





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

عنوان پایان نامه:

ارزیابی هیدروژئولوژیکی و تعیین منشأ چشمه‌های کارستی هفت‌رنگ تاش،

شمال شاهرود

نگارنده:

الهام جعفری محمدآبادی

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

۱۳۹۸/۱۱/۶



تقدیم بہ

مقدستین واثرہ مادر لفت نامہ دلم، مادر مہربانم کہ زندگیم را دیدیون معرو عطفوت آن می دانم.

پدر، مہربانی مشفق، بردبار و حامی.

بہسرم کہ نشاند لطف الہی در زندگی من است.

و خواہرم بہراہ ہمیشگی و پشتوانہ ہای زندگیم

## مشکر و قدردانی

سپاس و ستایش مخصوص خداوندی است که نعمت بزرگ تعقل و انسانیت را به آدمی ارزانی داشت و بهواره انسان را از خون نعمت‌های بی‌دینش بهره‌مند ساخت. ایجناب در طول تحصیل از رهنمودهای ارزنده و بی‌دریغ افراد بزرگوار بر خوردار بودم که بر نحو لازم میدانم از زحمات بی‌شائبه ایشان بازمانی قاصر قدردانی نمایم. در ابتدا از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر رحیم باقری که با مسد صدر و بزرگوار، ایجناب را مشمول الطاف خود ساختند و تمامی موانع موجود را برایم بهوار نمودند مشکر و قدردانی مینمایم. در آخر از زحمات دلسوزانه استاد بزرگوار و محترم گروه زمین‌شناسی به ویژه جناب آقایان دکتر مهدی جعفری، دکتر غلامحسین کرمی و دکتر فرج‌الله فروست که بهواره از راهنمایی‌های بی‌دینشان بهره‌برده‌ام نهایت مشکر و قدردانی را دارم.

مشکر از دوستان عزیز و گرامی، خانم دکتر فاطمه باقری و زهرابوسلیک به همراه آقایان عباس ابراهیم مجنی و فرزاد اکبری بخاطر بکارهای در طول مراحل تحقیق و همچنین آقای مهدی میری و مرضیه کعبه که در انجام کارهای آزمایشگاهی بسیار کمک و یاره بر بنده کردند. و مشکر از دوستانم فرزانه پزیشی، شادی حاتم‌زاده، یاسنا توکلی، نگین نبی‌زاده و محبوبه طالبی زاده و بسیاری از عزیزانی که مساعدانه اینجا امکان مشکر از تک‌تک ایشان مقدور نیست، مشکر و قدردانی می‌کنم.

## تعهد نامه

اینجانب **الهام جعفری محمد آبادی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی آب دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **ارزیابی هیدروژئولوژیکی و تعیین منشأ چشمه‌های کارستی هفت‌رنگ تاش، شمال شاهرود** تحت راهنمایی **دکتر رحیم باقری** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال استان سمنان و ۴۵ کیلومتری شمال غرب شاهرود واقع شده است. جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های هفت‌رنگ تاش، مقادیر pH, EC, و غلظت یونهای اصلی و دبی ۶ منبع غیرکارستی و ۱ چشمه‌ی کارستی (HS5) از دی ماه ۹۶ تا مهر ۹۷ اندازه‌گیری گردیده است. نتایج به دست آمده از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی چشمه‌ی کارستی نشان داد که رژیم غالب سیستم جریان در منطقه‌ی مورد مطالعه افشان است. منحنی فرود چشمه‌ی مورد مطالعه حاوی یک ضریب بده ( $\alpha$ ) با شیب ۰/۰۰۳ است که خود بیانگر غالب بودن سیستم جریان افشان در آبخوان کارستی مورد نظر است. علاوه بر این ارزیابی نتایج حاصل از بررسی‌های ایزوتوپی حاکی از آن است که آب چشمه‌ها از آب‌های جوی نشأت گرفته و بیش‌تر از طریق برف تغذیه می‌گردند. با توجه به نتایج آنالیز هیدروشیمیایی، تیپ غالب آب برای چشمه‌ی کارستی، بی‌کربنات سدیک- کلسیک و برای چشمه‌ی غیرکارستی کلروره سدیک تعیین شده است. براساس نسبت‌ها و تبادلات یونی در نمونه‌های مورد نظر مشاهده می‌شود که جز فرآیند انحلال، تبادل یونی نیز در برخی نمونه‌ها صورت پذیرفته است. براساس نمودار گیبس، تنها نمونه چشمه‌ی کارستی تحت تأثیر عوامل جوی و نمونه‌های HS2 و HS4 تحت تأثیر واکنش متقابل آب و سنگ قرار گرفته و کیفیت شیمیایی آن‌ها تغییر یافته است. ارزیابی نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه براساس نمودار شولر و ویلکاکس نشان می‌دهد که تنها نمونه‌ی چشمه‌ی کارستی، قابلیت شرب و کشاورزی را داراست. بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی نشان داد که چشمه کارستی (HS5) دارای آلودگی فلزات سنگین نبوده و در سایر چشمه‌های رنگی، بخصوص چشمه سیاه رنگ که از کنتاکت بین سازند آهکی و شمشک تخلیه می‌گردد، مقدار فلزات As, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb فراتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) بوده است.

کلمات کلیدی: هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، کارست، هفت‌رنگ، تاش

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه .....	۱
۱-۱- بیان مسأله و هدف انجام تحقیق .....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۲
۳-۱- آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۳
۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن .....	۴
۲-۳-۱- نمودار امبروترمیک .....	۵
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۶
۵-۱- چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۶
۱-۵-۱- سازند بازالتی سلطان میدان .....	۷
۲-۵-۱- سازند پادها .....	۸
۳-۵-۱- سازند خوش بیلاق .....	۸
۴-۵-۱- سازند مبارک .....	۸
۵-۵-۱- سازند دورود .....	۹
۶-۵-۱- سازند روته .....	۹
۷-۵-۱- سازند الیکا .....	۹
۸-۵-۱- سازند شمشک .....	۱۰
۹-۵-۱- سازند لار .....	۱۱
۱۰-۵-۱- ردیف‌های آهکی کرتاسه .....	۱۱
۱۱-۵-۱- سازند فجن .....	۱۱
۱۲-۵-۱- سازند زیارت .....	۱۱
۱۳-۵-۱- سازند کرج .....	۱۲
۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک .....	۱۲
۱-۶-۱- گسل‌های موجود در منطقه .....	۱۲
۲-۶-۱- چین‌خوردگی‌ها .....	۱۳
۷-۱- فازهای کوهزایی در منطقه مورد مطالعه .....	۱۴
۱-۷-۱- فاز کوهزایی کالدونین .....	۱۴
۲-۷-۱- فاز کوهزایی سیمرین .....	۱۵
۸-۱- ژئومورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۱۵
۹-۱- هیدرولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه .....	۱۶
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین .....	۱۷
۱-۲- مقدمه .....	۱۸
۲-۲- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی .....	۱۸
۱-۲-۲- تعریف و اهمیت کارست .....	۲۰
۲-۲-۲- چشمه‌های کارستی .....	۲۱
۳-۲-۲- طبقه‌بندی چشمه‌های کارستی .....	۲۲



۲۳	۴-۲-۲- نفوذ در کارست.....
۲۴	۵-۲-۲- ارتباط تکتونیک با کارست.....
۲۶	۶-۲-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی.....
۳۲	۷-۲-۲- برآورد میزان تغذیه در چشمه‌های کارستی.....
۳۴	۸-۲-۲- عوامل مؤثر بر توسعه‌ی کارست.....
۴۲	۹-۲-۲- تعیین حوضه آبرگیر در چشمه‌های کارستی.....
۴۴	۱۰-۲-۲- هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارستی.....
۴۶	۳-۲- آلودگی فلزات سنگین.....
۴۸	۴-۲- بررسی منشأ و تکامل هیدروشیمیایی.....
۴۸	۱-۴-۲- استفاده از نسبت $Na/Cl$ .....
۴۹	۲-۴-۲- استفاده از نسبت $Ca/HCO_3$ و $Ca/SO_4$ .....
۴۹	۳-۴-۲- استفاده از نسبت $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ .....
۴۹	۴-۴-۲- استفاده از نسبت $Na/Cl$ در برابر $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ .....
۵۰	۵-۲- کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن در سیستم‌های کارستی.....
۵۱	۶-۲- خط ایزوتوپی آب جوی منطقه و منشأ نزولات جوی.....
۵۹	<b>فصل سوم: مواد و روش‌ها.....</b>
۶۰	۱-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات.....
۶۱	۲-۳- بازدیدهای صحرایی و زمین‌شناسی.....
۶۱	۳-۳- نمونه‌برداری از چشمه‌ها.....
۶۲	۴-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه‌ها.....
۶۲	۱-۴-۳- اندازه‌گیری دبی چشمه‌ها.....
۶۳	۲-۴-۳- اندازه‌گیری درجه حرارت.....
۶۳	۳-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی.....
۶۳	۴-۴-۳- اندازه‌گیری pH.....
۶۴	۵-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....
۶۴	۱-۵-۳- اندازه‌گیری آنیون‌ها.....
۶۶	۲-۵-۳- اندازه‌گیری کاتیون‌ها.....
۶۷	۳-۵-۳- محاسبه درصد خطای آزمایش.....
۶۷	۴-۵-۳- سختی کل (Total Hardness).....
۶۸	۵-۵-۳- کل مواد جامد محلول (TDS).....
۶۸	۶-۵-۳- نسبت جذب سدیم.....
۶۸	۷-۵-۳- درصد سدیم (Sodium percentage).....
۶۸	۶-۳- محاسبه‌ی ضرایب اشباع.....
۶۹	۷-۳- نمودارهای ترکیبی.....
۶۹	۸-۳- تعیین محدوده حوضه آبرگیر چشمه‌های هفت‌رنگ تاش.....
۷۰	۹-۳- آنالیز فلزات سنگین و ایزوتوپی.....
۷۱	۱۰-۳- محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب.....
۷۱	۱-۱۰-۳- درجه آلودگی.....

۷۱	.....۲-۱۰-۳ شاخص آلودگی فلزات سنگین
۷۲	.....۳-۱۰-۳ شاخص کیفی (WQI)
۷۳	.....۱۱-۳ روش‌های آماری تحلیل داده‌ها
۷۳	.....۱-۱۱-۳ ضریب همبستگی
۷۴	.....۲-۱۱-۳ تحلیل خوشه‌ای
<b>۷۵</b>	<b>فصل چهارم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های هفت‌رنگ تاش</b>
۷۶	.....۱-۴ خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش
۷۸	.....۱-۱-۴ ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه کارستی مورد مطالعه
۷۸	.....۲-۱-۴ تغییرات زمانی دبی چشمه کارستی هفت‌رنگ تاش
۸۲	.....۳-۱-۴ منحنی فرود و محاسبه‌ی ضرایب هیدرودینامیکی لایه آبدار
۸۴	.....۴-۱-۴ تغییرات زمانی pH آب چشمه‌ی مورد مطالعه
۸۵	.....۵-۱-۴ تغییرات زمانی درجه حرارت آب چشمه‌ی مورد مطالعه
۸۶	.....۶-۱-۴ بررسی‌های ایزوتوپی در چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش
۸۹	.....۷-۱-۴ تعیین مساحت حوضه آبریز در چشمه کارستی مورد مطالعه
۸۹	.....۲-۴ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه
۹۹	.....۳-۴ نمایش نموداری داده‌های هیدروشیمیایی
۹۹	.....۱-۳-۴ نمودار پایپر (Piper)
۱۰۱	.....۲-۳-۴ نمودار استیف (Stiff)
۱۰۲	.....۳-۳-۴ نمودار شولر (Schuler)
۱۰۴	.....۴-۴ ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها
۱۰۶	.....۵-۴ تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منابع آب موجود
۱۰۹	.....۶-۴ بررسی کیفیت نمونه‌های آب از نظر استفاده در کشاورزی (آبیاری)
۱۰۹	.....۱-۶-۴ شاخص شوری
۱۰۹	.....۲-۶-۴ طبقه بندی ویلکاکس (Wilcox)
۱۱۱	.....۷-۴ بررسی فرآیندهای غالب کنترل کننده‌ی ترکیب شیمیایی آب
۱۱۱	.....۱-۷-۴ نمودار گیبس
۱۱۲	.....۲-۷-۴ بررسی تکامل ژئوشیمیایی
۱۱۶	.....۳-۷-۴ شاخص اشباع
۱۱۸	.....۸-۴ محاسبه‌ی شاخص کیفی آب (WQI)
۱۱۹	.....۹-۴ آلودگی فلزات سنگین
۱۲۹	.....۱-۹-۴ تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره
۱۳۱	.....۱۰-۴ تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای نمونه‌های چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش
<b>۱۳۵</b>	<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها</b>
۱۳۶	.....۱-۵ بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه‌ی کارستی تاش
۱۳۶	.....۲-۵ نتایج حاصل از مطالعات هیدروژئوشیمی
۱۳۷	.....۳-۵ نتایج حاصل از مطالعات فلزات سنگین
۱۳۷	.....۴-۵ نتایج حاصل از مطالعات ایزوتوپی

## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ..... ۳
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه تاش برای دوره آماری ۷ ساله ..... ۵
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه برداری ..... ۷
- شکل ۱-۲- سیستم‌های جریان کارستی ..... ۲۸
- شکل ۲-۲- نمایش Meteoric Water Line و انحراف آن به وسیله تبخیر ..... ۵۲
- شکل ۳-۲- تفکیک آب‌های تغذیه کننده‌ی محلی از آب‌های زیرزمینی غیرمحلی با استفاده از  $\delta D$  و  $\delta^{18}O$  ..... ۵۴
- شکل ۴-۲- ترکیب ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر تبخیر ..... ۵۵
- شکل ۱-۳- نمونه برداری از چشمه‌های مورد مطالعه و اندازه گیری پارامتر های مختلف ..... ۶۴
- شکل ۲-۳- آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه در آزمایشگاه به روش تیتراسیون ..... ۶۵
- شکل ۳-۳- اندازه گیری سولفات نمونه‌ها و استفاده از دستگاه‌های کدورت سنج ..... ۶۶
- شکل ۴-۳- دستگاه اندازه گیری یون‌های سدیم و پتاسیم (نورسنج شعله‌ای) ..... ۶۷
- شکل ۵-۳- نمونه برداری از فلزات سنگین در منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۷۰
- شکل ۱-۴- نمایی از چشمه‌ی کارستی هفت رنگ تاش ..... ۷۷
- شکل ۲-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌ی مورد مطالعه ..... ۷۸
- شکل ۳-۴- هیدروگراف چشمه‌های هفت رنگ تاش برای سال آبی ۹۶-۹۷ ..... ۸۰
- شکل ۴-۴- رابطه بین EC و دبی در چشمه‌ی مورد مطالعه ..... ۸۱
- شکل ۵-۴- رابطه‌ی دبی و بارش در چشمه‌ی مورد مطالعه ..... ۸۲
- شکل ۶-۴- منحنی فرود چشمه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش ..... ۸۴
- شکل ۷-۴- تغییرات زمانی pH در چشمه‌ی مورد مطالعه ..... ۸۵
- شکل ۸-۴- تغییرات درجه حرارت در چشمه‌ی مورد مطالعه ..... ۸۶
- شکل ۹-۴- رابطه بین اکسیژن ۱۸ و دوتریم در چشمه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه خط آب جوی جهانی و محلی ..... ۸۸
- شکل ۱۰-۴- نمودار مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ درمقابل غلظت یون کلر در نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۸۹

- شکل ۴-۱۱- نقاط نمونه برداری به همراه مقادیر EC..... ۹۰
- شکل ۴-۱۲- محل نمونه برداری از چشمه‌های مورد مطالعه ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی EC نمونه‌های هفت‌رنگ تاش (بازه آماری دی ۹۶ تا مهر ۹۷)..... ۹۵
- شکل ۴-۱۴- متوسط تغییرات EC در دو فصل تر و خشک در نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۹۵
- شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی pH چشمه‌های هفت رنگ تاش (دور آماری ۷ ماهه)..... ۹۷
- شکل ۴-۱۶- مقادیر تغییرات دمایی منابع آب مورد مطالعه..... ۹۸
- شکل ۴-۱۷- متوسط مقادیر سختی کل در نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۸- دیاگرام پایپر مربوط به نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۹- نمودار استیف مربوط به چشمه‌های مورد مطالعه طی فروردین‌ماه ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۰- نمودار شولر در منابع آب مورد مطالعه ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۱- ارتباط EC با یون‌های موجود در منابع آب مورد مطالعه..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب مورد مطالعه ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۳- تعیین کیفیت آب برای کشاورزی به کمک دیاگرام ویلکاکس ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۴- نمودار گیبس مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۵- نمودار نسبت‌های یونی و تبادلات یونی در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۱۴
- شکل ۴-۲۶- نمودار شاخص اشباع نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۱۸
- شکل ۴-۲۷- مقادیر شاخص کیفی آب برای نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۲۸- مقادیر فلزات سنگین در نمونه چشمه‌های هفت رنگ تاش ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۲۹- مقادیر آلومینیوم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۰- مقادیر آرسنیک چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۳۱- مقادیر کادمیم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۳۲- مقادیر کبالت چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۴
- شکل ۴-۳۳- مقادیر کروم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۵

- شکل ۴-۳۴- مقادیر مس چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۳۵- مقادیر آهن چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۳۶- مقادیر منگنز چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۳۷- مقادیر نیکل چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۳۸- مقادیر سرب چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۳۹- مقادیر روی چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۹
- شکل ۴-۴۰- مؤلفه‌های استخراج شده برای منابع منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۴۱- خوشه‌بندی سلسله مراتبی منابع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۳۳

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و دما در یک دوره‌ی ۷ ساله در منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۴
- جدول ۲-۱- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۹) ..... ۴
- جدول ۱-۳- مقادیر وزن پارامترهای آب و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) ..... ۷۲
- جدول ۲-۳- WQI و رده‌بندی سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1998) ..... ۷۳
- جدول ۱-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در مظهر چشمه کارستی هفت‌رنگ (از دی ۱۳۹۶ تا مهرماه ۱۳۹۷) ..... ۷۷
- جدول ۲-۴- تغییرات زمانی دبی در چشمه‌های هفت رنگ منطقه‌ی تاش ..... ۷۹
- جدول ۳-۴- ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های آب چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش ..... ۸۷
- جدول ۴-۴- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌های هفت‌رنگ تاش (دور آماری ۷ ماهه) ..... ۹۲
- جدول ۵-۴- سایر پارامترهای محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه (بازه هفت ماهه) ..... ۹۳
- جدول ۶-۴- رده‌بندی آب زیرزمینی براساس سختی کل (Todd, 1980) ..... ۹۹
- جدول ۷-۴- رده‌بندی آب زیرزمینی براساس شوری و ارزیابی کیفیت آن در آبیاری (Mills, 2003) ..... ۱۰۹
- جدول ۸-۴- مقادیر شاخص اشباع نمونه‌های مورد بررسی ..... ۱۱۶
- جدول ۹-۴- مقادیر شاخص‌های کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های هفت‌رنگ تاش ..... ۱۱۹
- جدول ۱۰-۴- غلظت فلزات سنگین نمونه چشمه‌های مورد مطالعه (برحسب ppb) ..... ۱۲۰
- جدول ۱۱-۴- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای چشمه‌های هفت‌رنگ تاش ..... ۱۳۰
- جدول ۱۲-۴- درصد مقدار مؤلفه‌های منطقه در نمونه‌های هفت رنگ ..... ۱۳۱

## فصل اول: مقدمه

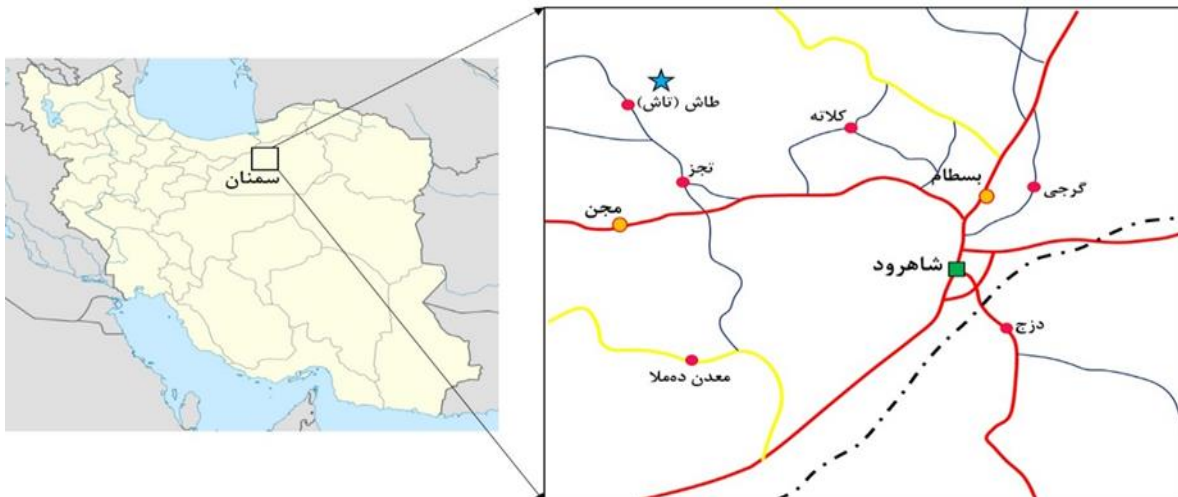
## ۱-۱- بیان مسأله و هدف انجام تحقیق

در سال‌های اخیر، منابع آب زیرزمینی به علت افزایش جمعیت، رشد صنعتی کشورها و کمبود منابع آب‌های سطحی، به منبعی بسیار مهم و با ارزش تبدیل شده است، به طوری که آب زیرزمینی، منبع اصلی تأمین آب بسیاری از شهرها و روستاها به شمار می‌رود. مطالعه‌ی منابع آب به این دلیل که سازندهای کربناته تقریباً ۲۰٪ از سطح کره‌ی زمین را می‌پوشانند و جمعیت قابل توجهی از جهان، آب مورد نیاز خود را از این طریق تأمین می‌کنند، دارای اهمیت فوق‌العاده زیادی است (Lamoreaux 1991). چشمه‌های کارستی، تنها محلی هستند که می‌توان با کمک مدل‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدروگراف جریان چشمه‌ها، اطلاعات کاملی از عملکرد کل سیستم کارست در یک ناحیه به دست آورد (Bakalowicz 2005). پاسخ هیدروژئوشیمیایی و هیدرودینامیکی در آبخوان‌های کارستی نیز به شرایط جریان در این آبخوان‌ها بستگی دارد. در منطقه‌ی تاش (شمال غرب شاهرود)، چندین چشمه با رنگ‌های مختلف وجود دارد. چشمه‌ی اصلی از آهک‌های اطراف منشأ گرفته و دارای دبی بیشتری می‌باشد اما چشمه‌های دیگر که رنگی هستند، دبی کم‌تری داشته و برخی از آن‌ها فصلی می‌باشند. از آن جایی که تاکنون مطالعه‌ی جامعی پیرامون این چشمه‌ها صورت نگرفته است از این رو هدف از انجام این تحقیق، مطالعه‌ی خصوصیات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های هفت‌رنگ تاش جهت تعیین حوضه‌ی آبرگیر و منشأ آن‌ها می‌باشد.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال استان سمنان و ۴۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود، در فاصله مختصاتی بین طول‌های ۴۱' ۵۴° تا ۴۸' ۵۴° طول شرقی و ۳۲' ۳۶° تا ۳۷' ۳۶° عرض شمالی در زون ساختاری البرز شرقی واقع شده است. راه دسترسی به این منطقه، از طریق جاده آسفالتی شاهرود- بسطام-مجن می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.





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

### ۱-۳- آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه

آب و هوای یک منطقه، نقش مؤثری در کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی ایفا می‌کند، از این رو تعیین نوع آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه جهت تشخیص نحوه‌ی تأثیر آن بر روی کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی ضرورت دارد. منطقه‌ی مورد بررسی در میان کوه‌های شاهوار محصور گردیده و آب و هوای آن در پاییز و زمستان بسیار سرد و در تابستان، معتدل است. اکثر نزولات جوی منطقه نیز به صورت بارش‌های برف می‌باشد. جهت تعیین وضعیت آب و هوا و اقلیم منطقه، از آمار ایستگاه هواشناسی و باران‌سنجی موجود در منطقه استفاده شد. بر این اساس، متوسط درجه حرارت و بارندگی سالیانه طی یک دوره آماری ۷ ساله (۱۳۹۶-۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱-۱) نشان داده شده است. براساس بررسی‌های حاصله، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شده و بیشینه‌ی دما مربوط به تیر ماه و کمینه‌ی دما مربوط به بهمن ماه می‌باشد. همچنین متوسط بارندگی سالانه ۳۰۷/۸ میلی‌متر بوده است که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بارندگی به ترتیب در ماه‌های اردیبهشت و مرداد رخ داده است.

جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و دما در یک دوره ۷ ساله در منطقه‌ی مورد مطالعه

ماه/ مشخصه آماری	متوسط بارندگی (میلی متر)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی گراد)
مهر	۱۶/۹	۱۴/۵
آبان	۱۹/۹	۷/۱
آذر	۲۲/۸	۰/۱
دی	۱۵/۲	۰/۶
بهمن	۴۰/۴	-۳/۲
اسفند	۴۱/۱	۲/۲
فروردین	۴۴/۸	۴/۵
اردیبهشت	۴۷/۸	۱۴/۹
خرداد	۲۷/۴	۱۶/۹
تیر	۹/۵	۲۵/۲
مرداد	۳/۳	۲۳/۵
شهریور	۱۷/۸	۲۰/۲
میانگین سالیانه	۳۰۷/۸	۱۰/۵

جهت تعیین وضعیت اقلیمی منطقه‌ی مورد بررسی از ضریب اقلیمی دمارتن و نمودار امبروترمیک استفاده گردید که نتایج آن در زیر ارائه شده است.

### ۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن

دمارتن (Demarton) با استفاده از متوسط بارندگی (P) و دمای سالیانه (T)، ضریب اقلیمی (I) را جهت تعیین نوع آب و هوای منطقه براساس رابطه‌ی (۱-۱) ارائه نموده است (علیزاده، ۱۳۸۹).

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

مقدار این ضریب برای اقلیم‌های متفاوت در جدول (۱-۲) آورده شده است.

با توجه به مقادیر برآورد شده‌ی متوسط بارندگی و متوسط درجه حرارت سالیانه، مقدار این ضریب در محدوده‌ی مطالعاتی برابر ۱۵/۰۱ بوده و طبق جدول ۱-۲، اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک می‌باشد.

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

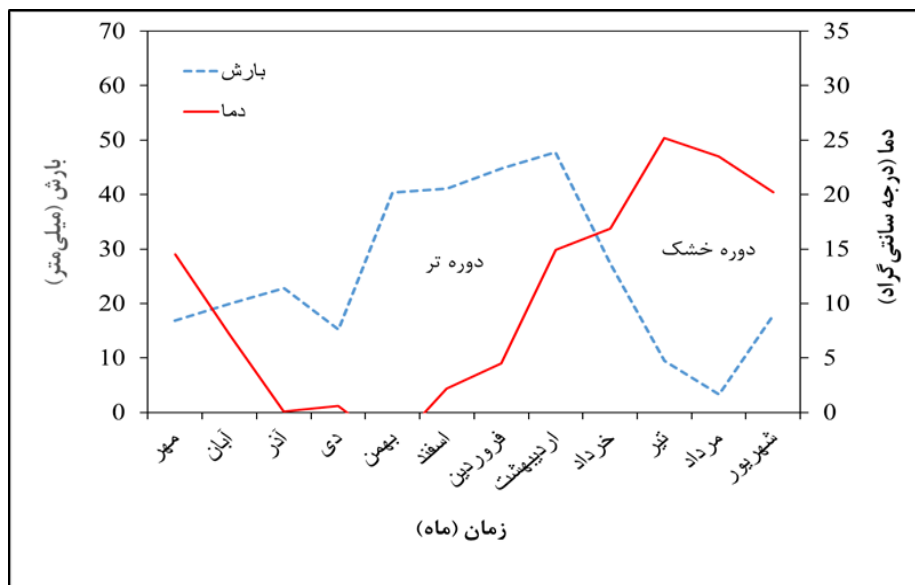
نام اقلیم	محدوده‌ی ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچک‌تر از ۱۰

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

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

### ۱-۳-۲- نمودار امبروترمیک

نمودار امبروترمیک (Embrothermic) منطقه، براساس تغییرات ماهانه‌ی دما و بارندگی ترسیم و در شکل ۱-۲ ارائه گردیده است. نقطه تلاقی دو منحنی میانگین بارندگی و میانگین دما در این نمودار، جداکننده‌ی دو فصل خشک و تر از یکدیگر می‌باشد. بر این اساس در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. با توجه به نمودار ترسیم شده در ماه‌های آبان تا اردیبهشت مقدار بارندگی نسبت به دما بیش‌تر بوده و دوره‌ی تر می‌باشد و سایر ماه‌های سال به عنوان دوره‌ی خشک مطرح می‌گردند.



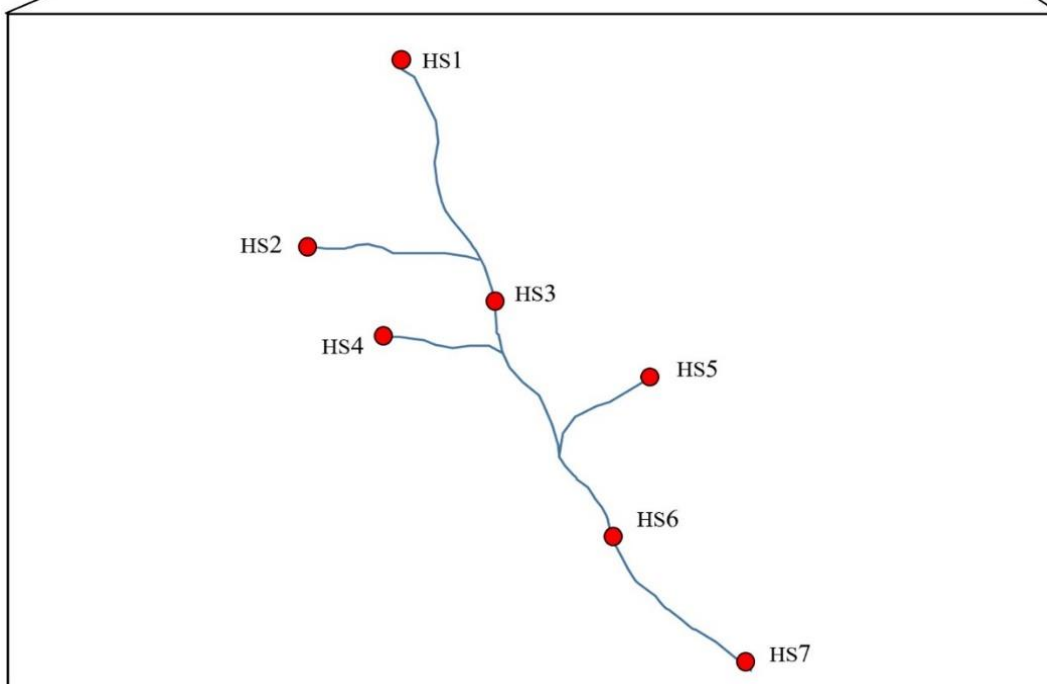
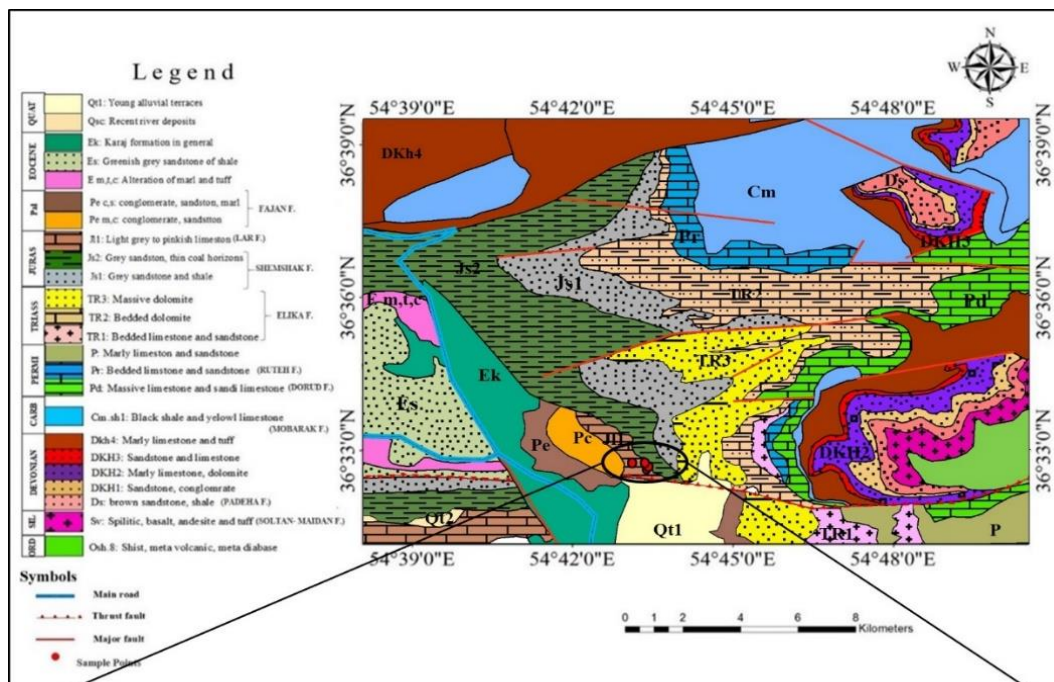
شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه‌ی تاش برای دوره آماری ۷ ساله.

#### ۱-۴- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

به طور کلی زمین‌شناسی یک منطقه، تأثیر بسزایی بر محیط زیست و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین نوع تغذیه و منشأ آب‌های زیرزمینی آن منطقه دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی البرز- آذربایجان و در دامنه‌ی کوه شاهوار قرار گرفته است. رشته کوه البرز با ساختاری کشیده و راستای کلی شرقی- غربی به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم می‌شود که در البرز شرقی روند عناصر ساختاری (گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها) به صورت شمال‌شرقی- جنوب‌غربی می‌باشد. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، واحدهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در منطقه‌ی تاش، محدوده‌ی سنی بین اردوویسین پسین تا ائوسن میانی را دربرمی‌گیرند که شرح مختصری از آن‌ها ارائه می‌گردد.

#### ۱-۵- چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

براساس اطلاعات چینه‌شناسی، سازندهای موجود در منطقه‌ی مورد بررسی از قدیم به جدید شامل: سازند بازالتی سلطان میدان، پادها، مبارک، دورود، روته، الیکا، شمشک، لار و فجن می‌باشد که به اطلاعات کلی آن‌ها در منطقه اشاره می‌شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ علی آباد).

### ۱-۵-۱- سازند بازالتی سلطان میدان

این مجموعه، نمایانگر مهم‌ترین، ستبرترین و حجیم‌ترین فعالیت ماگمایی پالئوزوئیک پیشین ایران می‌باشد. سنگ‌های دربرگیرنده‌ی این سازند، طیفی از سنگ‌های بازالتی تا آندزیتی بوده که در پلاتفرم دریایی فوران کرده است (جعفریان ۱۳۸۶). به لحاظ چینه‌شناسی سازند مذکور به صورت هم‌شیب بر

روی سازند ابرسج واقع گردیده و با ناپیوستگی فرسایشی توسط سازند پادها پوشیده شده است. این مجموعه‌ی بازالتی هم‌چنین شامل انباشتگی جریان‌های متعدد گدازه‌ای بازالتی، آگلومرا، توف و شیل می‌باشد (درخشی و همکاران ۱۳۹۱) و در پهنه‌ی البرز خاوری، شرق منطقه‌ی تاش و شمال روستاهای نگارمن، ابرسج و میغان رخنمون دارد.

#### ۱-۵-۲- سازند پادها

سازند پادها، اولین بار در کوه‌های درنجال شیرگشت معرفی گردیده و به طور وسیع در ایران مرکزی و البرز شرقی شناسایی شده است (حسینی نژاد و همکاران ۱۳۸۳). سن این سازند دونین زیرین بوده و شامل کوارتزیت‌های سفید و قرمز رنگ همراه با سیلتستون می‌باشد. اهری‌پور و همکاران (۲۰۱۰)، این سازند را به سه بخش تقسیم نموده‌اند. بخش اول، مرز ناپیوسته با بازالت سلطان میدان و حاوی قطعات آتشفشانی، بخش دوم شامل ماسه‌سنگ‌های کوارتزآرنایتی سفید رنگ و بخش سوم متشکل از سنگ‌های سیلیکاتی آواری با میان لایه‌های کربناتی می‌باشد. این سازند در منطقه‌ی نگارمن، روستای ابرسج و میغان برونزدگی داشته و به صورت هم‌شیب توسط ماسه‌سنگ‌های آواری قرمز رنگ سازند خوش بیلاق پوشیده شده است.

#### ۱-۵-۳- سازند خوش بیلاق

سازند خوش بیلاق، نخستین بار توسط بزرگ‌نیا (۱۹۷۳) در گردنه‌ی خوش بیلاق و با سنی معادل دونین میانی تا پسین معرفی گردید. این سازند در منطقه‌ی مورد مطالعه، یکی از بزرگ‌ترین و ضخیم‌ترین ردیف‌های دونین در البرز شرقی بوده که در ناحیه‌ی ابرسج، نگارمن، میغان و دامنه‌ی شرقی کوه شاهوار به وضوح رخنمون دارد.

#### ۱-۵-۴- سازند مبارک

سازند مبارک (با سن کربنیفر پیشین)، نخستین بار توسط (Aserto 1963) معرفی گردیده و مقطع اصلی آن در شمال دهکده‌ی مبارک‌آباد قرار دارد. لیتولوژی غالب آن شامل ماسه سنگ کوارتزیتی، شیل

خاکستری و سنگ آهک بوده و در منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت هم‌شیب بر روی آهک و مارن‌های واحد ۳ خوش بیلاق واقع شده است.

#### ۱-۵-۵- سازند دورود

سازند دورود نخستین بار در روستای دورود و توسط (Aserto 1963) مورد شناسایی قرار گرفت. لیتولوژی آن شامل ماسه‌سنگ قرمز رنگ، آهک روشن همراه با جلبک فوزولین‌دار و به سن پرمین زیرین می‌باشد. این سازند به صورت ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند مبارک واقع گردیده و یا به صورت هم‌شیب توسط سازند روته پوشیده شده است. در منطقه‌ی مورد بررسی می‌توان آن را در بخش جنوبی منطقه‌ی کانه‌زایی بوکسیت واقع در روستای تاش مشاهده نمود.

#### ۱-۵-۶- سازند روته

سازند روته، یکی از پرفسیل‌ترین واحدهای سنگی پرمین البرز-آذربایجان می‌باشد که نخستین بار در دره‌ی روته و توسط (Aserto 1963) با ضخامت ۲۳۰ متر معرفی گردید. این سازند در قسمت یال جنوبی تاقدیس تاش واقع گردیده و متشکل از سنگ آهک با میان لایه‌هایی از آهک شیلی در پایین، سنگ آهک پرفسیل همراه با آهک مارنی در میانه و تناوبی از آهک‌های آنکوئیدی ضخیم لایه به همراه آهک‌های مارنی در بالا می‌باشد. سازند روته با ناپیوستگی هم‌شیب بر روی سازند درود و زیر پاره سازند ۱ الیکا (حاوی ساخت ورمیکوله) قرار گرفته است. بررسی رخساره‌ای این سازند در البرز شرقی نشان می‌دهد که در یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هم‌شیب نهشته شده است. همچنین مطالعه‌ی مرجان‌ها، بازوپایان، جلبک‌ها و روزنه‌داران موجود در این سازند، سن آن را بخش زیرین پرمین بالایی دانسته‌اند (آقنباتی ۱۳۸۵).

#### ۱-۵-۷- سازند الیکا

سازند الیکا از سازندهای زمین‌شناسی ایران در البرز و با سن تریاس پیشین تا میانی می‌باشد که نخستین بار توسط (Glaus 1965) در سمت راست دره‌ی الیکا و در فاصله‌ی ۵ کیلومتری این روستا به ضخامت

۲۹۵ متر معرفی گردید. براساس نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، سازند مذکور حدود ۳۵۰ تا ۵۰۰ متر ضخامت دارد. این سازند عمدتاً از آهک‌های نازک لایه در بخش قاعده و آهک و آهک دولومیتی در بخش بالایی تشکیل شده است. لایه‌بندی نازک، رنگ متمایل به خاکستری روشن و فراوانی ساخت‌های کرم‌مانند از ویژگی‌های بخش پایینی سازند الیکا می‌باشد که شناسایی و تفکیک آن را از دولومیت‌های ضخیم لایه‌ی بخش بالایی فراهم می‌سازد. سازند مذکور در برش تاش از ۵ قسمت مجزا شامل افق بوکسیتی، آهک نازک لایه، آهک دولومیتی، آهک ضخیم لایه و دولومیت‌های توده‌ای تشکیل یافته است (ستوهیان ۱۳۸۷). سنگ‌های تریاس زیرین و میانی سازند الیکا در برش تاش یکی از کامل‌ترین برش‌ها در زون البرز شرقی می‌باشد. توالی‌های کربناته‌ی بخش زیرین و میانی سازند الیکا در برش تاش شباهت زیادی به دیگر برش‌های مطالعه شده در زون البرز به ویژه البرز مرکزی دارد (ستوهیان ۱۳۸۳). سازند مذکور در برش تاش با ناپیوستگی فرسایشی که با افق لاتریتی و بوکسیتی مشخص شده است بر روی سازند روته به سن پرمین میانی قرار می‌گیرد و مرز فوقانی این سازند که با ناپیوستگی فرسایشی مشخص شده است نیز توسط رسوبات رودخانه‌ای-دلتایی سازند شمشک پوشیده می‌شود. این سازند در منطقه‌ی مورد مطالعه بعد از سازند شمشک بیش‌ترین رخنمون را دارا می‌باشد

#### ۱-۵-۸- سازند شمشک

رسوبات ژوراسیک یکی از ضخیم‌ترین توالی‌های زمین‌شناسی را در شرق ایران تشکیل داده و در زون البرز تحت عنوان سازند شمشک شناخته می‌شوند (آقانباتی ۱۳۸۳). مقطع تیپ آن برای اولین بار توسط اسرتو (۱۹۶۳) در البرز مرکزی و بالادست دره‌ی روته معرفی و سن آن تریاس پیشین تا ژوراسیک تعیین گردید (آقانباتی ۱۳۷۷). این سازند با ضخامت بالای ۴۰۰۰ متر حاوی رسوبات سیلیسی تخریبی بوده که با وسعت زیاد در ایران و خصوصاً در کوه‌های البرز گسترش دارد و تا غرب ترکیه نیز توسعه یافته است. براساس نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، گروه شمشک به سه بخش تقسیم شده که از پایین به بالا به این صورت می‌باشد: الف- واحد ماسه‌سنگی و شیل قهوه‌ای تیره تا خاکستری رنگ، ب- واحد شیل خاکستری و تیره و سبز زیتونی با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و عدسی‌های زغال و ج- واحد شیل



مارنی که حاوی میان لایه‌هایی از ماسه سنگ، کنگلومرا و ماسه سنگ آهکی می‌باشند. در منطقه‌ی مورد بررسی از روستای تاش تا محدوده‌ی معدن بوکسیت بیش از همه این سازند رخنمون دارد.

#### ۱-۵-۹- سازند لار

سازند لار نخستین بار توسط اسرتو (۱۹۶۳) معرفی شده و سن آن نئوکومین تعیین گردیده است. لیتولوژی غالب آن، آهک نازک لایه تا توده‌ای حاوی ندول‌ها و نوارهای نازک لایه‌ی چرت می‌باشد. این سازند در غرب روستای تاش از گسترش زیادی برخوردار بوده و معادن سرب و روی مجن از آن استخراج می‌شود (محمودی نیا ۱۳۸۹).

#### ۱-۵-۱۰- ردیف‌های آهکی کرتاسه

شامل طبقات آهکی نازک لایه‌ی حاوی فسیل رودیست و اربیتولین می‌باشد که به صورت هم‌شیب و تدریجی روی طبقات آهکی لار و به صورت ناپیوسته در زیر سازند فجن قرار دارد (فردوست ۱۳۸۰).

#### ۱-۵-۱۱- سازند فجن

سازند فجن نخستین بار توسط دلنباخ (Dellenbach 1964) در شرق تهران معرفی گردیده و از نظر سنی معادل پالئوسن می‌باشد. این سازند در منطقه‌ی مورد مطالعه از قطعات سنگ‌های رسوبی آواری قرمز رنگ، عمدتاً کنگلومرا و ماسه سنگ و به سمت بالا ذرات دانه درشت و ضخیم لایه تشکیل گردیده است. براساس مطالعات صحرایی صورت گرفته می‌توان چنین گفت که روستای تاش، باغات و زمین‌های کشاورزی آن بر روی این سازند واقع شده است (بسطامی ۱۳۹۴).

#### ۱-۵-۱۲- سازند زیارت

این سازند که نخستین بار توسط دلنباخ (Dellenbach 1964) و در شرق تهران معرفی گردید، حاوی سنی معادل پالئوسن-اؤسن میانی می‌باشد. سازند زیارت به صورت پیوسته بر روی سازند فجن و در زیر سازند کرج قرار گرفته است.

## ۱-۵-۱۳- سازند کرج

سازند توفی کرج نخستین بار توسط ددوال (Dedwall 1967) معرفی گردیده و سن آن ائوسن میانی می‌باشد. با وجود تنوع سنگواره‌ای، تفسیر محیط رسوبی این سازند بسیار مشکل بوده و این باور وجود دارد که این سازند علیرغم ضخامت زیاد در یک دوره‌ی کوتاه مدت نهشته شده است. نحوه‌ی رخنمون این سازند در منطقه به صورت تپه ماهور می‌باشد که یکی از آن‌ها تاش بالا را از تاش پایین جدا کرده است.

## ۱-۶- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک

منطقه‌ی مورد مطالعه در قسمت شرقی پهنه‌ی البرز جای گرفته است. عناصر اصلی ساختاری موجود در این ناحیه شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های وابسته به گسلش می‌باشد. الگوی جابه‌جایی منطقه بر طبق مطالعات صحرایی صورت گرفته از نوع برشی-فشارشی بوده و به همین دلیل گسل‌های اصلی منطقه در بیش‌تر موارد شامل هر دو مؤلفه‌ی جابه‌جایی افقی و قائم هستند. روند ساخت‌های موجود در منطقه، شمال شرق-جنوب غرب و شرقی-غربی بوده و تقریباً از روند البرز شرقی پیروی می‌نماید. این منطقه به لحاظ تکتونیک بسیار خرد شده بوده و متأثر از عملکرد مستقیم گسلش در منطقه می‌باشد (بیاری ۱۳۹۴). در ادامه به بررسی مهم‌ترین عناصر ساختاری منطقه پرداخته می‌شود.

### ۱-۶-۱- گسل‌های موجود در منطقه

از مهم‌ترین گسل‌های موجود در محدوده‌ی مطالعاتی می‌توان به گسل‌های اصلی ابر، شاهکوه، سیاه‌مرزکوه و سیستم گسل‌های فرعی اشاره نمود که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۶-۱-۱- گسل ابر

گسل ابر (شاهوار)، مهم‌ترین ساخت صفحه‌ای منطقه و منطبق با توده‌ی ماگمایی نگارمن (سازند سلطان میدان) و شمال دشت بسطام می‌باشد. این گسل کواترنری با راستای کلی شمال شرقی- جنوب غربی و

شیب شمال غرب، طولی بیش تر از ۶۰ کیلومتر داشته و از سمت شمال و شمال شرق شاهرود می‌گذرد. این گسل در جنوب غربی نگارمن، لایه‌های پالئوزوئیک را با شیب به سمت شمال و دیواره‌ی گسله‌ی فرسوده بر روی دشت رانده است. (جاوید فخر و همکاران ۲۰۱۱)، گسل ابر را جزئی از سیستم گسل شاهرود دانسته و معتقدند که گسل‌های جاجرم، چشمه نیک و ابر در شرق با گسل شاهرود در ارتباط هستند. همچنین بر این باورند که این گسل باعث ایجاد مرز توپوگرافی مشخصی بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری شده است.

#### ۱-۶-۱-۲- گسل شاهکوه

گسلی فشاری با طول بیش از ۱۱۵ کیلومتر و راستای شمال شرقی-جنوب غربی است که با شیبی به سمت شمال شرق، از شمال و شمال غرب شهرستان شاهرود می‌گذرد. در راستای این گسل، سازندهای پالئوزوئیک (شمال غربی) بر روی سازندهای مزوزوئیک (جنوب شرقی) رانده شده‌اند.

#### ۱-۶-۱-۳- گسل سیاه مرز کوه

براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی علی‌آباد ملاحظه می‌شود که این گسل یکی از مهم‌ترین گسل‌های موجود در منطقه می‌باشد که با راستای شمال شرق-جنوب غرب در قسمت شمالی کانسار بوکسیت واقع در روستای تاش و با فاصله‌ی تقریبی ۱۰ کیلومتر قرار گرفته است.

#### ۱-۶-۲- چین خوردگی‌ها

چین خوردگی‌ها، از جمله عناصر ساختاری موجود در منطقه می‌باشند که در پاسخ به عملکرد تنش حاصله از حرکت صفحات و در محدوده‌ی زمانی وقوع فازهای کوهزایی ایجاد شده‌اند. مهم‌ترین فازهای کوهزایی مؤثر بر شکل‌گیری چین خوردگی‌های البرز، فاز کوهزایی سیمیرین و آلیپی بوده که بر لایه‌های رسوبی سازندهای پالئوزوئیک و سنوزوئیک تأثیر نهاده و آن‌ها را دچار چین خوردگی کرده است. همچنین از مهم‌ترین چین خوردگی‌های موجود در نقشه‌ی علی‌آباد می‌توان به تاقدیس نگارمن، تاقدیس چل چلی، تاقدیس افراخت، ناودیس شیرین‌آباد، تاقدیس نیله‌ته و سفید بند اشاره نمود که حاوی روند شمال

شرق- جنوب غرب می‌باشند. در کنار چین‌های اصلی منطقه، چین‌هایی در مقیاس کوچک و به وفور یافت می‌گردند. یکی از مهم‌ترین آن‌ها، تاقدیس تاش است که در زیر به شرح آن پرداخته می‌شود.

#### ۱-۶-۲-۱- تاقدیس تاش

این ساختار در نقشه‌ی زمین‌شناسی علی‌آباد، تحت عنوان تاقدیس پلانژدار معرفی گردیده و در دامنه‌ی شمالی کوه شاهوار و بخش شرقی روستای تاش واقع شده است. از جمله ساختاری اصلی منطقه با روند شمال شرقی-جنوب غربی با طول ۵ کیلومتر و بیشینه‌ی ارتفاع ۱۵۰۰ متر می‌باشد. هسته‌ی این تاقدیس در سازند مبارک بوده و یال‌های آن از پایین به بالا توسط سازند روته و الیکا تشکیل شده است. عملکرد فرسایش سبب از بین رفتن قسمت مرکزی تاقدیس شده و شکل ناودیس‌گونه‌ای به آن داده است. طبق مطالعات صحرائی، شیب لایه‌های یال شمالی به سمت جنوب غرب و شیب لایه‌های جنوبی به سمت شمال شرق می‌باشد. یال شمالی این تاقدیس، توسط گسل امتدادلغز دچار دگرریختی شده است. در دره‌ی جابان، محور تاقدیس  $N75^{\circ}E$  می‌باشد و به سمت غرب پلانژ دارد. گسل‌خوردگی در بخش انتهایی چین باعث جابه‌جایی قسمتی از آن نیز شده است. هر دو یال چین، پتانسیل بوکسیت‌زایی را داشته و بنابراین در یال شمالی این تاقدیس، کانسار بوکسیت تاش واقع گردیده است (بسطامی ۱۳۹۴).

#### ۱-۷-۱- فازهای کوهزایی در منطقه مورد مطالعه

##### ۱-۷-۱-۱- فاز کوهزایی کالدونین

شرایط زمین‌ساختی ایران در پالئوزوئیک به نسبت آرام و بیش‌تر از نوع خشکی‌زا بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). وجود پی‌سنگ دگرگونی و سخت‌شده‌ی آفریقا-عربستان، در زیر سکوی ایران و همچنین دوری از پهنه‌های کوهزایی کالدونین و هرسی‌نین از جمله عوامل مؤثر بر کاهش تأثیر نیروهای زمین‌ساختی و آرامش نسبی پالئوزوئیک ایران می‌باشد. رخداد کالدونین، از اواخر کالدونین آغاز گشته و تا زمان سیلورین و احتمالاً تا دونین میانی ادامه یافته است. مهم‌ترین شاهد این فاز کوهزایی، ماگماتیسم

اردوویسین میانی تا سیلورین می باشد که تحت عنوان سازند سلطان میدان معرفی گردیده و اعتقاد بر این است که نشانه‌ای از کافت‌زایی اقیانوس پالئوتتیس است (درخشی و همکاران ۱۳۹۱). موقعیت جغرافیایی این سازند، در ۸ کیلومتری جنوب شرق روستای تاش قرار دارد.

### ۱-۷-۲- فاز کوهزایی سیمرین

در همه جای ایران، گذر از پالئوزوئیک به مزوزوئیک با آرامش نسبی زمین‌ساختی برقرار بوده است. در زمان مزوزوئیک، سه رخداد زمین‌ساختی مهم بر زمین‌شناسی ایران اثرگذار بوده‌اند که با چرخه‌های کوهزایی "سیمرین" از آلپ آغازی در ناحیه‌ی تتیس هم‌ارز هستند. نخستین رویداد به سن تریاس پسین بوده که با فاز سیمرین پیشین قابل مقایسه است. رویداد دوم، به سن ژوراسیک میانی می‌باشد که به نام سیمرین میانی نامگذاری شده است. اثرات رویداد سوم را در مرز ژوراسیک-کرتاسه و به مفهوم دقیق‌تر در ابتدای کرتاسه‌ی پیشین (پیش از بارمین) می‌توان دید که قابل قیاس با سیمرین پسین است (آقاناتی ۱۳۸۳). در منطقه‌ی تاش، اثرات رویداد اول (سیمرین پیشین) به خوبی مشهود می‌باشد.

### ۱-۸- ژئومورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه

طبق تقسیم‌بندی‌های ژئومورفولوژیکی، مناطق با اختلاف ارتفاع کم‌تر از ۵۰ متر تحت عنوان دشت، مناطق با ارتفاع بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر تپه ماهور و مناطق با اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر، منطقه‌ی کوهستانی نامگذاری می‌شوند. شیب مناطق کوهستانی عموماً بیش‌تر از ۲۵ درصد، در مناطق تپه ماهور بین ۸ تا ۲۵ درصد و در دشت‌ها کم‌تر از ۸ درصد می‌باشد. از دیدگاه مورفولوژیکی، منطقه‌ی مورد بررسی در میان ارتفاعات شاهوار در جنوب، کوه یزدکی در شمال، کوه پیرمیشی در مغرب و کوه شترپا در شرق واقع گردیده و از این رو منطقه‌ای کوهستانی محسوب می‌گردد. عوارض زمین‌ریخت‌شناسی ناحیه به‌گونه‌ای فراگیر توسط عناصر ساختمانی کنترل می‌شود و بلندترین نقطه‌ی آن در ناحیه‌ی قله‌ی شاهوار با ارتفاع ۳۹۴۵ متر از سطح دریا جای دارد. ارتفاع روستای تاش نیز ۲۲۲۰ متر بوده و روند

عناصر زمین‌ساختی آن از روند غالب البرز (شرقی - غربی) پیروی می‌نمایند. دره‌های جوان منطقه نیز عموماً V شکل بوده و از امتداد گسل‌ها تبعیت می‌کنند.

#### ۹-۱- هیدرولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه

به طور کلی در مناطق کارستی، مقدار زیادی از نزولات جوی بسته به شرایط هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، زمین‌ریخت‌شناسی و تکامل کارستی به درون زمین نفوذ می‌کنند و از این رو رواناب کمتری نسبت به مناطق غیر کارستی ایجاد می‌گردد. رودخانه‌ی دائمی تاش و رودخانه‌های فصلی مانند سنگ‌سله در فصل بهار همراه با آب شدن برف‌ها مقادیر زیادی از مواد و سنگ و خاک‌های منطقه را جابجا نموده و به خارج از منطقه منتقل می‌نمایند. مسیر رودخانه‌ها نیز اکثراً مناطق گسلی یا در راستای گسل‌های موجود در منطقه می‌باشد.

## فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

## ۲-۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی، از منابع مهم تأمین آب شیرین، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌باشد. در دهه‌های اخیر، افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف، کاهش جدی این منابع را در بخش‌های مختلف جهان به همراه داشته است (Klove et al. 2013). این امر عمدتاً ناشی از رشد جمعیت به ویژه در شهرهای بزرگ، تغییر شرایط اقلیمی، کاربری جدید اراضی (کشاورزی و صنعتی) و افزایش تقاضا برای تأمین آب می‌باشد. کاهش کمی منابع آب زیرزمینی، آلودگی فزاینده‌ی آب و کاهش قابلیت شرب آن‌ها را نیز به همراه دارد (Ravikumar et al. 2010). کیفیت آب، حاصل شرایط طبیعی فیزیکی و شیمیایی آب و همچنین تغییراتی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در جو، تا زمان ظاهر شدن در سطح زمین، بر روی آن عمل کرده است. از آنجایی که سنگ‌های مناطق کارستی حاوی نفوذپذیری بالایی می‌باشند، در این مناطق، آبخوان‌هایی با کمیت و کیفیت نسبتاً خوبی شکل می‌گیرد که حفاظت کمی و کیفی از این آبخوان‌ها بسیار حائز اهمیت است. یکی از اقدامات اولیه و مهم در این زمینه، پیشگیری از آلودگی بوده که مستلزم شناخت وضعیت هیدروژئوشیمیایی منطقه می‌باشد. ترکیب هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی و نیز غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در آن به عوامل طبیعی از قبیل سنگ‌شناسی آبخوان، زمان ماندگاری، تماس آب با بستر سنگی، ترکیب بارش، ویژگی‌های خاک، نوع پوشش حوضه، فرآیندهای ژئوشیمیایی و شرایط اکسایش-کاهش و نیز آلودگی‌های انسان‌زاد نظیر معدنکاری، کشاورزی و ورود فاضلاب‌های خانگی و صنعتی بستگی دارد.

## ۲-۲- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی

منابع آب کارستی، از جمله منابع بسیار با ارزشی هستند که به دلیل داشتن کیفیت مطلوب در تأمین آب مورد نیاز جهت مصارف شرب، مورد توجه بسیار بوده است. حدود ۲۵٪ از منابع آب‌های زیرزمینی جهان در تشکیلات کارست ذخیره شده و به عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده‌ی نیازهای آبی بر



روی کره‌ی زمین شناخته شده‌اند (Ford and Williams 2007). در ایران نیز حدود ۱۱٪ از وسعت کشور و حدود ۹۰٪ از ارتفاعات زاگرس، از سازندهای کارستی تشکیل شده است (افراسیابیان، ۱۳۷۷). آبخوان‌های کارستی در مقایسه با دیگر آبخوان‌ها، شرایط مساعدی را برای تغذیه از خود نشان می‌دهند (Simsek et al. 2008). با این وجود، بررسی‌های هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها به دلیل توزیع نفوذپذیری و بار هیدرولیکی بسیار ناهمگن همراه با تنوع مکانی و موقتی در تغذیه، بسیار دشوار است (Bayari, 2008, Nur Ozyurt & Serdar Einsiedl, 2005, Bonanacci, 1993). در این رابطه چشمه‌های کارستی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را در مورد فرآیندهای هیدروژئولوژیکی و ساختار درونی آبخوان‌ها، به ویژه در رابطه با سیستم‌های با جریان پیچیده‌ی آب زیرزمینی که در آن‌ها اندازه‌گیری نقطه‌ای از چاه‌ها ممکن نیست، در اختیار بگذارند و منعکس‌کننده‌ی فرآیندهایی باشند که در یک مقیاس بزرگ اتفاق می‌افتد (Manga 2001). بنابراین در بیشتر موارد می‌توان با استفاده از داده‌های سری زمانی تخلیه‌ی چشمه‌ها و منحنی‌های فروکش آن‌ها، با هزینه‌ای بسیار کم، در رابطه با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهارنظر نمود و نوع جریان (افشان یا مجرای)، سهم هر نوع جریان، نوع و حجم آب ورودی، رژیم تغذیه (بارانی یا برفی) و حتی روند تغذیه‌ی یک چشمه‌ی کارستی را تعیین نمود. تاکنون مطالعات بسیاری پیرامون بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی در چشمه‌های کارستی صورت گرفته است. قدیمی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی اشترانکوه پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که تیپ و رخساره‌ی چشمه‌های مورد مطالعه از نوع بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص اشباع در چشمه‌های منطقه حاکی از این بود که این منابع نسبت به کلسیت اشباع بوده ولی نسبت به دولومیت تحت اشباع هستند. همچنین نتایج تحلیل عاملی نشان داد که مهم‌ترین عامل را می‌توان به انحلال کربنات و سپس به منیزیم و هدایت الکتریکی نسبت داد. از نظر سختی نیز، آب این چشمه‌ها در رده‌ی نسبتاً سخت و سخت قرار می‌گیرد. توکلی و همکاران (۱۳۹۶) ضمن ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی غرب مجن نتیجه گرفتند که تیپ و رخساره‌ی آب در کلیه‌ی منابع مورد بررسی از نوع

بی‌کربنات کلسیک بوده و سختی موقتی را دارا می‌باشند. همچنین بررسی نمودار شولر نشان داد که کلیه‌ی نمونه‌ها از نظر منشأ یکسان بوده و کیفیت مناسبی جهت شرب را دارا هستند. میرحسینی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی کلاله در استان گلستان پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها حاکی از آن است که همه‌ی چشمه‌ها تقریباً دارای منشأ یکسان و تیپ غالب بیکربناته-کلسیک می‌باشند. فرآیند تبادل یونی مستقیم نیز علاوه بر پدیده انحلال در منطقه تا حدودی رخ داده است. همچنین تمامی چشمه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع ولی نسبت به ژپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، ضمن بررسی کیفی چشمه‌های کارستی کرمانشاه با استفاده از مدل‌های آماری و هیدروشیمیایی دریافتند که تیپ و رخساره‌ی آهک‌های بیستون و پل ذهاب در منطقه، از نوع بی‌کربنات بوده این در حالی است که برای چشمه‌های سراب گرم و قره بلاغ از نوع بی‌کربنات کلسیک تعیین گردید. اکبری و همکاران (۱۳۹۸)، به ارزیابی هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی شهرستان نورآباد در استان لرستان پرداختند. با بررسی نتایج حاصل از بررسی نمودارهای پایپر و استیف، تیپ آب از نوع بی‌کربناته و رخساره‌ی آن از نوع کلسیک تعیین گردید. براساس فرآیندهای تبادل یونی و نمودار گیبس در چشمه‌های مورد مطالعه، مهم‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت آب چشمه‌ها، نزولات جوی و بارش بوده است. همچنین کیفیت آب ضمن بررسی ویلکاکس از نظر کشاورزی مناسب است. در ادامه به مرور مطالعاتی پیرامون کارست و اهمیت آن، چشمه‌های کارستی و طبقه‌بندی آن‌ها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی، ارتباط تکتونیک با کارست، تغذیه در کارست، بررسی حوضه‌ی آبگیر در چشمه‌های کارستی و هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارستی پرداخته شده است.

## ۲-۱-۲- تعریف و اهمیت کارست

کارست عبارت از گستره‌ای با هیدرولوژی و مورفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی بزرگ است که از انحلال سنگ‌های کربناته، با قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی ایجاد می‌شود (Karami 2002).

نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه می‌یابند همچنین در روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند (سنگ گچ و نمک) نیز ممکن است ایجاد شوند (کرمی ۱۳۸۸). منابع آب با منشأ کارستی یکی از مهم‌ترین منابع آبی کشور محسوب می‌گردد. پدیده‌های کارستی در بخش‌های مختلف به ویژه در زاگرس، البرز و به صورت محدود در نواحی مرکزی ایران، شرایط مناسبی را در شکل‌گیری مخازن آب زیرزمینی فراهم نموده که در تأمین آب مورد نیاز برای کشاورزی، صنعت و خصوصاً آب شرب، نقش برجسته‌ای دارد. علاوه بر این آب‌های زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی در حال حاضر آب مورد نیاز یک چهارم از کل جهان را نیز تأمین می‌کند (Ford and Williams 2007). همچنین عواملی نظیر مدت زمان تماس سنگ‌ها با آب و هوا، نوع آب و هوا، میزان پوشش گیاهی و میزان گازکربنیک با منشأ زیستی در توسعه و گسترش اشکال کارستی موجود در حوضه نقش بسزایی داشته است.

## ۲-۲-۲- چشمه‌های کارستی

چشمه‌های کارستی در واقع محل تخلیه‌ی طبیعی آبخوان‌های کارستی هستند که بهره‌برداری از آن‌ها در مقایسه با استحصال آب از طریق حفاری و پمپاژ به مراتب آسان‌تر و کم هزینه‌تر است. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده از این رو تجزیه و تحلیل، تغییرات و نحوه‌ی فروکش دبی و همچنین غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس‌کننده‌ی خصوصیات کل سیستم باشد (Bogli 1980). از خصوصیات مهم پهنه‌های کارستی می‌توان به چشمه‌های موقت و دائم اشاره نمود که در نتیجه‌ی عمل مستقیم فرآیندهای ایجادکننده‌ی کارست ایجاد گردیده‌اند. اکثر چشمه‌های مهم کارستی در امتداد سطح اساس فرسایش یعنی در مرز محیطی پلایه‌های کارستی، دره‌های رودخانه و ساحل دریا واقع شده‌اند که مشخصه‌ی مشترک این چشمه‌ها اعم از دائم یا موقت، وابستگی مستقیم بین بارش و جریان خروجی آن‌ها است (Milanovic 1981). به علاوه

ظرفیت و مشخصه‌ی هیدرولوژیکی چشمه‌های کارستی به عواملی نظیر سطح حوضه‌ی آبریز، ظرفیت تأخیری آبخوان، تخلخل مؤثر و نیز ترکیب زمین‌شناسی وابسته می‌باشد. یکی از ویژگی‌های چشمه‌های کارستی، تغییر ناگهانی کیفیت آب آن‌ها پس از وقوع بارندگی بوده که البته این تغییرات در دامنه‌ی محدودی صورت می‌گیرد (Ryan and Meiman 1996).

### ۳-۲-۲- طبقه‌بندی چشمه‌های کارستی

از آنجایی که عوامل ایجادکننده‌ی چشمه‌ها بسیار متنوع است، بنابراین طبقه‌بندی آن‌ها نیز متنوع بوده و براساس ویژگی‌های متفاوتی نظیر شرایط زمین‌شناسی و ساختاری، خصوصیات آبخوان، میزان آبدهی، دائمی یا موقتی بودن، کیفیت شیمیایی آب، منشأ آب و ... طبقه‌بندی می‌گردند (Chow 1988). در ادامه چهار مورد از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌های صورت گرفته شرح داده شده است.

### ۳-۲-۱- طبقه‌بندی چشمه‌ها براساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی

فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007) چشمه‌های کارستی را براساس خصوصیات هیدرولوژیکی به سه گروه به شرح زیر تقسیم نموده‌اند:

الف- چشمه‌های آزاد (Free Springs): در این نوع چشمه‌ها، آب در جهت شیب به داخل دره تخلیه می‌گردد و سیستم کارستی کاملاً و یا به طور عمده از نوع کارست کم عمق است.

ب- چشمه‌های سدی (Dammed Springs): این نوع چشمه‌ها در نتیجه‌ی قرارگرفتن یک مانع در مسیر زهکشی آب زیرزمینی به وجود می‌آیند.

ج- چشمه‌های محبوس (Confined Springs): شرایط آرتزین در سنگ‌های کارستی که توسط یک سازند غیرقابل نفوذ محدود می‌شوند، عامل ایجاد این نوع چشمه‌ها می‌باشد.

## ۲-۳-۲-۲- طبقه‌بندی چشمه‌ها براساس هیدروگراف جریان خروجی

بوگلی (Bogli 1980) چشمه‌ها را براساس هیدروگراف جریان خروجی به چهار گروه چشمه‌های دائمی (Prennial Springs)، چشمه‌های فصلی (Priodic Springs)، چشمه‌های متناوب (Rhythmic Springs) و چشمه‌های اتفاقی تقسیم نموده است.

## ۳-۳-۲-۲- طبقه‌بندی چشمه‌ها بر اساس شرایط زمین‌شناسی و ساختاری

بوگلی (Bogli 1980) براساس شرایط زمین‌شناسی و ساختاری، چشمه‌ها را به چهار گروه چشمه‌های لایه‌ای (Bedding Springs)، چشمه‌های خروجی از شکستگی‌ها (Springs emerging from fractures)، انواع چشمه‌های سرریزی (Overflow types of Springs) و چشمه‌های صعودی (Ascending Springs) تقسیم نموده است.

## ۴-۳-۲-۲- طبقه‌بندی چشمه‌ها براساس منشأ آب

براساس منشأ آب، بوگلی (Bogli 1980) چشمه‌ها را به سه گروه تقسیم نموده است:

الف- چشمه‌های Emergence: در این حالت منشأ آب مشخص نیست.

ب- چشمه‌های Resurgence: چشمه، خروجی مجدد یک رودخانه گم شده می‌باشد.

ج- چشمه‌های Exsurgence: نشت آب‌های کارستی را نشان می‌دهد.

## ۴-۲-۲- نفوذ در کارست

بوردن و پاپاکیس (Burdon and Papakis 1963) در بررسی تغذیه‌ی پوشش‌های آهکی، نفوذ را به دو دسته تقسیم نمودند:

الف- نفوذ اولیه (Primary infiltration) نفوذ مستقیم بارندگی در آهک می‌باشد و ب- نفوذ ثانویه (Secondary infiltration) بخشی از آب‌های جاری که پس از حرکت از سطح زمین و عبور از لایه‌های نفوذناپذیر در مسیر خود به آهک‌ها برخورد می‌کند. آن‌ها بیان نمودند که میزان نفوذ در آهک‌ها (mm/h) ۵-۱۰ بوده بنابراین جز در شرایط غیرمعمولی، مقدار نفوذ بیش از بارندگی است. بوگلی (Bogli 1980) بیان نمود که یکی از منابع آب در سفره‌های کارستی، نفوذ از بستر رودخانه‌هایی می‌باشد که از آهک عبور می‌نمایند. تغذیه سفره‌های کارستی توسط مؤلفین مختلف به دو دسته به شرح زیر تقسیم گردیده‌اند: الف- تغذیه‌ی برجا (Autogenic recharge) که از نفوذ مستقیم بارش در زمین‌های کارستی و از طریق فروچاله‌ها، چاه‌های عمودی و شکستگی‌های باز صورت می‌گیرد. ب- تغذیه‌ی نابرجا (Allogenic recharge) مربوط به جریان‌هایی است که از سنگ‌های غیر کارستی وارد حوضه‌ی کارستی می‌شوند (White 1988, Ford and Williams 1986). درفلگیر و همکاران (Dorfliger et al. 2004) اظهار داشته‌اند که فرآیند تغذیه در سیستم‌های کارستی به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. الف- آب باران از طریق محورهای زهکشی اصلی در هنگام بارندگی شدید، سریعاً در مجرای خروجی چشمه‌ها جریان می‌یابد. ب- آبی که به طور موقت در بخش اپی کارست ذخیره شده و بعد از وقوع بارندگی سریعاً وارد چاه‌ها و مجاری (متصل به شبکه‌ی زهکشی سیل) می‌گردد.

## ۲-۲-۵- ارتباط تکتونیک با کارست

عوامل تکتونیکی، از مهم‌ترین عوامل تشکیل کارست در سازندهای آهکی و تغییر آن در طول زمان می‌باشند. پدیده‌های ساختاری نظیر گسل‌ها، درزه‌ها، چین‌خوردگی‌ها، امتداد و شیب سطوح لایه‌بندی هرکدام به نوعی در ایجاد و توسعه‌ی کارست مؤثر بوده و بنابراین اولین قدم در شناخت منابع آب کارست، شناخت رابطه‌ی کارستی شدن و سیستم ساختاری یک منطقه می‌باشد (Milanovic 1981). فروچاله‌ها یکی از مهم‌ترین اشکال مورفولوژی در نواحی کارستی است. شکل و محل تشکیل این اشکال

در بیش تر موارد به وسیله‌ی تکتونیک تعیین می‌گردد، از این رو معمولاً در طول گسل‌های شناخته شده یافت می‌گردند. فروچاله‌ها اغلب در نزدیکی گسل‌ها، تشکیل یافته و محور طویل آن‌ها معمولاً در جهت شکستگی‌های اصلی تکتونیک منطقه می‌باشد (Milanovic 1981). این عوامل تأثیر بسزایی بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی دارد زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آهک آغاز می‌گردد. این تأثیر به طور مستقیم توسط شرایط جریان آب اعمال گردیده که به توزیع منافذ بستگی داشته و خود به وسیله‌ی تکتونیک، درون سنگ آهک به وجود آمده است. گونی (Gunay 2006)، ضمن مطالعه بر روی چشمه‌ی کارستی ساکاریاباسی در منطقه‌ی ترکیه و با استفاده از ابزارهای هیدروژئولوژی، داده‌های شیمیایی و ایزوتوپی به تعیین ارتباط هیدروژئولوژیکی بین مناطق تغذیه و تخلیه‌ی چشمه‌ها پرداخت. نتایج مطالعات وی نشان داد که در تشکیل این چشمه‌ها، عامل تکتونیک نقش اساسی داشته و باعث ایجاد یک توپوگرافی ملایم در منطقه شده است.

گولدشاید و همکاران (Goldsheider and Neukum 2010)، با مطالعه‌ی آبخوان‌های کارستی ونترستادن (Winterstaudewn) اتریش دریافتند که ناودیس‌های پلانژدار، اصلی‌ترین مجاری آبگذری زیرزمینی را ایجاد کرده است. زمانی که سطح اساس آبخوان کارستی بالاتر از سطح اساس سنگ کف باشد، جریان آب زیرزمینی از شیب لایه‌ها به سمت خط‌القعر ناودیس پلانژدار بوده و تاقدیس‌ها به عنوان مرز محلی تقسیم آب عمل می‌نمایند. زابیدی و فریتاس (Zabidi and Freitas 2006)، با بررسی‌های ساختاری در سنگ آهک کوالامپور به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی و شکستگی‌ها اظهار داشتند که هر جا تعداد شکستگی‌ها و ارتباط بین آن‌ها در مناطق کارستی زیاد باشد، احتمال زهکشی نیز بیش‌تر بوده و بیش‌ترین هجوم آب در شکستگی‌ها را خواهیم داشت. شگری و همکاران (۱۳۷۴)، با استفاده از داده‌های آبدی چشمه و پارامترهای فیزیکوشیمیایی به ارزیابی تأثیر تکتونیک و چینه‌شناسی در جهت‌یابی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که عملکرد گسل‌ها در منطقه باعث شده که این چشمه به عنوان سطح اساس فرسایش رخنمون‌های آهکی عمل کرده و آب به سمت چشمه حرکت نماید. احمدی پور (Ahmadi pour 1999) در بررسی

هیدروژنولوژیکی حوضه الشتر در غرب ایران دریافت که جریان آب زیرزمینی در این حوضه تحت تأثیر ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه بوده و محل خروج چشمه‌های کارستی منطقه در محل تقاطع و برخورد خطواره‌های موجود واقع شده است.

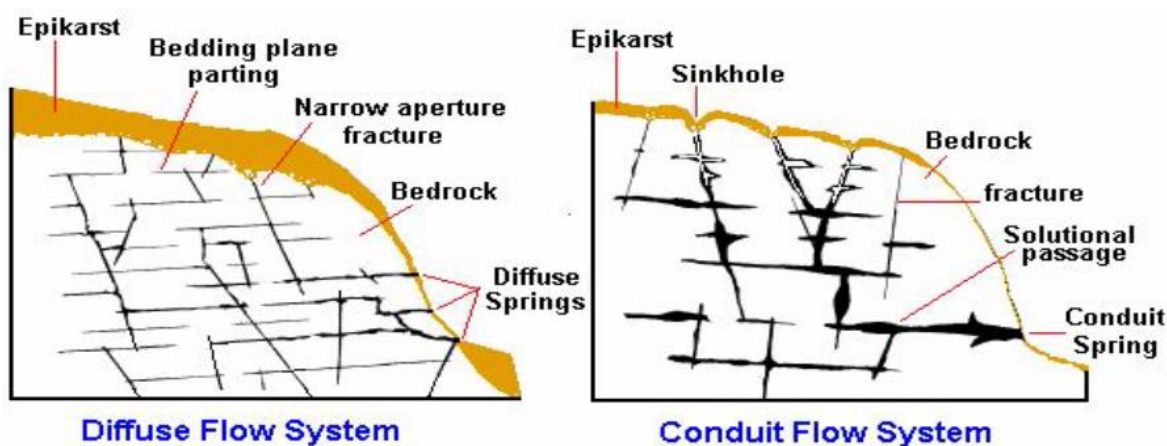
## ۲-۲-۶- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی

یکی از مهم‌ترین مطالعات در سفره‌های کارستی، بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و روند تغییرات آن‌ها می‌باشد که با استفاده از آن‌ها می‌توان نوع سیستم جریان را مشخص نمود. برای بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی جریان آب زیرزمینی از یکسری اطلاعات جامع در مورد شیمی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌گردد که این اطلاعات خود به عوامل مختلفی از قبیل زمین‌شناسی محل، میزان و نوع هوازدگی سنگ‌ها، کیفیت آب تغذیه‌ای به داخل سفره و همچنین واکنش‌های هیدروژنوشیمیایی وابسته است (Coetsiers and Walraevens 2006). بررسی خواص هیدروژنولوژیکی سفره‌های کارستی به دلیل ناهمگنی زیاد سفره‌ها مشکل است (Mohammadi and Field 2009, Mohammadi and Raeisi 2007). از این رو یکی از روش‌های رایج و کم‌هزینه جهت مطالعه‌ی سفره‌های کارستی، بررسی تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی است (Raeisi et al. 2006). با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این چشمه‌ها می‌توان به برخی از خصوصیات مسیر حرکت آب و نوع سیستم جریان غالب پی برد. در چهار دهه‌ی گذشته به منظور شناخت رفتار هیدروژنولوژیکی لایه‌های آبدار کارستی در مناطق متفاوت، مطالعات متعددی در زمینه‌ی بررسی تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در مناطق کارستی صورت گرفته است (نوری ۱۳۸۹). از اولین مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای زولت (Zolt 1960)، گارلز و کریست (Garrels and Christ 1965)، گامز (Gams 1966) و پیتی (Pitty 1966, 1968) اشاره نمود. گارلز و کریست (Garrels and Christ 1965)، جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های کربناته را به دو سیستم باز و بسته طبقه‌بندی کردند. به این علت که در سیستم باز، هیچ



محدودیتی در میزان کربن دی‌اکسید موردنیاز برای انحلال کربنات کلسیم وجود ندارد، درحالی‌که در سیستم بسته، پس از مصرف کربن دی‌اکسیدی موجود، انحلال سنگ آهک خاتمه می‌یابد. از مهم‌ترین و جامع‌ترین تقسیم‌بندی‌های جریان در چشمه‌های کارستی می‌توان به کارهای صورت گرفته توسط شاستر و وایت (Shuster and White 1971) اشاره نمود که جریان موجود در آبخوان‌های کارستی را به دو سیستم افشان (Diffuse) و مجرای (Conduit) تقسیم‌بندی نمودند. بر طبق مطالعات ایشان، جریان در سفره‌های کارستی براساس میزان تغییرپذیری خواص فیزیکی و شیمیایی نظیر هدایت الکتریکی، دما، یون‌های کلسیم و منیزیم، بی‌کربنات و دبی در یک سال آبی، در طیف گسترده‌ای قرار گرفته که دو حد نهایی آن سیستم جریان افشان و مجرای است. در این تقسیم‌بندی، در سیستم‌هایی که حاوی جریان افشان هستند، حرکت آب به صورت خطی، از خلال شکستگی‌های به هم پیوسته‌ای که بازشدگی کمتر از یک سانتی‌متر دارند، صورت می‌گیرد. در این نوع چشمه‌ها، تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیادی مشاهده نمی‌گردد. علاوه بر این چشمه‌ها متعدد، پراکنده با دبی کم بوده و هدایت الکتریکی آن‌ها تقریباً در کل توده به صورت یکنواخت می‌باشد. عمل تغذیه در این سیستم‌ها به صورت مستقیم و از طریق درز و شکاف‌های موجود در سنگ‌های کربناته‌ی در برگیرنده و پوشش‌های خاک فوقانی صورت می‌گیرد. در حوضه آبگیر مربوط به این‌گونه سیستم‌ها، عارضه‌های ژئومورفولوژیکی چون فروچاله و غار رؤیت نشده و شاخص تغییرات سختی کل در آن‌ها کم‌تر از ۵ درصد می‌باشد. جریان آب در سیستم‌های دارای جریان مجرای، در کانال‌های بزرگ و مجاری لوله مانند با بازشدگی بزرگ‌تر از یک سانتی‌متر صورت می‌گیرد که این مجاری ناشی از پدیده‌های انحلالی صورت گرفته در کربنات‌ها است. هدایت الکتریکی در این سیستم‌ها نسبت به سیستم افشان بسیار بیش‌تر بوده و از این رو جریان آب در آن‌ها به صورت آشفته می‌باشد. تخلیه‌ی طبیعی معمولاً از طریق یک چشمه‌ی بزرگ با دبی زیاد و تغذیه‌ی آن توسط درزه‌ها و فروچاله‌های موجود در سنگ‌هایی که فاقد پوشش خاک و گیاه می‌باشند انجام می‌گردد. شاخص تغییرات سختی کل نیز برای آن نوع جریان در محدوده‌ی ۲۴-۱۰ درصد متغیر است. نیوسن (Newson 1972) و ترنان (Ternan 1972) نیز تقسیم‌بندی مذکور را تأیید نموده‌اند. کول و

فورد (Cowell and Ford 1983) با بررسی تغییرات دمایی چشمه‌های کارستی جنوب کانادا نشان دادند که تغییرات دمای آب در طول یک سال آبی در چشمه‌های کارستی با سیستم مجرای بیش‌تر از چشمه‌های افشان است. در نتیجه تغییرات دما را معیاری برای تشخیص سیستم جریان حاکم در سفره‌های کارستی بیان نمودند. جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974)، طبق مطالعات انجام داده بر روی چشمه‌های منطقه‌ی پنسیلوانیای آمریکا، جریان آب در این چشمه‌ها را به چهار دسته‌ی مجرای، افشان، مجرای-افشان و افشان نوع گیتزبرگ (Gatesburg) تقسیم‌بندی نموده‌اند. فورد و ویلیامز (Ford and Williams 1989) نیز سیستم جریان کارستی را به دو گروه مجرای و افشان تقسیم نمودند. رحیمی دهکردی و همکاران (۱۳۹۲) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی پیرغار در تاق‌دیس سالدوران را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که ضرایب تغییرات پارامترهایی چون دبی و هدایت الکتریکی در این چشمه بسیار بالا بوده و سیستم غالب جریان در آن از نوع مجرای می‌باشد. کریمی و همکاران (۱۳۸۳) ضمن مطالعه‌ی چشمه کارستی گیلان در جنوب غرب کرمانشاه نوعی جریان تحت عنوان جریان افشان کاذب را معرفی نمودند. در این نوع سیستم، اگر جریان مجرای حاکم باشد، تأخیر در پیوستن آب‌های دوردست سبب رفتاری مشابه سفره‌های افشان می‌شود. چنین سیستم جریانی، حاوی ماهیت جریان مجرای و ظاهری به صورت جریان افشان بوده و جریان افشان کاذب نامیده شده است.



شکل ۱-۲- سیستم‌های جریان کارستی

## ۲-۲-۶-۱- تغییرات آبدهی

تغییرات آبدهی چشمه‌ها، به عنوان یکی از پارامترهای مهم در شناخت نوع سیستم جریان در آبخوان‌های کارستی استفاده می‌گردد (کرمی و همکاران ۱۳۸۷). به طور کلی میزان آبدهی در آبخوان‌های مختلف متغیر بوده و از کم‌تر از ۰/۰۰۱ لیتر بر ثانیه تا ۱۰۰۰۰ لیتر بر ثانیه متغیر است. آبدهی چشمه‌ها، به عواملی نظیر وسعت حوضه‌ی آبخیز، تغذیه‌ی سالانه در حوضه و نیز تراوایی آبخوان وابسته می‌باشد (Milanovic 1981). از این بین، مهم‌ترین پارامتری که تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تراوایی آبخوان است. به این صورت که هر چه تراوایی آبخوان کارستی بیشتر، تغییرات آبدهی چشمه نیز بیشتر است و برعکس هرچه تراوایی کم‌تر، تغییرات آبدهی نیز کم‌تر می‌گردد. در واقع تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی، یک معیار مهم برای تفکیک آبخوان‌های کارستی با سیستم غالب جریان مجرای از آبخوان کارستی با سیستم غالب جریان افشان نیز می‌باشد (کرمی و همکاران ۱۳۸۷). جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974)، ضریب تغییرات آبدهی را برای چشمه‌ی کارستی دره نیتانی محاسبه نموده و دریافتند که این ضریب برای چشمه‌هایی با سیستم جریان مجرای بزرگ‌تر از ۵۰ درصد، برای چشمه‌های با سیستم مجرای-افشان بیش‌تر از ۴۰ درصد و نیز برای چشمه‌های افشان کم‌تر از ۳۰ درصد به دست آمده است. کریمی‌وردنجانی (۱۳۸۴)، با انجام آنالیزهای هیدروشیمیایی و ارزیابی میزان آبدهی چشمه‌های موگرون و سرآسیاب شهرستان دهشت بیان نمود که این چشمه‌ها حاوی سیستم مجرای-افشان بوده و نیز درصد جریان مجرای در چشمه موگرون بیش‌تر از چشمه سرآسیاب است. به علاوه این سیستم حاوی یک رژیم جداگانه ناشی از ذوب برف نیز می‌باشد. شفیع‌ی مطلق و لشکری پور (۱۳۸۷) برای نخستین بار چشمه‌ی کارستی کورسا دهشت در جنوب غرب ایران را مورد مطالعه قرار دادند. پس از بررسی‌های هیدروشیمیایی و آنمود چشمه به این نتیجه رسیدند که سیستم جریان در این نوع چشمه از نوع مجرای-افشان می‌باشد. سامانی و زارعی (۱۳۸۵)، ضمن ارزیابی تغییرات آبدهی چشمه‌ی ششپیر و ساسان در شمال غرب شیراز دریافتند که بده چشمه ششپیر حاوی ۹۶/۹ درصد جریان افشان و ۳/۱ درصد جریان مجرای

است. در حالی که سهم این جریان افشان و مجرای برای چشمه ساسان به ترتیب ۹۳/۱ درصد و ۶/۹ درصد می‌باشد و در نتیجه توسعه‌ی کارست در چشمه ششپیر نسبت به ساسان بیش‌تر است. مینویی و همکاران (۱۳۸۹)، خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی قلو و تلوکسان را در یال‌شمالی کوهستان شاهو مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده با استفاده از ضرایب بده و دیگر خصوصیات هیدروژئوشیمیایی در این چشمه‌ها، نوع سیستم غالب در هر دو چشمه را مجرای تعیین نمود.

## ۲-۶-۲-۲- تغییرات دمای آب

تغییرات دمای چشمه‌های کارستی، یکی از معیارهای تعیین سیستم جریان در این چشمه‌ها است. برای بررسی این تغییرات بایستی از دماسنج‌های دقیق استفاده گردد زیرا تغییرات دما در چشمه‌های کارستی حدود چند دهم درجه سانتی‌گراد می‌باشد (نوری ۱۳۸۹). جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974)، بیان نمودند که ضریب تغییرات دمای آب، بهترین شناساگر جهت تشخیص نوع سیستم کارستی می‌باشد. رئیسی و کرمی (Raeisi and Karami 1997)، ضمن مطالعه‌ی چشمه کارستی برغان در شمال غرب شیراز دریافتند که وقتی سیستم جریان افشان باشد، به دلیل این‌که جریان آب از میان درزها و شکاف‌های کوچک به آهستگی صورت می‌گیرد، تحت تأثیر دمای آب واقع نشده و تحت تأثیر دمای سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی سفره است. از طرف دیگر، در یک سفره‌ی کارستی با سیستم جریان مجرای، جریان آب از میان کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ صورت می‌گیرد، بنابراین دمای آب خروجی از چشمه‌های کارستی تحت تأثیر دمای هوا قرار می‌گیرد. پیتی و همکاران (Pitty et al. 1979)، نوسانات درجه حرارت را در آب‌های آهکی مرکز و جنوب پنینز (pennines) انگلستان بررسی کرده و بیان کردند که سه عامل دمای آب زیرزمینی، عمق و اندازه‌ی جریان آب زیرزمینی در متغیر بودن درجه حرارت آب داخل کارست نقش دارند. کرمی (۱۳۸۳)، در مطالعه‌ی چشمه علی دامغان، ضریب تغییرات دما در این

چشمه با رژیم جریان مجرای را ۱/۳۸ برآورد نمود. به طور کلی در چشمه‌های کارستی با جریان افشان، ضریب تغییرات دمای آب کم‌تر از ۵ درصد و در چشمه‌های با سیستم مجرای بزرگ‌تر از ۵ درصد می‌باشد.

## ۲-۶-۳- تغییرات هدایت الکتریکی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در مطالعات منابع آب، هدایت الکتریکی است که با کل املاح محلول در آب رابطه‌ی مستقیم داشته و به آسانی توسط یک هدایت‌سنج الکتریکی با دقت بسیار بالا قابل اندازه‌گیری می‌باشد. محدوده‌ی تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان‌های کارستی نسبت به آبخوان‌های آبرفتی کم‌تر بوده و مقدار آن معمولاً از حدود ۲۰۰ تا چند صد میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. معمولاً ضریب تغییرات هدایت الکتریکی در سفره‌های کارستی با جریان‌های مجرای و افشان به ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از ۱۰ درصد می‌باشد (Scanlon and Thraikill 1987, Raeisi and Karami 1997) کریمی و همکاران (۱۳۸۳)، با بررسی چشمه‌ی کارستی گیلان در جنوب غرب استان کرمانشاه دریافتند که در حوضه‌های کارستی وسیع که شکل حوضه آبخیز آن به صورت باریک و کشیده است، مؤلفه‌های مختلف جریان آب به طور همزمان به چشمه نمی‌رسند. اگر هدایت الکتریکی و ترکیب ایزوتوپی در چنین چشمه‌هایی طی فصول خشک حاوی روند نزولی باشد، بیانگر پیوستن آب مجرای نواحی دوردست در طی این دوره می‌باشد. جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974)، چشمه‌های کارستی دره نیتانی را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را به چهار گروه تقسیم نمودند:

الف- چشمه‌های مجرای با هدایت الکتریکی کم‌تر از ۳۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، ضریب تغییرپذیری برای هدایت الکتریکی و تخلیه به ترتیب بیش‌تر از ۲۰ درصد و بیش‌تر از ۱۵۰ درصد.

ب- چشمه‌های مجرای- افشان با هدایت الکتریکی بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و ضریب تغییرپذیری برای هدایت الکتریکی و تخلیه به ترتیب ۲۰-۱۰ درصد و بیش‌تر از ۴۰ درصد.

ج- چشمه‌های افشان با هدایت الکتریکی بین ۴۰۰ و ۶۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، ضریب تغییرپذیری برای هدایت الکتریکی و تخلیه به ترتیب کم‌تر از ۱۰ درصد و کم‌تر از ۲۰ درصد.

د- چشمه‌های افشان تیپ گیتزبرگ (Gatesburg) که هدایت الکتریکی آن بین ۲۶۰ و ۳۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، PH آن بیش‌تر از ۷/۸ و ضریب تغییرپذیری آن نیز کم باشد.

#### ۲-۲-۴- تغییرات غلظت یونی

آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف کم و بیش حاوی مقادیری از نمک‌های محلول می‌باشند. نوع و غلظت این املاح وابسته به عواملی نظیر منشأ آب، سرعت حرکت آب، سنگ‌های در تماس با آب و نیز مسافتی که آب پیموده وابسته است. اغلب مواد محلول در آب نیز ناشی از انحلال سنگ‌هاست. با توجه به زمان ماندگاری آب در لایه‌ها و طول مسیری که توسط آب طی می‌گردد، ترکیب شیمیایی آن از نظر نوع و مقدار تغییر می‌نماید (ازانی ۱۳۹۵). لامبان و همکاران (Lamban et al. 2015)، به ارزیابی هیدروشیمیایی و ایزوتوپی ۲۹ چشمه کارستی در پنومپ (PNOMP) اسپانیا پرداخته و دریافتند که رخساره‌های شیمیایی موجود در آب این منطقه کلسیم- بی‌کربنات و کلسیم، منیزیم- بی‌کربنات می‌باشد و اختلاف بین ارتفاع منطقه تغذیه و تخلیه نقش مؤثری در تغییر رخساره دارد. نوری (۱۳۸۹)، ضمن مطالعه بر روی نسبت کلسیم به منیزیم در چشمه‌ی کارستی آبدانان به این نتیجه رسیدند که پایین بودن درصد خلوص آهک در سازند ایلام-سروک بیانگر پتانسیل کم‌تر آن جهت تشکیل سیستم‌های کانالی و توسعه‌ی کارست بوده و سیستم غالب جریان در آن نیز از نوع افشان می‌باشد.

#### ۲-۲-۷- برآورد میزان تغذیه در چشمه‌های کارستی

تغذیه‌ی لایه آبدار کارستی به سه طریق نفوذ به داخل خاک، نفوذ از طریق درز و شکاف‌ها و نفوذ به داخل فروچاله‌ها صورت می‌گیرد. بخش عمده‌ی نفوذ در سنگ‌های آهکی، از طریق مجاری انحلالی و درز و شکاف‌ها صورت می‌گیرد. ظرفیت نفوذ در این شکاف‌ها به مواردی از قبیل: میزان بازشدگی

شکاف‌ها، فاصله بین شکاف‌ها، عمقی بودن شکاف‌ها، وجود یا عدم وجود خاک و سنگریزه و شیب عمومی رخنمون سنگی بستگی دارد (کرمی ۱۳۷۲). عمل تغذیه می‌تواند به صورت مستقیم (تغذیه‌ی نقطه‌ای) از طریق پانور، دولین، استاول و یا توسط نفوذ انتشاری از سطوح برکه مانند طبیعی و یا توسط نفوذ مستقیم آب باران و آب ناشی از ذوب برف به درون شبکه‌های درز و شکاف صورت گیرد. براساس مطالعات وایت (White 2002)، چهار حالت در تغذیه‌ی سفره‌های کارستی وجود دارد:

الف- تغذیه‌ی خودزا (Autogenic recharge): منطقه به طور کامل از سنگ‌های کارستی تشکیل شده و به وسیله‌ی آب‌های بارندگی تغذیه می‌گردد.

ب- تغذیه‌ی دگرزا (Allogenic recharge): آب‌های مناطق کارستی مجاور باعث تغذیه‌ی سیستم می‌شوند.

ج- رواناب درونی (Internal runoff): آب باران سریعاً از طریق فروچاله وارد سیستم می‌گردد.

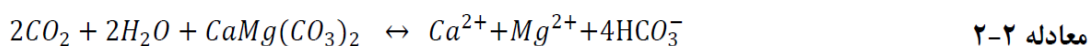
د- آب باران در سنگ‌های پوشاننده‌ی سفره‌ی کارستی تجمع یافته و مازاد آن از طریق شکاف‌های توسعه یافته وارد سفره کارستی می‌شود.

کاتسانو و همکاران (Katsanou et al. 2010)، به منظور ارزیابی منشأ آب چشمه‌ی استفانی کوک‌کینو در غرب یونان، از وضعیت زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و سری‌های زمانی داده‌های هیدروشیمیایی این چشمه استفاده نمودند. دمای بالا، بالا بودن غلظت یون‌های  $\text{Li}$ ،  $\text{F}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{B}$  و تیپ آب  $\text{Na-Ca}$  ( $\text{HCO}_3$ ) همگی گویای این مطلب بودند که چشمه‌ی مذکور از آبخوان‌های عمیق منشأ می‌گیرد. جیانگ و گو (Jiang and Gau 2010)، با استفاده از روش‌های زمین‌شناسی، هیدروشیمیایی، ژئومورفولوژیکی و ایزوتوپی به بررسی منشأ تغذیه‌ی چشمه کارستی لینگ‌شای در ایالت متحده پرداخته و دریافتند که منشأ آلوتزیک (رودخانه‌های سطحی) در تغذیه‌ی این چشمه‌ها دخالت نداشته و تغذیه‌ی چشمه بیش‌تر از طریق آبخوان عمیق منطقه‌ی مورد مطالعه صورت می‌پذیرد. باقری و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از

اطلاعات هیدروشیمیایی، ایزوتوپی، بیلان و نیز بررسی‌های تکتونیکی مطالعاتی را بر روی چشمه‌های کارستی بخش شرقی تاقدیس راوندی (خاستگاه سد سیمره) انجام دادند. آن‌ها در این بررسی چندین منشأ احتمالی برای چشمه‌های مذکور در نظر گرفته و با توجه به جایگاه تکتونیکی و زمین‌شناختی، توپوگرافی و شیب هیدرولیکی منشأ تغذیه‌ی این چشمه‌ها را تاقدیس واقع در بالادست تاقدیس راوندی دانستند. برای برآورد میزان تغذیه‌ی آبخوان‌ها روش‌های متعددی وجود دارد. در این تحقیق از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز مشاهدات صحرایی برای تخمین تغذیه، استفاده شده است.

## ۲-۲-۸- عوامل مؤثر بر توسعه‌ی کارست

عمل انحلال سنگ‌ها، علت اصلی پدیده کارستی شدن در سطح و زیر سطح زمین می‌باشد و پهنه‌های کارستی پس از میلیون‌ها سال انحلال مداوم تحت تأثیر آب‌های طبیعی در سنگ‌های دارای قابلیت انحلال به ویژه آهک و دولومیت شکل می‌گیرند. معادله‌ی انحلال کانی کلسیت و دولومیت در آب‌های حاوی دی‌اکسید کربن محلول به صورت زیر می‌باشد (Ford and Williams 2007).



وایت (White 1988)، عوامل مؤثر و لازم برای ایجاد و توسعه‌ی کارست را به سه دسته عوامل فیزیکی، شیمیایی و هیدروژئولوژیکی تقسیم می‌کند. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به مواردی نظیر مقدار بارندگی، درجه حرارت، فشار گاز کربنیک، پستی و بلندی، وضعیت چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی، ضخامت لایه‌های کربناته و موقعیت زمین‌ساختی منطقه اشاره نمود. پارامترهای اقلیمی به یکدیگر وابسته بوده و در هر اقلیم خاص، محدوده تغییرات خاصی از دما، فشار گاز دی‌اکسید کربن و رطوبت وجود دارد لذا بهتر است اثر این عوامل در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).



## ۲-۲-۸-۱- بارش

میزان بارش و وجود آب عامل اصلی اقلیمی تأثیرگذار در توسعه کارست می‌باشد. در شرایط یکسان هر چه مقدار و حجم نزولات در یک منطقه بیشتر باشد، مقدار نفوذ بیشتر و توسعه کارست نیز بیشتر می‌شود. مناطق خشک و یا بسیار سرد مانع توسعه کارست می‌گردند زیرا در این شرایط آب و هوایی آب به صورت مایع کم بوده و باعث محدود شدن فرآیند انحلال می‌شود. فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007)، نقش نوع تغذیه را در توسعه کارست این‌گونه بیان کرده‌اند که تغذیه‌ی نقطه‌ای و متمرکز منجر به ایجاد مجاری بزرگ کارستی و رودخانه‌های زیرسطحی می‌شود اما تغذیه‌ی پراکنده تنها سبب افزایش خلل و فرج انحلالی کوچک شده و تأثیر کمتری در توسعه‌ی مجاری بزرگ دارد.

## ۲-۲-۸-۲- دما

با افزایش دما، ظرفیت انحلال گاز کربنیک ( $CO_2$ ) در آب کاهش یافته و در نتیجه خوردگی آب نیز کاهش می‌یابد. به طور کلی دمای بسیار پایین باعث ایجاد یخزدگی و کاهش جریان آب، کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش احتمال کارستی شدن می‌شود. از سوی دیگر در مناطق گرم و خشک به دلیل افزایش تبخیر مانع از توسعه کارست می‌گردند. افزایش دما همچنین بر افزایش پوشش گیاهی منطقه تأثیر مثبت دارد اما این تأثیر مستقیم و خطی نیست، بلکه در حد خاصی از دما بیشترین پوشش گیاهی به وجود می‌آید (Milanovic 1981).

## ۲-۲-۸-۳- فشار گاز دی‌اکسید کربن

افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن موجود در هوا، باعث افزایش خاصیت اسیدی بارش جوی و افزایش انحلال آهک و در نتیجه توسعه بیشتر کارست می‌شود. افزایش باران‌های اسیدی با خاصیت خوردگی بیشتر نرخ انحلال سطحی درزه‌ها را افزایش می‌دهد. میزان گاز کربنیک موجود در خلل و فرج به عوامل

پیچیده دیگری چون پوشش گیاهی، مواد آلی خاک، وجود باکتری‌های هوازی تجزیه‌کننده موجود در خاک و فعالیت صنعتی بستگی دارد (Milanovic 1981).

## ۲-۲-۸-۴- لیتولوژی

لیتولوژی سنگ‌های آهکی بر روی تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن اثر دارد. وجود سازندهای انحلال‌پذیر و انحلال در آن‌ها از شروط اصلی تشکیل و توسعه کارست است که وابسته به ترکیب سنگ می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های کربناته شامل کلسیت و آراگونیت با ترکیب شیمیایی کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) و نیز دولومیت با ترکیب کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) می‌باشند که معمولاً در ساختارهای بلورشناسی هندسی تریگونال و اورتورومبیک متبلور می‌شوند (موسوی حرمی ۱۳۸۵).

آپلو و پوستما (Appelo and postma 2005) انحلال‌پذیری دو کانی کلسیت و آراگونیت در آب‌های طبیعی را با یکدیگر مقایسه کردند و با توجه به نتایج کارهای آنان انحلال‌پذیری کانی آراگونیت در آب‌های طبیعی بیشتر از کلسیت می‌باشد. دولومیت مربوط به سری محلول جامد میان دو کانی کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ ) و منیزیت ( $\text{MgCO}_3$ ) است. پژوهش‌های انجام شده بر رابطه بین سرعت انحلال کربنات با درصد اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ ) نشان می‌دهد هر چه نسبت اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ ) به اکسید منیزیم ( $\text{MgO}$ ) بیشتر باشد قابلیت انحلال بیشتر است اما مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که بیشترین سرعت انحلال کربنات هنگامی صورت می‌گیرد که تا سه درصد اکسید منیزیم ( $\text{MgO}$ ) در ترکیب آن موجود باشد، این مقدار اکسید منیزیم باعث تغییر وضعیت بلور کلسیت و افزایش سطح تماس و افزایش انحلال می‌شود (Raush and White 1970 cited in Ford and Williams 2007). سنگ‌های کربناته توسط دو مکانیسم عمده شیمیایی و بیوشیمیایی تشکیل می‌شوند، سیمان تشکیل شده در بین ذرات از نظر میزان و جنس بسته به مکانیسم تشکیل متغیر است. میزان و جنس سیمان بر شدت انحلال و

توسعه کارست اثر دارد. آهک در مقایسه با دولومیت، تمایل و توانایی بیشتری به توسعه مجاری کارست دارد. آهک ماسه‌ای نسبت به آهک خالص بیشتر کارستی می‌شود اما آهک شیلی دارای مجاری و عوارض کارستی سطحی کمتری است (Ashjari and Raeisi 2006).

## ۲-۲-۸-۵- چینه‌شناسی

چینه‌شناسی، مطالعه توالی سنگی بر طبق خواص مختلف سنگ مانند سن نسبی، محتوای فسیلی و یا واحدهای سنگ چینه‌ای می‌باشد. در صورتی که سازندهای کربناته ضخامت و گسترش قابل توجهی داشته باشند، امکان تشکیل آبخوان‌های کارستی بیشتر می‌شود. فاکتورهای چینه‌شناسی که در توسعه کارست نقش دارند عبارتند از:

**الف) لایه‌بندی و ضخامت لایه:** بیشترین توسعه کارست در آهک‌های ضخیم لایه مشاهده می‌شود اما انحلال سنگ‌های نازک لایه در همان شرایط پراکنده است (Goldscheider and Drew 2007). لایه‌های ضخیم دارای شکستگی‌های طولانی هستند که مجاری مستقیم برای جریان سیال به وجود می‌آورند و لایه‌های نازک دارای شکستگی‌های کوتاه و متقاطع هستند که در یک صفحه قرار نمی‌گیرند و مسیرهای پرپیچ و خم را به وجود می‌آورند که جریان سیال در این مسیرهای پرپیچ و خم آهسته است و نفوذپذیری سنگ کاهش پیدا می‌کند (Tsang 1984 cited in Cooke et al. 2004).

شیب زیاد لایه‌بندی می‌تواند آب را به اعماق بیشتر و جاهایی که درز و شکستگی توسعه نیافته‌اند، انتقال دهد و باعث توسعه کارست در عمق شود. جهت شیب لایه‌بندی نسبت به توپوگرافی بر میزان نفوذ آب‌های سطحی به زیر زمین و در نتیجه توسعه کارست اثر می‌گذارد (شمسی ۱۳۹۰).

**ب) توالی چینه‌شناسی:** توالی چینه‌شناسی سازندها ممکن است به صورت‌های مختلفی در انحلال و توسعه کارست تأثیرگذار باشد. اختلاف در نفوذپذیری دولایه هم‌جوار امکان اثرگذاری بر روی جهت‌گیری

جریان و توسعه جهت‌دار کارست را فراهم می‌کند. در سنگ‌های کربناته برخی از ناپیوستگی‌های زمین-شناسی و چینه‌شناسی توسط فرآیند کارستی شدن رشد کرده و شبکه غارها و مجاری را تشکیل می‌دهند. توالی چینه‌شناسی سازندها ممکن است به صورت‌های مختلفی در انحلال و توسعه کارست تأثیرگذار باشند. قرارگیری سازندهای نفوذناپذیر بر روی سازندهای انحلال‌پذیر، مانع از رسیدن آب به آن و در نتیجه کاهش انحلال و توسعه کمتر سازند می‌شود، وجود سازندهای انحلال‌پذیر اما خردشده بر روی سازند انحلال‌پذیر منجر به ایجاد منطقه اشباع موقت و روند تدریجی نفوذ و توسعه پدیده‌های کارستی همانند چاهک‌ها می‌شود که در ادامه به ایجاد مجاری بزرگ کارستی منجر می‌شود. قرارگیری یک سازند زمین‌شناسی با قابلیت انحلال بالا بین دو سازند نفوذناپذیر، که سبب جریان ترجیحی آب در لایه با نفوذپذیری بالا و انحلال بیشتر و توسعه بیشتر آن می‌شود (شکری ۱۳۹۰). همگن بودن توده سنگ کربناته و عدم حضور لایه‌های با نفوذپذیری متفاوت، باعث توسعه یکنواخت کارست در توده سنگ می‌گردد (White and White 2001).

## ۲-۲-۸-۳- عوامل تکتونیکی

به طور کلی تکتونیک موجود در یک منطقه با ایجاد گسل خوردگی، درزه و شکستگی، بالا آمدگی و شیب‌دار کردن لایه‌ها، چین خوردگی و افزایش تخلخل ثانویه نقش مؤثری را در توسعه کارست ایفا می‌نماید. در اینجا اشکال ساختاری ناشی از تکتونیک و نقش آن‌ها در توسعه کارست به طور مختصر ارائه می‌شوند:

**الف) چین خوردگی:** شکل چین خوردگی و گسترش آبخوان، ذخیره‌سازی و شبکه زهکشی زیرزمینی آبخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ساختمان چین بر روی سیستم زهکشی زیرزمینی به ویژه در آبخوان کم‌عمق که سیستم زهکشی تحت کنترل چینه‌شناسی است، اثر مهمی دارد در مقابل اثر چین خوردگی بر روی آبخوان عمیق کارستی کمتر است (Goldscheider and Drew 2007). به طور کلی فرض بر این

است که کارستی شدن با افزایش عمق کاهش می‌یابد اما در مورد سنگ‌های چین‌خورده این‌گونه نیست. در حالت کلی کارستی شدن در ناودیس‌ها با افزایش عمق زیاد می‌شود اما در تاقدیس‌ها با افزایش عمق کارستی شدن کاهش می‌یابد زیرا در نواحی بیرونی چین‌خوردگی، گسل‌های نرمال و درزه‌های باز تشکیل می‌شود و در نواحی داخلی چین‌خوردگی گسل‌های تراستی و درزه‌های بسته تشکیل می‌شوند که این امر در میزان کارستی شدن مؤثر است (Estrella 2002 cited in Goldscheider and Drew 2007).

**ب) گسل:** در مطالعات هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی، گسل‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی هستند. کستنینگ (Kastning 1997) گسل‌ها را براساس تأثیر بر جریان آب زیرزمینی به سه دسته تقسیم کرده است:

-گسل‌هایی با تأثیر مثبت: این گسل‌ها با سیستم شکستگی باز می‌باشند، که در نتیجه نیروهای کششی ایجاد می‌شوند و در جریان آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند.

-گسل‌هایی با تأثیر منفی: در نواحی که توده آهک در صفحه گسلی تحت تأثیر فشار قرار گیرد و آهک تبلور مجدد یا میلونیتی می‌شود و باعث ممانعت از جریان یا مسدود شدن و انحراف جریان آب زیرزمینی می‌شود.

-گسل‌های بدون تأثیر: این گسل‌ها در جریان آب زیرزمینی نقش ندارند.

تأثیر هیدرولوژیکی گسل‌ها وابسته به عرض بازشدگی صفحه گسل، وجود یا عدم وجود مواد پرکننده و مقدار جایجایی گسل است (Herold et al. 2000 cited in Goldscheider and Drew 2007). منطقه گسلی در شرایطی که نفوذپذیری آن بیشتر از سنگ میزبان باشد و یا جهت آن در جهت شیب هیدرولیکی باشد، می‌تواند به عنوان مسیر ترجیحی مهمی جهت انتقال آب مورد توجه قرار گیرند. مطالعات نشان داده که گسل‌های فعال به طور عمده جریان آب زیرزمینی در سنگ بستر را کنترل می‌کنند (Gudmundsson 2000).

## ۲-۲-۸-۷- توپوگرافی

توپوگرافی به طور مستقیم و یا به صورت غیرمستقیم با اثر بر عوامل دیگر بر توسعه کارست نقش خود را ایفا می‌کند. مهم‌ترین اثر توپوگرافی این است که سطح اساس فرسایش محلی را مشخص می‌نماید سطح اساس توپوگرافی تعیین‌کننده‌ی محل تخلیه و جهت تخلیه می‌باشد. سطح اساس فرسایش در فهم انحلال و فرآیند توسعه کارست مهم است و ممکن است که سطح دریا، یک رودخانه دائمی آبخیز و یا یک لایه نفوذناپذیر در زیر آبخوان کربناته باشد (Ashjari 2007). در حالت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها به طرف سطح اساس می‌باشد و تمام آبخوان به سمت آن زهکشی می‌شود. اگرچه سنگ‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی و گسل‌ها عامل‌های مهمی در کنترل جهت جریان آب زیرزمینی هستند اما اثر سطح اساس فرسایش در نهایت در کنترل جریان نقش اساسی و مهم‌تر ایفا می‌کند (Ford and Williams 1989).

وایت (White 1988) یکی از پارامترهای فیزیکی در توسعه کارست را اختلاف ارتفاع می‌داند که نقش مؤثری در میزان وقوع بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و وضعیت پوشش گیاهی دارد که پوشش گیاهی به نوبه خود از عوامل مؤثر در مقدار نفوذ و رواناب است. فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007)، ذکر کرده‌اند که در مناطق دارای شیب بیش از ۲۰ درجه جریان زیرسطحی و شیب هیدرولیکی در اغلب موارد با شیب توپوگرافی تقریباً موازی است. در نتیجه در جاهایی که شیب توپوگرافی کم است شیب هیدرولیکی هم کم می‌باشد. در جاهایی که شیب بیش از ۳۰ درجه است، رواناب زیادتر و مقدار نفوذ کمتر می‌باشد. شیب زیاد مانع از ایجاد پوشش خاک به صورت ضخیم و رشد پوشش گیاهی شده و در نتیجه میزان نفوذ و تغذیه و توسعه کارست بیشتر است.

## ۲-۸-۷- پوشش خاک و پوشش گیاهی

در مناطق کارستی که سطح آهک توسط خاک پوشیده شده باشد، نرخ نفوذ آب به درون آهک توسط خاک کنترل می‌شود در غیر این صورت قابلیت انتقال آهک در جهت عمودی نرخ نفوذ را کنترل می‌کند. نفوذپذیری خاک به عوامل زیادی از قبیل بافت، ساختمان، حفره‌های ایجاد شده و میزان هوموس بستگی دارد. ضخامت خاک‌های پوشاننده سنگ‌های کربناته از نظر نگهداشت رطوبت اهمیت بسزایی دارد. خاک دانه درشت نسبت به خاک دانه ریز در نفوذ آب مؤثرتر است و آب کمتری را در خود ذخیره می‌کند. چنانچه ذرات خاک دانه ریز بوده و ضخامت آن قابل توجه باشد از میزان آب نفوذی کاسته می‌گردد. علاوه بر آن خاک‌های رسی با پر کردن درز و شکاف‌ها سبب کاهش نفوذپذیری و انتقال آب به اعماق می‌شوند. همچنین خاک در جهت فراهم آوردن محیطی جهت رویش گیاهان نیز دارای اهمیت است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). گیاهان هم تأثیر مثبت و هم تأثیر منفی در توسعه کارست دارند. فشار ریشه گیاهان سبب تخریب و شکستگی سنگ‌ها و ایجاد فضای نفوذپذیر در کنار آن می‌شود. وجود برگ گیاهان، هوموس خاک را افزایش می‌دهد و افزایش CO<sub>2</sub> حاصل از تنفس ریشه‌ها باعث افزایش اسیدیته و افزایش انحلال سنگ‌های کربناته می‌شود. ممانعت از فشرده شدن خاک و ایجاد رواناب‌های سطحی و در نتیجه افزایش نفوذ این جریان‌ها و همچنین ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کم شدن تبخیر از تأثیرات مثبت پوشش گیاهی در توسعه کارست می‌باشد. اما از سوی دیگر پوشش‌های گیاهی متراکم و انبوه به ویژه درختی از رسیدن آب‌های جوی به سطح زمین ممانعت می‌کند و این آب‌ها مستقیماً از سطح برگ‌ها و شاخه درختان تبخیر و مجدد به جو برمی‌گردد (شکری ۱۳۹۰).

## ۲-۸-۹- آبراهه

آبراهه‌ها در سطح زمین به عنوان محل عبور آب از ارتفاعات به پایین دست به شمار می‌روند و می‌توانند در نفوذ آب به درون زمین مؤثر باشند، به خصوص اگر در مناطق کم شیب و در محل عبور گسل‌ها یا

درزه‌های بزرگ تشکیل شده باشند، چرا که آب هنگام عبور از آن‌ها فرصت نفوذ به درون زمین را پیدا می‌کند. این وضعیت در آبراهه‌های رده بالاتر که حجم بیشتری از آب را در مدت زمان طولانی‌تر دریافت می‌کنند نمایان‌تر و پراهمیت‌تر می‌باشد. اما واضح است که شبکه‌های زهکشی متراکم، بیانگر تغذیه کمتر در زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه است (Shaban et al. 2006).

#### ۹-۲-۲- تعیین حوضه آبرگیر در چشمه‌های کارستی

تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی یکی از پارامترهای مهم و دشوار در نواحی کارستی می‌باشد. از این رو، جهت تشخیص دقیق مرزهای حوضه آبرگیر در این چشمه‌ها، تحقیقات زمین‌شناسی مفصل و محاسبات هیدروژئولوژیکی نسبتاً وسیعی مورد نیاز است. منظور از حوضه آبرگیر، ناحیه‌ای است که تمامی نقاط روی این حوضه در رساندن آب به نقطه‌ی خروجی یا چشمه سهیم می‌باشند (Bonacci and Andric 2015). ریاحی پور و کلانتری (۱۳۸۷)، به مطالعه‌ی تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی پیرغار در دامنه‌ی شمالی کوه سالدوران در ۳۰ کیلومتری جنوب غرب شهرکرد پرداختند. آن‌ها با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه‌ی کارستی مورد مطالعه و همچنین بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی، حوضه آبرگیر و محدوده‌ی احتمالی تأمین‌کننده‌ی آبدهی این چشمه‌ها را مشخص نمودند. کرمی و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ی تحت عنوان بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین چشمه کارستی امام‌قیس با منابع آب مجاور آن از روش بیلان هیدروژئولوژیکی معکوس برای تخمین مساحت حوضه آبرگیر استفاده نمودند. رحیمی دهکردی و همکاران (۱۳۹۲)، به مطالعه‌ی حوضه آبرگیر چشمه کارستی پیرغار و سراب باباحیدر در دامنه‌ی شمالی کوه سالدوران در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. آن‌ها با بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی، حوضه آبرگیر و محدوده‌ی احتمالی تأمین‌کننده‌ی آبدهی این چشمه‌ها را تعیین نمودند. کریمی و همکاران (Karimi et al. 2005)، با استفاده از سری زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و هیدروگراف چشمه‌های کارستی تاقدیس پودنو در



دامنه‌ی جنوبی رشته‌کوه‌های زاگرس، به تعیین حوضه آبریز احتمالی این چشمه‌ها پرداختند. آن‌ها همچنین به منظور ارزیابی دقیق‌تر منشأ احتمالی چشمه‌های مذکور از وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، ژئومورفولوژی، لیتولوژی آبخوان‌های کارستی و سازندهای دربرگیرنده‌ی آن‌ها، ارتفاع سطح آب در پیزومترها و موازنه‌ی آبی آبخوان‌های کارستی نیز استفاده نمودند. اشجاری و رئیسی (Ashjari and Raeisi 2006)، ضمن مطالعات انجام یافته بر روی ۷۲ تاق‌دیس کارستی در زاگرس، فرضیاتی را جهت تعیین محل تقریبی حوضه آبریز چشمه‌ی کارستی تعیین نمودند که به شرح زیر است:

- الف- حوضه آبریز در نزدیکترین فاصله از خروجی چشمه قرار می‌گیرد.
- ب- ارتفاع تمام نقاط حوضه آبریز بایستی از ارتفاع محل خروجی چشمه بیشتر باشد.
- ج- هیچ مرز نفوذناپذیری حوضه آبریز را قطع نکند.
- د- میزان ورودی و خروجی از هر حوضه برابر باشد.
- ه- خصوصیات ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و تکتونیکی باید با حوضه تعیین شده مطابقت داشته باشد.
- و- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب با سنگ‌شناسی آبخوان کارستی و سازندهای مجاور همخوانی داشته باشد.

روشی که در مراحل مقدماتی تعیین مساحت حوضه آبریز و محدوده لایه آبدار به کار می‌رود، استفاده از وضعیت زمین‌شناسی، توالی چینه‌شناسی، بیلان و رفتار هیدرولوژیکی منطقه است. هرچند که این روش نمی‌تواند به صورت دقیق حوضه آبریز را تعیین کند اما با تقریب ۷۰ درصد، محدوده را مشخص می‌کند. برای تعیین مساحت حوضه آبریز چشمه‌ها دو روش ارائه گردیده است (کریمی ۱۳۷۶). با روش اول که به روش بده وزنی معروف است، مساحت حوضه آبریز چشمه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$a = \frac{q \cdot A}{Q} \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

در این رابطه  $a$  مساحت حوضه آبریز چشمه،  $q$  بده متوسط،  $A$  مساحت کل رخنمون سیستم لایه آبدار و  $Q$  بده متوسط سالانه کل چشمه‌ها می‌باشد. در روش دیگر مساحت حوضه آبریز مربوط به هر چشمه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_B = I \cdot A \cdot \rho$$

معادله (۲-۴)

در این رابطه  $A$  مساحت حوضه آبرگیر برحسب کیلومترمربع،  $p$  متوسط بارندگی منطقه به متر که با استفاده از رابطه بارندگی ارتفاع به دست می‌آید،  $I$  درصد نفوذ بارندگی و  $Q_B$  نیز میزان تخلیه چشمه ناشی از بارندگی‌های سال بیلان می‌باشد.

## ۲-۲-۱۰- هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارستی

هیدروگراف (Hydrograph)، نموداری است که تغییرات زمانی سطح آب یا بده جریان را نشان می‌دهد (Linsley et al. 1988). شکل هیدروگراف ثبت شده در چشمه‌ها یگانه بازتاب پاسخ آبخوان در برابر تغذیه است، به ویژه شکل و نرخ منحنی فرود، اطلاعات با معنی از ذخیره و خصوصیات ساختاری سیستم تأمین‌کننده‌ی آب چشمه را فراهم می‌سازد. از این رو تجزیه و تحلیل منحنی آبنمود و فرود چشمه‌ها دیدگاه مناسبی بر درک طبیعت و عملکرد زهکش‌های سیستم کارستی می‌باشد (مرادی ۱۳۸۹). از آنجایی که در یک سیستم کارستی دو نوع جریان آشفته و خطی اتفاق می‌افتد، از طریق مطالعه هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌توان سهم هر یک از این دو نوع جریان را در منطقه‌ی مورد مطالعه برآورد نمود (سامانی و زارعی ۱۳۸۵، Karami 2002). با تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌ها می‌توان ضریب بده (Discharge coefficient)، حجم ذخیره‌ی دینامیکی (Dinamic storage) و ارتفاع معادل ستون آب در یک لایه آبدار کارستی را محاسبه نمود. مطالعه‌ی هیدروگراف چشمه‌های کارستی همچنین اطلاعاتی راجع به ویژگی‌های ذخیره‌ای، نوع محیط متخلخل، نوع جریان، میزان حجم تخلیه در زمان‌های مختلف و پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان فراهم می‌کند (Amit et al. 2002). علاوه بر این‌ها به کمک بررسی منحنی فرود چشمه‌های کارستی می‌توان به اطلاعات مهمی در مورد ویژگی‌های آبخوان

همچون خصوصیات ذخیره‌سازی و پتانسیل زهکشی، درجه‌ی کارستی شدن و دیگر ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی دست یافت (Bagheri et al. 2016).

میلانویچ (Milanovic 1976)، در مطالعه‌ی سفره کارستی امبلا (Ombla) در کشور یوگسلاوی، منحنی فرود چشمه را تهیه نمودند. این منحنی سه رژیم جریان را برای سفره کارستی نشان داده و ضرایب بده آن به ترتیب  $\alpha_1 = 0/13$ ،  $\alpha_2 = 0/0378$  و  $\alpha_3 = 0/0058$  به دست آمد. در رژیم اول تخلیه‌ی مخزن از طریق مجاری بزرگ در حدود ۷ روز و رژیم دوم حدود ۱۳ روز طول کشیده است. ضریب  $\alpha_1$  خروج سریع آب از طریق کانال‌ها و غارها را نشان می‌دهد. ضریب  $\alpha_2$  نشان‌دهنده‌ی خروج آب از درزها و شکافهای بزرگ است. ضریب  $\alpha_3$  نیز بیانگر خروج آب از ذخایری است که بستگی به خصوصیات هیدروژئولوژیکی محلی داشته و بدون نظم در کل سفره‌ی کارستی پخش گردیده‌اند. این آب‌ها در محیط متخلخل حاصل از درزه‌ها (Fissure Prosimy)، مواد شنی و رسی که در کانال‌ها و غارهای فسیلی رسوب کرده‌اند و نیز بخش‌های سیفونی کانال‌ها ذخیره شده‌اند. کرانجک و همکاران (Karanjac et al. 1980)، چشمه‌های کارستی زیادی را در محل سد اویمپینار (oymapinar) در ترکیه مورد مطالعه قرار دادند. ضرایب منحنی فرود  $0/02$  تا  $0/05$  در قسمت ابتدایی و از  $0/01$  تا  $0/02$  تغییر می‌کند. جریان آب از طریق کانال‌های بزرگ کارستی و غارهای متصل به هم صورت می‌گیرد. بخشی از منحنی فرود که ضرایب از  $0/01$  تا  $0/02$  متغیر است، جریان آب زیرزمینی از طریق درزه‌ها و شکاف‌های متصل به هم انجام می‌شود که نسبتاً آهسته زهکشی می‌شوند. رئیسی و کرمی (Raeisi and Karami 1997)، سه دوره‌ی مجزا  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  و فصل‌تر (W) را در هیدروگراف چشمه برغان در استان فارس مشاهده نمودند. اما اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین ضرایب آبدهی در دوره‌های  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  مشاهده نشد. جریان پایه، ۷۰ درصد کل جریان را در رژیم  $\alpha_1$  و ۱۰۰ درصد را در رژیم  $\alpha_2$  تشکیل می‌دهد. چندین گسل آبخوان برغان را خرد کرده‌اند که باعث افزایش توسعه خلل و فرج‌ها شده و یک شبکه‌ی گسترده از مسیرهای کوچک را به وجود آورده است که مانع از عریض‌شدن کانال‌های کارستی اصلی می‌شوند. ودیعتی و همکاران (۱۳۹۴)، چشمه‌ی کارستی پیرغار در جنوب غرب شهرستان فارس را مورد مطالعه قرار دادند.

با توجه به هیدروگراف و سه ضریب فرود تشکیل شده در آن دریافتند که  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  نشان‌دهنده‌ی جریان سریع و  $\alpha_3$  نشانگر جریان پایدار یا افشان می‌باشد.  $\alpha_1$  نشان‌دهنده‌ی تخلیه‌ی سریع از مجاری کانالی و حفره‌ای،  $\alpha_2$  تخلیه از مجاری، شکستگی‌ها و درزه‌های ریز و  $\alpha_3$  نیز بیان‌گر جریان افشان می‌باشد. براساس محاسبات صورت گرفته، حدود ۶۰ درصد از جریان کل چشمه پیرغار به عنوان جریان سریع و مابقی آن به عنوان جریان پایه در نظر گرفته شده است. میرحسینی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی منحنی فرود و تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی زاو در منطقه‌ی کلالة واقع در استان گلستان پرداختند. براساس ضریب فرود چشمه درمی‌یابیم که این چشمه از یک بستر تکامل یافته‌ی کارستی تغذیه می‌شود و نیز جریان سریع (مجرایی) به پایه (افشان) غلبه دارد که این موضوع بیان‌کننده‌ی بالا بودن توسعه‌ی کارست در حوضه آبرگیر این چشمه است.

### ۳-۲- آلودگی فلزات سنگین

امروزه فلزات سنگین جزو مهم‌ترین منابع آلاینده‌ی کره‌ی زمین به شمار می‌آیند (Enbaee et al. 2009). آلودگی محیط به فلزات سنگین به دلیل داشتن ثبات شیمیایی و قدرت تجمع‌پذیری در بدن موجودات زنده، یکی از مشکلات جهانی در عرصه‌ی بهداشتی است در اکوسیستم‌های آبی، آلودگی آب توسط فلزات سنگین یک نوع عمده از آلاینده‌ها است که سبب استرس در جوامع حیاتی می‌شود (Boldatoni et al. 2004). آلودگی‌های زیست محیطی مؤثر بر سلامت انسان، یکی از نگرانی‌های مهم در ارتباط با فعالیت صنایع فرآوری فلزات سنگین می‌باشد. گام اول در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات می‌باشد. از این رو برای حفاظت از محیط زیست، کنترل آلودگی و بهداشت عمومی باید اطلاع دقیقی از میزان آلودگی‌ها به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آن‌ها در محیط‌های آبی داشته باشیم. آلودگی محیط زیست به آلاینده‌های خطرناکی همچون فلزات سنگین، متعاقب گسترش شهرنشینی و توسعه‌ی صنعت، به صورت یک معضل جهانی بروز نموده است

(Hou et al. 2013). در دهه‌های اخیر منابع تأمین کننده‌ی آب آشامیدنی جوامع بشری نیز از این مشکل مصون نمانده و در معرض انواع آلاینده‌های زیست محیطی از جمله مواد سمی و فلزات سنگین قرار دارند (Karbasi et al. 2009). منظور از آلودگی محیط زیست، ورود مواد خارجی به آب، خاک و هوا به میزانی است که سبب تغییر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن شده به طوری که برای انسان، گیاه و سایر موجودات زنده زیان آور باشد (Hani et al. 2010). فلزات سنگین سبب متلاشی شدن آنزیم‌ها و از بین رفتن قدرت آنزیمی آن‌ها می‌شود. همچنین سبب اختلال در مکانیسم سوخت و ساز بدن شده و عمل متابولیسم را مختل می‌نمایند. پایداری بالای این فلزات در آب باعث ایجاد خطرات عمده در محیط زیست و سلامت انسان می‌شود (Rajaei et al. 2012). در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن در بافت‌هایی مانند چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب نموده و در بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن ایفای نقش می‌کنند (Mor et al. 2006). حفظ کیفیت منابع تأمین کننده‌ی آب جوامع از نظر غلظت فلزات سنگین و پایش آن‌ها از لحاظ حضور احتمالی آلودگی به دلیل اثر آن‌ها بر سلامت انسان از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. تجمع این فلزات در اکوسیستم‌های آبی می‌تواند اثرات سوء زیادی بر سلامت موجودات و بخش بیولوژیکی منابع آب داشته باشد، به طوری که پژوهش‌های گسترده‌ای در طول سالیان اخیر در ارتباط با تجمع فلزات سنگین در منابع آبی انجام شده است (Krishna et al. 2009, Wu et al. 2010, Oyebog et al. 2012). قهرمانی تبریزی (۱۳۸۰) در گزارشی به ارزیابی اثرات زیست محیطی و تمرکز فلزات سنگین در چشمه‌های تعدادی از روستاهای غرب شهر بیجار در استان کردستان پرداخت. نتایج وی نشان داد که در اکثر چشمه‌های منطقه مقدار فلزات Fe, Mn, Ag, Cd, Cr و نیز Pb فراتر از حد مجاز استاندارد بوده و بنابراین جهت شرب نامناسبند. تقوی (۱۳۹۱) ضمن بررسی غلظت فلزات سنگین در آب چشمه‌های آشامیدنی کلاردشت به این نتیجه دست یافت که در کلیه‌ی نمونه‌ها میزان فلز مس کمتر از حد مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی بوده است. از طرف دیگر میزان سرب در ۷/۳۱ درصد نمونه‌ها، سرب در ۲۵ درصد و کادمیوم در ۱/۵۸ درصد از نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز بوده است. همچنین نتایج حاصله نشان داد که آلودگی به فلزات

سنگین در چشمه‌های مورد بررسی هم منشأ طبیعی (به دلیل وجود رگه‌های سولفیدی منطقه) و هم انسانزاد (به علت آلودگی کشاورزی ناشی از آفت کش‌ها) دارد. نعمتی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) خواص فیزیکی و شیمیایی و نیز غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم را در سه چشمه آبگرم منطقه‌ی لایچ چمستان مورد بررسی قرار دادند. در بررسی آماری نتایج به کمک نرم افزار SPSS مشخص شد که بین غلظت کاتیون سرب و کادمیوم در هر سه چشمه اختلاف معنی دار آماری وجود ندارد و مکان نمونه‌برداری بر میانگین غلظت این دو کاتیون مؤثر نبوده است. همچنین با بررسی و مقایسه‌ی مقدار کاتیون سرب و کادمیوم در سه چشمه با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست مشخص شد که هر سه چشمه آلوده هستند. چیت سازان و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی توزیع و منشأ آرسنیک در چشمه‌ی شور کارستی گرو در شرق خوزستان پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها بیانگر مقدار بیش‌تر از ۲۰ (ppb) از فلز آرسنیک در چشمه‌های مورد مطالعه بوده است. بررسی‌های هیدروشیمی و آماری نمونه‌های آب و سنگ و همچنین همبستگی معنادار آرسنیک با کاتیون‌های اصلی و فلز نیکل و وانادیوم نشان داد که عوامل انسانزاد تأثیری در میزان آرسنیک نداشته‌اند و می‌توان منشأ آن را زمین زاد (سازند گچساران و ورود شورابه‌های نفتی) دانست. برای حفظ محیط زیست، بهداشت عمومی و کنترل آلودگی بایستی اطلاعات دقیقی از میزان آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین در محیط‌های آبی داشته باشیم. لذا این تحقیق به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش و مقایسه‌ی نتایج آن با استانداردهای ملی و جهانی صورت گرفت.

## ۲-۴- بررسی منشأ و تکامل هیدروشیمیایی

### ۲-۴-۱- استفاده از نسبت Na/Cl

به طور کلی در تفسیر هیدروژئوشیمی منابع آب، طبق نمودارهای دو متغیره، در صورتی که انحلال نمک منشأ شوری نمونه‌های آب باشد مقدار این نسبت برابر یک بوده و نمونه‌ها در نزدیکی خط انحلال نمک

واقع می‌گردند. از طرف دیگر هرچه مقدار شوری بیشتر باشد، نشانگر وجود انحلال نمک به عنوان محتمل‌ترین منشأ شوری در این منطقه است. همچنین انحراف کمی از خط می‌تواند به دلیل رخداد پدیده‌ی تبادل یونی برای یون سدیم باشد.

#### ۲-۴-۲- استفاده از نسبت $Ca/HCO_3$ و $Ca/SO_4$

در صورتی که احتمال انحلال سایر تبخیری‌ها به ویژه کارست‌های گچی و ژپس در منطقه‌ی مورد مطالعه باشد می‌توان با ترسیم نسبت کلسیم در مقابل سولفات، این پدیده را مورد ارزیابی قرار داد. بر این اساس ضمن انحلال ژپس، مقدار نسبت کلسیم به روی مقادیر سولفات، نزدیک به یک می‌گردد. انحلال کربنات‌ها نیز می‌تواند منشأ دیگری جهت افزایش مقادیر کلسیم در نمونه‌ها باشد. از طرف دیگر، ضمن افزایش مقدار کلسیم، مقدار کربنات نیز افزایش یافته و از این رو احتمال رخداد انحلال کربنات‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند.

#### ۲-۴-۳- استفاده از نسبت $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$

برای تعیین فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس از این نسبت استفاده می‌گردد. خط ۱:۱ نشانگر فرآیندهای انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس می‌باشند. نمونه‌هایی که در بالای این خط واقع می‌گردند حاوی تبادل یونی معکوس بوده و نمونه‌های واقع در زیر آن نشانگر فرآیند تبادل یونی معکوس می‌باشد.

#### ۲-۴-۴- استفاده از نسبت $Na/Cl$ در برابر $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$

برای تعیین فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس از دو نمودار ترکیبی که با استفاده از توابع بین متشکل‌های شیمیایی متأثر از فرآیند تبادل یونی ترسیم می‌گردد، استفاده می‌شود. خط ۱:۱ در این نمودار، نشان‌دهنده‌ی فرآیندهای انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس در نمونه‌ها می‌باشد. براساس این نمودار، در صورتی که افزایش غلظت کلسیم و منیزیم همراه با کاهش سدیم باشد، فرآیند تبادل یونی معکوس صورت گرفته و در غیر این صورت فرآیند تبادل یونی مستقیم را خواهیم داشت.

## ۵-۲- کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن در سیستم‌های کارستی

ایزوتوپ‌های محیطی به طور معمول در مطالعات ژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی به کار گرفته می‌شوند. ایزوتوپ‌های پایدار ( $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$ ) در آب به طور گسترده به عنوان ردیاب‌های طبیعی در درک فرآیندهای هیدروژئولوژیکی نظیر بارش، تغذیه‌ی آب زیرزمینی، ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و هیدرولوژی حوضه آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار ( $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$ ) در طبیعت تقریباً مشابه با ترکیب آن‌ها در آب‌های جوی باقی می‌ماند که این به معنای ثبت شرایط اولیه‌ی تشکیل آب‌های جوی است و می‌تواند به عنوان یک ردیاب طبیعی پایدار به کار گرفته شود. بر این اساس، بعد از جمع‌آوری اطلاعات آب جوی و ایزوتوپ‌های پایدار ( $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$ ) و تحلیل ساختار هیدروژئولوژیکی و جریان آب زیرزمینی در منطقه هدف، می‌توان شرایط نواحی تغذیه‌ای آب زیرزمینی و منابع مختلف تغذیه‌ای را تعیین کرد (Clark and Fritz, 1997). علاوه بر این مطالعه‌ی این ایزوتوپ‌ها می‌تواند در شناسایی نواحی مختلف تغذیه‌ی آبخوان به ما کمک کند. به دلیل پیچیده بودن آبخوان‌های کارستی، داده‌های ایزوتوپی قادر است که برخی از اطلاعات مهم کارست را در اختیار بگذارد. این داده‌ها می‌توانند بسیاری از اطلاعات لازم در مورد سفره‌های کارستی نظیر منشأ و سن آب‌های کارستی و همچنین سنگ‌های دربرگیرنده‌ی آن‌ها را مشخص سازند.

مبنای استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی در منابع آب، با کمک بررسی تغییرات مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  در منابع آبی و مقایسه‌ی آن نسبت به میانگین غلظت ایزوتوپ‌های محیطی در نزولات جوی منطقه می‌باشد. با بررسی تغییرات مقادیر ایزوتوپ‌های  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  در منابع آب سطحی و زیرزمینی و مقایسه‌ی آن نسبت به میانگین غلظت این دو ایزوتوپ در آب باران منطقه، می‌توان فرآیندهای تأثیرگذار بر چرخه‌ی هیدروژئولوژیک را ردیابی نمود. علاوه بر این با مطالعه‌ی ایزوتوپ‌های پایدار می‌توان به ارتفاع تغذیه در چشمه‌های کارستی، مناطق تغذیه‌ی آبخوان‌ها (Mazor, 2004)، تشخیص زمان پاسخ حوضه آبریز به بارش، تشخیص آبخوان‌های سطحی و عمقی از یکدیگر (Clark, 2015) و همچنین تعیین نوع



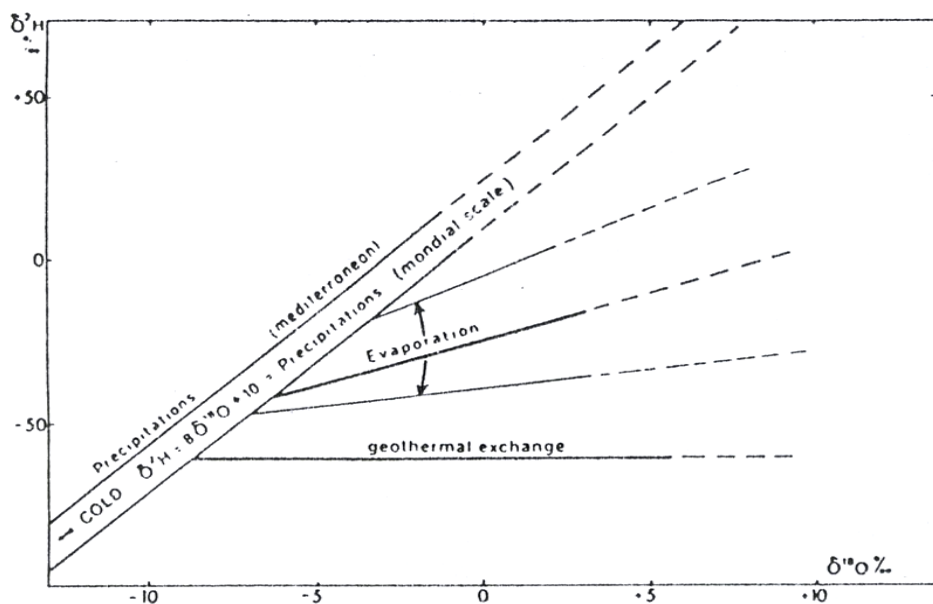
تغذیه و سیستم جریان آب در مجاری کارستی (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹) پی برد. ایزوتوپ‌های پایدار  $^2\text{H}\delta$  و  $\delta^{18}\text{O}$  به عنوان ردیاب‌های طبیعی واقع در مولکول‌های آب بوده که تغییرات چرخه‌ی آب را با دقت بالایی از ابتدا تا انتهای چرخه در خود ثبت می‌نمایند. زمانی که آب دستخوش تغییر فاز و اختلاط در چرخه می‌شود، نسبت ایزوتوپی نیز تغییر می‌کند. استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار بر مبنای تغییرات فراوانی ایزوتوپ‌های سنگین ( $^2\text{H}^{18}\text{O}$ ،  $\text{H D}^{16}\text{O}$ )، نسبت به ایزوتوپ‌های سبک معمولی ( $^2\text{H}^{16}\text{O}$ ) می‌باشد.

## ۶-۲- خط ایزوتوپی آب جوی منطقه و منشأ نزولات جوی

رسم خط ایزوتوپی آب‌های جوی منطقه و مقایسه‌ی آن با خط ایزوتوپی آب جوی جهانی (GMWL) اولین قدم برای مطالعات ایزوتوپی یک منطقه است. خط ایزوتوپی آب جوی محلی نیز منعکس کننده‌ی منشأ بخار آب و عملکرد فرآیندهای ثانویه نظیر تبخیر مجدد و اختلاط می‌باشد. همچنین غلظت ایزوتوپ‌های پایدار  $^2\text{H}\delta$  و  $\delta^{18}\text{O}$  در بارش، علامت مشخصه‌ی جریان ورودی به چرخه‌ی آب شناسی است. خط ایزوتوپ جوی نیز نشانگر منشأ بخار آب تشکیل دهنده‌ی بارش و مبنایی برای آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد. موقعیت آب‌های جوی بر روی خط ایزوتوپی بارش توسط مکانیسم‌هایی که منجر به بارش می‌گردد از قبیل مسیر مهاجرت توده بخار، اثرات فصلی و حرکت به سمت ارتفاعات یک منطقه کنترل می‌شود (Goldscheider and Drew, 2007). همچنین عواملی چون تبخیر در طی بارندگی، ویژگی‌های جغرافیایی منطقه و بارش‌های آبی و کوتاه مدت می‌توانند باعث تغییر ترکیب ایزوتوپی ناحیه ای و انحراف از خط آب جوی جهانی باشند (Clark and Fritz, 1997).

ایزوتوپ‌های محیطی پایدار اکسیژن ۱۸ ( $^{18}\text{O}$ ) و دوتریم ( $^2\text{H}$ ) برای تعیین منشأ آب زیرزمینی بکار می‌روند. بارش‌های جوی قبل از ورود به سفره زیرزمینی و رسیدن به سطح ایستابی تحت تأثیر جدایش قرار می‌گیرند. جدایش نیز تحت تأثیر عواملی همچون فشار، بخار و دما می‌باشد. فشار بخار مولکول‌های آب با ترکیب ایزوتوپی خاص، با جرمشان نسبت معکوس دارد. به عبارتی فشار بخار  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  به طور قابل

ملاحظه‌ای بیشتر از فشار بخار  $D_2^{18}O$  می‌باشد. براین اساس بخار آب از لحاظ ایزوتوپ‌های سبک نظیر  $H$  و  $^{16}O$  غنی شده در حالی که فاز مایع از ایزوتوپ‌های سنگین نظیر  $^2H$  و  $^{18}O$  غنی می‌گردد. افزایش دما باعث افزایش جدایش می‌شود، اما افزایش بیش از حد دما جدایش را به حداقل می‌رساند، چون در این صورت مولکول‌های سبک و سنگین به یک نسبت از فاز مایع جدا شده و به فاز بخار می‌پیوندند. بنابراین در ابتدای تبخیر آب اقیانوس‌ها، ایزوتوپ‌های سبک‌تر سریع‌تر از فاز مایع جدا می‌شوند. برعکس وقتی که در یک ابر قطره‌های باران بر اثر تراکم بخار آب تشکیل می‌گردند، فاز مایع غنی از  $D$  و  $^{18}O$  شده که با ادامه‌ی باران یا برف  $\delta^{18}O$  و  $\delta D$  به سمت مقادیر منفی سوق داده می‌شود (Faur. G, 1997). به طور کلی تفکیک ایزوتوپی به علت اثرات مختلفی همچون اثر خشکی، اثر کمی، اثر ارتفاع، اثر حرارت و اثر جغرافیایی صورت می‌گیرد. با توجه به ایستگاه‌های مختلف و اندازه‌گیری ایزوتوپی، رابطه‌ی  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  برای بارش اقیانوس برقرار می‌باشد که به آن خط آب جوی (Meteoric Water Line) گفته می‌شود (Craig, 1961). (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲: نمایش Meteoric Water Line و انحراف آن بوسیله تبخیر (Drever, 1982)

اگر آب تحت تأثیر تبخیر قرار بگیرد، انحرافی را از خط آب جوی نشان می‌دهد که در این صورت بسته به میزان تبخیر، Interception خط تغییر میکند. در شرق مدیترانه این مقدار ۲۲+ می‌باشد. مقدار Interception را به صورت دوتریم اضافی (Deuterium excess) بیان می‌کنند (Dansgrad, 1964).

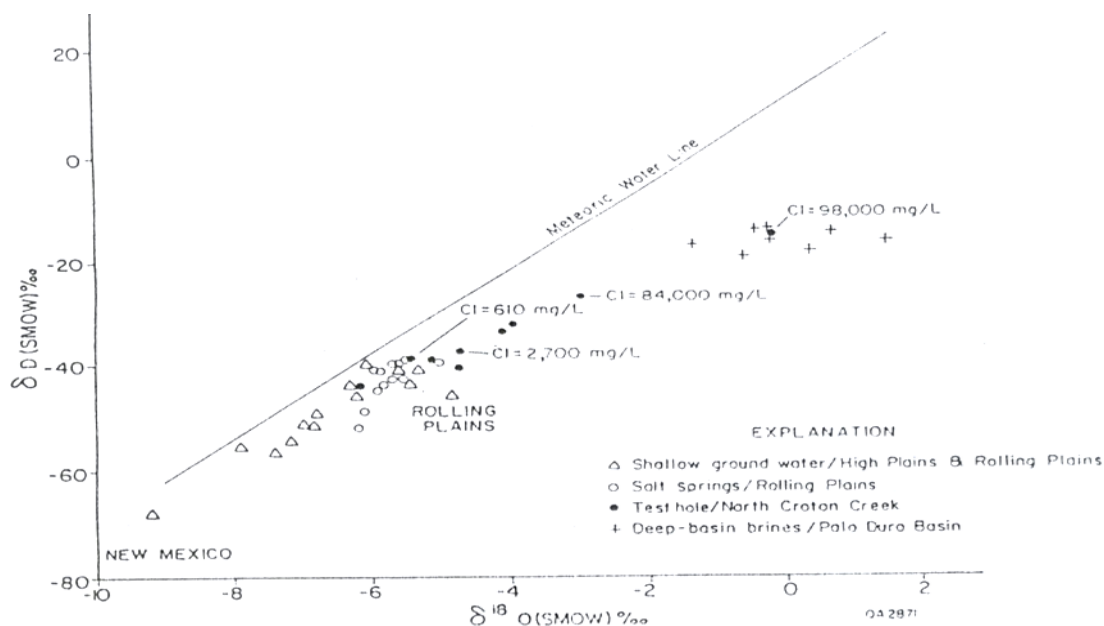
$$d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$$

از طرفی در درجه حرارت‌های بالا آب‌های زیرزمینی با مواد سازنده‌ی سفره تبادل  $^{18}\text{O}$  را انجام می‌دهند. یعنی اکسیژن ۱۸ سنگ‌ها (کلسیت) به آب وارد شده و در مقابل،  $^{16}\text{O}$  آب وارد سنگ می‌گردد. میزان این انتقال در آب به نسبت جرمی آب-کلسیت در حال واکنش و درجه حرارت و ترکیب ایزوتوپی بستگی دارد. اگر آب سریعاً وارد سفره گردد، نسبت مؤثر آب به کلسیت در حال واکنش زیاد بوده و بنابراین مقدار انتقال اکسیژن ۱۸ کم خواهد بود. تغییر مقدار اکسیژن ۱۸ به Oxygen shift معروف است و به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Peixian-China, 1988).

$$^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O} - (\Delta\text{D} - 10) / 8\delta\Delta$$

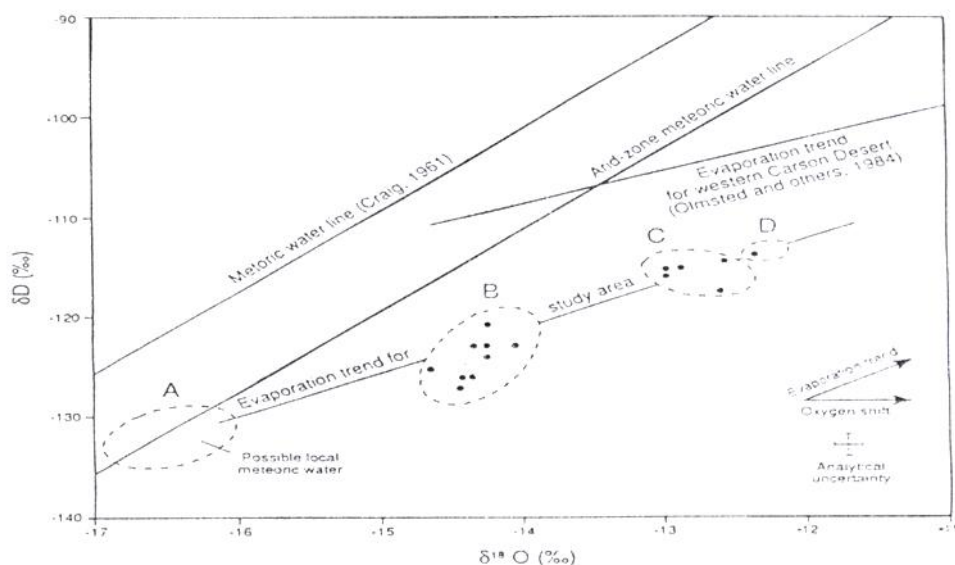
که در آن  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  میزان Oxygen shift می‌باشد. هر چه مقدار  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  بیش‌تر باشد، مدت زمان تماس آب با سنگ بیش‌تر بوده است (Drever, 1982).

اگر مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار چشمه‌های شور با ایزوتوپ‌های پایدار بارش‌های محلی مشابهت داشته باشد، بنابراین می‌توان گفت که منبع شوری، انحلال نمک در زیر سطح می‌باشد. تنها مشکلی که وجود دارد این است که آب یک چشمه‌ی شور ممکن است منشأهای گوناگونی داشته باشد و بنابراین شیمی آب و ایزوتوپ‌ها، منابع مشابهی را نشان ندهند (Richter, 1993). (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: تفکیک آب‌های تغذیه کننده محلی از آب‌های زیرزمینی غیر محلی با استفاده از  $\delta^{18}O$  و  $\delta D$

همانطور که در شکل بالا نشان داده شده است، آب‌های زیرزمینی محلی (دایره‌ها و مثلث‌های توخالی) در کنار Meteoric Water Line قرار می‌گیرند در صورتی که آب‌های زیرزمینی غیر محلی (دایره‌های توپر) در مقایسه با بارش محلی، غنی‌شدگی و یا کاهش را در مقدار ایزوتوپی نشان می‌دهند (Richter, 1993). نکته‌ی قابل توجه این است که نمونه‌های آب هم تحت تأثیر تبخیر و هم انتقال اکسیژن ۱۸ در نمودار  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  از روند خط بارش جوی دور می‌گردند. برای تشخیص این دو از یکدیگر کافی است که به روند و شیب خط‌های ایجاد شده توجه کرد. اگر نمونه‌ها تحت تأثیر تبخیر قرار گیرند، مقادیر  $\delta^{18}O$  و  $\delta D$  افزایش یافته و شیب خط در حدود ۱:۱ می‌باشد؛ اما اگر تحت تأثیر انتقال اکسیژن قرار گیرند، فقط مقدار  $\delta^{18}O$  در نمونه‌های آب افزایش می‌یابد و شیب خط ۱:۱ نخواهد بود. شکل (۲-۴) ترکیب ایزوتوپی را در آب‌های زیرزمینی دو منطقه که تحت تأثیر تبخیر قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد (Richter, 1993).



شکل ۲-۴: ترکیب ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر تبخیر. تحت این عمل غنی‌شدگی از لحاظ  $2H$  و  $18O$  با افزایش شوری دیده می‌شود. محدوده کربن بصورت زیر می‌باشد (Richter 1993)

$$A < 50 \text{ mg/l} \quad 910 < B < 1600 \text{ mg/l} \quad 3500 < C < 3700 \text{ mg/l} \quad D = 4200 \text{ mg/l}$$

مقایسه‌ی ترکیبات ایزوتوپی‌های پایدار اکسیژن ( $^{18}O$ ) و هیدروژن ( $^2H$ ) موجود در آب حاصل از بارندگی (چه آب حاصل از باران یا ذوب برف) و آب زیرزمینی کارستی می‌تواند یک ابزار ارزشمند برای ارزیابی مکانیسم تغذیه باشد (Barbieri et al., 2005; Yeh et al., 2011). امروزه استفاده از این ابزار طرفداران زیادی را در دنیا به خود جلب کرده است که به چند مورد از آن‌ها اشاره شده است.

کیل و همکاران (۲۰۰۷)، ترکیب ایزوتوپی‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن را در بارش‌ها و آب زیرزمینی بررسی نموده و به اطلاعاتی در مورد ترکیب‌های ایزوتوپی در فصل بارش و همچنین محل‌های تغذیه آب زیرزمینی دست یافتند. در این تحقیق، میزان غنی‌شدگی ایزوتوپی‌های پایدار به عنوان تابعی از ارتفاع معرفی شده و نقاط تغذیه‌ی آب زیرزمینی تعیین شده است.

باقری‌شده و همکاران (۱۳۸۶)، برای تعیین منشأ چشمه‌های کارستی، از ایزوتوپی‌های پایدار هیدروژن و اکسیژن استفاده کردند و با در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی و نتایج مطالعات ایزوتوپی چشمه‌های منطقه، منشأ چشمه‌ها را تعیین نمودند.

(Mandic et al. 2008)، توانستند با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار، اطلاعات مهمی را در رابطه با میانگین ارتفاع مناطق تغذیه چشمه‌های اصلی حوضه آبریز رودخانه‌ی گاکاکرواسی به دست آورند.

(Schwarz et al. 2009)، با مقایسه‌ی ترکیبات ایزوتوپی بارندگی و تخلیه آب زیرزمینی، اختلاط بین بخش‌های مختلف مخازن آب زیرزمینی یکی از شناخته شده‌ترین و بزرگ‌ترین مناطق کارستی آلمان را مورد ارزیابی قرار دادند.

مارکوس و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از داده‌های ایزوتوپی عواملی چون منشأ تغذیه، اختلاط آب، بر هم کنش آب و سنگ، سن نسبی و مطلق و نوع جریان را در آبخوان کارستی واقع در بخش مرکزی کشور پرتغال تعیین کردند.

کرمی و همکاران (۱۳۹۰)، به منظور بررسی ارتباط آبخوان کارستی چشمه امام قیس در شهرستان بروجن، از مطالعات هیدروژئوشیمی، هیدروژئولوژی و ایزوتوپی استفاده کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که به دلیل تفاوت زیاد کیفیت و نیز سنگین تر بودن ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن در آب چشمه، انتقال آب از آبخوانی که چشمه را تغذیه می‌نماید، با آبخوان تأمین کننده‌ی آب چاه صورت نمی‌گیرد.

محمدزاده و حیدرزاده (۱۳۹۰)، به انجام بررسی هیدروشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار ( $\delta^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}\delta$ ) در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه کارستی آندرخ پرداختند. اندازه‌گیری و بررسی داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار در منابع موجود و موقعیت آن‌ها بر روی خط ایزوتوپی آب باران مشهود نمایانگر ارتباط هیدرولیکی مابین آب دریاچه‌ی سد کارده با منابع آب زیرزمینی پایین دست می‌باشد. نتایج ایزوتوپی همچنین تأیید می‌کند که چشمه‌ی آندرخ نسبت به سایر منابع آب زیرزمینی در منطقه، بیشتر از منابع آب سطحی تغذیه می‌گردد.

هان و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی ایزوتوپ‌های پایدار و یون‌های اصلی، فرآیندهای هیدرولوژیکی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی آبخوان کارستی جنوب غربی چین را مورد بررسی قرار دادند.

جامز و همکاران (۲۰۱۴)، از سری زمانی ایزوتوپ‌های پایدار استفاده نموده و زمان ماندگاری نسبی آب را تعیین کردند.

مصطفی و همکاران (۲۰۱۵)، در نزدیکی دو محدوده‌ی پاره و جوانرود در کشور عراق با توجه به داده‌های ایزوتوپی و هیدروژئوشیمی، آبخوان‌های تغذیه‌کننده‌ی منابع را مشخص کرده و رابطه‌ی بین بارش و پارامترهای ایزوتوپی را به کمک رسم خط ایزوتوپ محلی در کردستان عراق به دست آوردند.

منژ و لیو (Meng and Liu, 2016)، خصوصیات ایزوتوپی بارندگی، آب حاصل از ذوب، آب رودخانه و منابع آب زیرزمینی را مورد مقایسه قرار دادند و به نتایج ارزشمندی دست یافتند.

رفیق‌دوست و همکاران (۱۳۹۵)، جهت تعیین منشأ آب به مطالعه‌ی ایزوتوپ‌های پایدار  $^{18}\text{O}$  و دوتریوم در چشمه‌های منطقه‌ی تنگ بیجار واقع در غرب استان ایلام پرداختند. این مطالعات نشان می‌دهد که آب چشمه‌های منطقه، مستقیماً از نزولات جوی منشأ گرفته و به دلیل آن که منطقه از نظر آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، تبخیر و تفکیک ایزوتوپی در آن تأثیر بسزایی داشته است.

محمدی بهزاد و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی منابع تغذیه‌ی چشمه‌های کارستی مهم استان خوزستان به کمک ایزوتوپ‌های پایدار پرداختند. از این رو محتوی ایزوتوپ‌های پایدار  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$  تمامی منابع آب موجود در منطقه‌ی تغذیه و تخلیه طی دو دوره تر و خشک تعیین گردید. سپس با استفاده از این نتایج ایزوتوپی و خط آب جوی محلی به بررسی منشأ تغذیه چشمه‌های منطقه هدف پرداخته شده و ارتفاع منطقه‌ی تغذیه و سهم تغذیه احتمالی این چشمه‌ها از منابع آب موجود در منطقه تعیین گردید.

محمدزاده و اسکندری (۱۳۹۷)، از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی جهت تعیین ویژگی‌های منابع مهم محدوده‌های مطالعاتی پاره و جوانرود در استان کرمانشاه استفاده نمودند. در این راستا بررسی محتوای ایزوتوپی منابع آبی و مقایسه‌ی آن با خط ایزوتوپی آب جوی پاره، نمایانگر سه گروه منبع آبی است: گروه اول که به علت تهی شدگی ایزوتوپی از ارتفاعات و در فصول سرد سال تغذیه می‌شوند و به دلیل حرکت سریع (سیستم مجرای)، آب‌های کارستی زمان ماندگاری کمی دارند. منابع آبی گروه

دوم غنی شدگی داشته و علاوه بر بارش، اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز بر آن‌ها تأثیر گذاشته و زمان ماندگاری بیشتری نسبت به گروه اول دارند. گروه سوم (رودخانه‌ها) به دلیل تبخیر، غنی شدگی بیشتری نسبت به سایر منابع دارند. همچنین ارتفاع متوسط تغذیه‌ی تمام منابع آبی کارستی تطابق قابل توجهی را با ارتفاع سینک‌هول‌های کارستی در منطقه دارد.



## فصل سوم: مواد و روش ها

به منظور بررسی دقیق و جامع هر مطالعه، جمع‌آوری و کسب اطلاعات از محدوده‌ی مطالعاتی امری مهم و ضروری می‌باشد. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی هفت‌رنگ تاش توسط مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفت. به طور کلی در این پژوهش، موارد زیر انجام شده است:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی و نقشه‌های زمین‌شناسی
  - بازدیدهای صحرایی و زمین‌شناسی به منظور بررسی توسعه‌ی کارست
  - نمونه‌برداری ماهانه از چشمه‌های منطقه از دی ۹۶ تا مهر ۹۷
  - آنالیز عناصر اصلی نمونه‌ها در آزمایشگاه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی
  - آنالیز فلزات سنگین در شرکت زرآما
  - انجام آنالیز ایزوتوپی نمونه‌ها در سازمان انرژی اتمی
  - ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی نمونه‌ها و مطالعه‌ی کمی و کیفی آن‌ها با استفاده از داده‌ها و نتایج آنالیزهای شیمیایی
  - تعیین مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌ی کارستی منطقه
- در ادامه موارد ذکر شده به صورت جداگانه و به طور مختصر شرح داده خواهد شد.

### ۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

- جهت بررسی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، اولین گام جمع‌آوری آمار و اطلاعات موجود در رابطه با آن می‌باشد. در اینجا نیز به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی هفت‌رنگ تاش، اطلاعات زیر جمع‌آوری گردید:
- جمع‌آوری آمار بارش و درجه حرارت مربوط به منطقه‌ی تاش از سازمان هواشناسی شاهرود جهت ترسیم نمودار بارش و ارتفاع منطقه
  - مراجعه به سایت سازمان زمین‌شناسی و تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد گرگان

## ۲-۲- بازدیدهای صحرائی و زمین‌شناسی

جهت بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی یک منطقه بایستی زمین‌شناسی آن مورد مطالعه قرار گیرد که این امر توسط نقشه‌های زمین‌شناسی میسر می‌گردد. از این رو، برای شناسایی منطقه‌ی مورد مطالعه از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد استفاده شده است. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز با استفاده از نقشه‌ی ذکرشده و بازدیدهای صحرائی صورت گرفته در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم و رقومی گردید. در بررسی‌های ژئومورفولوژی کارست سعی شده تا با ارزیابی درصد پوشش خاک، نوع بارش و عوارض کارستی و نیز درصد تغذیه‌ی سالانه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه برآورد شده و توسعه‌ی کارست در محدوده‌ی حوضه آبگیر بررسی گردد.

## ۳-۳- نمونه‌برداری از چشمه‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه نمونه‌برداری طی ۷ ماه از دی‌ماه ۹۶ تا مهر ۹۷ و در ۷ نقطه انجام گرفت. در هر نمونه‌برداری از بطری‌های پلاستیکی مخصوص با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتری استفاده گردید. از هر نقطه دو نمونه (یکی برای آنالیز هیدرووشیمیایی و اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و یکی جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و ایزوتوپی) برداشت شد. هنگام نمونه‌برداری از چشمه‌ها، جهت جلوگیری از هر آلودگی ظروف نمونه قبل از عمل نمونه‌برداری سه مرتبه با آب چشمه‌ها شستشو داده شد. ظروف نمونه از آب چشمه پر شده و درب نمونه‌ها محکم بسته شد سپس اطلاعاتی چون محل و زمان نمونه‌برداری به همراه نام نمونه‌ها نیز بر روی هر بطری درج گردیده و به آزمایشگاه آب و زمین‌شناسی زیست محیطی واقع در دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال داده شد که حداکثر تا ۴۸ ساعت بعد مورد آنالیز شیمیایی قرار گیرد.

### ۳-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه‌ها

در محل نمونه‌برداری خصوصیات فیزیکی شامل دبی و درجه حرارت آب و خصوصیات شیمیایی همچون هدایت الکتریکی (EC) و pH اندازه‌گیری شد. روش اندازه‌گیری این خصوصیات به طور مختصر ارائه می‌گردد:

#### ۳-۴-۱- اندازه‌گیری دبی چشمه‌ها

یکی از پارامترهای بسیار مهم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی چشمه‌ها، مقدار دبی و تغییرات زمانی آن می‌باشد. طبق تعریف دبی عبارت از حجم آبی است که در واحد زمان از یک مقطع عبور نماید. جهت اندازه‌گیری دبی در منطقه‌ی مورد مطالعه از روش جسم شناور استفاده شده است. به این منظور ابتدا یک مسیر مستقیم و عاری از هر گونه گیاه یا جسم اضافه انتخاب می‌شود. یک جسم شناور مثل یک تکه چوب که بر روی آب شناور بماند انتخاب شده و در فاصله مشخص رها می‌گردد تا زمان رسیدن آن از ابتدا تا انتهای مسیر تعیین شود. اگر فاصله زمانی  $t$  و فاصله دو نقطه  $x$  باشد، سرعت سطحی  $V_s$  از معادله (۳-۱) به دست می‌آید:

$$V_s = x/t \quad \text{معادله‌ی (۳-۱)}$$

رابطه بین سرعت سطحی و سرعت متوسط آب در مقطع کانال خطی است که با استفاده از معادله (۳-۲) محاسبه می‌شود:

$$V_a = k \cdot V_s \quad \text{معادله‌ی (۳-۲)}$$

ضریب  $k$  بستگی به ارتفاع آب در کانال دارد و مقدار آن بین  $0/6$  تا  $0/9$  متغیر است که معمولاً  $0/8$  در نظر گرفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۰). اگر سرعت متوسط آب  $V_a$  و  $A$  سطح مقطع جریان باشد، مقدار آبدهی برابر است با:

$$Q = A \cdot V_a \quad \text{معادله‌ی (۳-۳)}$$

### ۳-۴-۲- اندازه‌گیری درجه حرارت

یکی دیگر از پارامترهای فیزیکی مهم، درجه حرارت آب می‌باشد. تغییرات این پارامتر در ارزیابی نوع جریان در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت است. برای اندازه‌گیری این پارامتر از دماسنج جیوه‌ای با دقت اندازه‌گیری یک دهم درجه سانتی‌گراد استفاده شده است.

### ۳-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

یکی از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب، هدایت الکتریکی می‌باشد چرا که این پارامتر با املاح جامد حل‌شده در آب (TDS) رابطه‌ی مستقیم دارد. جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب منطقه از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (EC) مدل WP-84 ساخت آمریکا در محل نمونه‌برداری استفاده گردید (شکل ۳-۱).

### ۳-۴-۴- اندازه‌گیری pH

مقدار (pH) آب به عواملی نظیر مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. هر چه مقدار دی‌اکسید محلول در آب افزایش یابد، از مقدار pH کاسته می‌شود. مقدار pH در تجزیه و تحلیل داده‌ها، به ویژه در محاسبه‌ی اندیس اشباع کلسیت (SIC) و دولومیت (SID) از اهمیت زیادی برخوردار است از این رو pH نمونه‌های آب چشمه‌های مورد مطالعه در محل به وسیله‌ی دستگاه pH متر سانتکس (Suntex) مدل Sp-701 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری برابر با یک صدم واحد می‌باشد. لازم به ذکر است که به منظور کاهش میزان خطای اندازه‌گیری ابتدا الکتروود دستگاه با آب چشمه‌ها شسته شده و سپس مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۳-۱- نمونه برداری از چشمه‌های مورد مطالعه و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف.

### ۳-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

نمونه‌های برداشت شده از چشمه‌های مورد مطالعه، جهت اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی به آزمایشگاه آب و زمین‌شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند. در آزمایشگاه کاتیون‌هایی نظیر کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آنیون‌هایی مانند کربنات، بی‌کربنات، کلر و سولفات اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۲). سپس با استفاده از نتایج حاصله پارامترهایی چون درصد خطای آزمایش، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، کل جامدات محلول و سختی کل محاسبه گردید.

### ۳-۵-۱- اندازه‌گیری آنیون‌ها

#### ۳-۵-۱-۱- اندازه‌گیری یون کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

نمونه‌هایی که مقدار اسیددیتتهی آن‌ها از  $\frac{۸}{۲}$  کم‌تر است، فاقد یون کربنات می‌باشند. با توجه به این که مقدار pH نمونه‌های آنالیز شده در اکثر نمونه‌ها در طی ماه‌های مختلف کم‌تر از این مقدار بود، از این رو یون کربنات در بسیاری از نمونه‌ها موجود نمی‌باشد. اندازه‌گیری این یون با شناساگر فنول فتالین به روش حجم‌سنجی (Titration) با اسید سولفوریک انجام شد.

### ۳-۵-۱-۲- اندازه‌گیری یون بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )

جهت اندازه‌گیری یون بی‌کربنات از شناساگر متیل اورانژ و تیترانت اسید سولفوریک  $1/40$  نرمال به روش تیتراسیون استفاده شد.

### ۳-۵-۱-۳- اندازه‌گیری یون کلر ( $\text{Cl}^-$ )

جهت آنالیز یون کلر در نمونه‌های مورد بررسی از روش تیتراسیون با نیترات نقره  $0/1$  نرمال و شناساگر کرومات پتاسیم  $5$  درصد استفاده گردید.



۳-۲- آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه در آزمایشگاه به روش تیتراسیون.

### ۳-۵-۱-۴- اندازه‌گیری یون سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

جهت اندازه‌گیری یون سولفات از دستگاه Hanna مدل HI 93751 استفاده شد. بدین صورت که پس از آماده‌سازی نمونه‌ها اقدام به اضافه نمودن پودر باریت ( $0/143$  گرم) شد. پس از به هم زدن محلول و صفر کردن دستگاه، نمونه در محفظه مخصوص قرار داده شد. در نهایت پس از گذشت مدت زمان  $5$  دقیقه مقدار سولفات نمونه قرائت گردید. همچنین برای نمونه‌هایی که مقدار سولفات آن‌ها بالاتر از حد استاندارد تعریف شده برای دستگاه سولفات‌سنج مذکور بود، از دستگاه سولفات‌سنج دیگری به نام توربیدی‌متر استفاده شد؛ به این صورت که با رقیق کردن نمونه و گذاشتن آن در دستگاه می‌توان مقدار سولفات را محاسبه کرد. شکل ۳-۳ دستگاه‌های آنالیز یون سولفات را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- اندازه‌گیری سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های کدورت‌سنج.

### ۳-۵-۲- اندازه‌گیری کاتیون‌ها

#### ۳-۵-۲-۱- اندازه‌گیری یون کلسیم ( $Ca^{2+}$ )

یون کلسیم نیز با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. که در آن از مروکسید به عنوان معرف و چند قطره KOH (هیدروکسید پتاسیم) ۲ نرمال جهت بالا بردن pH نمونه و محلول EDTA (ترکیب سه‌تایی نمک سدیم) به عنوان تیترانت استفاده گردید.

#### ۳-۵-۲-۲- اندازه‌گیری یون منیزیم ( $Mg^{2+}$ )

از آنجایی که روش تیتراسیون مستقیمی جهت اندازه‌گیری یون منیزیم وجود ندارد، ابتدا مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم نمونه با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شده و سپس از مقدار کلسیم به دست آمده کم شد و در نهایت میزان یون منیزیم محاسبه گردید. بنابراین جهت اندازه‌گیری مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون از اریوبلکتی (EBT) به عنوان معرف، pH<sub>10</sub> (بافر آمونیاکی) جهت افزایش pH و محلول EDTA به عنوان تیترانت استفاده شد.



### ۳-۵-۲-۳- اندازه‌گیری یون‌های سدیم ( $\text{Na}^+$ ) و پتاسیم ( $\text{K}^+$ )

جهت اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم از دستگاه نورسنج شعله‌ای (Flame photometer) استفاده شد (شکل ۳-۴). لازم به ذکر است که قبل از اندازه‌گیری غلظت یون‌های مذکور دستگاه مربوطه با محلول‌های استاندارد کالیبره شده است.



شکل ۳-۴- دستگاه اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم (نورسنج شعله‌ای).

### ۳-۵-۳- محاسبه درصد خطای آزمایش

معمولاً اندازه‌گیری غلظت عناصر با استفاده از روش معمول آزمایشگاهی (تیتراسیون و نورسنجی) با خطا همراه است. این خطا ممکن است گاهی از حد مجاز فراتر رفته و منجر به اشتباهاتی در نتایج تحلیل پارامتری و نمونه‌برداری گردد. برای بررسی صحت نتایج، از معادله درصد خطای واکنش استفاده شده است.

$$\text{معادله (۳-۴)} \quad \text{درصد خطا} = \left| \frac{\sum \text{آنیون‌ها} - \sum \text{کاتیون‌ها}}{\sum \text{آنیون‌ها} + \sum \text{کاتیون‌ها}} \right| \times 100$$

در رابطه فوق مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر می‌باشد.

### ۳-۵-۴- سختی کل (Total Hardness)

به منظور محاسبه سختی کل نمونه‌های آب از معادله (۳-۵) استفاده شده است.

$$\text{معادله (۳-۵)} \quad H = 2.5[Ca^{+2}] + 4.1[Mg^{+2}]$$

در این معادله (H) سختی کل برحسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم معادل می‌باشد. غلظت منیزیم و کلسیم نیز برحسب میلی‌گرم در لیتر در رابطه وارد می‌شود.

### ۳-۵-۵- کل مواد جامد محلول (TDS)

جهت محاسبه کل جامدات محلول در آب زیرزمینی از رابطه (۳-۶) استفاده می‌شود.

$$\text{TDS} = \sum \text{Ions} + \text{SiO}_2 \quad \text{معادله (۳-۶)}$$

در این رابطه (TDS) کل جامدات محلول در آب برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

### ۳-۵-۶- نسبت جذب سدیم

زمانی که سدیم به مقدار زیاد در محلول خاک وجود داشته باشد، به جای جذب کلسیم و منیزیم از خاک توسط ریشه‌ها، سدیم جذب می‌شود و نسبت جذب سدیم بالا موجب کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود. نسبت جذب سدیم با استفاده از معادله‌ی (۳-۷) محاسبه شده است که در این معادله غلظت کلیه یون‌ها برحسب epm یا میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad \text{معادله (۳-۷)}$$

### ۳-۵-۷- درصد سدیم (Sodium percentage)

درصد سدیم با استفاده از معادله (۳-۸) محاسبه شده است، در این معادله نیز غلظت کلیه یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

$$\text{Na}\% = \frac{(\text{Na} + \text{k})}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۸)}$$

### ۳-۶- محاسبه‌ی ضرایب اشباع

اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، هالیت و ژیپس چهار پارامتر مهم در تفسیر شرایط هیدروشیمیایی آب‌های چشمه‌ای کارستی و دیگر منابع آبی می‌باشند. محاسبه‌ی این پارامترها توسط نرم‌افزار PhreeQc

صورت گرفته است. مقادیر بالای صفر در اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت نشان دهنده حالت فوق اشباع و مقادیر صفر و زیر صفر بیانگر حالت تحت اشباع می‌باشد.

### ۳-۷- نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی و دو متغیره به منظور تغییرات یونها نسبت به هم و همچنین فرآیندهای تأثیرگذار بر شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله‌ی این نمودارها می‌توان به نمودارهایی مانند سدیم در برابر کلر، نسبت کلسیم به بی‌کربنات و سولفات، مجموع کلسیم و منیزیم در برابر مجموع بی‌کربنات و سولفات و غیره اشاره نمود.

### ۳-۸- تعیین مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌های هفت‌رنگ تاش

شناسایی حوضه آبرگیر به منظور تخمین حجم منابع آب زیرزمینی، جهت و سرعت انتقال آلودگی اهمیت فراوانی دارد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از تلفیق روش‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مدنظر قرار دادن حوضه آبرگیر چشمه‌های مجاور، محدوده حوضه آبرگیر چشمه کارستی و مساحت آن محاسبه شد. برای حوضه آبرگیر مشخص شده، مقادیر بارش سالیانه از روش نمودار ارتفاع بارش ایستگاه‌های مجاور تعیین گردید. همچنین با توجه به بازدهی‌های صحرائی به عمل آمده از محدوده درصد تغذیه سالیانه برآورد شد. با داشتن مساحت حوضه آبرگیر و مقادیر بارش و درصد تغذیه سالیانه، حجم تغذیه سالیانه در حوضه آبرگیر مقدماتی با استفاده از معادله (۳-۹) به دست آمد. علاوه بر این، حجم تخلیه سالیانه از طریق هیدروگراف سالیانه چشمه نیز محاسبه شد. در انتها با مقایسه مقادیر حجم تغذیه و تخلیه سالیانه دقت ترسیم معادله (۳-۹) حوضه مقدماتی بررسی و در صورت نیاز تصحیحاتی روی آن اعمال گردید.

$$A = \frac{V}{PR} \quad \text{معادله (۳-۹)}$$

در این رابطه  $P$  میانگین سالیانه بارش در حوضه آبرگیر چشمه بر حسب متر،  $R$  درصد نفوذ بارندگی بدون واحد،  $A$  مساحت حوضه آبرگیر با واحد مترمربع و در نهایت  $V$  میانگین تخلیه‌ی سالیانه چشمه با واحد مترمکعب می‌باشد.

### ۳-۹- آنالیز فلزات سنگین و ایزوتوپی

نمونه‌های برداشت شده از چشمه‌ها جهت آنالیز فلزات سنگین، ابتدا از فیلتر ۲۵ میکرون عبور داده شده و سپس به هر نمونه چند قطره اسید نیتریک ۰/۲ مولار اضافه گردید تا اسیدیته‌ی آب به کمتر از ۲ کاهش یابد. اسیدی کردن نمونه‌ها به منظور تثبیت و جلوگیری از تغییر خواص شیمیایی آن‌ها می‌باشد. نمونه‌ها بلافاصله جهت آنالیز فلزات بالقوه سمی به شرکت زرآزما انتقال یافتند. نتایج حاصل از مطالعه‌ی غلظت فلزات سنگین و مقایسه‌ی آن‌ها با حد مجاز استانداردهای جهانی در فصل چهار ارائه شده است. همچنین جهت آنالیز ایزوتوپی نیز تعدادی نمونه با رعایت تمام نکات مربوط به نمونه‌برداری برداشت شده و سپس به سازمان انرژی اتمی منتقل گردید.



شکل ۳-۵- نمونه برداری از فلزات سنگین در منطقه‌ی مورد مطالعه.

### ۳-۱۰- محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب

#### ۳-۱۰-۱- درجه آلودگی

با استفاده از شاخص درجه آلودگی، کیفیت و میزان آلودگی آب مشخص می‌گردد. این شاخص برای هر نمونه آب جداگانه حساب می‌شود. به این ترتیب اثرات ترکیبی چندین پارامتر مؤثر بر کیفیت آب مشخص می‌گردد. درجه آلودگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Tijani, 2009).

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad \text{رابطه (۳-۱۰)}$$

$$Cfi = \frac{CAi}{CNI} \quad \text{رابطه (۳-۱۱)}$$

در این رابطه  $Cfi$  ضریب آلودگی،  $CAi$  مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده و  $CNI$  غلظت استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای پارامتر نام می‌باشد. با استفاده از مقادیر  $Cd$  می‌توان سطح آلودگی آب را به ۳ رده تقسیم کرد. مقادیر  $Cd < 1$  آلودگی پایین، مقادیر ۱ تا ۳ آلودگی متوسط و  $Cd > 3$  آلودگی بالا را نشان می‌دهد.

#### ۳-۱۰-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین

شاخص آلودگی فلزات سنگین برای بررسی آلوده بودن آب شرب استفاده می‌گردد و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Monhan et al, 1996).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n WiQi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad \text{رابطه (۳-۱۲)}$$

$Wi$  وزن پارامتر نام است که از طریق معکوس استاندارد ( $Wi = \frac{1}{Si}$ ) محاسبه می‌شود و  $Si$  مقدار استاندارد برای فلز،  $n$  تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده و  $Qi$  زیر شاخص پارامتر نام فلزات بالقوه سمی است که طبق این رابطه محاسبه می‌شود:

$$Qi = \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Ii|}{(Si - Ii)} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۱۳)}$$

در این رابطه،  $Ii$  مقدار ایده‌آل برای فلز است و  $Mi$  مقدار غلظت فلز سنگین محاسبه شده است. در این شاخص اگر  $HPI$  بیشتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است. در صورتی که  $HPI$  برابر با ۱۰۰

باشد، آب در آستانه آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد، اگر HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است.

### ۳-۱۰-۳- شاخص کیفی (WQI)

این شاخص توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۳ تدوین شده است. برای محاسبه شاخص کیفی آب حداقل ۳ پارامتر مورد نیاز است و براساس وزن‌دهی برای هر پارامتر با توجه به استاندارد آب شرب که توسط سازمان بهداشت جهانی مطرح شده است، کیفیت آب را بین صفر تا بی‌نهایت مشخص می‌کند. هر چه عدد شاخص بیشتر باشد آب کیفیت کمتری برای مصارف شرب دارد (WHO, 2008). برای محاسبه WQI سه مرحله لازم است:

۱- وزن‌دهی به پارامترهای در نظر گرفته شده با توجه به جدول (۳-۱) بر اساس اهمیت هر پارامتر

جدول ۳-۱: مقادیر وزن پارامترهای آب و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008)

پارامتر	وزن	Wi	استاندارد سازمان بهداشت جهانی
Ca <sup>2+</sup>	۲	۰/۰۸	۷۵
Mg <sup>2+</sup>	۱	۰/۰۴	۵۰
Na <sup>+</sup>	۲	۰/۰۸	۲۰۰
K <sup>+</sup>	۲	۰/۰۸	۱۲
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۳	۰/۱۲	۳۰۰
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	۴	۰/۱۶	۲۵۰
Cl <sup>-</sup>	۳	۰/۱۲	۲۵۰
EC	۴	۰/۱۶	۵۰۰
pH	۲	۰/۰۸	۷/۵
TH	۲	۰/۰۸	۱۵۰

۲- وزن نسبی از رابطه (۳-۱۴) محاسبه می‌شود.

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{رابطه (۳-۱۴)}$$

۳- مقیاس رتبه‌بندی کیفی (qi) با استفاده از تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد

سازمان بهداشت جهانی محاسبه شده و در ۱۰۰ ضرب می‌شود.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۱۵)}$$

$$SI_i = W_i \times q_i \quad \text{رابطه (۳-۱۶)}$$

برای محاسبه WQI باید  $SI_i$  را برای هر پارامتر حساب کرد:

$$WQI = \sum SI_i \quad \text{رابطه (۳-۱۷)}$$

که در این رابطه  $SI_i$  زیر شاخص پارامترها،  $q_i$  رتبه‌بندی براساس غلظت هر پارامتر و  $n$  تعداد

پارامترها می‌باشد. سپس مقادیر WQI محاسبه شده برای هر نمونه آب بر اساس جدول (۳-۲)

توصیف می‌شود.

جدول ۲-۳ مقادیر WQI و رده‌بندی سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1998)

کیفیت آب	مقدار شاخص
عالی	$WQI < 50$
خوب	50-100
ضعیف	100-200
خیلی ضعیف	200-300
غیر قابل شرب	$WQI > 300$

### ۳-۱۱- روش‌های آماری تحلیل داده‌ها

به منظور تفسیر داده‌ها و ارزیابی منشأ احتمالی عناصر و توجیه رفتار شیمیایی آنها در منابع آب

زیرزمینی، روش‌های آماری چند متغیره، شامل ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی با

استفاده از نرم افزار SPSS 19 محاسبه شدند.

#### ۳-۱۱-۱- ضریب همبستگی

از ضرایب همبستگی برای تعیین منشأ احتمالی عناصر، بررسی روابط بین عناصر و ارزیابی تأثیر

پارامترهای محیطی بر کیفیت آب استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی بین +۱ تا -۱ می‌کند. علامت

مثبت بیانگر همبستگی مثبت و علامت منفی، بیانگر همبستگی منفی بین دو متغیر است.

### ۳-۱۱-۲- تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای عناصر یک روش تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی است که بیشتر به منظور طبقه‌بندی عناصر مورد بررسی در گروه‌ها یا زیرگروه‌ها است، به گونه‌ای که اختلاف بین عناصر در هر گروه حداقل و با گروه‌های دیگر حداکثر شود. در این مطالعه برای خوشه‌بندی عناصر از روش ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.



فصل چهارم: بررسی خصوصیات هیدروژنولوژیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه های همفت -

رنک تاش

آبخوان‌های کارستی جریان آب زیرزمینی را غالباً به یک یا چند چشمه‌ی کوچک و بزرگ تخلیه می‌کنند. بنابراین بررسی رفتار چشمه‌های موجود در این آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار سودمندی از فرآیندهای تغذیه‌ای، نوع جریان و ظرفیت ذخیره‌سازی و نیز سایر خصوصیات هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها ارائه دهد (Ford and Williams, 2007). در این پژوهش جهت بررسی تغییرات فیزیکی، تغییرات آبدهی و دمای چشمه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است همچنین مطالعاتی بر روی خصوصیات شیمیایی چشمه‌ها نظیر تغییرات غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و نیز روند تغییرات هدایت الکتریکی انجام یافته است. در نهایت نیز براساس مقادیر دبی اندازه‌گیری شده مربوط به چشمه‌ها طی یک دوره‌ی هفت ماهه و ترسیم هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارستی به بررسی توسعه‌ی کارست در منطقه پرداخته شد. همچنین در ادامه به بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در این چشمه‌ها پرداخته شده است.

#### ۴-۱- خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش

به ظهور طبیعی و متمرکز آب‌های زیرزمینی در سطح زمین، چشمه می‌گویند. یکی از مهم‌ترین عوارض هیدروژئولوژیکی مناطق کارستی، چشمه‌های کارستی می‌باشد. سنگ میزبان چشمه‌ی کارستی موجود در منطقه‌ی تاش، سازند آهکی لار بوده و چشمه‌ی مزبور از میان درز و شکاف‌های موجود در سازند یادشده جریان دارد. شکل (۴-۱) نمایی از این چشمه را نشان می‌دهد. در این پژوهش جهت درک بهتر مشخصات هیدرودینامیکی منطقه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش، خصوصیات هیدروژئولوژیکی آن مورد بررسی واقع شد. جدول (۴-۱) مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی هفت‌رنگ را نشان می‌دهد که به منظور تفسیر و تحلیل خصوصیات هیدروژئولوژیکی استفاده شده است.



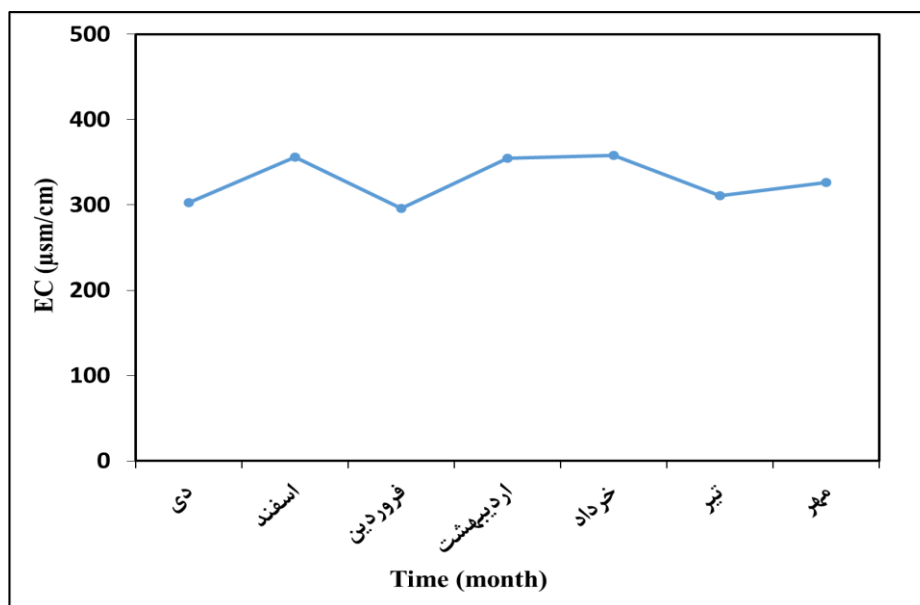
شکل ۴-۱- نمایی از چشمه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش

جدول ۴-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در مظهر چشمه کارستی هفت‌رنگ (از دی ۱۳۹۶ تا مهرماه ۱۳۹۷)

درجه حرارت (°C)	pH	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{Sm}/\text{cm}$ )	دبی چشمه (l/s)	تاریخ نمونه‌برداری
۶/۵	۸/۲۹	۳۰۳	۱۹/۵	۹۶/۱۰/۷
۹	۸/۷۲	۳۵۶	۲۰	۹۶/۱۲/۱۷
۱۲	۹/۱	۲۹۶	۱۹/۵	۹۷/۱/۲۲
۱۳	۸/۵۴	۳۵۵	۲۰	۹۷/۲/۲۱
۱۴	۸/۳۲	۳۵۸	۱۹	۹۷/۳/۱۷
۱۶	۸/۳۵	۳۱۱	۱۸	۹۷/۴/۵
۱۰	۸/۵۴	۳۲۶	۱۸	۹۷/۷/۶
۱۱/۵	۸/۵۵	۳۲۹	۱۹/۱۴	میانگین
۳/۲	۰/۲۸	۹۰/۲۶	۰/۸۶	انحراف معیار
۲۷/۸۲	۳/۲۷	۸/۱۶	۴/۴۹	ضریب تغییرات (/.)

#### ۴-۱-۱- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه کارستی مورد مطالعه

مقادیر هدایت الکتریکی در چشمه‌ی مورد مطالعه طی یک دوره‌ی ۷ ماهه در مظهر چشمه اندازه‌گیری گردید. با توجه به مقادیر حاصله و شکل (۴-۲) ملاحظه می‌گردد که میزان تغییرات EC نسبتاً پایین است. مقادیر میانگین، انحراف معیار و درصد ضریب تغییرات برای چشمه‌ی مورد بررسی در جدول (۴-۱) درج گردیده است. با مقایسه‌ی این مقادیر و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۱۰ و بالاتر از ۱۰ درصد می‌باشد مشاهده می‌شود که سیستم مجاری و خلل و فرج هدایت کننده‌ی آب در این چشمه‌ها از سیستم جریان افشان تبعیت می‌کند.



شکل ۴-۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌ی مورد مطالعه.

#### ۴-۱-۲- تغییرات زمانی دبی چشمه کارستی هفت‌رنگ تاش

آبدهی چشمه، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد سنجش در مظهر چشمه می‌باشد که می‌توان نرخ تغییرات آن را به عنوان الویت نخست جهت تحلیل و ارزیابی رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوانی که چشمه از آن تخلیه می‌شود در نظر گرفت. به طور کلی هیدروگراف چشمه نتیجه‌ی نهایی تحولات بارش و انتقال دیگر ورودی‌ها از مناطق زهکشی به صورت یک خروجی واحد از طریق چشمه می‌باشد. این تغییرات همواره به عنوان مهم‌ترین معیار برای بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی، تعیین حوضه آبرگیر چشمه،

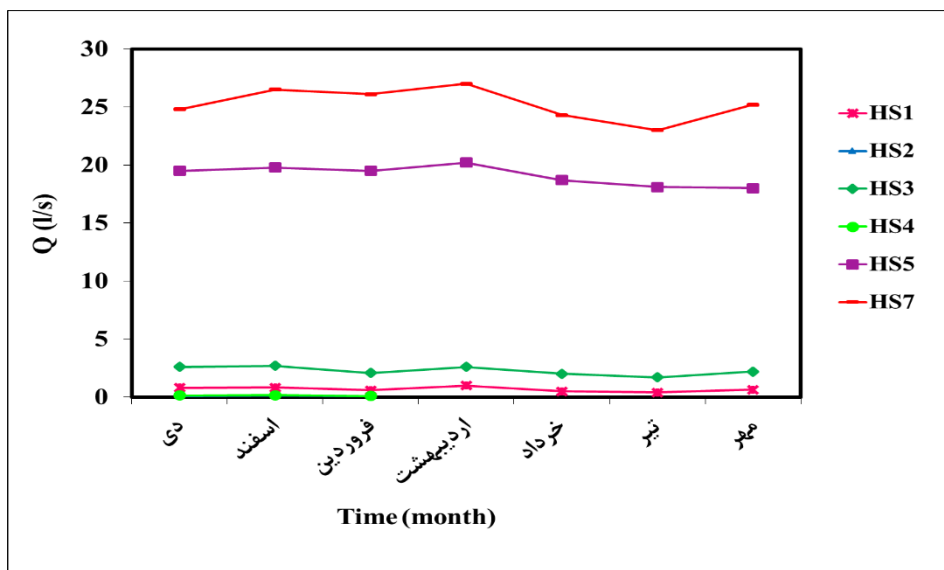
ارزیابی توسعه‌ی کارست و نرخ نفوذ و تغذیه در آبخوان کارستی می‌باشد. به طور کلی در آبخوان‌های کارستی، اگر تغییرات آبدهی زیاد بوده و این تغییرات در مدت زمان کوتاهی انجام گیرد می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که کارست توسعه‌یافته در منطقه وجود دارد و اگر تغییرات آبدهی کم و به صورت تدریجی باشد، کارست توسعه‌یافتگی کمتری دارد (کاظمی ۱۳۹۴). برای ارزیابی تغییرات زمانی دبی چشمه‌های منطقه، هیدروگراف آن‌ها در ماه‌های مختلف ترسیم شده است (شکل ۴-۳). با توجه به هیدروگراف مشاهده می‌گردد که دبی اوج با مقدار ۲۷ لیتر بر ثانیه (نمونه‌ی HS7) در اردیبهشت ماه می‌باشد. همچنین کمترین مقدار دبی را در نمونه HS2 با مقدار ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه در طی فروردین ماه است (جدول ۴-۲). متوسط ضریب تغییرات دبی در چشمه‌ی کارستی موجود با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۵/۴۶ درصد بوده است. با مقایسه‌ی ضریب تغییرات این چشمه با چشمه‌های دیگر و همچنین نتایج مطالعات جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir, 1974)، سیستم غالب جریان در این چشمه از نوع افشان است.

جدول ۴-۲- تغییرات زمانی دبی در چشمه‌های هفت رنگ منطقه‌ی تاش

تاریخ نمونه‌برداری	نام چشمه‌ها	دبی (لیتر بر ثانیه)
۹۶/۷/۱۰	HS1	۰/۸
	HS2	۰/۱
	HS4	۰/۱۵
	HS5	۱۹/۵
	HS7	۲۴/۸
۹۶/۱۲/۱۷	HS1	۰/۸۲
	HS2	۰/۱۱
	HS4	۰/۱۷
	HS5	۱۹/۷۸
	HS7	۲۶/۵

ادامه جدول ۴-۲- تغییرات زمانی دبی در چشمه‌های هفت رنگ منطقه‌ی تاش

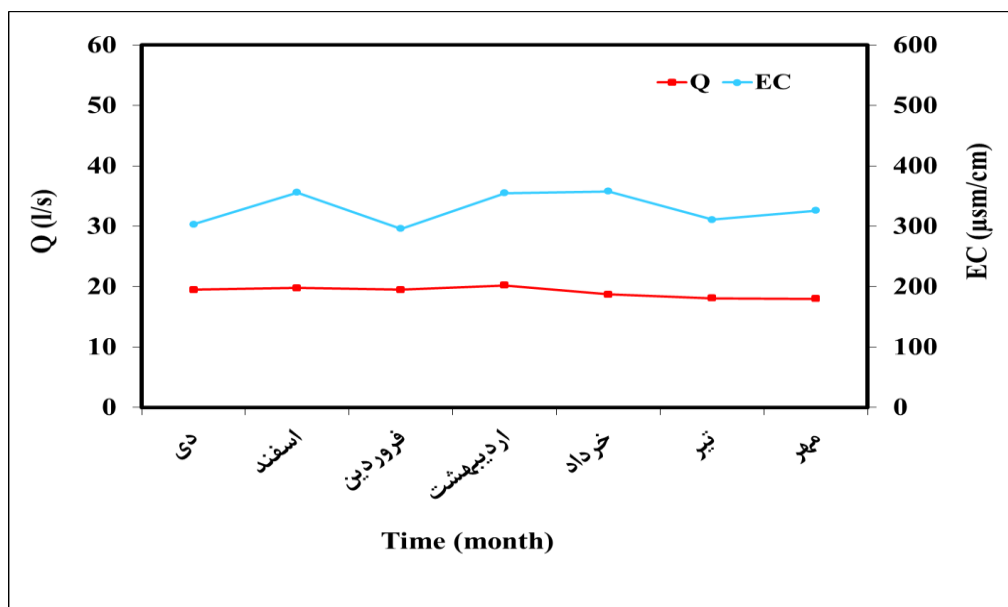
تاریخ نمونه‌برداری	نام چشمه‌ها	دبی (لیتر بر ثانیه)
۹۷/۱/۲۲	HS1	۰/۶
	HS2	۰/۰۷
	HS4	۰/۱
	HS5	۱۹/۵
	HS7	۲۶/۱
۹۷/۲/۲۱	HS1	۱
	HS5	۲۰/۲
	HS7	۲۷
۹۷/۳/۱۷	HS1	۰/۵
	HS5	۱۸/۷
	HS7	۲۴/۳
۹۷/۴/۵	HS1	۰/۴
	HS5	۱۸/۱
	HS7	۲۳
۹۷/۷/۶	HS1	۰/۶۵
	HS5	۱۸
	HS7	۲۵/۲



شکل ۴-۳- هیدروگراف چشمه‌های هفت‌رنگ تاش برای سال آبی ۹۶-۹۷.

## الف- رابطه‌ی هدایت الکتریکی و دبی

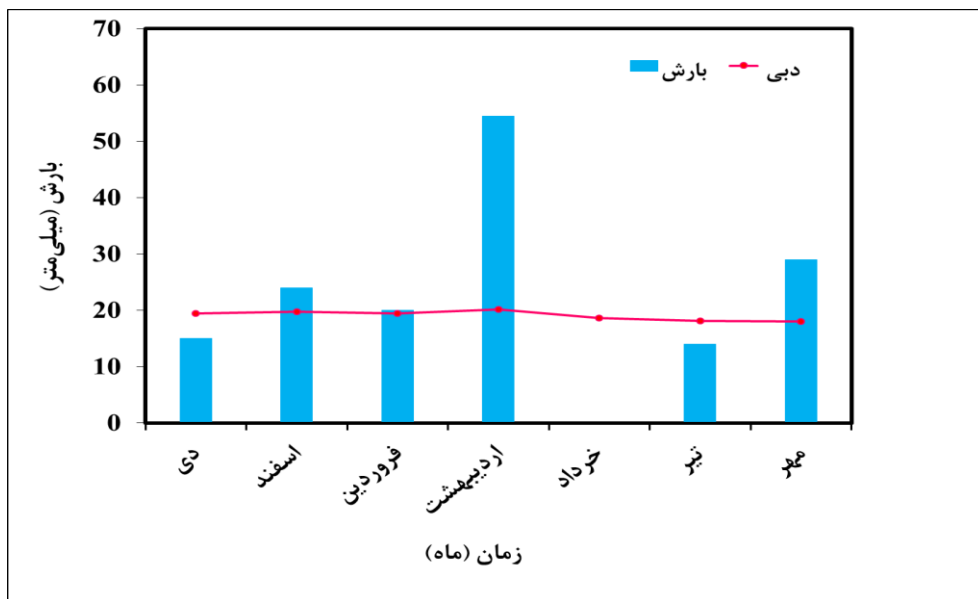
هدایت الکتریکی آب و روند تغییرات آن نشان‌دهنده‌ی زمان ماندگاری آب در سفره آب زیرزمینی و جنس آبخوان می‌باشد. با افزایش زمان ماندگاری آب درون سفره، هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد که این امر به دلیل فراهم بودن زمان لازم برای انحلال مواد آبخوان درون آب زیرزمینی است. در رژیم‌های متفاوت آبدهی، سرعت جریان آب زیرزمینی مختلف بوده و در نتیجه زمان ماندگاری آب در آبخوان در حالت‌های گوناگون با یکدیگر متفاوت است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از پارامترهایی که تغییرات آن با EC بررسی می‌شود، تغییرات دبی می‌باشد. در چشمه‌ها بایستی با افزایش آبدهی و کاهش زمان ماندگاری آب زیرزمینی درون آبخوان از مقدار EC کاسته شود. با توجه به جدول (۴-۱) نمودار هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه‌ها به طور همزمان ترسیم گردیده است (شکل ۴-۴). همان‌طور که شکل مربوطه نشان می‌دهد تغییرات EC چشمه‌ها با تغییرات دبی جریان کم و بیش هماهنگ بوده و رابطه‌ی معکوسی را نشان می‌دهند. با توجه به شکل در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه‌ها افزایش می‌یابد هدایت الکتریکی کاهش یافته است.



شکل ۴-۴- رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی و دبی در چشمه‌ی مورد مطالعه.

## ب- رابطه‌ی دبی و بارش

از دیگر کاربردهای مثبت تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی، تعیین ارتباط بین تخلیه (آبدهی) و تغذیه (بارش) می‌باشد. از این رو، به منظور بررسی تغییرات دبی و بارش چشمه‌ی مورد مطالعه، نمودار تغییرات این پارامترها ترسیم و مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۴-۵). از آنجایی که در دی ماه اکثر بارش‌ها از نوع برف است دبی کم بوده و سپس تا اسفند ماه اندکی افزایش یافته است. در فروردین ماه با کاهش تدریجی دبی مواجه بوده و سپس با ذوب شدن برف‌ها و بارندگی‌های اردیبهشت ماه دبی چشمه اندکی بیشتر شده است. در کل میتوان بیان کرد که دبی چشمه‌ی کارستی (HS5) در طول دوره‌ی نمونه‌برداری تغییر چندانی نداشته که دلیل بر جریان افشان در حوضه‌ی این چشمه می‌باشد.



شکل ۴-۵- رابطه‌ی دبی و بارش در چشمه‌ی مورد مطالعه.

### ۴-۱-۳- منحنی فرود و محاسبه‌ی ضرایب هیدرودینامیکی لایه آبدار

به منظور بررسی کمی تخلیه آب و همچنین برآورد ضرایب دبی (Discharge coefficient) چشمه‌ها، منحنی فرود (Recession curve) آن با استفاده از داده‌های مربوط به هیدروگراف چشمه تهیه شده است (شکل ۴-۲). این منحنی به صورت نیمه‌لگاریتمی بوده به این صورت که دبی در روی محور عمودی



که لگاریتمی است در برابر زمان ترسیم می‌شود که روند داده‌ها به صورت یک خط مستقیم یا خط‌های با شیب متفاوت ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته شده به عنوان ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شود. به منظور محاسبه‌ی ضریب فرود چشمه، از معادله‌ی (۱) که بر اساس مطالعات مایلت و بوسینگ (Maillet 1905, Boussinesq 1903 and 1904) ایجاد گردیده، استفاده شده است. این محققین با فرض بر اینکه تخلیه‌ی چشمه، تابعی از حجم آب ذخیره شده در مخزن است (جریان ورودی عملاً صفر است) آن را به شکل معادله‌ی نمایی نشان دادند (Ford and Williams 2007).

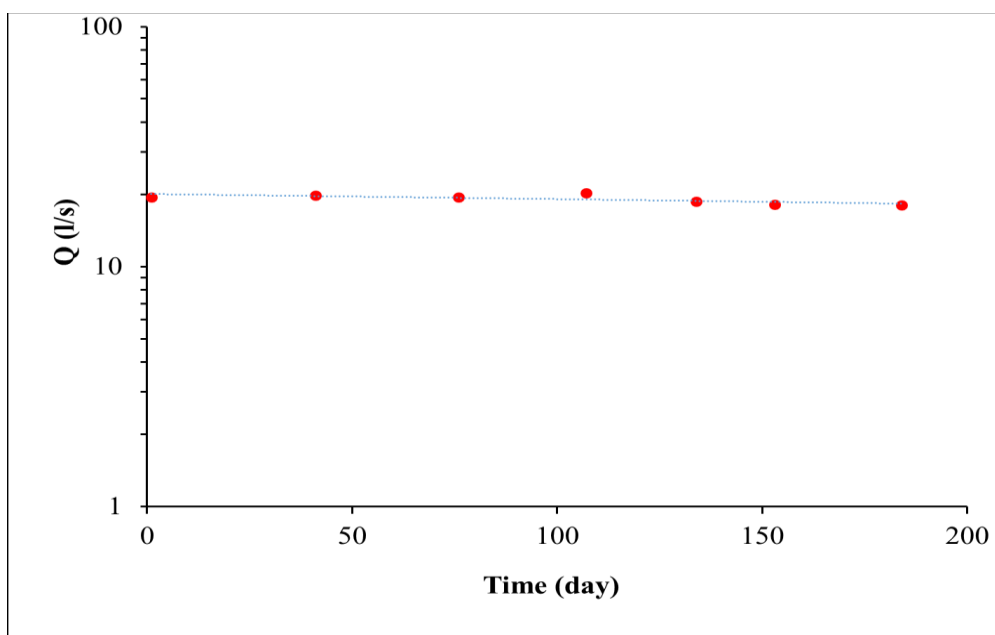
$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

در این معادله،  $Q_t$  آبدهی چشمه در زمان  $t$ ،  $Q_0$  آبدهی در زمان صفر،  $t$  زمان بین  $Q_0$  و  $Q_t$ ،  $e$  پایه لگاریتم طبیعی (نپرین) و  $\alpha$  ضریب دبی می‌باشد. شکل لگاریتمی معادله‌ی (۱) به صورت زیر می‌باشد:

$$\alpha = \frac{\text{Log } Q_0 - \text{Log } Q_t}{0.4343 \times (t - t_0)} \quad \text{معادله (۲-۴)}$$

که در این رابطه ضریب دبی میزان توانایی سفره آب زیرزمینی در ذخیره‌سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل مؤثر، قابلیت انتقال، شکل حوضه آبرگیر، وضعیت سطح پتانسیومتری و تغذیه از آبخوان‌های دیگر می‌باشد. براساس دیدگاه (Milanovic 1981)، هنگامی که منحنی فروکش دارای شیب کم باشد، این حالت می‌تواند بر ذخیره دینامیکی بالای آبخوان دلالت نماید که چشمه‌های این نوع آبخوان‌ها اکثراً دائمی هستند. برعکس وقتی که ضریب  $\alpha$  زیاد باشد منحنی فرود دارای شیب تند بوده و ذخایر دینامیکی در این حالت موقتی بوده و خیلی سریع تخلیه می‌شود. به طور کلی هنگامی که ضریب فروکش در مرتبه‌ی  $10^{-2}$  قرار داشته باشد نشان دهنده‌ی زهکشی سریع شکستگی‌ها و مجاری کارستی است و هنگامی که این ضریب کوچک‌تر باشد (مرتبه  $10^{-3}$ ) نشان دهنده‌ی تخلیه‌ی حفرات و درزه و شکستگی‌های ریز می‌باشد. همچنین بهتر است برای تحلیل ضرایب فروکش، شرایط فیزیوگرافی حوضه آبرگیر (شکل و شیب حوضه آبرگیر) و تراوایی لایه‌های مختلف آبخوان نیز بررسی شود، چرا که زمان انتقال آب در حوضه‌های کشیده‌ی لایه‌های کم تراوا و تغذیه از آبخوان‌های مجاور می‌تواند ضرایب فروکشی با مرتبه‌ی

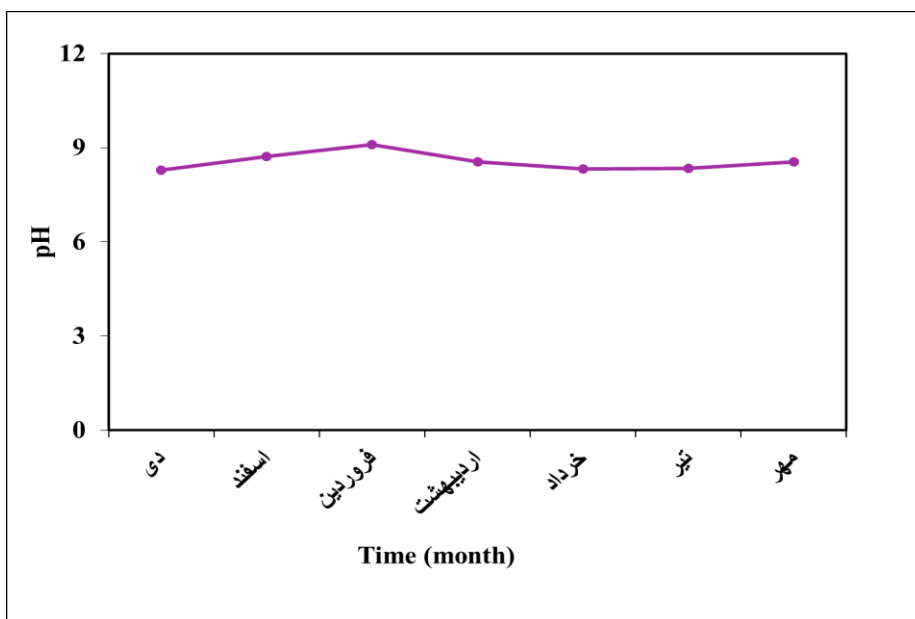
کوچکتر و در حوضه‌های گرد و با تراوایی بالا عکس این حالت را ایجاد نماید. با توجه به شکل (۴-۶) مشاهده می‌گردد که منحنی فرود برای چشمه‌ی کارستی مورد مطالعه حاوی یک شیب بوده و مقدار ضریب دبی برای آن برابر  $0/003$  می‌باشد. با توجه به این که ضریب دبی به دست آمده مرتبه‌ی سوم است، بنابراین تخلیه‌ی آب از طریق درز و شکاف‌های بسیار ریز صورت می‌گیرد. از طرفی تغییرات دبی چشمه‌ها بسیار کم می‌باشد و این مورد را تأیید می‌نماید. بنابراین سیستم غالب جریان در حوضه آبگیر این چشمه‌ی کارستی (HS5) افشان می‌باشد.



شکل ۴-۶- منحنی فرود چشمه‌ی کارستی هفت‌رنگ تاش

#### ۴-۱-۴- تغییرات زمانی pH آب چشمه‌ی مورد مطالعه

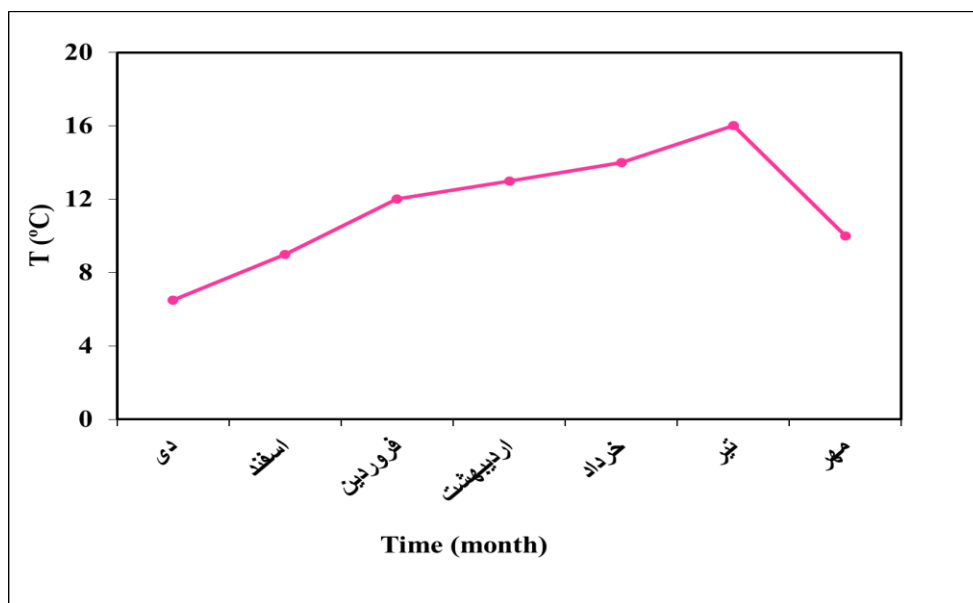
با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول (۴-۱)، تغییرات زمانی pH رسم شده است (شکل ۴-۷). به منظور ارزیابی کمی تغییرات pH، میانگین، انحراف از معیار و درصد ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه گردیده‌اند که در جدول (۴-۱) درج گردیده است. با توجه به ضریب تغییرات نسبتاً پایین pH ملاحظه می‌شود که خصوصیات سیستم تغذیه‌کننده‌ی این چشمه به احتمال زیاد از نوع افشان می‌باشد.



شکل ۴-۷- تغییرات زمانی pH در چشمه‌ی مورد مطالعه.

#### ۴-۱-۵- تغییرات زمانی درجه حرارت آب چشمه‌ی مورد مطالعه

درجه حرارت چشمه‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در مظهر چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است. داده‌های مشاهده شده مربوط به درجه حرارت آب چشمه‌ها بیانگر تغییرات نسبتاً کم آن‌ها می‌باشد (شکل ۴-۸). ضریب تغییرات درجه حرارت آب و ارتباط آن با آبدهی، یکی از معیارهای مهم در مطالعات هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی بوده که جهت تفکیک جریان‌های افشان و مجرای استفاده می‌شود. به طور کلی چشمه‌هایی با سیستم افشان به دلیل سیستم تغذیه و زمان ماندگاری آب دارای ضریب تغییرات کمتر از ۱/۴ می‌باشند (Jacobson and Langmuir 1974). براساس محاسبات آماری درجه حرارت چشمه که در جدول (۴-۱) ارائه گردیده است، میانگین درجه حرارت آب چشمه ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد و ضریب تغییرات آن ۲۷/۸۲ درصد می‌باشد. با توجه به آن که در مظهر چشمه‌ی مورد بررسی امکان اندازه‌گیری دما نبوده و قاعدتاً در پایین دست درجه حرارت بالاتر بوده و دمای بیشتری نشان داده می‌شود پس این پارامتر نمی‌تواند معیار مناسبی جهت تعیین نوع جریان در چشمه‌ی مورد مطالعه باشد.



شکل ۴-۸- تغییرات درجه حرارت در چشمه‌ی مورد مطالعه

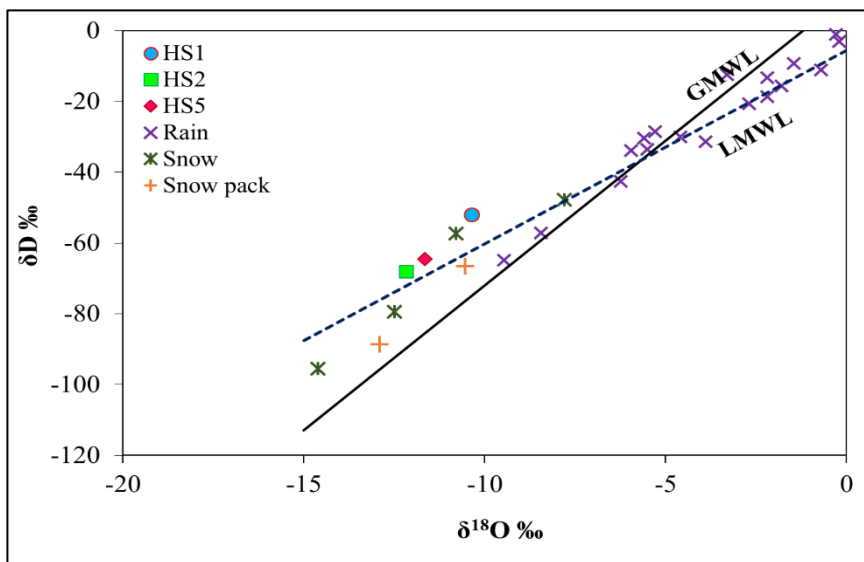
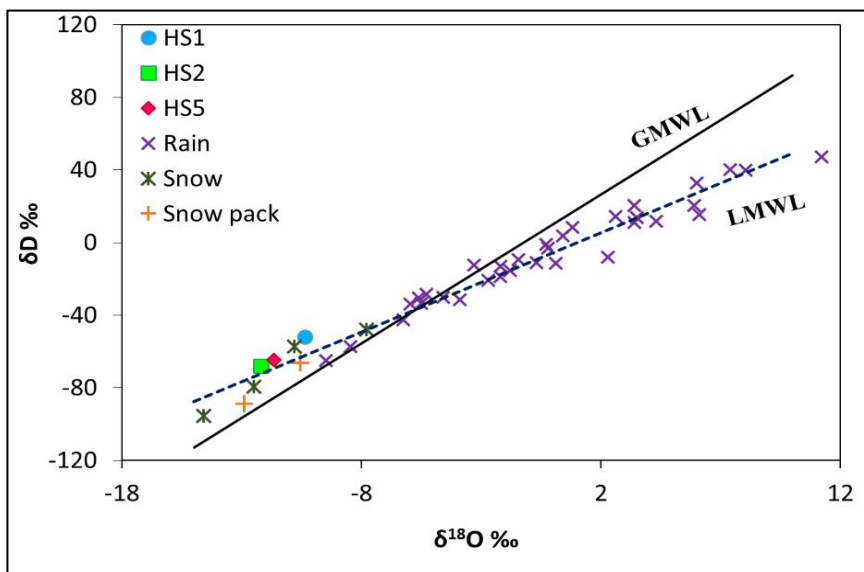
#### ۴-۱-۶- بررسی‌های ایزوتوپی در چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش

تمرکز ایزوتوپ‌های پایدار در منابع آبی مختلف به منشأ تغذیه‌ی آن‌ها بستگی دارد. از این رو با ارزیابی ایزوتوپ‌های پایدار منطقه می‌توان به منشأ و میزان برهم کنش آب‌ها پی برد (Clark and Fritz, 1997). داده‌های مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن برای چشمه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول (۳-۴) ارائه گردیده است. علاوه بر این جهت تفسیر داده‌ها از مقادیر ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن برای نمونه‌های بارش و برف مربوط به محدوده‌ی مطالعاتی استفاده شده است (Kazemi et al., 2017). حداقل و حداکثر میزان  $\delta^{2H}$  و  $\delta^{18O}$  در آب چشمه‌ها به ترتیب  $68/05 -$  و  $10/36 -$  (با میانگین  $39/20 -$ ) می‌باشد. پس از رسم و پلات کردن داده‌های مربوط به چشمه‌ها در نمودار ایزوتوپ اکسیژن در مقابل دوتریم (شکل ۴-۹)، نتایج حاصله نشان می‌دهد که نمونه‌های ایزوتوپی مورد بررسی نزدیک به خط آب‌های جوی جهانی و بالای آن و در محدوده خط آب جوی محلی پلات گردیده که بیانگر این است که آب چشمه‌ها از آب‌های جوی منطقه نشأت گرفته‌اند. به طور کلی تبخیر در آب می‌تواند باعث سنگین شدن مقادیر ایزوتوپی اکسیژن و دوتریم آب باقیمانده شود. از طرفی منابعی که روی خط یا نزدیک خط ایزوتوپی آب‌های جوی محلی (LMWL) قرار دارند، تحت تأثیر تبخیر قرار نگرفته‌اند. در

این منابع علاوه بر بارش، فرآیند اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز ممکن است رخ داده باشد. موقعیت چشمه‌های منطقه بر روی دیاگرام ترکیب ایزوتوپی اکسیژن و دوتریم حاکی از آن است که این آب‌ها بیشتر از برف واقع در منطقه تغذیه می‌گردند (شکل ۴-۹). بطوریکه چشمه کارستی HS5 بیشتر حاصل برف‌هایی است که در طول زمستان رخ داده و در طول فصل بهار به سفره به مرور زمان تغذیه می‌گردد. چشمه HS2 (چشمه سیاه رنگ خارج شده از کنتاکت سازند شمشک) دارای کمترین میزان ایزوتوپی و چشمه HS1 دارای بیشترین مقدار است. هرچه ارتفاع منطقه‌ی تغذیه بیشتر باشد، مقدار ایزوتوپ اکسیژن و هیدروژن کمتر خواهد بود، بنابراین بیشترین ارتفاع را در نمونه‌ی HS2 و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌ی HS1 می‌باشد. علت دیگر کمتر بودن مقدار ایزوتوپی چشمه HS2 می‌تواند به دلیل خروج گاز کربنیک از آن باشد که می‌تواند مقدار ایزوتوپی را اندکی کاهش دهد. البته این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد. علت ایزوتوپی بیشتر چشمه HS1 می‌تواند به دلیل ارتفاع تغذیه کمتر آن باشد، اما دلیل مهمتر آن می‌تواند حاصل اختلاط آب حاصل از ذوب برف با بارش‌های منطقه در تامین آب این چشمه باشد. بنابراین حوضه آبخیز چشمه HS2 و HS5 دارای ارتفاع بالاتری از چشمه دیگر بوده و عمدتاً از ذوب برف‌های منطقه تغذیه می‌شوند.

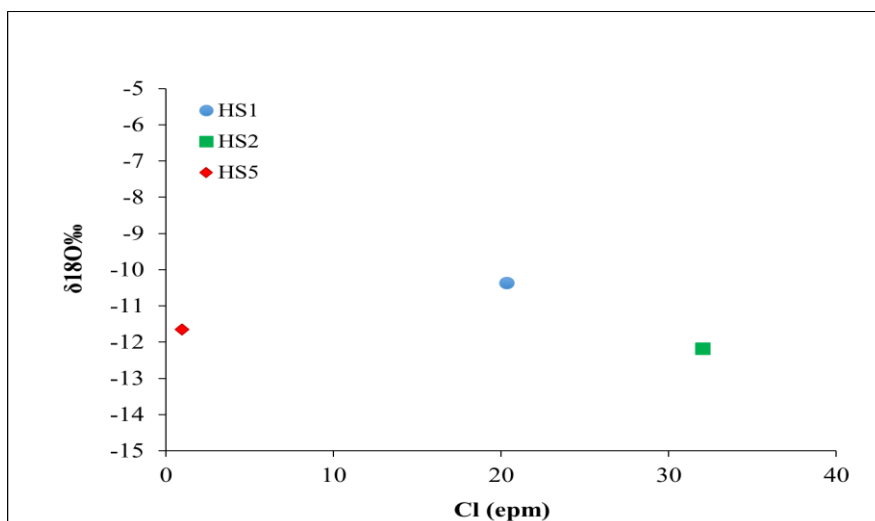
جدول ۴-۳- ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های آب چشمه‌های هفت رنگ منطقه‌ی تاش (کلیدی داده‌ها بر حسب ‰)

Sample	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$
HS1	-10.36	-52
HS2	-12.17	-68.05
HS5	-11.65	-64.52



شکل ۴-۹- رابطه بین اکسیژن ۱۸ و دوتریم در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه به همراه خط آب جوی محلی و جهانی

چشمه HS2 دارای بیشترین مقدار شوری و کمترین مقدار ایزوتوپی است. برای تعیین منشأ شوری از طریق داده‌های ایزوتوپی، رابطه‌ی مقدار ایزوتوپ اکسیژن با یون‌های مختلف ترسیم شده است (شکل ۴-۱۰). محتمل‌ترین منشأ شوری می‌تواند انحلال نمک و یا فرآیند تبخیر باشد. در اثر تبخیر مقدار شوری و ایزوتوپی هر دو افزایش می‌یابد. با ترسیم مقدار ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ در مقابل یون کلر در منطقه مورد مطالعه مشخص گردید که افزایش شوری در اثر فرآیند تبخیر نبوده و عامل انحلال نمک می‌تواند منشأ شوری باشد. در اثر انحلال نمک، مقدار شوری بدون افزایش مقدار ایزوتوپی، تغییر می‌کند.



شکل ۴-۱۰: نمودار مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در مقابل غلظت یون کلر در نمونه‌های مورد مطالعه

#### ۴-۱-۷- تعیین مساحت حوضه آبرگیر در چشمه کارستی مورد مطالعه

چشمه کارستی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای مقدار دبی تخلیه‌ی ۲۰ لیتر بر ثانیه بوده است. مقدار دبی این چشمه در طول فصول تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد که نشانگر غالب بودن جریان افشان در منطقه‌ی حوضه آبرگیر آن‌ها است.

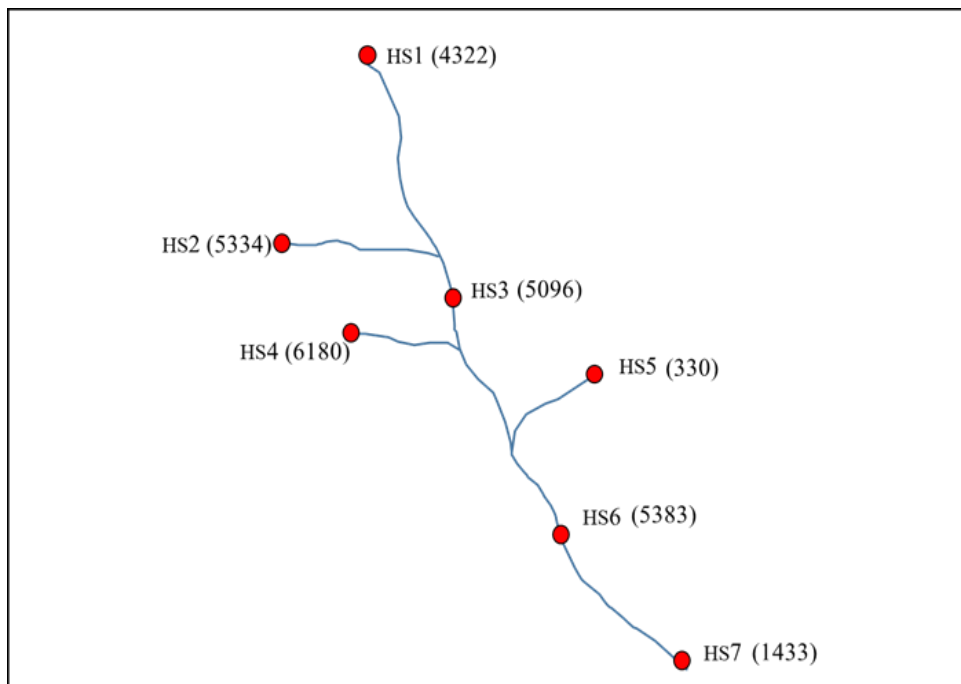
$$V=P.I.A$$

براساس معادله‌ی بالا I میزان تغذیه‌ی سالیانه، V حجم آب تخلیه شده، A مساحت منطقه و P میانگین بارندگی سالیانه در منطقه می‌باشد. در منطقه‌ی مورد مطالعه، درصد نفوذ بارش در حدود ۲۵ درصد و مقدار بارش سالیانه حدود ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است. با استفاده از رابطه‌ی فوق حوضه آبرگیر منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه گردید. مجموع حجم تخلیه‌ی سالیانه‌ی چشمه‌ی مذکور، حدود ۶۳۰۷۲۰ مترمکعب محاسبه شده و مساحتی که برای تغذیه‌ی چشمه به دست آمد ۸/۴ کیلومترمربع می‌باشد.

#### ۴-۲- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه

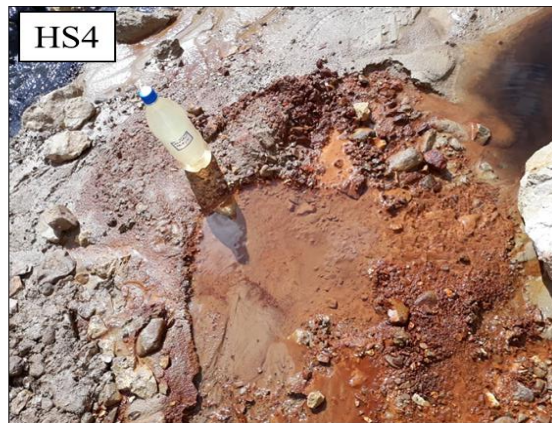
کیفیت منابع آب زیرزمینی متأثر از عوامل مختلف طبیعی و غیر طبیعی است. اثر این عوامل توأم با کاهش نزولات جوی و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی می‌تواند باعث تخریب کیفیت آب این

منابع در طولانی مدت گردد. یکی از عوامل اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی، کانی‌شناسی سنگ‌های مسیر عبور آب است. به این معنی که انحلال کانی‌های موجود در سنگ‌های مسیر می‌تواند سبب تمرکز بالایی از عناصر تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها در آب شود (Yuce et al., 2009). علاوه بر این فعالیت‌های انسان‌زاد نیز می‌توانند بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر گذاشته و باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی شوند. از این رو هرگونه اقدام جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های آب زیرزمینی و تأثیرات آن‌ها نیازمند آگاهی کامل از نحوه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی منابع آب زیرزمینی است. در این بخش ویژگی‌های کیفی و آلودگی احتمالی منابع آب زیرزمینی چشمه‌های هفت‌رنگ تاش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. به منظور ارزیابی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های هفت‌رنگ تاش، نمونه‌برداری از ۷ محل (شکل ۴-۱۲) طی بازه‌ی زمانی ۷ ماهه (دی ماه ۹۶ تا مهر ۹۷) جهت بررسی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی (pH, EC, TDS) و همچنین غلظت یون‌های اصلی صورت گرفت (شکل ۴-۱۱) و (جدول ۴-۴). شایان ذکر است به دلیل خشک شدن تعدادی از چشمه‌ها و همچنین مشکلات متعدد، امکان آماربرداری طی برخی از دوره‌های آماری امکان‌پذیر نبود.



شکل ۴-۱۱- نقاط نمونه‌برداری به همراه مقادیر EC





شکل ۴-۱۲- محل نمونه برداری از چشمه های مورد مطالعه

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌های هفت‌رنگ تاش (دوره آماری ۷ ماهه).

Time	Samples	EC ( $\mu\text{sm/cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Concentration (meq/lit)								Error %
					Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	
۹۶/۱۰/۱۷	HS1	۴۳۰۰	۷/۷۰	۵	۲۱	۰/۲۱	۱۸	۱۲	۲۲	۱۶	۵/۲۰	-	۸/۴۸
	HS2	۵۳۰۰	۶/۴۳	۱۲	۲۳	۱/۱۳	۲۱	۱۱/۷	۳۱	۱۲	۲۱	-	-۵/۹۳
	HS3	۳۵۰۰	۷/۸۰	۷	۲۸	۰/۸۵	۱۶	۱۰	۳۰	۸	۶	-	۱۰/۹۷
	HS4	۴۰۰۰	۷/۲۳	۱۱	۱۷	۰/۹۶	۱۶	۱۳/۳۰	۲۵	۹/۲۷	۱۶	-	-۳/۰۸
	HS5	۳۰۳	۸/۲۹	۶/۵۰	۰/۹۰	۰/۰۵	۱/۳۰	۲	۱	۱	۲/۷۰	۰/۳۰	۹/۵۰
	HS6	۴۱۰۰	۸/۰۶	۷	۱۸	۰/۸۱	۱۹/۷۰	۹/۳۰	۲۳	۹	۶/۱۰	-	۱۱/۳۰
	HS7	۱۲۰۰	۸/۸۰	۷	۷	۰/۲۳	۴/۱۰	۳/۸۰	۷/۵۰	۱/۴۰	۳	-	۱۱/۹۴
۹۶/۱۲/۱۷	HS1	۵۲۰۰	۷/۵۷	۷	۲۵	۰/۲۶	۲۳	۱۷	۲۵	۱۹	۸/۶۰	-	۱۰/۷۴
	HS2	۵۱۰۰	۷/۳۹	۱۲	۲۵	۰/۷۸	۲۲/۸۰	۱۶/۲۰	۳۵	۱۵/۲۷	۱۶	-	۱/۱۳
	HS3	۶۶۵۰	۶/۲۹	۸	۵۰	۰/۰۵	۲۰	۱۱	۵۵	۱۵	۷	-	۲/۵۶
	HS4	۷۱۵۰	۷/۴۳	۱۲	۲۵	۰/۰۴	۳۰	۲۴	۴۰	۱۲/۳۲	۱۹/۶۰	-	۴/۷۱
	HS5	۳۵۶	۸/۷۲	۹	۱/۵۰	۱/۱۵	۲/۸۰	۳/۲۰	۱/۶۰	۱/۶۰	۲/۷۰	۰/۸۰	۱۲/۷۰
	HS6	۵۵۰۰	۷/۲۳	۱۰	۲۵	۱/۱۲	۱۸/۳۰	۱۱	۲۵	۱۱	۶	-	۱۵/۴۰
	HS7	۱۶۰۰	۸/۸۷	۹	۱۲	۰/۲۹	۴/۳۰	۴	۱۳	۲/۲۰	۴/۲۰	۰/۸۰	۰/۹۵
۹۷/۱/۲۲	HS1	۵۰۰۰	۸/۴۴	۹	۲۰	۰/۱۸	۱۷	۱۵	۲۲	۱۸	۱۰	-	۱۳/۲۱
	HS2	۶۱۰۰	۶/۳۰	۱۴	۲۲	۱/۱۴	۲۰/۶۰	۱۲	۳۰	۷	۱۴	-	۴/۴۱
	HS3	۳۹۰۰	۷/۳۰	۱۰	۳۰	۰/۸۱	۱۷/۹۰	۹/۰۶	۳۲	۱۰	۶/۷۰	-	۸/۹۸
	HS4	۶۳۹۰	۷/۲۰	۱۴	۲۲	۱/۲۸	۲۳/۹۰	۲۰	۳۶	۱۱	۱۶	-	۳/۲۱
	HS5	۲۹۶	۹/۱۰	۱۲	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۹۰	۲/۳۰	۱/۳۰	۱/۵۰	۲/۷۰	-	۹/۰۹
	HS6	۴۶۰۰	۸/۴۳	۱۶	۱۸	۰/۹۶	۱۸/۷۰	۱۰/۸۰	۲۲	۱۱	۷	-	۹/۵۶
	HS7	۱۴۰۰	۸/۵۱	۱۴	۸	۰/۱۹	۴/۲۰	۴/۱۰	۹	۱/۸۵	۳/۷۰	۱/۵۰	۱/۳۵
۹۷/۲/۲۱	HS1	۳۳۰۰	۷/۸۰	۱۰	۱۳/۵۰	۰/۲۰	۱۰/۳۴	۹/۱۰	۱۳/۸۰	۱۳	۵/۹۰	-	۰/۶۶
	HS3	۴۰۵۰	۷/۶۲	۱۲	۲۵/۲۰	۰/۸۵	۱۶/۷۰	۹/۰۳	۴۰	۱۲/۶۲	۶/۹۰	-	۱/۸۶
	HS5	۳۵۵	۸/۵۴	۱۳	۰/۸۰	۱/۳۰	۱/۱۰	۱/۳۱	۰/۴۰	۱/۱۴	۲/۶۰	۰/۵۰	-۱/۴۲
	HS6	۴۲۴۰	۷/۶۵	۱۴	۲۰	۰/۹۸	۱۶/۳۰	۹/۳۱	۲۲	۱۰	۶/۴۰	-	۹/۶۳
	HS7	۱۳۴۵	۸/۱۹	۱۳	۷/۵۰	۰/۲۰	۴	۳/۸۰	۹/۹۰	۱/۵۰	۳/۶۰	۰/۸	-۰/۹۵
۹۷/۳/۱۷	HS1	۳۶۵۰	۷/۴۶	۱۳	۱۷	۰/۲۱	۱۱/۳۶	۱۰	۱۶/۸۰	۱۵	۵/۹۰	-	۱/۱۴
	HS3	۶۹۰۰	۷/۲۵	۱۴	۶۰	۰/۸۴	۱۲/۸۰	۱۲	۶۰	۱۸	۶/۴۰	-	۰/۷۲
	HS5	۳۵۸	۸/۳۲	۱۴	۰/۸۸	۱/۲۰	۱/۶۰	۱/۵۰	۰/۹۰	۱	۲	۰/۵۰	۸/۱۴
	HS6	۶۶۷۰	۷/۲۶	۱۷	۱۸	۰/۹۶	۱۸/۷۰	۱۰/۸۰	۲۲	۱۱	۷	-	۹/۵۶
	HS7	۱۵۱۶	۷/۶۷	۱۵	۳۰	۰/۹۵	۲۰/۸۰	۱۱/۸۹	۳۵	۱۳	۵/۹۰	-	۸/۲۸
۹۷/۴/۵	HS1	۴۰۰۰	۷/۳۰	۱۵	۱۸/۱۵	۰/۲۰	۱۶/۸۲	۱۴/۸۰	۱۶/۵۰	۱۸	۵/۷۰	-	۱۰/۸۳
	HS3	۴۰۷۵	۷/۶۷	۱۷	۳۹	۰/۸۵	۱۸/۸۰	۱۰/۱۶	۴۲	۱۲/۲۳	۶/۲۰	-	۶/۴۳
	HS5	۳۱۱	۸/۳۵	۱۶	۰/۶۸	۱/۳۰	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۷۰	۱/۱۸	۲/۷۰	۰/۹۰	-۲/۹۱
	HS6	۵۹۰۰	۷/۳۲	۱۷	۲۳/۷۰	۰/۹۸	۲۰/۳۰	۱۱/۶۰	۲۷/۶۰	۱۲	۵/۸۰	-	۱۰/۹۶
	HS7	۱۶۴۰	۷/۸۰	۱۶	۱۲/۲۰	۰/۲۰	۴/۲۰	۴/۲۰	۱۳/۵۰	۱/۹۳	۴	-	۳/۴۰

ادامه جدول ۴-۴- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌های هفت‌رنگ تاش (دوره آماری ۷ ماهه).

Time	Samples	EC ( $\mu\text{sm/cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Concentration (meq/lit)								Error %
					Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	
۹۷/۷/۶	HS1	۴۸۰۰	۷/۸۳	۸	۲۶/۲۰	۰/۲۱	۱۸/۵۲	۱۶/۳۰	۲۶/۲۰	۱۷/۶۴	۵/۶۰	-	۱۰/۶۵
	HS3	۶۵۹۰	۷/۷۷	۹	۵۵	۰/۸۴	۱۹/۴۰	۱۰/۴۹	۵۹	۱۵	۶/۳۰	-	۳/۲۷
	HS5	۳۲۶	۸/۵۴	۱۰	۰/۷۸	۱/۲۰	۱/۱۰	۱/۳۱	۰/۸۰	۱/۱۴	۲/۶۵	۰/۶۰	۸/۳۵
	HS6	۶۶۷۰	۷/۹۳	۱۳	۲۹	۰/۹۵	۲۱/۳۰	۱۲/۱۷	۳۰/۱۰	۱۲/۶۰	۶/۱۰	-	۱۳/۰۲
	HS7	۱۶۲۶	۸/۰۸	۱۱	۷/۱۰	۰/۱۸	۴	۴	۱۱/۱۰	۱/۶۴	۳/۶۰	-	-۳/۳۵

جدول ۴-۵- سایر پارامترهای محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه (بازه ۷ ماهه)

Time	Samples	TDS (mg/l)	TH (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	%Na	SAR
۹۶/۱۰/۷	HS1	۲۸۶۱/۳۹	۱۴۹۰/۴۰	۴۱/۴۱	۵/۴۲
	HS2	۴۰۹۰/۹۷	۱۶۲۵/۶۴	۴۲/۴۵	۵/۶۹
	HS3	۲۹۳۲/۱۵	۱۲۹۲	۵۲/۵۹	۷/۷۸
	HS4	۳۲۱۶/۵۰	۱۴۵۴/۳۶	۳۸/۰۱	۴/۴۵
	HS5	۳۳۸/۸۵	۱۶۳/۴۰	۲۲/۳۵	۰/۷۰
	HS6	۲۵۷۱/۷۹	۱۴۴۲/۵۶	۳۹/۳۴	۴/۷۳
	HS7	۸۱۴/۰۲	۳۹۱/۹۶	۴۷/۷۸	۳/۵۳
۹۶/۱۲/۱۷	HS1	۳۵۷۳/۲۴	۱۹۸۶/۴۰	۳۸/۷۰	۵/۵۹
	HS2	۴۲۰۷/۲۸	۱۹۳۷/۰۴	۳۹/۷۹	۵/۶۶
	HS3	۵۴۴۸/۳۵	۱۵۴۱/۲۰	۶۱/۷۵	۱۲/۷۲
	HS4	۴۶۷۱/۵۲	۲۶۸۰/۸۰	۳۱/۶۸	۴/۸۱
	HS5	۵۲۰/۰۵	۲۹۷/۴۴	۳۰/۶۳	۰/۸۶
	HS6	۲۸۹۸/۱۸	۱۴۵۶/۲۰	۴۷/۲۱	۶/۵۴
	HS7	۱۲۹۲/۶۱	۴۱۱/۸۰	۵۹/۶۸	۵/۹۱
۹۷/۱/۲۲	HS1	۳۲۴۲/۰۲	۱۵۸۸	۳۸/۶۷	۵
	HS2	۳۳۶۱/۴۶	۱۶۲۰/۴۰	۴۱/۵۱	۵/۴۵
	HS3	۳۷۲۵/۷۹	۱۴۶۷/۳۲	۵۲/۸۳	۸/۱۰
	HS4	۴۰۵۵/۹۲	۲۱۷۹	۳۴/۶۵	۴/۷۰
۹۷/۱/۲۲	HS5	۴۸۲/۸۵	۲۰۸/۱۶	۳۶/۳۶	۰/۸۴
	HS6	۲۷۸۷/۰۴	۱۴۶۶/۳۶	۳۹/۱۲	۴/۶۸
	HS7	۱۱۹۸/۶۱	۴۱۱/۷۲	۴۹/۶۶	۳/۹۴
۹۷/۲/۲۱	HS1	۲۱۰۸/۱۰	۹۶۴/۷۲	۴۱/۳۳	۴/۴۴
	HS3	۳۷۳۱/۷۷	۱۲۷۹/۲۷	۵۸/۳۵	۹/۸۳
	HS5	۳۶۴/۳۴	۱۱۹/۴۵	۴۶/۵۶	۰/۷۳
	HS6	۲۵۸۷/۳۴	۱۲۷۳/۰۵۲	۴۵/۰۳	۵/۶۰
	HS7	۹۴۸/۹۵	۳۸۶/۹۶	۴۹/۶۷	۳/۸۰

ادامه جدول ۴-۵- سایر پارامترهای محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه (بازه ۷ ماهه)

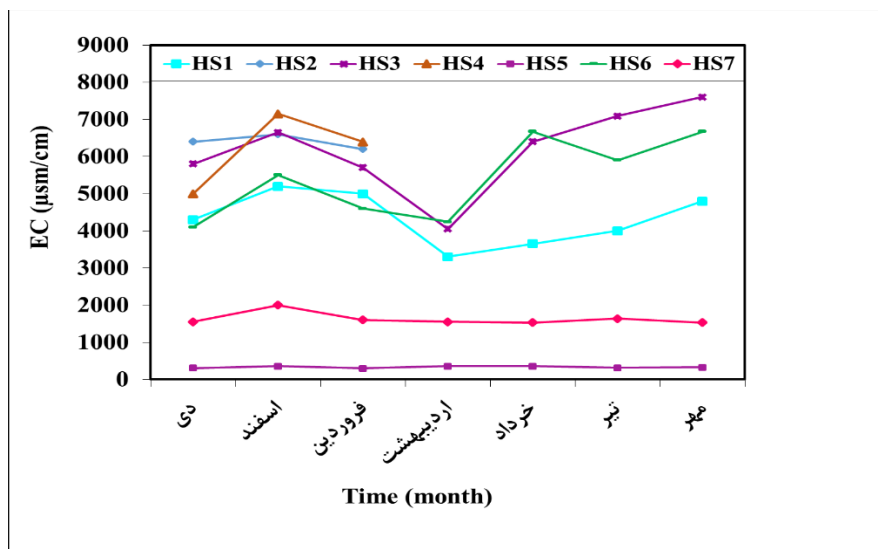
Time	Samples	TDS (mg/l)	TH (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	%Na	SAR
۹۷/۳/۱۷	HS1	۲۴۲۲/۶۹	۱۰۶۰	۴۴/۶۲	۵/۲۱
	HS3	۵۱۹۷/۱۶	۱۲۳۰/۴	۷۱/۰۴	۱۷/۰۴
	HS5	۳۰۷/۹۹	۱۵۳/۸۰	۴۰/۱۵	۰/۶۴
	HS6	۳۵۱۲/۱۳	۱۶۲۴/۹۸	۴۸/۶۳	۷/۴۲
	HS7	۱۱۰۹/۵۵	۴۱۱/۶۴	۵۵/۰۸	۴/۹۲
۹۷/۴/۵	HS1	۲۷۳۶/۷۰	۱۵۶۹/۱۶	۳۶/۷۲	۴/۵۷
	HS3	۳۸۸۴/۳۱	۱۵۳۰/۴۰	۵۷/۹۱	۱۰/۲۶
	HS5	۳۹۰/۴۹	۷۵/۸۳	۵۶/۴۱	۰/۷۸
	HS6	۳۰۳۸/۱۲	۱۵۸۵/۷۲	۴۳/۶۱	۵/۹۳
	HS7	۱۲۶۸/۶۹	۶۴/۴۱۶	۵۹/۶۱	۵/۹۸
۹۷/۷/۶	HS1	۳۱۳۶/۴۵	۱۷۲۷/۹۶	۴۳/۱۳	۶/۲۸
	HS3	۵۰۱۰/۴۴	۱۴۸۶/۱۰	۶۵/۱۳	۱۴/۲۴
	HS5	۳۸۳/۲۳	۱۱۹/۴۵	۴۵/۱۰	۰/۷۱
	HS6	۳۳۲۱/۵۴	۱۶۶۳/۶۷	۴۷/۲۲	۷/۱۰
	HS7	۹۹۰/۶۹	۳۹۶/۸	۴۷/۶۴	۳/۵۵

#### ۴-۲-۱-۱- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب مورد مطالعه

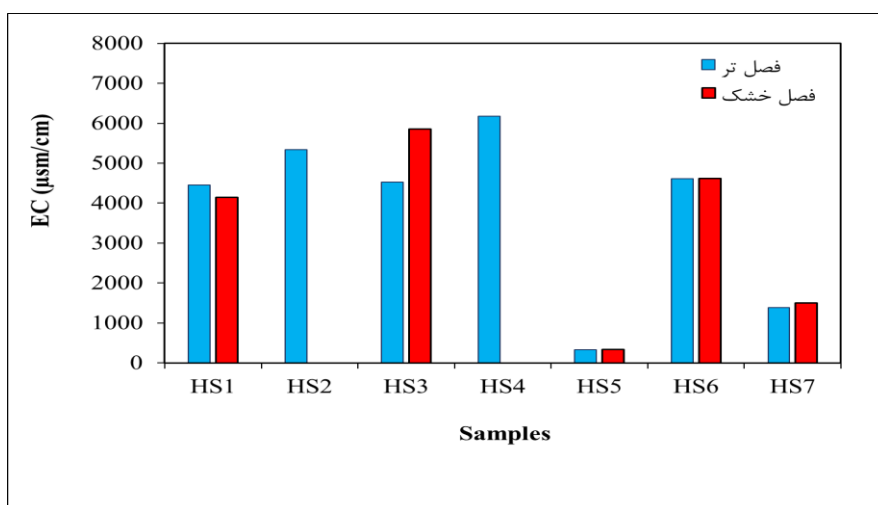
##### ۴-۲-۱-۱-۱- هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی، نشان دهنده‌ی توانایی آب برای عبور جریان الکتریکی است که به غلظت یون‌های موجود بستگی داشته و با کل جامدات محلول در آب (TDS) رابطه‌ی مستقیم دارد (Hounslow, 1995). هدایت آب تابعی از غلظت یون‌های محلول در آب می‌باشد (Ravikumar et al. 2011). عوامل مؤثر بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی؛ خصوصیات سنگ شناسی، میزان بارش، شیب و سرعت حرکت آب زیرزمینی می‌باشد. شکل (۴-۱۳)، تغییرات زمانی EC چشمه‌های هفت‌رنگ تاش طی بازه زمانی ۷ ماهه را نشان می‌دهد. کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۲۹۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و متعلق به چشمه‌ی کارستی (HS5) در فروردین ماه می‌باشد. در مقابل بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی با  $7600 \mu\text{s/cm}$  مربوط به نمونه چشمه‌ی غیر کارستی (HS3) در مهر ماه است. چشمه‌های HS4 و HS2 به دلیل خشک شدن و عدم اندازه‌گیری مقادیر شوری در برخی زمان‌ها فاقد داده می‌باشند. براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008)، حد مطلوب و بالاترین مقدار مجاز EC برای

مصارف شرب به ترتیب ۵۰۰ و ۱۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر می باشد. مقدار تغییرات EC در چشمه‌ی کارستی (HS5) کم بوده و در طول دوره آماری ۷ ماهه تقریباً ثابت می باشد که این امر دلیل بر وجود رژیم جریان افشان در حوضه آبریز این چشمه است. در سایر منابع، به دلیل تغییر عمده‌ی دبی در طول دوره‌ی آماری، مقدار EC اندک تغییراتی را نشان می دهد. علاوه بر این مطابق شکل (۴-۱۴) که تغییرات EC نمونه‌های مورد مطالعه طی دو دوره تر و خشک را نشان می دهد مشاهده می شود که به استثنای نمونه‌ی HS1 در سایر چشمه‌ها تغییرات هدایت الکتریکی طی دوره‌ی خشک بیش تر از دوره‌ی تر بوده است (تغییرات ثابتی ندارند).



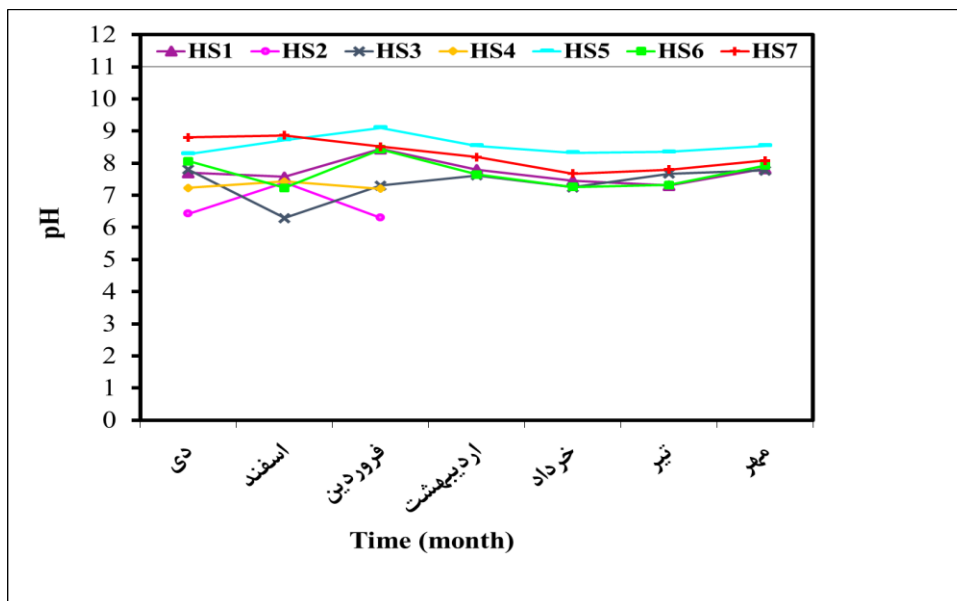
شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی EC نمونه‌های هفت‌رنگ تاش (بازه آماری دی ۹۶ تا مهر ۹۷)



شکل ۴-۱۴- متوسط تغییرات هدایت الکتریکی در دو فصل تر و خشک در نمونه‌های مورد مطالعه.

#### ۴-۲-۱-۱-۲- تغییرات مقادیر pH چشمه‌ها

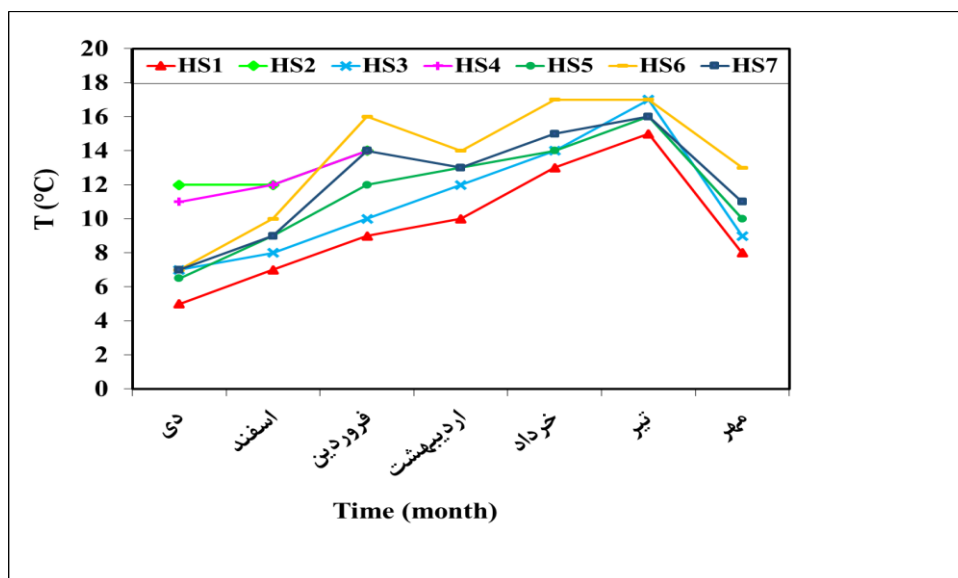
پارامتر pH رابطه‌ی نزدیکی با متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب دارد و کنترل کننده‌ی اصلی حلالیت و رسوبگذاری اکثر ترکیبات فلزی و عناصر انحلال‌پذیر است (Garg et al, 2009). مقدار pH در اغلب آب‌های زیرزمینی وابسته به حالت تعادل دی‌اکسید کربن، کربنات و بی‌کربنات می‌باشد. در این تعادل مقدار فشار و دما نیز مؤثر بوده و از این رو با تغییر این عوامل، میزان pH نیز تغییر می‌یابد. اغلب آب‌های زیرزمینی حاوی pH معادل ۶ تا ۸/۵ هستند. آب‌های با pH کم معمولاً دارای اسید کربنیک آزاد-سولفید هیدروژن آزاد و اسیدهای کلریک و اسید هومیک می‌باشند. آب‌های زیرزمینی آتشفشانی نیز حاوی اسید کلریک و اسید سولفوریک هستند. آب‌های زمین‌های سیلیسی دارای pH پایین‌تر از ۷ و آب‌های آهکی و سولفور سدیک حاوی مقدار pH بالا (بین ۸ تا ۱۰) هستند. همچنین مقدار pH در آب‌های سولفور کلسیک بین ۷/۵-۶/۵ و در آب‌های بی‌کربنات سدیک کمی پایین‌تر از ۷ می‌باشد. pH آب پس از خروج از چشمه به دلیل از دست دادن دی‌اکسید کربن و یا اکسیداسیون تغییرات زیادی را متحمل می‌گردد. در طی فرآیند اکسیداسیون سولفورهای آب به سولفات تبدیل شده و در نتیجه pH آب کاهش می‌یابد و چنانچه اسید کربنیک آب از دست داده شود مقدار pH افزایش خواهد یافت. سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) میزان pH مطلوب برای مصارف شرب را ۵-۶ تا ۸/۵ تعیین نموده است. براساس نتایج حاصل از جدول (۳-۴) و شکل (۴-۱۲)، که تغییرات زمانی pH چشمه‌های هفت‌رنگ تاش طی دوره زمانی ۷ ماهه را نشان می‌دهد می‌توان عنوان نمود که مقادیر pH در چشمه‌های مورد مطالعه متغیر بوده به طوری که کم‌ترین مقدار مربوط به نمونه‌ی چشمه HS3 (۶/۲۹) در اسفند ماه و بیش‌ترین آن مربوط به نمونه‌ی چشمه HS5 در فروردین ماه (۹/۱) می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که رخساره‌ها و سازندهای زمین‌شناسی منطقه تأثیر زیادی بر مقادیر اسیدیته چشمه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. تغذیه از سازندهای آهکی نیز عاملی است که منجر به ایجاد شرایط قلیایی در نمونه آب کارستی شده است.



شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی pH چشمه‌های هفت‌رنگ تاش (دوره آماری ۷ ماهه).

#### ۴-۲-۱-۱-۳- تغییرات درجه حرارت

تغییرات دمایی در هر منطقه می‌تواند یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر رنج تغییرات داده‌ها و پارامتر تأثیرگذاری بر کیفیت منابع آب باشد. درجه حرارت از پارامترهای کیفی محسوب می‌گردد که تأثیر مهمی بر کنترل واکنش‌های هیدروژئوشیمیایی و بیوشیمیایی دارد. این پارامتر در آب‌های سطحی معمولاً با تغییر فصل تغییر می‌یابد این در حالی است که آب‌های عمیق عمدتاً درجه حرارت مشخصی را در تمام فصول دارا می‌باشند. شکل (۴-۱۳) نمودار تغییرات دمایی چشمه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بازه‌ی زمانی این پارامتر در نمونه‌های مورد مطالعه متغیر بوده و مقادیری از ۵ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شود. با توجه به شکل (۴-۱۳) ملاحظه می‌گردد که این عامل عمدتاً روند یکسانی برای چشمه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی ۷ ماهه را نشان می‌دهد، بطوریکه در فصول گرم مقدار دما نیز بیش‌تر شده است. البته با توجه به این‌که آب چشمه‌ها بر روی سطح زمین جریان یافته‌اند و امکان نمونه‌برداری از محل خروج چشمه امکان‌پذیر نبوده است بنابراین، این دما نمی‌تواند نماینده‌ی آب خروجی چشمه‌ها باشد.



شکل ۴-۱۶- مقادیر تغییرات دمایی منابع آب مورد مطالعه.

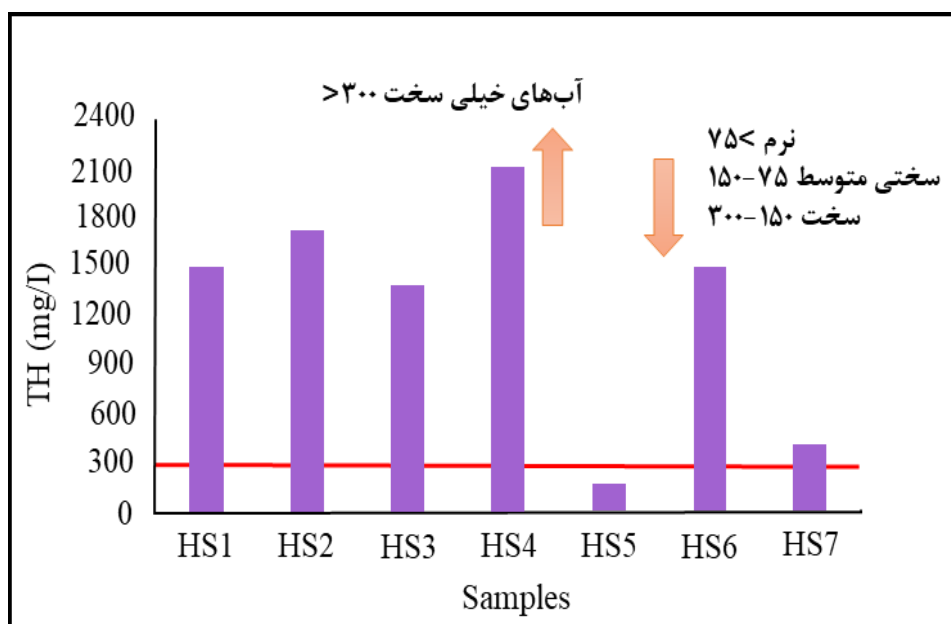
#### ۴-۱-۱-۲-۴- سختی کل (TH)

سختی آب یک معیار بسیار مهم برای آب از نظر استفاده‌ی آن در مصارف مختلف است. سختی آب ناشی از حضور کاتیون‌های فلزی دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم که در آب زیرزمینی فراوان‌ترند می‌باشد. ویژگی سختی آب می‌تواند باعث جلوگیری از تشکیل کف یا صابون و افزایش نقطه جوش آب شود (Raju et al, 2011). مقادیر سختی در منابع آب زیرزمینی در بیشتر نقاط توسط کلسیم و در برخی نقاط نیز به وسیله‌ی املاح منیزیم کنترل می‌شود. برای رده‌بندی نمونه‌های آب از نظر میزان سختی، از رده‌بندی (Todd, 1980) استفاده گردید (جدول ۴-۶). بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۴-۵) بیش‌ترین مقدار سختی کل متعلق به نمونه‌ی HS4 در اسفند ماه (۲۶۸۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر) و کم‌ترین مقدار سختی نیز مربوط به نمونه‌ی HS5 در تیرماه (۷۵/۸ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) مطلوب‌ترین مقدار سختی برای مصارف شرب ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است. رده‌بندی آب بر اساس سختی کل در جدول (۴-۶) ارائه شده است. بر این اساس نمونه‌های مورد بررسی به‌جز نمونه چشمه‌ی (HS5) و در گروه آب‌های خیلی سخت واقع شده و قابلیت مصرف شرب را ندارند.



جدول ۴-۶ - رده‌بندی آب زیرزمینی بر اساس سختی کل (Todd, 1980)

رده‌بندی آب	TH (میلی گرم بر لیتر $\text{CaCO}_3$ )
نرم	<75
سختی متوسط	75-150
سخت	150-300
خیلی سخت	>300



شکل ۴-۱۷ - متوسط مقادیر سختی کل در نمونه‌های مورد مطالعه.

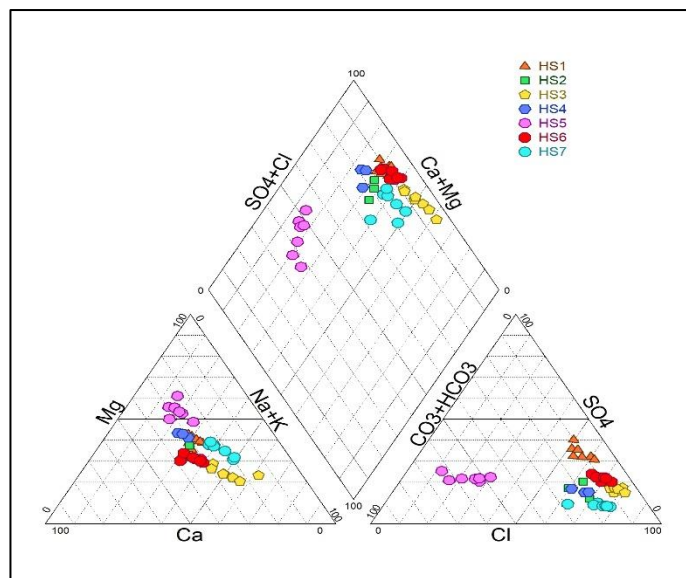
#### ۴-۳- نمایش نموداری داده‌های هیدروشیمیایی

در این مطالعه جهت تعیین تیپ و رخساره‌ها و بررسی منشأ نمونه آب از نمودارهای پایپر، استیف و شولر استفاده شد.

#### ۴-۳-۱- نمودار پایپر (Piper)

نمودارهای پایپر؛ عمدتاً جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها تهیه می‌گردند. رخساره‌های هیدروشیمیایی جهت نمایش اختلاف در ترکیب

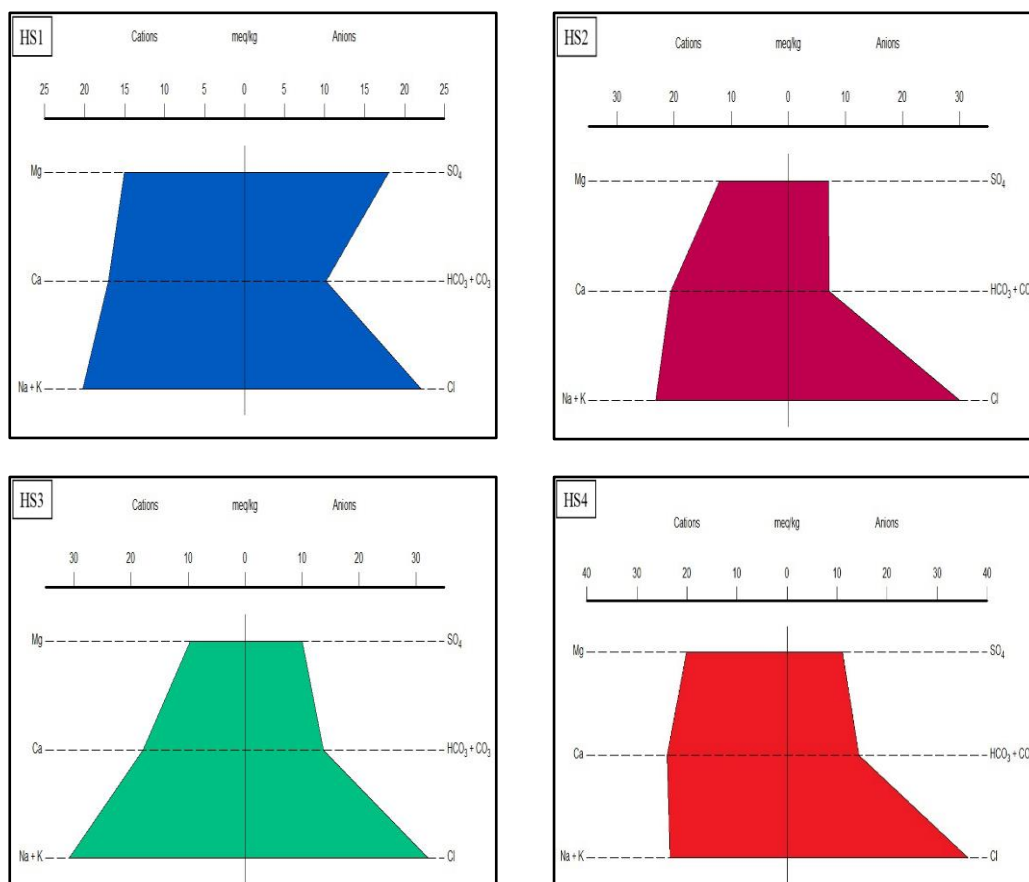
شیمیایی آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Freeze & Cherry, 1997). در نمودار پایپر، آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در دو مثلث مجاور هم قرار می‌گیرند و ترکیب شیمیایی هر نوع آب براساس درصد کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر روی آن، به صورت یک نقطه رسم می‌گردد. همچنین این نمودار جهت تعیین فرآیندهای انحلال یا رسوبگذاری، اختلاط بین دو نمونه آب و یا تبادل یونی نیز قابلیت تحلیل دارد. با توجه به دیاگرام پایپر (شکل ۴-۱۸) دو گروه مجزا مشاهده می‌گردد. یک گروه که چشمه‌ی کارستی (HS5) می‌باشد که دارای تیپ غالب بی‌کربناته کلسیک است و در زون آب شیرین قرار گرفته است. این دو گروه از نظر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، حاوی پراکندگی آنیونی بیشتری نسبت به کاتیون‌ها می‌باشند. به طوری که تیپ غالب آنیونی نسبت به تیپ غالب کاتیونی قابل تفکیک‌تر است. تیپ غالب آنیونی گروه دوم که دارای هدایت الکتریکی بیشتری می‌باشند، کلروره است. از نظر کاتیون‌ها نیز بین کلسیک-سدیک می‌باشد. در مقایسه‌ی دو سری داده‌ی اندازه‌گیری شده در دو فصل خشک و تر براساس دیاگرام پایپر می‌توان بیان کرد که در فصل خشک، غلظت آنیون‌ها در نمونه‌ها به سمت کلر و سولفات رفته و مقدار EC افزایش یافته است. در مقابل، پراکندگی کاتیون در فصل خشک نیز تقریباً مشابه فصل تر می‌باشد با این تفاوت که کاتیون‌ها به مقدار اندک به سمت رخساره‌ی سدیک تمایل یافته‌اند و این می‌تواند به دلیل انحلال اندک رسوبات تبخیری سازند شمشک در منطقه باشد.



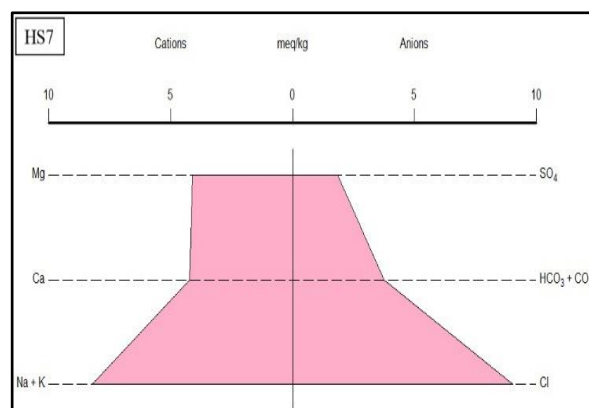
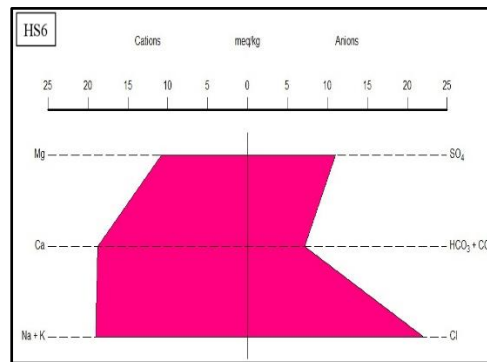
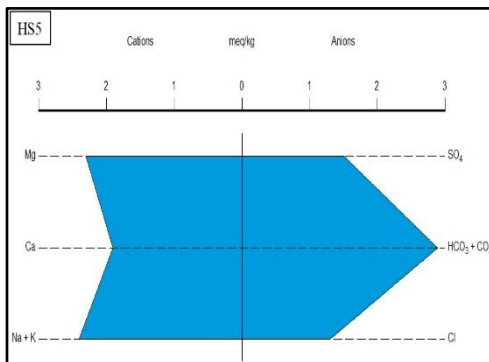
شکل ۴-۱۸ - دیاگرام پایپر مربوط به نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه.

#### ۴-۳-۲- نمودار استیف (Stiff)

استفاده از نمودار استیف، یکی از بهترین روش‌ها جهت تعیین تیپ آب می‌باشد. اندازه و شکل حاصل از این نمودار، تقریباً متناسب با کل محتوای یونی است. در این نمودار، هر نمونه آب به صورت جداگانه بررسی می‌شود. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در نمودار مذکور بر حسب  $\text{meq/l}$  بر روی خط افقی واقع می‌گردند. هر چه مساحت شکل به دست آمده بیش‌تر باشد، غلظت املاح موجود در آب نیز بیش‌تر خواهد بود (Hounslow, 1995). این نمودار همچنین جهت تشخیص سنگ منشأهای مختلف، بیان تفاوت‌های موجود در رخساره‌های هیدروشیمیایی و غلظت کل جامدات محلول در آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۴-۱۹) نمودار استیف مربوط به برخی از چشمه‌های مورد مطالعه مربوط به فروردین ماه را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال ملاحظه می‌شود که تیپ و رخساره‌ی غالب در تمامی نمونه‌ها کلروره سدیک بوده ولی در نمونه‌ی HS5 بی‌کربنات سدیک-کلسیک است.



شکل ۴-۱۹- نمودار استیف مربوط به چشمه‌های مورد مطالعه طی فروردین ماه.

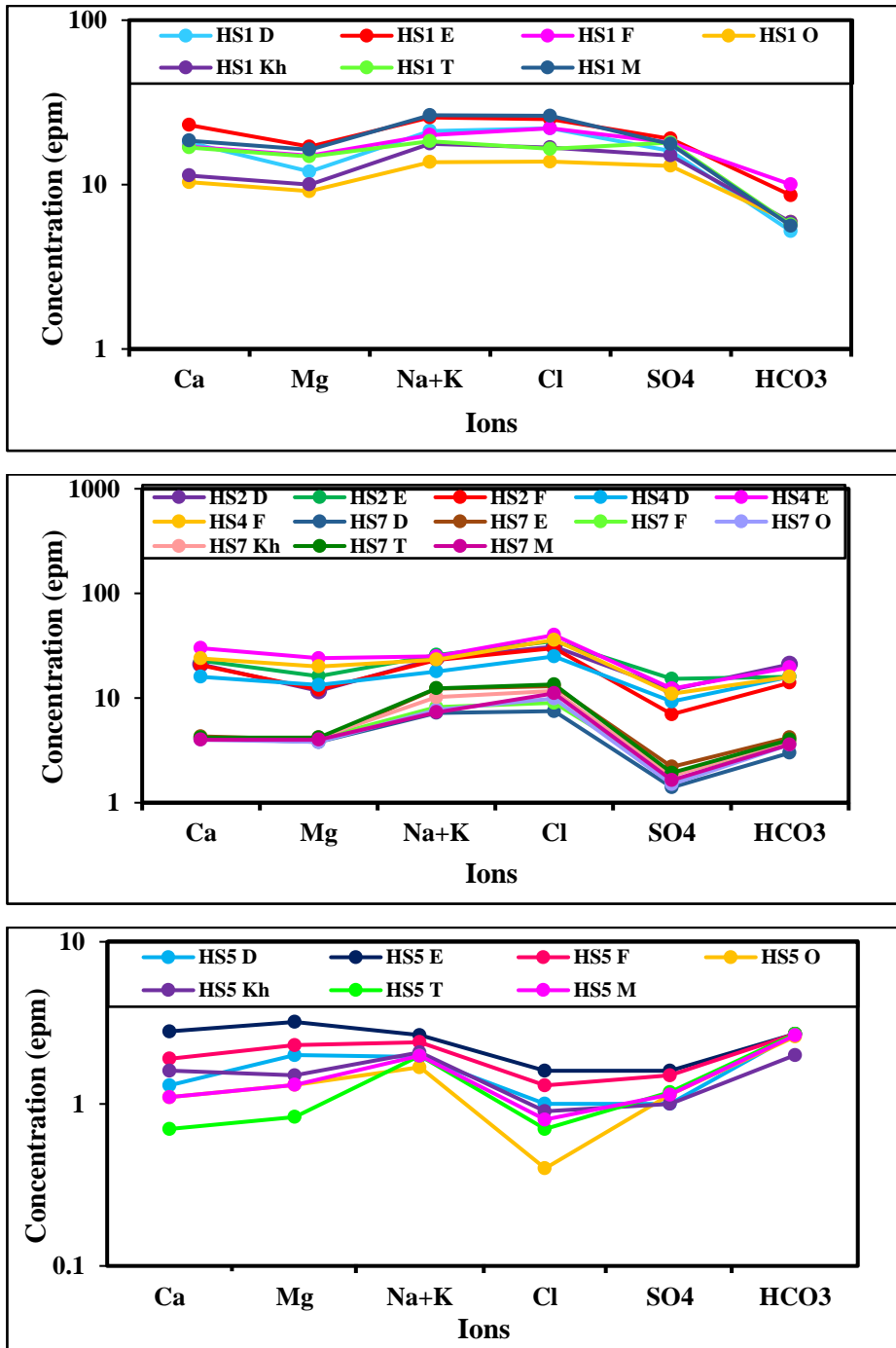


ادامه شکل ۴-۱۹- نمودار استیف مربوط به چشمه‌های مورد مطالعه طی فروردین ماه.

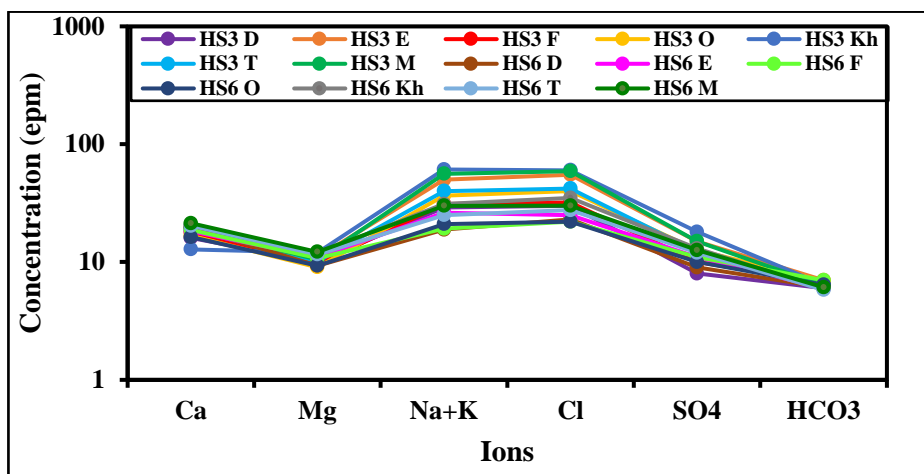
#### ۴-۳-۳- نمودار شولر (Scholler)

نمودار شولر یک نمودار نیمه لگاریتمی جهت مقایسه‌ی تعداد زیاد نمونه‌های آب، یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها و بررسی روند تغییرات غلظت متفاوت یون‌ها می‌باشد. در محور افقی این نمودار یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بی‌کربنات و سولفات برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر واقع می‌گردد. از آن جایی که محور عمودی این نمودار، لگاریتمی می‌باشد، بنابراین خطوط موازی بیانگر روند یکسان و در نتیجه یکی بودن منشأ و مساوی بودن نسبت یون‌ها در نمونه‌هاست (Todd and Mays, 2005). شکل (۴-۲۰) نمودارهای شولر مربوط به نمونه‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس شکل‌های ترسیم شده مشاهده می‌گردد که نمونه‌های مورد مطالعه چهار روند متفاوت را نشان می‌دهد. بر این اساس نمونه‌هایی که در هر گروه واقع شده حاوی روند یکسان بوده و بنابراین منشأ یکسانی را دارا می‌باشند. داده‌های سری زمانی شولر برای هر چشمه تقریباً روند یکسانی دارند. این امر نشانگر این است که مقدار پارامترهای هیدروشیمیایی

هر چشمه در طول زمان تقریباً ثابت است که دلیل بر جریان افشان بودن آن‌ها است. رخساره‌های غالب کاتیونی در اکثر منابع، کلسیک-سدیک می‌باشد در حالی که رخساره‌ی آنیونی غالب در چشمه‌ی کارستی، کربناته و در سایر چشمه‌ها کلروره است. به طور کلی هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی در طول زمان تغییر قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد.



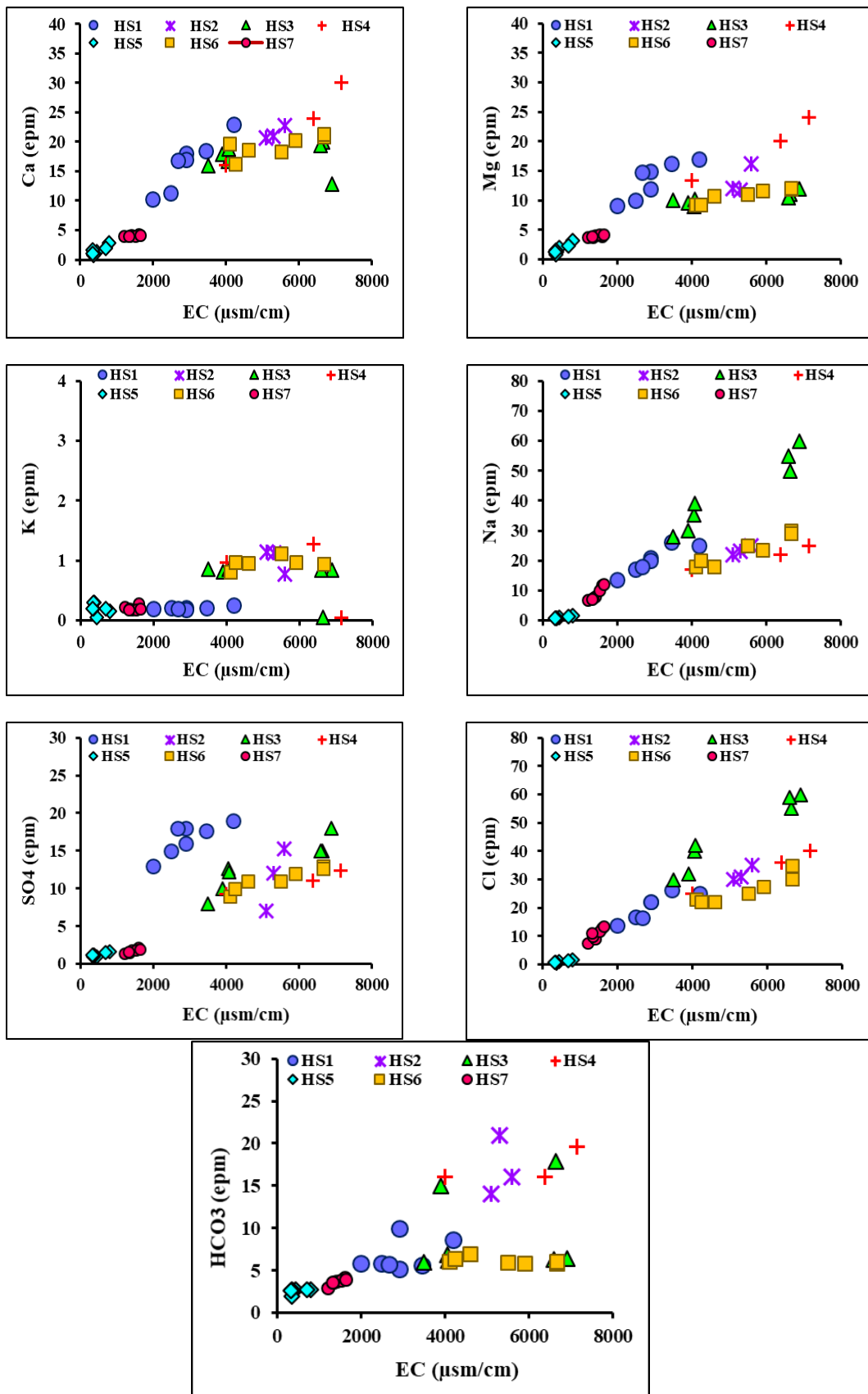
شکل ۴-۲۰- نمودار شولر در منابع آب مورد مطالعه.



ادامه شکل ۴-۲۰- نمودار شولر در منابع آب مورد مطالعه.

#### ۴-۴- ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها

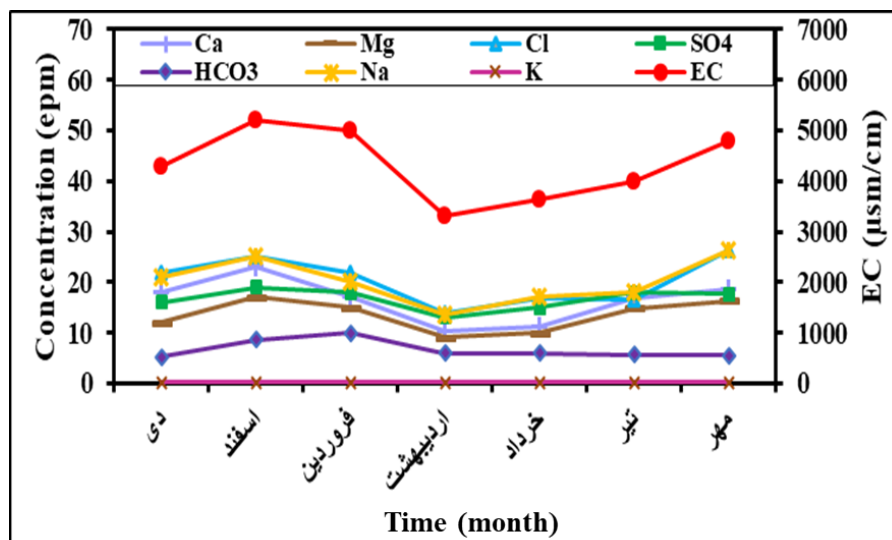
جهت ارزیابی ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها نمودار تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در مقابل هدایت الکتریکی ترسیم شده است (شکل ۴-۲۱). براساس این نمودارها مشاهده می‌شود که روند هدایت الکتریکی با یون‌های موجود تطابق و رابطه‌ی مستقیمی ندارد و به عبارتی پراکندگی داده‌ها بسیار زیاد بوده و هر چشمه‌ای الگوی متفاوتی داشته است و تفاوت منشأ هیدروشیمیایی چشمه‌ها را نشان می‌دهد. اما در کل مقدار EC با یون‌های کلسیم و کلر و تا حدودی منیزیم و سدیم، رابطه‌ی مستقیمی را نشان می‌دهد. این مسأله بیانگر این است که عامل افزایش و تغییر EC در منطقه می‌تواند انحلال کربنات‌ها و نمک باشد. در سایر یون‌ها رابطه‌ی مشخصی مشاهده نمی‌گردد که این عدم ارتباط همگی یون‌ها با مقدار EC می‌تواند نشانگر عدم رخداد تبخیر در منطقه و حوضه آبرگیر آن‌ها در طول مسیر جریان باشد.



شکل ۴-۲۱- ارتباط هدایت الکتریکی با یون‌های موجود در منابع آب مورد مطالعه.

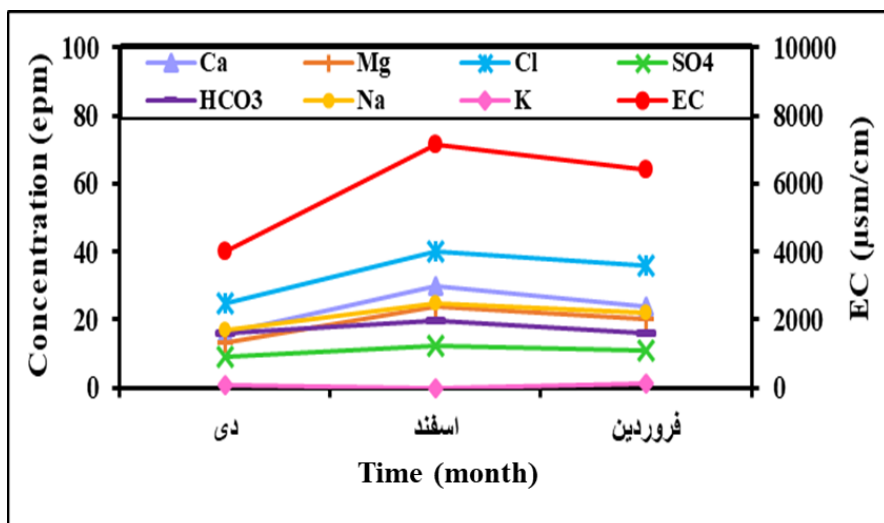
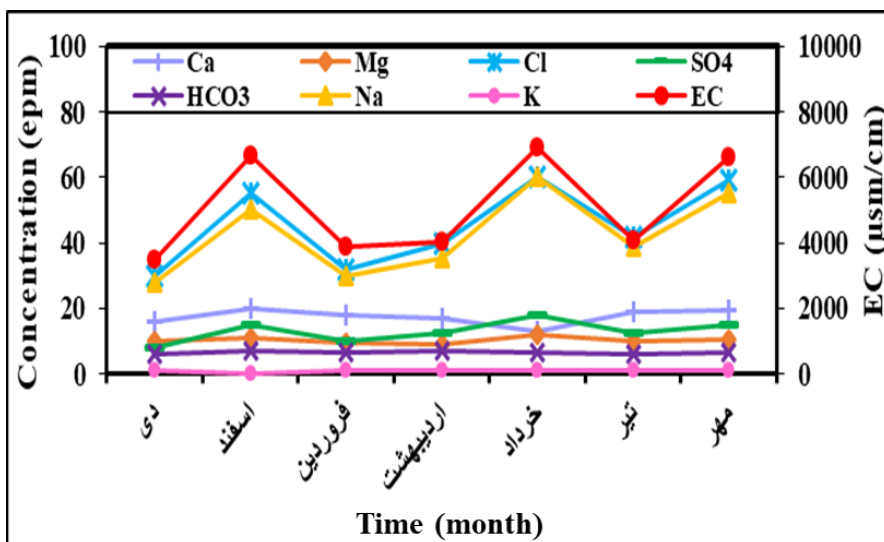
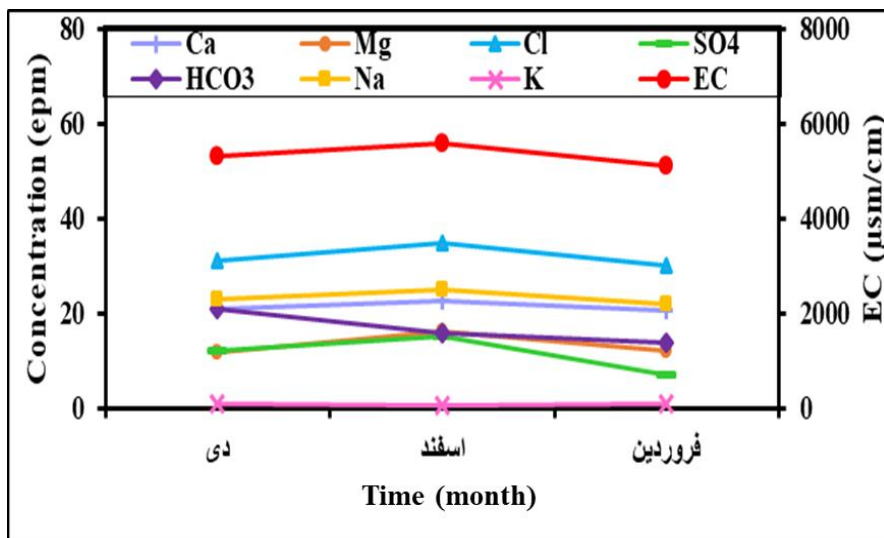
#### ۴-۵- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منابع آب موجود

شکل (۴-۲۲) تغییرات غلظت یون‌های اصلی را در منابع آب موجود در منطقه نشان می‌دهد. مقادیر EC نیز جهت مقایسه و تفسیر بهتر در شکل‌ها نشان داده شده است. در تمامی چشمه‌ها در دو فصل تر و خشک مقدار EC یا ثابت بوده و یا این‌که در فصل تر کمتر و در فصل خشک بیش‌تر شده است که علت این امر می‌تواند وجود تغذیه در فصل تر و دبی بیشتر و بالتبع کاهش EC باشد. اما در فصل خشک به علت دبی کمتر و افزایش تبخیر، مقدار EC و بالتبع غلظت سایر یون‌ها افزایش یافته است. در تمامی چشمه‌ها تقریباً تغییرات غلظت یون‌های کلر و سدیم با مقادیر EC همخوانی دارد. به خصوص در چشمه‌های با EC بیشتر این همخوانی نیز بیشتر بوده که نشانگر نقش این دو یون در تعیین مقدار هدایت الکتریکی چشمه‌ها می‌باشد. سایر یون‌ها (به خصوص کاتیون‌ها) در برخی چشمه‌ها تقریباً در طول زمان روند ثابتی را نشان می‌دهند. در چشمه‌ی کارستی (HS5)، یون‌های بی‌کربنات و کلسیم تقریباً با تغییر EC رابطه نشان می‌دهند. این در حالی است که سایر یون‌ها روند خاصی را نشان نداده و این امر نشانگر انحلال کربنات‌ها به عنوان عامل اصلی تعیین‌کننده‌ی غلظت یون‌ها و مقدار EC می‌باشد.

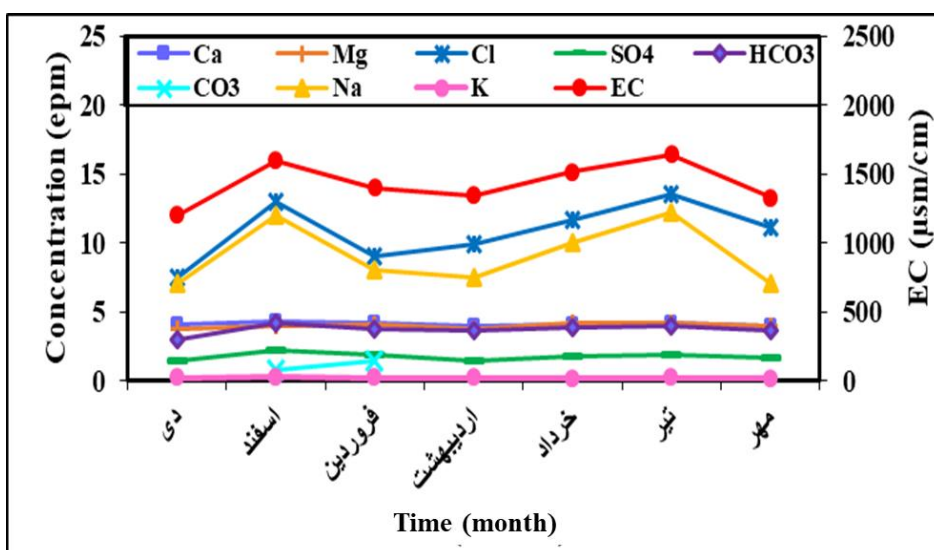
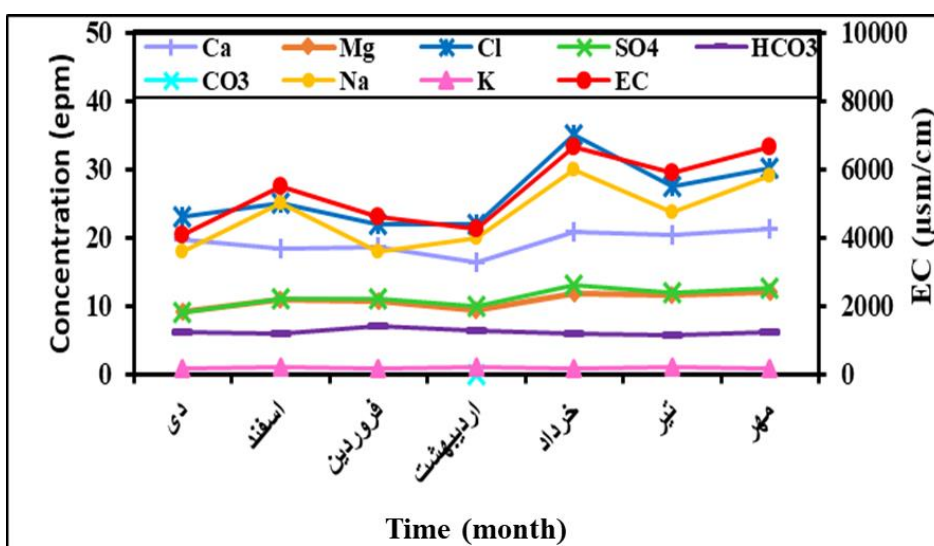
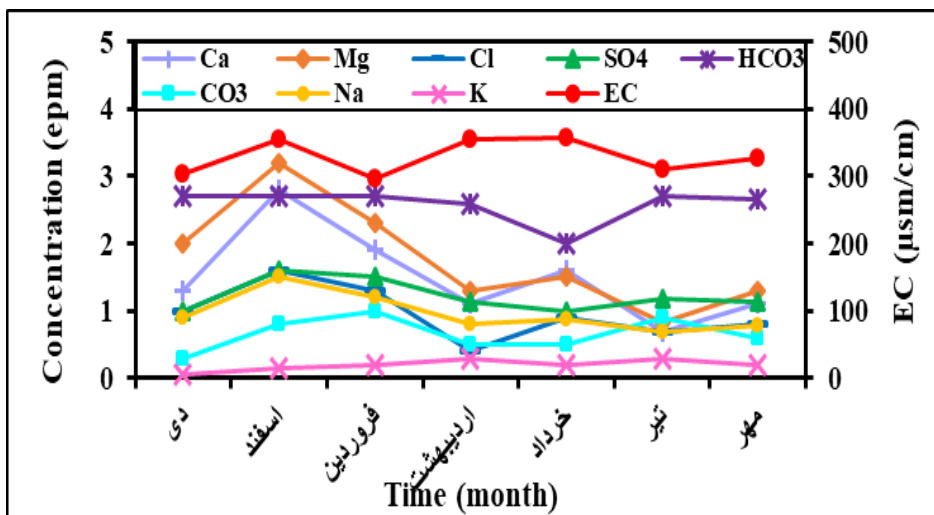


شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب مورد مطالعه (HS1 تا HS7).





ادامه شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی غلظت یونهای اصلی در منابع آب مورد مطالعه (HS1 تا HS7).



ادامه شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی غلظت یونهای اصلی در منابع آب مورد مطالعه (HS1 تا HS7).

#### ۴-۶- بررسی کیفیت نمونه‌های آب از نظر استفاده در کشاورزی (آبیاری)

کیفیت آب برای آبیاری با مقادیر کل املاح و انواع نمک موجود در آن تعیین می‌شود. نوع و مقدار نمک‌های آب و از این رو شوری آن بستگی به منبع آب دارد. جهت بررسی کیفی آب از لحاظ استفاده در کشاورزی از شاخص شوری، درصد سدیم (%Na)، نسبت جذب سدیم (SAR) و نمودار ویلکاکس استفاده شد که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد (مقادیر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم نیز در جدول (۴-۲) درج گردیده است).

#### ۴-۶-۱- شاخص شوری

از پارامترهای مؤثر در تعیین کیفیت آب‌ها جهت آبیاری می‌توان به شاخص شوری اشاره نمود که ارتباط نزدیکی با پارامترهای EC و TDS دارد (Ravikumar et al. 2010). رده‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی براساس شاخص شوری در جدول (۴-۷) آورده شده است. با توجه به تقسیم‌بندی صورت گرفته نتیجه می‌شود که از بین نمونه‌های مورد بررسی، نمونه‌ی HS5 حاوی شوری پایین بوده و جهت آبیاری مناسب است. ما بقی نمونه‌ها نیز دارای شوری بالا و بسیار بالا بوده و قابلیت کمتری جهت کشاورزی دارند.

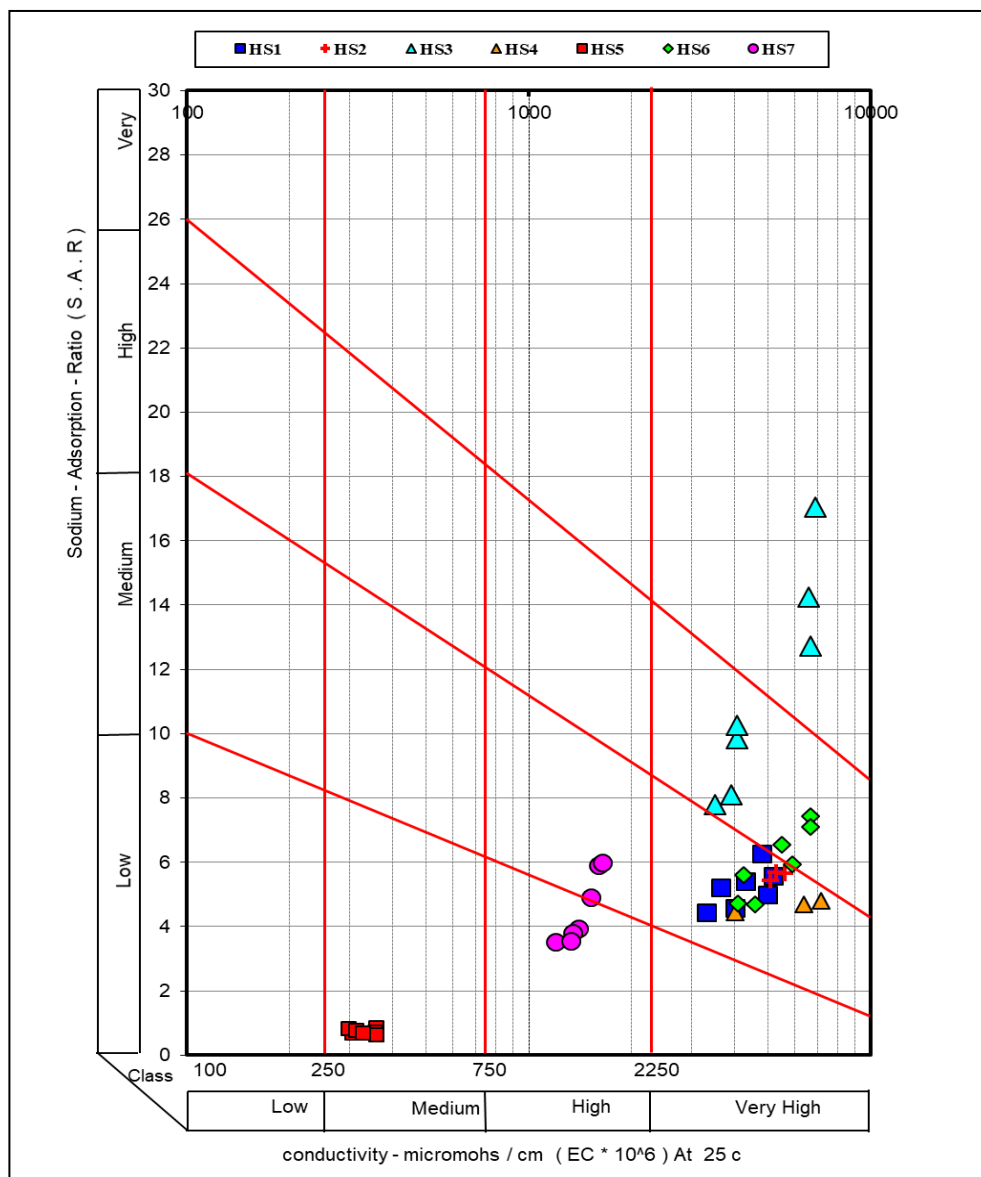
جدول ۴-۷ - رده بندی آب زیرزمینی بر اساس شوری و ارزیابی کیفیت آن در آبیاری (Mills, 2003)

شوری	EC ( $\mu\text{sm}/\text{cm}$ )	رده بندی
پایین (مناسب برای آبیاری محصولات)	<۶۵۰	رده ۱
متوسط (مناسب برای آبیاری محصولات با تحمل شوری بسیار کم)	۶۵۰-۱۳۰۰	رده ۲
بالا (مناسب برای آبیاری محصولات با تحمل شوری متوسط تا بالا)	۱۳۰۰-۳۰۰۰	رده ۳
بسیار بالا (مناسب برای محصولات با تحمل شوری بالا)	۳۰۰۰-۵۰۰۰	رده ۴

#### ۴-۶-۲- طبقه بندی ویلکاکس (Wilcox)

یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها به منظور طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی تحلیل نمودار ویلکاکس می‌باشد، زیرا در نمودار ویلکاکس محور افقی به شوری آب (بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و محور عمودی

به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. براساس طبقه‌بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب در گروه C1S2، C2S1، C2S2، آب‌های متوسط در گروه در کلاس C3S3، C1S3، C2S3، C3S2، C3S1 قرار گرفته و بقیه آب‌ها نامناسب هستند (علیزاده، ۱۳۸۹). بر اساس نمودار ویلکاکس (شکل ۴-۲۳)، تنها نمونه آب چشمه‌ی (HS5) دارای کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی می‌باشند.



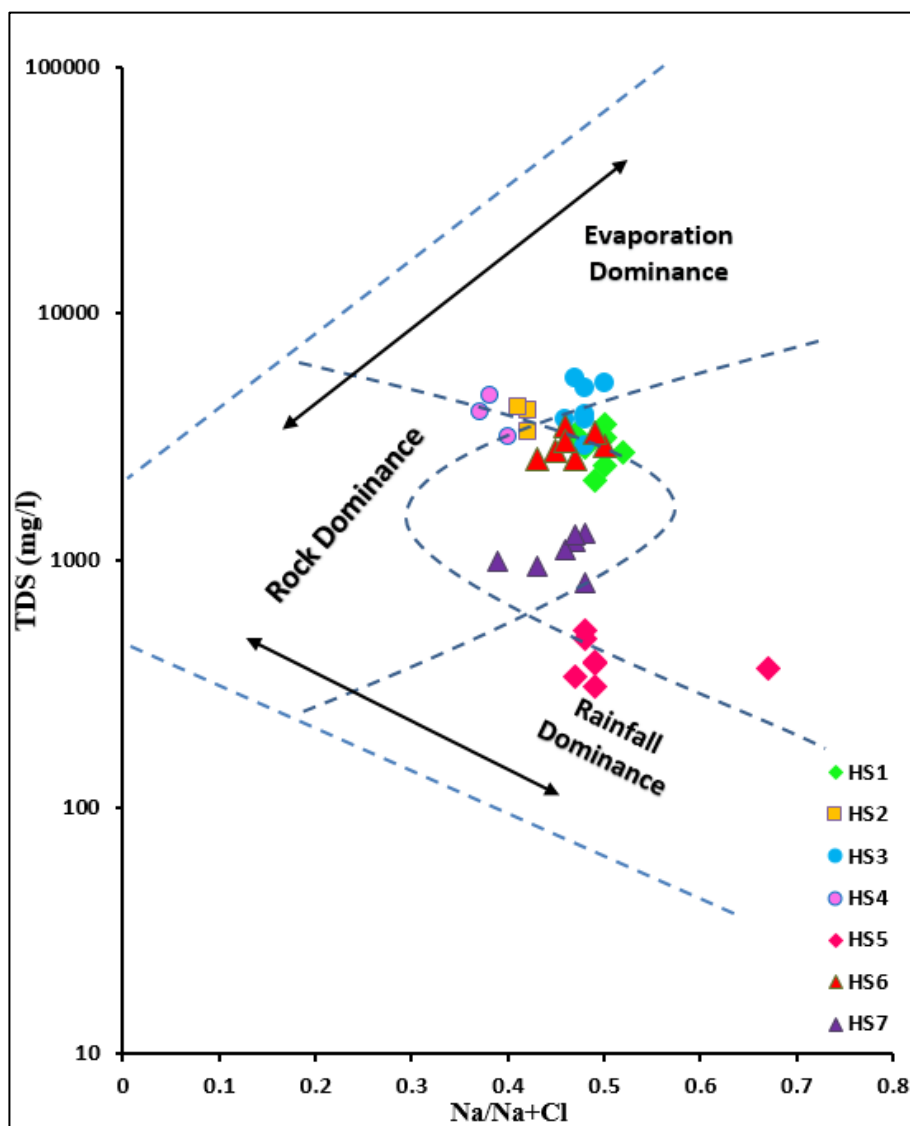
شکل ۴-۲۳- تعیین کیفیت آب چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه تاش برای کشاورزی به کمک دیاگرام ویلکاکس

#### ۴-۷- بررسی فرآیندهای غالب کنترل کننده‌ی ترکیب شیمیایی آب

فرآیندهای مختلفی بر ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به انحلال، ته نشینی، اکسیداسیون و احیا، تبادل یونی، مخلوط شدگی و بالاخره آلودگی اشاره نمود. در این مطالعه برای بررسی فرآیندهای کنترل کننده‌ی ترکیب شیمیایی آب از نمودار گیبس، محاسبه‌ی برخی نسبت‌های یونی و نیز محاسبه‌ی شاخص اشباع شدگی نمونه‌های آب (نسبت به برخی کانی‌ها) استفاده گردید که در زیر به آن اشاره شده است.

#### ۴-۷-۱- نمودار گیبس

به منظور بررسی تأثیر لیتولوژیکی سنگ‌های مؤثر بر کیفیت آب، تعیین سازوکار حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی و سطحی، ترکیب یون‌های اصلی موجود در منابع آب از نمودار گیبس استفاده می‌شود. طبق نظر (Langmuir 1997)، ترکیب آب‌های زیرزمینی توسط سه پارامتر بارندگی، واکنش متقابل بین آب و سنگ و تبخیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. براساس نمودار گیبس (شکل ۴-۲۴)، تنها نمونه چشمه HS5 تحت تأثیر عوامل جوی و نمونه‌ی HS2 و HS4 تحت واکنش متقابل آب و سنگ تغییر کیفیت می‌دهد و مابقی چشمه‌ها تحت تأثیر ۳ عامل مذکور متحمل تغییر کیفیت آب و تغییرات هیدروژئوشیمیایی می‌شوند. چشمه‌ی کارستی (HS5) از سازندهای کربناته‌ی بالادست نشأت گرفته که در تماس مستقیم بارش‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین به دلیل عدم وجود اپی کارست در حوضه آبرگیر آن و همچنین وجود حجم زیادی از بارش که عمدتاً به صورت برف است، عامل اصلی تعیین کننده‌ی هیدرووشیمی چشمه به همراه سازندهای کربناته می‌باشد. اما در مورد سایر چشمه‌ها، به دلیل افزایش مقدار EC در آن‌ها، نقش انحلال سایر سازندهای غیر کربناته همچون شمشک می‌تواند هیدرووشیمی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین به دلیل جاری شدن آب منابع بر روی سطح زمین، اثر تبخیر در برخی از نمونه‌ها نیز دیده می‌شود.



شکل ۴-۲۴- نمودار گیبس مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه

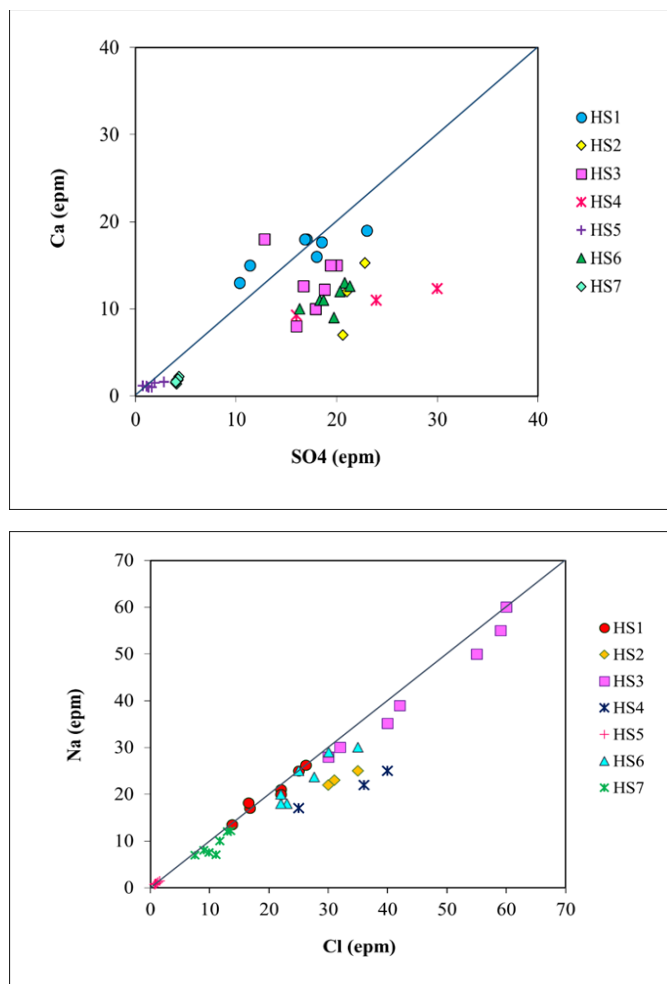
#### ۴-۷-۲- بررسی تکامل ژئوشیمیایی

جهت بررسی منشأ و فرآیندهای حاکم بر ترکیب شیمیایی منابع آب محدوده‌ی مورد مطالعه، از نسبت‌های یونی مختلف استفاده شد. با توجه به بالا بودن مقدار EC در برخی منابع، منشأ شوری آن‌ها مورد سؤال می‌باشد. منشأ شوری می‌تواند انحلال نمک و سایر تبخیری‌ها و نیز شورابه‌های نفتی باشد. از نسبت  $Na/Cl$  جهت تفکیک منشأ شوری استفاده می‌شود. اگر منشأ شوری انحلال نمک باشد، نسبت  $Na/Cl$  از نظر مولی برابر با یک می‌شود. اگر شورابه‌ی نفتی عامل باشد، این نسبت، کمتر از  $0/65$  و اگر نفوذ آب دریا باشد، این نسبت حدود  $0/85$  می‌گردد. در شکل (۴-۲۵)، مقادیر غلظت  $Na$  در مقابل  $Cl$

ترسیم شده است. انحراف کمی از این خط در برخی نمونه‌ها می‌تواند به علت عملکرد سایر فرآیندهای ثانویه همچون تبادل کاتیونی باشد. در طول مسیر جریان از منشأ تغذیه به سمت تخلیه، سازند شیلی شمشک وجود دارد که عامل تخریب کیفیت منابع آب منطقه شده است. به طوری که در اثر انحلال بین لایه‌های نمک در این سازند، مقدار EC و همچنین رنگ و بوی برخی از چشمه‌ها تغییر کرده است. در اثر انحلال سایر سازندهای تبخیری-ژیپسی نیز مقدار شوری می‌تواند افزایش یابد. با ترسیم تغییرات کلسیم در مقابل سولفات می‌توان این منشأ را بررسی کرد (شکل ۴-۲۵). در منطقه‌ی مورد مطالعه اکثر نمونه‌ها از خط انحلال ژیپس پراکنده شده‌اند که نشانگر این است که انحلال ژیپس، عامل اصلی افزایش شوری منابع آب منطقه نمی‌تواند باشد. با توجه به این که یکی از چشمه‌های اصلی منطقه کارستی بوده و دارای EC کمی می‌باشد، بنابراین بررسی انحلال کربنات‌ها در منطقه اهمیت دارد. در اثر افزایش انحلال کربنات‌ها؛ مقدار بی‌کربنات و کلسیم و منیزیم می‌تواند افزایش یابد. در شکل (۴-۲۵) تغییرات غلظت یون کلسیم و منیزیم در مقابل بی‌کربنات ترسیم شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که چشمه‌ی کارستی (HS5) بر روی خط انحلال قرار گرفته است که با توجه به حوضه آبریز این چشمه در سازندهای کربناته این فرآیند قابل قبول می‌باشد. در سایر چشمه‌های با شوری بیشتر، داده‌ها از خط انحلال فاصله گرفته‌اند. اگر منشأ کلسیم فقط انحلال کربنات‌ها بود، بایستی بر روی خط پلات می‌شدند. اما نتایج نشان می‌دهد که منشأ کلسیم علاوه بر انحلال کربنات‌ها می‌تواند فرآیندهای ثانویه همچون تبادل کاتیونی و یا به مقدار اندک انحلال ژیپس نیز باشد.

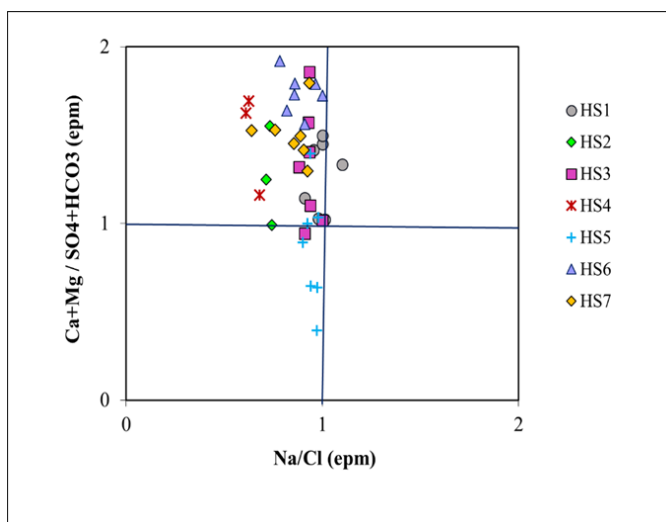
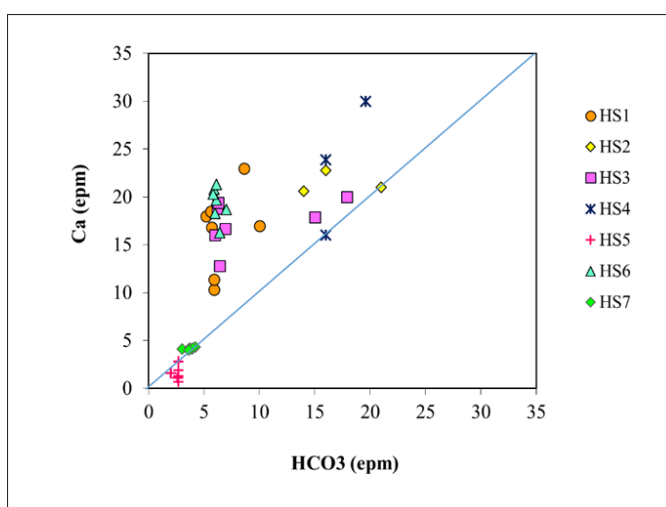
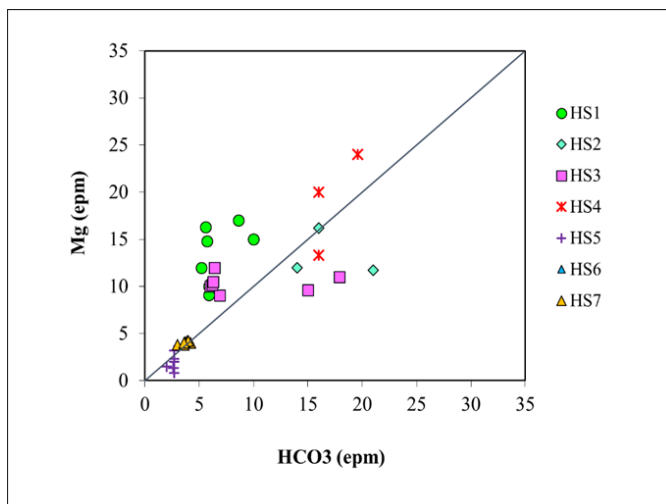
جهت بررسی فرآیند تبادل کاتیونی می‌توان نسبت  $Ca+Mg$  در مقابل  $SO_4+HCO_3$  را بر اساس (epm) ترسیم کرد. خط ۱:۱ ترسیم شده در شکل (۴-۲۵)، نشانگر انحلال کربنات‌ها و تبخیری‌ها (ژیپس) می‌باشد. بطوری که اگر داده‌ای تحت تأثیر انحلال کربنات‌ها قرار گرفته باشد، در پایین خط و اگر تحت تأثیر انحلال تبخیری‌ها باشد (مقدار شوری آن بیشتر باشد)، در مکان‌های بالاتر از خط ۱:۱ پلات می‌شوند. با توجه به این شکل، داده‌ها به دو گروه تقسیم شده‌اند، به طوری که چشمه کارستی شیرین بر روی خط و در پایین گراف پلات شده‌اند که نشانگر آن است که در حوضه آبریز این چشمه، فقط

انحلال کربنات‌ها صورت گرفته و فرآیند ثانویه‌ی دیگری ترکیب شیمیایی آن‌ها را تغییر نداده است. نمونه‌های سایر منابع بر روی خط و با کمی انحراف از خط در قسمت‌های بالاتری نسبت به چشمه کارستی پلات شده‌اند. با توجه به شکل می‌توان بیان کرد که علاوه بر انحلال، عامل تبادل کاتیونی باعث تغییر غلظت یون‌ها شده است. کلسیم و منیزیم می‌تواند با کاتیون سدیم در طول مسیر جریان تبادل پیدا کند. این فرآیند بیشتر در سازندهای شیلی و مارنی اتفاق می‌افتد. در منابع آب منطقه که دارای مقدار شوری بیشتری می‌باشند در اثر عبور از سازند شیلی شمشک، این فرآیند به مقدار اندکی رخ داده است (شکل ۴-۲۵).

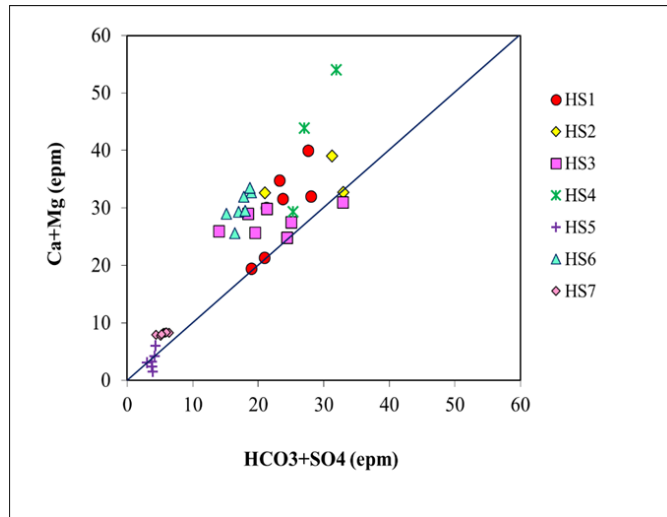


شکل ۴-۲۵- نمودار نسبت‌های یونی و تبادلات یونی در نمونه‌های مورد مطالعه.





ادامه شکل ۴-۲۵- نمودار نسبت‌های یونی و تبادلات یونی در نمونه‌های مورد مطالعه.



ادامه شکل ۴-۲۵- نمودار نسبت‌های یونی و تبادلات یونی در نمونه‌های مورد مطالعه.

#### ۴-۷-۳- شاخص اشباع

جهت محاسبه‌ی شاخص اشباع چهار کانی مهم کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در منطقه‌ی مورد مطالعه از نرم افزار PHREEQC استفاده شد. به طور کلی اگر شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به یک کانی منفی باشد، بیانگر تحت اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به آن کانی است و آب زیرزمینی می‌تواند همچنان این کانی را در خود حل کند. اما در صورتی که شاخص اشباع نسبت به یک کانی مثبت باشد نشانگر فوق اشباع بودن منبع نسبت به آن کانی است. نتایج مندرج در جدول (۴-۸) و شکل (۴-۲۶) شاخص اشباع مربوط به کانی‌های کلسیت، دولومیت، هالیت و ژیپس را در منطقه نشان می‌دهد. بر این اساس تمامی نمونه‌های آب منطقه نسبت به کانی‌های ژیپس، هالیت، کلسیت و دولومیت تحت اشباع می‌باشد. این نشانگر این است که زمان ماندگاری کمی داشته و طول مسیر جریان زیاد نمی‌باشد.

جدول ۴-۸- مقادیر شاخص اشباع نمونه‌های مورد بررسی.

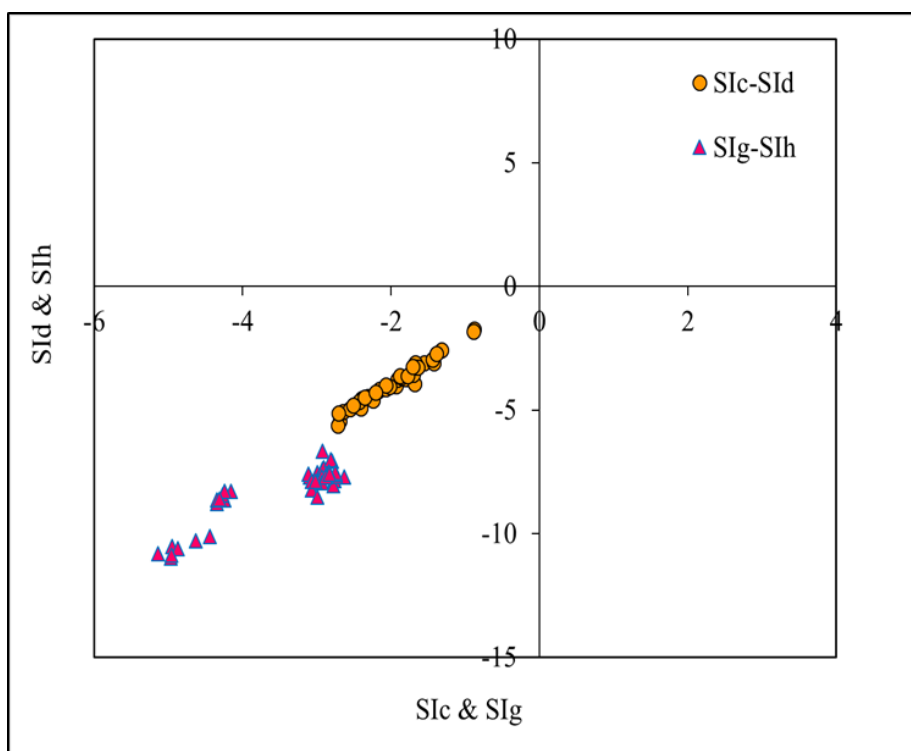
شاخص‌های اشباع				نمونه‌ها	تاریخ نمونه‌برداری
SI <sub>h</sub>	SI <sub>g</sub>	SI <sub>d</sub>	SI <sub>c</sub>		
-۷/۸۳	-۲/۷۷	-۴/۰۱	-۱/۹۳	HS1	۹۶/۱۰/۷
-۷/۷۱	-۲/۶۳	-۳/۵	-۱/۷۲	HS2	

ادامه جدول ۴-۸- مقادیر شاخص اشباع نمونه‌های مورد بررسی.

شاخص‌های اشباع				نمونه‌ها	تاریخ نمونه‌برداری
SI <sub>h</sub>	SI <sub>g</sub>	SI <sub>d</sub>	SI <sub>c</sub>		
-۷/۸۶	-۲/۷۶	-۱/۷۲	-۰/۸۸	HS3	۹۶/۱۰/۷
-۸/۲۳	-۳/۰۷	-۳/۷۶	-۱/۹۱	HS4	
-۸/۵	-۲/۹۹	-۴/۲۲	-۲/۱۷	HS5	
-۸/۰۵	-۲/۷۸	-۴/۱۷	-۲/۱۶	HS6	
-۷/۶۷	-۲/۷۴	-۳/۴۱	-۱/۷۲	HS7	
-۷/۶۶	-۲/۸۶	-۴/۹۳	-۲/۴۱	HS1	۹۶/۱۲/۱۷
-۷/۵۸	-۲/۷۴	-۳/۰۹	-۱/۵۵	HS2	
-۷/۷	-۳/۱	-۵/۴۳	-۲/۶۹	HS3	
-۷/۵۸	-۳/۱۱	-۳/۷	-۱/۷۸	HS4	
-۷/۰۷	-۲/۷۹	-۵/۶۲	-۲/۷۲	HS5	
-۷/۵۳	-۲/۹۹	-۳/۷۲	-۱/۷۹	HS6	
-۷/۳۷	-۲/۹۲	-۳/۷۲	-۱/۸۱	HS7	
-۷/۶۷	-۲/۹۲	-۴/۴۶	-۲/۳۱	HS1	۹۷/۱/۲۲
-۷/۳۲	-۲/۹۱	-۳/۹۳	-۱/۶۸	HS2	
-۷	-۲/۸۱	-۳/۵۶	-۱/۷	HS3	
-۷/۸۸	-۳/۰۷	-۳/۶۶	-۱/۸۶	HS4	
-۷/۵۳	-۲/۷۵	-۲/۵۸	-۱/۳۲	HS5	
-۷/۶۳	-۲/۸۸	-۳/۲۷	-۱/۶۹	HS6	
-۱۰/۵۱	-۴/۹۵	-۵/۰۷	-۲/۶۵	HS7	
-۱۰/۱	-۴/۴۴	-۳/۶۱	-۱/۸۸	HS1	۹۷/۲/۲۱
-۱۰/۲۹	-۴/۶۳	-۳/۱	-۱/۶۷	HS3	
-۱۰/۹۸	-۴/۹۷	-۴/۵۵	-۲/۴	HS5	
-۱۰/۵۹	-۴/۸۷	-۷/۹۴	-۲/۵۵	HS6	
-۱۰/۸۱	-۴/۹۲	-۵/۱۳	-۲/۷۱	HS7	
-۱۰/۸۶	-۴/۹۶	-۴/۶۷	-۲/۴۳	HS1	۹۷/۳/۱۷
-۷/۷۸	-۲/۹۷	-۳/۱	-۱/۴۲	HS3	
-۷/۷۱	۲/۹۳	-۴/۵۹	-۲/۲۴	HS5	
-۷/۹۲	-۲/۹۳	-۱/۸	-۰/۸۹	HS6	
-۷/۸۷	-۳/۰۲	-۳/۶	-۱/۷۷۸	HS7	
-۷/۵۱	-۲/۸۴	-۴/۱۴	-۲/۰۷	HS1	۹۷/۴/۵
-۷/۷۱	-۲/۸۸	-۴/۰۴	-۲/۰۲	HS3	
-۸/۵۸	-۲/۸۳	-۲/۹۴	-۱/۴۴	HS5	
-۸/۷۶	-۴/۳۵	-۳/۲۵	-۱/۶۴	HS6	
-۸/۲۹	-۴/۱۶	-۲/۷	-۱/۳۹	HS7	
-۸/۶۴	-۴/۲۴	-۳/۲۴	-۱/۷۱	HS1	۹۷/۷/۶

ادامه جدول ۴-۸- مقادیر شاخص اشباع نمونه‌های مورد بررسی.

شاخص‌های اشباع				نمونه‌ها	تاریخ نمونه‌برداری
SI <sub>h</sub>	SI <sub>g</sub>	SI <sub>d</sub>	SI <sub>c</sub>		
-۸/۶۲	-۴/۳۵	-۳/۹۸	-۲/۰۷	HS3	۹۷/۷/۶
-۸/۴۳	-۴/۲۷	-۴/۸	-۲/۵۱	HS5	
-۸/۲۹	-۴/۲۴	-۴/۴۷۴۷	-۲/۳۵	HS6	
-۸/۵۹	-۴/۳۱	-۴/۲۷	-۲/۲۱	HS7	



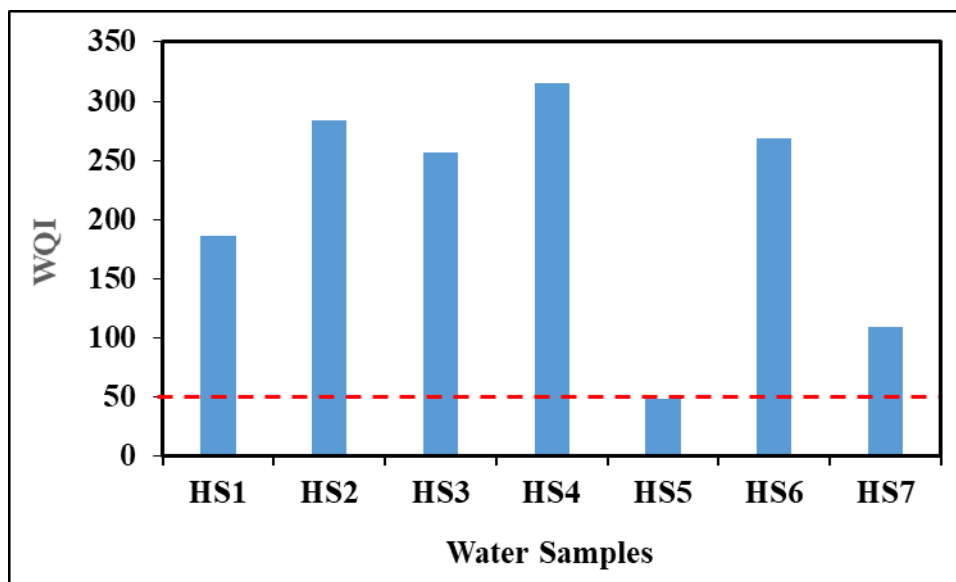
شکل ۴-۲۶- نمودار شاخص اشباع نمونه‌های مورد مطالعه.

#### ۴-۸- محاسبه‌ی شاخص کیفی آب (WQI)

شاخص کیفی آب بین ۴۸/۴۱ تا ۳۱۵/۴۴ متغیر است که با توجه به رده‌بندی مقادیر این شاخص توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1998)، نمونه‌ی HS5 در رده‌ی عالی، نمونه‌های HS1 و HS7 در رده‌ی ضعیف، نمونه‌های HS2, HS3, HS6 در رده‌ی خیلی ضعیف و نمونه‌ی HS4 غیرقابل شرب می‌باشد (شکل ۴-۲۷). همچنین محاسبه‌ی درجه آلودگی و شاخص آلودگی فلزات سنگین حاکی از آن بود که تنها نمونه چشمه‌ی کارستی نسبت به فلزات سنگین فاقد آلودگی می‌باشد.

جدول ۹-۴- مقادیر شاخص‌های کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های هفت‌رنگ تاش.

HS7	HS6	HS5	HS4	HS3	HS2	HS1	Samples
109.27	268.74	48.41	315.44	256.13	283.46	181.50	WQI



شکل ۴-۲۷- مقادیر شاخص کیفی آب برای نمونه‌های مورد مطالعه.

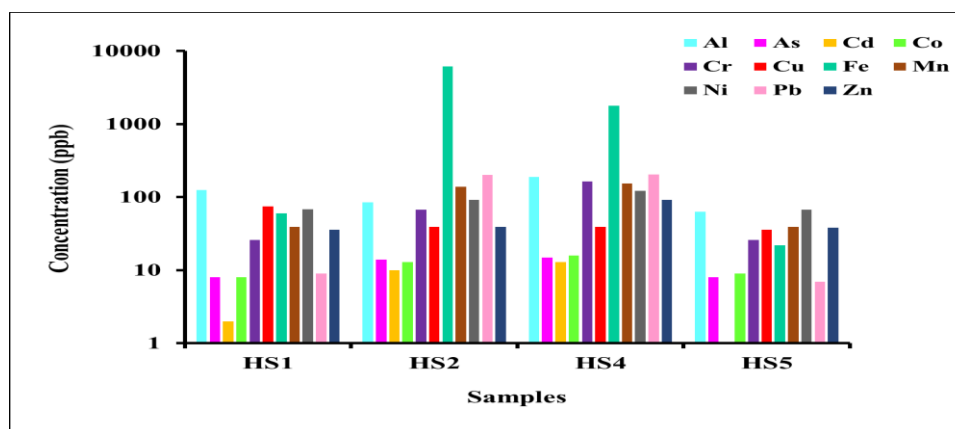
#### ۹-۴- آلودگی فلزات سنگین

غلظت فلزات جزئی که فلزات سنگین نیز در گروه آن‌ها قرار می‌گیرد معمولاً در آب‌های طبیعی بسیار کم بوده و در حد میکروگرم بر لیتر تغییر می‌یابد. منشأ طبیعی این فلزات در آب‌های طبیعی، عمدتاً شامل هوازدگی سنگ‌هاست که شدت آن به عواملی چون اقلیم، مورفولوژی و شرایط هیدرولوژی محلی بستگی دارد (Feraud et al. 2009). با این حال فلزات مذکور ممکن است توسط فعالیت‌های انسان‌زاد به سیستم‌های آبی راه یابند که در این صورت افزایش بیش از حد غلظت آن‌ها می‌تواند کیفیت آب را برای مصارف مختلف نامناسب ساخته و یا آن‌ها را آلوده سازد (Zaporozec, 2004). فلزات سنگین به طور طبیعی در سطوح مختلف زمین و آب‌ها وجود دارند که با توجه به داشتن خصوصیتی از جمله ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و قدرت تجمع‌پذیری، یکی از معضلات کنونی می‌باشد. همچنین فلزات سنگین به دلیل ویژگی‌های خاص مانند تحرک کم و جذب بالا توسط رسوبات ممکن است به مدت

طولانی در رسوب باقی مانده و تهدید جدی برای محیط باشند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴). فلزات و عناصر بالقوه سمی می‌توانند یکی از اصلی‌ترین عوامل در تغییر رنگ چشمه و همچنین تغییر کیفیت آب چشمه‌ها باشند. طبق نتایج به دست آمده از آنالیز فلزات سنگین موجود در چشمه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده می‌باشد که روند غلظت فلزات بررسی شده (برحسب ppb) به صورت  $Fe > Pb > Al > Cr$   $> Mn > Ni > Zn > Cu > Co > As > Cd$  می‌باشد به طوری که بیشترین غلظت مربوط به فلز آهن با غلظت ۶۱۲۰ در نمونه‌ی HS2 و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیم با غلظت ۱ (برحسب ppb) در نمونه‌ی HS5 است. (جدول ۴-۱۰) و (شکل ۴-۲۸). مقادیر بالای گوگرد و آهن در چشمه‌های مورد مطالعه به دلیل شرایط زمین‌شناسی منطقه می‌باشد که احتمالاً یکی از عوامل مهم در تغییر رنگ مداوم چشمه‌ها می‌باشد. شایان ذکر است تعدادی از فلزات سنگین به دلیل غلظت کمتر از حد آشکاری در جدول و مطالعه انجام شده وارد نشده است و از طرفی دیگر به منظور بررسی و مقایسه فلزات با حد مجاز استانداردهای جهانی تنها عناصری در نظر گرفته شده‌اند که مقادیر بالایی در مقایسه با سایر عناصر و فلزات داشته باشند.

جدول ۴-۱۰- غلظت فلزات سنگین در چشمه‌های مورد مطالعه (برحسب ppb).

Samples	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
HS1	۱۲۵	۸	۲	۸	۲۶	۷۵	۶۰	۳۹	۶۸	۹	۳۶
HS2	۸۵	۱۴	۱۰	۱۲	۶۷	۳۹	۶۱۲۰	۱۳۹	۹۲	۲۰۱	۳۹
HS4	۱۸۸	۱۵	۱۳	۱۶	۱۶۴	۳۹	۱۷۷۵	۱۵۴	۱۲۲	۲۰۵	۹۲
HS5	۶۳	۸	۱	۹	۲۶	۳۶	۲۲	۳۹	۶۷	۷	۳۸

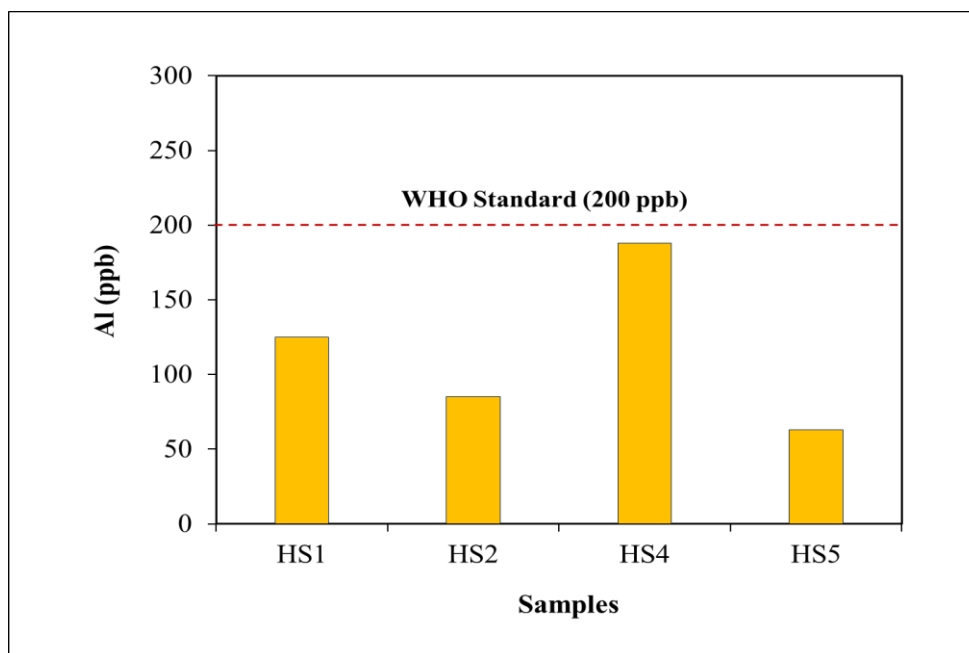


شکل ۴-۲۸- مقادیر فلزات سنگین در نمونه چشمه‌های هفت رنگ تاش.

در زیر غلظت برخی از مهم‌ترین فلزات سنگین نمونه‌های آب چشمه‌های هفت‌رنگ تاش مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته و همچنین با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی مورد مقایسه واقع شد.

### آلومینیوم (Al)

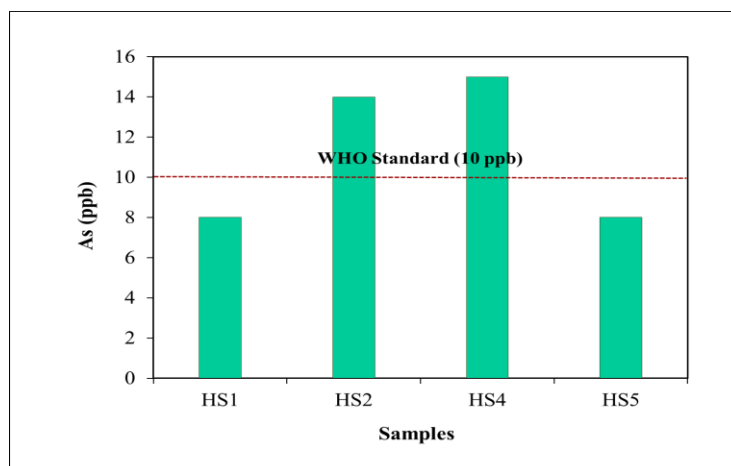
تحرك و قابلیت انحلال آلومینیوم همانند بقیه عناصر سنگین تابع شرایط اکسیداسیون- احیاء و شرایط اسیدیته می‌باشد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵). انحلال پذیری این فلز در محیط پایین بوده و در pH خنثی غلظت آن در آب از ۱۰۰ (ppm) کمتر است (Bradl, 2005). از دلایل بالا بودن آلومینیوم می‌توان به حضور مارن‌ها و رسوبات ریزدانه در بالادست نمونه‌ها و نیز بالا بودن pH نمونه‌ها اشاره نمود. از طرف دیگر مقدار این فلز در منابع آب موجود در نزدیکی توده‌های افیولیتی بسیار پایین می‌باشد. شکل (۴-۲۹) مقادیر آلومینیوم در نمونه‌های آب چشمه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت مقادیر آلومینیوم در نمونه‌های HS1 و HS4 بوده و کمترین مقدار را نمونه‌ی کارستی (HS5) دارا می‌باشد. شایان ذکر است مقادیر آلومینیوم در نمونه‌های مورد مطالعه کمتر از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰ ppb) است. بیش‌تر بودن مقدار آلومینیوم در برخی از منابع می‌تواند به دلیل حضور سازندهای مارنی همچون شمشک در مسیر جریان آن‌ها باشد.



شکل ۴-۲۹- مقادیر آلومینیوم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## آرسنیک (As)

یکی از عوامل مهم در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، تعیین میزان عناصر کمیاب از جمله آرسنیک است، زیرا کاربردهای امکان‌پذیر آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک به علت سمیت بالای آن، یک نگرانی رو به افزون است (Smedley and Kinniburgh, 2002). آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک از منشأهای طبیعی در سرتاسر دنیا به چندین فرآیند ژئوشیمیایی نسبت داده شده است. این فرآیندها شامل اکسیداسیون سولفیدهای دارای آرسنیک، واجدبی آرسنیک از آب‌های ژئوترمال، تغلیظ به صورت تبخیری (Welch et al, 2000) و نیز آبشویی آرسنیک توسط کربنات‌ها (Kim et al, 2000) می‌باشند. غلظت آرسنیک در منابع آب‌های زیرزمینی و مناطقی که کانی‌های سولفیدی و رسوبات ناشی از سنگ‌های آتشفشانی ته‌نشین می‌شوند به طور چشمگیری افزایش می‌یابد (WHO, 2011). رایج‌ترین منشأ زمین‌شناسی آرسینک، ناشی از وجود کانی پیریت می‌باشد (Ehrlich & Newman, 2009). بیش‌ترین مقدار آرسنیک در pHهای حدود ۶/۵-۸/۵ بوده و در هر دو شرایط اکسیدی و احیایی یافت می‌شود (Baeyens et al, 2007). از دیگر علل افزایش این فلز می‌توان به زمین‌شناسی منطقه (خصوصاً وجود شیل‌های سیاه) اشاره نمود. غلظت استاندارد آرسینک طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی برابر (۱۰ ppb) می‌باشد که در چشمه‌های HS1 و HS5 کمتر از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد (شکل ۴-۳۰).

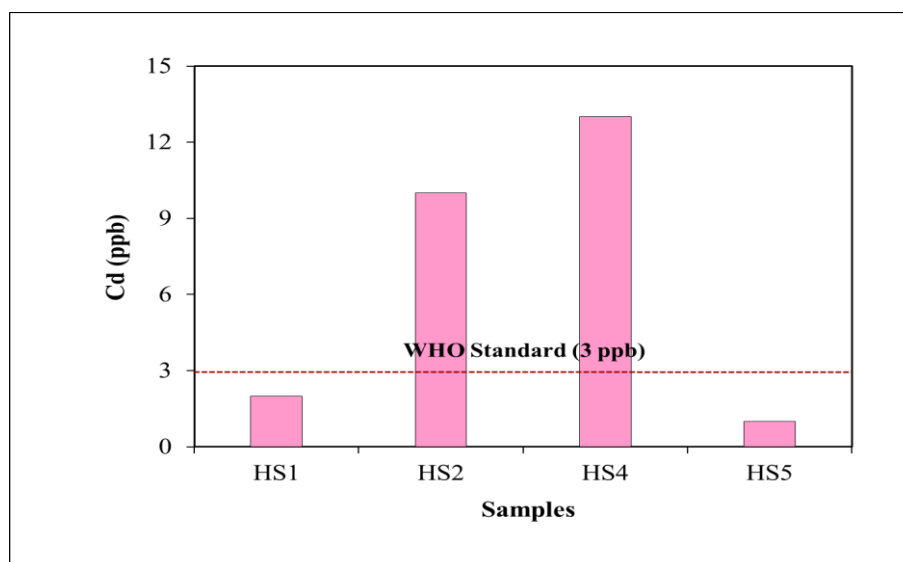


شکل ۴-۳۰- مقادیر آرسینک چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.



## کادمیم (Cd)

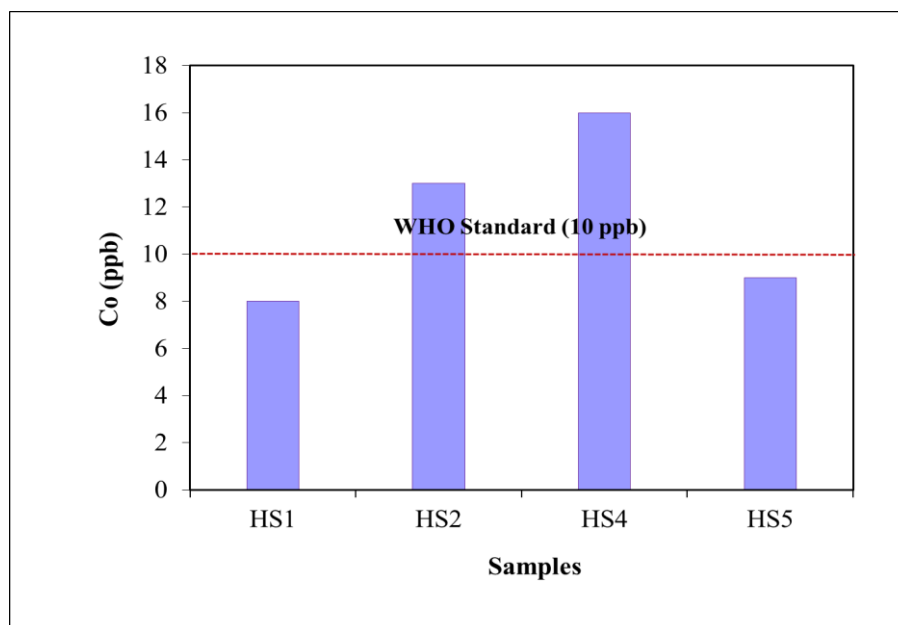
فلز کادمیوم نیز از جمله فلزات سنگینی است که در آب‌های طبیعی یافت می‌گردد. از منابع اصلی ورود این فلز به آب می‌توان به مواردی چون پسماندهای جامد شهری و صنعتی، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی فسفاته، روغن موتورها، فاضلاب و شیرابه‌ی لندفیل‌ها اشاره نمود (jarup, 2003). در مورد این فلز نیز هوازدگی شیل‌های سیاه، بخشی از کادمیم موجود در منابع آب زیرزمینی تاش را فراهم کرده است. حداکثر غلظت این فلز در آب شرب، (ppb) ۱۰ است. همچنین حد مجاز غلظت فلز کادمیم در آب زیرزمینی براساس سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، ۳ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۱) نمونه‌های HS2 و HS4 فراتر از حد استاندارد بوده و جهت شرب نامناسب هستند.



شکل ۴-۳۱- مقادیر کادمیم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## کبالت (Co)

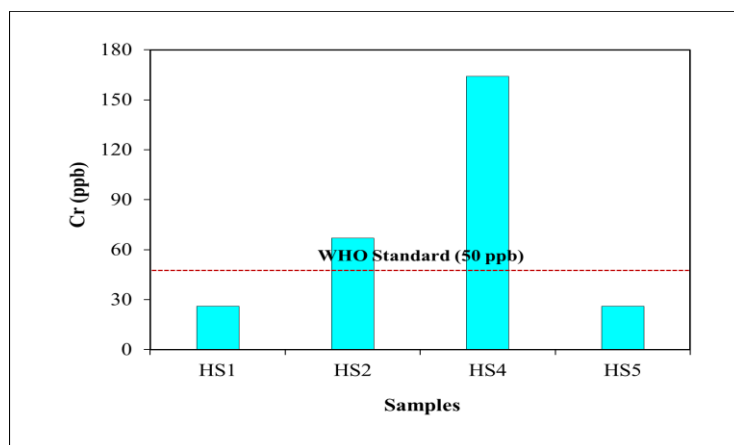
مقدار مشخصی از فلز کبالت برای بدن ضروری بوده و فراتر از آن بر روی ریه‌ها تأثیر گذاشته و باعث ایجاد بیماری آسم و التهاب ریه‌ها می‌شود. سازمان بهداشت جهانی، حداکثر مقدار مجاز کبالت جهت آشامیدن را ۱۰ppb تعیین نموده است که از بین نمونه‌ها، تنها دو نمونه‌ی HS2 و HS4 بالاتر از حد استاندارد واقع اند (شکل ۴-۳۲).



شکل ۴-۳۲- مقادیر کبالت چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

### کروم (Cr)

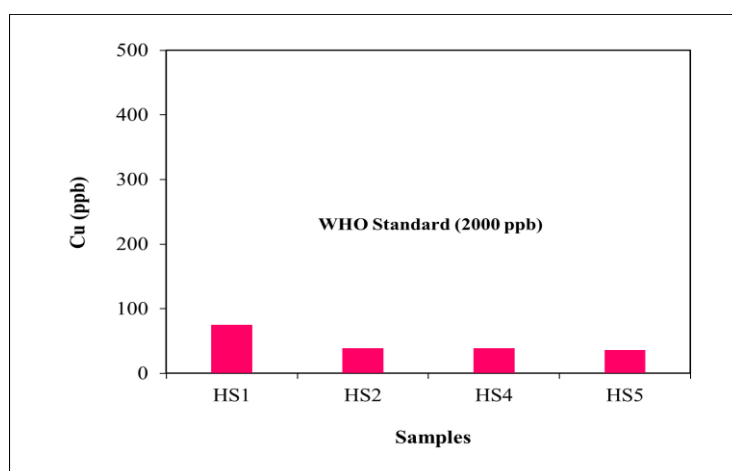
کروم نیز یکی از فلزات سنگین است که به ندرت در آب‌های طبیعی یافت می‌شود. سنگ‌های فوق بازیک، منبع اصلی و طبیعی این فلز در آب‌های طبیعی می‌باشد (Merian, 1991). از منابع اصلی ورود کروم به خاک‌های کشاورزی و در نهایت آب‌های زیرزمینی، کودهای شیمیایی فسفاته و کودهای حیوانی است. (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). علاوه بر این تأثیر سازندهای زمین‌شناسی (خصوصاً شیل‌های سیاه) بر افزایش غلظت کروم مشهود است. انحلال‌پذیری کروم در محیط‌های آبگین بسیار پایین بوده و با افزایش pH این انحلال‌پذیری کاهش می‌یابد (Gaillardet et al, 2003). غلظت طبیعی کروم در آب‌های شیرین ۲ میکروگرم بر لیتر است. همچنین حد مجاز استاندارد کروم در آب زیرزمینی براساس سازمان بهداشت جهانی، ۵۰ ppb می‌باشد (WHO, 2011). بر این اساس نمونه‌ی HS2 و HS4 فراتر از حد استاندارد است (شکل ۴-۳۳).



شکل ۴-۳۳- مقادیر کروم چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

### مس (Cu)

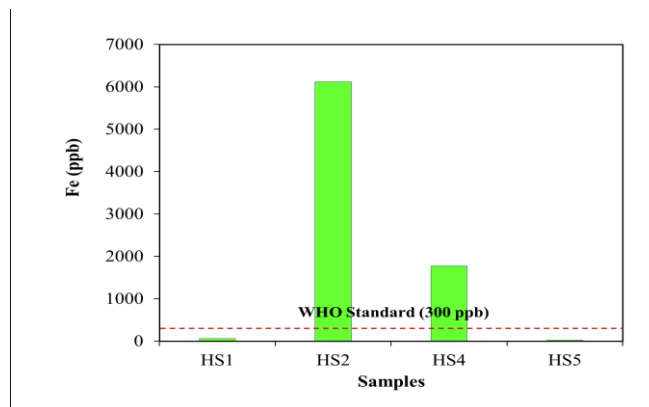
غلظت مس در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۳۶-۷۵ (ppb) تغییر می‌یابد. مقادیر مس عمدتاً در مناطق تحت تأثیر کشاورزی بالا می‌باشند. کودهای شیمیایی نیز منبع بالقوه‌ی مس در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند (Savci, 2012). از دلایل غلظت پایین مس نیز می‌توان به جذب این عنصر در خاک‌های رسی به ویژه در نواحی دور از رودخانه اشاره نمود (Shevence, 2010). غلظت این فلز در آب‌های شیرین ۵ میکروگرم بر لیتر بوده و بیش‌ترین غلظت مجاز آن در آب آشامیدنی ۲۰۰۰ میکروگرم بر لیتر است (WHO, 2011) که براساس شکل (۴-۳۴) تمامی نمونه‌ها از این نظر زیر حد استاندارد واقع هستند.



شکل ۴-۳۴- مقادیر مس چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## آهن (Fe)

از دیگر فلزات سنگین موجود در منابع آب می‌توان به حضور آهن اشاره نمود که غلظت بیش از (ppb) ۳۰۰ از آن در آب آشامیدنی برای انسان سمی محسوب می‌شود. از علل افزایش آهن در آب‌های زیرزمینی می‌توان به شستشوی خاک‌های منطقه در اثر بارندگی به جریان آب‌ها و یا انحلال آهن موجود در شیل‌های سازند شمشک را نام برد. طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO,2011) مقدار مجاز آهن در آب شرب ۳۰۰ ppb است و نمونه‌های HS2 و HS4 (براساس شکل ۴-۳۵) از این نظر در حد بالایی قرار دارند.

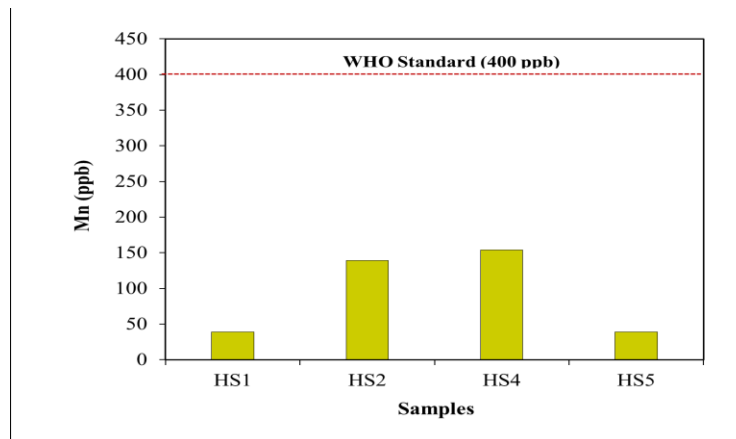


شکل ۴-۳۵- مقادیر آهن چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## منگنز (Mn)

فلز منگنز هم از منابع طبیعی و هم از منابع انسانزاد نشأت می‌گیرد. برخی سنگ‌ها از جمله سنگ‌های مافیک و اولترامافیک و همچنین شیل‌ها مقادیر زیادی منگنز دارند که می‌توانند بر اثر فرآیندهای هوازدگی، سبب افزایش منگنز در خاک شوند. علاوه بر این از جمله عوامل مؤثر در تحرک منگنز در آب می‌توان به شیمی آب، pH و Eh اشاره نمود (Homoncik et al,2010). از علل افزایش این فلز می‌توان فعالیت‌های کشاورزی را نام برد. در شرایط pH خنثی، احتمالاً بخشی از منگنز همراه با کربنات ته‌نشین شده و از محیط آبی خارج می‌گردد (Smith,2007). سایر مطالعات هم نشان می‌دهند که در pH‌های نزدیک به خنثی و در شرایطی که غلظت بیکربنات و سولفات در آب بالا باشد، غلظت منگنز به میزان

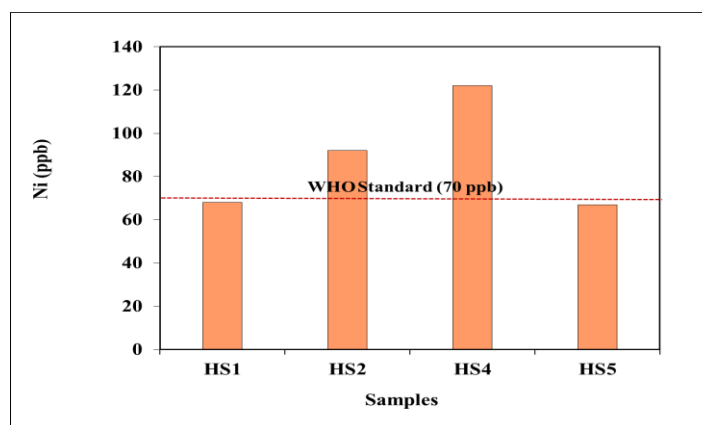
قابل توجهی کاهش می‌یابد (Homoncik et al,2010). طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO,2011) حد مجاز غلظت منگنز در آب‌های آشامیدنی، ۴۰۰ ppb می‌باشد که طبق شکل (۴-۳۶) تمامی نمونه‌ها زیر حد استاندارد قرار دارند و از این رو جهت شرب مناسبند.



شکل ۴-۳۶- مقادیر منگنز چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## نیکل (Ni)

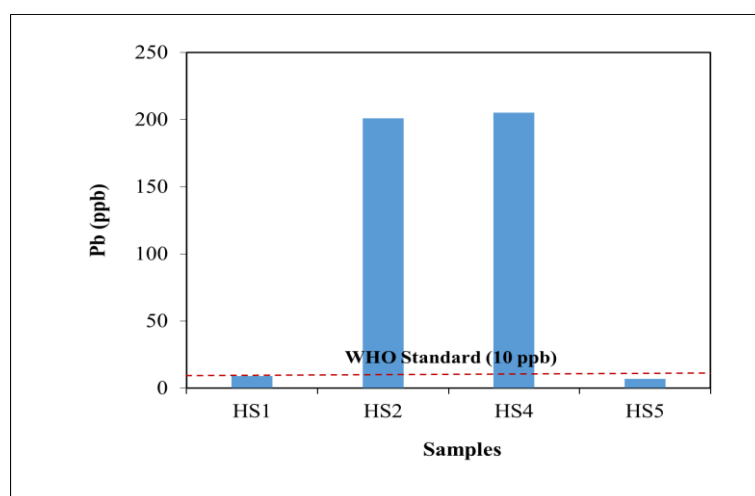
میانگین جهانی نیکل در آب‌های زیرزمینی در حدود ۱۵ میکروگرم بر لیتر است. نیکل معمولاً در آب‌های اسیدی (کمتر از ۶/۵) انحلال پذیرتر بوده (Siebielec and Chaney,2006) و با افزایش pH از محلول‌های آبگین ته نشین می‌شود (Kabata-Pendias and Mukherjee,2007). سازمان بهداشت جهانی (WHO,2011) حد مجاز نیکل در آب زیرزمینی را ۷۰ ppb معرفی کرده که با توجه به شکل (۴-۳۷) نمونه‌های HS2 و HS4 فراتر از این حد بوده و بنابراین جهت شرب نامناسبند.



شکل ۴-۳۷- مقادیر نیکل چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## سرب (pb)

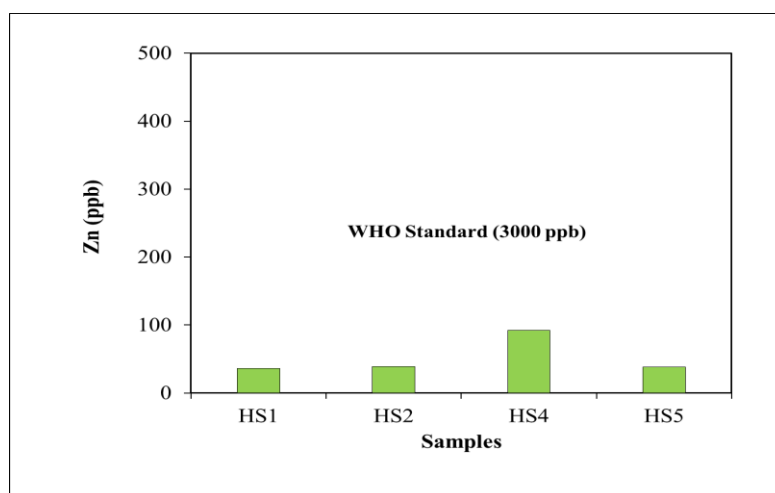
غلظت سرب در آب به طور خالص به pH و انحلال پذیری ترکیبات آن در آب بستگی دارد. علاوه بر این عواملی مانند دما و مواد آلی نیز روی پایداری سرب در آب تأثیر می‌گذارند. آب‌های زیرزمینی ممکن است از طریق منابع طبیعی یا فعالیت‌های انسانی آلوده شوند (Buragohain et al, 2010). افزایش غلظت سرب در آب‌های طبیعی، ناشی از استفاده‌ی گسترده از حشره‌کش‌ها و ورود پساب کشاورزی به آب زیرزمینی می‌باشد (Jeevanandam et al, 2007). منشأ طبیعی سرب در آب زیرزمینی را می‌توان به آزادسازی آن از شیل‌های سیاه که در تماس با آبخوان هستند نیز مرتبط دانست (Jeng, 1991)، چرا که شیل‌های سیاه حاوی غلظت‌های بالایی از عناصر بالقوه سمی (از جمله سرب) هستند که می‌توانند در اثر تغییر شرایط محیطی، وارد آب‌های زیرزمینی شوند (Siegel, 2002 & Plant and Raiswel, 1983). بنابراین بخشی از سرب موجود در منابع آب زیرزمینی ناشی از سازندهای زمین‌شناسی منطقه است. غلظت سرب در آب‌های شیرین، به طور معمول کمتر یا مساوی ۵ میکروگرم بر لیتر بوده و بیشترین غلظت مجاز آن برای مصارف شرب ۱۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است (WHO, 2011). با توجه به شکل (۴-۳۸) بیشترین مقدار سرب در نمونه‌های مورد مطالعه در HS2 و HS4 مشاهده می‌شود که احتمالاً تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه قرار گرفته است و از نظر این فلز جهت مصارف شرب نامناسبند.



شکل ۳۸-۴- مقادیر سرب چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

## روی (Zn)

یکی از مهم‌ترین عناصری که می‌تواند منجر به تغییر کیفیت آب گردد، فلز روی می‌باشد. غلظت این فلز عمدتاً در اطراف نواحی مسکونی، مناطق تحت تأثیر نشت فاضلاب خانگی و مناطق واقع در محل‌هایی با فعالیت گسترده‌ی کشاورزی زیاد می‌باشد. علاوه بر این هوازدگی شیل‌های سیاه نیز از دیگر موارد از یاد این فلز محسوب می‌گردد. غلظت روی در آب‌های شیرین به طور معمول کمتر یا مساوی ۵۰ میکروگرم بر لیتر بوده و بیشترین غلظت مجاز آن در آب آشامیدنی، ۳۰۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است (WHO, 2011). شایان ذکر است مقادیر روی در چشمه‌های مورد مطالعه کمتر از حد مجاز می‌باشد و از نظر وجود این فلز جهت شرب مناسبند (شکل ۴-۳۹).



شکل ۴-۳۹- مقادیر روی چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی.

### ۱-۹-۴- تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی با استفاده از روش‌های آماری چند

#### متغیره

بررسی رابطه‌ی آماری بین متغیرهای اندازه‌گیری شده‌ی آب می‌تواند اطلاعات ارزنده‌ای را در مورد فرآیندهای حاکم بر رفتار شیمیایی یون‌ها و منشأ عناصر در اختیار قرار دهد. در این مطالعه از دو روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (HCA) و تحلیل همبستگی (به روش پیرسون) برای تعیین رابطه بین متغیرهای کمی و نمونه‌های آب استفاده شد.

#### ۴-۹-۱-۱- روش تحلیل همبستگی (به روش پیرسون)

تحلیل همبستگی در حقیقت رابطه‌ی خطی بین متغیرها را ارزیابی می‌کند. شدت این رابطه بستگی به شیب خط برازش شده‌ی بین داده‌ها از مثبت یک تا منفی یک تغییر می‌یابد. شایان ذکر است که تحلیل همبستگی تنها شدت رابطه‌ی خطی بین متغیرها را بررسی کرده و لیکن هیچگونه اطلاعاتی را درباره‌ی رابطه‌ی علت و معلولی متغیرها ارائه نمی‌دهد.

جدول ۴-۱۱- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای چشمه‌های هفت رنگ تاش.

Correlations												
	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Co	EC
Al	1											
As	.469	1										
Cd	.627	.981	1									
Cr	-.527	.316	.195	1								
Cu	.166	-.581	-.442	-.203	1							
Fe	.934	.722	.827	-.375	-.185	1						
Mn	.520	.996	.992	.303	-.511	.751	1					
Ni	.751	.923	.966	.060	-.444	.930	.933	1				
Pb	.470	.990	.979	.389	-.479	.697	.995	.896	1			
Zn	.866	.669	.753	-.492	-.336	.967	.680	.897	.609	1		
Co	.629	.979	.993	.125	-.517	.847	.983	.982	.960	.802	1	
EC	.607	.758	.828	.351	.079	.648	.807	.723	.836	.450	.757	1

با توجه به داده‌های جدول (۴-۱۱) ملاحظه می‌گردد که رابطه‌ی مثبت و معناداری بین تمامی فلزات (به استثنای کروم و مس) مشاهده می‌شود. به این ترتیب که فلز Al بیشترین همبستگی را با فلز Fe ( $r=0.934$ ) و کمترین همبستگی را با فلز کروم دارد ( $r=-0.527$ ). برای فلز As نیز بیشترین همبستگی با فلز Mn ( $r=0.996$ ) و کمترین آن با فلز Cu ( $r=-0.581$ ) می‌باشد. به این ترتیب بیشترین همبستگی فلز



Cd با فلز Co ( $r=0.993$ ) بوده و کمترین همبستگی را با فلز Cu ( $r=-0.442$ ) داراست. در مورد Fe نیز بیشترین همبستگی با فلز Zn ( $r=0.967$ ) بوده و با فلز مس و کروم ارتباط معناداری ندارد. در مورد فلزهای Mn, Ni, Pb, Zn, Cu نیز بیشترین مقدار همبستگی به ترتیب با فلزات Co ( $r=0.995$ ), Pb ( $r=0.757$ ), EC ( $r=0.802$ ), Co ( $r=0.960$ ), Co ( $r=0.982$ ) می‌باشد. در مورد EC نیز بیشترین همبستگی با Pb ( $r=0.836$ ) و کمترین آن با Cu ( $r=0.079$ ) است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان چنین بیان داشت که تقریباً تمامی فلزات مورد بررسی حاوی منشأ یکسانی بوده و تنها فلز مس و کروم منشأ جداگانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین هدایت الکتریکی نیز رابطه‌ی مثبت و معناداری با اکثر فلزات داشته ولی با مس و کروم رابطه‌ای را نشان نمی‌دهد.

#### ۴-۱۰- تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای نمونه‌های چشمه‌های هفت‌رنگ منطقه‌ی تاش

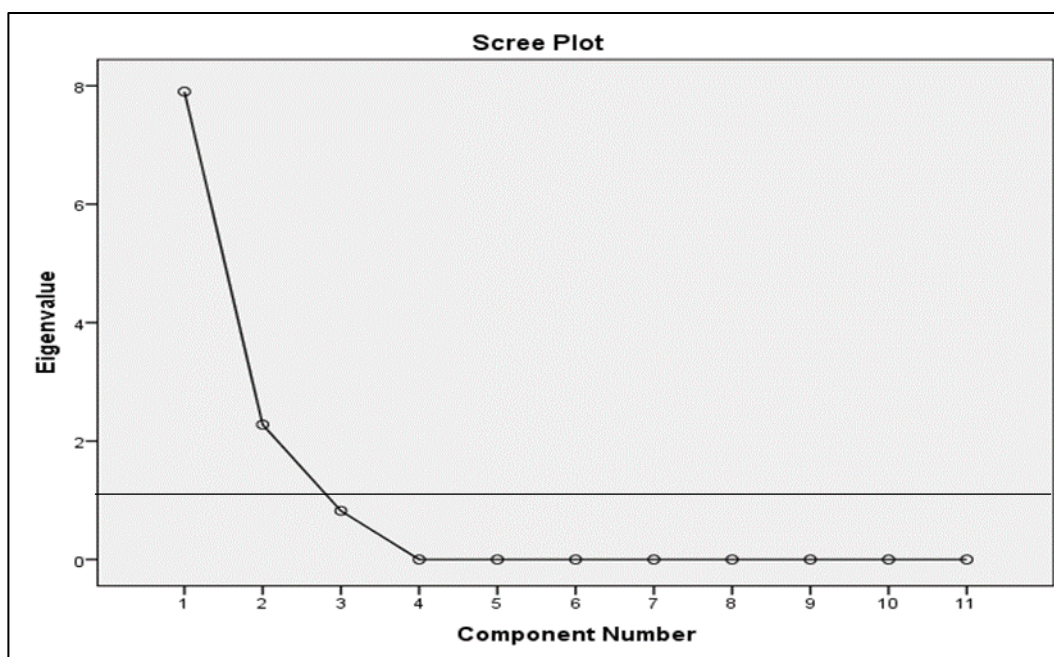
نتایج حاصل از به کارگیری روش تحلیل مؤلفه‌ی اصلی بر روی نمونه‌های منابع هفت‌رنگ تاش در جدول (۴-۱۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۲- درصد مقدار مؤلفه‌های منطقه در نمونه‌های هفت‌رنگ.

**Rotated Component Matrix<sup>a</sup>**

	Component	
	1	2
Al	.224	.946
As	.964	.264
Cd	.900	.422
Co	.891	.455
Cr	.533	-.770
Cu	-.655	.148
Fe	.514	.857
Mn	.949	.304
Ni	.790	.613
Pb	.960	.231
Zn	.462	.860

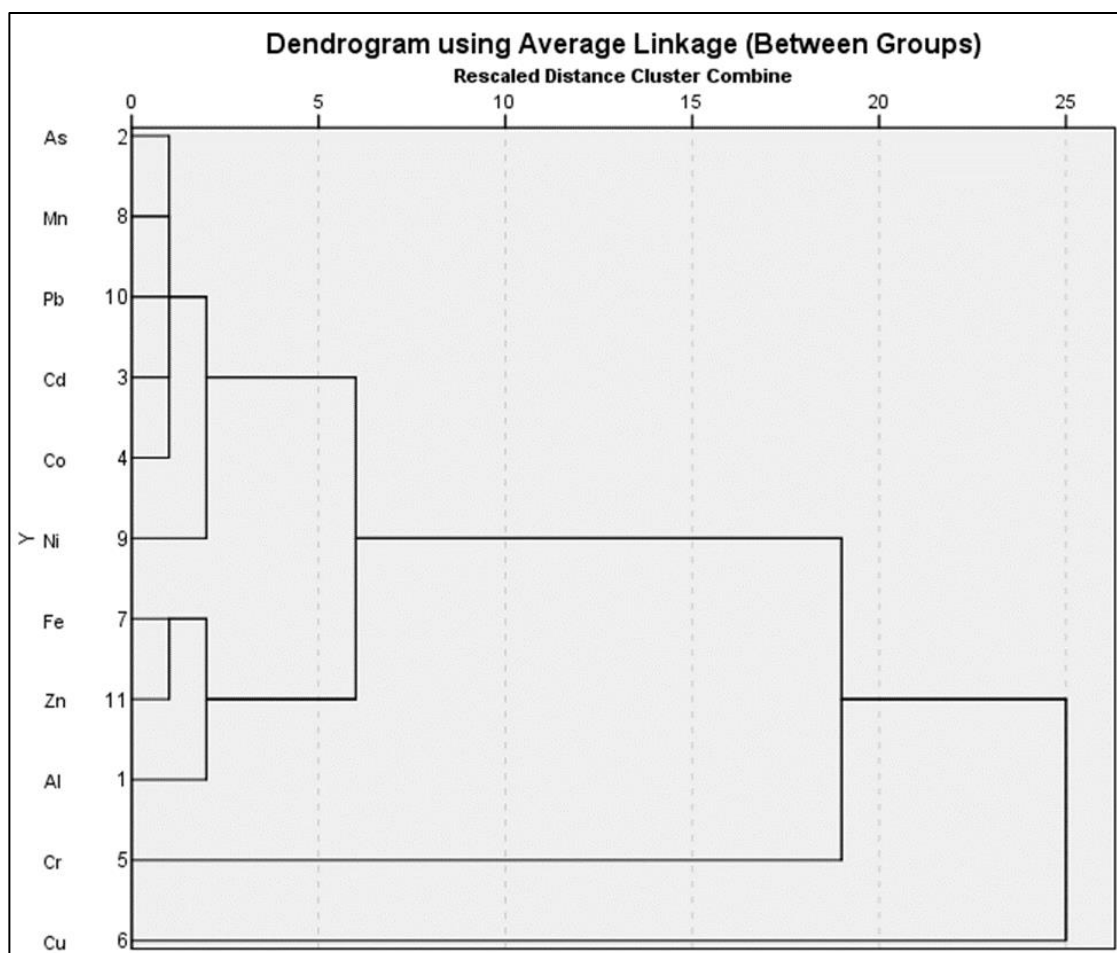
نتایج مؤلفه‌های استخراج شده برای نمونه‌های چشمه‌های هفت رنگ منطقه‌ی تاش به روش Varimax تعداد دو مؤلفه حاوی مقادیر ویژه بالاتر از یک به دست آمد (شکل ۴-۴۰). مؤلفه‌ی اول ۷۱/۸۳۰ درصد از کل واریانس‌ها را به خود اختصاص داده است. در این مؤلفه بارگذاری مثبت و بالایی میان فلزات آرسنیک، کادمیم، منگنز، نیکل، سرب، روی کبالت و نیز هدایت الکتریکی وجود دارد که این بیانگر وجود منشأ مشترک برای فلزات مذکور می‌باشد. با توجه به اینکه فلزات ما با EC نیز رابطه دارند بنابراین احتمالاً منشأ زمین‌زاد دارند و سازند شمشک می‌تواند عامل و منشأ آن‌ها باشد. همچنین بارگذاری کمی نسبت به فلزات مس و روی مشاهده می‌گردد که حاکی از وجود منشأ متفاوت برای دو فلز مذکور است. مؤلفه‌ی دوم ۲۰/۷۰۴ درصد از کل واریانس را به خود اختصاص می‌دهد. در این مؤلفه نیکل و آلومینیوم و روی بیشترین بارگذاری مثبت را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۴-۴۰- مؤلفه‌های استخراج شده برای منابع منطقه‌ی مورد مطالعه.

هدف اصلی از بکارگیری روش آنالیز خوشه‌ای، گروه بندی داده‌ها به صورت خوشه‌هایی است که کمترین تفاوت درون گروهی و بیشترین اختلاف بین گروهی را داشته باشند. خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) با جداسازی هر مورد در یک خوشه‌ی جداگانه آغاز می‌گردد. در هر مرحله از تحلیل، جداسازی موارد تا

جایی ادامه می‌یابد که شبیه‌ترین خوشه‌ها در هم ادغام شوند. معیاری که خوشه‌بندی بر اساس آن انجام می‌پذیرد، فاصله است. مواردی که نزدیک یکدیگرند، در یک خوشه ادغام شده و مواردی که نسبت به یکدیگر فاصله‌ی بیشتری دارند، در خوشه‌های متفاوت قرار می‌گیرند (حبیب پور و صفری، ۱۳۹۰). با توجه به شکل (۴-۴۱) مشاهده می‌گردد که از بین فلزات موجود، فلز آرسنیک، منگنز، سرب، کادمیم، کبالت، نیکل، آهن، روی و آلومینیوم پس از تشکیل خوشه‌های کوچک نهایتاً با هم ادغام شده و این امر بیانگر وجود یک منشأ مشترک بین فلزات یاد شده می‌باشد. از طرف دیگر فلز مس و کروم تشکیل یک خوشه‌ی جداگانه را داده و بنابراین وجود منشأ مجزا برای این دو فلز نسبت به سایر فلزات به خوبی مشهود است.



شکل ۴-۴۱- خوشه‌بندی سلسله مراتبی منابع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه



## فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

در این بخش نتایج حاصل از مطالعاتی که به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و تعیین منشأ چشمه‌های هفت رنگ تاش در طی ماه‌های دی ۹۶ تا مهر ۹۷ انجام شده به طور خلاصه شرح داده شده است.

## ۵-۱- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه‌ی کارستی تاش

در حوضه آبخیز چشمه کارستی مورد مطالعه، عوارض مورفولوژیکی معرف کارست‌های توسعه یافته همچون فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود، پلایه‌های کارستی دیده نمی‌شود. این نتایج بیانگر توسعه‌ی کم کارست در حوضه آبخیز چشمه‌ی مورد مطالعه است.

تغییرات زمانی خواص فیزیکی (دبی و دما) و شیمیایی (هدایت الکتریکی) آب خروجی از چشمه‌ی کارستی مورد نظر، نسبتاً کم می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات تمامی پارامترها بیانگر غالب بودن سیستم جریان افشان در آبخوان کارستی مورد مطالعه است. همچنین منحنی فرود چشمه‌های مورد مطالعه دارای یک ضریب بده با شیب  $0/003$  بوده که این امر بیانگر غالب بودن سیستم جریان افشان در آبخوان کارستی مورد نظر است.

با محاسبه‌ی مقدار دبی تخلیه، مقدار بارش سالیانه و درصد نفوذ بارش در منطقه‌ی مورد بررسی، مقدار مساحت  $8/4$  کیلومتر مربع برای حوضه آبخیز چشمه‌ی کارستی به دست آمد.

## ۵-۲- نتایج حاصل از مطالعات هیدروژئوشیمی

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌های هفت رنگ تاش طی دوره زمانی ۷ ماهه نشان می‌دهد که کمترین مقدار EC برابر با ۲۹۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر (نمونه‌ی HS5) در فروردین ماه بیش‌ترین آن متعلق به نمونه‌ی HS3 با مقدار ۷۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در مهرماه می‌باشد. در چشمه‌ی کارستی مورد نظر تغییرات این پارامتر به دلیل وجود سیستم جریان افشان کم می‌باشد و به استثنای نمونه‌ی HS1 در سایر چشمه‌ها مقدار تغییرات EC در دوره‌ی خشک بیش‌تر از دوره‌ی تر می‌باشد.

نتایج حاصل از نمودار پایپر و استیف نشان داد که نمونه‌های مورد بررسی در دو گروه مجزا واقع می‌گردند. به طوری که در نمونه‌ی کارستی، تیپ غالب آب از نوع بی‌کربنات سدیک- کلسیک بوده این در حالی است که در سایر نمونه‌ها، از نوع کلروره سدیک است.

ارزیابی کیفیت منابع آب مورد بررسی به کمک نمودار ویلکاکس و سایر شاخص‌های تعیین کننده نشان داد که تنها نمونه‌ی کارستی قابلیت کشاورزی را دارد.

بررسی عوامل موثر بر کیفیت آب از طریق نمودار گیس نشان داد که تنها چشمه‌ی HS5 تحت تأثیر عوامل جوی و نمونه‌ی HS2 و HS4 تحت واکنش‌های متقابل آب و سنگ تغییر کیفیت داده‌اند. این در حالیست که در سایر نمونه‌ها فرآیند تبخیر نیز تأثیرگذار بوده است.

بررسی شاخص اشباع در نمونه‌های مورد مطالعه بیانگر تحت اشباع بودن کلیه‌ی نمونه‌ها نسبت به کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت است. بنابراین منابع مورد مطالعه زمان ماندگاری کمی داشته و طول مسیر جریان زیاد نیست.

### ۵-۳- نتایج حاصل از مطالعات فلزات سنگین

ضمن بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید که نمونه چشمه‌ی کارستی از نظر وجود فلزات فاقد آلودگی بوده این در حالیست که مقادیر فلزات سنگین (As, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb) در سایر چشمه‌ها خصوصاً چشمه سیاهرنگ بالا بوده است. مقادیر بالای گوگرد و آهن در نمونه‌های سیاهرنگ حاکی از شرایط زمین‌شناسی منطقه بوده و یکی از دلایل تغییر رنگ مداوم چشمه‌ها به شمار می‌رود.

### ۵-۴- نتایج حاصل از مطالعات ایزوتوپی

بررسی نتایج حاصل از بررسی‌های ایزوتوپی در منابع آب مورد مطالعه نشان داد که نمونه‌های ایزوتوپی یاد شده نزدیک به خط آب‌های جوی جهانی و بالای آن و در محدوده‌ی خط آب جوی منطقه پلات

شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که این نمونه‌ها از آب‌های جوی نشأت گرفته و بیشتر از طریق برف تغذیه می‌گردند. در این بین کمترین مقدار ایزوتوپی در نمونه‌ی HS2 ( بدلیل ارتفاع تغذیه‌ی بیشتر و خروج گاز کربنیک) و بیشترین مقدار را نمونه‌ی HS1 داشته که دلیل آن را می‌توان به ارتفاع کمتر تغذیه و نیز اختلاط آب حاصل از ذوب برف یا بارش منطقه در تأمین آب این چشمه نسبت داد. از نظر شوری نیز بیشترین مقدار مربوط به نمونه‌ی HS2 است که دلیل آن انحلال نمک می‌باشد.

## ۵-۵- پیشنهادها

- بستر سازی جهت نصب اشل‌های مناسب در خروجی‌های مورد نظر و تهیه دقیق‌تر هیدروگراف چشمه‌ها
- استفاده از ردیاب‌های رنگی برای تعیین دقیق حوضه آبرگیر و میزان توسعه‌یافتگی کارست در منطقه
- اندازه‌گیری ایزوتوپی بارش جهت تعیین خط دقیق ایزوتوپی بارش منطقه



## منابع

- آقائباتی ع. (۱۳۷۷) "چینه‌شناسی ژوراسیک ایران" جلد ۱، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۳۵۵.
- آقائباتی ع. (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۳۵۵.
- آقائباتی ع. (۱۳۸۵) "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۶۱۹.
- ازانی س، (۱۳۹۵)، "ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال شرق بیرجند"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۱۲.
- افراسیابیان ا.، (۱۳۷۷)، "اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران". مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.
- اکبری ف.، ندری ا.، باقری ر.، جعفری ا.، "ارزیابی هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی شهرستان نورآباد (استان لرستان)". سی و هشتمین گردهمایی علوم زمین . ۱۲-۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۸. تهران- ایران.
- باقری ر. رئیسی ع. زارع م. و محمدی ض، (۱۳۸۶)، "تعیین منشأ آب چشمه‌های کارستی بخش شرقی تاقدیس راوندی با استفاده از ایزوتوپ‌های اکسیژن و دتریم، هیدروشیمی و بیلان"، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- بسطامی ح.، فردوست ف (۱۳۹۴)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار بوکسیت تاش، شمال غرب شاهرود". دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود ص ۲۰-۵.
- کریمی ورد نجانی، ح. (۱۳۸۹). هیدروژئولوژی کارست شیراز: انتشارات ارم شیراز. ۴۳۲ ص. ۱۶.
- بیاری ه.، فردوست ف (۱۳۹۴)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد "زمین‌شناسی و جایگاه افق بوکسیتی تاش در توالی رسوبی منطقه". دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود ص ۱۵.
- تقوی ا، (۱۳۹۱)، "اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در آب چشمه‌های آب آشامیدنی کلاردشت و مقایسه با استانداردهای جهانی"، دومین همایش ملی سلامت، محیط زیست و توسعه‌ی پایدار.
- توکلی س.، کرمی غ. (۱۳۹۶). "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی غرب مجن". پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۵-۳۶.
- جعفریان ع. (۱۳۸۶) "نقش بازالت‌های زیردریایی سیلورین در کانی‌سازی ماسیو سولفاید در ارتفاعات شمال شرق شاهرود" فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره‌ی ۳، ص ۱۷۰-۱۵۵.

- حسینی نژاد. م، (۱۳۸۳)، رساله‌ی دکتری "بیواستراتیگرافی نهشته‌های دونین فوقانی بر مبنای گونیاتیت‌ها، بازویایان و کنودونت‌ها"، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه اصفهان.
- درخشی م. قاسمی ح و طاهری ع، (۱۳۹۱)، "بررسی و مقایسه‌ی زمین‌شناسی و ژئوشیمی بازالت‌های سلطان میدان در سه رخنمون نگارمن، چشمه سید و خوش ییلاق"، شانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران، شیراز.
- رحیمی‌دهکردی ف. کرمی غ. و فاضلی ع، (۱۳۹۲)، "کاربرد GIS برای ارزیابی میزان تغذیه آهک‌های کارستی تاق‌دیس سالدوران و تعیین حوضه آ‌بگیر چشمه‌های کارستی سراب باباحیدر و پیرغار"، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.
- ریاحی پور م. و کلانتری ن، (۱۳۸۷)، "تعیین حوضه آ‌بگیر چشمه کارستی پیرغار به روش زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- سامانی ن. و زارعی م، (۱۳۸۵)، "مقایسه خصوصیات هیدروژئولوژیکی آ‌بخوان‌های گر- برم فیروز و ساسان با استفاده از منحنی فروکش هیدروگراف چشمه‌های کارستی ششپیر و ساسان"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- ستوهیان ف، (۱۳۸۳)، رساله‌ی دکتری "مطالعات لیتواستراتیگرافی، بیواستراتیگرافی و تفسیر محیط رسوبی سازند الیکا در ناحیه‌ی البرز شرقی"، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۱۴۹.
- ستوهیان ف، (۱۳۸۷). "چینه‌نگاری سکاسی سازند الیکا در برش تاش، البرز شرقی" مجله‌ی علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۴، ص ۶۹-۶۱.
- شبان م، (۱۳۹۰)، تعیین حوضه آ‌بریز و منابع تأمین آب چشمه سبزآب (شمال شرق مسجد سلیمان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شفیعی‌مطلق خ. و لشکری پور غ، (۱۳۸۷)، "بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی کورسا دهدشت"، چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.
- شکری م. اشجاری ج. و کرمی غ، (۱۳۷۴)، "تأثیر تکتونیک و چینه‌شناسی در جهت‌یابی جریان آب زیرزمینی در حوضه آ‌بگیر چشمه علی دامغان"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- شکری م، (۱۳۸۹)، "بررسی توسعه‌ی کارست در حوضه آ‌بگیر چشمه علی دامغان"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۶۵.

- شكري م، (۱۳۹۰)، "بررسی توسعه کارست در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان با تلفیق پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم "RS و GIS" مطالعات هیدروژئولوژیکی زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۶۵.
- شمسی، ع، (۱۳۹۰)، "ارزیابی مناطق مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب کارست در شمال غرب اسلام‌آباد، کرمانشاه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علیزاده، ا، (۱۳۸۹)، "اصول هیدرولوژی کاربردی" انتشارات آستان قدس رضوی.
- علیزاده، ا، (۱۳۸۹)، "رابطه‌ی آب، خاک و گیاه" چاپ دهم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- فردوست ف، (۱۳۸۰) "گزارش نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ تاش و مچن"، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- قدیمی م، احمدی ح، مقیمی ا، بیگلو ج، (۱۳۹۲). "بررسی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی اشترانکوه در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه". نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، ص ۲۶۳-۲۷۸.
- کاظمی ا، کرمی غ، (۱۳۹۶) " بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در کارست‌های گچی منطقه بلده، مازندران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کرمی غ، خسروی‌سوادجانی ر. و طاهری ع، (۱۳۹۰)، "بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی چشمه امام‌قیس با چاه‌های آب مجاور"، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کرمی غ، رجائی ا. و کمالی‌نیسیانی م، (۱۳۸۷)، "کاربرد مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در بررسی آب‌بندی سازندهای کارستی"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز.
- کرمی غ، (۱۳۷۲)، "بررسی رابطه بین عوامل نفوذ آب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- کرمی غ، (۱۳۸۸)، "نقش چینه‌شناسی در توسعه کارست در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان"، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره پیاپی ۳۶، شماره اول، ص ۵۲-۳۹.

- کریمی، غ (۱۳۸۳)، بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.
- کریمی ح. رئیسی ع. و زارع م، (۱۳۸۳)، "جریان افشان کاذب، تعبیر جدیدی از جریان در محیط‌های کارستی"، مجموعه مقالات هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کریمی وردنجانی ح، (۱۳۸۴)، "بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی موگرمون و سرآسیاب"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- کریمی، ح، (۱۳۷۶)، "بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها و تاق‌دیس پودنو فیروزآباد"، پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شیراز.
- کریمی وردنجانی ح، (۱۳۸۴)، "بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی موگرمون و سرآسیاب"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- کریمی وردنجانی ح، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)"، انتشارات ارم شیراز.
- کریمی وردنجانی ح، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)"، انتشارات ارم شیراز.
- محمدزاده ح. اسکندری ع، (۱۳۹۷)، "استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی به منظور فهم بهتر ویژگی‌های منابع آبی مهم محدوده‌های پاره و جوانرود (استان کرمانشاه)"، مجله هیدروژئولوژی تبریز، دوره ۲، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷، ص ۹۸-۸۰.
- محمدزاده ح، حیدرزاده م، (۱۳۹۰)، "مطالعه‌ی هیدرووشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه کارستی اندرخ (شمال شهر مشهد)"، پژوهش‌های دانش زمین، بهار ۱۳۹۰، دوره ۲، شماره ۵، ص ۶۹-۵۶.
- محمدی س،، ملکی ا،، کریمی حاجی،، زینتی زاده ع. (۱۳۹۷)، "تحلیل کیفی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه با استفاده از مدل‌های آماری و هیدرووشیمیایی". مطالعه‌ی موردی: آبخوان کارستی توده‌های پراو-بیستون و حوضه الوند. فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال یازدهم، شماره‌ی ۴، تابستان ۱۳۹۷.
- محمودی نیا م،، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد "مطالعه‌ی کانی‌شناسی و ژنز کانسار سرب و روی یورت بابا". دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۴۴.

- میرحسنى ق. باقرى ر. و نىك قوجق ى، (۱۳۹۵)، "تحليل منحنى فرود و تعيين حوضه آبگير چشمه‌ى كارستى زاو در منطقه كالاه، استان گلستان"، سى و پنجمين گردهمايى ملى علوم زمين، سازمان زمين‌شناسى و اكتشافات معدنى كشور.
- ميرحسنى ق.، باقرى ر.، نىك قوجق ى (۱۳۹۶) "مطالعه‌ى هيدروژئولوژى چشمه‌هاى كارستى منطقه‌ى كالاه، استان گلستان". پايان‌نامه‌ى كارشناسى ارشد، دانشكده‌ى علوم زمين، دانشگاه صنعتى شاهرود، ص ۳۰-۳۸.
- مينويى ا. كرمى غ. و اميدى پ، (۱۳۸۹)، "هيدروژئولوژى و هيدروژئوشيمى چشمه‌هاى كارستى قلو ز و تلوکسان در کوه‌هاى شاهو"، مجموعه مقالات نخستين كنفرانس پژوهش‌هاى کاربردى منابع آب ايران، دانشگاه صنعتى کرمانشاه.
- نعمتى مقدم ع. غفورىان ح. امينى رنجبر غ، (۱۳۹۱)، "مطالعه بعضى از خواص فيزيكى و شيميايى و اندازه‌گيرى فلزات سنگين سرب و كادميم سه چشمه آبگرم لاويچ چمستان"، پژوهش‌هاى علوم و فنون دريايى، تابستان ۱۳۹۱، دوره ۷، شماره ۲، ص ۹-۱.
- نقشه‌ى زمين‌شناسى ۱/۱۰۰۰۰۰ على آباد، سازمان زمين‌شناسى و اكتشافات معدنى كشور.
- نورى م، (۱۳۸۹)، "بررسى توسعه كارست در جنوب شرق تاقديس كبير كوه ايلام"، پايان‌نامه كارشناسى ارشد، دانشگاه صنعتى شاهرود، ص ۹۴.
- نورى م، (۱۳۸۹)، "بررسى توسعه كارست در جنوب شرق تاقديس كبير كوه ايلام"، پايان‌نامه كارشناسى ارشد، دانشگاه صنعتى شاهرود، ص ۹۴.
- وديعتى م. خدرى ا. و مصلح ا، (۱۳۹۴)، "ارزيابى هيدروژئولوژيكي چشمه كارستى پيرغار براساس تحليل هيدروگراف چشمه"، كنفرانس بين‌المللى توسعه با محوريت كشاورزى، محيط زيست و گردشگرى، تبريز.
- Aharipour, R., Moussavi, M. R., Mosaddegh, H., Mistiaen, B. (2010), "Facies features and paleoenvironmental reconstruction succession (padeha formation) in the Eastern- Alborz Mountain, NE Iran", *Facies* 56: 279-294.
- Appelo CAJ, Postma D (2005) *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd edn. A.A, Balkema, Rotterdam.
- Assereto, R. (1963). "The Paleozoic formations in Central Elborz (Iran)" (preliminary note). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 69 (4), 503-543.

- Bakalowicz, M (2005). Karst Groundwater: a challenge for new resources; *Hydrogeology Journal*. 13. (1), 148-160.
- Bögli A., (1980), “Karst Hydrology and Physical Speleology”, Berlin: Springer-Verlag, pp. 285.
- Boldatoni D, Alfani A, Tommasi PD. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. *Environ Pollut* 2004. 130 (2): 149-156.
- Bonacci O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal–Journal Des Sciences Hydrologiques* 38(1): 51–62.
- Bozorgnia, F., (1973). “Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Alborz Mountains, Iran. NIOC, Geological Laboratories, 4: 1-185.
- Burdon, D.J. and Papakis, N. (1963) *Handbook of karst hydrology*. U. N., Athens. Ford D.C. and Williams P.W., (2007), “Karst Hydrogeology and Geomorphology”, John Wiley and Sons, Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, pp. 562.
- Burdon, D.J. and Papakis, N. (1963) *Handbook of karst hydrology*. U. N., Athens. White W.D., (1988), “Geomorphology and hydrology of karst Terrains”, Oxford University Press, pp. 464.
- Chow V.T., (1988), “Applied Hydrology”, McGraw-Hill, pp. 572.
- Dellenbach, J (1964) “Contribution a l’ Etude geologique de la region situee a l’ est de Tehran (Iran). Pp. 48-53.
- Enbaee A, Keykhosro A, Vatandost J. effects of different concentrations of toxic metals zinc and copper in the liver and gill tissue of common carp (*Cyprinus carpio*). 12<sup>th</sup> Conference on Iran Environmental Health. Shahid Beheshti Medical Sciences 2009. p. 2630-2636.
- Fiorillo F., (2014), “The Recession of Spring Hydrographs, Focused on Karst Aquifers”, *Water Resources Management*, 28: 1781–1805.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., (1979), *Groundwater*, Prentice hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Gibbs, R., (1970), “Mechanisms controlling world water chemistry”, *Science*, 170, pp. 1088-1090.

- Glaus, M., (1965) “Die Geologie des Gebiets neordch des Kandeavan-Passes (Zentral Elburz), Iran, Mitt, Geol. Inst. Eidgen, Tech. Hochschule Univ. Zuench, N. F. 48, p.165.
- Han, D., Song, X., Currell, M. J., Cao, G., Zhang, Y., & Kang, Y. (2013). A survey of groundwater levels and hydrogeochemistry in irrigated fields in the Karamay Agricultural Development Area, northwest China: Implications for soil and groundwater salinity resulting from surface water transfer for irrigation. *Journal of Hydrology*, 405(3), 217-234.
- Hounslow, A. (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.
- Jarup, L., (2003), “Hazards of heavy metal contamination. *British Media Bulletin*”, 68 (1), pp. 167–182.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Siame, L., Leanni, L., Bourles, D., Ahmadin, S., (2011), “Fault cinematics and active tectonics at the southeastern boundary of the eastern Alborz (Abr and Khij fault zones)”, *Geodynamic implications for NNE Iran*, *Journal of eodynamics*, doi: 10.1016.
- Jeevanandam, M., Kannan, R., Srinivasalu, S., & Rammohan, V. (2007). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of lower part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore district, South India. *Environmental monitoring and assessment*, 132(1-3), 263-274.
- Jeng, A. S., 1991: Weathering of some Norwegian alum shales.1. Laboratory simulations to study acid generation and the release of sulphate and metal cations Ca, Mg K. *Acta Agriculturae Scandinavica* 41(1): 13-35.
- Kabata-Pendias A, Pendias H., (2001), “Trace Elements in Soils and Plants”, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA.
- Kabata-pendias, A., Mukherjee, A.B., (2007), “Trace Elements from Soil to Human”, Berlin: Springer-Verlag, pp. 550.
- Karami GH., (2002), “Assesment of heterogeneity and flow system in karstic aquifers using pumping test data”, p.h.D. Thesis, school of civil engineering and Geosciences univercity of Newcastle upon type, pp. 180.
- Klove B., Ala-Aho P., Bertrand G., Gurdak J., Kupfersberger H., Kverner J., Muotka T., Mykra H., Preda E., Rossi P., Bertacchi C., Velasco E., Pulido-Velazquez M. (2013). "Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems" *Journal of Hydrology*.

- Kresic N., (2013), “Water in Karst: Management, Vulnerability and Restoration”, New York: McGraw-Hill, pp. 736.
- Lamoreaux, P. E., (1991), History of karst hydrogeological Studies, Proceedings Of the International Conference On Environmental Changes in Karst Areas- I. G. U- U. I. S- Italy 15-27 Sept. 1991; Quaderni de1 Dipartimento di Geografia n. 1991- Universita di Padova, pp. 215-229.
- Langmuir, D., (1997), “Aqueous environmental geochemistry” Prentic hall, New Jersey.
- Manga M. 2001. Using springs to study groundwater flow and active geologic processes. *Annl Rev Earth Planet Sci.* 29:201–228.
- Merian, E., (1991), “Metals and their compounds in the environmental”, 4, pp. 1437.
- Milanovic P., (1981) “Karst Hydrogeology” Water Resources Pubns, P 434.
- Mills, B. (2003). Interpreting water analysis for crop and pasture, file No. FS0334, DPI’s Agency for Food and Fiber Sciences, Toowoomba.
- Nur Ozyurt N. and Serdar Bayari C. 2008. Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpinekarst aquifer in Turkey implications with respect to response of karst aquifers to recharge. *Hydrogeol. J.* 16: 297–309.
- Raju, N. J., Shukla, U. K., & Ram, P. (2011). Hydrogeochemistry for the assessment of groundwater quality in Varanasi: a fast-urbanizing center in Uttar Pradesh, India. *Environmental monitoring and assessment*, 173(1-4), 279-300.
- Ravikumar, P., Venkatesharaju, K., & Somashekar, R. K. (2010). Major ion chemistry and hydrochemical
- Ryan M. and Meiman J., (1996), “An examination of short-term variations in water quality at a karst spring in Kentucky”, *Ground water*, 34 (1): 23-30.
- Simsek C. Elci A. Gunduz O. and Erdugan B. 2008. Hydrogeological and hydrochemical characterization of a karstic mountain region. *Environ Geol.* 54: 291-308.
- Smedley PL, Kinniburgh DG (2002) A review of the source, behaviour and distribution of Arsenic in natural water. *Applied Geochemistry* 17(5):517–568.
- Smith, K. S. (2007). Strategies to predict metal mobility in surficial mining environments. *Reviews in engineering geology*, 17, 25-45.



- Studies of groundwater of Bangalore South Taluk, India. Environmental monitoring and assessment, 163(1-4), 643-653.
- Tijani, M. N. (2009). Contamination of shallow groundwater system and soil-plant transfer of trace metals under amended irrigated fields. Agricultural water management, 96(3), 437-444.
- Todd, D. K., (1980). "Groundwater hydrology" editon 2nd. New York: Wiley, p. 315
- WHO, 2008, "Guidelines for Drinking- Water Quality", second addendum. Vol.1, Survey, Journal Research, 2 (3), 263-269.
- WHO. (2011). "Guidelines for drinking water quality", 3rd Edn, Geneva, Switzerland.
- WHO. 1998 "WHO Library Cataloguing in Publication Data" Geneva. NLM Classification: WA 504.1.
- Wilcox, L. (1955). Classification and use of irrigation waters.
- Zaporozec, A. (2004). "Groundwater contamination inventory", United States of America. UNESCO, pp. 158.

## **Abstract**

The study area is located in northwest of Shahrood city, Semnan province. To investigate the hydrogeological and hydrogeochemical properties of multi-color Tash springs, the concentration of main ions and in situ EC, pH values and discharge rate of 6 non-karstic and 1 karstic springs (HS5) were measured monthly from January to October 2019. In this research, development of the karstic formations and also catchment area of the springs has been investigated based on the geology, hydrogeology and hydrochemical factors. The regimes of flow in the springs are mainly diffuse flow. The recession curve of the karstic spring has one recession coefficient that can be attributed to the less development of karstic formation in the catchments area. The results of isotopic study indicate that the springs originate from atmospheric waters and are mainly fed by snow. The dominant water type for karstic springs, is  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$  and for non-karstic springs is  $\text{Cl-Na}$ . Cation exchange process also affects the hydrochemical characteristic of the springs. All springs are super-saturated with calcite and dolomite and under-saturated with gypsum and halite. According to Gibbs diagrams, only the karst springs are affected by atmospheric factors and the others are affected by water-rock interaction. Schuler and Wilcox diagrams showed that the only karst spring is suitable for drinking and agriculture usage. The heavy metals concentrations in the samples showed that the karst spring was not contaminated, but the others, especially black springs has been contaminated with a few trace ions.

**Keywords:** hydrogeology, hydrogeochemistry, karst, multi-colors, Tash



Shahrood University of Technology  
Faculty of Earth Sciences  
Hydrogeology and Environmental Geology Group  
M. Sc. Thesis

**Hydrogeological investigation and origin of Haft-Rang karstic  
spring in Tash area North of Shahrood**

By:

Elham Jafari Mohammadabadi

Supervisor:

Rahim Bagheri

2020-01-26