

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

شناسایی مسیرهای عمده جریان در آبخوان‌های کارستی شمال شرق تاش

نگارنده: عباس ابراهیم مجنی

اساتید راهنما

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر پرویز امیدی

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۱۴۰۰.۲.۲۷۵
تاریخ: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

باسمه تعالی



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

بناام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عباس ابراهیم مجنی با شماره دانشجویی ۹۶۳۳۶۳۴ رشته زمین شناسی گرایش آب - زمین شناسی تحت عنوان شناسایی مسیرهای عمده جریان در آبخوان های کارستی شمال شرق نائش که در تاریخ ۹۹/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردیده به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸
ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹ - ۱۶ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹ - ۱۴
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
نوع تحقیق: نظری عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر غلامحسین کریمی	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر پرویز امیدی	۲- استاد راهنمای دوم
-	-	-	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر عزیزالله طاهری	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر رمضان رمضانپور اومالی	۵- استاد منتحن اول
	دانشیار	دکتر هادی جعفری	۶- استاد منتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

مهر و امضاء و مهر دانشکده:

۲۰



تقدیر اثر

تقدیر به روح پاک پدرم

تقدیر به وجود مبارک مادر عزیزم

و تقدیر به برادران و خواهران عزیزم که همواره پشتیبان من

بوده و هستند.

تقدیر و تشکر

در این هنگام که با لطف و عنایت الهی، کار نگارش و تدوین این تحقیق به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم در ابتدا از زحمات بی‌شائبه اساتید راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر غلاممسین کرمی و جناب آقای دکتر پرویز امیدی که در تهیه و تکمیل این پژوهش همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره‌برده‌ام کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از زحمات اساتید دلسوز و محترم دانشکده علوم زمین، به ویژه جناب آقای دکتر محمود صادقیان که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان بهره‌برده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین لازم است از سرکار خانم مهندس فارسی که در طول مدت تفصیلم همواره از کمک‌های بی‌شائبه ایشان بهره‌برده‌ام تقدیر و تشکر ویژه داشته باشم.

در نهایت بر خود لازم می‌دانم از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام به ویژه مادر مهربانم که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تفصیلاتم فراهم نمودند، سپاس‌گزاری نمایم.

عباس ابراهیم مجنی

بهمن ماه ۱۳۹۹

تعهد نامه

اینجانب عباس ابراهیم مجنی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه شناسایی مسیرهای عمده جریان در آبخوان‌های کارستی شمال شرق تاش تحت راهنمایی دکتر غلامحسین کرمی و دکتر پرویز امیدوی متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

محدوده مطالعاتی در شمال غرب شهرستان شاهرود و در ۵ کیلومتری شمال شرق روستای تاش واقع شده است. یکی از مهم‌ترین مواردی که در مطالعه بر روی سازندهای کارستی همواره هزینه و وقت مهندسين را معطوف خود داشته است، شناسایی مسیرهای عمده جریان و تعیین سیستم غالب جریان در این نوع آبخوان‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که روش‌های معمول در این زمینه یا هزینه‌بر هستند و یا نیاز به زمان زیادی برای به نتیجه رسیدن دارند، ارائه روش‌هایی که زمان و هزینه کمتری صرف می‌کنند، می‌تواند بسیار راهگشا باشد. هدف از تحقیق پیش رو شناسایی مسیرهای عمده جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی شمال شرق روستای تاش و تعیین سیستم غالب جریان در این آبخوان می‌باشد.

بررسی‌های ساختاری و مطالعه بر روی هندسه گسل‌ها و درزه‌ها در منطقه بیانگر این است که یک زون مهم گسلی با راستای شمال شرق - جنوب غرب در منطقه وجود دارد. علاوه بر این، ملاحظه شد که یک مجموعه‌ای از گسل‌های فرعی با راستای عمود بر روند سیستم گسلی اصلی (یعنی روند شمال شرق - جنوب غرب) در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.

آبخوان کارستی مورد مطالعه از واحدهای سنگی دولومیتی و آهک دولومیتی سازند الیکا تشکیل شده است. این آبخوان کارستی به وسیله سه چشمه کارستی با نام‌های آهار ۱، ۲ و ۳ تخلیه می‌شود. آبدهی، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی در این چشمه‌ها در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اندازه‌گیری شده و بر اساس آنالیز داده‌های به دست آمده خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این آبخوان کارستی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مطالعات انجام شده در حوضه آبرگیر چشمه‌ها نشان می‌دهد که به دلیل دولومیتی بودن آبخوان کارستی، توسعه‌یافتگی کارست در منطقه نسبتاً اندک است. هم‌چنین ملاحظه شد که سیستم غالب جریان در آبخوان کارستی از نوع افشان می‌باشد. تلفیق نتایج به دست آمده از بررسی‌های ساختاری و هیدروژئولوژی بیانگر این است که مسیرهای عمده جریان آب زیرزمینی در راستای عناصر ساختاری منطقه و متاثر از گسل‌ها و درزه‌ها شکل گرفته‌اند. به این ترتیب که جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی توسط گسل‌های فرعی به سمت گسل اصلی هدایت شده و در محل گسل اصلی چشمه‌های کارستی منطقه ظاهر شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: کارست، مسیر جریان، گسل، تاش

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۲
۳-۱- آب و هوای منطقه.....	۳
۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن.....	۴
۲-۳-۱- نمودار امپروترمیک.....	۵
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه.....	۶
۵-۱- چینه‌شناسی منطقه.....	۶
۱-۵-۱- سازند بازالتی سلطان میدان.....	۷
۲-۵-۱- سازند پادها.....	۷
۳-۵-۱- سازند خوش بیلاق.....	۸
۴-۵-۱- سازند مبارک.....	۸
۵-۵-۱- سازند دورود.....	۸
۶-۵-۱- سازند روته.....	۹
۷-۵-۱- سازند الیکا.....	۹
۸-۵-۱- سازند شمشک.....	۱۰
۹-۵-۱- سازند لار.....	۱۰
۱۰-۵-۱- سازند فجن.....	۱۱
۶-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....	۱۱
۷-۱- هیدرولوژی منطقه.....	۱۲
۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه.....	۱۳
فصل دوم.....	۱۵
مروری بر مطالعات پیشین.....	۱۵

۱۶	۱-۲- نقش تکتونیک در توسعه کارست.....
۱۹	۲-۲- جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی.....
۲۳	فصل سوم.....
۲۳	روش انجام کار.....
۲۴	۱-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی.....
۲۵	۲-۳- مطالعات ساختاری.....
۲۵	۱-۲-۳- اندازه‌گیری‌های سیستماتیک.....
۲۶	۲-۲-۳- اندازه‌گیری‌های موردی.....
۲۷	۳-۳- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی.....
۲۷	۱-۳-۳- نمونه‌برداری.....
۲۸	۲-۳-۳- اندازه‌گیری آبدهی چشمه‌ها.....
۲۸	۳-۳-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی.....
۲۸	۴-۳-۳- اندازه‌گیری اسیدپته.....
۲۹	۵-۳-۳- اندازه‌گیری دما.....
۲۹	۶-۳-۳- اندازه‌گیری یون‌های اصلی.....
۳۱	فصل چهارم.....
۳۱	زمین‌شناسی ساختمانی.....
۳۲	۱-۴- معرفی واحدهای سنگی موجود در منطقه.....
۳۳	۲-۴- تحلیل ساختاری گسل‌های موجود در منطقه.....
۳۳	۱-۲-۴- گسل‌های اصلی منطقه.....
۳۴	۱-۱-۲-۴- گسل F1.....
۳۷	۲-۱-۲-۴- گسل F2.....
۴۱	۳-۴- زون گسله.....
۴۲	۴-۴- شکستگی‌ها.....
۴۳	۱-۴-۴- ارتباط شکستگی‌ها با پدیده‌های ساختمانی.....

۴۳	۴-۱-۱-۱- شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی.....
۴۵	۴-۱-۲- شکستگی‌های وابسته به گسلش.....
۴۹	فصل پنجم.....
۴۹	بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های منطقه.....
۵۰	۵-۱- تحلیل و ارزیابی توسعه کارست در منطقه.....
۵۰	۵-۱-۱- بررسی توسعه کارست با توجه به عوارض ژئومرفولوژیکی کارست.....
۵۴	۵-۲- بررسی توسعه کارست با توجه به شواهد هیدروژئولوژیکی.....
۵۵	۵-۳- هیدروگراف چشمه‌های مورد مطالعه.....
۶۰	۵-۴- بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌ها.....
۶۴	۵-۵- بررسی غلظت یونهای اصلی در چشمه‌ها.....
۶۵	۵-۵-۱- نمودار پایپر.....
۶۸	۵-۵-۲- نمودار استیف.....
۷۳	فصل ششم.....
۷۳	نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
۷۴	۶-۱- نتیجه‌گیری.....
۷۴	۶-۱-۱- ارزیابی رژیم تکتونیک عمومی منطقه.....
۷۴	۶-۱-۲- ارزیابی مهمترین سیستمهای گسلی منطقه.....
۷۵	۶-۱-۳- بررسی نقش عناصر ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه.....
۷۵	۶-۱-۴- ارزیابی توسعه‌یافتگی کارست در منطقه.....
۷۵	۶-۱-۵- ارزیابی سیستم غالب جریان در کارستهای منطقه.....
۷۶	۶-۱-۶- مسیرهای عمده جریان.....
۷۶	۶-۲- پیشنهادها.....
۷۸	منابع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه تاش برای دوره آماری ۵ ساله..... ۶
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۱-۴- نقشه ژئومرفولوژی منطقه مورد مطالعه..... ۱۲
- شکل ۱-۵- نقشه هیدروگرافی منطقه مورد مطالعه..... ۱۳
- شکل ۱-۶- محدوده آبخوان کارستی در منطقه مورد مطالعه..... ۱۴
- شکل ۱-۴- تصویر ماهواره‌ای لندست از گسل F1..... ۳۴
- شکل ۲-۴- نمایی از گسل F1 (دید به طرف جنوب)..... ۳۵
- شکل ۳-۴- رخنمونی از سطح گسل F1، شامل خشلغزها و پلکان‌های لغزشی..... ۳۵
- شکل ۴-۴- تصویر استریوگرام گسل F1 شامل سطح گسله و خشلغز روی آن..... ۳۶
- شکل ۵-۴- مقطع عرضی از گسل F1 (Pd سازند دورود، Tre سازند الیکا)..... ۳۷
- شکل ۶-۴- نمایی از گسل F2 (دید به سمت شمال)..... ۳۷
- شکل ۷-۴- تصویر ماهواره‌ای لندست از گسل F2..... ۳۸
- شکل ۸-۴- رخنمونی از سطح گسل F2، شامل خشلغزها و پلکان‌های لغزشی (دید به طرف شمال)..... ۳۹
- شکل ۹-۴- تصویر استریوگرام گسل F2 شامل سطح گسله و خشلغز روی آن..... ۴۰
- شکل ۱۰-۴- مقطع عرضی از گسل F2 (Tre سازند الیکا، Js1 سازند شمشک)..... ۴۰
- شکل ۱۱-۴- تصویر لندست از زون گسله منطقه مطالعاتی..... ۴۱
- شکل ۱۲-۴- پروفیل عرضی رودخانه آهار با روند شمال غربی - جنوب شرقی..... ۴۲
- شکل ۱۳-۴- تصویر ماهواره‌ای لندست از منطقه مورد مطالعه و شکستگی‌های موجود در آن..... ۴۳
- شکل ۱۴-۴- شکستگی عرضی در سازند الیکا (دید به طرف شمال غرب)..... ۴۴
- شکل ۱۵-۴- شکستگی‌های برشی مزدوج در سازند الیکا (دید به طرف شمال غرب)..... ۴۶
- شکل ۱۶-۴- رزدیگرام امتدادی شکستگی‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه..... ۴۷
- شکل ۱-۵- تصویری از سنگهای برهنه با کارنهای اولیه..... ۵۲
- شکل ۲-۵- تصویری از یک دره خشک کارستی..... ۵۳

- شکل ۵-۳- وجود نواحی فروافتاده متعدد در حوضه آبخیز آبخوان کارستی..... ۵۳
- شکل ۵-۴- سیستمهای جریان کارستی..... ۵۴
- شکل ۵-۵- هیدروگرافهای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹..... ۵۷
- شکل ۵-۶- منحنیهای فرود مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸..... ۵۸
- شکل ۵-۷- منحنیهای فرود مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹..... ۵۹
- شکل ۵-۸- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹..... ۶۲
- شکل ۵-۹- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در چشمه آهار ۱ در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹..... ۶۳
- شکل ۵-۱۰- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در چشمه آهار ۳ در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹..... ۶۴
- شکل ۵-۱۱- نمودار پایپر منابع آب منطقه در پائیز ۱۳۹۸..... ۶۶
- شکل ۵-۱۲- نمودار پایپر منابع منطقه در زمستان ۱۳۹۸..... ۶۶
- شکل ۵-۱۳- نمودار پایپر منابع آب منطقه در بهار ۱۳۹۹..... ۶۷
- شکل ۵-۱۴- نمودار پایپر منابع آب منطقه در تابستان ۱۳۹۹..... ۶۷
- شکل ۵-۱۵- نمودار استیف منابع آب منطقه در پائیز ۱۳۹۸..... ۶۸
- شکل ۵-۱۶- نمودار استیف منابع آب منطقه در زمستان ۱۳۹۸..... ۶۹
- شکل ۵-۱۷- نمودار استیف منابع آب منطقه در بهار ۱۳۹۹..... ۶۹
- شکل ۵-۱۸- نمودار استیف منابع آب منطقه در تابستان ۱۳۹۹..... ۷۰
- شکل ۵-۱۹- نمودار $HCO_3 + SO_4$ در برابر $Ca+Mg$ ۷۱
- شکل ۵-۲۰- جایگاه منابع آب منطقه در نمودار ویلکاکس..... ۷۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و دما در یک دوره ۵ ساله در منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۴
- جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۹)..... ۵
- جدول ۴-۱- خصوصیات هندسی گسل F1..... ۳۶
- جدول ۴-۲- خصوصیات هندسی گسل F2..... ۳۹
- جدول ۵-۱- دبی منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ بر حسب لیتر بر ثانیه..... ۵۶
- جدول ۵-۲- پارامترهای آماری منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹..... ۶۰
- جدول ۵-۳- هدایت الکتریکی چشمه‌ها در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ بر حسب میکروموس بر سانتیمتر..... ۶۱
- جدول ۵-۴- غلظت یونهای اصلی چشمه‌های منطقه..... ۶۴

فصل اول

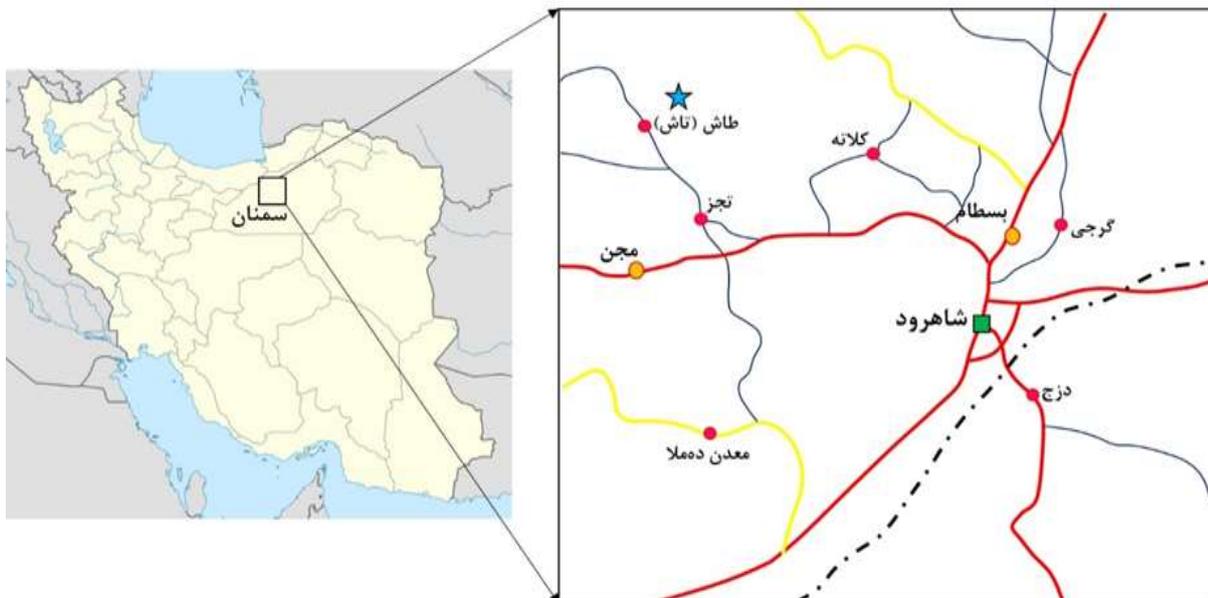
مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

آب مایه حیات و از ضروریات زندگی انسان است، یکی از بزرگترین منابع آب شیرین قابل دسترس در زیر زمین و در داخل سازندهای زمین‌شناسی جای گرفته است. کارست گستره‌ای با مورفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی قابل ملاحظه است که از انحلال سنگ‌های با قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی به وجود می‌آید (Karami 2003). اگرچه گستره‌های کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته ایجاد می‌شوند، اما به این سنگ‌ها محدود نمی‌شوند و می‌توانند بر روی دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر (مانند سنگ گچ، انیدرید و سنگ نمک) هم تشکیل شوند. اشکال ژئومورفولوژیکی مانند مجاری و حفرات انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و غارها از ویژگی‌های خاص نواحی کارستی می‌باشند. سازندهای کارستی مساحت قابل توجهی را دربر می‌گیرند به طوری که حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از سطح خشکی‌ها را تشکیل می‌دهند، همچنین آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را تامین می‌کنند. با توجه به این که آبخوان‌های کارستی دارای نفوذپذیری و قابلیت ذخیره‌سازی بالایی هستند مطالعه و شناخت این آبخوان‌ها بسیار حائز اهمیت است. در آبخوان‌های کارستی، عوامل ساختاری در تعیین مسیرهای عمده جریان از نقش مهمی برخوردار هستند. بنابراین، با شناخت و بررسی آن‌ها می‌توان به مسیرهای ترجیحی جریان پی برد، همچنین نقش چشمه به عنوان یکی از روش‌های استفاده از آب‌های زیرزمینی برای تعیین مسیرهای عمده جریان بسیار اساسی است (Ford and Williams 2007). بنابراین، مهم‌ترین اهداف این تحقیق، بررسی وضعیت ساختاری منطقه، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی این منطقه (چشمه‌های آهار ۱، ۲ و ۳) می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان سمنان و ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود، در زون ساختاری البرز شرقی واقع شده است. مهم‌ترین مسیر ارتباطی منطقه جاده شاهرود - گرگان می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



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

۱-۳- آب و هوای منطقه

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 ۵ ساله (۱۳۹۷-۱۳۹۳) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱-۱) نشان داده شده است. براساس بررسی‌های حاصله، متوسط درجه حرارت سالانه $10/65$ درجه سانتی‌گراد برآورد شده و بیشینه‌ی دما مربوط به تیر ماه و کمینه‌ی دما مربوط به بهمن ماه می‌باشد. همچنین متوسط بارندگی سالانه 304 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 ۵ ساله در منطقه‌ی مورد مطالعه

زمان (ماه)	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)
مهر	۱۶/۸	۱۴/۳
آبان	۲۰/۴	۷
آذر	۲۳	۰/۳
دی	۱۶/۱	۰/۶
بهمن	۴۰/۹	-۳/۳
اسفند	۴۱/۱	۲/۲
فروردین	۴۴/۳	۴/۶
اردیبهشت	۴۷/۹	۱۵
خرداد	۲۵/۹	۱۶/۹
تیر	۹/۵	۲۵/۳
مرداد	۳/۱	۲۵/۲
شهریور	۱۵	۱۹/۸
میانگین سالیانه	۳۰/۴	۱۰/۶۵

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

۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن

دمارتن (Demarton) با استفاده از متوسط بارندگی (P)، دمای سالیانه (T) و ضریب اقلیمی (I)، معادله (۱)-

(۱) را جهت تعیین نوع آب و هوای منطقه ارائه نموده است (علیزاده ۱۳۹۰).

$$I = \frac{P}{(T+10)} = \frac{304}{(10.65+10)} = 14.72 \quad \text{معادله (۱-۱)}$$

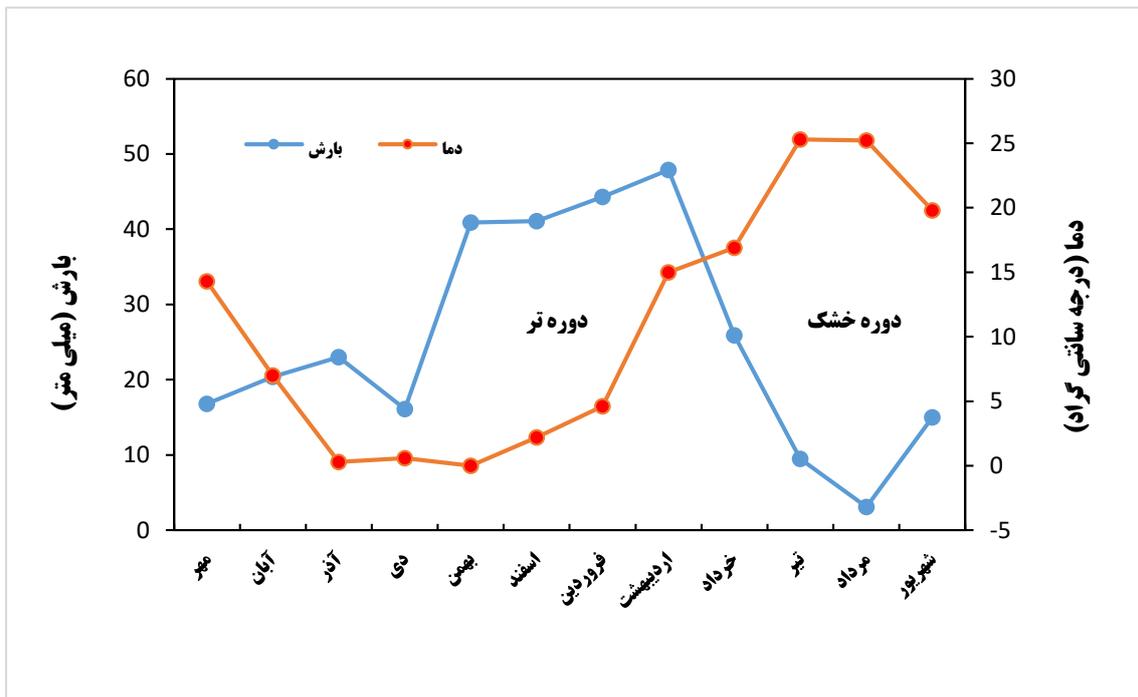
با توجه به مقادیر برآورد شده‌ی متوسط بارندگی و متوسط درجه حرارت سالیانه، مقدار این ضریب در محدوده‌ی مطالعاتی برابر ۱۴/۷۲ بوده و طبق جدول ۱-۲، اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک می‌باشد.

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

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

۱-۳-۲- نمودار امبروترمیک

نمودار امبروترمیک (Embrotthermic) منطقه، براساس تغییرات ماهانه دما و بارندگی ترسیم شده و در شکل (۱-۲) ارائه گردیده است. نقطه تلاقی دو منحنی میانگین بارندگی و میانگین دما در این نمودار، جداکننده 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 اوایل خرداد مقدار بارندگی نسبت به دما بیش‌تر بوده و دوره تر می‌باشد و سایر ماه‌های سال به عنوان دوره خشک مطرح می‌گردند. همانطور که ملاحظه می‌شود بیش از ۷ ماه از سال در منطقه مورد مطالعه دوره تر حاکم است که بیانگر شرایط نسبتاً مرطوب منطقه است.



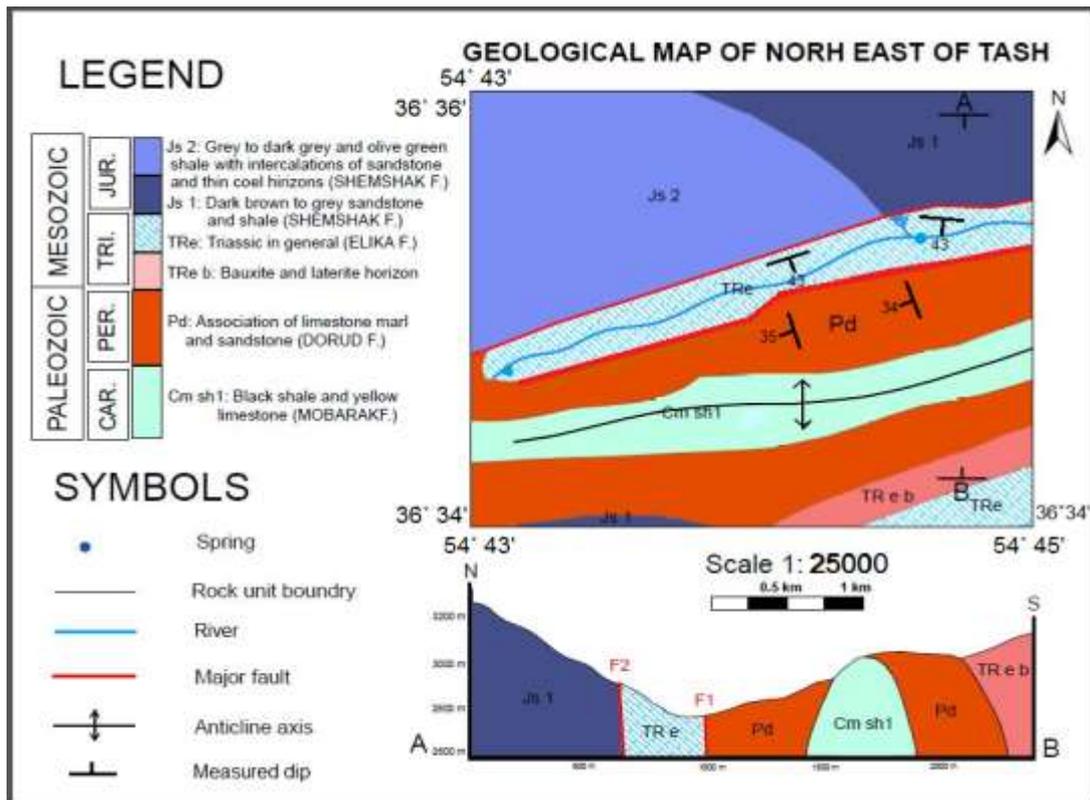
شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه تاش برای دوره آماری ۵ ساله

۴-۱- زمین شناسی منطقه

به طور کلی زمین شناسی یک منطقه، تأثیر بسزایی بر محیط زیست و کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی و همچنین نوع تغذیه و منشأ آب های زیرزمینی آن منطقه دارد. منطقه ی مورد مطالعه در زون البرز شرقی و در دامنه کوه شاهوار قرار گرفته است. رشته کوه البرز با ساختاری کشیده و راستای کلی شرقی- غربی به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم می شود که در البرز شرقی روند عناصر ساختاری (گسل ها و چین خوردگی ها) شمال شرقی - جنوب غربی می باشد.

۵-۱- چینه شناسی منطقه

بر اساس اطلاعات چینه شناسی، سازندهای موجود در منطقه مورد بررسی از قدیم به جدید شامل: سازند بازالتی سلطان میدان، پادها، خوش بیلاق، مبارک، دورود، روته، الیکا، شمشک، لار و فجن می باشد که به اطلاعات کلی آن ها اشاره می شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۵-۱- سازند بازالتی سلطان میدان

این مجموعه، نمایانگر مهم‌ترین، ستبرترین و حجیم‌ترین فعالیت ماگمایی پالئوزوئیک پیشین ایران می‌باشد. سنگ‌های دربرگیرنده این سازند، طیفی از سنگ‌های بازالتی تا آندزیتی بوده که در پلاتفرم دریایی فوران کرده است. 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 غربی، شرق منطقه تاش و شمال روستاهای نگارمن، ابرسج و میغان رخنمون دارد.

۱-۵-۲- سازند پادها

سازند پادها، اولین بار در کوه‌های درنجال شیرگشت معرفی گردید 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، ۱۳۸۸)، 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 ییلاق پوشیده شده است.

۱-۵-۳- سازند خوش ییلاق

سازند خوش ییلاق، نخستین بار توسط بزرگ‌نیا (۱۹۷۳) در گردنه خوش ییلاق و با سنی معادل دونین میانی تا پسین معرفی گردید. این سازند در منطقه مورد مطالعه، یکی از بزرگ‌ترین و ضخیم‌ترین ردیف‌های دونین در البرز شرقی بوده که در ناحیه ابرسج، نگارمن، میغان و دامنه 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 دهکده مبارک‌آباد قرار دارد. لیتولوژی غالب آن شامل ماسه سنگ کوارتزیتی، شیل خاکستری و سنگ آهک بوده و در منطقه مورد مطالعه به صورت هم‌شیب بر روی آهک و مارن‌های واحد ۳ خوش ییلاق و در هسته تاقدیس تاش 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 منطقه مورد بررسی می‌توان آن را در بخش جنوبی منطقه 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 دره 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 دورود و زیر سازند 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 با مطالعه مرجان‌ها، بازوپایان، جلبک‌ها و روزنه‌داران موجود در این سازند، سن آن را بخش زیرین پرمین بالایی دانسته‌اند (زهدی ۱۳۹۶).

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 دره الیکا و در فاصله ۵ کیلومتری این روستا به ضخامت ۲۹۵ متر معرفی گردید. براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، سازند مذکور حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر ضخامت دارد. این سازند عمدتاً از آهک‌های نازک لایه در بخش قاعده، آهک و آهک دولومیتی در بخش بالایی تشکیل شده است. لایه‌بندی نازک، رنگ متمایل به خاکستری روشن و فراوانی ساخت‌های کرم مانند 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 شده است. سنگ‌های تریاس زیرین و میانی سازند الیکا در روستای تاش یکی از کامل‌ترین برش‌ها در زون البرز شرقی می‌باشد. توالی‌های کربناته 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 ۱۳۸۷). 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.

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 (آقاناتی ۱۳۸۵). مقطع تیپ آن توسط (Aserto 1963) برای اولین بار در البرز مرکزی و بالادست دره روته معرفی و سن آن تریاس پیشین تا ژوراسیک تعیین گردید (آقاناتی 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 نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، گروه شمشک به سه بخش تقسیم شده که از قدیم به جدید شامل: 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 ماسه‌سنگ آهکی می‌باشند. در منطقه مورد بررسی از روستای تاش تا محدوده معدن بوکسیت بیش از همه این سازند رخنمون دارد.

۱-۵-۹- سازند لار

سازند لار نخستین بار توسط (Aserto 1963) معرفی شده و سن آن نئوکومین تعیین گردیده است. لیتولوژی غالب آن، آهک نازک لایه تا توده‌ای حاوی ندول‌ها و نوارهای نازک لایه 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- 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 منطقه مورد مطالعه از قطعات سنگ‌های رسوبی آواری قرمز رنگ، عمدتاً کنگلومرا و ماسه‌سنگ 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.

۱-۶- ژئومورفولوژی منطقه

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، منطقه 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، منطقه مورد بررسی در میان ارتفاعات شاهوار واقع شده است. به طوری که کوه یزدکی در شمال، کوه میشی در جنوب، کوه چال میشی در غرب و کوه ذغال چال در شرق منطقه واقع گردیده‌اند 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 می‌باشد. ارتفاع روستای تاش نیز ۲۲۲۰ متر بوده و روند عناصر زمین‌ساختی آن از روند غالب زون البرز شرقی (شرقی _ غربی تا شمال شرقی - جنوب غربی) پیروی می‌نمایند. دره‌های جوان منطقه مطالعاتی نیز عموماً V شکل بوده و از امتداد گسل‌ها تبعیت می‌کنند. شکل (۱-۴) نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

۱-۷- هیدرولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر هیدرولوژی شامل یک رودخانه دائمی با روند شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که چشمه‌های آهار ۱، ۲ و ۳ جریان این رودخانه دائمی را تشکیل می‌دهند. همچنین آبراهه‌های متعددی از مناطق مرتفع به سمت مناطق پست امتداد یافته‌اند که روند اکثریت این آبراهه‌ها شرقی-غربی و گاهی شمالی - جنوبی می‌باشد.

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. رودخانه دائمی پیرمیشی 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. شکل (۱-۵) نقشه هیدروگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵- نقشه هیدروگرافی منطقه مورد مطالعه

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه

همواره هیدروژئولوژی هر آبخوان تابعی از زمین‌شناسی می‌باشد. در واقع هر منطقه در پیدایش و گسترش یک سفره آب زیرزمینی تاثیرگذار است. این نکته در آبخوان‌های کارستی نمود بیشتری دارد. در سفره‌های کارستی عوامل زمین‌شناسی شامل توالی‌های سنگ‌چینه‌ای بسیار موثر می‌باشد. وجود برخی میان‌لایه‌های خاص نظیر شیل‌ها همواره مانع از گسترش فرایندهای وابسته به کارستی شدن می‌شوند. همچنین عوامل دیگری نظیر ستبرای لایه‌های آهکی نیز بسیار تاثیرگذار هستند. سازندهای آهک و دولومیتی دورود و الیکا در منطقه مورد مطالعه باعث ایجاد آبخوان کارستی شده و در منطقه مطالعاتی آبخوان آبرفتی وجود ندارد. شکل (۱-۶) محدوده آبخوان کارستی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- محدوده آبخوان کارستی در منطقه مورد مطالعه

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

سازندهای کارستی با مساحت قابل توجهی که دارند آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را تامین می‌کنند. مطالعه و شناخت کارست‌ها به دلایل نفوذپذیری بالا، قابلیت ذخیره‌سازی، کیفیت بالا و ... بسیار حائز اهمیت است. نفوذپذیری و تخلخل منجر به ناهمگنی و ناهمسانگردی سفره‌های کارستی می‌شود، همچنین ابعاد گردش آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی با گردش آب در سایر سفره‌های زیرزمینی از نوع غیر کارستی کاملاً متفاوت است. در سفره‌های زیرزمینی کارست، آب در شکستگی‌های به هم پیوسته، غارها و کانال‌های زیرزمینی جمع می‌شود. (Ford and Williams, 2007).

از جمله عوامل مهمی که در حرکت آب‌های زیرزمینی نقش دارند می‌توان به جنس زمین، گرادیان هیدرولیکی، تخلخل، نفوذپذیری و وضعیت توپوگرافی سنگ کف اشاره کرد که این عوامل متاثر از تکتونیک، چینه‌شناسی و مورفولوژی می‌باشند (Milanovic, 1981).

۲-۱- نقش تکتونیک در توسعه کارست

شکستگی‌ها و گسل‌ها نقش پیچیده‌ای در کنترل جریان آب در کارست‌ها ایفا می‌کنند. به طوری که گسل‌ها می‌توانند با افزایش شکستگی‌ها در اطراف خود باعث افزایش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش انحلال و توسعه کارست شوند (Raeisi and Ashjari 2006).

مهم‌ترین سیستم‌های درز و شکاف در اثر تنش‌های کششی به وجود می‌آیند و بلوک‌های سنگی را از هم جدا می‌کنند. این سیستم‌ها در تاقدیس‌ها و در قسمت عمیق ناودیس‌ها باعث تخلخل ثانویه و ایجاد مجاری بزرگ برای عبور آب‌های ثقلی می‌شوند. همچنین جهت‌یافتگی توسعه کارست عموماً در امتداد عناصر ساختاری منطقه است، درز و شکاف‌هایی که به صورت یک شبکه گسترش می‌یابند در شکل‌گیری اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی نقش مهمی دارند و باعث تمرکز جریان آب زیرزمینی می‌شوند، از لحاظ سنگ‌شناسی هر چه خلوص و ضخامت آهک بیشتر باشد انحلال ثانویه و توسعه کارست هم بیشتر اتفاق می‌افتد. مجاری و کانال‌های جریان آب زیرزمینی در لایه‌های خالص‌تر شکل می‌گیرند و وجود لایه‌ی ناتراوا به عنوان مرز نفوذناپذیر شناخته می‌شود (White 1988).

مطالعات قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.* 2011) در منطقه گرین شهرستان نهاوند نشان می‌دهد که ساختارهای تکتونیکی در این منطقه فراوان هستند و بیشترین توسعه کارست در امتداد شکستگی‌های کششی رخ داده است و سیستم غالب جریان از نوع مجرای است.

فیث و همکاران (Faith *et al.* 2010) با مطالعه بر روی آبخوان کارستی ادواردز در منطقه جنوب بخش مرکزی تگزاس آمریکا دریافتند که وجود درزه‌ها و شکستگی‌های (Fractures) فراوان مربوط به زون گسله بالکنز (Balcones fault zone) باعث آبدهی بالای این آبخوان کارستی شده است.

در اکثریت آبخوان‌های کارستی جریان آب زیرزمینی در بین صفحه‌های لایه‌بندی (Bedding plans) و درزه و شکافها (Fractures) رخ می‌دهد که این موضوع در کارست‌های توسعه یافته از اهمیت بیشتری برخوردار است (Larson and Mylroie 2018).

با توجه به مطالعات میلانوویچ (Milanovic 1981) 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 توسعه کارست مؤثر بوده، به عنوان مثال درزه و شکافهایی که به صورت یک شبکه گسترش می‌یابند در شکل‌گیری اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی نقش مهمی دارند. در واقع این درزه‌ها باعث تمرکز جریان آب زیرزمینی می‌شوند، بنابراین اولین قدم در شناخت منابع آب کارست، شناخت رابطه کارستی شدن و سیستم ساختاری یک منطقه می‌باشد.

طبق مطالعات گانی (Gunay 2010)، فروچاله‌ها یکی از مهم‌ترین اشکال مورفولوژی در نواحی کارستی هستند، شکل و محل تشکیل این اشکال در بیش‌تر موارد به وسیله 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 تکتونیکی منطقه می‌باشد، همچنین فروچاله‌ها تأثیر بسزایی بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی دارد زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آهک آغاز می‌گردد.

گلدشیدر (Goldsheider 2015) با مطالعه بر روی چشمه کارستی ساکارباباسی در کشور ترکیه دریافت که عامل تکتونیک نقش اساسی را در نفوذ آب‌های جوی، توسعه کارست و تشکیل چشمه کارستی ایفا می‌کند، همچنین با استفاده از ابزارهای هیدروژئولوژی، داده‌های شیمیایی و ایزوتوپی ارتباط هیدروژئولوژیکی بین مناطق تغذیه و تخلیه چشمه را تعیین نمود.

گودمانسون (Gudmundsson 2000) با مطالعه بر روی روابط گسل‌ها با آبدهی چشمه‌ها دریافت که هنگامی که روند زون گسله و رودخانه در یک جهت باشند، در بالادست آب از طریق گسل نفوذ کرده و در پایین دست آن را تخلیه می‌کند. نتیجه این است که دبی چشمه‌ها در بالادست کاهش می‌یابد، اما در پایین دست شاهد افزایش دبی چشمه‌ها خواهیم بود.

زبیدی و فریتاس (Zabidi and Freitas 2006) با مطالعه بر روی آبخوان‌های کارستی ونترستادن (Winterstaude) اتریش دریافتند که ناودیس‌های پلانژدار، اصلی‌ترین مجاری انتقال آب زیرزمینی را ایجاد کرده‌اند. زمانی که سطح اساس آبخوان کارستی بالاتر از سطح اساس سنگ کف باشد، جریان آب زیرزمینی از شیب لایه‌ها به سمت خط‌القعر ناودیس بوده و تاقدیس‌ها به عنوان مرز محلی تقسیم آب عمل می‌نمایند، همچنین شکستگی‌های متعدد و مرتبط در مناطق کارستی باعث هجوم آب و زهکشی می‌شود.

بنس و همکاران (Bense *et al.* 2013) با مطالعه بر روی سایت آزمایشی بریتنی واقع در شمال غربی فرانسه دریافتند که در مجاورت سایت مجموعه‌ای از گسل‌های طبیعی با روند شمالی - جنوبی قرار دارند که به موازات زون گسله حوضچه‌های کششی تشکیل شده است، گسل‌ها می‌توانند مسیرهای جریان را در اعماق مختلف تحت تأثیر قرار دهند و ساختارهای رسانا را برای جریان آب‌های زیرزمینی تشکیل دهند، در طی اولین عملیات حفاری، یک حلقه چاه بازدهی بالایی را نشان داد که اساساً مربوط به یک گسل نفوذ پذیر است که در عمق ۱۱۰ متری شناسایی شده است.

در این مطالعه، تأثیر مناطق شکست بر جریان آب زیر سطحی با استفاده از تکنیک‌های ژئوفیزیک از جمله لرزه‌خیزی، ژئوالکتریک و داده‌های جاذبه در آبخوان نوبیا در کشور مصر بررسی شده است. این داده‌ها برای کشف وضعیت ساختاری در جنوب غربی دریاچه ناصر و ناپیوستگی‌های سطح زیرین (شکستگی‌ها و گسل‌ها)

استفاده شده است. بررسی‌های لرزه‌خیزی نشان می‌دهد شکستگی‌های متصل به هم باعث ایجاد مسیرهای اصلی شارژ آبخوان نوبیا از آبهای سطحی دریاچه ناصر می‌باشد (Khamis Mansur *et al.* 2018).

هنریکسن و برادن (Henriksen and Braathen 2006) به منظور بررسی روابط احتمالی بین معماری خطی و تنش سنگی درجا با جریان آب زیرزمینی، یک مطالعه موردی در غرب نروژ انجام دادند. بازدید صحرایی با اندازه‌گیری تنش درجا و گمانه‌های آزمایشی در سایت‌های انتخاب شده اطلاعات ارزشمندی را در مورد توزیع و جهت شکستگی‌ها در اعماق اضافه کرد. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی تنش‌های اصلی و سیستم‌های شکستگی مشخص شد که در مناطق گسله و با شکستگی فراوان جریان آب زیرزمینی به طور عمده در امتداد شکستگی‌های موازی با بزرگترین تنش اصلی اتفاق می‌افتد.

۲-۲- جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی

نجفی و همکاران (Najafi *et al.* 2020) با بررسی تاثیر واحدهای سنگ‌چینه‌شناسی مختلف بر توسعه کارست و تغییرپذیری آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه دریافتند که سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه و توده‌ای درجه توسعه کارست بیشتر و عوارض کارستی مشهودتری دارند، ولی وجود میان‌لایه‌های شیلی و مارنی می‌تواند مانع جریان آب زیرزمینی در کارست شود و در نتیجه، شدت توسعه کارست کاهش یابد. آبخوان تغذیه‌کننده چشمه کارستی روانسر از آهک‌های توده‌ای و ضخیم‌لایه سازند بیستون تشکیل شده است و میانگین آبدهی سالانه این چشمه ۱۹۳۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد، در حالی که آبدهی چشمه کارستی دربند صحنه به دلیل وجود مارن ۴۶۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

شاستر و وایت (Shuster and White 1971) سیستم کلی جریان آب در سفره‌های کارستی کربناته را به دو نوع جریان افشان (Diffuse flow) و جریان مجرای (Conduit flow) تقسیم‌بندی نمودند. در سیستم‌های با جریان افشان آب به صورت خطی از میان شکستگی‌های کوچک حرکت می‌کند، در این نوع جریان خروجی چشمه‌ها متعدد، پراکنده و با آبدهی کم می‌باشند. هدایت هیدرولیکی این جریان‌ها یکنواخت می‌باشد، همچنین تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندک می‌باشد. تغذیه سیستم به طور مستقیم از طریق

درزه‌ها و شکاف‌های کوچک موجود در سنگ‌های کربناته و توده‌های خاک روی آنها صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل در این جریان‌ها کمتر از ۵ درصد می‌باشد. در حوضه آبگیر این چشمه‌ها هیچ نوع پدیده ژئومورفولوژیکی کارستی از قبیل غار و فروچاله مشاهده نمی‌شود. در حالی که در سیستم‌های با جریان مجرای آب از درون مجاری و کانال‌های بزرگتر و به صورت متلاطم حرکت می‌کند و معمولاً به صورت یک چشمه بزرگ تخلیه می‌شوند. هدایت هیدرولیکی این نوع جریان یکنواخت نمی‌باشد. تغذیه این جریان‌ها از طریق فروچاله‌ها و درزه‌های بزرگ موجود در سنگ‌های فاقد پوشش خاک و گیاه صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل برای جریان‌های مجرای در محدوده‌ی ۲۴-۱۰ درصد متغیر است.

جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) به بررسی نوع جریان در چشمه‌های منطقه پنسیلوانیای آمریکا پرداختند. آن‌ها با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و محاسبه ضریب تغییرات آن‌ها جریان کلی در چشمه‌های منطقه را به دو دسته افشان و مجرای تقسیم‌بندی نمودند. به این ترتیب که ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در چشمه‌های مجرای در مقایسه با چشمه‌های افشان بزرگتر می‌باشد. به عقیده آن‌ها ضریب تغییرات دما بهترین شاخص برای تشخیص انواع جریان کارستی می‌باشد.

میلانویچ (Milanovich 1976) در مطالعه سفره کارستی امبلا (Ombla) در کشور یوگسلاوی منحنی فرود چشمه را تهیه نمود. این منحنی سه رژیم جریان را برای سفره کارستی نشان می‌دهد. ضرایب بده به ترتیب $\alpha_1 = 0.13$ ، $\alpha_2 = 0.0378$ و $\alpha_3 = 0.0058$ محاسبه شده است. در رژیم اول تخلیه مخزن از طریق مجاری بزرگ در حدود ۷ روز و رژیم دوم حدود ۱۳ روز طول کشیده است. ضریب α_1 خروج سریع آب از طریق کانال‌ها و غارها را نشان می‌دهد. ضریب α_2 نشان دهنده خروج آب از درزه‌ها و شکاف‌های بزرگ می‌باشد. ضریب α_3 خروج آب از ذخایری را نشان می‌دهد که بستگی به خصوصیات هیدروژئولوژیکی محلی دارند و بدون نظم در کل سفره کارستی پخش شده‌اند.

کرانجک و همکاران (Karanjac et al. 1980) چشمه‌های کارستی زیادی را در محل سد اویمپینار (Oymapinar) در ترکیه مطالعه نمودند. ضرایب منحنی فرود از ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ در قسمت ابتدایی و از ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ در قسمت انتهایی منحنی فرود تغییر کرده است. با توجه به منحنی فرود سیستم آب زیرزمینی

آبخوان کارستی را به سه گروه تقسیم‌بندی نموده‌اند. در قسمت ابتدایی که ضریب از $0/02$ تا $0/05$ تغییر می‌کند، جریان آب از طریق کانال‌های بزرگ کارستی، غارهای متصل به هم صورت می‌گیرد. بخشی از منحنی فرود که ضریب از $0/01$ تا $0/02$ تغییر می‌کند جریان آب زیرزمینی از درزه‌ها و شکاف‌های متصل به هم صورت می‌گیرد که نسبتاً سریع زهکشی می‌شوند. قسمتی از منحنی فرود که ضریب در حدود $0/01$ می‌باشد، جریان آب از شکاف‌های کوچک، خلل و فرج و درزه‌ها صورت می‌گیرد که نسبتاً آهسته زهکشی می‌شوند.

کرمی (۱۳۸۵) با مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه علی دامغان نتیجه گرفت که تغییرپذیری این خصوصیات در چشمه بسیار اندک است. او دلیل این مطلب را تاثیر وضعیت چینه‌شناسی آبخوان تامین کننده آب چشمه بر توسعه کارست ذکر کرده است. به این ترتیب که قرارگیری آهک‌های مارنی در پایین دست آبخوان (در مجاورت چشمه) و استعداد اندک آنها برای توسعه کارست موجب شده که از ایجاد مجاری بزرگ کارستی ممانعت شود.

فصل سوم

روش انجام کار

در این فصل، تمامی مراحل انجام مطالعات که در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه (چشمه‌های آهار ۱، ۲ و ۳) انجام گرفته است به تفصیل بیان می‌شود. به منظور نتیجه‌گیری مناسب از این تحقیق مراحل زیر انجام شده است:

- ۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه
- ۲- بازدیدهای مقدماتی به منظور ارزیابی ژئومورفولوژی کارست
- ۳- مطالعات ساختاری در محدوده حوضه آبخیز چشمه‌ها
- ۴- مطالعات فیزیکی، شیمیایی و هیدروژئولوژیکی بر روی چشمه‌ها
- ۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات مناسب

۳-۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی

برای تهیه نقشه زمین‌شناسی قابل استفاده در مطالعات میدانی منطقه مطالعاتی از نقشه زمین‌شناسی علی‌آباد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور) استفاده گردید. به منظور دقت بیشتر در بررسی واحدهای سنگی مختلف نقشه زمین‌شناسی منطقه با تصاویر لندست (Google Earth 2020) تطبیق داده شد. لایه‌های اطلاعاتی موجود در نقشه، واحدهای لیتولوژی و عناصر ساختاری موجود در نقشه در محیط ArcGIS 10.1 ترسیم شد.

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مراحل زیر انجام شده است:

- ۱- اسکن عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه
- ۲- زمین مرجع نمودن آن‌ها در محیط نرم افزارهای RSI ENV1 40 و ER Mapper 7.01 با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و در نهایت ساخت تصویری واحد از طریق موزائیک نمودن آن‌ها
- ۳- ایجاد لایه‌های مختلف اطلاعاتی مورد نیاز مانند لیتولوژی، چشمه‌ها، گسل‌ها و ...
- ۴- تکمیل نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

۳-۲- مطالعات ساختاری

به منظور فراهم آوردن مقدمات لازم برای انجام مطالعات ساختاری در منطقه مورد بررسی و پیش از آن که فعالیت‌های میدانی این مرحله آغاز شود. شناخت منطقه به لحاظ ساختاری از روی نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای انجام گرفته است. به این ترتیب در این بخش از کار گسل‌ها، شکستگی‌ها و تاقدیس منطقه شناسائی شدند. در ادامه این فرایند بازدیدهای مقدماتی از منطقه برای تکمیل نقشه زمین‌شناسی و هم‌زمان با آن تحلیل عناصر ساختاری موجود در منطقه مورد بررسی انجام گرفت. به این ترتیب دید لازم و کافی از آنچه که در صحرا بایستی انجام گردد به وجود آمد.

پارامترها و خصوصیات که در هر یک از ساختارها مورد بررسی قرار می‌گیرد می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

الف- پارامترهای مورد بررسی جهت تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌ها:

۱- امتداد و شیب سطح گسل ۲- زاویه ریک خطواره‌های روی سطح گسل ۳- سازوکار گسل

ب- پارامترهای مورد بررسی برای تحلیل چین‌ها:

۱- شیب و امتداد یال‌ها ۲- موقعیت محور چین ۳- تعیین سطح محوری چین ۴- تعیین زاویه بین یالی

ج- پارامترهای مورد بررسی در تحلیل درزه‌ها:

۱- تعداد درزه‌ها ۲- امتداد درزه‌ها

با توجه به آنکه شکستگی‌ها و گسل‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر چشمه‌ها می‌بایست به تمام حوضه تعمیم داده شود. بنابراین اندازه‌گیری‌ها به طور هم‌زمان به دو روش زیر انجام شده است:

۳-۲-۱- اندازه‌گیری‌های سیستماتیک

در این حالت بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم شده مسیر پیمایش به گونه‌ای مشخص شده است که عمود بر شکستگی‌های اصلی منطقه باشد.

برای انجام این بخش از مطالعه شکستگی‌ها، گسل‌ها و دیگر ویژگی‌های ساختاری - زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به شکل زیر عمل شده است:

الف - تعیین مسیرهای پیمایش

مسیرهای پیمایش پیش از عزیمت به منطقه مورد مطالعه و انجام مطالعات میدانی بر روی نقشه زمین‌شناسی و عکس هوایی تعیین شده است. این مسیرها می‌بایست ویژگی‌های زیر را داشته باشند:

۱- امتداد آنها عمود بر زون ساختاری از پیش تعیین شده باشد. به این ترتیب می‌توان تغییرات هندسه شکستگی‌ها را در مقطع عرضی ساختار اصلی مطالعه نمود.

۲- صعب العبور نباشد و در هنگام مطالعه بتوان با حداقل مشکلات در آن پیمایش نمود.

۳- تا حد ممکن قابل دسترس باشد و بتوان با استفاده از وسایل نقلیه و یا پیاده در یک زمان منطقی به محدوده مورد نظر رسید.

ب - مطالعات میدانی

پس از اتمام کار در مرحله بالا، اندازه‌گیری‌های صحرائی انجام شده است. در مسیرهای پیمایش ویژگی‌های ساختاری منطقه در غالب ایستگاه‌ها بررسی شده‌اند. این ایستگاه‌ها دارای مساحت تقریباً یکسان بوده و فاصله آنها از هم حدود ۵۰ متر در نظر گرفته شده است. همچنین موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه با استفاده از GPS تعیین و یادداشت شده است.

در هر ایستگاه برداشت، خصوصیات هندسی و زمین‌شناسی عوارض ساختاری اندازه‌گیری و یادداشت شده است. امتداد، شیب و جهت شیب عناصر ساختاری (شکستگی، گسل و چین) و سطوح لایه‌بندی به دقت برداشت و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقدار بازشدگی شکستگی‌ها، طول شکستگی و سنگ زمینه مطالعه شد.

۳-۲-۲- اندازه‌گیری‌های موردی

هم‌زمان با پیمایش‌های سیسماتیک، به صورت موردی شکستگی‌ها و دیگر عوارضی که مهم و تاثیر گذار به نظر می‌رسیدند اندازه‌گیری شده‌اند. تلاش برای تعیین مکانیسم فعالیت گسل‌ها، پیدا کردن آثار شاخص به

منظور تشخیص دقیق تر سازندهای موجود در حوضه و هر نوع پدیده زمین‌شناسی که در تحلیل داده‌ها اثر گذار به نظر می‌رسد، در این مرحله از فعالیت‌های میدانی انجام شده است.

۳-۳- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی

برای تشخیص نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان مورد مطالعه، مطالعات هیدروژئولوژیکی حوضه چشمه‌های آهار ۱، ۲ و ۳ انجام گرفت. بخشی از این مطالعات در صحرا و محل چشمه‌ها و بخشی دیگر در آزمایشگاه انجام شده است. همچنین این بخش از مطالعات به شکل موازی با دیگر فعالیت‌ها صورت پذیرفته که شامل مراحل زیر هستند:

۳-۳-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از آب چشمه‌ها فرایندی بسیار اساسی بوده و به منظور دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد بایستی به شکل صحیح انجام شود. در نمونه برداری از آب چشمه‌ها رعایت برخی نکات در جمع آوری درست داده‌ها ضروری می‌باشد. مواردی مانند ظرف نمونه، محل نمونه برداری، بازه زمانی صرف شده میان برداشت نمونه‌ها و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق هر یک، نحوه برداشت و نمونه برداری تکراری برای کنترل عملکرد آزمایشگاه همه در رسیدن به این هدف تاثیرگذار هستند. به این منظور از بطری‌های پلاستیکی مخصوص این کار با حجم ۲۵۰ میلی لیتر استفاده شده است.

هنگام هر نمونه برداری، ظرف پلاستیکی و در پوش آن سه مرتبه با آب چشمه شستشوی داده شده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی پر می‌شود تا هیچگونه حبابی در آن ایجاد نشود و اطراف محل برداشت گل آلود نگردد. علاوه بر این همواره سعی شده است تا نمونه‌ها در نزدیک ترین محل به خروجی چشمه برداشته شوند. بطری‌های مملو از آب چشمه‌ها به آزمایشگاه ارسال شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

۳-۳-۲- اندازه گیری آبدهی چشمه‌ها

برخی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان در صحرا انجام شده است. یکی از این موارد دبی چشمه‌ها می‌باشد. مقصود از آبدهی، حجمی از آب است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می‌کند. چنانچه سرعت متوسط جریان را V ، مساحت سطح مقطع عمود بر جریان را A و آبدهی چشمه را Q در نظر بگیریم آنگاه معادله (۳-۱) برقرار خواهد بود:

$$Q = A.V \quad \text{معادله ۳-۱}$$

در معادله (۳-۱) سرعت بر حسب متر بر ثانیه، دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه و سطح مقطع بر حسب متر مربع در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۳-۳- اندازه گیری هدایت الکتریکی

از آنجائیکه هدایت الکتریکی (EC) آب ارتباط مستقیم با مقدار مواد جامد محلول در آب دارد. اندازه گیری آن امری بسیار مهم می‌باشد. این ویژگی از آب چشمه‌ها نیز مانند مواردی که پیش تر بیان شد در صحرا اندازه گیری شده است. برای این منظور از دستگاه EC متر استفاده شده است.

۳-۳-۴- اندازه گیری اسیدیته

از دیگر خصوصیات آب چشمه‌ها که در محل اندازه گیری شده‌اند می‌توان به اسیدیته (pH) اشاره نمود. این ویژگی از آب‌ها به عواملی مانند دی‌اکسید کربن محلول در آب، میزان آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و دمای آب وابسته است. به این شکل که هر قدر بر مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب افزوده گردد، میزان pH کمتر می‌شود. از اسیدیته آب برای محاسبه مقدار ضریب اشباع شدگی آب نسبت به کلسیت، دولومیت و ژیپس استفاده می‌شود. این خصوصیت از آب توسط pH متر اندازه گیری می‌شود. شایان ذکر است که این دستگاه می‌بایست در بازه‌های زمانی تقریباً مشخص و قبل از اندازه‌گیری با کمک محلول‌های بافر ۴ و ۷ واسنجی شود.

۳-۳-۵- اندازه‌گیری دما

همان طور که پیش از این به آن اشاره شد دما یکی از پارامترهای مهم فیزیکی در مطالعه چشمه‌های کارستی و تعیین نوع جریان در آن‌ها است. بنابراین هم‌زمان با اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی چشمه‌ها، دمای آب چشمه‌ها نیز در محل چشمه اندازه‌گیری و ثبت شده است.

۳-۳-۶- اندازه‌گیری یون‌های اصلی

به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه‌ها به آزمایشگاه ارسال شده‌اند. در این آزمایشگاه کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم و آنیون‌های کلر، بی‌کربنات و سولفات اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج آزمایش‌های مذکور بر اساس میلی گرم در لیتر و میلی اکی والان در لیتر ارائه شده‌اند و با نتایج حاصله پارامترهایی از قبیل ضریب اشباع شدگی محاسبه شده است.

فصل چهارم

زمین‌شناسی ساختمانی

مهم‌ترین عاملی که بر زمین‌شناسی ساختمانی و تشکیل ساخت‌های منطقه و به ویژه ریخت‌شناسی منطقه مؤثر است گسل‌های منطقه هستند و در این بخش به معرفی و نحوه اثرگذاری آن‌ها بر واحدهای زمین‌شناسی منطقه پرداخته می‌شود. تحلیل عناصر ساختاری موجود در منطقه (چین خوردگی، گسلش، درزه‌ها و...) ابزار توانمندی برای دستیابی به الگوی دگرشکلی در هر ناحیه محسوب می‌گردد. در این فصل به بررسی ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه پرداخته شده تا دیدی کلی از ساختارهای تکتونیکی منطقه حاصل گردد. در این فصل ویژگی‌های گسل‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه از لحاظ ویژگی‌های هندسی شامل طول، روند کلی، مقدار شیب، جهت شیب، سازوکار و جهت لغزش (sense of slip) مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین درزه‌های موجود در واحدهای سنگی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند. درزه‌ها، شکستگی‌هایی طبیعی موجود در سنگ‌ها هستند که جابه‌جایی از خود نشان نمی‌دهند. با بررسی آماری این جهت‌گیری‌ها، می‌توان به صورت محلی به الگوی دگرشکلی منطقه پی برد.

۴-۱- معرفی واحدهای سنگی موجود در منطقه

الف- سازند دورود

سازند دورود در زون البرز شرقی قرار دارد و در منطقه مورد مطالعه به صورت ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند مبارک واقع گردیده است. لیتولوژی غالب این واحد شامل ماسه‌سنگ قرمز رنگ، آهک روشن و دولومیت می‌باشد. ضخامت تقریبی واحد مذکور در منطقه مورد مطالعه حدود ۶۰۰ متر می‌باشد. امتداد لایه‌بندی این واحد آزیموت ۱۶۰ درجه را نشان می‌دهد. همچنین شیب لایه‌بندی بین ۳۳ تا ۴۰ درجه و به طرف جنوب غربی می‌باشد.

ب- سازند الیکا

سازند الیکا دیگر واحد سنگی موجود در منطقه مطالعاتی می‌باشد که در فاصله ۵ کیلومتری روستای تاش به ضخامت ۲۹۵ متر معرفی گردید. این سازند عمدتاً از آهک‌های نازک لایه در بخش قاعده، آهک و آهک

دولومیتی در بخش بالایی تشکیل شده است. لایه‌بندی سازند الیکا روندی شرقی - غربی تا شمال شرقی - جنوب غربی دارند و شیبی در حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه به طرف جنوب و جنوب شرق را نشان می‌دهند. در منطقه مورد مطالعه مرز جنوبی سازند الیکا با سازند دورود و مرز شمالی این سازند با سازند شمشک به صورت گسله مشخص می‌باشد. همچنین درزه‌های کششی با روند شمال غربی - جنوب شرقی در سازند الیکا دیده می‌شوند که بر گسل‌های اصلی منطقه عمود می‌باشند. همچنین باز شدگی دهانه این درزه‌ها برای نفوذ آب و توسعه کارست در منطقه حائز اهمیت می‌باشد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

۴-۲- تحلیل ساختاری گسل‌های موجود در منطقه

گسل‌ها، شکستگی‌هایی هستند که در طول آن‌ها جابه‌جایی رخ داده است و وجود یک گسل در یک منطقه به این امر دلالت دارد که عاملی در منطقه حضور دارد (و یا حضور داشته است) که سبب حرکت و جابه‌جایی قطعات در کنار یکدیگر گردیده است.

روند توصیف ساختاری این گسل‌ها بدین صورت می‌باشد که ابتدا موقعیت جغرافیایی به همراه امتداد و شیب گسل (تحلیل هندسی) مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه سازوکار گسل و جهت جابه‌جایی آن بر مبنای داده‌های صحرایی تعیین گردیده است. لازم به ذکر است برای تشخیص گسل عواملی نظیر چینه‌شناسی و مورفولوژی در اولویت هستند. در این فصل به دنبال شناسایی گسل‌ها هستیم و کاری به منشأ آن‌ها نداریم.

۴-۲-۱- گسل‌های اصلی منطقه

این گسل‌ها شامل گسل‌های F1 و F2 با روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند و منطقه مورد مطالعه (سازند الیکا) را از سازندهای دورود و شمشک جدا نموده‌اند. همچنین رخنمون تقریبی گسل‌های F1 و F2 به ترتیب ۲/۴ و ۴ کیلومتر می‌باشد.

۴-۲-۱-۱- گسل F1

این گسل در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه و در راستای رودخانه آهار با رخنمونی به اندازه ۲/۴ کیلومتر قرار دارد. سازند الیکا با امتداد 085° و شیب $43^{\circ}SE$ در بلوک فرادیواره و سازند دورود با امتداد 160° و شیب $37^{\circ}NW$ در بلوک فرادیواره قرار دارند (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- تصویر ماهواره‌ای لندست از گسل F1

رخنمون گسل به صورت پرتگاه‌ها و ارتفاعاتی کوچک (۳ تا ۴ متر) مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲) که از این پرتگاه‌ها به عنوان سطح گسل استفاده شده است (شکل ۴-۳). برداشت‌های صورت گرفته از سطح گسل F1 به روش شیبی (1) و امتدادی (2) شیب و امتداد این گسل را چنین نشان می‌دهند:

1) 88° , 155°

2) N 065° E, 88° SE



شکل ۴-۲- نمایی از گسل F1 (دید به طرف جنوب)

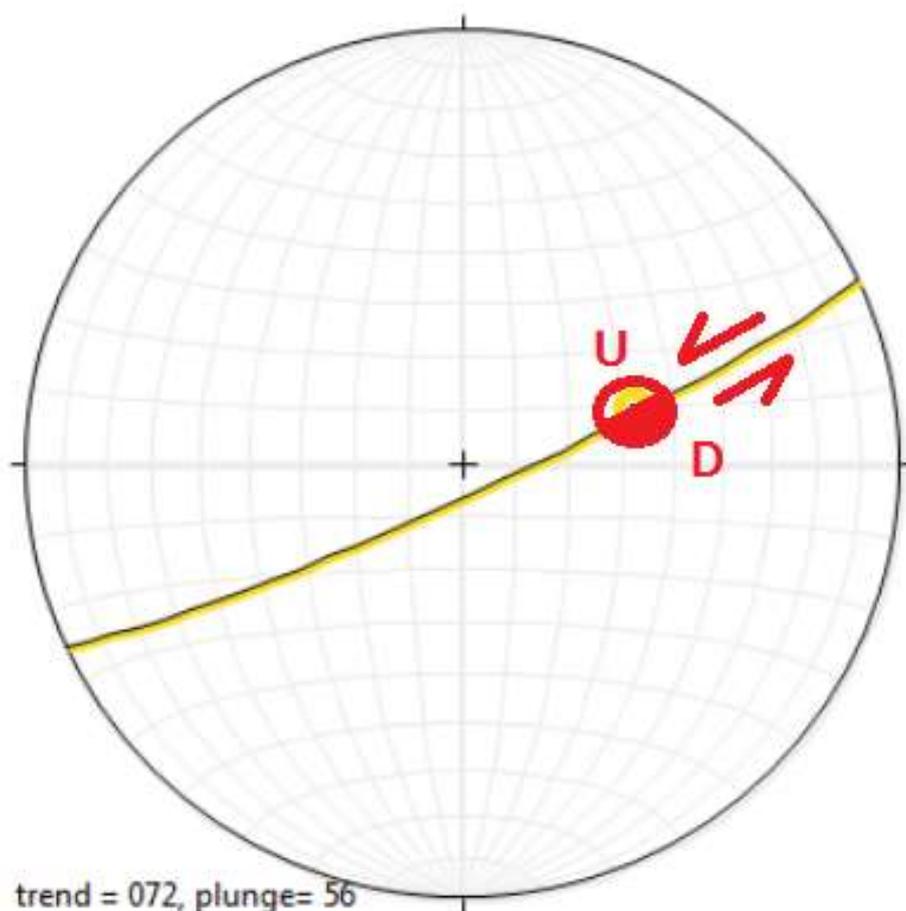


شکل ۴-۳- رخنمونی از سطح گسل F1، شامل خشلغزها و پلکان‌های لغزشی

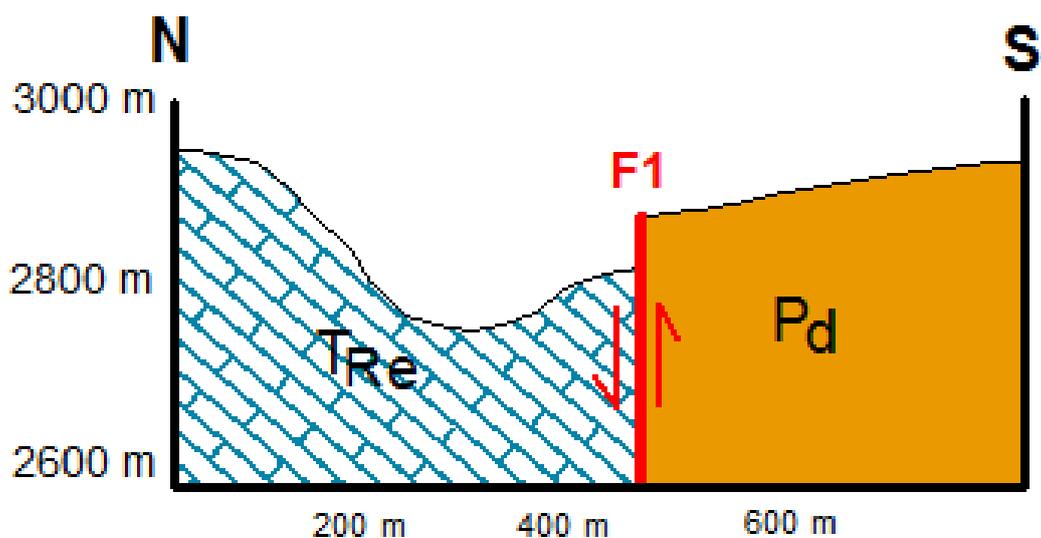
با توجه به خصوصیات هندسی (جدول ۴-۱)، تصویر استریوگرام (شکل ۴-۴) و شواهد موجود در سطح گسل (پلکان‌های لغزشی) می‌توان نتیجه گرفت که بلوک سازند الیکا در اثر گسلش پایین افتاده و بلوک سازند دورود برافراشته شده است، اما در مورد مؤلفه امتدادی این گسل خش‌لغزهای موجود در سطح گسل با زاویه ریک ۵۶ درجه مؤلفه چپ‌بر را نشان می‌دهد. در نتیجه گسل F1 از نوع چپ‌بر با مؤلفه قائم می‌باشد.

جدول ۴-۱- خصوصیات هندسی گسل F1

نوع گسل	امتداد گسل	شیب، جهت شیب	آزیموت خشلغز	پلانژ خشلغز
چپ‌بر با مؤلفه قائم	065°	88°, 155°	072°	56°



شکل ۴-۴- تصویر استریوگرام گسل F1 شامل سطح گسله و خشلغز روی آن



شکل ۴-۵- مقطع عرضی از گسل F1 (سازند دورود، Pd سازند الیکا، Tre سازند الیکا)

۴-۲-۱-۲-۴ گسل F2

این گسل در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، رخنمون گسل به اندازه ۴ کیلومتر در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این گسل مرز بین سازند الیکا و سازند شمشک می‌باشد (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶- نمایی از گسل F2 (دید به سمت شمال)



شکل ۴-۷- تصویر ماهواره‌ای لندست از گسل F2

رخنمون سطح گسل به صورت یک خطواره گسلی و دیواری با ارتفاع حدود ۲ تا ۳ متر با روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد. برداشت‌های صورت گرفته از سطح گسل به روش شیبی (1) و امتدادی (2) شیب و امتداد این گسل را چنین نشان می‌دهند:

1) $87^\circ, 164^\circ$

2) N 074° E, 87° SE

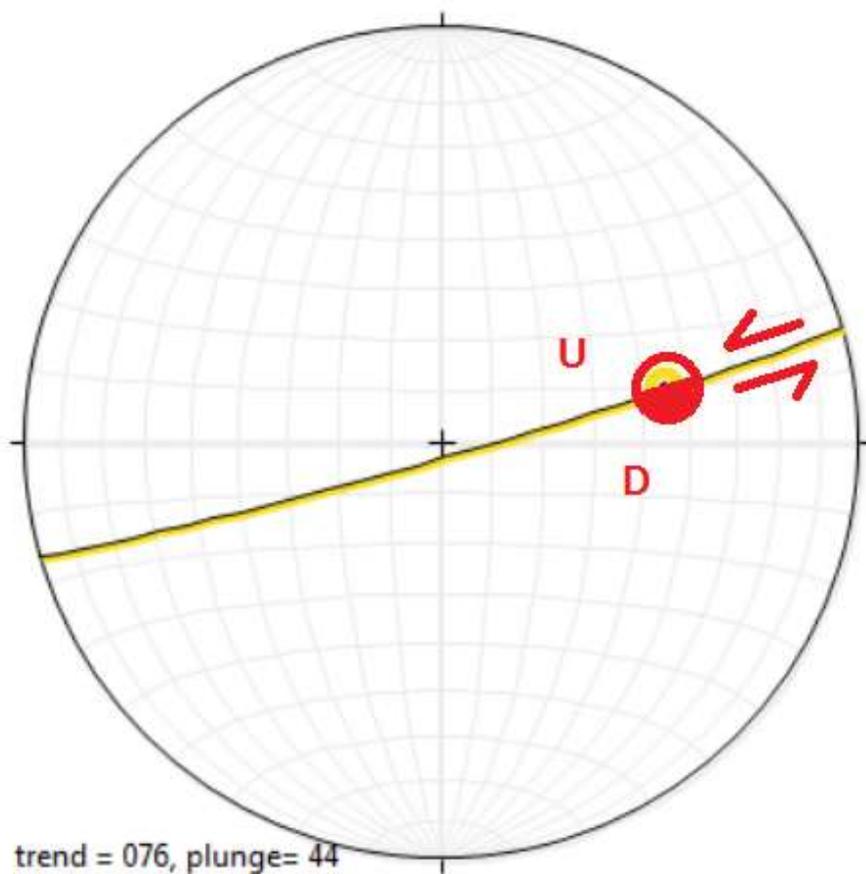
پلکان‌های لغزشی نشان دهنده حرکت بلوک سازند الیکا به طرف پایین و سازند شمشک به طرف بالا می‌باشند. مؤلفه شیبی، گسل قائم را نشان می‌دهد و مؤلفه امتدادی با وجود خش‌لغزهای سطح گسل با زاویه ریک ۴۴ درجه حرکت چپ‌بر را نشان می‌دهد و باعث حرکت بلوک سازند الیکا به طرف شرق و سازند شمشک به طرف غرب شده است. مشاهدات انجام شده از سطح گسل (پلکان‌های لغزشی و خش‌لغزها) (شکل ۴-۸)، خصوصیات هندسی (جدول ۴-۲) و تصویر استریوگرام (شکل ۴-۹) ثابت می‌کند گسل F2 چپ‌بر با مؤلفه قائم می‌باشد.



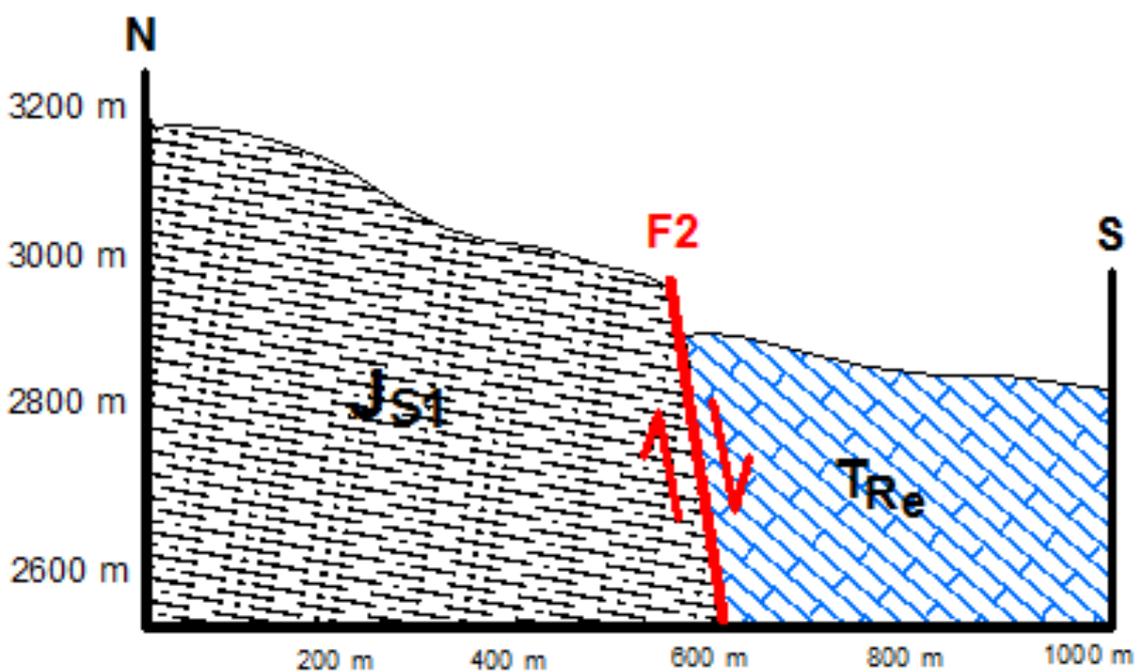
شکل ۴-۸- رخنمونی از سطح گسل F2، شامل خشلغزها و پلکان‌های لغزشی (دید به طرف شمال)

جدول ۴-۲- خصوصیات هندسی گسل F2

پلانژ خشلغز	آزیموت خشلغز	شیب، جهت شیب	امتداد گسل	نوع گسل
44°	076°	87°, 164°	074°	چپ‌بر با مؤلفه قائم



شکل ۴-۹- تصویر استریوگرام گسل F2 شامل سطح گسله و خشلغز روی آن



شکل ۴-۱۰- مقطع عرضی از گسل F2 (Sazand Aika، Js1 سازند شمشک)

۴-۳- زون گسله

زون گسله (Fault zone) به یک منطقه گسلی با چند گسل مشابه از نظر روند و سازوکار گفته می‌شود. در منطقه مورد مطالعه گسل‌های اصلی از نظر روند موازی هستند، همچنین سازوکار مشابه دارند و هر دو گسل چپ‌بر با مؤلفه قائم می‌باشند. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه مناطق اطراف مشاهده می‌شود که چند گسل دیگر با روند مشابه شمال شرقی - جنوب غربی در منطقه قرار دارند. پس با توجه به تشابه روند، خصوصیات هندسی و سازوکار گسل‌های اصلی منطقه و همچنین گسل‌های دورتر در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد می‌توان به یک زون گسله با روند شمال شرقی - جنوب غربی پی برد (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱- تصویر لندست از زون گسله منطقه مطالعاتی

در شکل (۴-۱۱) گسل‌های F1 و F2 مشخص می‌باشند. همچنین نحوه حرکت بلوک‌های فرود پیواره و فرادیواره دیده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل بالا مشخص است دو گسل دیگر در سازندهای دورود و شمشک با روند شمال شرقی - جنوب غربی قرار دارند. پروفیل عرضی منطقه، عمود بر گسل‌های اصلی در شکل (۴-۱۲) ملاحظه می‌شود.



شکل ۴-۱۲- پروفیل عرضی رودخانه آهار با روند شمال غربی - جنوب شرقی

۴-۴- شکستگی‌ها

واژه شکستگی یک اصطلاح کلی است که همه سطوح انفصال ثانویه ایجاد شده در سنگ‌ها را در بر می‌گیرد و از اصطلاح لاتین Fractus به معنی شکسته شده (Broken) اقتباس است (Twiss & Moors 1992). شکستگی‌ها از نظر اندازه، تغییرات وسیعی دارند و از خطواره‌های بسیار بزرگ با طول صدها کیلومتر تا درزه‌های بسیار کوچک به طول یک میلی‌متر، تغییر می‌کنند. بررسی ماهیت این شکستگی‌ها و ارتباط آن‌ها به تنش‌های ایجاد کننده، به منظور درک فعالیت‌های زمین‌ساختی گذشته و حال اهمیت دارد، همچنین شکستگی‌ها در توسعه پدیده کارست تاثیر بسیار زیادی دارند. منشا شکستگی‌ها می‌تواند زمین‌ساختی و یا غیر زمین‌ساختی (هوازگی، انقباض و ...) باشد. شکستگی‌های زمین‌ساختی در اثر تنش به وجود می‌آیند که روند کلی این دسته شکستگی تابع جهت تنش‌های زمین‌ساختی می‌باشد، این شکستگی‌ها را می‌توان به شکستگی‌های برشی (Shear Fracturs)، کششی (درزه‌ها، شکاف‌ها و رگه‌ها) و فشارشی تفکیک کرد.



شکل ۴-۱۳- تصویر ماهواره‌ای لندست از منطقه مورد مطالعه و شکستگی‌های موجود در آن

۴-۴-۱- ارتباط شکستگی‌ها با پدیده‌های ساختمانی

اصولا شکستگی‌ها با ساختارهای دیگر ایجاد می‌شوند، لذا مطالعه شکستگی‌ها می‌تواند اطلاعات با ارزشی در مورد ساختارهای مرتبط ارائه دهند. براساس روند گسترش، مورفولوژی و رژیم زمین‌ساختی می‌توان شکستگی‌ها را به دو دسته زیر تقسیم کرد.

۱- شکستگی‌های وابسته به چین‌خوردگی

۲- شکستگی‌های وابسته به گسلش

۴-۴-۱-۱- شکستگی‌های وابسته به چین‌خوردگی

شکستگی‌های ایجاد شده در طی فرایند چین‌خوردگی که در آغاز و یا اواسط دگرشکلی تشکیل و تا آخرین مرحله با دگرشکلی همراه هستند به سه دسته تقسیم می‌شوند (Hancock 1988).

۱- شکستگی‌های مزدوج (Conjugate) یا مایل که با جهت حداکثر کوتاه شدگی زاویه کمتر از ۴۵ درجه می‌سازند و معمولاً به صورت دو دسته شکستگی مزدوج تشکیل می‌شوند و به صورت قرینه نسبت به محور چین‌خوردگی قرار می‌گیرند.

۲- شکستگی‌های طولی (Longitudinal) که روند آن‌ها به موازات محور چین می‌باشد.

۳- شکستگی‌های عرضی (Transverse) به شکستگی‌هایی گفته می‌شود که روند آن‌ها عمود بر محور چین می‌باشد. این نوع شکستگی‌ها را می‌توان به عنوان شکستگی‌های کششی در نظر گرفت، زیرا هنگامی که طبقات در امتداد عمود بر محور چین تحت فشار قرار گرفته و چین‌ها را به وجود می‌آورند، در امتداد محور چین تحت کشش واقع می‌شوند (Ramsay *et al.* 1983).



شکل ۴-۱۴- شکستگی عرضی در سازند الیکا (دید به طرف شمال غرب)

در شکل (۴-۱۴) شکستگی کششی با بازشدگی به اندازه ۲۰ سانتی متر مشاهده می‌شود. امتداد این شکستگی آزمون ۳۲۸ درجه را نشان می‌دهد و بر گسل اصلی عمود می‌باشد. این شکستگی در سازند الیکا مشاهده می‌شود. ۵ درزه با روند مشابه (شمال غرب - جنوب شرق) و بازشدگی تقریباً یکسان در این سازند دیده می‌شوند که مسیر مناسبی برای نفوذ آب و تغذیه آبخوان کارستی می‌باشند.

۴-۱-۲- شکستگی‌های وابسته به گسلش

بعضی از شکستگی‌ها می‌توانند ناشی از فعالیت گسل‌ها باشند و در مناطق گسلی (Fault Zone) بر روی واحدهای سنگی قابل مشاهده هستند. تعدادی از این شکستگی‌ها بدون حرکت باقی مانده و برخی دیگر ممکن است به تبع فعالیت در منطقه گسل جابه‌جایی‌های نه چندان بزرگ را متحمل شوند و گسل‌های کوچک و فرعی نسبت به گسل اصلی بسازند. میدان‌های تنش مسبب گسلش اصلی، می‌توانند عامل ایجاد کننده شکستگی‌های مرتبط با گسل‌ها نیز باشند.

انواع شکستگی‌های مرتبط با گسل:

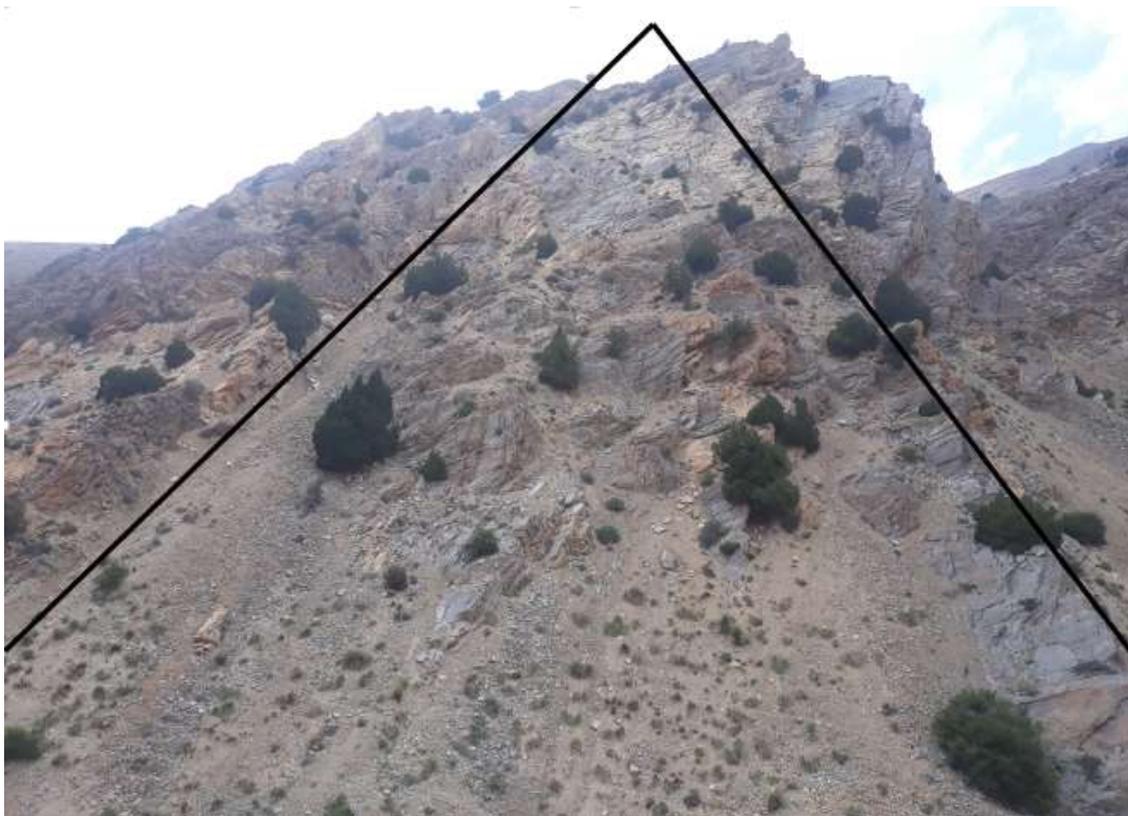
۱- شکستگی برشی: سطح شکستگی با سطح گسل موازی می‌باشد.

۲- شکستگی‌های برشی مزدوج (برش ریدل): زمانی که دو دسته شکستگی با زاویه تقریبی ۶۰ درجه ایجاد می‌شوند.

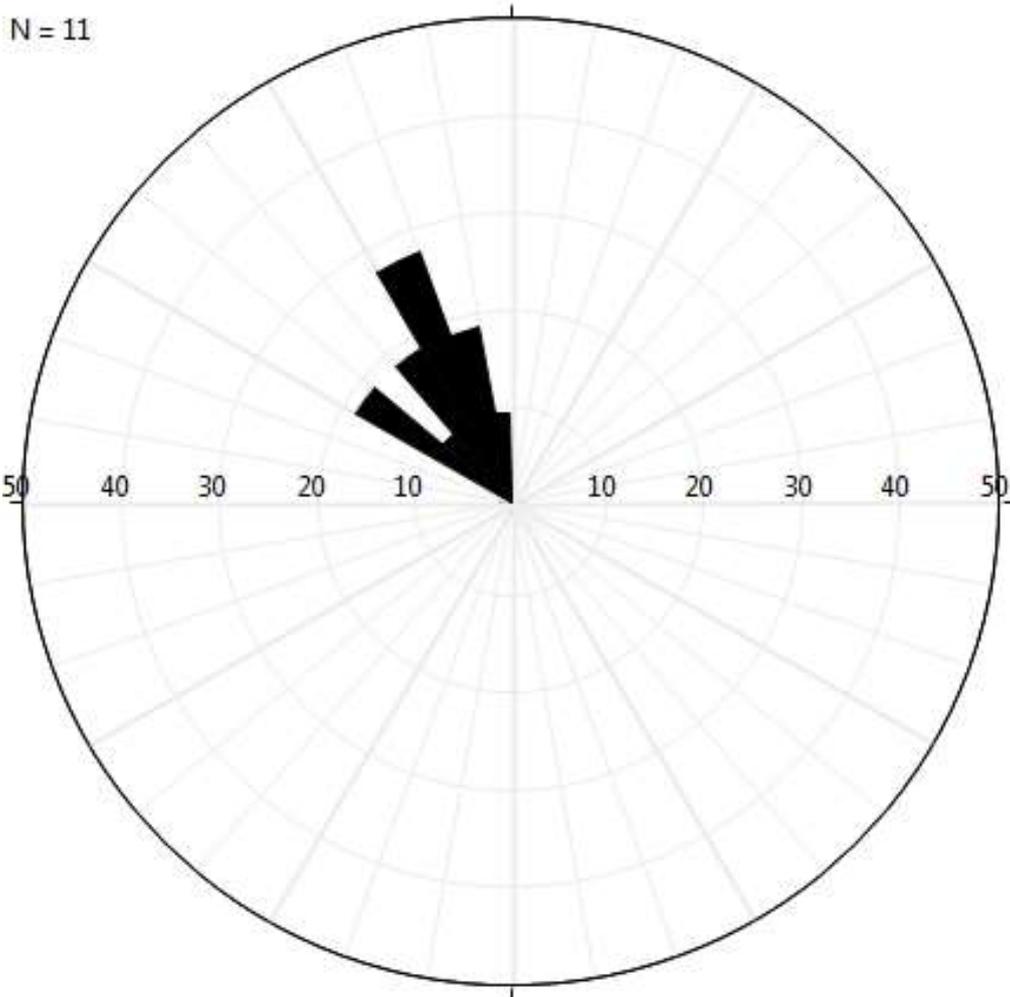
۳- شکستگی‌های کششی (T): این دسته از شکستگی‌ها به صورت نیمساز زاویه حاده شکستگی‌های مزدوج عمل می‌کنند.

روند کلی شکستگی‌های موجود در منطقه شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد و با گسل‌های اصلی منطقه زاویه تقریبی ۹۰ درجه دارند. شکستگی‌های موجود در سازند الیکا در اثر تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل (61 و 62)، گسل‌های اصلی منطقه و همچنین در اثر فشارهای وارده به لایه بندی که باعث ایجاد چین و کشش در راستای محور چین می‌شود به وجود آمده‌اند.

شکستگی‌های عرضی با بازشدگی که دارند باعث نفوذ بیشتر آب‌های جوی به لایه‌های آهکی سازند الیکا می‌شوند، در نتیجه باعث انحلال ثانویه و توسعه کارست شده و باعث ایجاد کانال‌های انتقال آب زیرزمینی به طرف چشمه‌های موجود در رودخانه آهار می‌شوند.



شکل ۴-۱۵- شکستگی‌های برشی مزدوج در سازند الیکا (دید به طرف شمال غرب)



Rose diagram
 Planes data set (petals parallel strike direction): Untitled Planes
 Max value = 27.27273% between 331 degr and 340 degr
 Mean Vec = 329.2 degr

شکل ۴-۱۶- رزدياگرام امتدادی شکستگی‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

عناصر اصلی ساختاری موجود در این ناحیه شامل درزه‌ها، 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 مؤلفه 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 می‌نمایند. این منطقه به لحاظ تکتونیکی بسیار خرد شده بوده و متأثر از عملکرد مستقیم گسلش در منطقه می‌باشد.

با توجه به تنش وارده توسط دو گسل F1 و F2 سازند الیکا در مرز شمالی به طرف شرق و در مرز جنوبی به طرف غرب حرکت کرده است، در اثر این حرکات شکستگی‌های کششی با روند شمال غربی - جنوب شرقی ایجاد شده‌اند که به دلیل باز شدگی محل مناسبی برای نفوذ آب‌های جوی می‌باشند. در اثر نفوذ و حرکت آب به طرف رودخانه آهار و چشم‌های کارستی در درزه‌ها انحلال ثانویه رخ داده و باعث توسعه کارست می‌شود. همچنین تغذیه آبخوان کارستی توسط گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها اتفاق می‌افتد و جهت مسیرهای اصلی جریان آب زیرزمینی با عناصر ساختاری منطقه همسو می‌باشد.

فصل پنجم

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

چشمه‌های منطقه

۵-۱- تحلیل و ارزیابی توسعه کارست در منطقه

توسعه کارست به معنای متمرکز شدن توسعه فضاهای انحلالی در مناطق یا مسیرهای خاصی از سازندهای کارستی است. از مهم‌ترین شواهد توسعه‌یافتگی کارست می‌توان به عوارضی از قبیل کارن‌های عمیق، فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود، پلیه‌ها، پانرها، و دره‌های خشک اشاره کرد. وجود تعدادی از این عوارض مهم کارستی می‌تواند دلیل محکمی بر توسعه‌یافتگی کارست، در مناطقی که این عوارض کارستی وجود دارند، باشد.

۵-۱-۱- بررسی توسعه کارست با توجه به عوارض ژئومورفولوژیکی کارست

به منظور ارزیابی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه ابتدا با بررسی دقیق تصاویر ماهواره‌ای محدوده‌های با توسعه‌یافتگی مختلف مورد شناسایی قرار گرفتند. سپس با انجام بازدیدهای صحرایی مکرر نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای به طور دقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این فصل، خلاصه‌ای از وضعیت توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌شود.

الف- گودی‌های مسدود

گودی‌های مسدود (Closed depressions) یکی از شواهد مهم برای توسعه زیرسطحی کارست است و مشاهده آن، به ویژه به صورت متوالی در یک منطقه کارستی، بیانگر توسعه کارست و تشکیل مجاری بزرگ زیرسطحی است. در منطقه مورد مطالعه، هیچ شاهدهی مبنی بر وجود این عارضه مهم کارستی مشاهده نمی‌شود.

ب- پلیه کارستی

پلیه کارستی (Karstic polje) یکی دیگر از عوارض مهم کارستی است که وجود آن می‌تواند معرف مناطق کارستی با درجه بالای توسعه یافتگی باشد. پلیه کارستی، یک عارضه کارستی است که جهت یافتگی آن با محورهای تکتونیکی مطابقت داشته و در درون آن رسوبات کواترنری دیده می‌شود. علاوه بر این دارای شیب توپوگرافی بسیار کمی است و اغلب شامل سیستم پونر می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، هیچ پلیه کارستی اعم از کوچک یا بزرگ مشاهده نمی‌شود.

ج- فروچاله‌ها

فروچاله‌ها (Sinkholes) عوارض گودال مانندی هستند که به شکلهای متنوعی در مناطق کارستی ممکن است مشاهده شوند. این عارضه کارستی، همانند پلیه‌ها و گودی‌های مسدود، از ویژگی نواحی کارستی می‌باشد که دارای مجاری زیرسطحی قابل توجهی هستند. به ویژه در مواردی که فروچاله‌ها در یک خط ردیف شده باشند. در منطقه مورد مطالعه هیچ فروچاله کوچک یا بزرگی مشاهده نمی‌شود.

د- غارهای کارستی

غارهای کارستی (Karstic caves) به کانال‌های کارستی افقی تا نیمه افقی اطلاق می‌شود که کم و بیش در نواحی مختلف کارستی مشاهده می‌شوند. اگرچه غارهای بزرگ، به ویژه غارهایی که در مسیرهای تکتونیکی قرار گرفته‌اند و در یک راستا طول قابل ملاحظه‌ای دارند، می‌توانند بیانگر توسعه‌یافتگی کارست در منطقه باشند، اما غارهای کوچک و محدود در اکثریت مناطق کارستی حضور دارند و حضور آنها دلیلی بر توسعه‌یافتگی کارست نیست. در هر حال، در منطقه مورد مطالعه هیچ غار کوچک یا بزرگی مشاهده نمی‌شود.

ه- کارن

کارن‌ها (Karrens) شامل شیارهای انحلالی می‌شوند که تقریباً در تمامی مناطق کارستی (نواحی توسعه یافته و توسعه نیافته) مشاهده می‌شوند. لازم به ذکر است که ابعاد کارن‌های موجود در انواع مختلف کارست بسیار متفاوت هستند. به این ترتیب که در کارست‌های توسعه یافته دارای عرض و عمق قابل توجهی هستند و در کارست‌های توسعه نیافته به صورت شیارهای با عمق و بازشدگی اندک ظاهر می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه اکثریت سنگ‌های کربناته فاقد عوارض انحلالی هستند و یا اشکال اولیه کارن در آنها مشاهده می‌شود. شکل (۵-۱) تصویری از کارن‌های با بازشدگی و عمق کم (کارن‌های اولیه) را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- تصویری از سنگ‌های برهنه با کارن‌های اولیه

و- دره‌های خشک کارستی

دره‌های خشک کارستی (Karstic dry valleys) غالباً مسیرهای قدیمی انتقال آب در سنگهای کارستی هستند که در راستای آنها فرایند انحلال در مقایسه با فرسایش سطحی بیشتر بوده است. اشکال مختلف این عارضه کارستی در گستره‌های مختلف کارستی از جمله کارست‌های توسعه نیافته مشاهده می‌شوند. در مناطق کارستی توسعه نیافته، این عارضه به صورت دره‌هایی با دیواره‌های V شکل و با عمق نسبتاً کم مشاهده می‌شوند. برعکس، در کارست‌های با توسعه یافتگی متوسط به بالا، این دره‌ها با دیواره‌های U شکل مشاهده می‌شوند. علاوه بر این، در کارست‌های توسعه یافته تعداد دره‌های خشک نسبتاً زیاد بوده که معمولاً با یکدیگر همگرایی نشان می‌دهند. شکل (۵-۲) تصویری از یک دره خشک را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲- تصویری از یک دره خشک کارستی

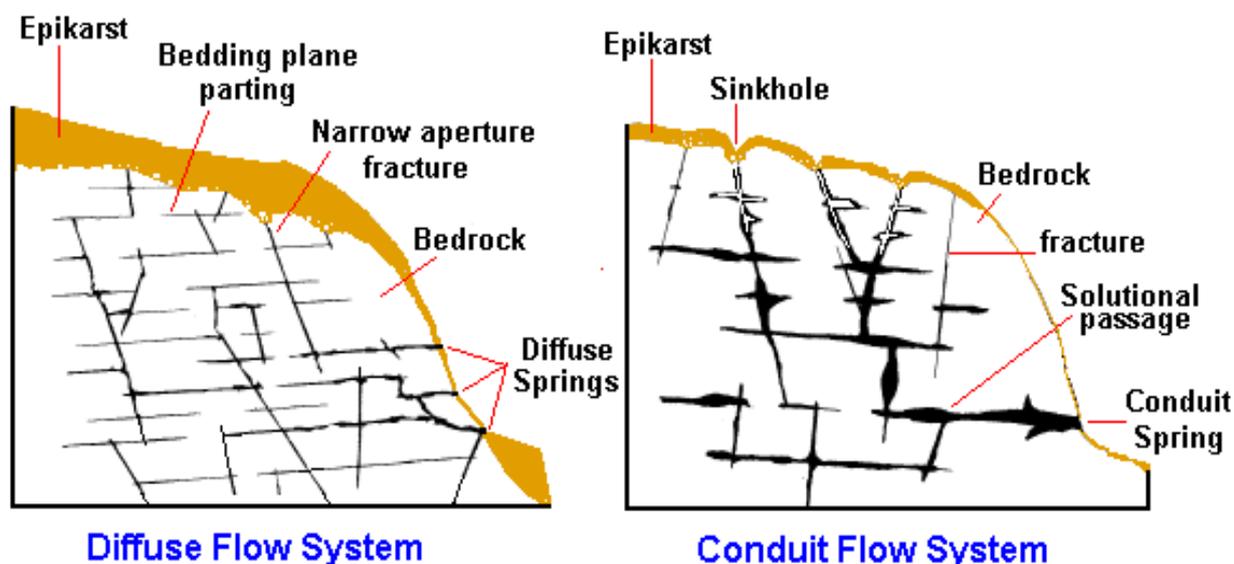
آبخوان کارستی مورد مطالعه در مقایسه با مناطق مجاور توسعه یافتگی جزئی را نشان می‌دهد. دلیل توسعه یافتگی جزئی این آبخوان، وجود مناطق نسبتاً فروافتاده در حوضه آبخیز این آبخوان است که در واقع مراحل اولیه تشکیل فروچاله‌ها و گودی‌های مسدود را شامل می‌شوند (شکل ۵-۳)



شکل ۵-۳- وجود نواحی فروافتاده متعدد در حوضه آبخیز آبخوان کارستی

۵-۲- بررسی توسعه کارست با توجه به شواهد هیدروژئولوژیکی

از مهم‌ترین مطالعات در آبخوان‌ها (به ویژه آبخوان‌های کربناته)، بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بررسی روند تغییرات آن‌ها می‌باشد. در چند دهه اخیر مطالعات بسیاری بر روی شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره‌های کارستی صورت گرفته است. در این مطالعات با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سفره‌های کارستی و همچنین تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌ها می‌توان نوع سیستم جریان غالب در آبخوان‌های کربناته و در نتیجه درجه تغییرپذیری آنها را مورد ارزیابی قرار داد. شاستر و وایت (Shuster and White 1971) سیستم کلی جریان آب در سفره‌های کارستی کربناته را به دو نوع جریان افشان (Diffuse flow) و جریان مجرای (Conduit flow) تقسیم‌بندی کرده‌اند (شکل ۵-۴).



شکل ۵-۴- سیستم‌های جریان کارستی

رئیزی و کرمی (Raeisi and Karami 1996) در بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب‌های نفوذی بر روی شیمی چشمه‌های کارستی به این نتیجه رسیدند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی توابع منحصر به فرد مسیر جریان نیستند بلکه فاکتورهای حاکم بر آن‌ها می‌تواند به فاکتورهای خارجی و داخلی تقسیم بندی شوند. فاکتورهای خارجی بر روی مرزهای سیستم آبخوان عمل می‌کند و شامل نوع نزولات (برف، باران)، شدت، توزیع زمانی و مکانی نزولات، تغذیه متمرکز، درصد و عمق پوشش خاک، لیتولوژی سازند اطراف آبخوان، کیفیت آب ورودی به سیستم آبخوان، پوشش گیاهی و مرفولوژی منطقه می‌باشد. در حالی که

فاکتورهای داخلی حاکم بر سیستم آبخوان شامل شکل، اندازه، ضخامت آبخوان، درصد توزیع فضاهای خالی (خلل و فرج، درز و شکاف و کانال)، لیتولوژی، اپی کارست و خصوصیات منطقه غیر اشباع می باشد. در سیستم های کارستی پیشرفته که دارای کانال های انحلالی بزرگ هستند، جریان عمدتاً به صورت مجرای است و نمودار هیدروشیمیایی چشمه های کارستی تحت تأثیر فاکتورهای داخلی و خارجی می باشد. در حالی که در سیستم های کارستی با جریان غالب افشان، نمودار هیدروشیمیایی عمدتاً توسط فاکتورهای داخلی کنترل می شود.

بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (به ویژه هدایت الکتریکی به عنوان نماینده غلظت کل عناصر محلول در آب) چشمه های کارستی موجود در منطقه مورد مطالعه بیانگر این است که تغییرات این خصوصیات بسیار ناچیز است. به این ترتیب که درصد تغییرات هدایت الکتریکی برای تمامی چشمه های موجود در منطقه کمتر از ۵ درصد می باشد. این مطلب شاهی مهمی بر غالب بودن جریان افشان در منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این، منحنی فرود چشمه ها بیانگر این است که تمامی چشمه های منطقه دارای یک ضریب بده با شیب کم هستند و این مسئله افشان بودن سیستم غالب جریان در آبخوان های تامین کننده جریان چشمه های منطقه را تأیید می کند. تخلیه آب های زیرزمینی از طریق تعدادی چشمه کوچک دلیل دیگری بر غالب بودن جریان افشان در منطقه مورد مطالعه است.

با توجه به مطالب مذکور و هم خوانی تمامی شواهد در خصوص سیستم غالب جریان، می توان با قطعیت بیان کرد که سیستم غالب جریان در آبخوان های کارستی منطقه از نوع افشان است. بنابراین، بر اساس شواهد ژئومورفولوژیکی و هیدروژئولوژیکی می توان نتیجه گرفت که کارست های منطقه در گروه کارست های توسعه نیافته قرار می گیرند.

۵-۳- هیدروگراف چشمه های مورد مطالعه

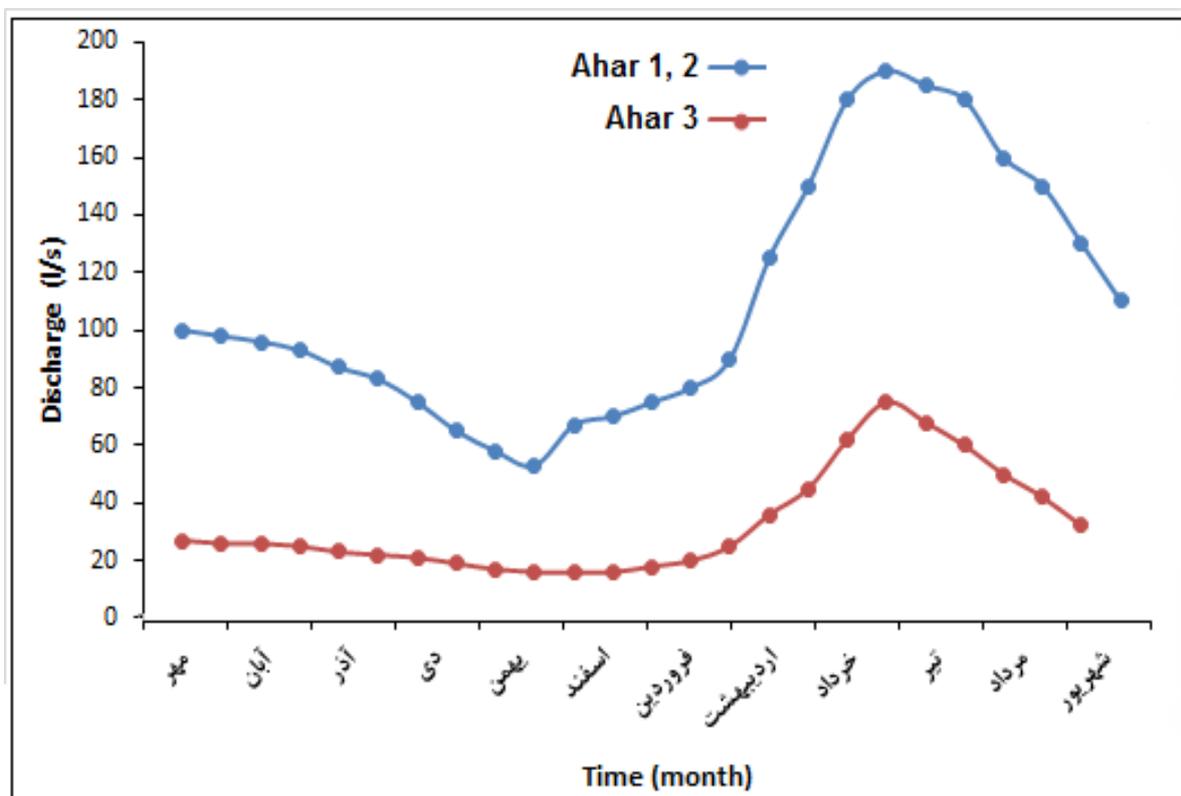
به منظور تهیه هیدروگراف منابع آبی منطقه، دبی خروجی از چشمه ها در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به صورت سری زمانی اندازه گیری شده است. اطلاعات مربوط در جدول (۵-۱) ارائه شده است.

جدول ۵-۱- دبی منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ بر حسب لیتر بر ثانیه

تاریخ اندازه‌گیری	نام منبع آبی	آهار ۱ و ۲	آهار ۳
۹۸/۷/۵	۱۰۰	۲۷	
۹۸/۷/۱۹	۹۸	۲۶	
۹۸/۷/۲۶	۹۶	۲۶	
۹۸/۸/۳	۹۳	۲۵	
۹۸/۸/۱۷	۸۷	۲۳	
۹۸/۸/۲۳	۸۳	۲۲	
۹۸/۹/۱۵	۷۵	۲۱	
۹۸/۱۰/۱۹	۶۵	۱۹	
۹۸/۱۱/۱۸	۵۸	۱۷	
۹۸/۱۲/۲۳	۵۳	۱۶	
۹۹/۰۱/۱۶	۶۷	۱۶	
۹۹/۰۱/۲۴	۷۰	۱۶	
۹۹/۰۱/۳۱	۷۵	۱۸	
۹۹/۰۲/۰۷	۸۰	۲۰	
۹۹/۰۲/۱۵	۹۰	۲۵	
۹۹/۰۲/۲۳	۱۲۵	۳۶	
۹۹/۰۲/۳۰	۱۵۰	۴۵	
۹۹/۰۳/۰۹	۱۸۰	۶۲	
۹۹/۰۳/۱۸	۱۹۰	۷۵	
۹۹/۰۴/۰۲	۱۸۵	۶۸	
۹۹/۰۴/۱۲	۱۸۰	۶۰	
۹۹/۰۴/۲۶	۱۶۰	۵۰	
۹۹/۰۵/۱۱	۱۵۰	۴۲	
۹۹/۰۶/۰۲	۱۳۰	۳۲	
۹۹/۰۶/۲۲	۱۱۰	۲۵	

همانطور که در جدول (۵-۱) ملاحظه می‌شود، آبدهی چشمه‌های آهار در شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸ تغییرات چندانی ندارد و تقریباً ثابت است، اما تغذیه در زمستان و اوایل بهار باعث بالا رفتن سطح آب در آبخوان

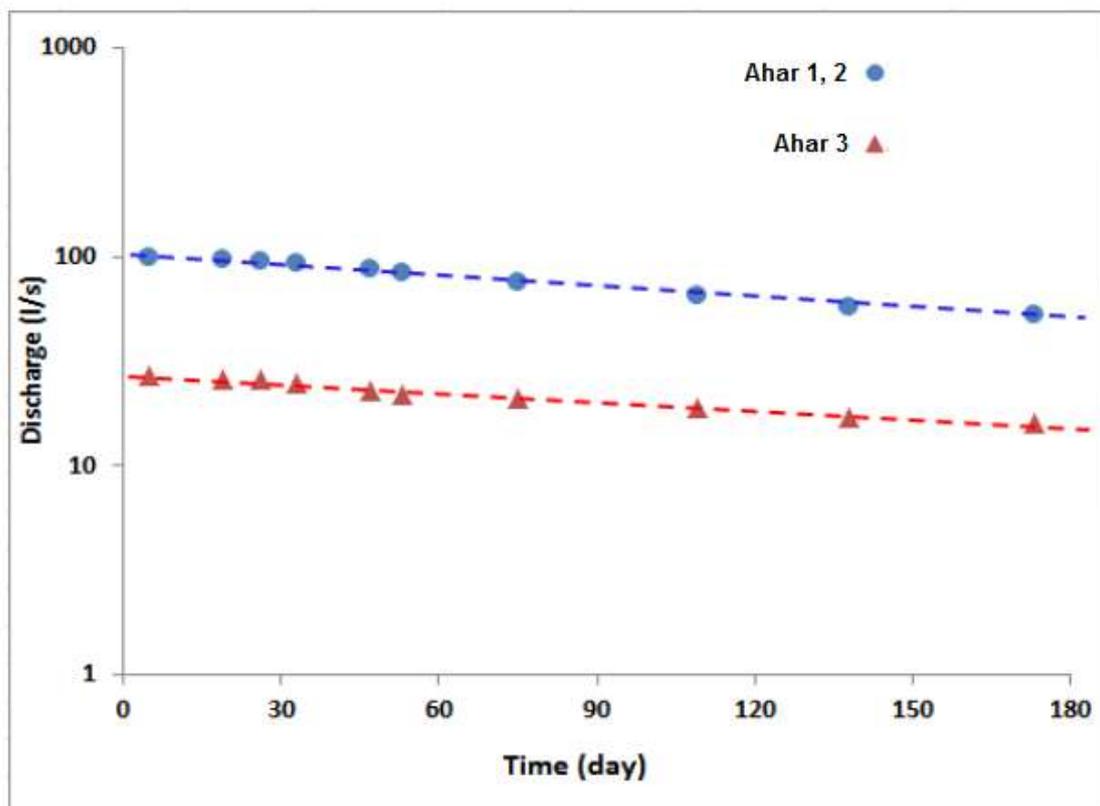
کارستی و افزایش نرخ تخلیه در فصل بهار سال ۱۳۹۹ می‌شود، آبدهی چشمه‌ها در اواسط خرداد به اوج خود می‌رسد و با اتمام ذوب برف در اوایل تیر ماه شاخه نزولی خود را آغاز می‌کند. در طول سال آبی ضریب تغییرات دبی زیاد نبوده و این مسئله بیانگر حرکت آب از آبخوان نسبتاً عمیق و با سیستم غالب افشان می‌باشد. با استفاده از اطلاعات جداول (۱-۵) هیدروگراف سال آبی مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ ترسیم و در شکل (۵-۵) نمایش داده می‌شود.



شکل ۵-۵- هیدروگراف‌های مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

با توجه به اطلاعات هیدروگراف‌های مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳، می‌توان منحنی فرود (Recession curve) این دو منبع آبی را ترسیم نمود.

منحنی فرود، شامل شاخه نزولی هیدروگراف است که بر روی نمودار نیمه لگاریتمی ترسیم می‌شود (دبی با مقیاس لگاریتمی بر روی محور عمودی و زمان بر روی محور افقی با مقیاس خطی). شکل (۶-۵) منحنی‌های فرود مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ را در شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد.



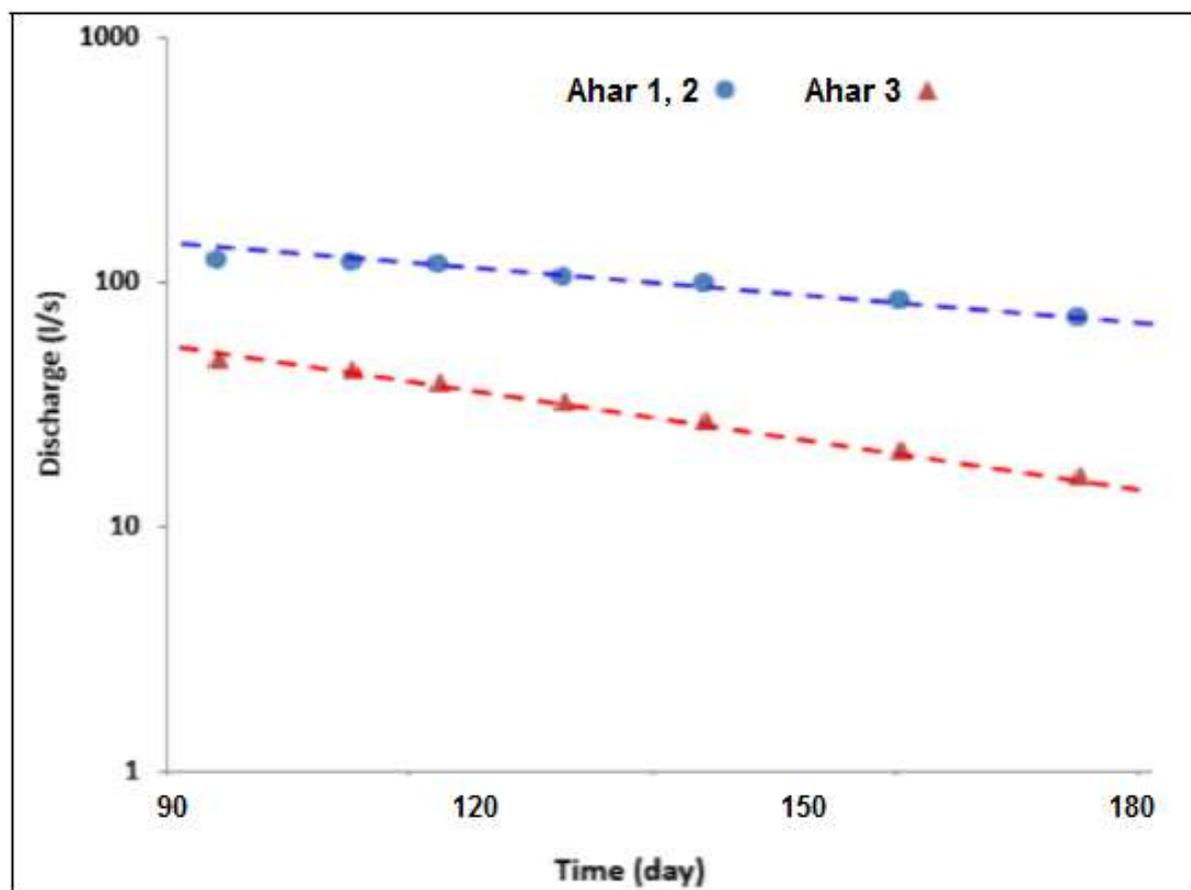
شکل ۵-۶- منحنی‌های فرود مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸

همانطور که در شکل (۵-۶) ملاحظه می‌شود منحنی فرود چشمه‌ها تنها دارای یک شیب می‌باشد و ضریب دبی هر دو چشمه بسیار اندک است. یک شبیه بودن منحنی‌های فرود هر دو چشمه و همچنین مقادیر اندک ضرائب دبی، از ویژگی‌های کارست‌های توسعه نیافته است. برای محاسبه ضریب دبی چشمه‌ها و رودخانه‌ها از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\alpha = \frac{(\log Q_1 - \log Q_2)}{0.4343 \times (t_2 - t_1)}$$

که در این معادله α ضریب دبی، Q دبی جریان بر حسب لیتر بر ثانیه و t زمان بر حسب روز است. بر اساس محاسبات انجام شده ضرائب دبی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳۷ و ۰/۰۰۳۱ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که مقادیر ضرائب دبی خیلی اندک بوده و همچنین کم و بیش با هم برابر هستند.

با توجه به هیدروگراف‌های مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳، منحنی فرود (Recession curve) این چشمه‌ها در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹ ترسیم شده است (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷- منحنی‌های فرود مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹

بر اساس محاسبات انجام شده ضرائب دبی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹ به ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۰۱۷ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که مقادیر ضرائب دبی در دو منبع آبی گرچه نسبتاً کوچک هستند اما در مقایسه با شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸ به طور قابل توجهی بزرگتر هستند. دلیل این مطلب از این قرار است که در شش ماهه اول سال به علت تغذیه در زمستان و اوایل بهار، سطح آب در آبخوان‌های کارستی بالا می‌رود و تخلیه با نرخ بیشتری انجام می‌شود. مقادیر حجم تخلیه سالانه، انحراف از معیار، میانگین و ضریب تغییرات دبی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ محاسبه شده و در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

جدول ۵-۲- پارامترهای آماری منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

نام چشمه		پارامترهای محاسبه شده در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹
آهار ۳	آهار ۱ و ۲	
۰/۹۲	۳/۰۵	حجم تخلیه (m ³)
۳۲/۴۸	۱۱۰	میانگین دبی (l/s)
۱۷/۲۹	۴۲/۵۷	انحراف از معیار دبی (l/s)
۵۳	۳۸	ضریب تغییرات دبی (%)

همانطور که در جدول (۲-۵) ملاحظه می‌شود، حجم تخلیه و میانگین دبی مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ حدود سه برابر چشمه آهار ۳ می‌باشد، همچنین ضریب تغییرات دبی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲، ۳۸ درصد و برای چشمه آهار ۳، ۵۳ درصد می‌باشد. با توجه به اطلاعات جدول (۲-۵) سیستم غالب تخلیه کارست در آبخوان این چشمه‌ها از نوع جریان کاملاً افشان (Fully diffuse flow system) می‌باشد.

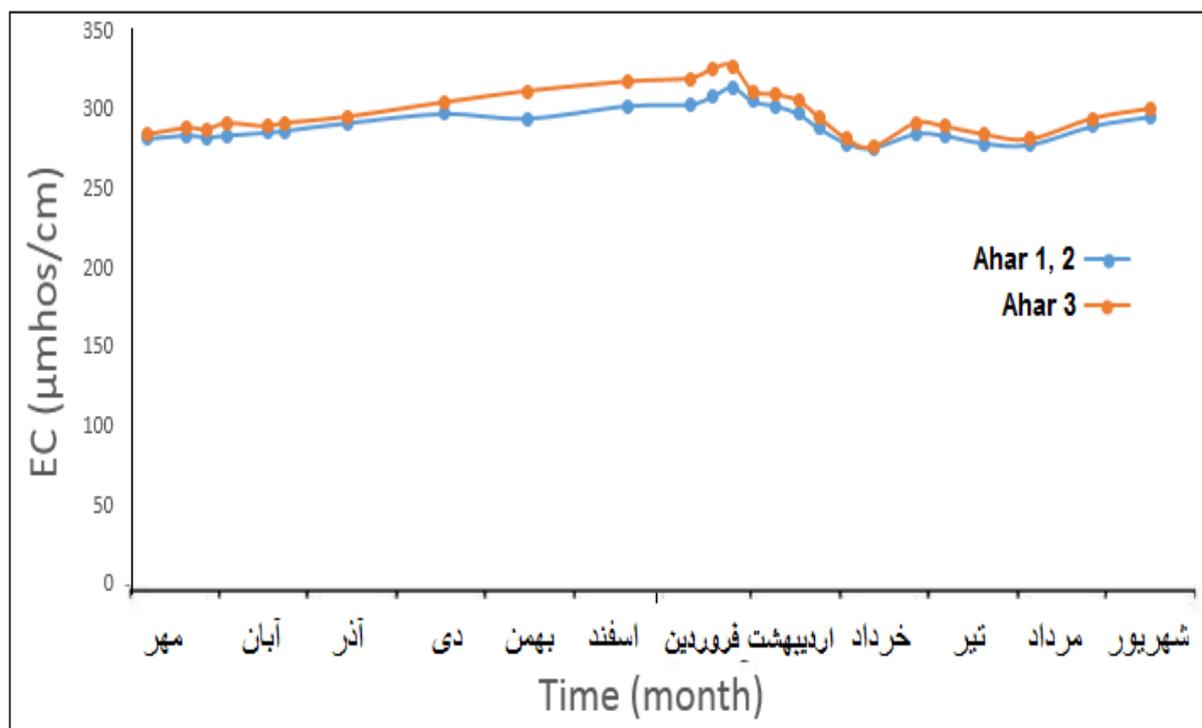
۵-۴- بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌ها

در بین خصوصیات شیمیایی آب، هدایت الکتریکی، به دلیل این که نماینده کل املاح محلول است، از اهمیت بالایی برخوردار است. مقادیر هدایت الکتریکی منابع آبی منطقه مطالعاتی در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با هدایت سنج الکتریکی در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است. اطلاعات مربوط به هدایت الکتریکی چشمه‌های موجود در منطقه در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

جدول ۵-۳- هدایت الکتریکی چشمه‌ها در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ بر حسب میکروموس بر سانتیمتر

تاریخ اندازه‌گیری	نام منبع آبی	
	آهار ۱ و ۲	آهار ۳
۹۸/۷/۵	۲۸۲	۲۸۵
۹۸/۷/۱۹	۲۸۴	۲۸۹
۹۸/۷/۲۶	۲۸۳	۲۸۸
۹۸/۸/۳	۲۸۴	۲۹۲
۹۸/۸/۱۷	۲۸۶	۲۹۰
۹۸/۸/۲۳	۲۸۷	۲۹۲
۹۸/۹/۱۵	۲۹۲	۲۹۶
۹۸/۱۰/۱۹	۲۹۸	۳۰۵
۹۸/۱۱/۱۸	۲۹۵	۳۱۲
۹۸/۱۲/۲۳	۳۰۳	۳۱۸
۹۹/۰۱/۱۶	۳۰۴	۳۲۰
۹۹/۰۱/۲۴	۳۰۹	۳۲۶
۹۹/۰۱/۳۱	۳۱۵	۳۲۸
۹۹/۰۲/۰۷	۳۰۶	۳۱۲
۹۹/۰۲/۱۵	۳۰۳	۳۱۰
۹۹/۰۲/۲۳	۲۹۸	۳۰۶
۹۹/۰۲/۳۰	۲۸۹	۲۹۶
۹۹/۰۳/۰۹	۲۷۹	۲۸۲
۹۹/۰۳/۱۸	۲۷۶	۲۷۷
۹۹/۰۴/۰۲	۲۸۵	۲۹۲
۹۹/۰۴/۱۲	۲۸۴	۲۹۰
۹۹/۰۴/۲۶	۲۷۹	۲۸۵
۹۹/۰۵/۱۱	۲۷۸	۲۸۲
۹۹/۰۶/۰۲	۲۹۰	۲۹۵
۹۹/۰۶/۲۲	۲۹۶	۳۰۱

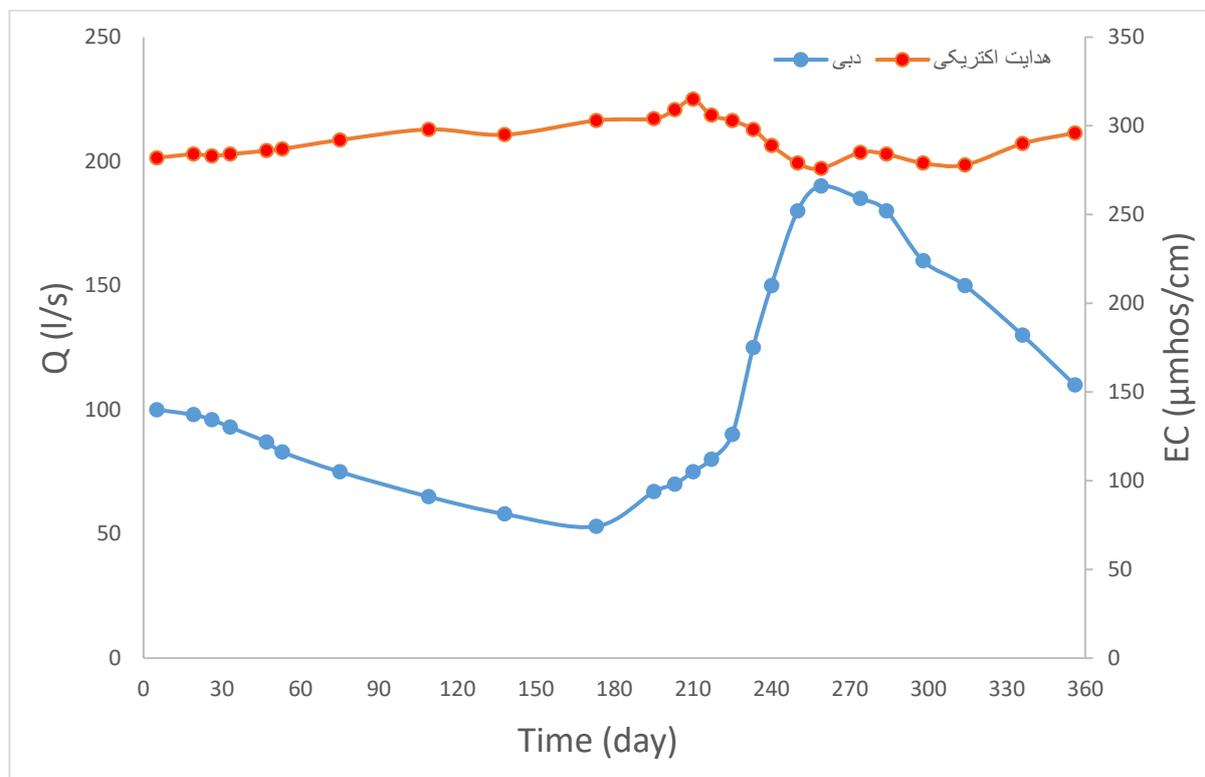
همانطور که ملاحظه می‌شود ضریب تغییرات هدایت الکتریکی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ بسیار اندک می‌باشد و در هر دو مورد کمتر از ۵ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که ضریب تغییرات pH و درجه حرارت همانند هدایت الکتریکی بسیار پایین می‌باشند. این مطالب تاییدی بر نتایج مربوط به هیدروگراف و تغییرپذیری دبی در چشمه‌های مورد مطالعه، یعنی غالب بودن جریان افشان در منطقه مورد مطالعه است. شکل (۵-۸) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی برای مجموع چشمه‌های آهار ۱ و ۲ و چشمه آهار ۳ را در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آبی منطقه در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

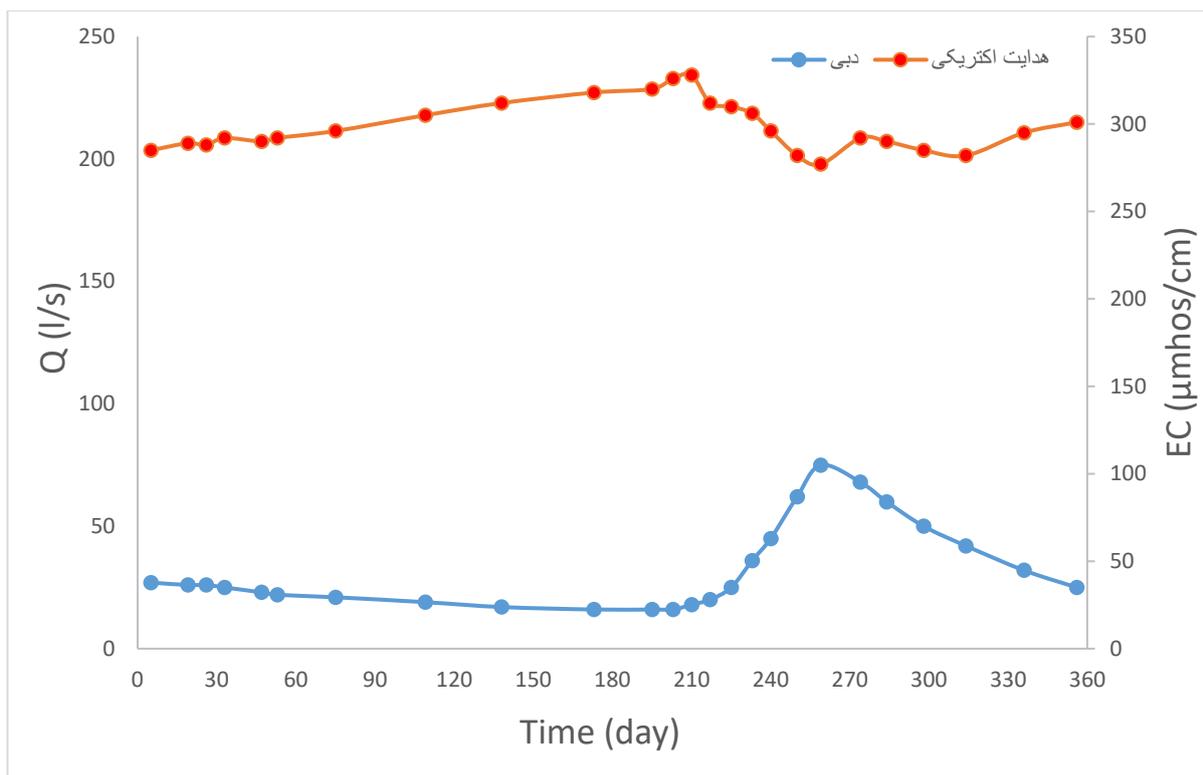
به منظور بررسی تغییرات زمانی منابع آبی منطقه در شش ماهه اول سال ۱۳۹۹ و مقایسه آن با شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸، هدایت الکتریکی منابع آبی منطقه به صورت سری زمانی اندازه‌گیری شده است. اطلاعات مربوط به هدایت الکتریکی چشمه‌های موجود در منطقه در جدول (۵-۶) ارائه شده است. با استفاده از اطلاعات جدول (۵-۶) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آب منطقه مورد مطالعه همراه با تغییرات زمانی دبی

جریان ترسیم شده است. شکل های (۵-۹ و ۵-۱۰) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه های دائمی آهار ۱ و آهار ۳ را نشان می دهند.



شکل ۵-۹- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در چشمه آهار ۱ در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

همانطور که در شکل (۵-۹) ملاحظه می شود، علیرغم تغییرات دبی در چشمه آهار ۱، تغییرات هدایت الکتریکی در این چشمه بسیار ناچیز است که دلیل آن همگن بودن آبخوان تامین کننده جریان و همچنین غالب بودن جریان افشان در محیط این آبخوان است. چنین شرایطی در آبخوان چشمه آهار ۳ نیز کم و بیش ملاحظه می شود (شکل ۵-۱۰). تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در این دو چشمه با شش ماهه دوم سال ۱۳۹۸ نشان دهنده همخوانی می باشد.



شکل ۵-۱۰- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در چشمه آهار ۳ در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

۵-۵- بررسی غلظت یون‌های اصلی در چشمه‌ها

به منظور بررسی رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب منطقه، غلظت یون‌های اصلی در چند نوبت برای منابع آبی منطقه اندازه‌گیری شده است (جدول ۵-۷).

جدول ۵-۴- غلظت یون‌های اصلی چشمه‌های منطقه

غلظت یون (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)							نام چشمه	تاریخ نمونه‌برداری
Cl	SO4	HCO3	K	Na	Mg	Ca		
0.5	0.35	2.2	0.04	0.35	1.0	1.65	آهار ۱	۹۹/۰۳/۱۹
0.45	0.35	2.25	0.05	0.35	1.1	1.6	آهار ۲	
0.5	0.35	2.3	0.05	0.4	1.1	1.7	آهار ۳	
0.5	0.35	2.3	0.04	0.35	1.1	1.7	آهار ۱	۹۹/۰۵/۱۱
0.5	0.35	2.4	0.04	0.4	1.2	1.7	آهار ۲	
0.5	0.35	2.4	0.05	0.4	1.2	1.8	آهار ۳	

الف- ارزیابی رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آب

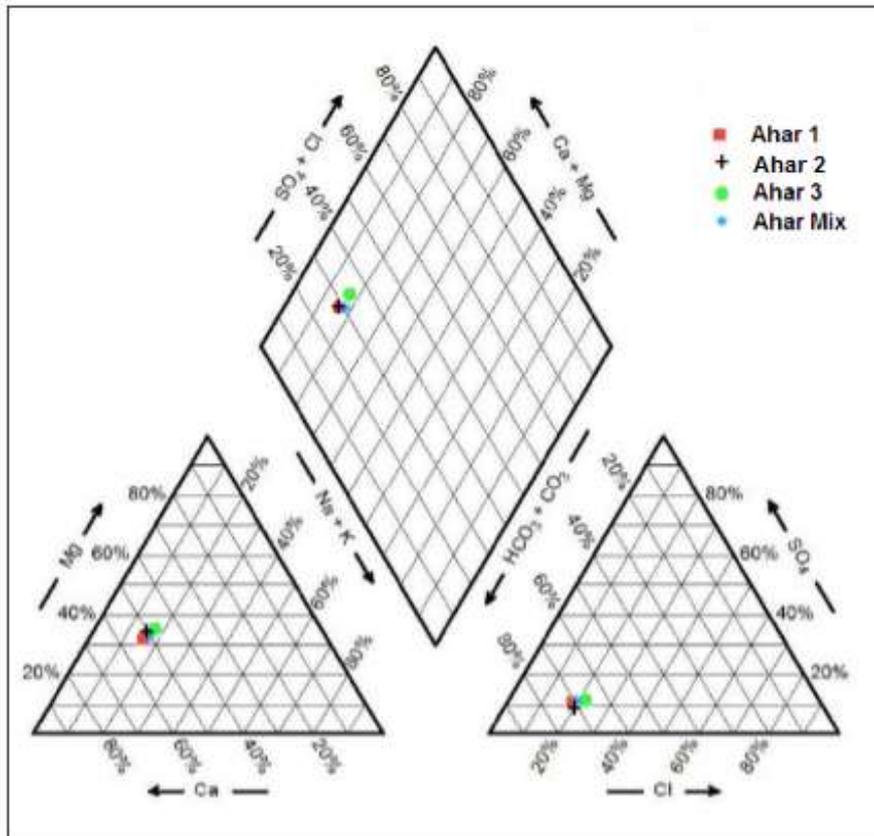
جهت تعیین رخساره‌های هیدروشیمیایی (Hydrochemistry facies) روش‌های متعددی وجود دارد که در این مطالعه از نمودارهای پایپر (Piper) و استیف (Stiff) استفاده شده است. رخساره‌های هیدروشیمیایی برای نشان دادن اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها و تعیین توده‌های آبی با ماهیت هیدروژئوشیمیایی یکسان یا متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵-۵-۱- نمودار پایپر

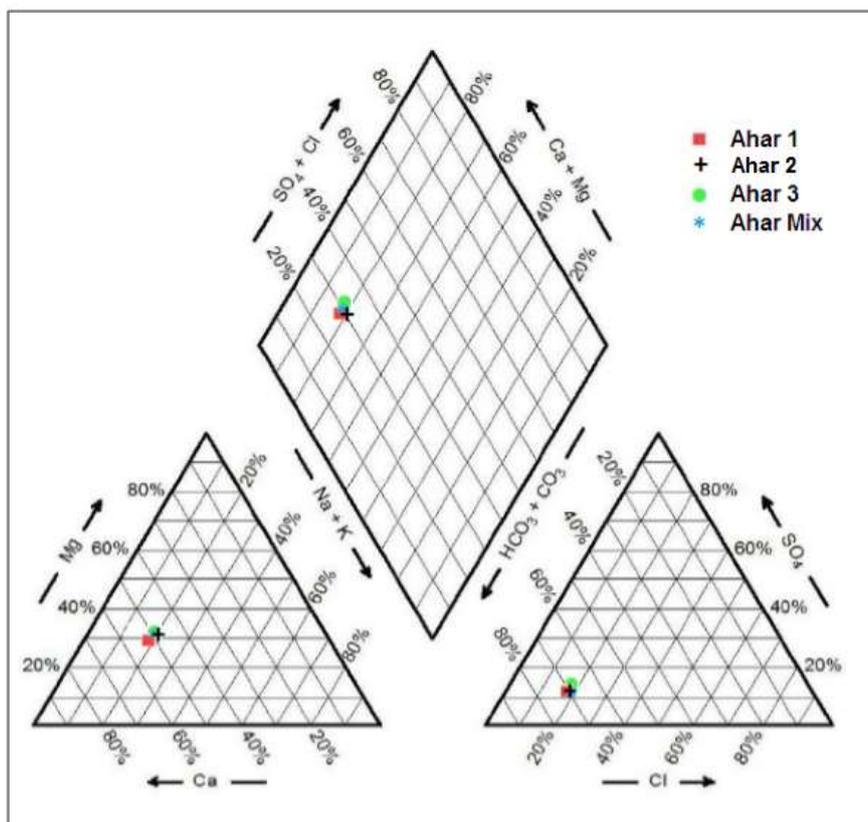
یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی رفتار هیدروژئوشیمیایی منابع آب، نمودار پایپر می‌باشد. با استفاده از این نمودار، شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها به خوبی مشخص می‌شود و نمونه‌های با خصوصیات مشابه، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. با استفاده از نمودار پایپر علاوه بر تعیین زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی، می‌توان اختلاط آب‌ها و تبادل یونی را نیز پیش‌بینی کرد. این نمودار برای نمونه‌های منابع آبی محدوده معدن تاش به صورت فصلی با استفاده از نرم افزار Diagram رسم شده است (شکل‌های ۵-۱۱ الی ۵-۱۴).

همانطور که در شکل‌های (۵-۱۱ الی ۵-۱۴) ملاحظه می‌شود، منابع آب محدوده مورد مطالعه در فصل‌های مختلف کم و بیش مشابه بوده و موقعیت آنها در گوشه سمت چپ لوزی (محدوده آب شیرین) قرار گرفته‌اند. در چهار فصل تمامی نقاط تقریباً روی هم قرار گرفته‌اند که این مطلب بیانگر یکسان بودن تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی آنها است.

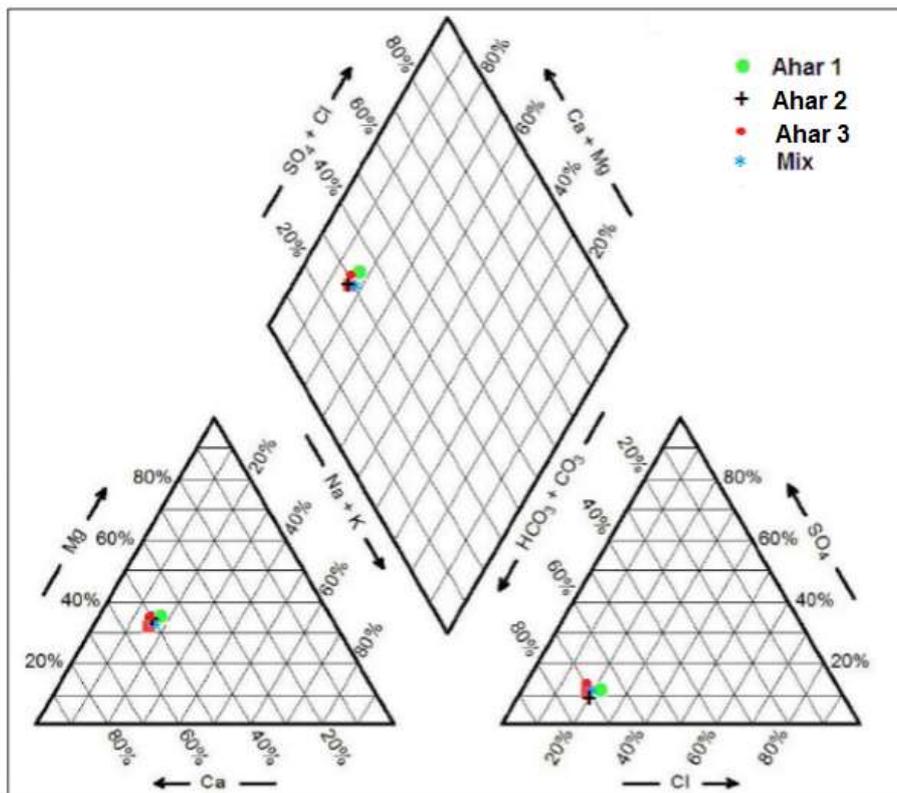
برای تمامی نمونه‌ها در فصل‌های مختلف، اسیدهای ضعیف ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$) بر اسیدهای قوی ($\text{Cl} + \text{SO}_4$) غلبه دارند و همچنین عناصر قلیائی خاکی ($\text{Ca} + \text{Mg}$) بر عناصر قلیایی ($\text{Na} + \text{K}$) غلبه دارند. بنابراین، تمام نمونه‌ها سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد را شامل می‌شوند.



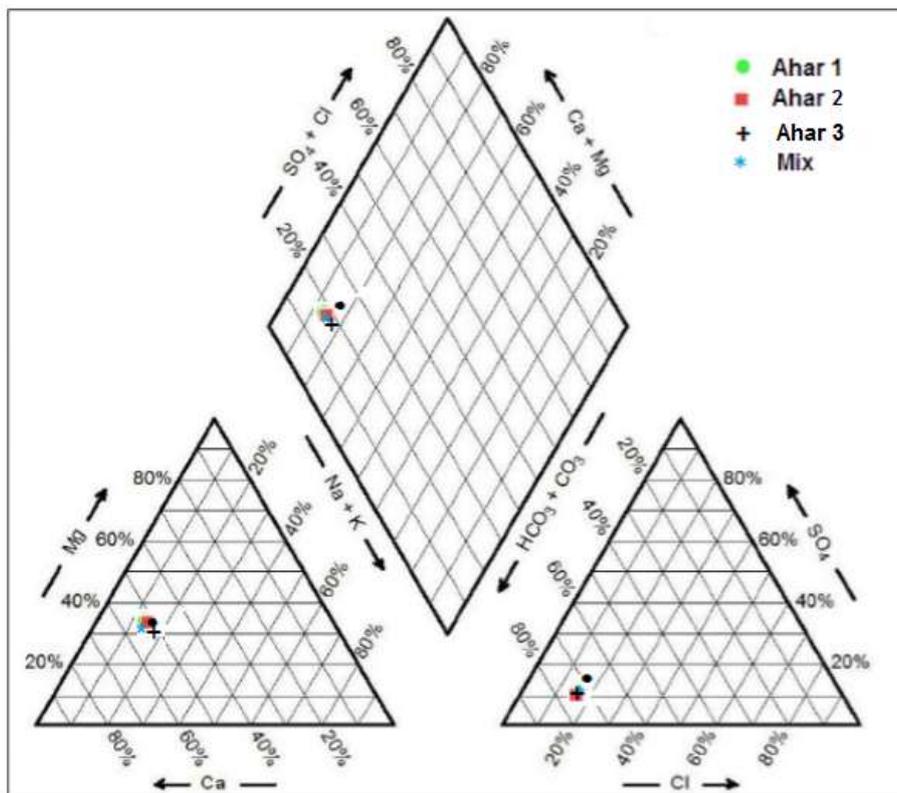
شکل ۵-۱۱- نمودار پایپر منابع آب منطقه در پائیز ۱۳۹۸



شکل ۵-۱۲- نمودار پایپر منابع منطقه در زمستان ۱۳۹۸



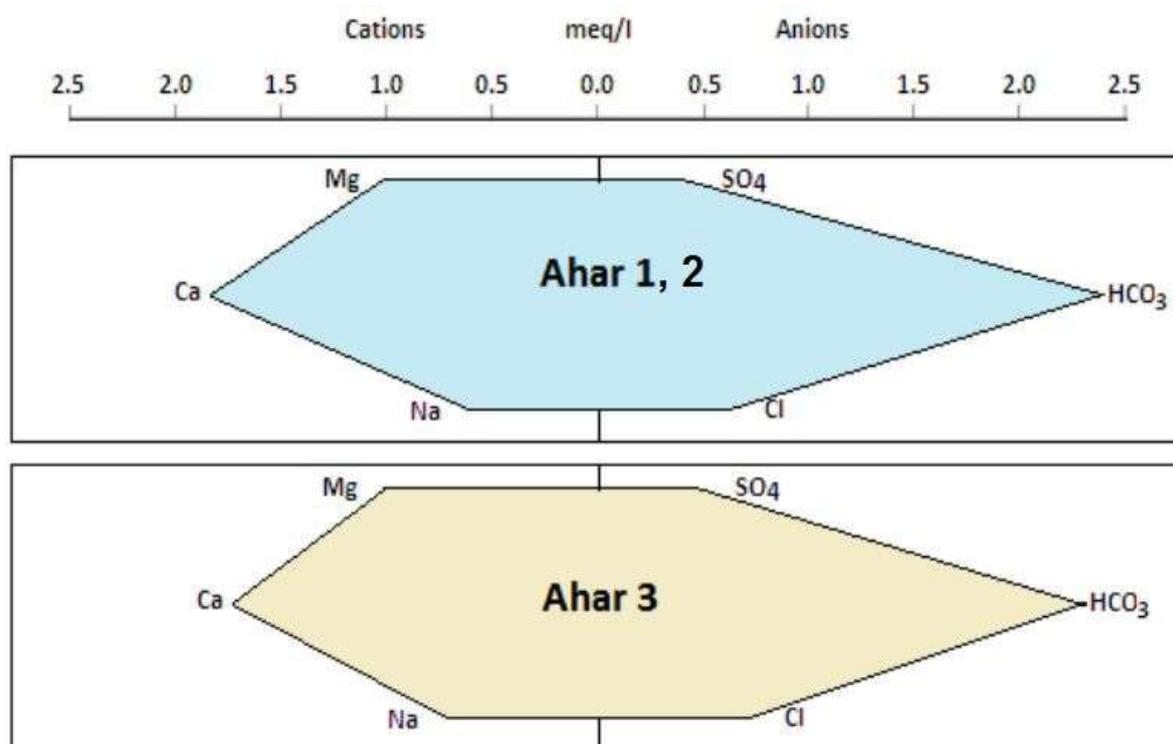
شکل ۵-۱۳- نمودار پایپر منابع آب منطقه در بهار ۱۳۹۹



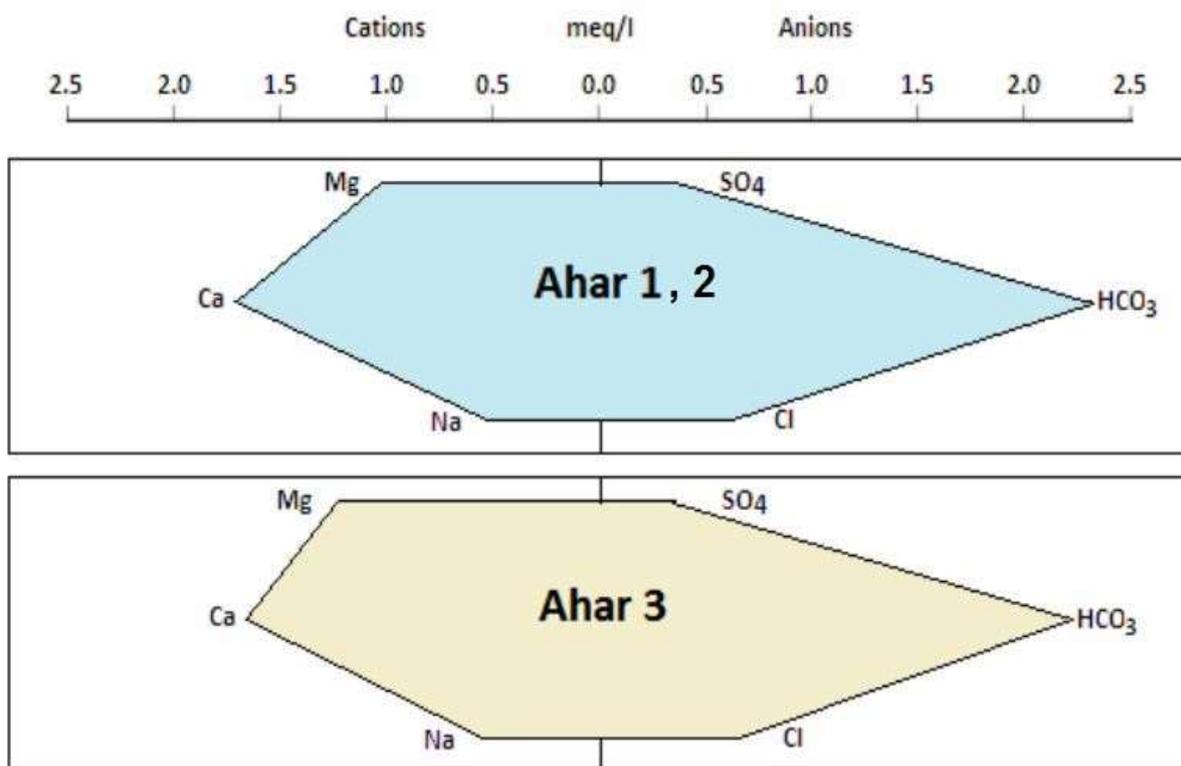
شکل ۵-۱۴- نمودار پایپر منابع آب منطقه در تابستان ۱۳۹۹

۵-۲-۵- نمودار استیف

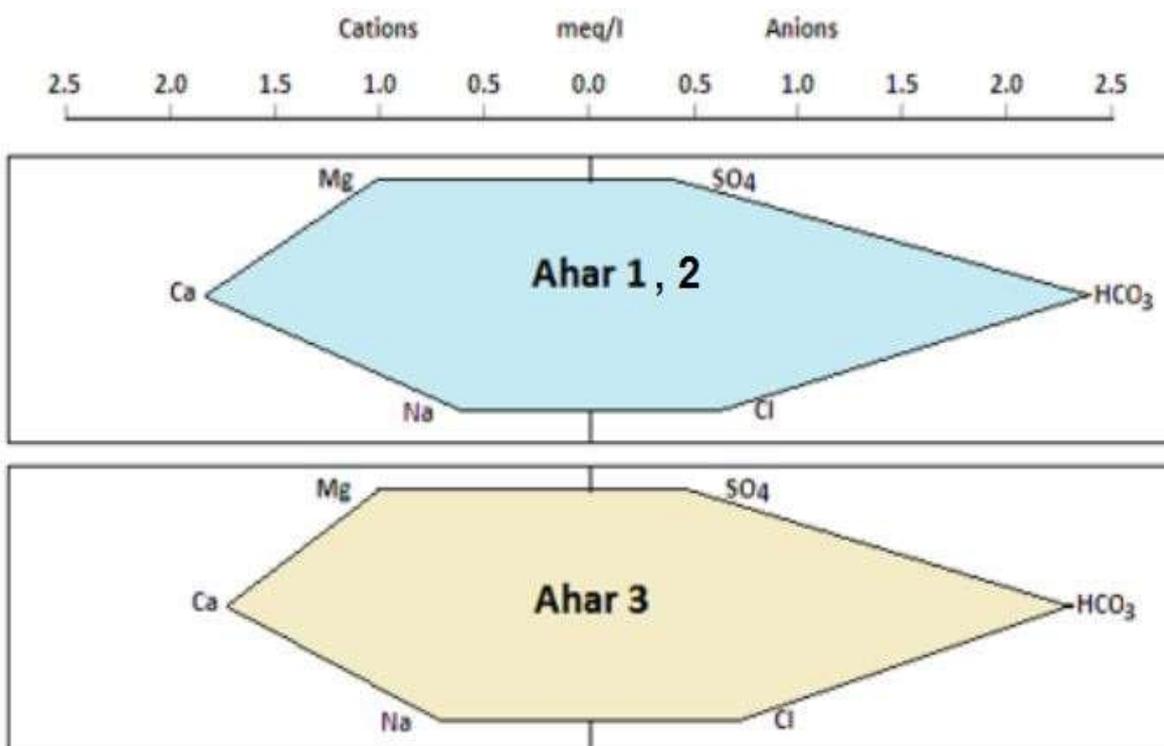
جهت تعیین تیپ و مقایسه الگوی هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب، از نمودار استیف استفاده می‌شود. الگوی پلیگون‌های ایجاد شده می‌تواند برای طبقه‌بندی نمونه‌ها بسیار مناسب باشد. در این روش آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب در سمت راست و چپ محور قائم قرار می‌گیرند. این نمودار برای نمونه‌های منابع آبی محدوده معدن تاش برای فصل‌های مختلف سال با استفاده از نرم افزار Aqqa تهیه شده است (شکل‌های ۵-۱۵ الی ۵-۱۸). با توجه به این نمودار، تیپ غالب منابع آبی محدوده معدن بوکسیت تاش از نوع بی‌کربنات کلسیم می‌باشد که با توجه به آهکی و دولومیتی بودن آبخوان‌ها، قابل توجه است. علاوه بر این، ملاحظه می‌شود که الگو و اندازه نمودارها برای تمام منابع آب در تمام فصول کم و بیش یکسان بوده که بیانگر یکسان بودن شرایط آبخوان تامین کننده آب آن‌ها می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که الگو و اندازه نمودارها در چهار فصل مختلف هم کاملاً یکسان است که این مطلب تاییدی بر شواهد قبلی مبنی بر غالب بودن شرایط سیستم جریان افشان در آبخوان‌ها است.



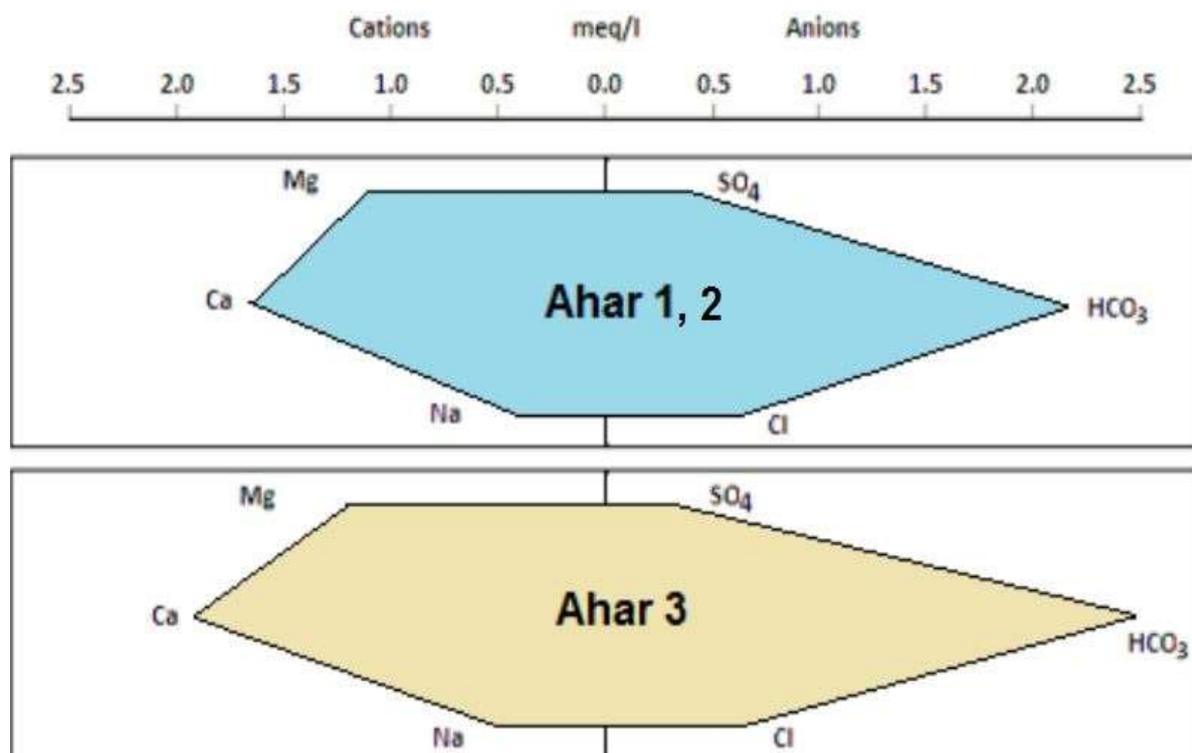
شکل ۵-۱۵- نمودار استیف منابع آب منطقه در پائیز ۱۳۹۸



شکل ۵-۱۶- نمودار استیف منابع آب منطقه در زمستان ۱۳۹۸



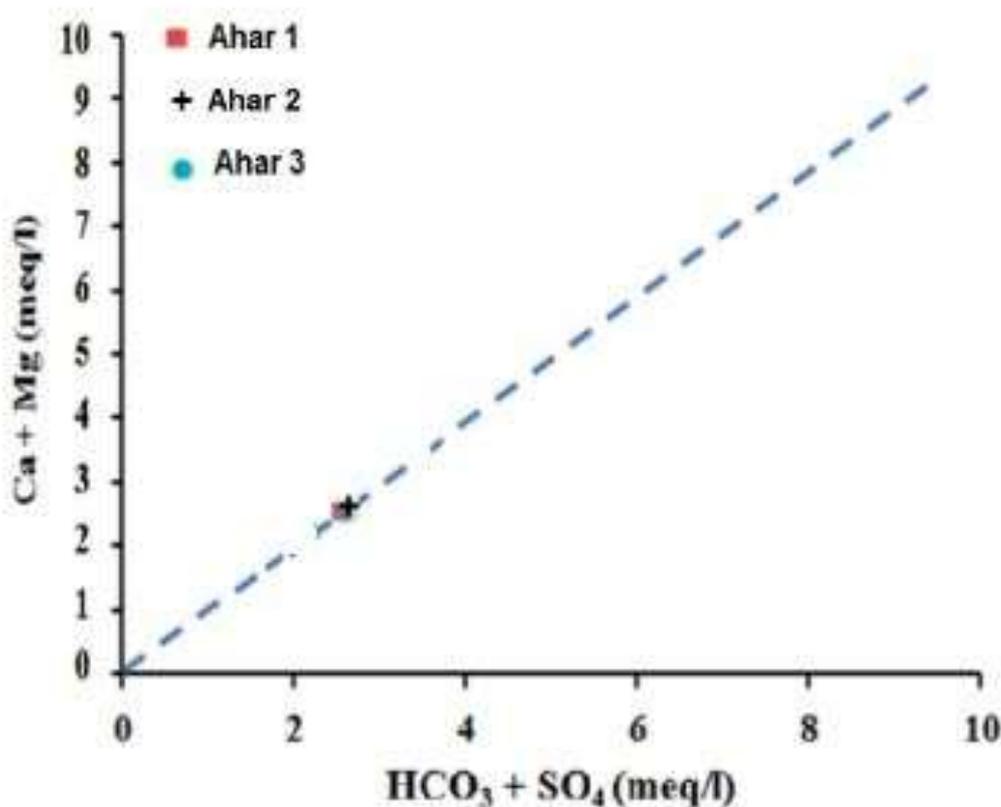
شکل ۵-۱۷- نمودار استیف منابع آب منطقه در بهار ۱۳۹۹



شکل ۵-۱۸- نمودار استیف منابع آب منطقه در تابستان ۱۳۹۹

ب- ارزیابی فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان

شناخت فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم بر آب نیاز به اطلاعات دقیقی در مورد مسیر جریان آب، زمان ماندگاری آب (Residence time)، نواحی تغذیه و خصوصیات کانی‌شناسی سنگ‌ها دارد. در این قسمت به بررسی منشأ یون‌ها و همچنین فرایندهای حاکم بر تکامل ژئوشیمیایی نمونه‌های محدوده معدن بوکسیت تاش پرداخته شده است. شکل (۵-۱۹)، نسبت (Ca+Mg) در مقابل (SO₄+HCO₃) را برای غلظت میانگین فصل‌های مختلف نمونه‌های محدوده معدن تاش را نشان می‌دهد. خط یک به یک نشان‌دهنده انحلال کربنات‌ها و ژیپس است. اگر محل قرارگیری بر روی این خط کمتر از ۱۰ باشد غلبه با انحلال کربنات‌ها است و بعد از آن غلبه با انحلال ژیپس می‌باشد. قرار گرفتن تمامی نمونه‌های منابع آب موجود در محدوده معدن تاش بر روی خط یک به یک و در محدوده خیلی کمتر از ۱۰، بیانگر رخداد فرآیند انحلال کربنات‌ها به عنوان منشأ اصلی غلظت این یون‌ها و عدم رخداد پدیده‌های دیگر همچون تبادل کاتیونی می‌باشد.



شکل ۵-۱۹- نمودار $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ در برابر $\text{Ca} + \text{Mg}$

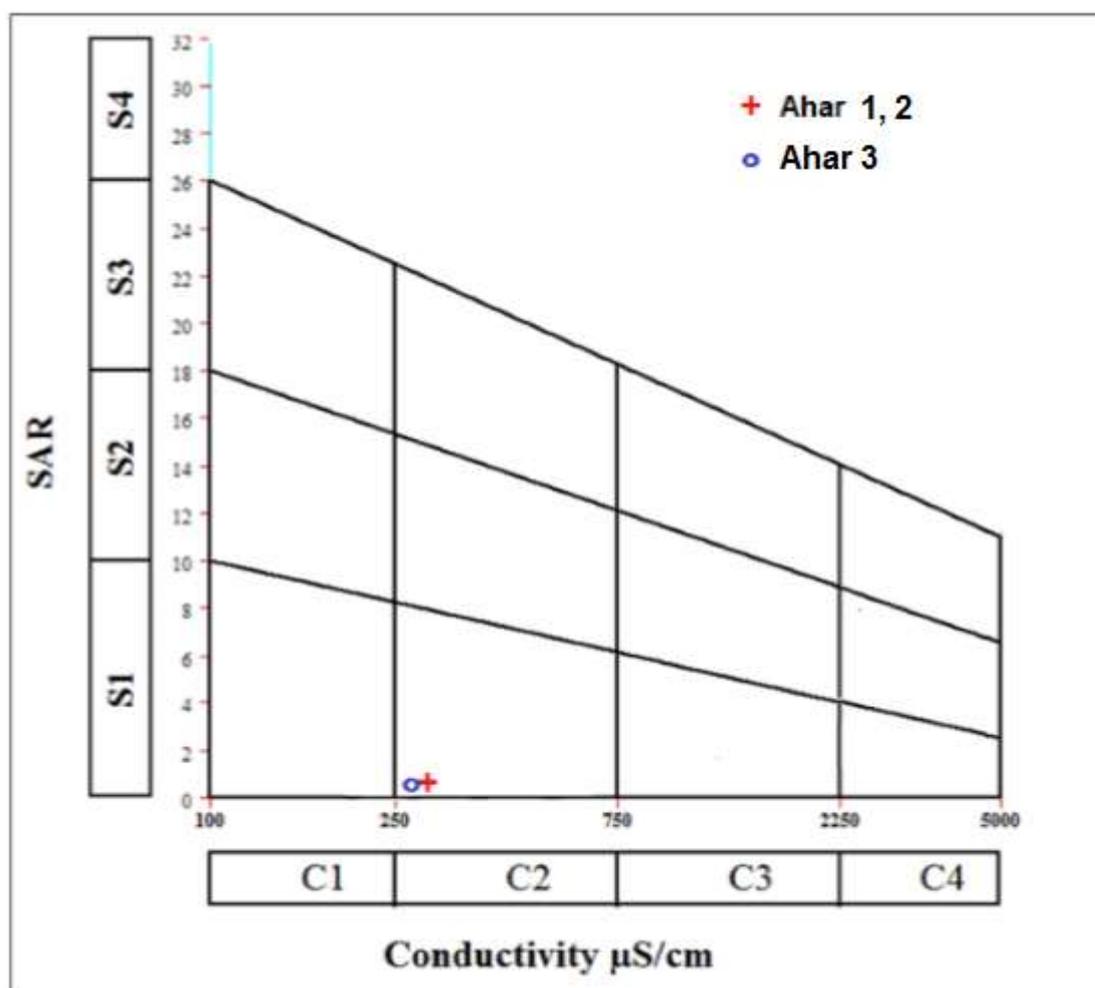
ج- کیفیت نمونه‌های آب برای کشاورزی

مناسب بودن آب برای مصارف کشاورزی به اثر کانی‌های موجود در آب روی خصوصیات گیاه و خاک دارد. غلظت سدیم در خاک نقش مهمی در تعیین کیفیت آب برای اهداف کشاورزی دارد. غلظت بالای سدیم نسبت به منیزیم و کلسیم می‌تواند باعث کاهش نفوذپذیری خاک گردد. برای تعیین کیفیت آب برای مصارف کشاورزی از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود که مهمترین و رایج‌ترین آنها درصد سدیم (%Na) و نسبت جذب سدیم (SAR) است که با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{Na}\% = \frac{(\text{Na}^+) \times 100}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)}$$

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

در تمامی نمونه‌های محدوده معدن، درصد سدیم کمتر از ۲۵ درصد و مقدار SAR کمتر از ۵/۰ می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی ریچارد (1954) مقادیر SAR کمتر از ۱۰ به عنوان بسیار مطلوب برای کشاورزی به شمار می‌آیند. بر اساس نمودار ویلکاکس (شکل ۵-۲۰) نمونه‌های آب محدوده معدن بوکسیت تاش در بخش‌های ابتدایی رده C_2S_1 قرار می‌گیرند که نشان دهنده شوری پایین با سدیم کم و کیفیت خیلی خوب آن جهت مصارف کشاورزی می‌باشد.



شکل ۵-۲۰- جایگاه منابع آب منطقه در نمودار ویلکاکس

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در فصل‌های گذشته با تمام توان تلاش شده است تا مطالب به صورت کامل و دقیق ارائه گردند، در هر قسمت از متن تحقیق که نیاز آن احساس شده، نتیجه‌گیری از مطالب همان بخش ارائه شده است، اما در این فصل که به طور جداگانه برای این منظور در نظر گرفته شده است، سعی خواهد شد نتایج جزئی و یک یا چند نتیجه کلی که محصول نهایی این تحقیق می‌باشد به صورت منسجم ارائه شوند. در نهایت برای کاربرد نتایج این پژوهش و عنوان تحقیق‌هایی که انجام گرفتن آن‌ها در راستای تکمیل پایان نامه حاضر لازم به نظر می‌رسد پیشنهادهای ارائه گردیده است.

۶-۱- نتیجه‌گیری

همان گونه که در بالا اشاره شد، در این قسمت سعی شده است تا تمام نتایجی که از انجام این تحقیق حاصل شده‌اند به طور منسجم ارائه شود. با توجه به مطالبی که در فصل‌های گذشته بیان گردید. نتایج زیر در مورد حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی قابل ذکر می‌باشند.

۶-۱-۱- ارزیابی رژیم تکتونیک عمومی منطقه

رژیم تکتونیکی عمومی حاکم بر منطقه دارای روند تقریبی شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد. همچنین شواهد ساختاری از قبیل چین‌ها و گسل‌های منطقه مورد مطالعه با مدل ترافشارشی در نظر گرفته شده برای البرز، هم‌خوانی دارد.

۶-۱-۲- ارزیابی مهمترین سیستم‌های گسلی منطقه

بررسی گسل‌های اصلی منطقه نشان می‌دهد که این گسل‌ها قائم می‌باشند، همچنین دارای سازوکار چپ‌بر هستند. با توجه به تشابه روند، خصوصیات هندسی و سازوکار گسل‌های اصلی منطقه و همچنین گسل‌های موازی پرتعداد در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد، می‌توان به یک زون گسله با روند شمال شرقی - جنوب غربی پی برد.

۶-۱-۳- بررسی نقش عناصر ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه

چشمه‌های آهار در راستای رودخانه آهار و گسل F1 واقع شده‌اند. همچنین شکستگی‌های عرضی که با روند شمال غربی - جنوب شرقی در سازند الیکا مشاهده می‌شوند، از نوع کششی بوده و بر گسل F1 عمود می‌باشند. محل تلاقی شکستگی‌های عرضی و گسل اصلی F1 بهترین مکان برای خروج آب زیرزمینی می‌باشد که به صورت چشمه‌های آهار ۱، ۲ و ۳ نمایان شده است.

۶-۱-۴- ارزیابی توسعه یافتگی کارست در منطقه

منحنی فرود چشمه‌های آهار ۱ و ۳ تنها دارای یک شیب می‌باشد و ضریب دبی هر دو چشمه بسیار اندک است. یک شیبه بودن منحنی‌های فرود هر دو چشمه و همچنین مقادیر اندک ضرائب دبی، از ویژگی‌های کارست‌های توسعه نیافته است. همچنین مطالعات انجام شده در حوضه آبرگیر چشمه‌ها نشان می‌دهد که به دلیل دولومیتی بودن سازند الیکا و همچنین عدم حضور عوارض ژئومرفولوژیکی کارست‌های توسعه یافته در منطقه نظیر فروچاله‌ها، غارهای کارستی و گودی‌های مسدود، توسعه یافتگی کارست در منطقه نسبتاً اندک می‌باشد.

۶-۱-۵- ارزیابی سیستم غالب جریان در کارست‌های منطقه

با توجه به مطالب ذکر شده در مورد هیدروژئولوژی حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی آهار ۱ و ۳ از قبیل ضریب تغییرات دبی، ضریب تغییرات هدایت الکتریکی، ضریب تغییرات pH و درجه حرارت می‌توان نتیجه گرفت که سیستم جریان حاکم بر آب‌های زیرزمینی در منطقه از نوع افشان می‌باشد. همچنین با توجه به نمودار استیف، ملاحظه می‌شود که الگو و اندازه نمودارها برای تمام منابع آب در تمام فصول کم و بیش یکسان بوده که بیانگر یکسان بودن شرایط آبخوان تامین کننده آب آن‌ها می‌باشد. که این مطلب تاییدی بر شواهد قبلی مبنی بر غالب بودن سیستم جریان افشان در آبخوان منطقه می‌باشد.

۶-۱-۶- مسیرهای عمده جریان

با توجه به سیستم جریان غالب بر آبخوان مورد نظر (افشان) و توسعه یافتگی اندک کارست‌های منطقه و نبود فروچاله‌ها، غارهای کارستی، گودی‌های مسدود و کارن‌های عمیق و با بازشدگی زیاد، وجود گسل‌ها و درزه‌ها برای نفوذ و انتقال آب‌های سطحی و تغذیه آبخوان کارستی بسیار حائز اهمیت است. تلفیق نتایج به دست آمده از بررسی‌های ساختاری و هیدروژئولوژی بیانگر این است که مسیرهای عمده جریان آب زیرزمینی در راستای عناصر ساختاری منطقه و متاثر از گسل‌ها و درزه‌ها شکل گرفته‌اند. پس جریان آب زیرزمینی به جای آن که متحمل پراکندگی در آبخوان گردد، در مجاری خاصی متمرکز می‌شود که البته، این پدیده موجب بالا رفتن اثر انحلالی آب زیرزمینی می‌گردد به این ترتیب که جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی توسط گسل‌های فرعی و شکستگی‌ها با روند شمال غرب - جنوب شرق به سمت گسل اصلی منطقه با روند شمال شرق - جنوب غرب هدایت شده و در محل گسل اصلی F1 در راستای رودخانه آهار به صورت چشمه‌های کارستی آهار ۱، ۲ و ۳ تخلیه می‌شود.

۶-۲- پیشنهادها

هر تحقیق و رساله با توجه به گستردگی و حجم خود پیوسته کاستی‌ها و موارد ناگفته‌ای را به همراه دارد. این تحقیق نیز مستثنی از این قضیه نمی‌باشد، بنابراین، مواردی را که در ادامه جای بحث کردن دارد در این قسمت می‌توان به عنوان پیشنهاد ذکر کرد:

۱- در مطالعات جامع پهنه‌های کارستی بررسی‌های کاملی بر روی پدیده‌های ساختاری محدوده مورد مطالعه نظیر شدت شکستگی‌ها، اندازه و نحوه توزیع بازشدگی دهانه درزه‌ها و همچنین طول آن‌ها به عمل آید.

۲- در مسائل زیست محیطی برای پیش‌بینی مسیر آلاینده در آبخوان‌های کارستی مطالعات ساختاری با دقت بیشتر انجام گیرد

۳- پیشنهاد می‌گردد تا همانند آنچه در این تحقیق انجام گرفت، تحقیقات در مکان‌های مختلف انجام شود

و در آنها سیستم جریان حاکم بر آبخوان با روش‌های دقیق تر نظیر زمان واکنش چشمه به باران و تغییرات کوتاه مدت و بسیار دقیق خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه تعیین شود.

۴- در نهایت با استفاده از نرم افزارهای آماری توابع ریاضی بر نمودارهای نشان دهنده تغییرات هندسی عناصر ساختاری تفسیر گردد. به این ترتیب مطالعاتی از این دست از حالت کیفی به شکل کمی و دقیق تبدیل خواهند شد.

منابع

۱. آقاباتی ع. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۳۵ ص.
۲. آقاباتی ع. (۱۳۷۷) چینه‌شناسی ژوراسیک ۱، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
۳. آقاباتی ع. (۱۳۷۷) چینه‌شناسی ژوراسیک ۲، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
۴. درویش زاده ع. (۱۳۷۰) زمین‌شناسی ایران، موسسه انتشارات امیرکبیر دانشگاه تهران، ۹۰۱ ص.
۵. درخشی م.، قاسمی ح.، و سهامی ط. (۱۳۹۱) زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مجموعه بازالتی سلطان میدان در رخنمون‌های شمال و شمال خاور شاهرود، البرز خاوری، شمال ایران، فصلنامه علوم زمین، بهار ۱۳۹۳، شماره ۹۱، صفحه ۶۳-۷۶.
۶. رئیسی ع.، کرمی غ. (۱۳۷۵) اثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب‌های نفوذی بر روی شیمی چشمه‌های کارستی، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی، تهران-کرمانشاه، صفحه ۱۶۱-۱۵۱.
۷. زهدی ا. (۱۳۹۶) محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند روته در غرب زنجان (برش آق‌بلاغ)، فصلنامه علوم زمین، ۱۳ ص.
۸. ستوهیان (۱۳۸۷) چینه‌نگاری سکانسی سازند الیکا در برش تاش، البرز شرقی، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۴ ص.
۹. شکری م.، اشجاری ج. و کرمی غ. (۱۳۹۰) تاثیر تکتونیک و چینه‌شناسی در جهت‌یابی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ۹ ص.
۱۰. صداقت م. (۱۳۸۸) زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۸۷ ص.

۱۱. علیزاده ا. (۱۳۸۶) اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵۷ ص.
۱۲. علیزاده ا. (۱۳۹۰) اصول هیدروژئولوژی کاربردی، چاپ سی و یکم، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۹۱۱ ص
۱۳. قبادی و همکاران (۱۳۹۰) اهمیت شناخت خصوصیات ژئومورفولوژیکی، سنگ‌شناسی و فیزیکی سنگ‌های کربناته، جهت ارزیابی توسعه کارست در منطقه نهاوند، دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان، ۱۲ ص.
۱۴. مارشاک ا. و میتراگ. (۱۳۸۱) روش‌های اساسی زمین‌شناسی ساختمانی، ترجمه محسن پورکرمانی و حسین معتمدی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۵۲۰ ص.
۱۵. نیک پیمان ا. و کرمی غ.ح. (۱۳۸۸) بررسی تاثیر خطواره‌ها بر روی نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی
۱۶. نجفی ز.، کرمی غ.ح. و کریمی ح. (۱۳۹۹) بررسی تأثیر واحدهای سنگ‌چینه‌شناسی مختلف بر توسعه کارست و تغییرپذیری آبدهی چشمه‌های کارستی، استان کرمانشاه، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۶ ص.
۱۷. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ علی آباد، سازمان زمین‌شناسی کشور
18. Ashjari J. and Raeisi E. (2006) *Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran*. Journal of Cave and Karst Studies, 68, pp. 118-129.
19. Assereto R. (1963) *The Paleozoic formations in central Alborz (Iran) preliminary note*. Rivista Italian di paleontologia e Stratigrafia, 69, pp. 503-543.
20. Bense V.F., Gleeson T., Loveless S.E., Bour O. and Scibek J. (2013) *Fault zone hydrogeology*. Earth Science Reviews, 127, pp. 171-192.
21. Bozorgnia F. (1973) *Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Alborz Mountains, Iran*. National Iranian Oil Company, 185p.

22. Dellenbach J. (1964) *Contribution a letude geologique de la region situe a lest de Tehran (Iran)*. PhD diss., unidentified editor, 17p.
23. Dedual E. (1967) *On the geology of the middle and lower Karaj valley, central Alborz (Iran)*. Mitt. Geol. Inst. ETH Univ. Zurich, 79, pp. 45-75.
24. Fleuty M.J. (1964) *The description of folds*. Proceedings of the Geologists' Association, 75, pp. 461-492.
25. Ford D.C. and Williams P.W. (2007) *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester. John Wiley; Second edition, 576p.
26. Gunay G. (2010) *geological and hydrogeological properties of Turkish karst and major karstic springs*. Butterworth-Heinemann, Chapter 10.6, pp. 479-497
27. Glaus M. (1965) *Die Geology des Gebietes nordlich des Kandevan- Although slightly slower. this velocity is similar to that of Passes (Central-Alborz), Iran*, Schmidberger & Muller, Zurich.
28. Goldscheider N. (2015) *Karst Aquifers-Characterization and Engineering*. pp. 127-145.
29. Henriksen H., Braathen A. (2006) *Effects of fracture lineament and in-situ rock stresses in ground water flow in hard rocks: a case study from Sunnfjord*. Western Norway, Hydrogeology Journal, pp. 444-461.
30. Jacobson R.L., Langmuir D. (1974) *Controls on the quality variations of some carbonate spring waters*. Journal of Hydrology 23, pp. 247-265.
31. Karami G. & Younger P. (2003) *A novel approach to the assessment of flow type in karst aquifers by evaluation of conventional test-pumping data*. Groundwater in fractured rocks. IHP-VI Series on Groundwater, Francis and Taylor, London, pp. 71-72.
32. Karanjac J. & Altug A. (1980) *Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis*. Oymapinar Dam Project, Turkey. Journal of Hydrology, 45, pp. 203-217.

33. Milanovic P.T. (1981) *Karst Hydrogeology WRP, Colorrado. U.S.A,* 434p.
34. Ramsay J.G., Huber M.I. and Richard J.L. (1983) *The Techniques of modern structural geology: Folds and fractures.* Academic Press Limited, 391P.
35. Shuster E.T. and White W.B. (1971) *Seasonal fluctuations in the Chemistery of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers.* Journal of Hydrology, pp. 93-128.
36. Twiss R. and Moores E. (1992) *Structural Geology.* W.H. Freeman and Company, NewYork. 532p.
37. White W.B. (1988) *Geomorphology and hydrology of karst Terrains.* Oxford University Press, 464p.
38. Zabidi H. and Freitas M. (2006) *Structural studies for the prediction of karst in the Kuala Lumpur limestone.* IAEG, 264p.

Abstract

The study area is located in the north west of Shahrood city and 5 km north east of Tash village. One of the most important issues that has always been the cost and time of engineers in karstic aquifers studies is to identify the main flow paths and determine the dominant flow system in this type of aquifers. Methods to determine whether flow system in an aquifer is diffuse, conduit or something in between, are in most cases expensive and time consuming, presenting cheap and fast methods to quantify factors can be very useful in engineering projects. The purpose of this study is to identify the main groundwater flow routes in the karst aquifer north east of Tash village and to determine the dominant flow system in this aquifer. Structural studies on the geometry of faults and fractures in the region indicate that there is an important fault zone in the north east – south west direction in the region. In addition, it was observed that there is a set of sub-faults in the direction perpendicular to the main fault system trend (i.e. north east – south west trend) in the study area. The studied karst aquifer consists of dolomitic rock units and dolomitic limestone of Elika Formation. This karst aquifer is emptied by three karst springs named Ahar 1, 2 and 3. Flow rate, electrical conductivity and concentration of main ions in these springs were measured in the water year 1398-1399 and based on the analysis of the obtained data, the hydrogeological and hydrogeochemical properties of this karstic aquifer have been evaluated. Studies conducted in the catchment area of the springs show that due to the dolomitic nature of the karst aquifer, karst development in the region is relatively small. It was also observed that the predominant flow system in the karst aquifer is diffuse. The combination of the results obtained from structural and hydrogeological studies indicates that the main groundwater flow paths have been formed in line with the structural elements of the region and affected by faults and joints. In this way, the groundwater flow in the karst aquifer is directed to the main fault by sub-faults and karst springs of the region have appeared in the place of the main fault.

Keywords: Karst, flow system, Fault, Tash



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

Identification of major flow paths in karst aquifers of north east of Tash

By: Abbas Ebrahim Mojeni

Supervisors:

Dr. Gholam Hossein Karami

Dr. Parviz Omid

February 2021