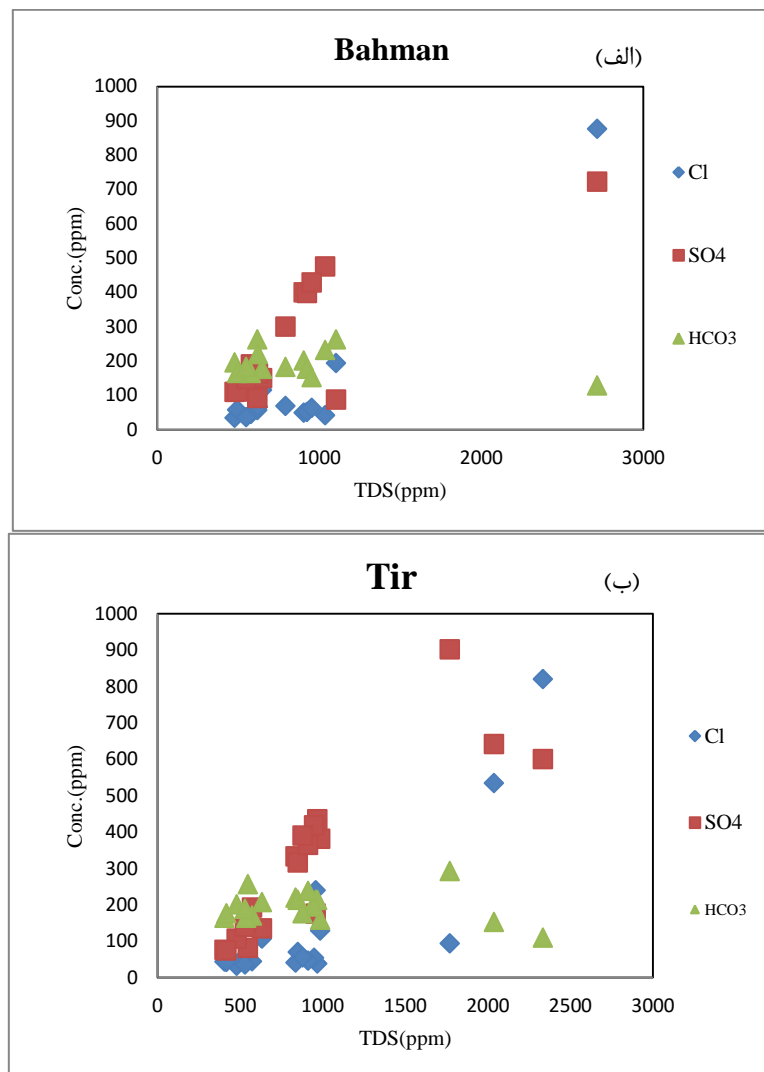
در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) به ترتیب تغییرات مکانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در طول مسیر جریان مربوط به تیرماه و بهمن‌ماه نمایش داده شده است. تغییرات کاتیون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم در دو نوبت نمونه‌برداری نشان می‌دهد مقدار تمامی کاتیون‌ها با افزایش مسیر جریان افزایش داشته است. میزان غلظت کاتیون‌ها در تیرماه نسبت به بهمن‌ماه کاهش یافته (شکل ۴-۵)، که پدیده تبادل کاتیونی می‌تواند مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر این کاهش باشد.

غلظت کاتیون پتاسیم در بهمن‌ماه و تیرماه در نمونه‌های برداشت شده بسیار پایین بوده و در طول مسیر جریان، تغییراتی از خود نشان نمی‌دهند. ولی به‌طور کلی کاتیون پتاسیم نیز مانند سایر کاتیون‌های بررسی شده در بهمن‌ماه غلظت بالاتری نسبت به تیرماه دارد (شکل ۴-۵).

بررسی غلظت آنیون‌ها نشانگر روند افزایشی آن‌ها در تیرماه نسبت به بهمن‌ماه می‌باشد (جدول ۴-۱). با توجه به افزایش طول مسیر جریان و افزایش زمان ماندگاری آب در تماس با سازندهای زمین‌شناسی افزایش مقادیر آنیون‌ها در طول مسیر جریان قابل توجه است. شکل (۴-۶) پراکندگی غلظت آنیون‌ها در مقابل TDS را نشان می‌دهد. با توجه به شکل نیز مقدار غلظت آنیون‌ها در تیرماه نسبت به بهمن‌ماه افزایش نسبی داشته است.

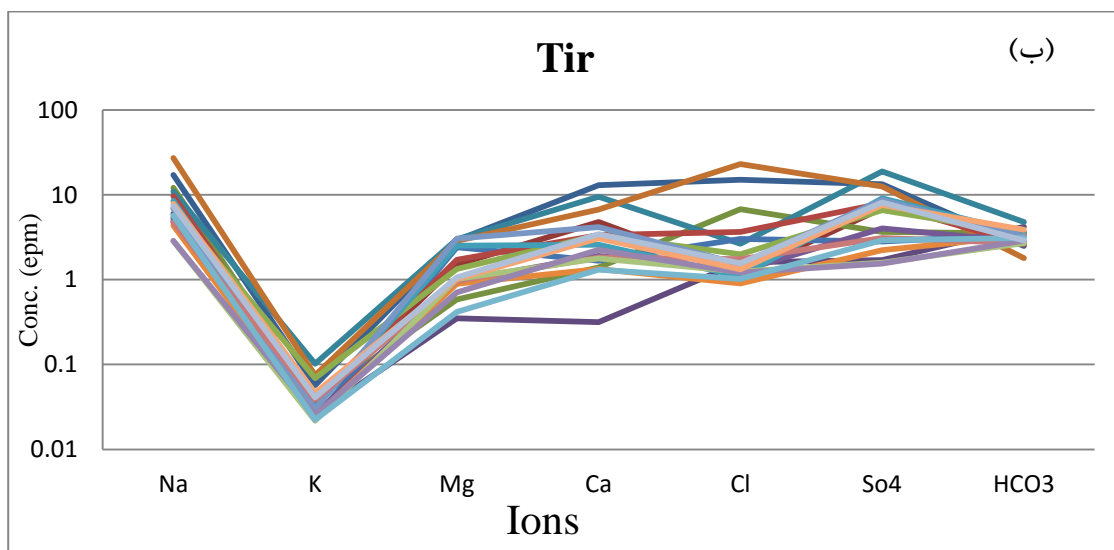
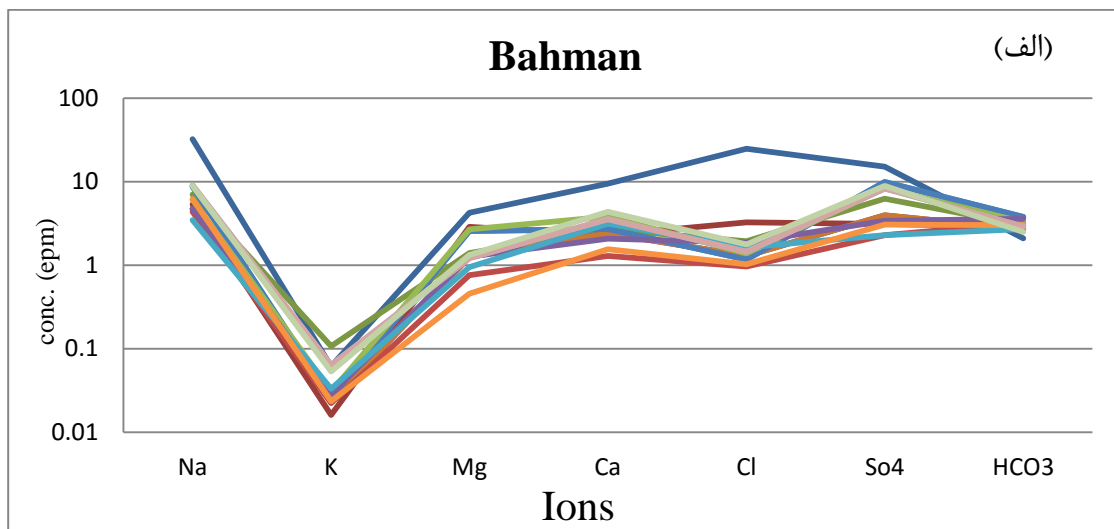


شکل ۴-۵- تغییرات مکانی کاتیون‌های موجود در منابع آبی سازند سخت تروند-چاه‌شیرین در بهمن‌ماه (الف) و تیرماه (ب)



شکل ۴-۶- تغییرات مکانی آنیون‌های موجود در منابع آبی سازند سخت تروند-چاه شیرین در بهمن‌ماه (الف) و تیرماه (ب)

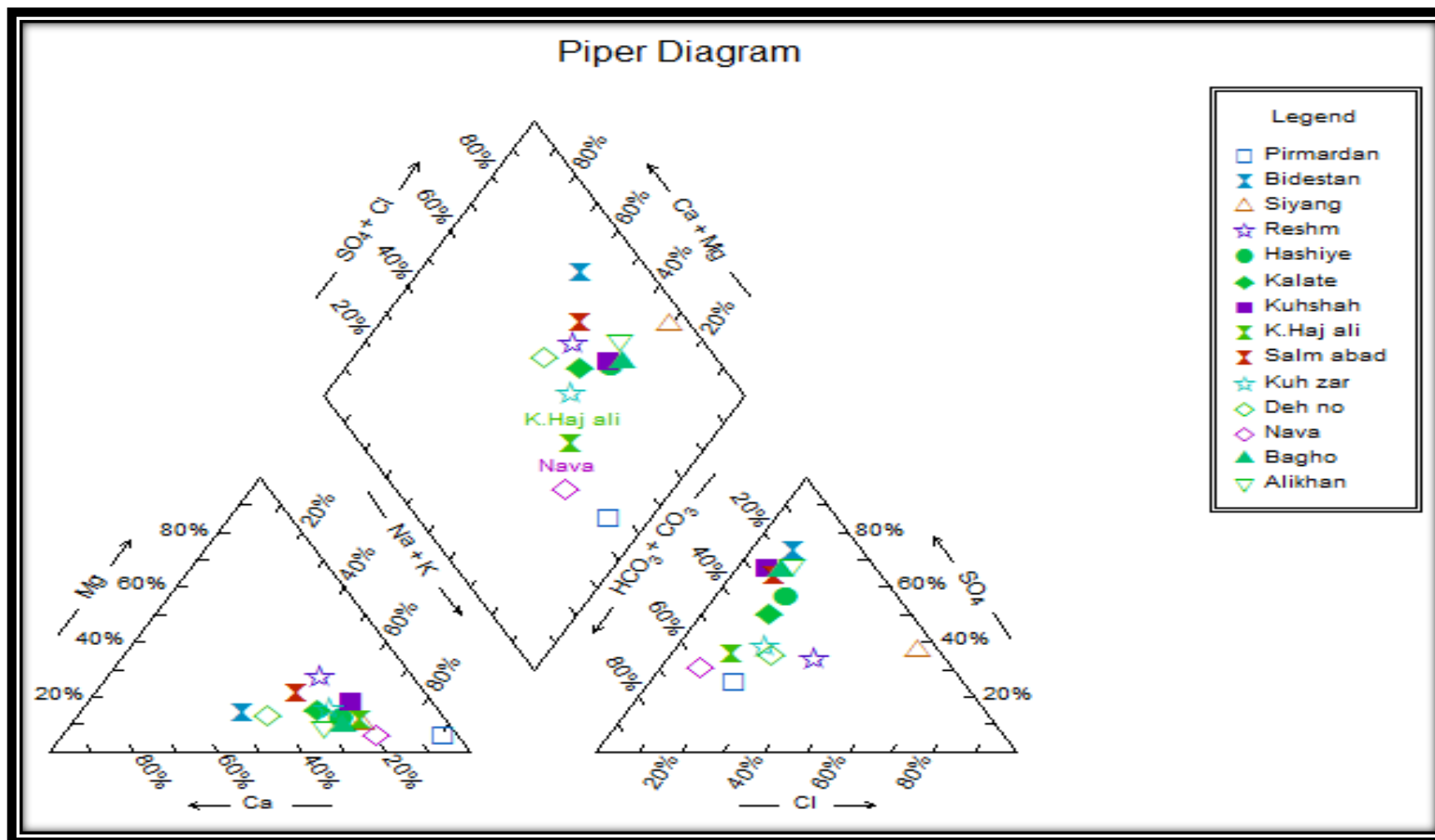
نمودار شولر جهت بررسی یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نمودار محور افقی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و محور عمودی غلظت آن‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. با توجه به نیمه لگاریتمی بودن محور عمودی نمودار شولر، خطوط موازی نشانگر روند یکسان و یکی بودن منشأ در نمونه‌ها می‌باشد (Todd & Mays, 2005). با توجه به نمودار شولر (شکل ۴-۷) یکسان بودن روند یون‌های اصلی اندازه‌گیری شده، نشانگر منشأ مشترک بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.



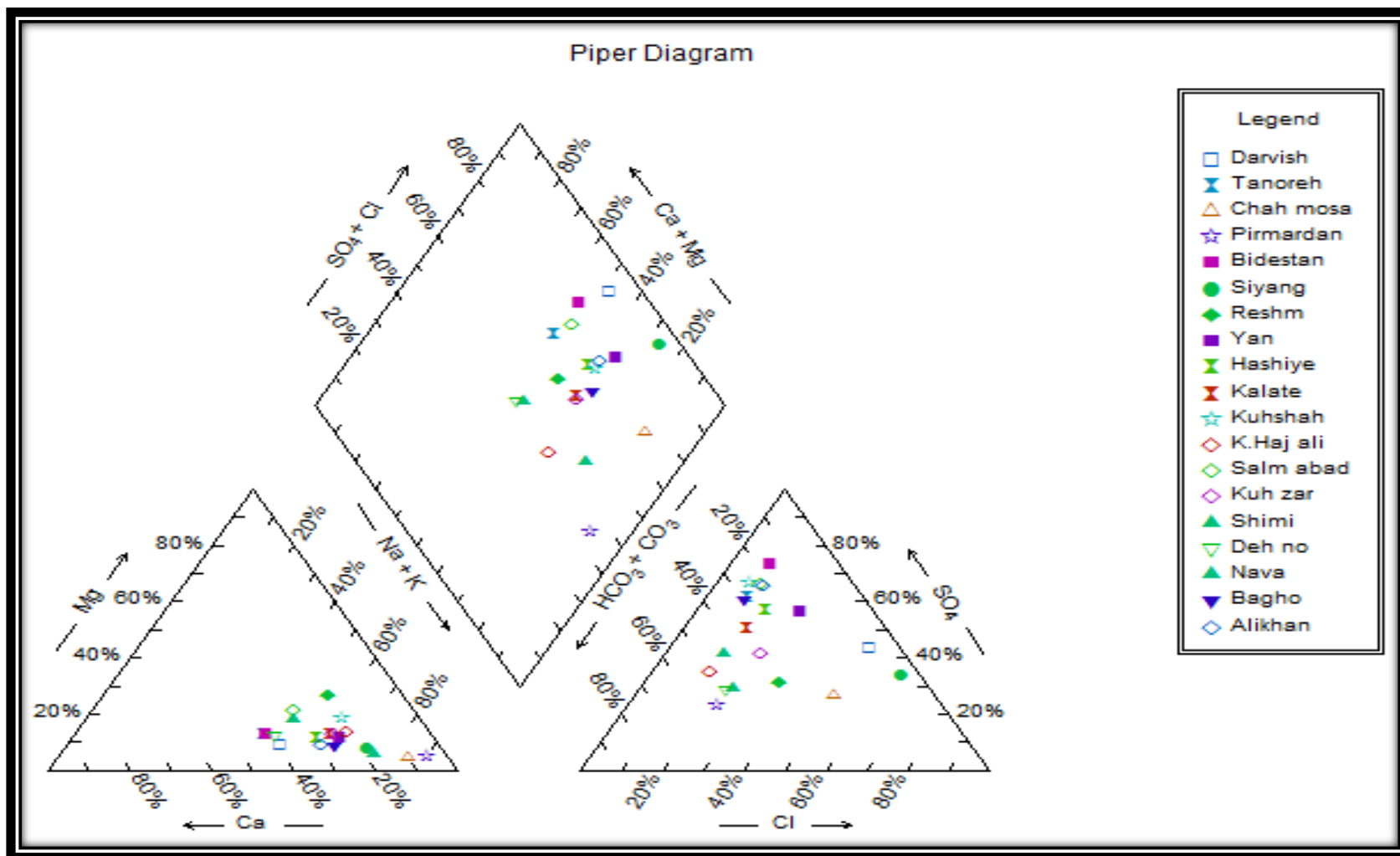
شکل ۴-۷- دیاگرام شولر مربوط به منابع آبی سازند سخت تروند-چاه شیرین در بهمن ماه (الف) و تیرماه (ب)

شکل (۴-۷) نشان می‌دهد که در هر دو نوبت نمونه‌برداری، کاتیون سدیم بیشترین غلظت را نسبت به سایر کاتیون‌ها به خود اختصاص داده و همچنین سولفات نیز در میان آنیون‌ها از غلظت بیشتری برخوردار بوده که از این رو می‌توان تیپ سولفات-سدیک را برای نمونه‌های هر دو نوبت معرفی نمود.

نمودار پایپر تعداد زیادی نمونه را در یک نمودار نشان می‌دهد و جهت تعیین تیپ آب، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها تهیه می‌گردد. رخساره‌های هیدروشیمیایی جهت نمایش اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fetter, 1988).



شکل ۴-۸- نمودار پایپر منابع آب موجود در نوار ماگمایی تروند- چاه شیرین در بهمن ۹۶



شکل ۴-۹- نمودار پایپر منابع آب موجود در نوار ماگمایی تروود- چاه شیرین در تیر ۹۷

---

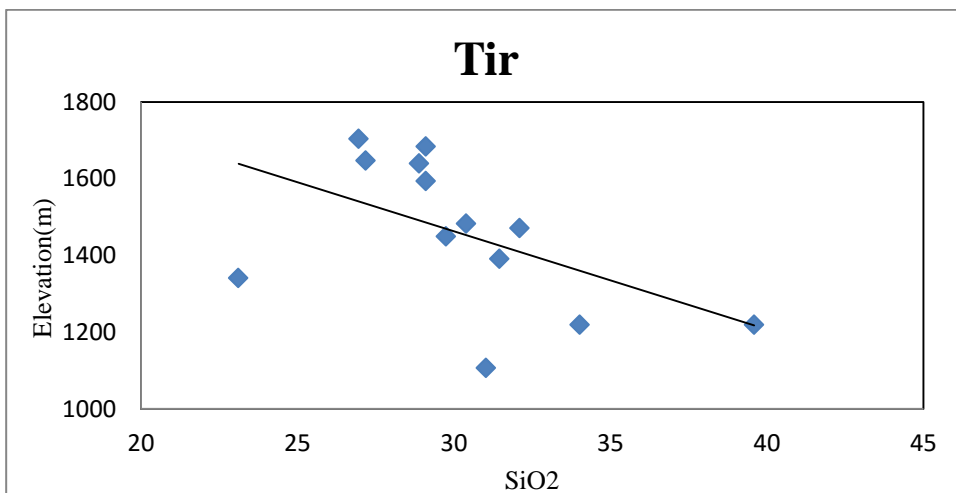
باتوجه به شکل (۴-۸ و ۴-۹) در بهمن ماه و تیرماه، کاتیون غالب سدیم بوده که انحلال پلاژیوکلازهای تشکیل دهنده سنگ‌های سازند سخت را می‌توان به عنوان مهمترین عامل در نظر گرفت. سولفات نیز در میان آنیون‌ها از غلظت بیشتری برخوردار بوده که از این رو تیپ سولفات-سدیک برای نمونه‌های هر دو نوبت نمونه‌برداری معرفی می‌گردد. بطور کلی تغییراتی در تیپ آب در دو نوبت نمونه‌برداری دیده نمی‌شود و فقط غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در تیرماه افزایش کمی از خود نشان می‌دهند.

#### ۴-۲-۱-۴- تغییرات مکانی جزء مولکولی سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )

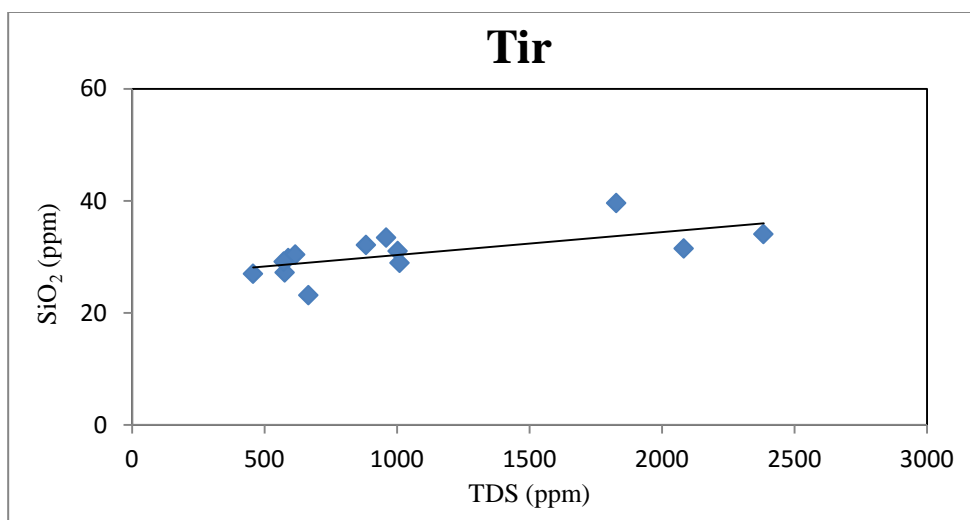
بررسی نمودار تغییرات جزء ملکولی سیلیس نسبت به کل مواد جامد محلول (TDS) در سازند سخت ترود-چاه شیرین در تیرماه نشان می‌دهد که مقدار جزء ملکولی سیلیس از ۲۳/۱ تا ۳۹/۶ در حال تغییر می‌باشد. هوازدگی کانی‌های اصلی تشکیل دهنده داسیت و آندزیت‌های نوار ماگمایی ترود-چاه شیرین از قبیل پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن، الیون و کوارتز از مهم‌ترین عوامل تولید کننده سیلیس در منابع آب زیرزمینی منطقه به حساب می‌آیند.

شکل (۴-۱۰) تغییرات جزء ملکولی سیلیس در تیرماه در مقابل ارتفاع نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل با کاهش ارتفاع و افزایش طول مسیر جریان آب درون آبخوان سازند سخت، بر غلظت جزء ملکولی سیلیس افزوده می‌شود که این افزایش غلظت در ارتفاعات کمتر تحت تاثیر پیشرفت واکنش‌های هوازدگی در طول مسیر جریان و افزایش زمان ماندگاری آب زیرزمینی در تماس با کانی‌ها می‌باشد.

تغییرات جزء ملکولی سیلیس در مقابل TDS در شکل (۴-۱۱) نشان می‌دهد که با افزایش TDS غلظت جزء ملکولی سیلیس نیز افزایش می‌یابد. این موضوع پیشرفت واکنش‌های هوازدگی در امتداد مسیر جریان آب زیرزمینی را تأیید می‌نماید.



شکل ۴-۱۰- تغییرات غلظت سیلیس نسبت به ارتفاع در منابع آبی موجود در سازندسخت تروود-چاهشیرین در تیرماه



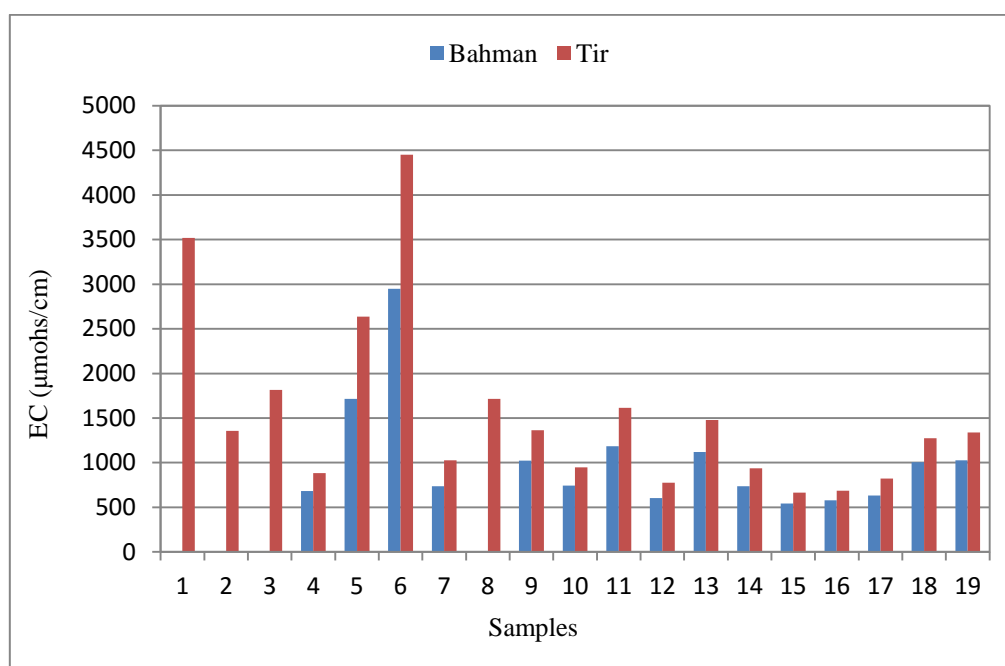
شکل ۴-۱۱- تغییرات مکانی سیلیس در منابع آبی موجود در سازندسخت تروود-چاهشیرین در تیرماه

#### ۴-۲-۲- بررسی تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب نوار تروود- چاه شیرین

در این بخش نمونه‌های برداشت شده از نوار تروود- چاهشیرین طی دو نوبت نمونه‌برداری بهمن‌ماه و تیرماه مقایسه شده و تغییرات پارامترهای مختلف ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

#### ۴-۲-۱- تغییرات زمانی EC

در شکل (۴-۱۱) تغییرات زمانی EC در دو نوبت نمونه برداری نشان داده شده است. مقدار میانگین EC در تیرماه ۱۵۴۲/۷ میکروموهس بر سانتی متر و در بهمن ماه ۱۰۱۸/۵ میکروموهس بر سانتی متر می باشد. بررسی داده ها نشان می دهد که مقدار EC در تیرماه بیشتر از بهمن ماه بوده که می توان علت این افزایش غلظت را کاهش آب ورودی به آبخوان در تیرماه، افزایش طول مسیر جریان و پیشرفت واکنش های هوازدگی در نظر گرفت. با کاهش حجم آب، مقدار غلظت مواد حل شونده در آب افزایش یافته و به دنبال آن هدایت الکتریکی (EC) افزایش می یابد.



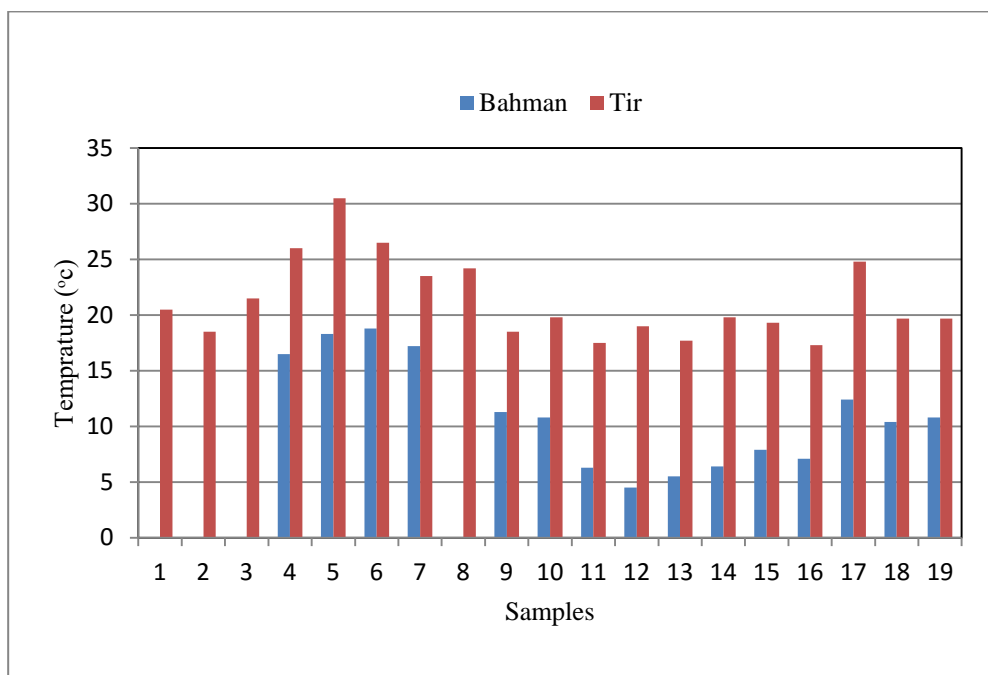
شکل ۴-۱۲- تغییرات زمانی EC در منابع آبی موجود در سازند سخت تروند-چاه شیرین

#### ۴-۲-۲- تغییرات زمانی دما و pH

شکل (۴-۱۳) تغییرات زمانی درجه حرارت منابع آب موجود در سازند سخت تروند-چاه شیرین را نشان می دهد. میانگین درجه حرارت در بهمن ماه ۱۰/۹ و در تیرماه ۲۱/۳ نیز می باشد. با توجه به این شکل

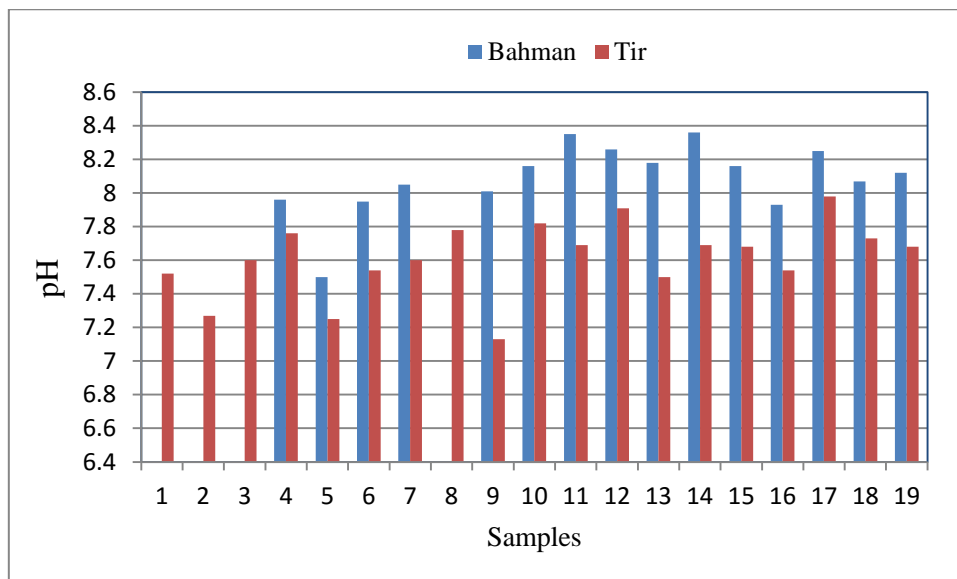


می‌توان نتیجه‌گیری نمود که دمای آب زیرزمینی متاثر از دمای محیط می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد بدلیل سطحی بودن آبخوان دمای محیط بر روی آبخوان تاثیر می‌گذارد و موجب کاهش دمای آبخوان سازند سخت در بهمن‌ماه و افزایش دمای آن در تیرماه می‌شود.



شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی درجه حرارت در منابع آبی موجود در سازندسخت تروود-چاه‌شیرین

شکل (۴-۱۴) سری زمانی تغییرات pH را طی دو نوبت نمونه‌برداری نشان می‌دهد. میانگین pH اندازه-گیری شده در بهمن‌ماه ۸/۰۸ بوده که در تیرماه به ۷/۶۱ کاهش یافته است. با توجه به حضور کانی‌های سولفیدی در سنگ‌های داسیتی و آندزیتی نوار ماگمایی تروود-چاه‌شیرین عامل کاهش مقدار pH را مرتبط با انحلال این کانی‌ها در نظر گرفت. این عامل باعث اسیدی شدن آب و کاهش مقدار pH نیز می‌گردد.



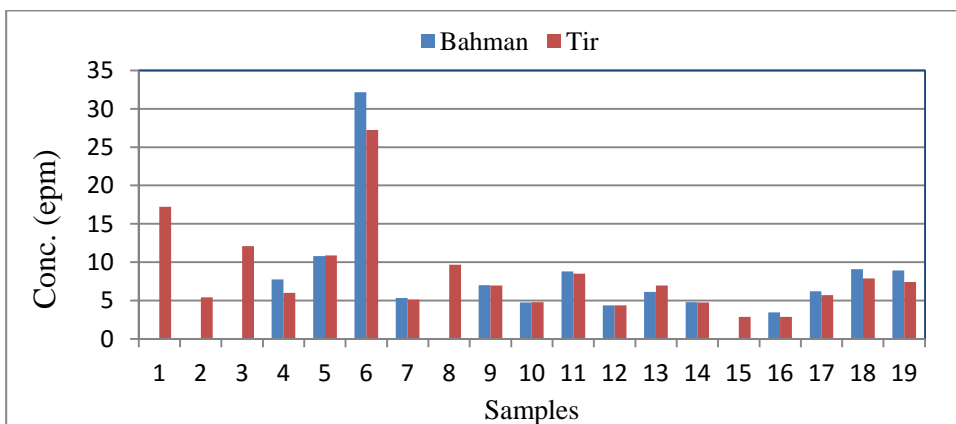
شکل ۴-۱۴- تغییرات زمانی pH در منابع آبی موجود در سازندسخت تروود-چاهشیرین

#### ۴-۲-۲-۳- تغییرات زمانی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها

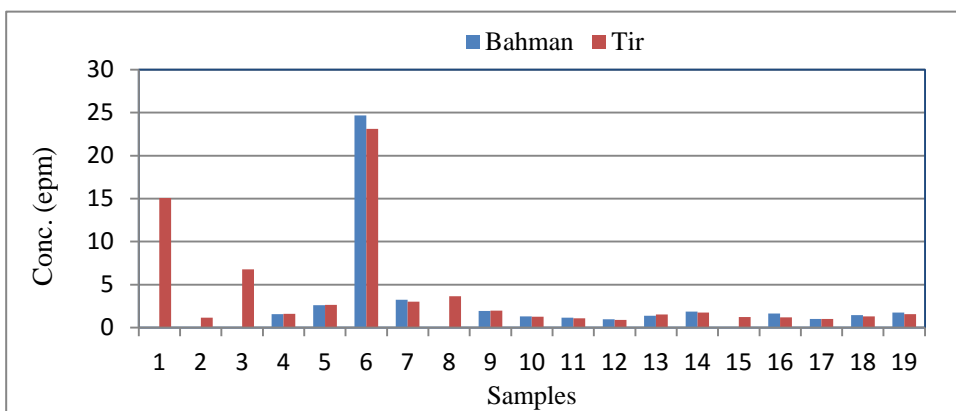
با توجه به جدول (۴-۱) غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در سازند سخت تروود- چاهشیرین همگی از روند خاصی پیروی نمی‌کنند، به‌صورتی که غلظت کاتیون‌ها اغلب در بهمن‌ماه بیشتر از تیرماه بوده و غلظت آنیون‌های اندازه‌گیری شده نیز در تیرماه مقدار بیشتری به خود اختصاص داده‌اند.

میانگین کاتیون سدیم (Na) در بهمن‌ماه ۱۹۶/۱ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده در صورتی که میانگین غلظت این کاتیون در تیرماه به ۱۸۹/۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته است (شکل ۴-۱۵). اندازه‌گیری آنیون کلر (Cl) نیز روند افزایشی این آنیون را در تیرماه نسبت به بهمن‌ماه نیز نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۶). با توجه به داده‌ها و تفسیر نمودارها می‌توان به این نتیجه رسید که منشاء سدیم و کلر از انحلال هالیت موجود در درز و شکستگی‌های سازند سخت می‌باشد. به‌دلیل بیشتر بودن مقدار سدیم از کلر، منشاء دیگری نظیر انحلال پلاژیوکلازها را می‌توان به عنوان منشاء حضور سدیم در منابع آب زیرزمینی در

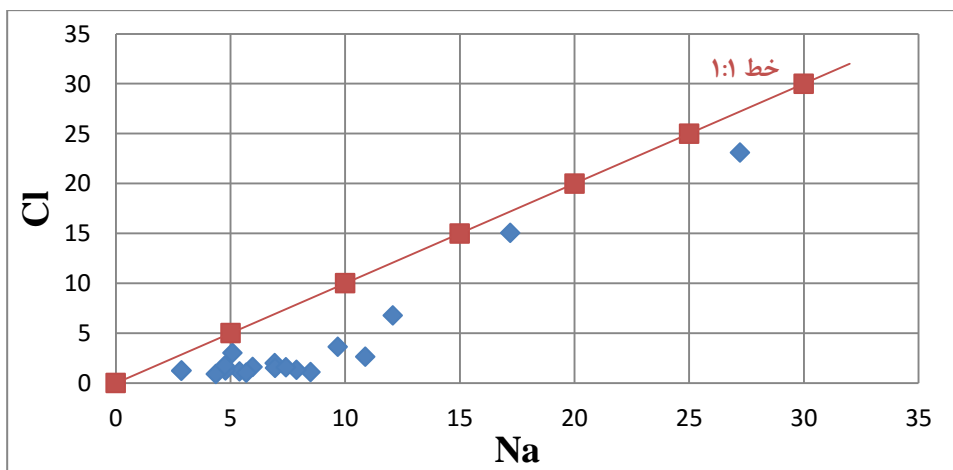
نظر گرفت (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت کاتیون سدیم موجود در منابع آبی سازند سخت تروند- چاه شیرین در بهمن ماه و تیرماه

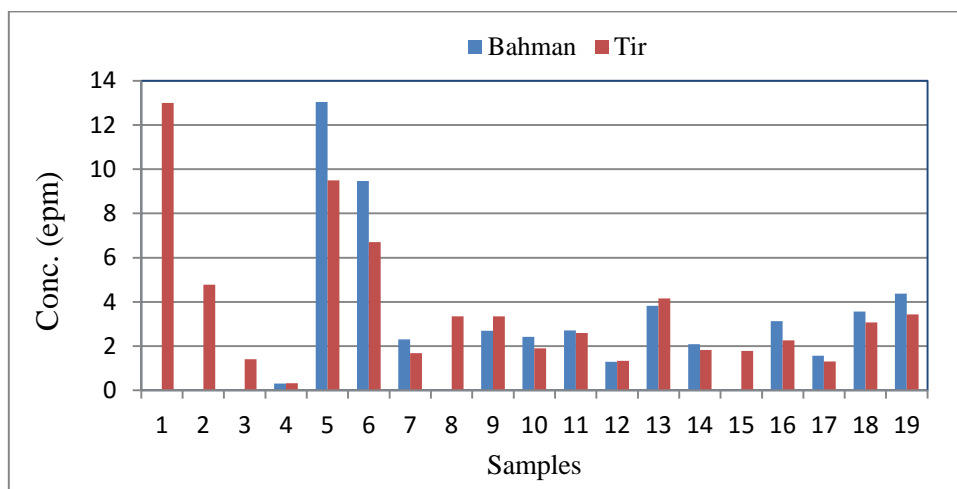


شکل ۴-۱۶- تغییرات غلظت آنیون کلر موجود در منابع آبی سازند سخت تروند- چاه شیرین در بهمن ماه و تیرماه



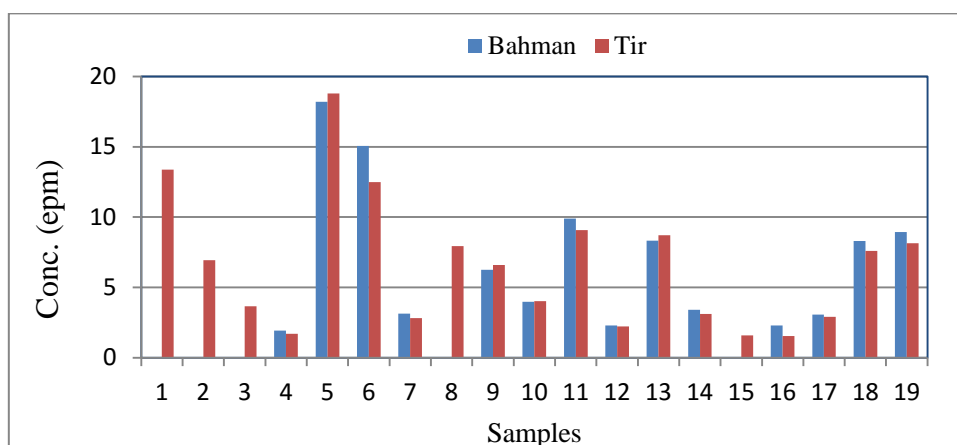
شکل ۴-۱۷- مقایسه غلظت کلر در مقابل سدیم

پس از سدیم، کلسیم (Ca) به عنوان یکی دیگر از کاتیون‌های اصلی موجود در نمونه‌های برداشت شده از فراوانی بالایی برخوردار می‌باشد. میانگین کاتیون کلسیم در بهمن‌ماه ۳/۷۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که در تیرماه این میانگین به ۳/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد (شکل ۴-۱۸).



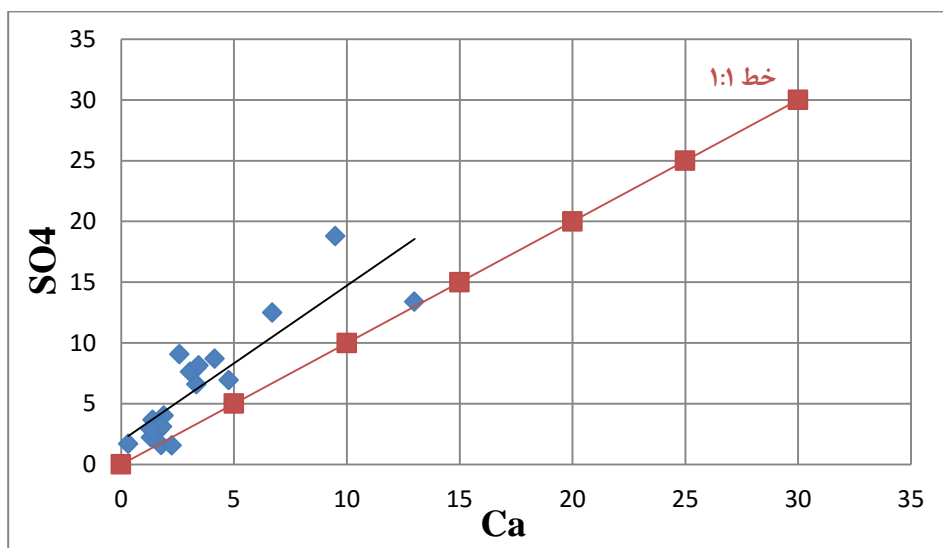
شکل ۴-۱۸- تغییرات غلظت کاتیون کلسیم موجود در منابع آبی سازند سخت تروود- چاه‌شیرین در بهمن‌ماه و تیرماه

سولفات ( $SO_4$ ) فراوان‌ترین آنیون اندازه‌گیری شده در نمونه آب‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. میانگین غلظت این آنیون نیز در بهمن‌ماه ۲۶۹/۷ میلی‌گرم بر لیتر و در تیرماه ۳۱۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر بوده که با توجه به داده‌ها این آنیون در تیرماه روند افزایشی از خود نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۹).



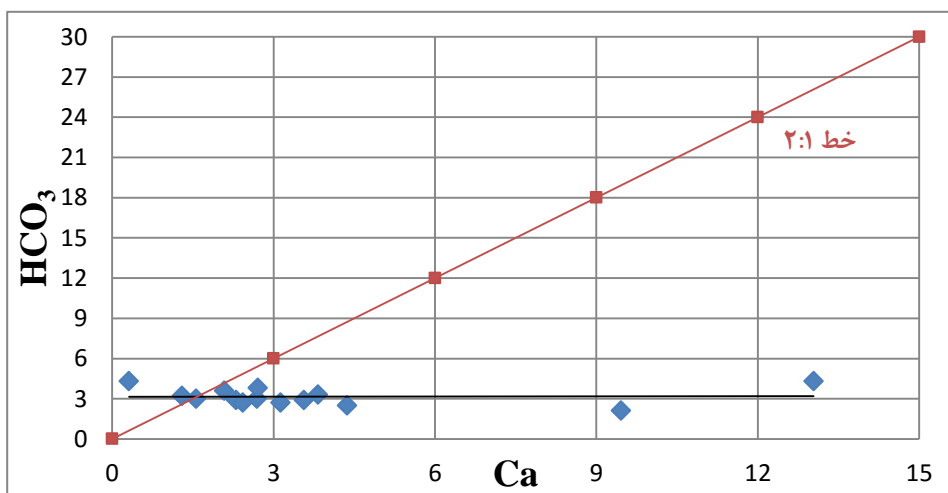
شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت آنیون سولفات موجود در منابع آبی سازند سخت تروود- چاه‌شیرین در بهمن‌ماه و تیرماه

از مهم‌ترین عوامل حضور کاتیون کلسیم و آنیون سولفات در آب‌های منطقه مورد مطالعه، می‌توان به انحلال ژئپس اشاره کرد. البته به دلیل بالاتر بودن مقدار سولفات از کلسیم، می‌توان منشأ دیگری مانند انحلال کانی‌های سولفیدی به عنوان منشأ سولفات در نظر گرفت (شکل ۴-۲۰).



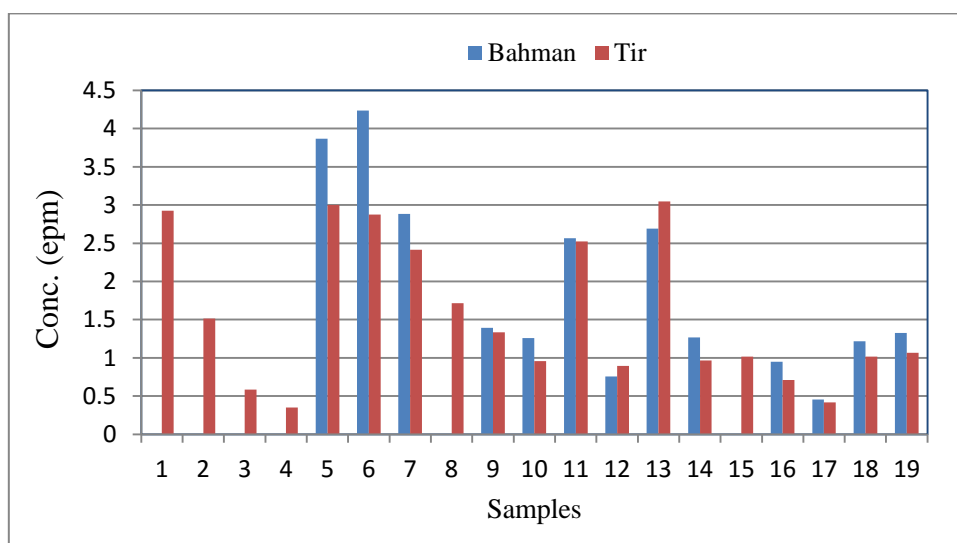
شکل ۴-۲۰- مقایسه غلظت سولفات در مقابل کلسیم

با توجه به عدم تغییرات بی‌کربنات در مقابل تغییرات کلسیم در آب‌های نوار ماگمایی تروود- چاه‌شیرین می‌توان نتیجه گرفت که انحلال ژئپس منشأ اصلی وجود کلسیم در آب منطقه می‌باشد (شکل ۴-۲۱).

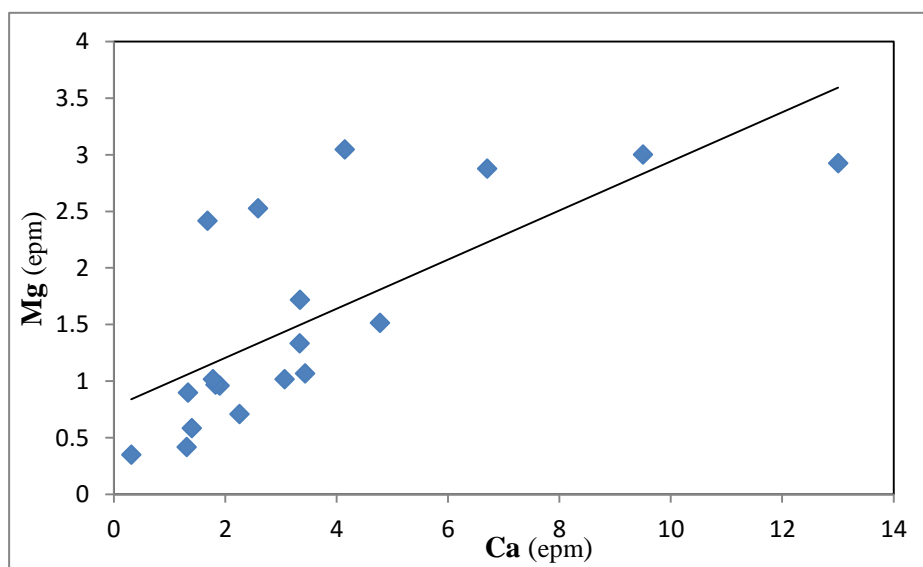


شکل ۴-۲۱- مقایسه غلظت بی‌کربنات در مقابل کلسیم

میانگین غلظت کاتیون منیزیم، به عنوان سومین کاتیون اصلی در بهمن ماه ۱/۹۱ میلی گرم بر لیتر می- باشد، در صورتی که این میانگین در تیرماه به ۱/۵۴ میلی گرم بر لیتر کاهش می یابد (شکل ۴-۲۲). با توجه به شکل (۴-۲۳) به دلیل افزایش غلظت منیزیم در مقابل غلظت کلسیم می توان انحلال کلسیت (دولومیت) را به عنوان منشاء منیزیم در نظر گرفت.

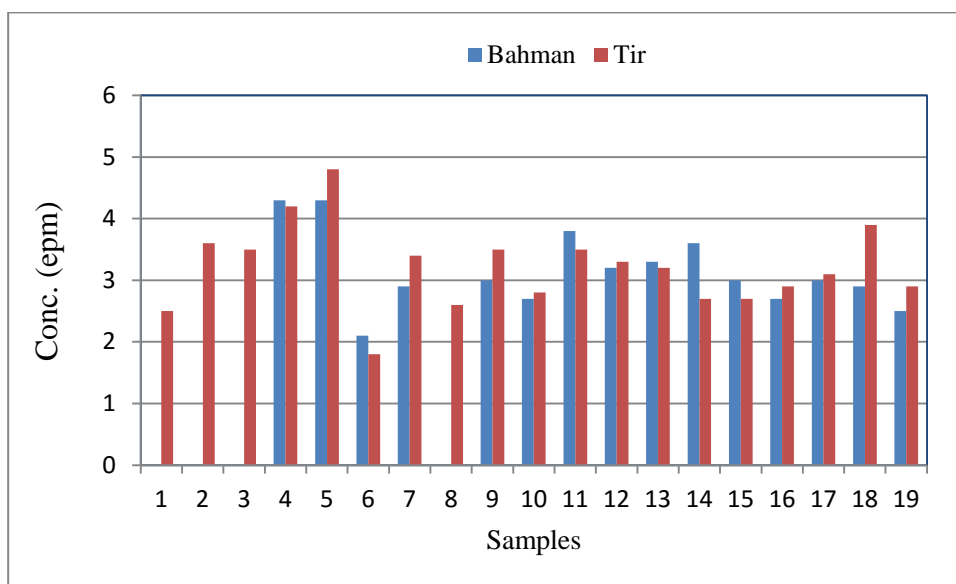


شکل ۴-۲۲- تغییرات غلظت کاتیون منیزیم موجود در منابع آبی سازند سخت تروود- چاه شیرین در بهمن ماه و تیرماه



شکل ۴-۲۳- تغییرات غلظت منیزیم در مقابل کلسیم

بی‌کربنات نیز مانند سایر آنیون‌های دیگر به‌طور میانگین در بهمن‌ماه روند افزایش غلظت داشته است. آنیون بی‌کربنات از انحلال رسوبات کربناته موجود در درز و شکاف‌های سنگ‌ها نظیر کلسیت، دولومیت و همچنین هوازدگی کانی‌های فلدسپار و بیوتیت حاصل می‌شود. بخش عمده بی‌کربنات ناشی از انحلال گاز کربنیک موجود در منطقه غیر اشباع آبخوان می‌باشد. با توجه به کاهش دبی منابع آب در تیرماه، تغلیظ و افزایش آنیون مذکور محتمل می‌باشد (شکل ۴-۲۴).



شکل ۴-۲۴- تغییرات غلظت آنیون بی‌کربنات موجود در منابع آبی سازند سخت ترود- چاه‌شیرین در بهمن‌ماه و تیرماه

#### ۴-۲-۵- محاسبه سری زمانی شاخص اشباع با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC

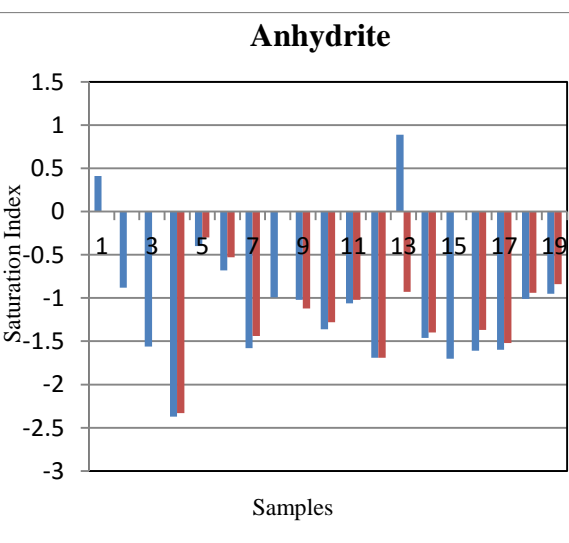
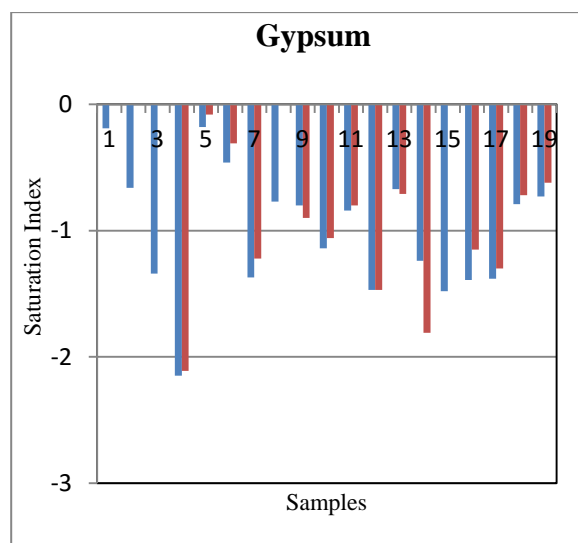
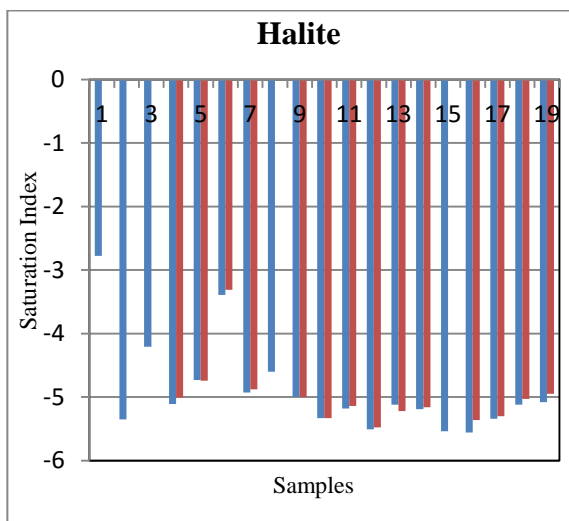
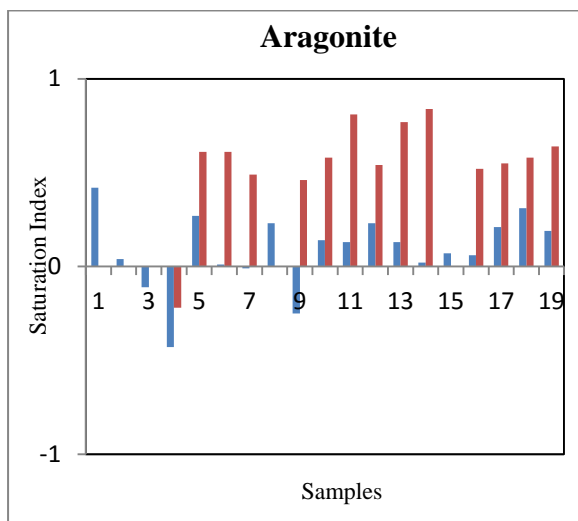
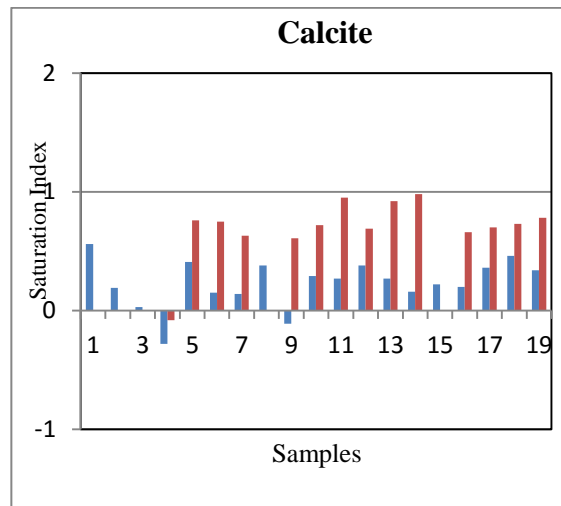
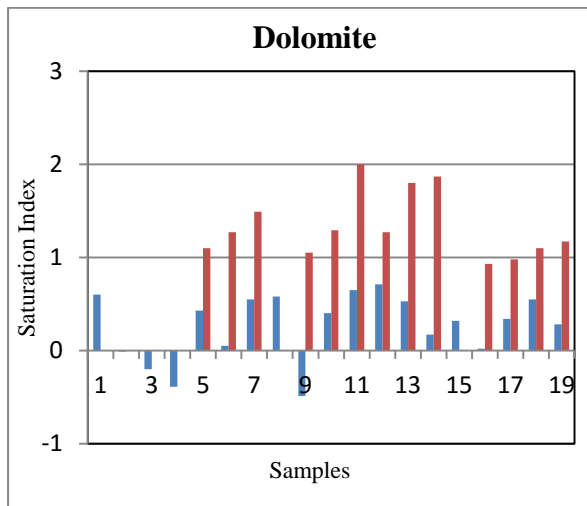
جهت بررسی تأثیر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس، هالیت، انیدریت و آراگونیت بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مقادیر نمایه‌های اشباع این کانی‌ها در نمونه‌های منابع آب زیرزمینی نوار ترود- چاه‌شیرین محاسبه گردید. اگر شاخص اشباع نسبت به یک کانی مثبت باشد بیانگر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به آن کانی است و آب زیرزمینی نمی‌تواند این کانی را در خود حل کند و در صورتیکه شاخص نسبت به یک کانی منفی باشد، یعنی این کانی می‌تواند در آب

زیرزمینی حل شود (Nagarajan, 2010). در جدول (۴-۲) شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس، هالیت، انیدریت و آراگونیت آورده شده است. با توجه به نمایه‌های اشباع ارائه شده تقریباً تمامی نمونه‌های برداشت شده نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت در حالت اشباع و دیگر کانی‌ها از قبیل انیدریت، هالیت و ژیپس نیز در حالت تحت اشباع می‌باشند (شکل ۴-۲۵).

جدول ۴-۲- مقادیر شاخص اشباع در نمونه‌های آب موجود در سازند سخت ترود-چاه شیرین (نوبت دوم)

نمونه	کلسیت	دولومیت	ژیپس	انیدریت	آراگونیت	هالیت
۱	۰/۵۶	۰/۶	-۰/۱۹	۰/۴۱	۰/۴۲	-۲/۷۸
۲	۰/۱۹	-۰/۰۱	-۰/۶۶	-۰/۸۸	۰/۰۴	-۵/۳۵
۳	۰/۰۳	-۰/۲	-۱/۳۴	-۱/۵۶	-۰/۱۱	-۴/۲۱
۴	-۰/۲۸	-۰/۳۹	-۲/۱۵	-۲/۳۷	-۰/۴۳	-۵/۱۱
۵	۰/۴۱	۰/۴۳	-۰/۱۸	-۰/۴	۰/۲۷	-۴/۷۳
۶	۰/۱۵	۰/۰۵	-۰/۴۶	-۰/۶۸	۰/۰۱	-۳/۳۹
۷	۰/۱۴	۰/۵۵	-۱/۳۷	-۱/۵۸	-۰/۰۱	-۴/۹۳
۸	۰/۳۸	۰/۵۸	-۰/۷۷	-۰/۹۹	۰/۲۳	-۴/۶
۹	-۰/۱۱	-۰/۴۹	-۰/۸	-۱/۰۲	-۰/۲۵	-۵/۰
۱۰	۰/۲۹	۰/۴	-۱/۱۴	-۱/۳۶	۰/۱۴	-۵/۳۳
۱۱	۰/۲۷	۰/۶۵	-۰/۸۴	-۱/۰۶	۰/۱۳	-۵/۱۸
۱۲	۰/۳۸	۰/۷۱	-۱/۴۷	-۱/۶۹	۰/۲۳	-۵/۵۱
۱۳	۰/۲۷	۰/۵۳	-۰/۶۷	-۰/۸۹	۰/۱۳	-۵/۱۲
۱۴	۰/۱۶	۰/۱۷	-۱/۲۴	-۱/۴۶	۰/۰۲	-۵/۱۹
۱۵	۰/۲۲	۰/۳۲	-۱/۴۸	-۱/۷	۰/۰۷	-۵/۵۴
۱۶	۰/۲	۰/۰۲	-۱/۳۹	-۱/۶۱	۰/۰۶	-۵/۵۶
۱۷	۰/۳۶	۰/۳۴	-۱/۳۸	-۱/۶	۰/۲۱	-۵/۳۴
۱۸	۰/۴۶	۰/۵۵	-۰/۷۹	-۱/۰۱	۰/۳۱	-۵/۱۲
۱۹	۰/۳۴	۰/۲۸	-۰/۷۳	-۰/۹۵	۰/۱۹	-۵/۰۸





شکل ۴-۲۵- تغییرات زمانی شاخص اشباع مربوط به کانی‌های مختلف در سازند سخت تروود-چاه شیرین

#### ۴-۳- ارزیابی غلظت فلزات سنگین موجود در منابع آب سازند سخت تروود-چاه شیرین

غلظت فلزات سنگین تأثیر به‌سزایی در هیدروژئوشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دارند و بررسی هیدروژئوشیمیایی این منابع بدون پرداختن به عناصر مذکور ارزش چندانی ندارد. غلظت این عناصر در محیط آبخوان، تحت تأثیر شرایط حاکم بر محیط آبخوان (مثلاً دما، EC و pH) بوده و در بسیاری از موارد افزایش غلظت آن‌ها باعث از دست رفتن کیفیت مطلوب و در بعضی موارد سمی شدن آب می‌شود. تحرک و پیدایش عناصر کمیاب در آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر جذب توسط کانی‌های رسی، مواد آلی، ترکیبات متبلور و آمورف در محیط متخلخل قرار می‌گیرد و در نتیجه غلظت آن‌ها در آب زیرزمینی توسط فرآیندهای ژئوشیمیایی کنترل می‌شود (Deutsch, 1997). فلزات سنگین به‌طور طبیعی در آب‌ها وجود دارند که با توجه به داشتن خصوصیتی از جمله ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و قدرت تجمع‌پذیری در بدن، یکی از معضلات جدی سلامتی در دنیای امروزه به‌حساب می‌آیند. آنچه در حال حاضر بیش از هر مقوله‌ای فکر بشر را به خود جلب کرده است مسأله آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین می‌باشد که به‌دلیل غیرقابل جذب بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی، ایجاد اختلال در سیستم عصبی و کلیوی و ایجاد جهش‌های ژنتیکی در غلظت پایین بر فعالیت جانداران دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند. فلزاتی مانند سرب، کادمیوم، جیوه، نقره، آلومینیوم، باریم و آرسنیک در هر غلظتی حتی ناچیز، زیان‌آور بوده و در دراز مدت اثرات نامطلوبی را به دنبال خواهد داشت. پیدایش این عناصر به pH و شرایط اکسایش-کاهش آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. برای مثال شرایط اسیدی (کمتر از ۷) یک عامل مهم در آشکارسازی فلزات کاتیونی (آلومینیوم، آهن، منگنز و نیکل) بوده، در حالی که با افزایش pH عناصری مانند مس، روی و سرب به‌شدت جذب مواد آبخوان می‌شوند.

### ۴-۳-۱- بررسی فلزات سنگین موجود در منابع آب نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین

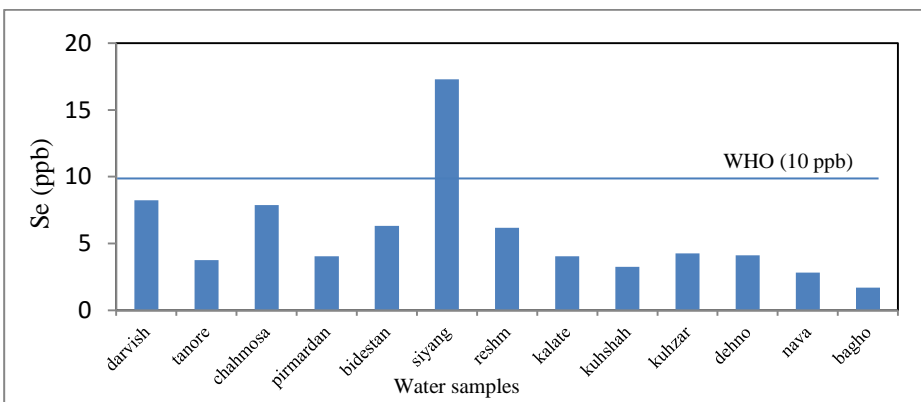
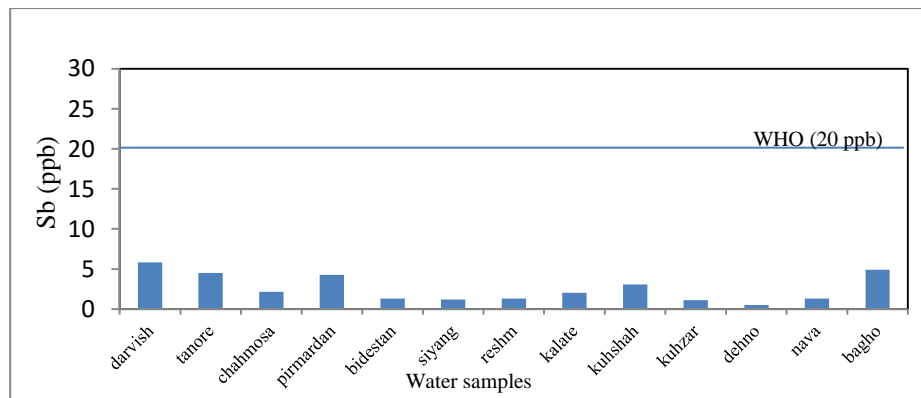
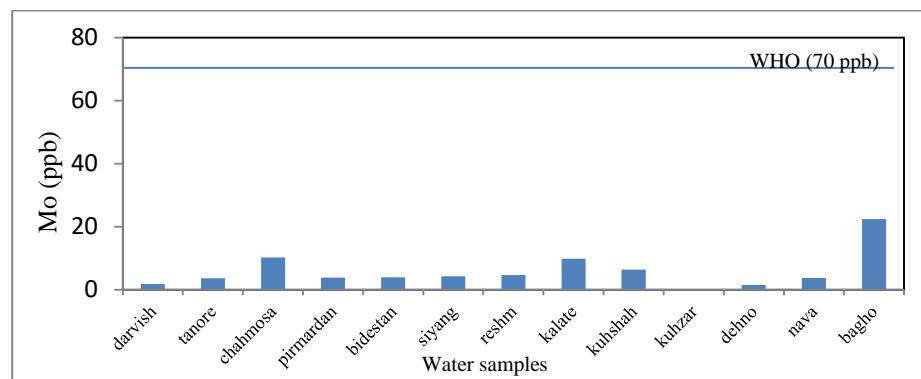
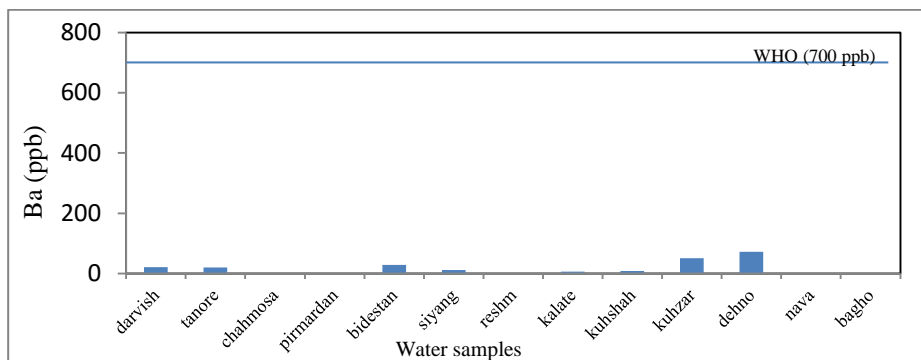
در این پژوهش به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین منابع آب موجود در نوار ترود- چاه شیرین تعداد ۱۳ نمونه جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین به آزمایشگاه ارسال گردید که پس از بررسی نتایج به- دست آمده، تعداد ۸ عنصر که غلظت بالاتری نسبت به سایر عناصر داشتند جهت بررسی و تجزیه و تحلیل انتخاب گردید (جدول ۴-۳).

نتایج نشان می‌دهند که به جز باریم (Ba)، لیتیم (Li)، مولیبدن (Mo)، روبیدیم (Rb)، آنتیموان (Sb)، اسکاندیم (Sc)، سلنیم (Se) و استرانسیوم (Sr) سایر فلزات مورد بررسی در حد بسیار ناچیز یا زیر حد آشکارسازی دستگاه ICP-MS بوده‌اند.

فلزات سنگین مهم که با غلظت‌های بیشتری در نمونه‌های آب برداشت شده از سازند سخت ترود-چاه- شیرین ظاهر شده‌اند در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول (۴-۳) غلظت باریم (Ba)، لیتیم (Li)، مولیبدن (Mo)، روبیدیم (Rb)، آنتیموان (Sb)، اسکاندیم (Sc)، سلنیم (Se) و استرانسیوم (Sr) برحسب ppb آورده شده است. با توجه به میانگین غلظت عناصر در جدول، بیشترین غلظت مربوط به استرانسیوم و کمترین غلظت مربوط به روبیدیم بوده و روند تغییرات غلظت فلزات سنگین به صورت  $Rb < Sb < Se < Mo < Sc < Ba < Li < Sr$  می‌باشد. از میان عناصر انتخابی که غلظت بالاتری نسبت به سایر فلزات سنگین داشته‌اند، تعداد چهار عنصر باریم، مولیبدن، آنتیموان و سلنیم به عنوان عناصر سمی با اولویت زیست محیطی بوده و در استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) معرفی شده‌اند که با توجه به نتایج آنالیزها، غلظت تمامی این عناصر (به جز یک مورد) پایین‌تر از حد استاندارد می‌باشد (جدول ۴-۳).

جدول ۳-۴- غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه (سازند سخت ترو-چاه شیرین)

نمونه	باریم	لیتیم	مولیبدن	روبییدیم	آنتیموان	اسکاندیم	سلنیم	استرانسیوم
درویش	۲۱/۰۴	۱۰۲/۱۸	۱/۸۲	۱/۵۶	۵/۸۲	۸/۵۶	۸/۲۵	۵۵۶۰
تنوره	۱۹/۵۱	۳۶/۹۳	۳/۵۹	۱/۳۳	۴/۴۹	۹/۹۳	۳/۷۷	۱۶۲۰
چاه موسی	۰/۵	۴۰/۷۵	۱۰/۲۶	۲/۲۱	۲/۱۶	۱۱/۶۳	۷/۸۹	۱۱۲۰
پیرمردان	۰/۵	۱۷/۱۵	۳/۸۵	۲/۴۶	۴/۲۷	۱۲/۱۷	۴/۰۵	۳۵۰
بیدستان	۲۸/۶۵	۴۵/۲۸	۳/۹	۱/۵۹	۱/۳	۱۳/۳۶	۶/۳۳	۲۸۶۰
سینگ	۱۱/۴۹	۵۲/۹۱	۴/۲۴	۴/۹۹	۱/۱۸	۹/۶۵	۱۷/۲۸	۴۵۴۰
رشم	۰/۵	۲۰/۴۵	۴/۶۳	۲/۲۲	۱/۳	۷/۱۵	۶/۱۹	۱۰۹۰
کلاته	۵/۹	۲۱/۲۳	۹/۸۶	۰/۵	۲/۰۴	۱۰/۵۱	۴/۰۵	۱۰۰۰
کوه‌شاه	۸/۰	۲۷/۵۱	۶/۴۲	۱/۶۱	۳/۰۷	۹/۴	۳/۲۷	۱۵۴۰
کوه‌زر	۵۰/۷۴	۱۵/۳۲	۰/۱۴	۱/۵۳	۱/۱۲	۸/۳۹	۴/۲۷	۱۱۰۰
دهنو	۷۱/۷	۱۲/۳	۱/۵۲	۱/۸۵	۰/۵	۸/۵	۴/۱۳	۱۰۴۰
نوا	۰/۵	۱۴/۹	۳/۷۴	۲/۲۱	۱/۳۱	۹/۳۱	۲/۸۴	۵۳۰
باغو	۰/۵	۳۳/۶۹	۲۲/۴۲	۳/۴	۴/۹	۱۱/۶۸	۱/۷۱	۱۰۲۰
بیشینه	۷۱/۷	۱۰۲/۱۸	۲۲/۴۲	۴/۹۹	۵/۸۲	۱۳/۳۶	۱۷/۲۸	۵۵۶۰
کمینه	۰/۵	۱۲/۳	۰/۱۴	۰/۵	۰/۵	۷/۱۵	۱/۷۱	۵۳۰
میانگین	۱۶/۹	۳۳/۹	۵/۹	۲/۲	۲/۶	۱۰	۵/۷	۱۷۹۷/۷
استاندارد WHO	۷۰۰	----	۷۰	----	۲۰	----	۱۰	----
واحد	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb

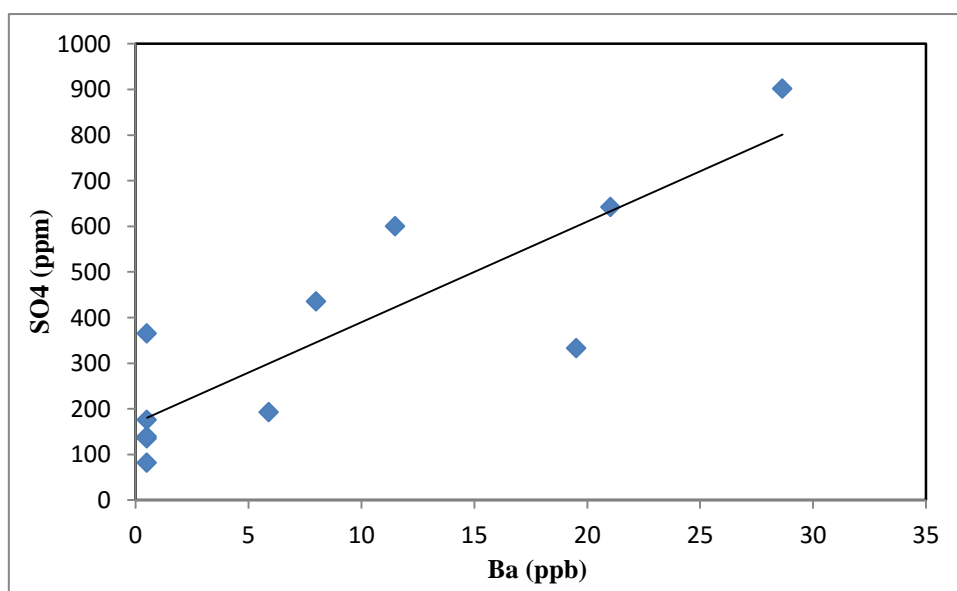


شکل ۴-۲۶- غلظت فلزات سنگین منابع آب منطقه مورد مطالعه در مقابل حد مجاز سازمان بهداشتی جهانی (WHO)

#### ۴-۳-۱-۱- باریم (Ba)

باریت یا سولفات باریم منشاء اصلی عنصر باریم می‌باشد و انحلال این عنصر مانند عناصر دیگر تابع شرایط اکسیداسیون - احیا و pH آب می‌باشد، به طوری که این عنصر در شرایط اسیدی به بیشترین میزان خود در محیط می‌رسد. باریم به عنوان یکی از فلزات سنگین سمی از نظر زیست محیطی غلظت قابل توجهی نسبت به سایر عناصر در نمونه‌های برداشت شده از نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین دارد. کمترین غلظت این عنصر ۰/۵ میکروگرم بر لیتر و بیشترین آن ۷۱/۷ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. حد مجاز تعیین شده در سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای این عنصر ۷۰۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که با توجه به این استاندارد تمامی نمونه‌های برداشت شده از نظر غلظت عنصر باریم در حالت مطلوب می‌باشند.

با توجه به شکل (۴-۲۷) با افزایش غلظت باریم غلظت سولفات نیز در نمونه‌های آب موجود در نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین افزایش یافته است. از این رو هوازدگی و تجزیه باریت ( $BaSO_4$ ) می‌تواند اصلی‌ترین عامل حضور عنصر باریم در نمونه آب‌های منطقه باشد.



شکل ۴-۲۷- تغییرات غلظت باریم نسبت به سولفات

#### ۴-۳-۱-۲- مولیبدن (Mo)

این عنصر به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود و بیشتر به صورت کانی مولیبدنیت دیده می‌شود و با توجه به زمین‌شناسی منطقه که از سنگ‌های ماگمایی تشکیل شده است حضور این کانی در نوار ماگمایی ترو-چاه شیرین دور از انتظار نیست. حضور عنصر مولیبدن در آب آشامیدنی به عنوان یک عنصر سمی توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) معرفی شده است که میزان غلظت استاندارد برای این عنصر ۷۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. در آنالیزهای انجام شده همگی نمونه‌ها غلظتی پایین‌تر از حد استاندارد دارند، بیشترین مقدار عنصر مولیبدن در نمونه‌ها ۲۲/۴۲ میکروگرم بر لیتر و کمترین غلظت ۰/۱۴ میکروگرم بر لیتر می‌باشد و در این صورت آب‌های خروجی از نوار ماگمایی ترو-چاه شیرین از نظر عنصر مولیبدن آلودگی ندارند.

#### ۴-۳-۱-۳- آنتیموان (Sb)

یکی دیگر از عناصر سمی موجود در آب‌های منطقه مورد مطالعه عنصر آنتیموان می‌باشد. آنتیموان جزء یکی از خطرناک‌ترین عناصر سمی می‌باشد که حد استاندارد آن در آب‌های قابل شرب ۲۰ میکروگرم بر لیتر است. بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه برای این عنصر ۵/۸۲ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که کمتر از حد استاندارد جهانی بوده و بنابراین از لحاظ شرب مناسب می‌باشد.

#### ۴-۳-۱-۴- سلنیم (Se)

یکی دیگر از عناصری که حضور آن در آب شرب می‌تواند سمی باشد عنصر سلنیم است. البته این عنصر به صورت خالص سمی نبوده و ترکیبات آن مانند سلنید هیدروژن و دیگر ترکیبات آن سمی می‌باشند. بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده برای این عنصر در منابع آب موجود در نوار ماگمایی ترو-چاه شیرین ۱۷/۲۸ میکروگرم بر لیتر و کمترین غلظت ۱/۷۱ می‌باشد. حد استاندارد اعلام شده توسط سازمان

بهداشت جهانی برای این عنصر ۱۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که تنها یک نمونه از منابع آب موجود در منطقه غلظتی بالاتر از حد استاندارد دارد. سلنیم به صورت سلنید از کانی‌های سولفیدی مانند مس، نقره و سرب به دست می‌آید که با توجه به حضور معادن سولفیدی (چاه موسی، مس سوسنوار، کوه زر و ...) حضور این عنصر در منابع آب منطقه دور از انتظار نیست.

#### ۴-۳-۲- بررسی میزان آلودگی براساس شاخص فلزی (MI)

یکی از روش‌های بررسی میزان آلودگی آب‌ها به فلزات سنگین روش شاخص فلزی (Metal Index) می‌باشد. در این روش با استفاده از رابطه ۲-۴ شدت آلودگی نمونه‌ها تعیین و قابل شرب یا غیر قابل شرب بودن آن‌ها مشخص می‌شود. رابطه شاخص فلزی توسط تاماسی و سینی (Tamasi & Cini, 2003) ارائه شده است، که در این رابطه C غلظت عنصر مورد نظر در آب، i شماره عنصر فلزی و MAC حداکثر غلظت مجاز برای عنصر (Maximum Allowed Concentration) می‌باشد.

$$MI = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(MAC)_i} \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

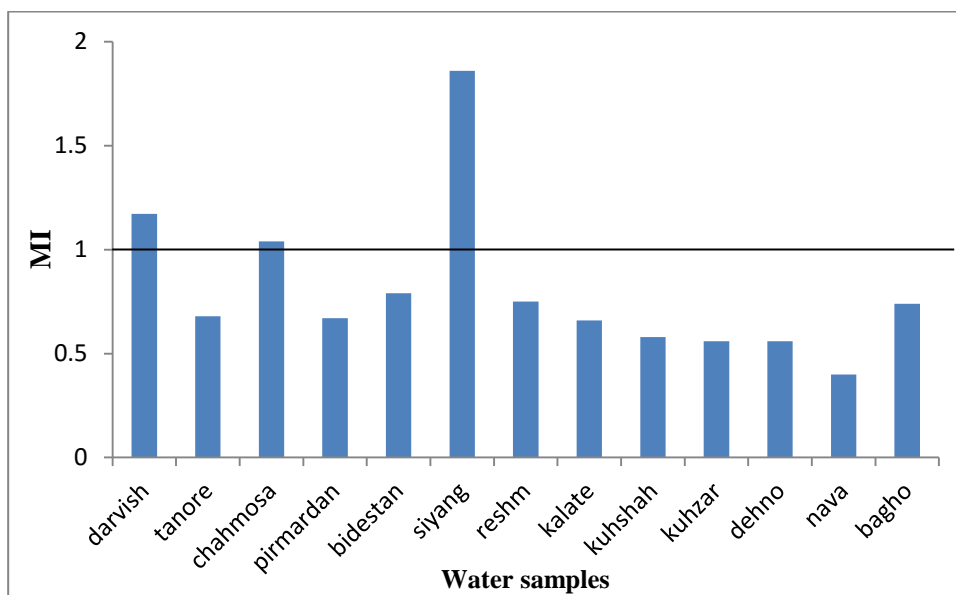
اگر مقدار شاخص فلزی از ۱ بیشتر باشد ( $MI > 1$ )، کیفیت آن نمونه آب پایین بوده و از نظر فلزات سنگین آلوده است، ولی اگر مقدار شاخص فلزی از ۱ کمتر باشد ( $MI < 1$ )، نمونه مورد نظر قابل شرب می‌باشد. جهت محاسبه شاخص فلزی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه از عناصر باریم (Ba)، مولیبدن (Mo)، آنتیموان (Sb) و سلنیوم (Se) استفاده شده است. از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیز جهت حداکثر غلظت مجاز (MAC) استفاده گردید. جدول (۴-۴) مقادیر شاخص فلزی در نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۴-۴) در نمونه‌های ۱، ۳ و ۶ شاخص فلزی بالاتر از ۱ می‌باشد، بنابراین این نمونه‌ها از نظر شاخص فلزی غیر قابل شرب می‌باشند. سایر نمونه‌ها که شاخص فلزی آن‌ها کمتر از ۱ بوده می‌توانند برای مصرف شرب استفاده شوند.



جدول ۴-۴- مقادیر شاخص فلزی موجود در نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸
MI	۱/۱۷۲	۰/۶۸	۱/۰۴	۰/۶۷	۰/۷۹	۱/۸۶	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۴۰	۰/۷۴

در شکل (۴-۲۹) تغییرات مقادیر شاخص فلزی (MI) در مقابل حد مجاز آن برای هر نمونه آورده شده است. در نمونه ۱ و ۳ غلظت هیچ کدام از عناصر به صورت مجزا بالاتر از حد استاندارد نمی باشد ولی به طور کلی حضور تمامی عناصر باعث شده که مقدار شاخص فلزی بالاتر از ۱ باشد. در نمونه ۶ فقط عنصر سلنیوم بالاتر از حد استاندارد بوده و این امر باعث بالا رفتن شاخص فلزی این نمونه شده است.

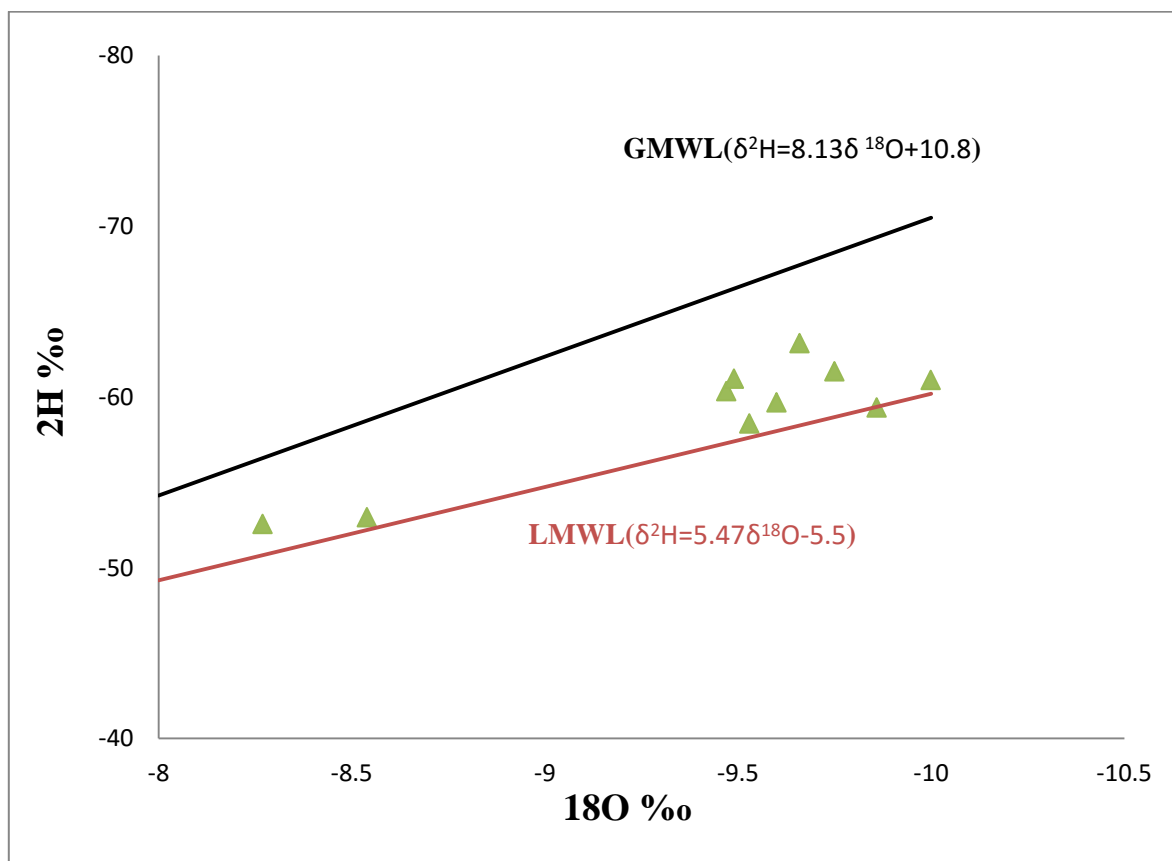


شکل ۴-۲۸- تغییرات شاخص فلزی در منابع آب موجود در نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین

#### ۴-۴- بررسی خصوصیات ایزوتوپی منابع آب نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین

نتایج آنالیز ایزوتوپی نمونه های آب برداشت شده از نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین در شکل (۴-۲۹) ترسیم شده است. به منظور تفسیر تغییرات ایزوتوپی از خط ایزوتوپی بارش جهانی (GMWL) و خط ایزوتوپی بارش محلی (LMWL) استفاده شده است. لازم به ذکر است جهت تفسیر نتایج ایزوتوپی خط

بارش محلی شاهرود ( $\delta^2\text{H}=5.47\delta^{18}\text{O}-5.5$ ) مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که ملاحظه می‌شود نمونه‌های برداشت شده از منطقه دارای ترکیب ایزوتوپی نسبتاً مشابه با بارش محلی می‌باشند. این موضوع نشان می‌دهد منشأ آب‌های خروجی از نوار ماگمایی تروود - چاه‌شیرین، بارش‌های جوی فعلی می‌باشد. بررسی ترکیب ایزوتوپی نمونه‌ها نشان می‌دهد انحراف قابل توجهی در ترکیب ایزوتوپی نسبت به بارش در نمونه‌ها دیده نمی‌شود، بنابراین احتمال تبخیر از نمونه‌ها در هنگام عبور از سازند سخت وجود نداشته است. لازم به ذکر است به دلیل عدم وجود خط بارش محلی منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق از خط بارش شاهرود استفاده شده است. قرارگیری نمونه‌ها بالاتر از این خط می‌تواند مرتبط با تفاوت در ترکیب ایزوتوپی بارش منطقه نسبت به شاهرود باشد.



شکل ۴-۲۹- تغییرات ایزوتوپ‌های دوتریوم و اکسیژن ۱۸

---

# فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

## ۵-۱- نتیجه گیری

۱- میانگین غلظت کاتیون‌ها در بهمن‌ماه بیشتر و غلظت آنیون‌ها در این ماه کمتر می‌باشد. به دنبال آن در تیرماه نیز غلظت کاتیون‌ها کمتر و غلظت آنیون‌ها بیشتر می‌باشد که پدیده تبادل کاتیونی می‌تواند عامل موثر بر این امر باشد.

۲- میانگین هدایت الکتریکی (CE) نمونه آب‌های برداشت شده از نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین طی دو نوبت نمونه‌برداری ۱۲۸۷/۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به میانگین کل مواد جامد محلول (TDS) در نمونه‌ها که مقدار ۹۰۶/۸ است، رابطه بین TDS و EC به صورت  $TDS = 0.7 EC$  می‌باشد.

۳- مقدار هدایت الکتریکی نسبت به ارتفاع در تمامی نمونه‌ها یکنواخت نبوده و از روند کلی تبعیت نمی‌کند، که این امر می‌تواند در رابطه با ناهمگنی و ناهمسانی آبخوان سازند سخت باشد. در آبخوان سازند سخت حرکت آب در شکستگی‌های سنگ سبب عدم پیوستگی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی منابع آب می‌شود.

۴- با توجه به نوسانات زیاد دمای منابع آب زیرزمینی در طول سال به نظر می‌رسد آبخوان موجود در سازند سخت منطقه ترود عمدتاً یک آبخوان سطحی باشد.

۵- وجود کانی‌های سولفیدی در سنگ‌های آندزیتی و داسیتی نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین می‌تواند به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل کننده pH باشد. انحلال این کانی‌ها توسط آب عبوری از درز و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی در طول مسیر باعث کاهش مقدار pH در ارتفاعات کمتر شده است.

۶- با توجه به نمودار شولر یکسان بودن روند یون‌های اصلی اندازه‌گیری شده، نشانگر منشأ مشترک بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد. در هر دو نوبت نمونه‌برداری، کاتیون سدیم بیشترین غلظت را نسبت به سایر

---

کاتیون‌ها به خود اختصاص داده و همچنین سولفات نیز در میان آنیون‌ها از غلظت بیشتری برخوردار بوده که از این رو می‌توان تیپ سولفات‌ه- سدیک را برای نمونه‌های هر دو نوبت معرفی نمود.

۷- با کاهش ارتفاع و افزایش طول مسیر جریان آب درون آبخوان سازند سخت، بر غلظت جزء ملکولی سیلیس افزوده می‌شود که این افزایش غلظت در ارتفاعات کمتر تحت تاثیر پیشرفت واکنش‌های هوازدگی در طول مسیر جریان و افزایش زمان ماندگاری آب زیرزمینی در تماس با کانی‌ها می‌باشد.

۸- با توجه به نمایه‌های اشباع ارائه شده تقریباً تمامی نمونه‌های برداشت شده نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت در حالت اشباع و دیگر کانی‌ها از قبیل انیدریت، هالیت و ژیپس نیز در حالت تحت اشباع می‌باشند.

۹- عناصر باریم، مولیبدن، آنتیموان و سلنیوم به عنوان عناصر سمی با اولویت زیست محیطی بوده و در استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) معرفی شده‌اند که با توجه به نتایج آنالیزها، غلظت تمامی این عناصر (به جز نمونه سیینگ برای عنصر سلنیوم) در منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از حد استاندارد می‌باشد.

۱۰- با توجه به شاخص فلزی جهت بررسی میزان آلودگی، در نمونه‌های ۱، ۳ و ۶ شاخص فلزی بالاتر از ۱ می‌باشد، بنابراین این نمونه‌ها از نظر شرب غیر قابل استفاده می‌باشند. سایر نمونه‌ها که شاخص فلزی آن‌ها کمتر از ۱ بوده می‌توانند برای مصرف شرب استفاده شوند.

۱۱- نمونه‌های برداشت شده از منطقه دارای ترکیب ایزوتوپی نسبتاً مشابه با بارش محلی می‌باشند. این موضوع نشان می‌دهد منشأ آب‌های خروجی از نوار ماگمایی تروود - چاه‌شیرین، بارش‌های جوی فعلی می‌باشد.

---

## ۵-۲- پیشنهادها

الف- در این تحقیق هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین بررسی شده است. با توجه به اهمیت منابع آب موجود در این منطقه، پیشنهاد می‌گردد مطالعات کمی منابع آب زیرزمینی در این سازند سخت انجام شود.

ب- با توجه به عدم در دسترس بودن خط ایزوتوپی بارش محلی، ترسیم این خط برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد.

ج- انجام مطالعات مدل‌سازی ژئوشیمیایی برای درک فرآیندهای حاکم بر سیستم آب زیرزمینی منطقه، پیشنهاد می‌گردد.

## منابع فارسی

- اردکانی، س.، رزبان، ش. و معانی جو، م. (۱۳۹۳). ارزیابی غلظت برخی از فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان، ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، سال هجدهم، شماره ۶.
- اصغری مقدم، ا. و فیجانی، ا. (۱۳۸۷). مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی آبخوان‌های بازالتی و کارستی منطقه ماکو در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه، نشریه علوم زمین، سال هفدهم، شماره ۶۷.
- افشاری، ر. (۱۳۷۹). سازندهای سخت و چگونگی انجام و تفسیر آزمایشات پمپاژ در آن‌ها، ویژه-نامه اولین همایش داخلی مهندسی معدن.
- آقانباتی، ع. (۱۳۸۳). "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ترابیان، ع. و شاهوی، ش. بررسی و مقایسه استانداردهای کیفی آب شرب ایران و استانداردهای معتبر جهانی، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، سال دوم، شماره ۲.
- جعفری، ه. (۱۳۸۲). بررسی تکامل هیدروشیمیایی منابع آب سازند سخت شیرکوه یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- خادمی، م. (۱۳۸۶). "ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی.
- خواجه‌زاده، م. (۱۳۸۸). پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.

- زحمتی، ب. و فرد مرادی‌نیا، س. (۱۳۹۷). مطالعه آب‌های زیرزمینی منطقه کلوانق (هریس- آذربایجان شرقی) به روش ژئوفیزیک، فصلنامه علمی - تخصصی رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره دوم.
- سامانی، ن.، رحیم‌پور، ن. و پسندی، م. (۱۳۸۴). ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان سازند سخت مس سرچشمه.
- شهاب‌پور، ج. (۱۳۹۴). "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر (کرمان).
- علیزاده، ا. (۱۳۸۹). "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس، دانشگاه امام رضا (ع).
- قاسمی، ح.، برهمند، م. و صادقیان، م. (۱۳۹۰). گدازه‌های بازالتی الیگوسن شرق و جنوب شرق شاهرود: شاهدی بر جایگاه پشت‌کمانی حوضه الیگو-میوسن ایران مرکزی، نشریه پترولوژی، دوره دوم.
- کرده‌لاچین، س. (۱۳۹۵). هیدروژئوشیمی سازندهای سخت شرق مهاباد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.
- کریمی، ح. (۱۳۹۲). بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در بارش‌های زاگرس غربی، نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، دانشگاه فردوسی مشهد.
- محمدزاده، ح.، اسکندری میوان، ج. و طاهری، ک. (۱۳۹۵). بررسی و مقایسه ترکیب ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی روانسر- سنجایی با خط ایزوتوپی جوی محلی، دومین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مّر، ف.، شاکری، ع.، کمپانی زارع، م. و رئیسی، ع. (۱۳۸۴). زمین آب شیمی و زمین دماسنجی چشمه های آب گرم و معدنی دامنه جنوبی و جنوب غربی تفتان، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.



- 
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه ترود، سازمان زمین‌شناسی کشور.
  - نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
  - یزدی‌زاده، ب. (۱۳۹۵). مطالعه تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدروشیمیایی در منابع آب زیرزمینی سازند سخت منطقه شیرکوه، یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.

---

## Reference:

- Al-Ahmadi, M. E. (2013). Groundwater quality assessment in Wadi Fayd, Western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(1), 247-258.
- Alwathaf, Y., Mansouri, B. E., Gasmi, E. H. E., Tammal, M., Chao, J. & Kili, M. (2013). Hydro-chemical analysis of groundwater in sana' a basin Yemen. *International Water Technology Journal*, 3(2), 100-122.
- Arnous, M. O. (2016), "Groundwater potentiality mapping of hard-rock terrain in arid regions using geospatial modelling: example from Wadi Feiran basin, South Sinai, Egypt", *Hydrogeology Journal*, vol. 24, 1375-1392.
- Federico, C., Aiuppa, A., Favara, R., Gurrieri, S. & Valenza, M. (2004). Geochemical monitoring of groundwaters (1998-2001) at Vesuvius volcano (Italy). *Journal of volcanology and Geothermal Research*, 133(1), 81-104.
- Fetter C. W., (1988), "Applied Hydrogeology, U. S. A. Merrill publishing company First Federal Geographic Technology Conference (Washington, DC:National).
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater* (No. 629.1 F7).
- Gastmans, D., Chang, H. K. & Hutcheon, I. (2010). Groundwater geochemical evolution in the northern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil) and its relationship to diagenetic features. *Applied Geochemistry*, 25(1), 16-33.
- GodboleMahendra, T. and Patode, H. S. (2014). "Evaluation of Groundwater Quality and its Suitability for Drinking and Agricultural use in and around Hingoli Region, Maharashtra, India", *American International Journal of Research in Humanities, Arts and Social Sciences*, vol. 6(3), 256-263.
- Haloi, N. and Haloi, H. P. (2012), "Heavy metal contaminations in the groundwater of Brahmaputra flood plain: an assessment of water quality in Barpeta District, Assam (India)", *Environ Monit Assess*, vol. 184, 6229-6237.
- Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (Vol. 2254) Department of the Interior, US Geological Survey.
- Hounslow, A. (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.

- 
- Momodu, M. A. and Anyakora, C. A. (2010). “Heavy Metal Contamination of Ground Water: The Surulere Case Study”, *Research Journal Environmental and Earth Sciences*, vol. 2(1), 39-43.
  - Nag, S. K. (2014). “Evaluation of Hydrochemical Parameters and Quality Assessment of the Groundwater in Gangajalghati Block, Bankura District, West Bengal, India”, *Arab J Sci Eng*, vol. 39, 5715-5727.
  - Obiefuna, G. I. and Sheriff, (2011). “Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes”, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, vol. 3(2), 131-141.
  - Prasanna, M. Chidambaram, S. and Srinivasamoorthy, K. (2010). “Statistical analysis of the hydrogeochemical evolution of groundwater in hard and sedimentary aquifers system of Gadilam river basin, South India”, *Journal of King Saud University*, vol. 22, 133-145.
  - Rajesh, R. Brindha, K. and Elango, L. (2015). “Groundwater Quality and its Hydrochemical Characteristics in a Shallow Weathered Rock Aquifer of Southern India”, *Water Qual Expo Health*, 1-10.
  - Satyanarayanan, M. Balaram, V. AlHussin, M. AlJemali, M. Rao, T. G. Mathur, R. and Ramesh, S. (2007), “Assessment of Groundwater Quality in a Structurally Deformed Granitic Terrain in Hyderabad, India”, *Environ Monit Assess*, 117-127.
  - Singaraja C, Chidambaram S, Anandhan P, Prasanna M, Thivya C, and Thilagavathi, R, (2013), “A study on the status of fluoride ion in groundwater of coastal hard rock aquifers of south India”, *Arab J Geosci*, vol. 6, 4167-4177.
  - Singhal B. B. S, and Gupta R. P, (2010). “Applied hydrogeology of fractured rocks: Second Edition”, *Springer Science and Business Media*, pp 237-257.
  - Srinivasamoorthy, K, Chidambaram, S, Prasanna, M. V., Vasanthavihar M, Peter. J. and Anandhan P. (2007). “Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain – A case study from Mettur taluk, Salem district, Tamil Nadu, India”. *Department of Earth Sciences*, 49-58.

- 
- Subramani, T. Rajmohan, N. and Elango, L. (2010). “Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India”. *Environ Monit Assess*, vol. 162, 123-137.
  - Tamaci, G. & Cini, R. (2004). Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena. *Science of the total Environment*, 327(1), 41-51.
  - Thivya, C., Chidambaram S., Tirumalesh. K., Prasanna M., Thilagavathi R. and Napolian M. (2014). “Occurrence of the radionuclides in groundwater of crystalline hard rock regions of central Tamil Nadu, India”. *J Radioanal Nucl Chem*, vol. 302, 1349-1355.
  - Todd D. K, and Mays L. W, (2005), “Groundwater hydrology: Third Edition”.

## **Abstract**

Increasing population and more needs to water has attracted researchers attention to other water resources. The aquifers in the hardrocks are one of the important sources in arid areas where alluvial aquifers are not available. In this study volcanic belt of Torud – Chahshirin located in the south of Shahroud, has been selected to evaluate the geochemistry of water resources. This volcanic belt is very important because it is the only resource of water for the surrounding villages. Two sampling period were done in February 2017 and July 2018 of the existing water resources, in which 34 samples were collected for different experiments. In the first period, concentration of major anions and cations were investigated. The investigation of spatial changes shows the increases of electrical conductivity and temperature along the flow path. The pH value of the highland water resources is further reduced to lower elevations due to dissolution of sulfide minerals along the flow path. Temporal changes of the major ions indicate that the concentration of cations in February is more than July. The concentrations of anions were also measured low in February. According to the Scholler and Piper diagrams the water types, were Na-SO<sub>4</sub>. Investigation of the results of heavy metals regarding to the World Health Organization (WHO) Standards indicates that the concentration of the all elements, except selenium in the Siyang sample, is lower than the standard permisble limit. The isotopic studies have been conducted, indicating that groundwater from the volcanic belt is similar to the local rainfall, which indicates that the regional water resources are originated from the current atmospheric precipitation.

**Keywords:** Hardrock, volcanic Torud-Chahshirin belt, hydrochemistry, heavy metals.



دانشگاه صنعتی شاهرود

Shahrood University of Technology  
Faculty of Earth Sciences  
M. Sc. Thesis in Hydrogeology

**Groundwater geochemistry of the volcanic rocks in Toroud- Chahshirin magmatic  
belt, south of Shahroud**

**By: Jalal Dolatabadi**

**Supervisor:  
Dr. Hadi Jafari**

September 2017