

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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

## ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه کوه سوخته-جهان‌بین (استان چهارمحال و بختیاری)

احسان درویش‌پور

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر فردین موسیوند

پایان‌نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۹۰



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره: ۱۸۸۰۱۹

تاریخ: ۱۳۹۰/۱۱/۲۶

ویرایش:

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان درویش پور رشته: زمین شناسی گرایش: آبشناسی تحت عنوان: ارزیابی خصوصیات هیدرژئولوژیکی منطقه کوه سوخته-جهان بین (استان چهارمحال و بختیاری) که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه: عالی) امتیاز: (۱۹/۱۰)  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استادارهنما	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر فردین موسیوند	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر محمود صادقیان	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامعباس کاظمی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر هادی جعفری	استادیار	

تأیید رئیس دانشکده:

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

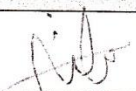
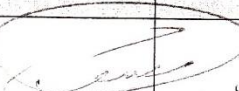
گروه : آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی


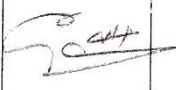

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان درویش پور

تحت عنوان: ارزیابی خصوصیات هیدرژئولوژیکی منطقه کوه سوخته-جهان بین (استان

چهارمحال و بختیاری)

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مورد ارزیابی و با درجه عالی ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر فریدین موسیوند		نام و نام خانوادگی: دکتر غلامحسین کرمی

امضاء	نمایندة تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: دکتر محمود صادقیان		نام و نام خانوادگی: دکتر غلامعباس کاظمی
			نام و نام خانوادگی: دکتر هادی جعفری



به نام یگانه هستی بخش عالم و خالق تمام زیبایی ها

تقدیم به آنکه جهان در انتظار اوست

تقدیم با آنکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان

برایم همه مهر

تقدیم به مهربان ترین پدر و تقدیم به صورت ترین مادر

آنکه توانشان رفت تا به توان برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید باند

آمان که راستی قائم در سنگینی قاتلان بقاء یافت

## تقدیر و تشکر

### هر آنکه خلق را سپاس نکرد بی شک رب یگانه را شکر به جای نیاورده است

خالق یگانه را سپاسگزارم که مرا یاری نمود تا تحقیق حاضر را به سرانجام برسانم. بی شک حمایت حق تعالی بود که مهر دوستان را به سوی بنده حقیر معطوف داشت. بنابراین به رسم من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق، برخورد بایسته دانسته تا از مهربانی‌های یاری دهندگان در انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر شایسته را صمیمانه ابزار دارم. بنابراین، در ابتدا از پدر و مادر خویش که، همواره مشوق و مشاور مناسبی در تمامی مراحل زندگی‌ام بوده‌اند کمال سپاسگزاری را دارم. هر چند جبران این قطره از دریای لایزال عطوفت الهی که در سینه والدین به ودیعه نهاده شده است، ناممکن می‌نماید و از خانواده عزیزم به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان نسبت به بنده کمال تشکر را دارم. همچنین برخورد لازم می‌دانم تا از راهنمایی‌های استاد گرانقدر خود جناب آقای دکتر غلام‌حسین کرمی و استاد مشاور دکتر فردین موسیوند که هدایت تحقیق حاضر را تا به ثمر نشستن بر عهده داشته‌اند و همچنین از جناب دکتر عزیزالله طاهری نیز که در مراحل انجام تحقیق کمک‌های بی‌دریغی به بنده داشته‌اند نهایت قدردانی و تشکر را داشته باشم. چه اگر هدایت بزرگوارانه ایشان نبود راه به بی‌راهه منتهی می‌گشت. از تمامی اساتید دانشکده که به نوعی افتخار شاگردی در محضرشان را داشته‌ام از جمله آقایان دکتر کاظمی، دکتر حافظی مقدس، دکتر رضانی، دکتر جعفری، و همچنین کارکنان دانشکده علوم زمین آقایان مهندس میرباقری، خانعلی‌زاده و سرکار خانم‌ها سعیدی و فارسی کمال تقدیر و تشکر را دارم. همچنین از برادر عزیزم آقای صادق درویش‌پور که اگر کمک‌های بی‌دریغ ایشان در مطالعات صحرائی نبود، هرگز نتایج حاصله محصول نمی‌گشت. همچنین از دوستان بزرگوارم آقایان مهندس میرزاوند، واردی، افروغ، قاسمی، شمسی، درستکار و سرکار خانم مهندس داودی‌فرد نهایت سپاسگزاری و تشکر را دارم.

احسان درویش‌پور

بهمن ۱۳۹۰

## تعهد نامه

اینجانب احسان درویش پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی خصوصیات هیدرژئولوژیکی منطقه کوه سوخته-جهان بین (استان چهارمحال و بختیاری) تحت راهنمایی دکتر غلامحسین کرمی متعهد می شوم .

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

تاریخ  
۹۰/۱۱/۲۶

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

## چکیده

اکثر تونل‌ها بخصوص تونل‌های انتقال آب در بخش‌هایی از مسیرشان در زیر سطح آب زیرزمینی حفاری می‌شوند. در شرایطی که نفوذپذیری سنگ‌های میزبان تونل پایین باشد، میزان آب ورودی به داخل تونل کم بوده و مشکلات هیدروژئولوژیکی برای آبخوان‌های اطراف تونل کم خواهد بود. در صورتیکه سنگ میزبان تونل دارای تراوایی بالایی باشد، با حفاری تونل حجم زیادی از آب وارد فضای حفاری شده و این باعث پایین افتادن سطح آب زیرزمینی منطقه و در نتیجه تغییر در آبدهی منابع آب زیرزمینی منطقه عبور تونل می‌شود. همه مناطقی که تونل در زیر سطح آب زیرزمینی حفاری می‌شود، دارای پتانسیل هجوم حجم زیادی از آب به طور ناگهانی به داخل فضای حفاری نیستند. این پتانسیل در نقاطی وجود دارد که نفوذپذیری توده سنگ بالا باشد. این حالت در پهنه‌های گسلی نفوذپذیر و افق‌های کارستی اتفاق می‌افتد. منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه و تعیین ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های سطحی و عمیق (ناحیه عبور تونل) در ابتدا آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه جمع‌آوری شد. به جهت مطالعات ساختاری کارهای صحرایی انجام شد. برای این منظور با توجه به برداشت‌های صحرایی در ایستگاه‌های مختلف وضعیت درزه‌ها و شکستگی‌ها در منطقه تعیین شد. با بررسی گمانه‌های اکتشافی حفر شده در مسیر، وضعیت سنگ‌شناسی و ترتیب قرارگیری واحدهای چینه‌شناسی منطقه نیز تعیین گردید. بر اساس نتایج هیدروژئوشیمیایی بدست آمده از گمانه‌ها و منابع زیرزمینی منطقه، منشاء آب‌های زیرزمینی مشخص شده است. با توجه به سنگ‌شناسی در قسمت‌های مختلف مسیر و همچنین با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایش‌های لوژان و پمپاژ، نفوذپذیری هر بخش مشخص شده است. علاوه بر تعیین وضعیت چینه‌شناسی در منطقه، با اطلاعات گمانه‌ها در اعماق مختلف تراوایی بررسی شده است. در مطالعات هیدروژئولوژیکی با توجه به پیزومترهای موجود در منطقه جهت عمومی جریان آب‌های زیرزمینی نیز تعیین شده و نقشه هم‌پتانسیل منطقه نیز ترسیم شده است. با توجه به مشخص شدن واحدهای سنگی و سازندهای مختلف منطقه، و میزان نفوذپذیری آنها و تفسیر عوامل ساختاری، مناطق بحرانی از نظر هجوم آب زیرزمینی و ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های سطحی و مناطق اطراف مسیر عبور تونل مشخص شده است. در کل، منطقه مورد مطالعه به ۷ پهنه (۳) آبخوان کارستی و ۴ آبخوان آبرفتی) تقسیم‌بندی شده است. نتیجه این مطالعات نشان می‌دهد که در نقاطی مانند پهنه‌های گسلی و افق‌های کارستی نسبت به مناطق آبرفتی و با نفوذپذیری پایین، توده سنگ نفوذپذیری بالایی داشته و احتمال هجوم مقادیر زیاد آب زیرزمینی به سمت تونل بیشتر است. این مطالعات نشان می‌دهند در آبخوان‌های کارستی با توجه به نفوذپذیری زیاد و یکی بودن منبع تغذیه منابع زیرزمینی سطحی و عمیق تر و همچنین با توجه به وجود تعداد زیاد شکستگی و پهنه‌های خرد شده در این قسمت‌ها احتمال ارتباط هیدرولیکی بین دو بخش سطحی و عمیق زیاد بوده، در حالی که در سایر مناطق با توجه به نفوذپذیری کم و متفاوت بودن ترکیب شیمیایی آب، احتمال مجزا بودن منبع تغذیه آنها زیاد است.

**کلمات کلیدی:** سفره‌های کارستی و آبرفتی، نفوذپذیری، تونل، هیدروژئولوژیکی، گمانه‌ها، ارتباط، گسل

## مقالات مستخرج از این پایان نامه:

۱- بررسی توأم هیدروژنوشیمی و لیتولوژی در مسیر تونل بهشت آباد، هفتمین

کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۰

۲- بررسی هیدروژنولوژیکی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری،

پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، آذرماه ۱۳۹۰

۳- ارزیابی خصوصیات هیدروژنولوژیکی منطقه کوه سوخته - جهان‌بین با

استفاده از گمانه‌های اکتشافی و توالی‌های چینه‌شناسی، سی‌امین گردهمائی علوم

زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران، اسفندماه ۱۳۹۰

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسأله ..... ۱
- ۲-۱- هدف مطالعه ..... ۱
- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه ..... ۳
- ۱-۴-۱- معادله بارندگی منطقه مورد مطالعه ..... ۵
- ۵-۱- زمین ریخت‌شناسی منطقه ..... ۷
- ۶-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۷
- ۱-۶-۱- سازندهای پهنه زاگرس مرتفع در منطقه ..... ۹
- ۱-۶-۱-۱- سازند آهکی معادل سروک ..... ۹
- ۱-۶-۱-۲- سازند کنگلومرانی معادل کشکان ..... ۹
- ۱-۶-۱-۳- سازند آهکی معادل چهارم- آسماری ..... ۱۰
- ۱-۶-۱-۴- سازند آهکی معادل بخش بالایی آسماری ..... ۱۰
- ۱-۶-۱-۵- سازند کنگلومرانی معادل بختیاری ..... ۱۰
- ۱-۶-۱-۲- واحدهای سنگی پهنه سندنج- سیرجان در منطقه ..... ۱۱
- ۱-۶-۱-۲-۱- واحدهای کربناته کرتاسه ..... ۱۱
- ۱-۶-۱-۲-۲- واحدهای کنگلومرانی ائوسن ..... ۱۱
- ۱-۶-۱-۳- نهشته‌های عهد حاضر ..... ۱۲
- ۷-۱- ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه ..... ۱۴
- ۱-۷-۱- چین‌خوردگی‌ها ..... ۱۴
- ۱-۷-۱-۱- تاقدیس سوخته ..... ۱۴
- ۱-۷-۱-۲- تاقدیس هزارگزی ..... ۱۴
- ۱-۷-۱-۳- ناودیس هزارگزی ..... ۱۵
- ۱-۷-۱-۴- ناودیس کوه شیخ ..... ۱۵
- ۱-۷-۲- گسل‌ها ..... ۱۵
- ۱-۷-۲-۱- گسل اردل ..... ۱۶

- ۱۶-۷-۲-۲- گسل‌های هزارگری.....
- ۱۶-۷-۲-۳- گسل اصلی زاگرس.....
- ۱۷-۸- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه.....
- ۱۸-۹- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه.....
- ۲۰-۱۰- موقعیت گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه.....

### فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده

- ۲۱-۱-۲- مقدمه.....
- ۲۲-۲-۲- ورود آب زیرزمینی به تونل‌های احداث شده در مناطق کارستی.....
- ۲۵-۳-۲- عوامل ساختاری مؤثر در جریان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل.....
- ۲۶-۱-۳-۲- تأثیرات پهنه‌های خرد شده بر جریان آب‌های زیرزمینی.....
- ۲۶-۲-۳-۲- تأثیرات چین‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی.....
- ۲۹-۳-۳-۲- تأثیرات گسل‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی.....
- ۳۴-۴-۳-۲- تأثیرات درزه‌ها و شکستگی‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی.....
- ۳۶-۵-۳-۲- تأثیرات وضعیت پوشش گیاهی بر جریان آب‌های زیرزمینی.....

### فصل سوم: روش انجام کار

- ۳۷-۱-۳- جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه مورد نظر.....
- ۳۸-۲-۳- بازدیدهای صحرایی.....
- ۳۹-۳-۳- مطالعات زمین‌شناسی و ساختاری.....
- ۳۹-۱-۳-۳- ارزیابی سازندهای مختلف موجود در مسیر تونل.....
- ۴۰-۲-۳-۳- ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه.....
- ۴۰-۱-۲-۳-۳- ارزیابی وضعیت درزه‌ها و گسلش در منطقه.....
- ۴۱-الف- تحلیل گسل‌ها.....
- ۴۱-ب- تحلیل درزه‌ها.....
- ۴۱-۲-۲-۳-۳- ارزیابی وضعیت چین‌خوردگی‌ها و تهیه نقشه ساختاری منطقه.....
- ۴۲-۳-۳-۳- ارزیابی ویژگی‌های مربوط به نهشته‌های جوان.....
- ۴۲-۴-۳- بررسی گمانه‌های اکتشافی.....
- ۴۲-۱-۴-۳- ارزیابی نوع سنگ‌شناسی در نقاط مختلف مسیر.....
- ۴۳-۲-۴-۳- تعیین منشأ آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف مسیر.....

۴۳	.....	۳-۴-۳- ارزیابی نتایج آزمایش لوژان
۴۳	.....	۳-۴-۴- تطابق گمانه‌ها در منطقه مورد مطالعه
۴۴	.....	۳-۵-۵- مطالعات هیدروژئولوژیکی منطقه
۴۴	.....	۳-۵-۱- ارزیابی وضعیت تراوایی واحدهای سنگی مختلف در مسیر
۴۴	.....	۳-۵-۲- تهیه نقشه هم‌پتانسیل و تعیین مسیر عمومی جریان آب زیرزمینی
۴۵	.....	۳-۵-۳- ترسیم هیدروگراف جهت بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی در منطقه
۴۵	.....	۳-۶- ارزیابی احتمال ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های کم عمق و عمیق
<b>فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس توالی چینه‌شناسی</b>		
۴۷	.....	۴-۱- مقدمه
۴۷	.....	۴-۲- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۵۰	.....	۴-۳- مشخصات گمانه‌ها
۵۰	.....	۴-۴- تطابق گمانه‌ها
۵۱	.....	۴-۴-۱- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>10</sub>
۵۱	.....	۴-۴-۲- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>11</sub>
۵۲	.....	۴-۴-۳- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>12</sub>
۵۲	.....	۴-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>13</sub>
۵۲	.....	۴-۴-۵- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>14</sub>
۵۳	.....	۴-۴-۶- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>15</sub>
۵۳	.....	۴-۴-۷- بررسی لیتولوژیکی گمانه TB <sub>15</sub>
۵۳	.....	۴-۴-۸- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>16</sub>
۵۴	.....	۴-۴-۹- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>17</sub>
۵۴	.....	۴-۴-۱۰- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>18</sub>
۵۴	.....	۴-۴-۱۱- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH <sub>19</sub>
۵۵	.....	۴-۴-۱۲- نتایج ارتباط هیدروژئولوژیکی بین گمانه‌ها
۵۵	.....	۴-۵- نیمرخ توپوگرافی مسیر
۵۷	.....	۴-۶- نیمرخ زمین‌شناسی مسیر
۵۸	.....	۴-۷- مقاطع میکروسکوپی از منطقه مورد مطالعه
۵۹	.....	۴-۸- ارزیابی تراوایی آبخوان‌ها



۶۰.....	۴-۸-۱- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه سوخته.....
۶۱.....	۴-۸-۲- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه هزارگزی.....
۶۲.....	۴-۸-۳- ارزیابی تراوایی آبخوان سلم.....
۶۲.....	۴-۸-۴- ارزیابی تراوایی آبخوان شلمزار.....
۶۳.....	۴-۸-۵- ارزیابی تراوایی آبخوان کیار.....
۶۴.....	۴-۸-۶- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه جهان بین.....
۶۵.....	۴-۸-۷- ارزیابی تراوایی آبخوان تنگ خراجی.....

### فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری منطقه

۶۶.....	۵-۱- مقدمه.....
۶۶.....	۵-۲- مطالعات اکتشافی دشت شلمزار.....
۶۷.....	۵-۲-۱- بررسی زیر سطحی دشت شلمزار.....
۶۷.....	۵-۲-۱-۱- شکل و جنس سنگ کف آبخوان.....
۶۷.....	۵-۲-۱-۲- نوع و ضخامت آبخوان.....
۶۸.....	۵-۳- ارزیابی ضرایب هیدرودینامیکی منطقه در مقیاس بزرگ تر.....
۶۹.....	۵-۳-۱- مقادیر قابلیت انتقال.....
۷۰.....	۵-۳-۲- مقادیر ضریب ذخیره.....
۷۱.....	۵-۴- عمق برخورد به آب در منطقه مورد مطالعه.....
۷۳.....	۵-۵- بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه.....
۷۳.....	۵-۵-۱- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی.....
۷۵.....	۵-۵-۲- محاسبه شیب هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه.....
۷۷.....	۵-۶- ارزیابی موقعیت مسیر تونل نسبت به تراز آب زیرزمینی.....
۷۷.....	۵-۷- تفسیر آبخوان‌های مسیر تونل.....
۷۸.....	۵-۷-۱- آبخوان کارستی کوه سوخته.....
۷۹.....	۵-۷-۱-۱- منابع آب زیرزمینی.....
۷۹.....	۵-۷-۱-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان.....
۷۹.....	۵-۷-۱-۳- تحلیل داده‌های ساختاری.....
۸۲.....	۵-۷-۱-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان.....
۸۵.....	۵-۷-۱-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی.....

- ۸۶ ..... ۲-۷-۵- آبخوان کارستی کوه هزارگری
- ۸۶ ..... ۱-۲-۷-۵- منابع آب زیرزمینی
- ۸۶ ..... ۲-۲-۷-۵- بررسی نتایج آزمایش لوژان
- ۸۷ ..... ۳-۲-۷-۵- تحلیل داده‌های ساختاری
- ۹۰ ..... ۴-۲-۷-۵- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان
- ۹۲ ..... ۵-۲-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی
- ۹۲ ..... ۳-۷-۵- آبخوان آبرفتی سلم
- ۹۳ ..... ۱-۳-۷-۵- منابع آب زیرزمینی
- ۹۳ ..... ۲-۳-۷-۵- بررسی نتایج آزمایش لوژان
- ۹۴ ..... ۳-۳-۷-۵- تحلیل داده‌های ساختاری
- ۹۴ ..... ۴-۳-۷-۵- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان
- ۹۶ ..... ۵-۳-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی
- ۹۶ ..... ۴-۷-۵- آبخوان آبرفتی شلمزار
- ۹۷ ..... ۱-۴-۷-۵- منابع آب زیرزمینی
- ۹۷ ..... ۲-۴-۷-۵- بررسی نتایج آزمایش لوژان
- ۹۷ ..... ۳-۴-۷-۵- تحلیل داده‌های ساختاری
- ۹۸ ..... ۴-۴-۷-۵- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان
- ۱۰۰ ..... ۵-۴-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی
- ۱۰۱ ..... ۵-۷-۵- آبخوان آبرفتی کیار
- ۱۰۱ ..... ۱-۵-۷-۵- منابع آب زیرزمینی
- ۱۰۲ ..... ۲-۵-۷-۵- بررسی نتایج آزمایش لوژان
- ۱۰۲ ..... ۳-۵-۷-۵- تحلیل داده‌های ساختاری
- ۱۰۲ ..... ۴-۵-۷-۵- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان
- ۱۰۴ ..... ۵-۵-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی
- ۱۰۵ ..... ۶-۷-۵- آبخوان کارستی کوه جهان‌بین
- ۱۰۵ ..... ۱-۶-۷-۵- منابع آب زیرزمینی
- ۱۰۶ ..... ۲-۶-۷-۵- بررسی نتایج آزمایش لوژان
- ۱۰۶ ..... ۳-۶-۷-۵- تحلیل داده‌های ساختاری

- ۱۰۹-۷-۶-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان ..... ۱۰۹
- ۱۱۱-۷-۶-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی ..... ۱۱۱
- ۱۱۲-۷-۷-۵- آبخوان آبرفتی تنگ خراجی ..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۷-۷-۱- منابع آب زیرزمینی ..... ۱۱۲
- ۱۱۳-۷-۷-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان ..... ۱۱۳
- ۱۱۳-۷-۷-۳- تحلیل داده‌های ساختاری ..... ۱۱۳
- ۱۱۳-۷-۷-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان ..... ۱۱۳
- ۱۱۵-۷-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی ..... ۱۱۵
- ۱۱۶-۸- مطالعه و تحلیل ساختاری شکستگی‌ها در کل منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۶
- ۱۱۹-۹- بیان آب زیرزمینی ..... ۱۱۹

### فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۱۲۲-۱- مقدمه ..... ۱۲۲
- ۱۲۲-۲- تجزیه و تحلیل نهایی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها ..... ۱۲۲
- ۱۲۳-۱-۲-۶- بخش اول مسیر ..... ۱۲۳
- ۱۲۴-۲-۲-۶- بخش دوم مسیر ..... ۱۲۴
- ۱۲۵-۳-۲-۶- بخش سوم مسیر ..... ۱۲۵
- ۱۲۶-۴-۲-۶- بخش چهارم مسیر ..... ۱۲۶
- ۱۲۶-۵-۲-۶- بخش پنجم مسیر ..... ۱۲۶
- ۱۲۷-۶-۲-۶- بخش ششم مسیر ..... ۱۲۷
- ۱۲۸-۷-۲-۶- بخش هفتم مسیر ..... ۱۲۸
- ۱۲۸-۳- جمع‌بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ هیدروژئولوژیکی ..... ۱۲۸
- ۱۲۹-۱-۳-۶- نتیجه‌گیری ..... ۱۲۹
- ۱۳۲-۴-۶- پیشنهادها ..... ۱۳۲
- ۱۳۴- منابع فارسی ..... ۱۳۴
- ۱۳۶- منابع انگلیسی ..... ۱۳۶

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت بخش ابتدایی مسیر تونل انتقال آب بهشت‌آباد به زاینده‌رود ..... ۲
- شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن ..... ۳
- شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاههای بارندگی در منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- شکل ۴-۱- نقشه توپوگرافی منطقه ..... ۸
- شکل ۵-۱- تقسیم‌بندی ساختاری ایران ..... ۸
- شکل ۶-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۳
- شکل ۷-۱- نقشه زمین‌شناسی ساختاری اولیه منطقه ..... ۱۷
- شکل ۸-۱- نقشه زهکشی کلی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۸
- شکل ۹-۱- نقشه هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۹
- شکل ۱-۲- ارتباط بین چین‌ها و جریان‌های سطحی و زیرزمینی در سیستم کارستی ..... ۲۷
- شکل ۲-۲- موقعیت تونل در تاقدیس و ناودیس ..... ۲۸
- شکل ۳-۲- حرکت آب به طرف تونل در تاقدیس و ناودیس ..... ۲۸
- شکل ۴-۲- مسیر تونل عمود بر محور چین ..... ۲۹
- شکل ۱-۳- موقعیت و محل گمانه‌ها در بخشی از مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه ..... ۴۶
- شکل ۱-۴- ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه زگراس مرتفع ..... ۴۸
- شکل ۲-۴- ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه سندنج-سیرجان ..... ۴۸
- شکل ۳-۴- برونزد واحدهای مختلف سنگی در محدوده مورد مطالعه ..... ۴۹
- شکل ۴-۴- ستون سنگ‌شناسی گمانه‌ها در منطقه در مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه ..... ۵۶
- شکل ۵-۴- نیمرخ توپوگرافی محدوده کوه سوخته و هزارگری تا دشت شلمزار ..... ۵۶
- شکل ۶-۴- نیمرخ توپوگرافی محدوده کوه جهان‌بین ..... ۵۷
- شکل ۷-۴- نیمرخ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۵۷
- شکل ۸-۴- مقطع میکروسکوپی از آهک‌های معادل سازند سروک ..... ۵۸
- شکل ۹-۴- ستون چینه‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان کوه سوخته ..... ۶۰
- شکل ۱۰-۴- درز و شکاف‌ها در آهک‌های معادل سازند سروک در کوه سوخته ..... ۶۰
- شکل ۱۱-۴- درز و شکاف در آهک‌های معادل سازند چهارم-آسماری در کوه هزارگری ..... ۶۱
- شکل ۱۲-۴- ستون چینه‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان کوه هزارگری ..... ۶۲

- شکل ۴-۱۳- ستون چین‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان سلم ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۴- ستون چین‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان شلمزار ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۵- ستون چین‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان کیار ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۶- ستون چین‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان کوه جهان‌بین ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۷- درز و شکاف‌های آهک‌های معادل سازند سروک در کوه جهان‌بین ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۸- ستون چین‌شناسی ترسیم شده برای آبخوان تنگ‌خراچی ..... ۶۵
- شکل ۵-۱- نقشه هم‌ضخامت دشت شلمزار ..... ۶۸
- شکل ۵-۲- مقادیر قابلیت انتقال بر روی نقشه زمین‌شناسی ..... ۶۹
- شکل ۵-۳- مقادیر ضریب ذخیره بر روی نقشه زمین‌شناسی ..... ۷۱
- شکل ۵-۴- نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی در اسفند ماه ۱۳۸۹ ..... ۷۳
- شکل ۵-۵- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در اسفند ۱۳۸۹ ..... ۷۶
- شکل ۵-۶- تغییرات شیب هیدرولیکی در بخش‌های مختلف دشت شلمزار ..... ۷۶
- شکل ۵-۷- نمودار گل‌سرخ‌ی ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تاقدیس کوه سوخته ..... ۸۱
- شکل ۵-۸- آهک‌های خرد شده و توده‌ای مربوط به سازند سروک در کوه سوخته ..... ۸۱
- شکل ۵-۹- نمایی از تاقدیس کوه سوخته ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۰- نمودار پایپر آبخوان کوه سوخته ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۱- نمودار استیف آبخوان کوه سوخته ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۲- نمودار تغییرات دبی چشمه باغ رستم در سال آبی ۸۹-۸۸ ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۳- نمودار گل‌سرخ‌ی ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تاقدیس کوه هزارگری ..... ۸۷
- شکل ۵-۱۴- نمایی از گسل در مرز واحدهای سنگی جهرم- آسماری و آسماری ..... ۸۹
- شکل ۵-۱۵- نمودار گل‌سرخ‌ی گسل کوه هزارگری در منطقه مورد مطالعه ..... ۸۹
- شکل ۵-۱۶- نمودار پایپر آبخوان کوه هزارگری ..... ۹۱
- شکل ۵-۱۷- نمودار استیف آبخوان کوه هزارگری ..... ۹۱
- شکل ۵-۱۸- نمودار تغییرات دبی چشمه دریاچه شلمزار در سال آبی ۸۹-۸۸ ..... ۹۲
- شکل ۵-۱۹- نمودار پایپر آبخوان سلم ..... ۹۵
- شکل ۵-۲۰- نمودار استیف آبخوان سلم ..... ۹۵
- شکل ۵-۲۱- هیدروگراف پیرومتر سلم ..... ۹۶
- شکل ۵-۲۲- نمودار پایپر آبخوان شلمزار ..... ۹۹

- شکل ۵-۲۳- نمودار استیف آبخوان شلمزار..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۴- هیدروگراف پیزومتر امیرآباد..... ۱۰۱
- شکل ۵-۲۵- نمودار پایپر آبخوان کیار..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۶- نمودار استیف آبخوان کیار..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۷- هیدروگراف پیزومتر تشنیز..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۸- نمودار گل سرخی ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تاقدیس کوه جهان‌بین..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۹- نمودار گل سرخی تهیه شده از گسل اردل و گسل زاگرس در منطقه..... ۱۰۸
- شکل ۵-۳۰- نمایی از گسل اصلی زاگرس در کوه جهان‌بین..... ۱۰۹
- شکل ۵-۳۱- نمودار پایپر آبخوان کوه جهان‌بین..... ۱۱۰
- شکل ۵-۳۲- نمودار استیف آبخوان کوه جهان‌بین..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۳- نمودار تغییرات دبی چشمه سراب در سال آبی ۸۸-۸۹..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳۴- نمودار پایپر آبخوان تنگ خراجی..... ۱۱۴
- شکل ۵-۳۵- نمودار استیف آبخوان تنگ خراجی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۶- هیدروگراف پیزومتر تنگ خراجی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۷- نمایی از نمودارهای گل سرخی تهیه شده در ایستگاه‌های تعیین شده در منطقه..... ۱۱۸
- شکل ۵-۳۸- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه..... ۱۱۸
- شکل ۵-۳۹- موقعیت ساختارهای اصلی منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای IRS..... ۱۱۹

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های مختلف منطقه..... ۴
- جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ..... ۵
- جدول ۱-۳- مشخصات ایستگاه‌های بارندگی موجود در منطقه مورد مطالعه..... ۶
- جدول ۱-۴- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های مهم منطقه در مسیر تونل ..... ۲۰
- جدول ۱-۵- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه ..... ۲۰
- جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌های حفر شده در بخشی از مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه ..... ۵۱
- جدول ۱-۵- نتایج آزمایش پمپاژ در منطقه مورد مطالعه ..... ۶۹
- جدول ۲-۵- عمق برخورد به آب در پی‌زومترهای دشت شلمزار (اسفندماه ۱۳۸۹)..... ۷۲
- جدول ۳-۵- ارتفاع مطلق سطح آب در پی‌زومترهای دشت شلمزار..... ۷۴
- جدول ۴-۵- آبخوان‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه..... ۷۸
- جدول ۵-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان کوه سوخته ..... ۸۳
- جدول ۶-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان کوه هزارگری ..... ۹۰
- جدول ۷-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان سلم ..... ۹۴
- جدول ۸-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان شلمزار..... ۹۹
- جدول ۹-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان کیار..... ۱۰۳
- جدول ۱۰-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان کوه جهان‌بین ..... ۱۱۰
- جدول ۱۱-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی منطقه در آبخوان خراجی ..... ۱۱۳
- جدول ۱۲-۵- مقادیر پارامترهای بیلان سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴..... ۱۲۱

## فصل اول: مقدمه

### ۱-۱- بیان مسئله

تونل‌هایی که در زیر سطح ایستابی احداث شده و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند، باعث بروز مشکلات و معضلاتی برای منطقه مسیر عبور خود خواهند شد. از جمله این مشکلات می‌توان به تغییر در رژیم ذخیره آب‌های زیرزمینی، خشک شدن چشمه‌های تأمین کننده آب شرب و کشاورزی، تغییر در دبی رودخانه‌های مجاور و مسائلی از این قبیل اشاره کرد. در منطقه بهشت‌آباد، استان چهارمحال و بختیاری طرح اجرای تونل زیرزمینی بهشت‌آباد برنامه‌ریزی شده است. به سبب انجام مراحل اجرایی آن، آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی می‌تواند به داخل تونل زهکش شده، و باعث ایجاد مشکلاتی برای آبخوان‌های مسیر عبور تونل شوند. به منظور مدیریت مسئله انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی قبل از احداث چنین طرح‌هایی ضروری است.

### ۱-۲- هدف مطالعه

با توجه به این که قرار است تونل بزرگی برای انتقال آب از منطقه بهشت‌آباد از توابع شهرستان اردل در استان چهارمحال و بختیاری به رودخانه زاینده‌رود احداث شود، هدف اصلی این تحقیق ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی بخشی از مسیر (منطقه کوه سوخته-جهان‌بین) می‌باشد.

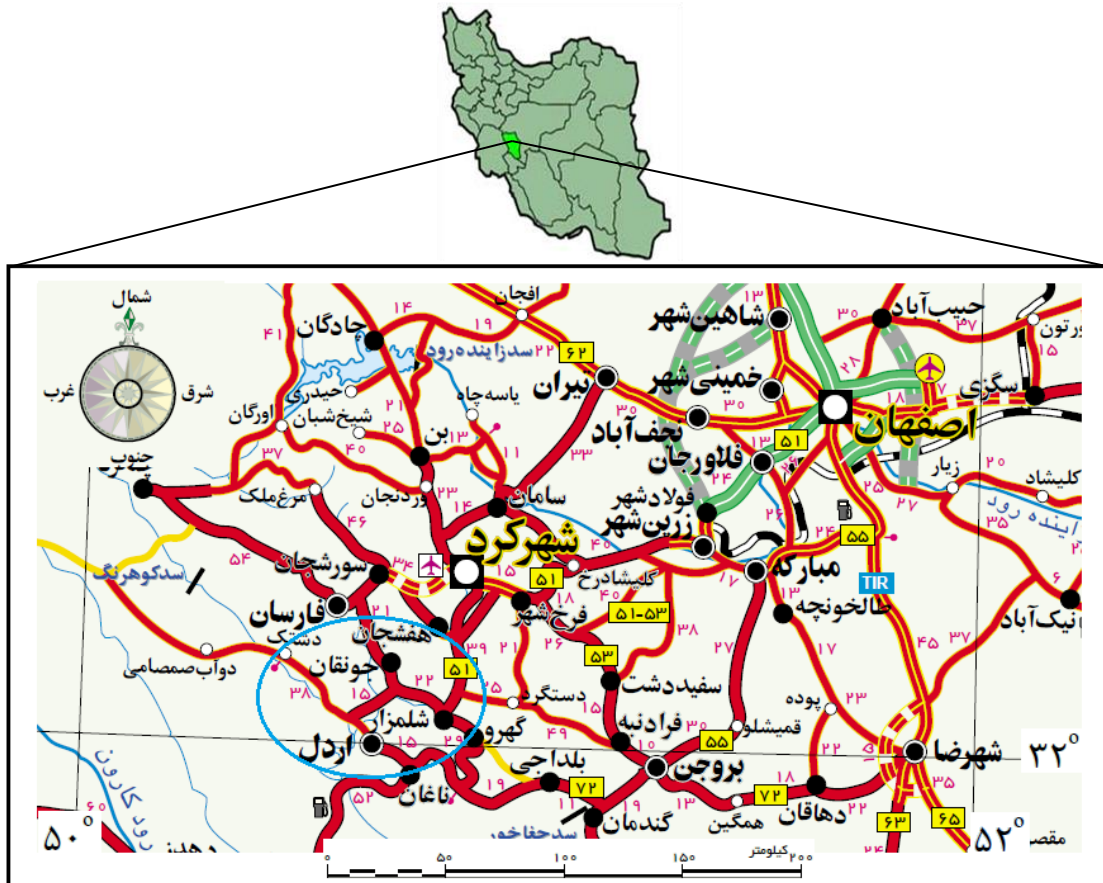


## ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محل احداث تونل انتقال آب بهشت‌آباد در استان چهارمحال و بختیاری در نزدیکی روستای بهشت‌آباد از توابع شهرستان اردل خواهد بود. مختصات جغرافیایی ورودی تونل ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی می‌باشد، و در ارتفاع ۱۷۱۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. نقطه خروجی تونل در استان اصفهان و در بالا دست سد چم‌آسمان و با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه طول شمالی و ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شرقی می‌باشد، و در ارتفاع ۱۷۲۱ متر از سطح دریا قرار گرفته است (گزارش سیمای طرح شرکت زاینده‌آب اصفهان ۱۳۸۷). موقعیت جغرافیایی منطقه تقریباً از ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۸ دقیقه طول شمالی گسترش دارد. شکل (۱-۱) موقعیت عبور تونل و شکل (۲-۱) راههای دسترسی به آن، در منطقه مورد مطالعه را نشان داده است.



شکل ۱-۱- موقعیت بخش ابتدایی مسیر تونل انتقال آب بهشت‌آباد به زاینده‌رود بصورت خطوط سفید رنگ (برگرفته از Google Earth)



شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی به آن (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ راههای ایران)

#### ۱-۴- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به لحاظ وسعت منطقه مورد مطالعه، جهت بررسی اقلیم منطقه مورد نظر از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک و اقلیم‌شناسی ایستگاه‌های رستم‌آباد، شلمزار، شهرکرد و فرخ‌شهر استفاده شده است جدول (۱-۱). بر اساس دوره آماری ۱۰ ساله برای ایستگاه رستم‌آباد، متوسط ماهانه بارندگی بین ۰ تا ۱۴۵/۸ میلیمتر در سال متغیر است، که این مقادیر به ترتیب مربوط به ماههای تیر، مرداد و آذر می‌باشد. همچنین مقدار متوسط بارندگی ماهانه برای ایستگاه شلمزار در یک دوره آماری ۱۰ ساله بین ۰ تا ۱۱۶/۳ میلیمتر در سال متغیر است، که این مقادیر به ترتیب مربوط به ماههای تیر، مرداد و بهمن می‌باشد. مقدار بارندگی ماهانه برای ایستگاه شهرکرد در یک دوره آماری ۱۰ ساله بین ۰ تا ۶۵ میلیمتر در سال متغیر است، که این مقادیر مربوط به ماههای مرداد و آذر می‌باشد. متوسط

بارندگی برای ایستگاه فرخشهر در یک دوره آماری ۱۰ ساله نیز بین ۰/۳ تا ۵۸/۵ میلیمتر در سال متغیر است، که این مقادیر مربوط به ماههای تیر، مرداد و آذر می‌باشد. بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در یک دوره آماری ۲۹ ساله برای متوسط دما از ۰/۸- تا ۲۲/۸ درجه سانتی‌گراد متغیر است. همچنین با توجه به جدول (۱-۱) متوسط دما ایستگاه‌های، رستم آباد و شلمزار در دسترس نمی‌باشد، ولی با استفاده از داده‌های ایستگاه اقلیم‌شناسی فرخشهر متوسط دما را در یک دوره آماری ۱۰ ساله نشان داده که از ۰/۸- تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد متغیر است.

جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های مختلف منطقه (سازمان هواشناسی چهارمحال و بختیاری ۱۳۸۹)

ایستگاه فرخشهر		ایستگاه شهرکرد		ایستگاه شلمزار		ایستگاه رستم آباد		ماه/سال
دما °C	بارندگی mm	دما °C	بارندگی mm	دما °C	بارندگی mm	دما °C	بارندگی mm	
۹/۷	۴۸/۸	۸/۸	۵۸/۷	-	۹۰/۴	-	۹۷/۲	فروردین
۱۴/۵	۲۰/۵	۱۳/۹	۱۶/۸	-	۲۸/۹	-	۳۳/۹	اردیبهشت
۱۹/۵	۳/۲	۱۸/۵	۲/۸	-	۱/۳	-	۱/۵	خرداد
۲۳/۷	۰/۳	۲۲/۸	۰/۱	-	۰/۰	-	۰/۰	تیر
۲۳/۰	۰/۳	۲۲/۸	۰/۰	-	۰/۰	-	۰/۰	مرداد
۲۰/۲	۰/۷	۱۹/۵	۰/۱	-	۱/۲	-	۰/۹	شهریور
۹/۲	۰/۳	۱۴/۱	۰/۳	-	۰/۸	-	۱	مهر
۸/۳۹	۳۵/۰	۸/۷	۳۸/۸	-	۶۷/۲	-	۵۸/۷	آبان
۳/۴	۵۸/۵	۳/۳	۶۵/۰	-	۱۰۵/۹	-	۱۴۵/۸	آذر
-۰/۸	۵۲/۹	-۰/۸	۵۰/۶	-	۸۹/۴	-	۱۰۵/۷	دی
۰/۸	۵۲/۲	-۰/۳	۵۹/۷	-	۱۱۶/۳	-	۱۳۵/۴	بهمن
۶/۴	۳۳/۵	۴/۶	۳۵/۱	-	۷۲	-	۷۵/۱	اسفند

بر اساس داده‌های جدول، میانگین درجه حرارت سالانه در ایستگاه‌های شهرکرد و فرخشهر به ترتیب برابر با ۱۱/۳ و ۱۲/۱ می‌باشد. همچنین مقادیر متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های رستم‌آباد، شلمزار، شهرکرد و فرخشهر به ترتیب برابر با ۶۷۶، ۵۶۲، ۳۲۲ و ۲۹۸ میلیمتر می‌باشد. برای تعیین اقلیم،

منطقه مورد مطالعه از روش پیشنهادی دمارتن (De Martonne) و بر اساس فرمول زیر استفاده شده است.

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

در فرمول فوق P متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر)، T دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و I شاخص خشکی می‌باشد. طبقه‌بندی دمارتن اقلیم را به شش نوع مختلف تقسیم نموده که در جدول (۲-۱) ارائه شده است.

جدول ۲-۱- طبقه بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۶)

اقلیم	محدوده شاخص خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۸/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آب و هوای نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای را شامل می‌شود.

#### ۱-۴-۱- معادله بارندگی منطقه مورد مطالعه

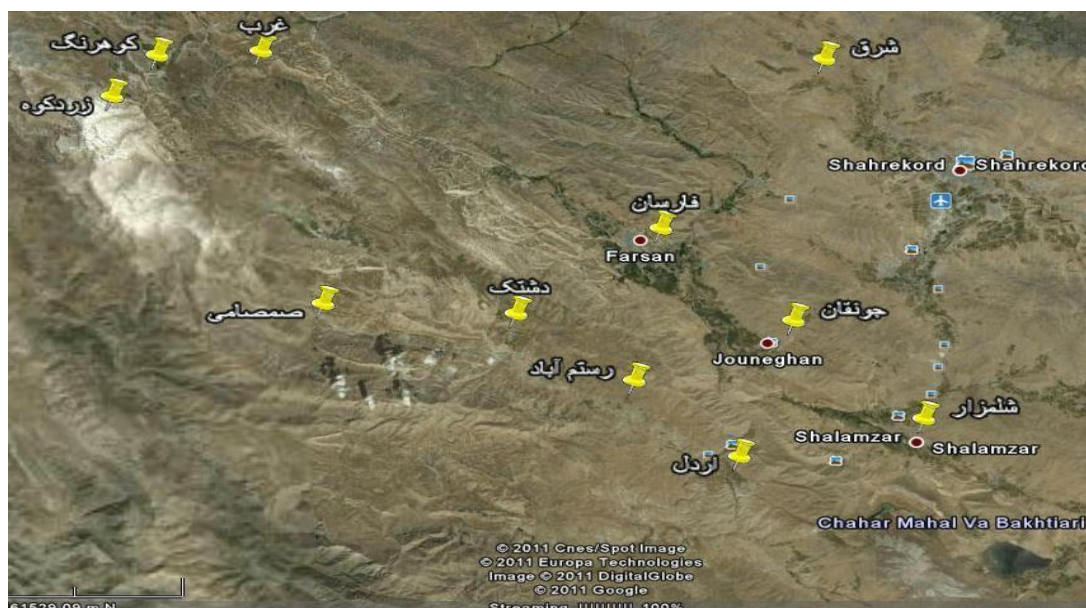
معادله بارندگی در منطقه مورد مطالعه از اطلاعات موجود ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است. برای این منظور دو پارامتری که در افزایش میزان بارندگی مؤثرند عبارتند از: فاصله شرقی- غربی (منظور از زردکوه بختیاری به سمت شرق) و ارتفاع هستند. برای این کار مقادیر بدست آمده از هر یک از این پارمترها را وارد نرم افزار SPSS کرده و مشخص شد، که مقدار بارندگی با ارتفاع رابطه مستقیم و با فاصله شرقی- غربی رابطه عکس دارد. رابطه‌ای که نرم افزار بدست آورده به صورت زیر است:

$$\text{Rainfall} = a \times R_{WE} + b \times Z \quad \longrightarrow \quad \text{Rainfall} = -12.9 \times R_{WE} + 0.5 \times Z$$

در مدل، ضریب  $a$  منفی و در حدود  $۱۲/۹-$  و  $R_{WE}$  فاصله شرقی- غربی بر حسب متر است،  $b$  نیز ضریب مثبت و در حدود  $۰/۵$  می باشد،  $Z$  نیز ارتفاع بر حسب متر است. در جدول (۳-۱) مقدار هر یک از پارامترها در ایستگاه‌های موجود در مسیر تونل آورده شده است. شکل (۳-۱) یک نمایی کلی موقعیت و وضعیت قرارگیری ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات ایستگاه‌های بارندگی منطقه (سازمان هواشناسی چهارمحال و بختیاری ۱۳۸۹)

نام ایستگاه	UTM		فاصله شرقی- غربی (km)	ارتفاع (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)
	Y	X			
شلمزار	۴۸۲۶۸۷	۳۵۴۶۷۶۹	۶۲	۲۳۰۰	۵۶۲
رستم آباد	۴۵۸۱۶۵	۳۵۵۱۳۳۹	۳۸	۱۸۸۲	۶۷۶
جونقان	۴۷۱۸۴۲	۳۵۵۸۰۰۳	۵۲	۲۰۶۵	۶۵۴
فارسان	۴۶۰۶۷۸	۳۵۶۸۸۱۲	۴۰	۲۲۵۰	۶۷۷
دشتک	۴۴۸۲۹۲	۳۵۵۹۲۶۰	۲۸	۲۰۶۰	۷۷۱
کوه‌رنگ	۴۱۸۱۲۶	۳۵۸۹۶۸۹	۲	۲۲۸۵	۱۴۴۲
اردل	۴۶۶۸۸۲	۳۵۴۲۵۶۹	۴۵	۱۸۵۰	۵۸۷
صمصامی	۴۳۱۹۸۵	۳۵۶۰۶۱۷	۱۲	۲۰۶۰	۹۳۹



شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های بارندگی در منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Google Earth)

## ۱-۵- زمین ریخت‌شناسی منطقه

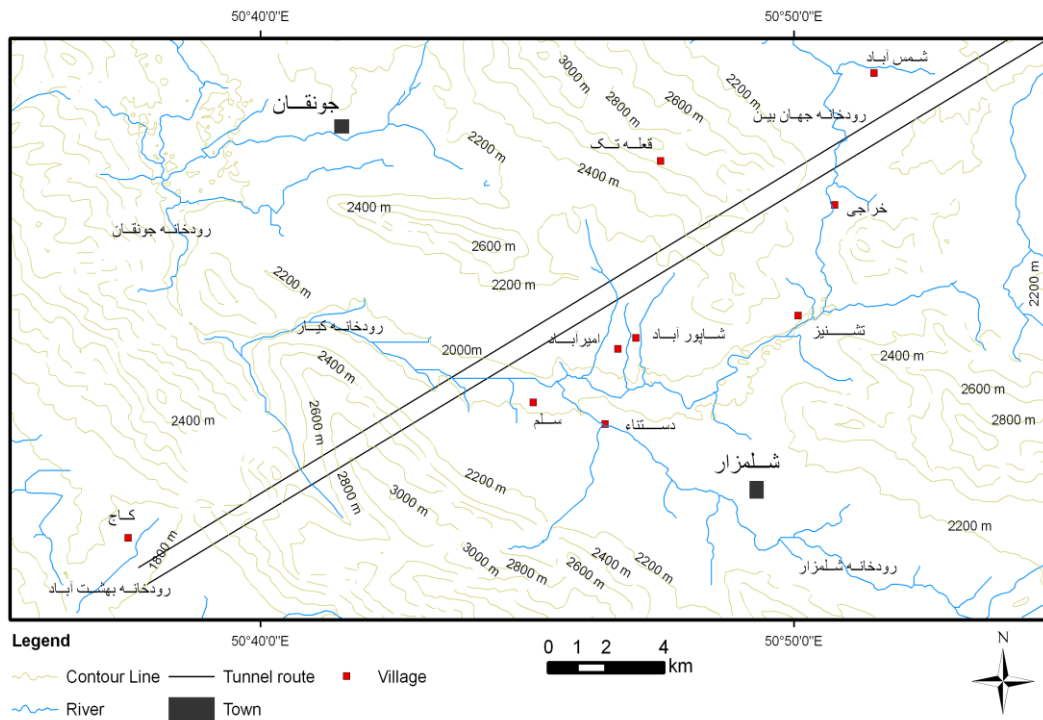
مسیر تونل انتقال آب بهشت‌آباد در محدوده مورد مطالعه از نظر زمین ریخت‌شناختی عمدتاً از مناطق کوهستانی بلند و دشت بین آنها عبور خواهد کرد. کمترین نقطه ارتفاعی در این محدوده در بخش ورودی تونل است. این نقطه در تنگ درکش‌ورکش در نزدیکی پل بهشت‌آباد است، که در ارتفاع ۱۶۸۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این در حالی است، که مرتفع‌ترین نقطه در مسیر تونل در کوه هزارگزی قرار گرفته و در ارتفاع ۳۱۲۷ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱-۴). بدین ترتیب بیشترین میزان اختلاف ارتفاع، در محدوده مورد مطالعه حدود ۱۴۴۲ متر می‌باشد. اغلب رویدادها و واحدهای زمین ریخت‌شناسی تحت تأثیر عامل اصلی به وجود آورنده رشته کوه‌های زاگرس، با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی شکل گرفته، که این روند تقریباً عمود بر مسیر تونل می‌باشد. کوه‌های مرتفع با دامنه‌های پر شیب و دشت‌های قرار گرفته میان آنها نشانه‌هایی از تنوع زمین ریختی منطقه هستند. عوامل ساختاری به عنوان عامل ایجاد کننده و فرسایش به عنوان عامل تغییر دهنده، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در ریخت‌شناسی منطقه هستند. مهم‌ترین عوامل ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه عبارتند از: کوه‌های سوخته، هزارگزی و جهان‌بین و همچنین دشت شلمزار است که در بین این مناطق کوهستانی تشکیل شده است.

## ۱-۶- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

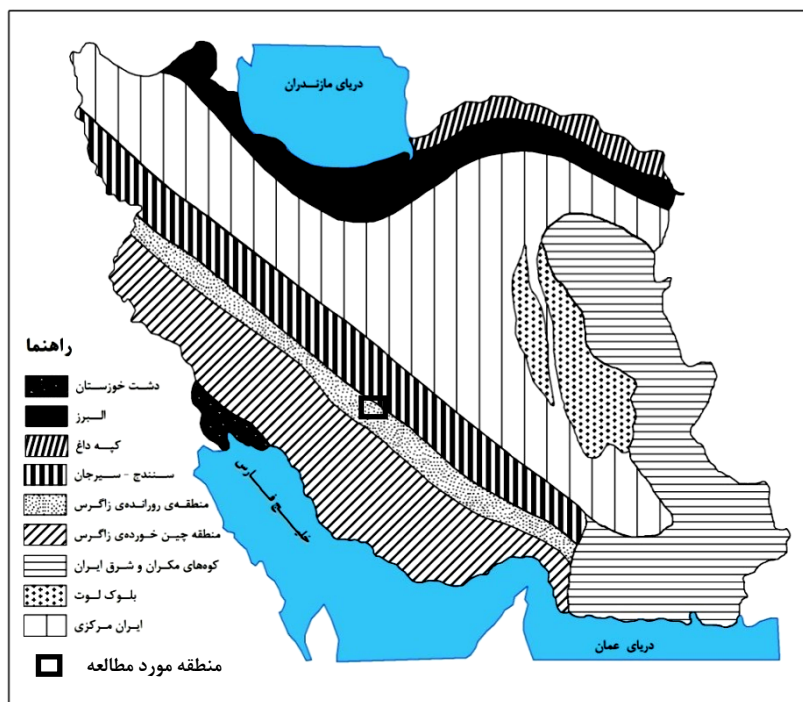
ناحیه مورد مطالعه در پهنه‌بندی زمین‌شناسی ایران، در پهنه زاگرس مرتفع و بخش کمی از آن نیز در پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. گسل اصلی زاگرس در اغلب تقسیمات انجام شده در زمین‌شناسی ایران به عنوان مرز بین پهنه سنندج- سیرجان و زاگرس مرتفع معرفی شده است. بدین ترتیب از ورودی تونل تا نزدیکی کوه جهان‌بین در محل عبور گسل زاگرس مسیر تونل در پهنه زاگرس مرتفع و از خود کوه جهان‌بین به بعد در پهنه سنندج- سیرجان قرار می‌گیرد. تقسیم‌بندی



ساختاری ایران در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. نظر به تفاوت‌های عمده ساختاری و چینهای در دو بخش فوق، وضعیت سنگ چینهای دو پهنه بررسی می‌گردد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۴- نقشه توپوگرافی منطقه (برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰ شهرکرد)



شکل ۱-۵- تقسیم‌بندی ساختاری ایران (Stockline, 1968)

## ۱-۶-۱- سازندهای پهنه زاگرس مرتفع در منطقه

در پهنه زاگرس مرتفع سازندهای موجود در منطقه، با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱-۶) و بر اساس مطالعات چینه‌شناسی و بازندهای صحرایی عبارتند از: آهک‌های ضخیم لایه (معادل سازند سروک)، کنگلومرا (معادل سازند کشکان)، آهک و دولومیت (معادل سازند چهارم- آسماری)، آهک (معادل بخش بالایی سازند آسماری)، مارن (معادل سازند رازک)، مادستون، سیلتستون و کنگلومرا (معادل سازند بختیاری) است. ویژگی‌های این سازندها در زیر به اختصار ارائه می‌گردد.

## ۱-۶-۱-۱- سازند آهکی معادل سروک (K)

قسمت اعظم ارتفاعات سوخته و سالدوران از آهک‌های توده‌ای و صخره‌ساز این سازند تشکیل شده است. این آهک‌ها ضخیم لایه تا توده‌ای، متراکم می‌باشند. تعداد زیادی درزه که تا حدی هم به صورت پراکنده هستند، در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. در نواحی گسله این سازند دولین‌های فراوانی تشکیل شده است. سن این واحدهای سنگی مربوط به کرتاسه زیرین می‌باشد (زاهدی ۱۳۷۲).  
 واحد K8: این واحد سنگی در منطقه کوه هزارگزی در قسمت‌های ابتدایی منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد. سنگ‌شناسی این واحد بیشتر شامل شیل و مارن با میان لایه‌های آهک مارنی که دارای آمونیت و اینوسراموس نیز می‌باشد.

## ۱-۶-۱-۲- سازند کنگلومرانی معادل کشکان (E)

این سازند دارای کنگلومرا با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و لایه‌های قلوه‌های چرت و سیلتستون و لایه‌های تبخیری است. قطعات موجود در کنگلومرا اکثراً از آهک، دولومیت و سنگ‌های رسوبی سیلیسی نظیر چرت تشکیل شده است، که توسط سیمانی سیلیسی-آهکی به هم متصل شده‌اند. سن این واحد با توجه به توالی چینه‌شناسی، به پالئوسن تا ائوسن نسبت داده شده است. (زاهدی ۱۳۷۲).



### ۱-۶-۱-۳- سازند آهکی معادل جهرم- آسماری (EO)

سنگ‌شناسی این سازند شامل آهک‌های سفید نومولیت‌دار، آهک‌های مارنی و آهک‌های دولومیتی می‌باشند. این سازند با توجه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد در قسمت‌های از کوه هزارگری و در نزدیکی روستای بهشت‌آباد رخنمون دارد. سن این سازند از ائوسن تا الیگوسن در نظر گرفته می‌شود (زاهدی ۱۳۷۲).

### ۱-۶-۱-۴- سازند آهکی معادل بخش بالایی آسماری (OM<sub>2</sub>)

سنگ‌شناسی واحد آسماری عبارتند از: آهک‌های مارنی فسیل‌دار با میان لایه‌های مارن و بر روی آنها آهک‌های ماسه‌ای، نازک تا متوسط لایه به رنگ خاکستری روشن قرار گرفته است. آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه تا توده‌ای و بسیار متراکم و پس از آن در خط‌الرأس ارتفاعات هزارگری آهک‌های صخره‌ساز متوسط تا ضخیم لایه دیده می‌شوند. بالاترین بخش سازند کربناته معادل آسماری تبدیل حوضه رسوب گذاری از آهک به مارن را نشان می‌دهد. سن آن میوسن در نظر گرفته شده است (زاهدی ۱۳۷۲).

### ۱-۶-۱-۵- سازند کنگلومرانی معادل بختیاری (PL)

این سازند در انتهای دشت شلمزار و محدوده کوه شیخ، توسعه قابل ملاحظه دارد. سنگ‌شناسی سازند عبارتند از ماسه‌سنگ و کنگلومرا به رنگ خاکستری مایل به سبز، متوسط تا ضخیم لایه کنگلومرا دارای سیمان سخت آهکی بوده و بیشتر قطعات تشکیل دهنده آن نیز آهکی است. در مجاورت جاده شهرکرد-جونقان رخنمون‌های کنگلومرانی قابل رویت می‌باشند. در بالاترین بخش سازند معادل بختیاری، کنگلومرانی ضخیم لایه با سیمان مستحکم و بین لایه‌های ماسه‌سنگی قرار گرفته است. این لایه‌ها چین‌خوردگی‌های فراوان داشته و ارتفاعات سنگی کوه شیخ را تشکیل داده‌اند. سن واحد بختیاری معادل پلیوپلیستوسن می‌باشد (Fakhari et al. 2005 اقتباس از حسن پور ۱۳۸۸).

## ۱-۶-۲- واحدهای سنگی پهنه سنندج- سیرجان در منطقه

سنگ‌های این پهنه در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای کرتاسه متشکل از آهک، آهک مارنی، آهک ماسه‌ای، شیل، مارن و رس است. رخنمون‌های محدودی از آهک، مارن و کنگلومرا متعلق به دوران سوم نیز در برخی مناطق دیده می‌شود. سنگ‌های آذرین نیز در بخش‌های از مسیر وجود دارند، برای مثال در مجاورت گسل اصلی زاگرس این سنگ‌ها بیشتر از جنس سرپانتینیت و بازالت می‌باشند.

۱-۶-۲-۱- واحدهای کربناته کرتاسه (K<sub>3</sub>,K<sub>7</sub>)

در تمامی منطقه مورد مطالعه به‌ویژه در اطراف گسل اصلی زاگرس (کوه جهان‌بین) و همچنین در قسمت‌های ابتدای مسیر نهشته‌های مربوط به سنگ‌های کرتاسه وجود دارند. خصوصیات سنگ‌شناسی این واحدهای کربناته شامل تقسیم‌بندی‌های زیر می‌شوند.

واحد K<sub>3</sub>: این واحد بخش‌های نسبتاً مرتفع کوه نثار را در بر می‌گیرد و از آهک‌های ماسه‌ای و آهک‌های نازک لایه رسی تشکیل شده است. این نهشته‌ها نیز با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی خود فاقد حفرات انحلالی و درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان و توسعه یافته هستند.

واحد K<sub>7</sub>: در قسمت جنوبی دشت شهرکرد، رخنمون‌های از این واحد وجود دارد. سنگ‌شناسی عمده در این واحد بیشتر شامل آهک‌های مارنی فسیل‌دار و لایه‌های نازک آهک رسی ماسه‌ای تشکیل شده است. به طور کلی این نهشته‌ها با توجه به ترکیب سنگ‌شناسی دارای ارزش کارستی شدن پایینی هستند (زاهدی ۱۳۷۲).

## ۱-۶-۲-۱- واحد کنگلومرانی ائوسن (E)

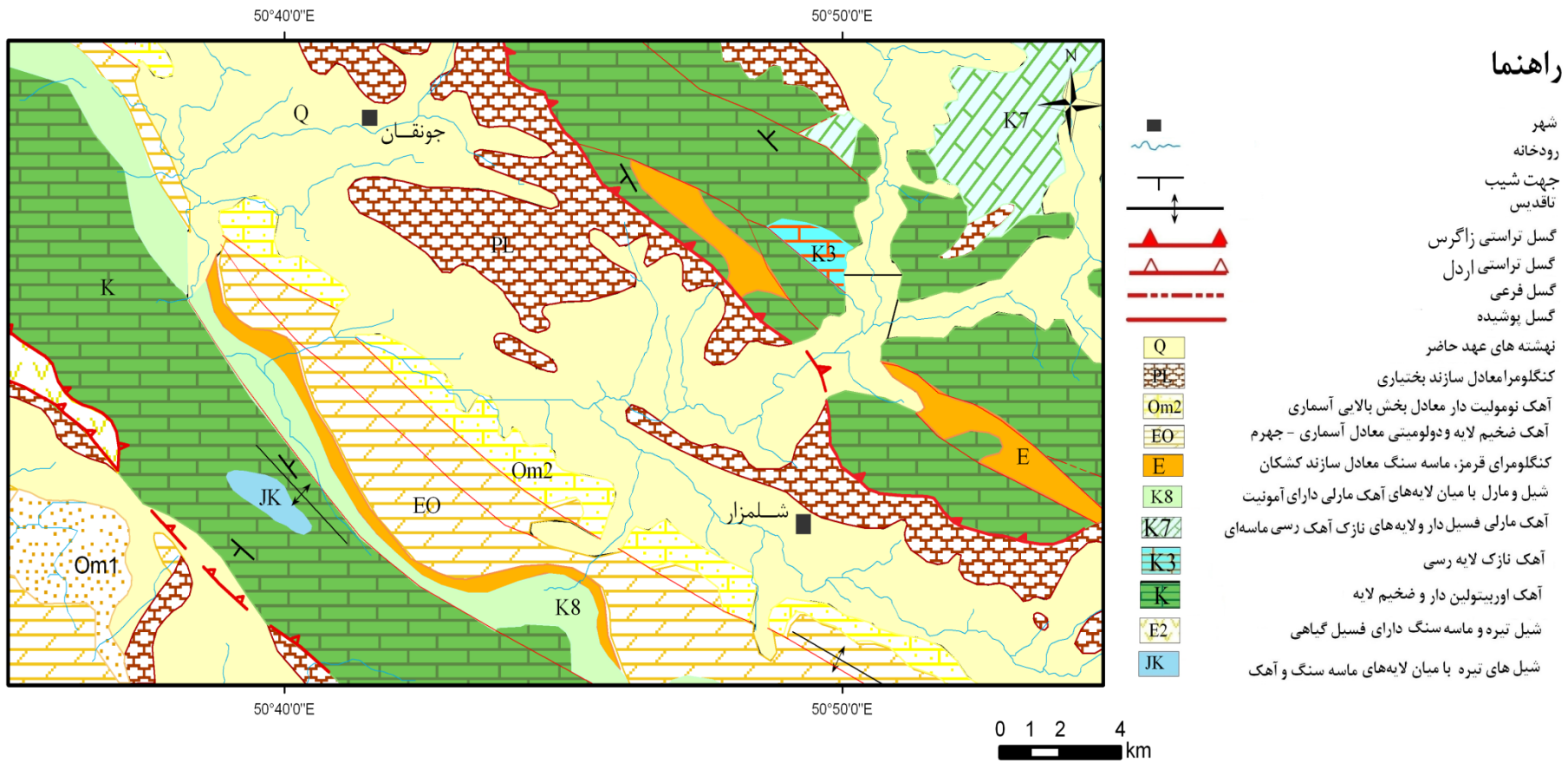
نهشته‌های دوره ترشیری با کنگلومرای ائوسن شروع می‌شود. این واحد به لحاظ سنگ‌شناسی از کنگلومرای قرمز (بیشتر با قلوه‌های چرتی)، ماسه‌سنگ که به طور محلی با میان لایه‌های ولکانیکی و

سلیتستونی همراه می‌باشند تشکیل شده، و اکثراً در مجاورت آهک‌های کرتاسه (K) رخنمون دارد. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، آنها از لحاظ کمی، تأثیری در تغذیه آبخوان‌های منطقه ندارند (زاهدی ۱۳۷۲).

#### ۱-۶-۲-۳- نهشته‌های عهد حاضر

این واحد بخش اصلی ساختمان آبرفت دشت‌ها را در بر می‌گیرد. بر پایه نتایج حفاری‌های انجام شده جنس آبرفت از دانه‌های آهکی شیلی، چرتی، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن می‌باشد. به لحاظ دانه‌بندی اندازه آنها بین گراول تا رس متغیر است (گزارش چاه‌های اکتشافی استان ۱۳۶۵).

راهنما



شکل ۱-۶- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد)

## ۱-۷- ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه

از مهم‌ترین خصوصیات پهنه زاگرس، وجود تعدادی گسل‌های تراستی بزرگ است. در این منطقه به علت عملکرد همین عوامل ساختاری به طور معمول ساخت‌های تاقدیسی و ناودیسی کامل دیده نمی‌شود. این بدان علت است که ساختمان‌های اولیه در اثر پیشرفت جبهه تغییرات ساختاری و ادامه تنش‌های مؤثر، بریده و جابه‌جا شده است. در پهنه‌های مزبور به علت وجود رژیم‌های فشارشی، از اواخر کرتاسه به بعد تمامی سنگ‌ها تحت تأثیر قرار گرفته و بریده و خرد شده‌اند. نقشه ساختاری اولیه‌ای که از ناحیه تهیه شده در شکل (۱-۷) قابل مشاهده است.

### ۱-۷-۱- چین‌خوردگی‌ها

در پهنه زاگرس مرتفع چین‌ها معمولاً توسط گسل‌ها قطع شده‌اند. در این پهنه چین‌ها به صورت کامل و بزرگ مانند آنچه در پهنه زاگرس چین‌خورده دیده می‌شود، مشهود نیست. مهم‌ترین چین‌خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه در مسیر تونل انتقال آب به شرح زیر هستند:

#### ۱-۷-۱-۱- تاقدیس سوخته - سالدوران

این چین‌خوردگی در شمال و شمال شرق اردل قرار گرفته، و عامل اصلی تشکیل کوه‌های سوخته و سالدوران و حرکت آنها بر روی گسل اردل بوده است. این تاقدیس همانند سایر ساختارهای تکتونیکی منطقه زاگرس روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق دارد.

#### ۱-۷-۱-۲- تاقدیس کوه هزارگزی

لایه‌های آهکی آسماری در یال شمال شرق ناودیس هزارگزی چین‌خوردگی نشان داده و تاقدیس هزارگزی را در جنوب روستای سلم تشکیل شده است. شیب لایه‌ها در یال شمال شرقی تاقدیس

بسیار زیاد می‌باشد. این شیب زیاد و وجود واحدهای سنگی رازک بر روی آهک‌های آسماری باعث اختلاف ارتفاع زیاد کوه هزارگزی نسبت به دشت کیار شده است.

#### ۱-۷-۱-۳- ناودیس کوه هزارگزی

بعد از تاقدیس سوخته- سالدوران، به سمت شمال نهشته‌ها چین‌خوردگی کمتری یافته و یک ناودیس را تشکیل می‌دهند. واحدهای سنگ‌شناسی موجود در این قسمت که در سطح زمین رخنمون دارند، از قدیم به جدید عبارتند از: آهک‌های سروک، کنگلومرای کشکان، دولومیت و آهک جهرم - آسماری هستند. محور ناودیس تقریباً هم‌رند با محور تاقدیس سوخته- سالدوران بوده و رند شمال غرب- جنوب شرق دارد.

#### ۱-۷-۱-۴- ناودیس کوه شیخ

در بخش کنگلومرایی سازند بختیاری که ارتفاعات کوه شیخ را تشکیل داده است، مجموعه‌ای از چین‌های با فاصله نزدیک به هم دیده می‌شوند. این چین‌ها معمولاً به صورت نامتقارن می‌باشند.

#### ۱-۷-۲- گسل‌ها

در منطقه مورد مطالعه در پهنه زاگرس مرتفع گسل اردل با رند شمال غرب- جنوب شرق، گسل‌های کوه هزارگزی و گسل اصلی زاگرس در مرز پهنه زاگرس مرتفع و سنندج- سیرجان وجود دارد (شکل ۱-۷).

### ۱-۲-۷-۱- گسل اردل

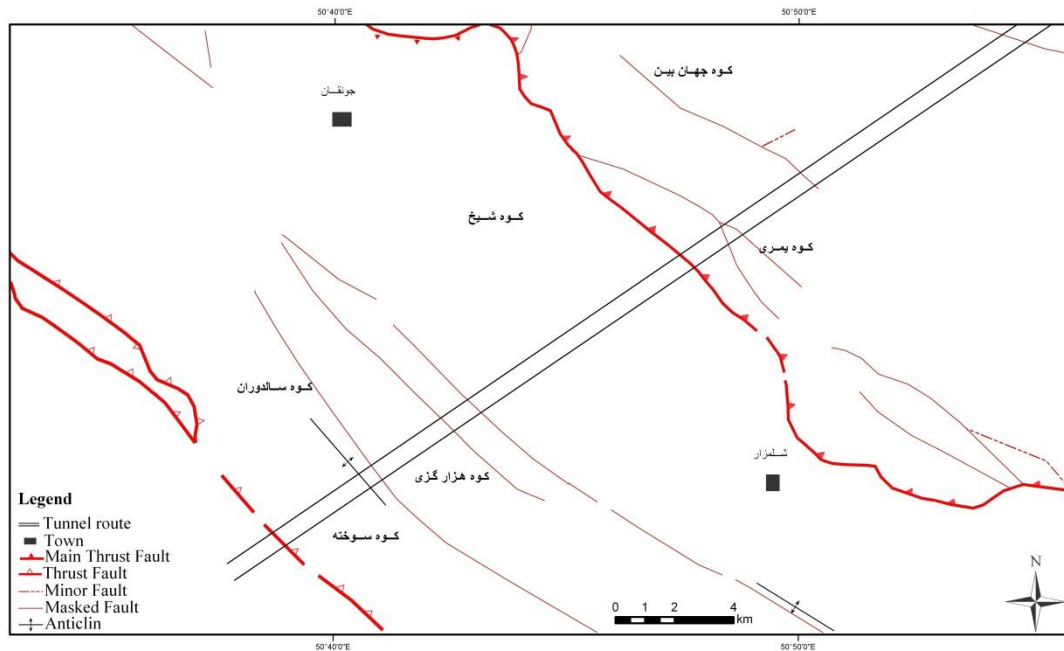
گسل اردل با درازای حدود ۱۵۰ کیلومتر، شیب به سمت شمال شرقی و راستای شمال غربی-جنوب شرقی، به موازات راندگی زاگرس در گستره اردل- ناغان قرار دارد. سازوکار این گسل فشاری بوده در مسیر آن سازندهای پالئوزویک همراه با گروه کرتاسه بنگستان (از شمال خاوری) بر روی دشت و سنگ‌های کرتاسه (در جنوب باختری) رانده شده‌اند (Berberian and Nabavi 1977).

### ۱-۲-۷-۲- گسل‌های کوه هزارگری

رخنمون شکستگی‌ها در این ناحیه معمولاً به رخنمون‌های آهکی بوده و اثر آنها در مارن‌استون‌های رازک (در سمت شمال شرق) و کنگلومرای کشکان (در سمت جنوب غرب) قابل پیگیری نیست. این گسل‌ها دارای امتداد شمال غرب-جنوب شرق بوده، این شکستگی‌ها مرتبط با چین‌خوردگی‌های منطقه هستند.

### ۱-۲-۷-۳- گسل اصلی زاگرس

این گسل در دامنه جنوب غربی کوه جهان‌بین و در حد فاصل روستاهای قلعه‌تک و خراجی قرار گرفته است. گسل از نظر ساختاری در زمین‌شناسی ایران دارای درجه اهمیت بسیار بالایی است. گسل اصلی زاگرس منطبق بر زمین درز نئوتتیس است، که از فروانش و برخورد نهایی دو صفحه ایران مرکزی و عربی ایجاد شده است. راستای این گسل شمال غرب- جنوب شرق و طول آن در ایران حداقل ۱۰۰۰ کیلومتر است. گسل اصلی زاگرس در حقیقت مرز بین دو پهنه سندانج- سیرجان و زاگرس مرتفع را تشکیل می‌دهد. سازوکار اصلی گسل معکوس است. در امتداد این گسل در محدوده مورد مطالعه سنگ‌های آذرین از جنس بازالت و سرپانتینیت رخنمون دارند. این سنگ‌ها بر اساس برخی از فرضیات می‌تواند نشان دهنده بقایای پوسته اقیانوسی نئوتتیس باشند. سنگ‌های آذرین کمتر تحت تاثیر حرکات این گسل خرد و هوازده شده‌اند (Berberian 1995).



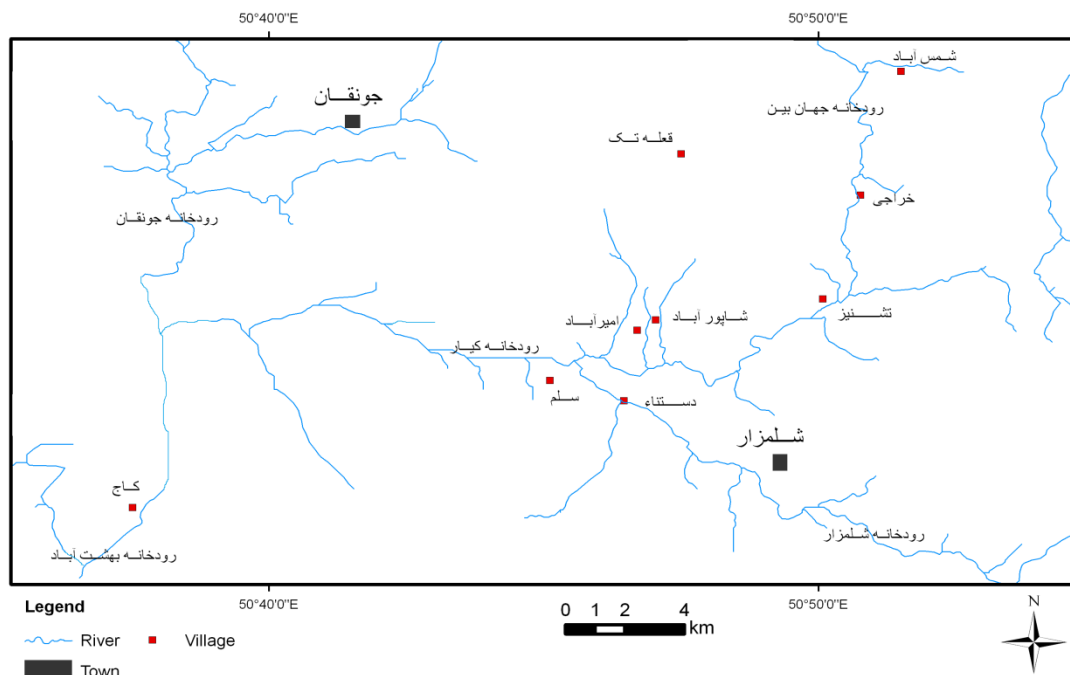
شکل ۱-۷- نقشه زمین‌شناسی ساختاری اولیه منطقه مورد مطالعه

### ۸-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بهشت‌آباد با مساحت حدود ۳۸۷۸ کیلومتر مربع، بخش اعظمی از منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. از زیر حوضه‌های این حوضه می‌توان به حوضه آبخیز رودخانه کیار، جهان‌بین، جوققان و شلمزار اشاره نمود (شکل ۱-۸). در این حوضه رودخانه‌های متعددی وجود دارند که همگی پس از الحاق به یکدیگر با نام بهشت‌آباد از حوضه آبخیز خارج می‌شوند. بالغ بر ۹۸٪ این حوضه در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته است.

بر اساس مطالعات انجام شده متوسط حجم آورد در این حوضه در حدود ۵۶۰ میلیون متر مکعب مربوط به رودخانه بهشت‌آباد می‌باشد. از طرفی با توجه به طرح‌های توسعه منابع آب در بالا دست در آینده میزان آورد شاخه بهشت‌آباد به ۴۱۰ میلیون متر مکعب کاهش و میزان کل آب انتقال یافته با احتساب حقابه زیست محیطی پایین دست برابر با ۷۴۶ میلیون مترمکعب در سال خواهد شد (گزارش منابع آبی و مصارف حوضه آبخیز بهشت‌آباد و کوه‌رنگ ۱۳۸۸).



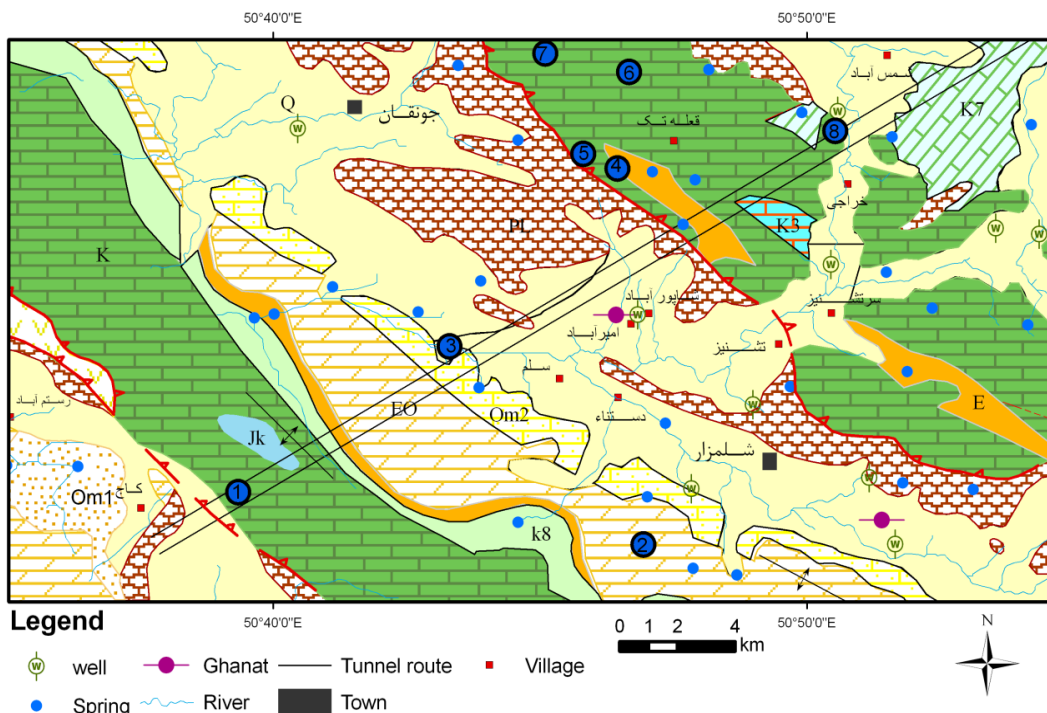


شکل ۱-۸- نقشه زهکشی کلی منطقه مورد مطالعه

## ۹-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

هیدروژئولوژی هر آبخوان تابع زمین‌شناسی آن می‌باشد. در واقع زمین‌شناسی در پیدایش و توسعه آبخوان آب‌های زیرزمینی در هر ناحیه تاثیر بسزایی دارد. آبخوان‌های کارستی نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشند. همان‌گونه که بیان گردید سازندهای آهکی تشکیل دهنده بیشتر کوه‌های مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه می‌باشند، و به دلیل دارا بودن سنگ مخزن مناسب و با درزه و شکاف‌های فراوان و بارندگی نسبتاً بالا می‌توان بیان کرد که در اکثر بخش‌های منطقه توسعه کارست تقریباً به صورت تقریباً کامل صورت پذیرفته است. از این مناطق کارستی چشمه‌های با حداقل مجموع آبدهی ۱۰ متر مکعب بر ثانیه تشکیل به وجود آمده، که حجم فراوانی از آب را چه برای شرب و چه برای کشاورزی در طول سال در منطقه تامین می‌کنند. برای بررسی آبخوان‌های یک منطقه، ارزیابی چشمه‌های موجود در منطقه از نظر موقعیت، ارتفاع، میزان آبدهی و رژیم آبدهی، می‌تواند به عنوان یکی از اولین و کم هزینه‌ترین روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Wood 2002). بدین منظور بایستی

موقعیت آنها برداشت شده و در یک نقشه شامل نقشه هیدروژئولوژیکی مشخص شوند. همچنین تراز ارتفاعی، میزان آبدهی و تغییرات آبدهی چشمه‌ها در طول سال بایستی بررسی شوند. میزان آبدهی چشمه‌های کارستی در فصول مختلف سال تفاوت‌های بسیار زیادی دارد. در شکل (۱-۹) نقشه هیدروژئولوژی منطقه ارائه شده است، که در آن قنات‌ها، چاه‌ها، چشمه‌های با دبی‌های مختلف که در مسیر تونل قرار دارند مشخص شده است. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در جدول (۱-۴) ارائه شده است و همچنین موقعیت این چشمه‌ها به صورت مشخص بر روی نقشه هیدروژئولوژیکی از ۱ تا ۸ علامت‌گذاری شده است. با مشاهده ارتفاع چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه ملاحظه می‌شود که کمترین ارتفاع چشمه‌ها برابر با ۱۹۷۰ متر مربوط به چشمه وقت و ساعت بوده است. چشمه باغ رستم نیز با ارتفاع ۲۷۰۱ متر از سطح دریا با حداکثر آبدهی تقریباً زیاد ۸ متر مکعب بر ثانیه (مشاهده از نزدیک در محل چشمه) در قسمت ابتدای منطقه قرار دارد.



شکل ۱-۹- نقشه هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه (راهنمای واحدهای سنگی نقشه مطابق شکل ۱-۶ می‌باشد)

جدول ۱-۴- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های مهم منطقه در مسیر

ارتفاع (m)	UTM		نام چشمه	ردیف	ارتفاع (m)	UTM		نام چشمه	ردیف
	Y	X				Y	X		
۲۴۷۹	۳۵۹۱۸۸۰	۴۵۰۶۱۱	چهل چشمه	۵	۲۷۰۱	۳۵۴۴۵۰۰	۴۶۷۵۰۰	باغ رستم	۱
۲۷۰۲	۳۵۵۹۲۵۰	۴۷۶۵۰۰	سراب جونقان	۶	۲۰۲۵	۳۵۴۲۹۸۵	۴۸۳۳۱۹	دریاچه شلمزار	۲
۲۱۱۰	۳۵۶۳۳۶۲	۴۷۸۰۰۰	چشمه زنه	۷	۲۰۰۲	۳۵۴۹۲۹۳	۴۷۳۷۸۲	بالاقلی	۳
۱۹۷۰	۳۵۵۶۵۷۵	۴۸۵۱۲۶	وقت و ساعت	۸	۲۸۵۵	۳۵۵۵۳۰۶	۴۷۸۶۸۰	قلعه‌تک	۴

### ۱-۱- موقعیت گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه

در طول مسیر تونل بهشت‌آباد در محدوده مورد مطالعه ۱۱ گمانه در اعماق مختلف، توسط شرکت مشاور زاینده‌آب اصفهان حفاری شده است. در ارتباط با عمق و سنگ‌شناسی و موقعیت سطح آب زیرزمینی در هر یک از این گمانه‌ها در فصل‌های بعد به طور مفصل بحث شده است. در جدول (۱-۵) ارتفاع و مختصات هر یک از این گمانه‌ها درج شده است.

جدول ۱-۵- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب ۱۳۸۷)

ارتفاع (m)	UTM		شماره	ارتفاع (m)	UTM		شماره
	Y	X			Y	X	
۲۰۷۶	۳۵۴۸۲۳۵	۴۷۳۰۸۷	TB <sub>15</sub>	۲۰۱۶	۳۵۵۸۱۵۹	۴۸۵۸۴۱	BH <sub>10</sub>
۲۳۰۷	۳۵۴۶۹۸۵	۴۶۹۵۵۹	BH <sub>16</sub>	۲۰۴۳	۳۵۵۴۶۸۹	۴۸۴۸۳۱	BH <sub>11</sub>
۱۹۴۱	۳۵۴۵۶۰۷	۴۶۷۷۰۲	BH <sub>17</sub>	۲۲۲۰	۳۵۵۳۱۳۳	۴۸۱۱۱۶	BH <sub>12</sub>
۱۹۵۸	۳۵۴۵۱۲۱	۴۶۹۷۷۰	BH <sub>18</sub>	۲۰۸۰	۳۵۵۲۸۵۰	۴۷۸۱۲۰	BH <sub>13</sub>
۱۸۸۱	۳۵۴۴۲۰۵	۴۶۶۳۴۵	BH <sub>19</sub>	۲۰۰۳	۳۵۴۹۳۰۶	۴۷۴۶۳۶	BH <sub>14</sub>
-	-	-	-	۲۰۹۸	۳۵۴۸۷۹۸	۴۷۲۲۹۲	BH <sub>15</sub>

## فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده

### ۲-۱- مقدمه

گسترش روز افزون صنعت تونل‌سازی در کشور، ایران را در زمره کشورهای پر کار در این زمینه در جهان قرار داده است. ایجاد تونل در مناطق مختلف با سنگ‌شناسی متفاوت مشکلات و مسائل خاصی را به همراه دارد. از جمله این مناطق، مناطق کارستی است که مشکلات آنها نسبت به دیگر مناطق بیشتر است (کتیبه و عالی انوری ۱۳۸۴). حفر تونل به منظورهای مختلف از جمله ایجاد راه‌های ارتباطی، انتقال آب یا فاضلاب و غیره ایجاد می‌شود. احداث چنین سازهایی در بسیاری از موارد موجب قطع مسیر اصلی جریان آب‌های زیرزمینی در آبرفت و به خصوص در سازندهای سخت می‌گردد (حاجیان ۱۳۸۲)، که این باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل تغییر در ذخیره آب‌های زیرزمینی، خطر خشک شدن چشمه‌ها و تغییر در ساختارهای هیدروژئولوژیکی منطقه مجاور این سازه‌ها می‌شود (Celico et al. 2005).

مناطق کارستی از نظر هیدروژئولوژیکی خصوصیات ویژه‌ای دارند که آنها را از سایر آبخوان‌ها متمایز می‌کند. از جمله این خصوصیات می‌توان به ضریب نفوذ بالای نزولات جوی، نفوذپذیری خیلی بالا، حفظ نفوذپذیری بالا تا اعماق زیاد، داشتن پتانسیل توسعه حوضه‌های هیدروژئولوژیکی وسیع، توسعه مسیرهای جریان غیر یکنواخت و هتروژن، جریان آب زیرزمینی به صورت سیلابی در پهنه غیر اشباع و

پتانسیل برخورد با حفرات بزرگ پر شده با مصالح ریز دانه که سفره‌های معلق را به وجود آورده‌اند، اشاره نمود (Rayner 2001; Marinos 2001).

مقدار آب و نوع نفوذ آب به لحاظ این که به صورت هجوم آب از یک نقطه و یا نشت آب از تمام طول یک سازند باشد، به نوع آبخوان بستگی دارد و به همین جهت شناسایی نوع آبخوان اهمیت بالایی دارد. در آبخوان‌های آبرفتی نفوذ آب به داخل فضای زیرزمینی از تمامی طول سازند و از داخل خلل و فرج بین دانه‌های خاک صورت می‌گیرد و میزان آب ورودی به داخل تونل به نفوذپذیری کل توده خاک بستگی دارد و تابعی از دانه‌بندی آن می‌باشد. در این آبخوان‌ها احتمال هجوم حجم زیادی از آب به صورت یکباره به داخل فضای حفاری وجود ندارد. در سازندهای سخت صرف‌نظر از میزان آبدهی، دو نوع آبخوان کارستی و غیر کارستی وجود دارد. در آبخوان‌های غیر کارستی سیستم درز و شکاف و تخلخل سنگ نگهدارنده و انتقال دهنده آب می‌باشند. در آبخوان‌های کارستی که در سنگ‌های کربناته مانند سنگ آهک و بعضاً در سنگ‌های تبخیری به وجود می‌آیند، جریان آب در داخل کانال‌ها و حفرات انحلالی اتفاق می‌افتد و در صورت برخورد فضای حفاری به این مسیرهای جریان آب، حجم زیادی از آب به داخل فضای حفاری هجوم می‌آورد (Wood 2002).

### ۲-۲- ورود آب زیرزمینی به تونل‌های احداث شده در مناطق کارستی

ساخت تونل با توجه به عوارض طبیعی و توپوگرافی و زمین‌شناسی محل احداث آن، همواره با مشکلات و معضلات فراوانی روبه‌رو می‌باشد. اصولاً در ساخت سازه‌های زیرزمینی مخاطرات زمین‌شناسی که پنهان هستند، منشاء مهمی برای مشکلات غیر منتظره نیز محسوب می‌شوند (رئییسی ۱۳۷۴).

در احداث تونل در مناطق کارستی، آب قابل ملاحظه‌ای به طور ناگهانی وارد تونل می‌گردد و باعث خسارات مالی و جانی فراوان می‌گردد. بعضی مواقع حجم آب زهکش شده به قدری زیاد بوده که امکان ساخت تونل را کم می‌کند. حفاری تونل‌های عمیق در پهنه‌های گسلی با ناپایداری در کف،

دیواره و سطح تونل همراه است. منبع این قبیل ناپایداری‌ها تغییر مکان در تونل به دلیل فشارهای زیاد درجا و پدیده فشرده شدن است. به علاوه تونل‌های عمیق در زیر سطح ایستایی پتانسیل زیادی برای جریان آشفته و تغییرات سطحی دارند (Zarei and Uromeihy 2010).

حاجیان (۱۳۸۲) بیان کرده که در سازندهای سخت انفجار باعث ایجاد درزه و شکاف در سنگ‌های اطراف تونل و موجب حرکت آب در آنها و نفوذ آب موجود از سازند به داخل تونل و تخلیه کامل آن می‌شود. در آبرفت‌ها که سفره‌های آبدار به صورت لایه‌های تقریباً افقی روی لایه غیر قابل نفوذ ایجاد گردیده، در اثر انفجار لایه غیر قابل نفوذ زیرین آسیب دیده و موجب حرکت آب از سفره به قسمت زیرین سفره یا مکان‌های دیگر و تخلیه آب سفره منطقه می‌گردد. به طور کلی، حفر تونل به خصوص به روش انفجاری باعث تغییراتی در سفره‌های آبدار زیرزمینی به ویژه در سازندهای سخت می‌شود.

در احداث تونل در سنگ‌های کارستی احتمال برخورد به کانال‌های کارستی، از جمله آنهایی که اکثراً عمودی‌اند خیلی فراوان است. فشار آب متمرکز که ممکن است به قسمتی از پوشش تونل نفوذ کند غیر قابل پیش‌بینی است (Milanovich 2005).

در زمان ساخت، تونل‌های زیادی در سطح جهان با مقدار فراوانی آب روبه‌رو می‌شوند. در مطالعه سدها و تونل‌ها بررسی‌های ژئوتکنیکی که با حفاری گمانه‌های اکتشافی انجام می‌شود کافی نیست، بلکه باید مطالعات هیدروژئولوژیکی ناحیه‌ای در مناطق کارستی که از اولویت و اهمیت بیشتری برخوردار هستند، انجام شود. جریان آب و بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در پروژه‌های زیرزمینی از جمله تونل‌سازی یکی از مسائلی است که می‌تواند مشکلاتی را در حین اجرا و آثار مخربی را در حین بهره برداری از طرح ایجاد کنند (رئیسی ۱۳۷۴).

مشکلاتی که برای ساختن تونل در زیر سطح زمین ایجاد می‌شود زمانی آشکار می‌شوند، که محور تونل یک گسل، پهنه خرد شده، پهنه شکستگی، غار و یا مجرای را قطع می‌کند. در این صورت با

مقدار فراوانی آب‌های زیرزمینی روبه‌رو شده، که باعث مشکلات فراوانی می‌شود و حتی ممکن است پیشرفت پروژه را با مشکل روبه‌رو کند و اجرای آن را متوقف کند (Frumkin and Shimron 2005).

حفاری تونل در سنگ‌های با نفوذپذیری زیاد باعث ایجاد یک سری مشکلات از جمله نفوذ مقدار فراوانی آب به داخل تونل‌ها می‌شود و این باعث یک سری ناپایداری‌های در تونل می‌شود. البته این نفوذ در سنگ‌های با نفوذپذیری کمتر نیز مؤثر است اما تأثیر آن کمتر است (Knez et al. 2008).

جریان‌های فراوان آب زیرزمینی در موقعی که تونل به داخل یک پهنه آبدار وارد می‌شود می‌تواند ایجاد شود، در این ارتباط می‌توان به مثال‌های زیر اشاره کرد، در مدت ساخت تونل تکولیت (Tecolite) در کالیفرنیا با مقدار آبی با دبی در حدود ۵۸۰ لیتر در ثانیه در تونل مواجه شده است. همچنین در مدت زمان ساخت تونل هالاندساس (Hallandsas) در سوئیس با آب نفوذی در حدود ۱۵ متر مکعب بر ثانیه مواجه شده، که تزریق سیمان هم نیز نمی‌توانست کمک زیادی برای جلوگیری از ورود آب به داخل تونل کند (Trefzeger 1996).

اگر در حین حفاری تونل‌ها به معابر کارستی برخورد شود، به این صورت که این معابر به طور عرضی قطع شوند، مشکلات حفاری چندین برابر خواهد شد. برخی از فاجعه آمیزترین تجارب بشر در اثر تونل‌سازی حاصل از نفوذ جریان‌های عظیم و ناگهانی آب‌های زیرزمینی به درون تونل از خلال مناطق شدیداً خرد شده و قسمت‌های اشباع می‌باشد. تونل‌سازان دنیا می‌دانند که مشکلات شناسایی ماهیت آب‌های زیرزمینی و مکان‌های که امکان برخورد به آنها در مسیر تونل وجود دارد، در طراحی تونل بسیار ضروری است (Milanovich 2005).

مرسلی و همکاران (۱۳۸۶)، نفوذ آب به داخل تونل تاقدیس اسیر را مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند، که با حفاری در سازندهای با نفوذپذیری کم مانند پابده و گورپی میزان آب ورودی به داخل تونل همواره کمتر از ۵ لیتر بر ثانیه گزارش شده است. اما با رسیدن به آهک‌های ایلام هجوم فراوان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل آغاز شده است. میزان حجم آب ورودی به تونل نسبت مستقیم با طول بخش حفاری شده در سنگ آهک و بار هیدرولیکی حاکم بر آن دارد. به این ترتیب که با

پیشروی تونل، حجم آب ورودی به تونل نیز افزایش داشته است. دبی آب ورودی به تونل در آهک‌های ایلام در نوسان بوده و از ۸۰ تا بیش از ۳۰۰ لیتر در ثانیه نیز رسیده است. همچنین با ورود تونل به سنگ آهک‌های ایلام و زهکشی آب‌های زیرزمینی توسط آن، سطح آب زیرزمینی در منطقه افت نموده است.

زارعی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعاتشان برای تونل سبزکوه در استان چهارمحال و بختیاری اظهار داشتند که پدیده کارستی شدن در بخش‌های آهکی و حفاری تونل در آنها می‌تواند خطر هجوم آب به درون تونل مذکور را تشدید نماید، و در نتیجه مشکلاتی را موجب شود. از جمله مشکلات ایجاد شده می‌توان به افت سطح آب زیرزمینی و خشک شدن چشمه‌های تامین کننده آب شرب، کشاورزی و شیلات ساکنین منطقه اشاره کرد.

حسن‌پور و اورمی‌ای (۱۳۸۲) بیان کردند که بر اساس روش‌های هیدروژئولوژی بر اساس شرایط ساختارهای هدایت کننده جریان که در توده سنگ عمل می‌کنند، و با بررسی حجم منبع تغذیه کننده می‌توان تخمینی از حجم آب ورودی به تونل بدست آورد. در مطالعات هیدروژئولوژی معمولاً بر اساس نتایجی که از مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه و بررسی رژیم آبدهی چشمه‌ها و تغییرات سطح آب پیزومترها به دست می‌آید، می‌توان در مورد حداقل و حداکثر آب ورودی به تونل اظهار نظر کرد. این روش به ویژه در محیط‌های کارستی می‌تواند نسبت به سایر روش‌ها در اولویت قرار گیرد.

### ۲-۳- عوامل ساختاری مؤثر در جریان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل

پارامترهای گوناگونی در جریان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل مؤثر است، مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در این ارتباط عبارت‌اند از: پهنه‌های خرد شده، گسل‌ها، چین خوردگی‌ها، شکستگی‌ها، فراوانی درزه‌ها، غارها، مجراها و وضعیت پوشش خاک می‌باشند (Katibeh and Aalianvari 2009).



### ۲-۳-۱- تأثیرات پهنه‌های خرد شده بر جریان آب‌های زیرزمینی

پهنه‌های خرد شده مکان مناسبی برای ورود آب‌های زیرزمینی به داخل سنگ‌ها هستند. برای مثال در سنگ‌بسترهای رسی مثل: مارن، شیل، شیست و غیره که با کانی‌های رسی پرکننده شکستگی‌ها و ناپیوستگی‌ها همراه هستند، در نتیجه نفوذپذیری پهنه خرد شده به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند. اما در دیگر سنگ‌ها از قبیل سنگ آهک نفوذپذیری در پهنه‌های خرد شده به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. به هر حال نرخ جریان آب‌های زیرزمینی در پهنه‌های خرد شده به نوع سنگ و پهناي خرد شدگی آنها وابسته است. پهنه‌های خرد شده در مناطق اشباع، و غیر اشباع مکان مناسبی برای ورود جریان آب‌های زیرزمینی به داخل سنگ‌ها می‌باشند (Katibeh and Aalianvari 2009).

کتیبه و عالی‌انوری (Katibeh and Aalianvari 2009) اظهار داشتند، که در تونل قمرود عامل اصلی مشکلات پهنه‌های خرد شده در سنگ آهک است، که می‌تواند مجرای بزرگ برای جریان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل باشند. به طور کلی آنها مشاهده کردند که کل جریان ورودی به داخل تونل از حجم سنگ‌های آهکی حدود ۲۵ لیتر بر ثانیه است، که مقدار تقریباً زیادی است. در حالی که در دیگر قسمت‌های این تونل که شیست و سیلت است، مقدار جریان ورودی خیلی کمتر است.

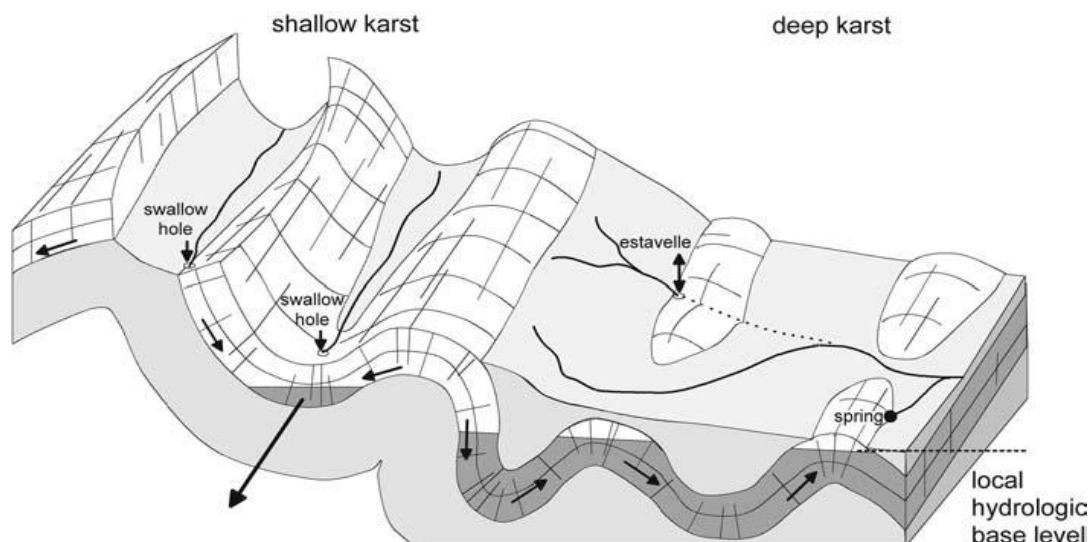
### ۲-۳-۲- تأثیرات چین‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی

چین‌ها بر روی هندسه یک آبخوان و میزان ذخیره آب زیرزمینی و الگوی زهکشی زیرزمینی مؤثر هستند. بنابراین آنالیز ساختارهای چین مثل بزرگی، طول موج آنها، پیوستگی آنها و جهت محور چین را باید به دقت بررسی کنیم. بنابراین بسیار مهم است که در انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی کارست، ابتدا نقشه‌ای از وضعیت چین‌های منطقه تهیه شود (Glodscheider and Drew 2007).

ساختارهای چین‌ها اغلب عاملی اصلی در الگوی زیرزمینی است، به این ترتیب که در سیستم‌های زیرزمینی کم‌عمق جریان را به مقدار فراوانی کنترل می‌کنند، ولی بر عکس چین‌ها اثر کمی بر سیستم‌های کارستی عمیق در کنترل جریان آب دارند (Glodscheider and Drew 2007). یعنی این

که چین‌ها نقش مهمی در الگوی جریان آب زیرزمینی دارند، به‌ویژه در آبخوان‌های کارستی سطحی که کنترل چینه‌ای جریان در آنها بالا است. در عوض در آبخوان‌های کارستی عمیق یا سفره‌هایی که دارای کنترل چینه‌ای جریان کمی می‌باشند، نقش چین‌ها محدود است (Glodscheider 2005).

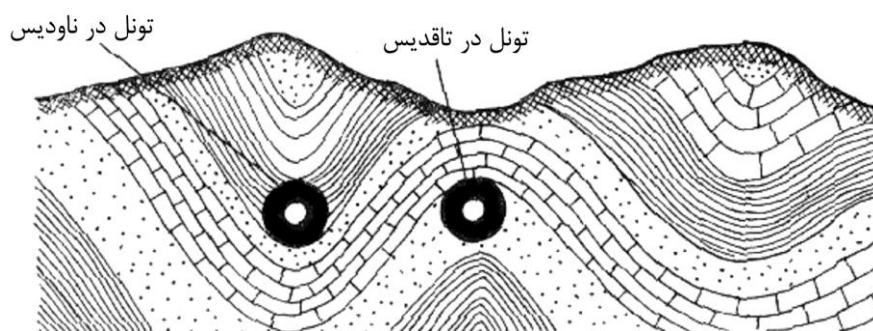
در پهنه‌های عمیق کارستی، ناودیس‌ها اغلب به صورت کامل توسط آب‌های زیرزمینی اشباع می‌باشند و سرریز آب زیرزمینی می‌تواند از طریق تاقدیس به ناودیس مجاور وارد گردد. بنابراین در این پهنه‌ها، جریان عرضی از طریق چین‌ها را می‌توان مشاهده کرد. در پهنه‌های سطحی کارست، جایی که کف سفره کارستی بالاتر از سطح اساس هیدروژئولوژیکی است، آب زیرزمینی در نزدیکی کف سفره و بالای لایه نفوذناپذیر زیرین جریان می‌یابد. در این پهنه‌ها ناودیس‌ها مسیر اصلی آب زیرزمینی و تاقدیس‌ها مرز جداکننده سفره هستند. جریان‌های سطحی نیز در طول تاقدیس‌ها جایی که آبخوان کارستی فرسایش یافته و یا در جایی که ناودیس توسط لایه نفوذناپذیر بالایی پوشیده شده است ایجاد می‌شوند (Glodscheider 2005).



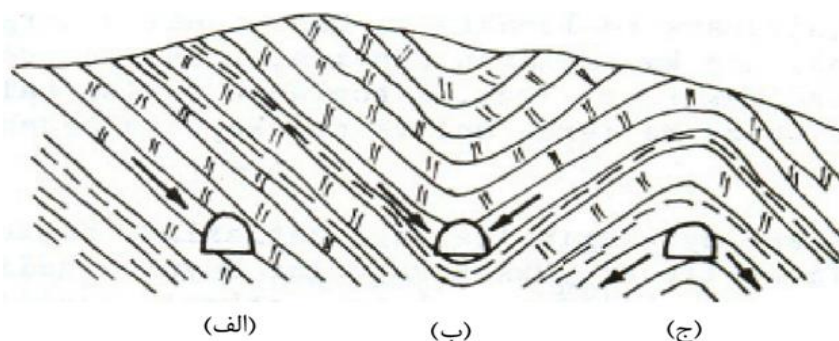
شکل ۱-۲- ارتباط بین چین‌ها و جریان‌های سطحی، زیرزمینی در یک سیستم کارستی (Glodscheider 2005)

زمانی که مقطع و محور تونل در ناودیس قرار دارد فشارهای وارده در محور تونل متمرکز می‌گردد و بالعکس در تاقدیس فشارهای عمودی نسبت به محور تونل دور شوند می‌باشند شکل (۲-۲). علاوه بر

فشارهای طبقات فوقانی شرایط آب نیز در تاقدیس و ناودیس متفاوت است، در شکل (۲-۳ الف و ب) فشار آب روی محور تونل متمرکز شده، ولی در شکل (۲-۳ ج) حرکت آب نسبت به محور تونل دور شونده می‌باشد. در صورتی که ناچار به عبور تونل به موازات محور چین می‌باشد، مناسب‌ترین حالت واقع شدن تونل در بخش میانی تاقدیس است. در بخش فوقانی تاقدیس شکستگی‌های کششی و تنش‌های کششی قابل توجه است و هر چه ضخامت طبقات فوقانی کاهش یابد، این فشارها بیشتر می‌گردد. در شرایطی که تونل عمود بر محور چین حفر شود، در تاقدیس‌ها در بخش یال‌ها فشار زیادی به تونل وارد می‌شود در حالی که در هسته تاقدیس فشار کم است و بالعکس در ناودیس در بخش هسته فشار سنگ زیاد و در یال‌ها فشار کم است شکل (۲-۴). در این حالت، تونل در سنگ‌های با جنس مختلف برخورد می‌کند و شرایط مسیر ناهمگن است (حافظی مقدس ۱۳۹۰).

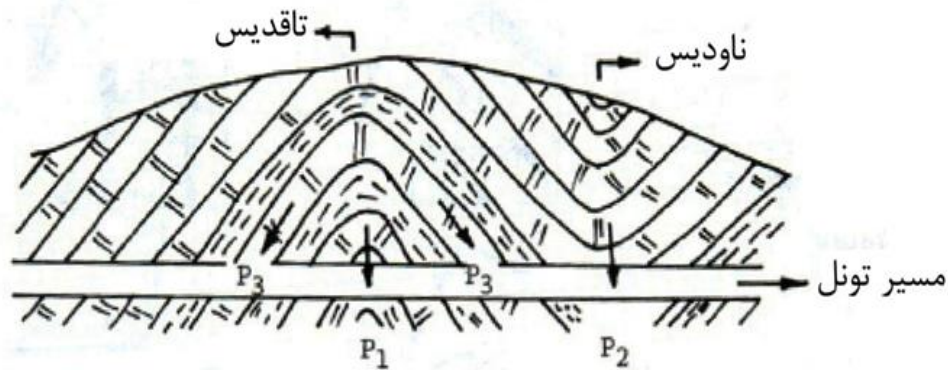


شکل ۲-۲- موقعیت تونل در ناودیس و تاقدیس (اقتباس از حافظی مقدس ۱۳۹۰)



شکل ۲-۳- نحوه حرکت آب به طرف تونل در ناودیس و تاقدیس در حالت تونل موازی محور چین (اقتباس از حافظی

مقدس ۱۳۹۰)



شکل ۲-۴- مسیر تونل عمود به محور چین خوردگی (اقتباس از حافظی مقدس ۱۳۹۰)

### ۲-۳-۳- تأثیرات گسل‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی

گسل‌ها یک عامل مهم هیدروژئولوژیکی در کارست هستند. جابه‌جایی گسل‌ها می‌تواند از چند سانتی‌متر تا صد کیلومتر باشد. گسل‌های کوچک در شکستگی‌های خلل و فرجی در آبخوان شرکت دارند، و بعلاوه با درزه‌های تکتونیک و لایه‌های چین‌شناسی نیز همراه می‌باشند (Hauselmann et al. 1999). کارست‌های مجرای و سیستم‌های غار مانند اغلب از شبکه گسل‌ها و درزه‌ها و لایه‌های سطحی تبعیت می‌کنند. اثرات هیدروژئولوژیکی گسل‌ها به عواملی از قبیل عملکرد پهنای صفحه گسل، درصد و نفوذپذیری مواد پرکننده و جابه‌جایی گسل‌ها وابسته می‌باشند (Glodscheider 2007 اقتباس از Herold 2000).

به عبارت دیگر گسل‌ها از دیگر ساختارهای زمین‌شناسی محدود کننده و مخاطره‌آمیز در تونل می‌باشند. گسل‌ها شکستگی‌های هستند، که در طول آنها جابه‌جایی صورت گرفته است. خطرات ناشی از وجود گسل‌ها در طول مسیر تونل را می‌توان شامل نفوذ آب، قطعات سنگی بداخل تونل، ریزش‌های سنگی دامنه‌ها، توسعه کارست و فعالیت‌های لرزه‌ای تونل دانست، که در صورت عدم شناسایی آنها در طول مطالعات حفاری بسیار مشکل‌ساز می‌باشند. گسل‌ها غالباً به صورت مسیری برای حرکت آب‌های زیرزمینی عمل می‌کنند ولی ممکن است به صورت دیواره آب‌بند نیز عمل نماید. در مواقعی که تونل این پدیده‌ها را قطع کند احتمال نفوذ آب و ورود مقادیر زیادی آب به درون تونل می‌باشد. قرارگیری

تونل در مسیر گسل از بدترین حالات ممکن می‌باشد. بین دیواره گسل‌ها از مواد برشی یا سنگ‌های دانه ریز و پودر خرد شده‌ای که بر اثر عمل سایش ناشی از حرکت نسبی دیواره گسل در طول صفحه گسل ایجاد می‌شود برمی‌گردد. آب به تجزیه همین سنگ‌ها کمک می‌کند و مواد پر کننده مزبور اغلب می‌توانند حاوی کانی‌های رسی باشند. در بعضی مواقع فضایی بین دیواره‌های گسل از مواد خرد شده به اندازه ماسه پر شده است، که تمایل به ریزش به داخل تونل را دارد. اگر این تونل زیر آب واقع شود و از این مصالح عبور کند، همانند سیلاب به داخل تونل جریان خواهد یافت. با توجه به وجود آب، گسل‌ها یکی از مهمترین مسیرها برای عبور آب می‌باشند. علاوه بر این گسل‌ها ممکن است تحت جابه‌جایی‌های پی‌درپی زیادی قرار گیرند، که این مستلزم توجه ویژه‌ای از جنبه نگهداری می‌باشد. پیش‌بینی عرض منطقه گسله یا خرد شده مشکل است و این ممکن است در طول مسیر تغییر کند. مناطق گسله اغلب مسیر عریضی برای انتقال آب‌های زیرزمینی هستند. در نتیجه امری کاملاً معمولی است که با هوازگی عمیق و موضعی به ویژه در مناطق نزدیک سطح زمین مواجه شویم. خطرهای قابل ملاحظه‌ای در حفر تونل در نهشته‌های فاقد استحکام اشباع از آب بر اثر عبور آب و هوازگی وجود دارد (Ashjari and Raeisi 2006).

لی و همکاران (Li et al. 2010) بیان کردند که تعیین نوع گسل نیز از موارد قابل توجه در جریان آب‌های زیرزمینی می‌باشد. گسل‌های که سازوکار کششی داشته باشند قابلیت بیشتری نیز جهت هدایت آب دارند و بر عکس گسل‌های دارای سازوکار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند. گسل‌های نرمال در اثر کشش ایجاد شده، در نتیجه امکان دارد، به میزان چند سانتی‌متر بازشدگی نشان دهند. اگر چه این بازشدگی ممکن است در اثر کلسیت ثانویه و یا برش گسلی پر شود. گسل‌های معکوس و گسل‌های جانبی در اثر نیروهای فشارشی ایجاد شده و می‌توانند به صورت نفوذناپذیر عمل نمایند، در مطالعات آب‌چینه‌شناسی نقش گسل‌های تراستی را نیز به جهت تغییر وضعیت چینه‌شناسی منطقه نباید نادیده گرفت. بسیاری از مجاری کارستی، در طول صفحه‌ی این گسل‌ها ایجاد می‌گردند.

دماتیس و همکارانش (Dematteis et al. 2003) اظهار داشتند که در زمان حفاری تونل، ارتباطی بین لیون و میلان مسیر تونل یک پهنه گسلی را قطع کرده و مقدار آب ورودی به داخل تونل در حدود ۳/۷ متر مکعب بر ثانیه بوده است. آنها همچنین افت سطح آب زیرزمینی و کاهش دبی چشمه‌ها و چاه را در نتیجه تأثیرات تونل‌سازی بر روی آب‌های زیرزمینی می‌دانستند.

موقعی که تونل حفاری می‌شود در داخل سنگ‌های ضعیف با شکستگی‌های زیاد و یا دارای پهنه گسلی، مقدار زیادی آب می‌تواند به داخل تونل وارد شود. مقدار و فشار آب زیرزمینی در مرحله اولیه از حفاری تونل زیاد است و سپس با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند (Song et al. 2006).

فرد (Ford 2007) بیان کرد که در پروژه تونل انتقال آب یالتا (Yalta) در سریما (Cirmea) این تونل از میان گسل‌های سنگ آهک عبور می‌کند، که مقدار دبی آب‌های زیرزمینی تخلیه شده به داخل تونل در سال اول حدود ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه بوده است.

زابینگ و همکارانش (Xiaobing et al. 2004) بیان کردند که ۶۲٪ تونل زونمالیک (Zonmalig) که در حدود ۱۵۲۵ متر بوده در ناحیه کارستی واقع شده است، که شامل یک منطقه گسلی است، و در زمان حفاری این گسل را قطع کرده و باعث ورود مقدار فراوانی آب زیرزمینی به داخل تونل شده است. این تونل، تاقدیس کوه فنگدن (Fangdon) را از شمال تا جنوب قطع کرده است. مشکل اصلی پروژه مقابله تونل با شرایط نامساعد زمین‌شناسی است، که باعث زیاد شدن دبی آب تونل می‌شود. نوع جریان اصلی آب‌های زیرزمینی در این ناحیه در درزه‌های کارستی و آب منفذی، و آب موجود در درزه‌ها و شکاف‌های ماسه‌سنگ‌ها است.

سلیکو و همکاران (Celico et al. 2005) اظهار داشتند که در هنگام حفاری تونل‌های مترو گرین ساسو (Gran ssaso) در ایتالیا با عبور از بالای گسل فریدا (Freda) با نفوذ مقدار زیاد و ناگهانی آب مواجه شدند، که مقدار آبی که به داخل تونل فرو می‌ریزند دبی بالای ۲۰ متر مکعب بر ثانیه دارد. همچنین بیان کردند در زمان عبور تونل از قسمت‌های به شدت تکتونیکی شده و درزه‌های آهکی نیز پدیده مشابهی رخ می‌دهد.

میلانویچ (Milanovich 2005) برای تونل دبر- فتنیکا (Dabar- Fatnica) در بوسنی و هرزیگووین بیان کرده که در هنگام حفاری تونل با پهنه‌های گسلی و شکستگی‌های کارستی فراوانی روبه‌رو شده‌اند، که این عوامل باعث ورود مقدار آبی با دبی حدود ۱ متر مکعب بر ثانیه به داخل تونل شده است، که این ورود آب سبب شکسته شدن بخشی از بدنه تونل شده است.

بررسی‌های زیادی بر روی تونل سوم کوه‌رنگ انجام شده که طبق این بررسی‌ها خطراتی را برای تونل پیش‌بینی شده است. یکی از این خطرات نفوذ آب‌های زیرزمینی به داخل تونل است، که باعث مشکلاتی در حین ساخت تونل می‌شود. به این ترتیب وقتی که تونل از سنگ‌های کربناته عبور می‌کند باعث نفوذ مقدار زیادی آب به داخل تونل می‌شود. نرخ آب ورودی به داخل تونل که در دهانه ورودی تونل اندازه‌گیری شده در حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه برای یک هفته بوده که این مقدار آب به دلیل قطع شدن گسل اصلی نالشگران در حین حفاری تونل است (Zarei and Uromeihy 2010).

تونل گیونا (Giona) یک بخشی از سیستم انتقال آب مورد نیاز آتن- مورنوس (Athens- Moronos) در یونان است. این تونل ۱۴/۶ کیلومتر طول دارد، در هنگام ایجاد آن، تونل دو مجرایی کارستی را قطع می‌کند، که احتمالاً در پهنه گسلی توسعه یافته‌اند. وقتی که در حین حفاری اولین مجرایی کارستی را تونل قطع می‌کند آب تحت فشار زیاد به داخل تونل رها شده و باعث مشکلات فراوانی می‌شود، تونل همچنین دومین مجرا را نیز قطع می‌کند که این مجرا توسط مواد پرکننده مانند رس، ماسه، گراول پوشیده شده اما جریان آب زیرزمینی را به درستی در آنها می‌توان تشخیص داد. در کل آنها میزان آب ورودی به درون تونل را بیش از ۴۰۰ لیتر بر ثانیه تخمین زدند (Xeldakls and Torok 2006).

همه ناحیه‌هایی که تونل در زیر سطح آب زیرزمینی حفاری می‌شود، دارای پتانسیل هجوم حجم زیادی از آب به طور ناگهانی به داخل فضای حفاری نیستند. این پتانسیل در نقاطی وجود دارد که نفوذپذیری توده سنگ به شدت بالا باشد. این حالت در پهنه‌های گسلی به شدت نفوذپذیر و افق‌های کارستیک اتفاق می‌افتد (Goodman et al. 1965; Rayner 2001).



تسینگ و همکاران (Tseng et al. 2001) بیان کردند که در شمال شرق تایوان یک منطقه‌ای با ساخت‌های بسیار پیچیده زمین‌شناسی وجود دارد. با مطالعاتی که بر بخش ورودی شرقی تونل پینگلین (Pinglin) انجام دادند اظهار داشتند، که این منطقه یک منطقه با ساختارهای تکتونیکی و تمرکز انبوه پهنه‌های گسلی و برشی است، بنابراین نفوذ آب زیرزمینی از این پهنه‌ها به داخل تونل یک مسئله غیر قابل انکار در زمان ساخت است. آنها همچنین جهت جریان آب‌های زیرزمینی را هم جهت با ساختارهای زمین‌شناسی از قبیل گسل‌ها و پهنه‌های برشی اعلام کردند. در کل آنها میزان آب زیرزمینی ناگهانی ورودی به داخل تونل مذکور را حدود ۷۵۰ لیتر بر ثانیه تخمین زدند.

تونل یسنسگوان (Yensanguan) در چین ساخته شده که این تونل در مناطق کارستی توسعه یافته ایجاد شده است. در این منطقه چندین گسل وجود دارد که بعد از بررسی‌های انجام شده حدود ۷ گسل را برای احتمال جریان در تونل تشخیص داده‌اند. به طور کلی جریان آب به داخل تونل ممکن است نتایجی از جمله خطرات محیطی و در نتیجه ریزش زمین و خشک شدن منابع آب سطحی در ناحیه به همراه داشته باشد. آنها در این پروژه با پیدا کردن عواملی از قبیل سنگ‌شناسی، آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی ساختمانی، برونزد لایه‌ها، فرسایش‌های سطحی و بارش را به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر جریان آب به داخل تونل ارزیابی نمودند (Jinxiu and Shujioe 2005).

گانرود و همکارانش (Ganerod et al. 2006) بیان کردند که با استفاده از سنجش از دور و نقشه‌های هوایی می‌توان نقشه خطواره‌ها را تعیین کرد، برای این منظور در اطراف تونل ویژژا (Viggja) با تفسیر جهت خطواره‌ها توانستند جهت گسل‌ها و پهنه‌های شکستگی و پهنای آنها را تعیین کنند. در کل آنها دو دسته خطواره بدست آوردند، و در نتیجه آنها متوجه شدند که یکی از دسته خطواره‌ها در زهکشی آب‌های زیرزمینی به داخل تونل فوق دخالت داشته است. مقدار آب زهکش شده در تونل در حدود ۲۰ لیتر بر دقیقه در هر ۱۰۰ متر می‌باشد.

مابی و همکارانش (Mabee et al. 2002) اظهار کردند که با استفاده از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای می‌توان خواص خطی را در روی زمین تشخیص داد. آنها بیان کردند، که با استفاده خطواره‌های



گوناگون تعیین شده در عکس‌های هوایی و انطباق آنها با ساختارهای آبدار در تونل می‌شود قسمت‌های خطرناک را در مسیر تونل‌ها تعیین کرد. البته این پیش‌گویی با شناسایی خطوره‌ها به تنهایی موقعیت آمیز نیست، بلکه باید فاکتورهای دیگر مثل نوع سنگ‌بستر، نوع سربار، موقعیت توپوگرافی، و آب‌های سطحی را نیز باید در نظر گرفت.

### ۲-۳-۴- تأثیرات درزه‌ها و شکستگی‌ها بر جریان آب‌های زیرزمینی

درزه‌ها و شکستگی‌های بدون جابه‌جایی‌های مهم، نتیجه تغییر شکل در سنگ‌های ترد و شکننده و اساساً به علت فشارهای تکتونیکی هستند. جدایش‌های تکتونیکی و لایه‌ای (چینه‌شناسی) سطحی برای جریان آب‌های زیرزمینی و توسعه کارست در سنگ‌های کربناته تعیین کننده است. در کل درزه‌ها و شکستگی‌ها توسعه جریان آب‌های زیرزمینی در کارست‌ها را قادر می‌سازند. درزه‌های که تعداد زیادی لایه‌ها را قطع می‌کنند به نام درزه‌های اصلی نامگذاری می‌شوند، و عموماً گسترده هستند در حد چند متر و موقعیت مجرای اصلی را کنترل می‌کنند (Ford and Williams 1989).

زابدای و فریتایس (Zabidi and Freitas 2006) اعتقاد دارند که هر جا تعداد شکستگی‌ها در مناطق کارستی زیادتر باشد احتمال زهکشی هم بیشتر است. برای مثال آنها بیان کردند، که برای تونلی در کولالامپور که در سنگ‌های آهکی ساخته شده رابطه‌ای بین ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه و آب‌های زیرزمینی پیدا کردند. بسته به این رابطه بین الگوی شکستگی‌ها و خطوط زهکشی حدس زده شده انتظار می‌رود که بیشترین هجوم در شکستگی‌های رخ خواهد، که به مقدار زیادی توده سنگ را قطع می‌کند.

توده سنگ در امتداد تونل‌ها شامل یک یا بیشتر دسته درزه‌اند که تونل را قطع می‌کنند. مقدار جریان آب زیرزمینی به داخل تونل‌ها وابسته به فراوانی و بازشدگی درزه‌ها است. اگر درزه‌ها با موادی از قبیل رس یا کلسیت پر شده باشند آنگاه انتقال آب کم است و تقریباً صفر می‌شود. بنابراین باید

توجه ویژه برای پرکردن درزه‌ها با مواد نفوذناپذیر از قبیل رس و موادی با این خاصیت باید انجام داد (Katibeh and Aalianivari 2009).

الگوی درزه‌ها نشان دهنده ضعف ساختاری در توده‌های سنگ می‌باشد و تاثیر اساسی در زمان پایداری انواع مختلف سنگ‌ها دارد. این الگو تاثیر مهمی در نوع گسیختگی سنگ و خصوصیات پتانسیل فروریزی آن در طول حفاری تونل دارد.

یک مشکل اصلی یا اساسی که اغلب با ساخت تونل ایجاد می‌شود مربوط به آب‌های زیرزمینی است. در حقیقت تمام تجربیات در تونل‌سازی نتیجه تقابل جریان‌های بزرگ آب در شکستگی‌های بزرگ در پهنه‌های اشباع از آب است. بنابراین نیاز به پیش‌بینی جریان آب‌های زیرزمینی به داخل تونل است، که باید مورد توجه قرار گیرد (Freeze and Cherry 1979).

موقعی که تونل در داخل سنگ‌های ضعیف که دارای شکستگی‌های زیادی و همچنین دارای پهنه گسلی حفاری می‌شود، مقدار زیادی آب می‌تواند به داخل تونل وارد شده و باعث مشکلات فراوانی شوند. سرعت حرکت آب زیرزمینی به دلیل ساختارهای پیچیده زمین‌شناسی و هدایت هیدرولیکی می‌تواند زیاد باشد (Song et al. 2006).

قسمت‌های که شکستگی‌ها گسترش زیادتری دارند و ارتباط‌های درونی زیادی در بین سنگ‌ها وجود دارد زهکشی آب با ساختن سازه‌های همچون تونل زیاد می‌شود. به معنی این که ارتباط بین شکستگی‌ها در اینجا خیلی مهم و اساسی است به این ترتیب که هر جا این ارتباط بین شکستگی‌ها زیادتر باشد میزان هجوم آب به داخل تونل‌ها نیز بیشتر خواهد بود (Shapiro et al. 2003).

اشوارز و همکارانش (Schwarz et al. 2006) اظهار داشتند که در امتداد حفاری مسیری از تونل برگسلک (Brixlegg) در کشور اتریش به یک قسمت کربناته برخورد شده، که باعث ورود آب با دبی حدود ۲۵ لیتر بر بر ثانیه به داخل تونل شده است. پس از بررسی‌های مختلف مشخص شد که یک پهنه گسلی با چند متر ضخامت در این قسمت با مواد ناپایداری پر شده که این باعث ورود آب به داخل تونل بوده است.

گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی در سنگ‌ها، معمولاً معرف وجود آب‌های زیرزمینی بوده و موقعیت، الگوی و چگالی آنها در مطالعات اکتشافی آب‌های زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. گسل‌ها، درزه‌ها و آثار شکستگی در تصاویر ماهواره‌ای، معمولاً به صورت پدیده‌های خطی و خطواره نشان داده می‌شوند (ناصری ۱۳۷۹).

شاپیرو و همکاران (Shapiro et al. 2003) بیان کردند که طغیان فراوانی آب در داخل تونل‌های ساخته شده در سنگ‌های آذرین و گنایس‌های نزدیک واشنگتن - دی سی آمریکا مشاهده شده است، و آنها اظهار داشتند که زهکشی آب‌های زیرزمینی در جاهای که ارتباط بین شکستگی‌ها زیادتر و همچنین ارتباط درونی بین سنگ‌ها زیادتر است بیشتر به وقوع می‌افتد.

### ۲-۳-۵- تأثیرات وضعیت پوشش خاک بر جریان آب‌های زیرزمینی

در مناطق کارستی که سطح آهک توسط خاک پوشیده شده باشد، نرخ نفوذ آب به درون آهک توسط این خاک کنترل می‌شود و در غیر این صورت قابلیت انتقال آهک در جهت عمودی نرخ نفوذ را کنترل می‌کند. ضخامت خاک پوشاننده سنگ‌های کربناته از لحاظ نگهداشت رطوبت اهمیت بسزایی دارد. بافت خاک یکی از خصوصیات مهم در میزان نفوذپذیری است، به این صورت که هر چه بافت خاک دانه درشت‌تر باشد آب کمتری در خود نگه می‌دارد و در نتیجه سرعت عبور آب در خاک بیشتر می‌باشد. چنانچه ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک سطحی ریزدانه بوده و ضخامت آن قابل توجه باشد، از میزان آب نفوذی کاسته می‌گردد (Williams 1983).

## فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل کلیه کارهایی که برای ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه کوه سوخته-جهان‌بین در طول مسیر تونل در محدوده مورد مطالعه، (شامل آبخوان‌های آبرفتی و کارستی)، انجام شده است، به طور خلاصه ارائه می‌شود. کارهای انجام شده عبارتند از:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مرتبط با موضوع مورد مطالعه
- بازدیدهای صحرایی
- مطالعات زمین‌شناسی و ساختاری
- بررسی اطلاعات بدست آمده از گمانه‌های اکتشافی
- مطالعات هیدروژئولوژیکی
- ارزیابی احتمال ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های کم‌عمق و عمیق
- تعیین نقاط بحرانی از نظر هجوم آب‌های زیرزمینی

### ۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه مورد نظر

به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه به اطلاعات و آمار پایه نیاز می‌باشد، که از اساسی‌ترین آنها اطلاعات گمانه‌ها، نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های ماهواره‌ای، آمار منابع آب زیرزمینی، سنگ‌شناسی منطقه در مسیر عبور تونل، موقعیت مسیر تونل نسبت به منابع آب زیرزمینی، جنس سنگ‌بستر در نقاط مختلف منطقه، ضخامت آبخوان و عوامل ساختاری منطقه می‌باشد. با استفاده از

گزارش‌های موجود در شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری ویژگی‌های از قبیل ضخامت آبرفت‌ها و جنس سنگ کف در منطقه شناسایی شده است. برای تعیین مشخصات آب و هوایی که شامل بارندگی و دما منطقه می‌باشد، از آمار ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه استفاده شده است.

### ۳-۲- بازندهای صحرایی

به منظور جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات سنگ‌شناسی، ساختاری و ریخت‌شناسی مطالعات صحرایی ضروری است. در مطالعات صحرایی ویژگی‌های ساختاری و ویژگی‌های سنگ‌شناسی برداشت و توصیف گردیده است. همچنین وضعیت دشت و موقعیت قرارگیری واحدهای آهکی نسبت به دشت کنترل شده است. در بازندهای انجام شده در منطقه در ایستگاه‌های مختلف شکستگی‌ها و لایه‌بندی مشاهده شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. برای مطالعه شکستگی‌ها مراحل زیر انجام شده است:

۱- طراحی مسیر پیمایش: بعد از بازندهای صحرایی مقدماتی، مسیر پیمایش که همان مسیر عبور تونل بوده است، بر روی نقشه زمین‌شناسی و عکس‌های ماهواره‌ای تعیین گردید. از ویژگی‌های مسیر پیمایش این بوده که تقریباً عمود بر ساختار اصلی در منطقه از جمله گسل‌های اصلی زاگرس و اردل می‌باشد.

۲- مطالعات صحرایی: پس از انجام مراحل فوق، اندازه‌گیرهای صحرایی در مناطق مورد مطالعه انجام گرفته شده است. ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد نظر در قالب ایستگاه‌های مختلف بررسی گردید. در این روش مسیر پیمایش به ایستگاه‌های مختلفی تقسیم شده است. ویژگی‌های ساختاری کوه‌های سوخته، هزارگزی و جهان‌بین در هر یک از ایستگاه‌ها در طول مسیر در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. در ضمن موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه با استفاده از GPS تعیین و ثبت شده است.

در هنگام برداشت داده در صحرا، اطلاعاتی از قبیل امتداد شکستگی‌ها، مقدار شیب و جهت آنها، مقدار بازشدگی و جنس آنها (البته اکثراً آهکی بودند) و تعداد آنها برداشت شده است. جهت مدل کردن شکستگی‌های برداشته در طول مسیر و به منظور شناسایی روند کلی آنها و پی بردن به الگوی درزه‌ها در منطقه و در طول مسیر عبور تونل از نرم افزار GeoPlot-12 استفاده شده است. همچنین جهت مطالعات آماری، داده‌های برداشت شده به محیط نرم افزار Excel وارد گردید.

### ۳-۳- مطالعات زمین‌شناسی

مطالعات زمین‌شناسی به عنوان مطالعات پایه در بسیاری از پروژه‌های عمرانی کاربرد دارند، و بسته به اهداف پروژه انتظارات خاصی را برآورده می‌نمایند. جهت تعیین محدوده مورد مطالعه و شناسایی خصوصیات عمومی منطقه نقشه زمین‌شناسی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است، که در تهیه این نقشه از، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مطالعات صحرائی استفاده شده است. برای پردازش داده‌های دورسنجی و تشکیل لایه‌های مورد نیاز و تهیه نقشه نهایی از نرم افزار Arc GIS 9.3 استفاده شده است. در مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در منطقه عبور تونل به بررسی موارد زیر پرداخته شده است که عبارتند از:

#### ۳-۳-۱- ارزیابی سازندهای مختلف موجود در منطقه

پس از بررسی نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، مسیر پیمایش انتخاب و بر اساس مشخصات سنگ‌شناسی و با توجه به مطالعات چینه‌شناسی و اطلاعات گمانه‌های اکتشافی واحدهای مختلف سنگی (سازندها) از یکدیگر تفکیک شده است. به‌طور کلی واحدهای سنگ‌شناسی تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه اکثراً از سنگ‌های رسوبی که بیشتر شامل سنگ‌های آهکی، شیل، مارن و کنگلومرا هستند. در زیر نحوه بررسی هر یک از آنها به‌طور مجزا و مختصر شرح

داده می‌شود، البته لازم به ذکر است که توضیحات تکمیلی این قسمت در فصل چهارم بیان شده است.

- ۱- اسم سازند و مشخصات سنگ موجود در منطقه مشخص و تعیین شده است.
- ۲- در مطالعات روی زمین، بررسی رخنمون‌ها و اندازه‌گیری آنها به منظور تشخیص جنس و سن سنگ‌ها و ساختار واحدهای سنگی انجام شده است. در همین راستا چند مقطع میکروسکوپی نیز تهیه و مورد مطالعه قرار گرفته است.

### ۲-۳-۲- ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه

در این بررسی‌ها، مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری موجود در منطقه که مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- ۱- تشخیص و بررسی شکستگی‌ها
- ۲- شرح روندهای ساختاری و روابط بین عوارض مهم ساختمانی
- ۳- اندازه‌گیری شیب و امتداد لایه‌ها و شکستگی‌ها
- ۴- تعیین گسل‌های اصلی و فرعی
- ۵- شناسایی و تعیین چین‌خوردگی‌های موجود در منطقه
- ۶- تهیه نقشه ساختاری منطقه

### ۲-۳-۱- ارزیابی وضعیت گسلش و درزه‌ها در منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی وضعیت ساختاری در محدوده مورد مطالعه اقدام به بررسی دقیق گسل‌ها و درزه‌های موجود در منطقه شده، که در زیر نحوه انجام این بررسی‌ها آورده شده است.





### ۳-۳-۳- ارزیابی ویژگی‌های مربوط به نهشته‌های جوان در منطقه مورد مطالعه

این نهشته‌ها در رابطه با نفوذ آب به داخل تونل نقش مهمی را ایفا می‌کنند. مهم‌ترین ویژگی‌های که در خصوص نهشته‌های جوان در این تحقیق به آنها توجه شده است به شرح زیر می‌باشند:

۱- تعیین ضخامت آبرفت‌ها

۲- جنس سنگ‌ها و لایه‌هایی که در زیر این نهشته‌ها قرار گرفته‌اند (سنگ بستر)

از مهم‌ترین ویژگی‌های نهشته‌های جوان وجود فروچاله در این نهشته است، دلیل آن وجود سنگ‌های با قابلیت انحلال بالا در زیر این نهشته‌ها می‌باشد، که می‌تواند پتانسیل انتقال و فرار آب از آنها را افزایش دهند. از این رو در این تحقیق به بررسی این نهشته‌ها در منطقه پرداخته شده است.

### ۳-۴- بررسی گمانه‌های اکتشافی

در طول مسیر تونل انتقال آب بهشت‌آباد در محدوده مورد مطالعه ۱۱ گمانه توسط شرکت مشاور زاینده‌آب حفاری شده است. اکثر این گمانه‌ها در قسمت‌های عمیق حفاری شده، که در شکل (۳-۱) موقعیت هر یک از گمانه‌ها در امتداد مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه مشخص شده است. با استفاده از این اطلاعات به بررسی موارد زیر پرداخته شده است.

### ۳-۴-۱- ارزیابی نوع سنگ‌شناسی در نقاط مختلف منطقه

با توجه به مغزه‌هایی که از گمانه‌های حفر شده در منطقه بدست آمده و بر اساس ویژگی‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی محل، جنس و نوع سنگ‌های موجود در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است، که بر اساس آنها سازندهای مختلف از هم تفکیک شده است. با توجه به موارد ذکر شده، موقعیت کلی مسیر نسبت به سنگ‌شناسی که در آن حفاری شده است تعیین و مشخص شده است. بر این اساس سنگ‌های مختلف، از نظر نفوذپذیری و قابلیت انتقال آب مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### ۳-۴-۲- تعیین منشاء آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف منطقه

بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز عناصر اصلی (کاتیون و آنیون‌های اصلی) گمانه‌ها و منابع زیرزمینی (اعم از چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها) موجود در منطقه، به منظور تعیین نوع آب، بررسی و تعیین منشاء، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی و تیپ آب، اقدام به ترسیم دیاگرام‌های کیفی نظیر دیاگرام‌های پایپر (Piper) و استیف (Stiff) شده است.

### ۳-۴-۳- ارزیابی نتایج آزمایش لوژان

با توجه به سنگ‌شناسی‌های مشخص شده و سازندهای تعیین شده در منطقه و نتایج بدست آمده از آزمایش لوژان (شرکت مشاور زاینده‌آب)، نفوذپذیری واحدهای سنگی مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه و در قسمت‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

### ۳-۴-۴- تطابق گمانه‌ها در منطقه مورد مطالعه

در مطالعات هیدروژئولوژیکی نه تنها تفکیک سازندها در جهت جانبی مهم است، بلکه به لحاظ تفاوت در خصوصیات هیدرولوژیکی سازندهای مختلف که بر روی هم قرار گرفته‌اند، تفکیک سازندها در جهت عمودی نیز حائز اهمیت می‌باشد. برای این کار از نیمرخ‌های زمین‌شناسی استفاده شده است. از اهداف اصلی تهیه نیمرخ زمین‌شناسی بررسی دقیق‌تر محور عبور تونل در منطقه و نحوه قرارگیری واحدهای مختلف زمین‌شناسی در کنار هم در منطقه و همچنین برقراری ارتباط بین گمانه‌ها در طول مسیر است. در ترسیم نیمرخ‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی مسیر از نرم افزارهای Arc GIS 9.3 و Global Mapper 12 استفاده شده است.

### ۳-۵- مطالعات هیدروژئولوژیکی منطقه

در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی منطقه بعد از شناسایی سازندهای مختلف و تشخیص خصوصیات آنها، شروع به طبقه‌بندی و تفکیک سازندهای مختلف بر اساس تراوایی شده است. بر این اساس که پهنه‌های تراوا و نفوذپذیر منطقه شناسایی و مشخص شده است. سپس بر اساس اطلاعات پیزومترهای حفاری شده در آبخوان‌ها منطقه که توزیع نسبتاً یکنواختی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند، خطوط هم‌پتانسیل ترسیم شده است. به منظور تهیه نقشه هم‌پتانسیل، از نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده شده است.

### ۳-۵-۱- ارزیابی وضعیت تراوایی واحدهای سنگی مختلف در منطقه

در بعضی از موارد سازندهایی با خصوصیات سنگ‌شناسی نسبتاً یکنواخت، خصوصیات ساختاری و هیدروژئولوژیکی کاملاً متفاوتی نشان می‌دهند. برای این منظور لازم است، سازندهای مختلف را از نظر هیدروژئولوژیکی و ساختاری کاملاً بررسی کنیم. برای مثال در سازندهای آهکی موجود در منطقه در بخش‌های که تراکم درزه‌ها و گسل‌ها زیاد است، سبب افزایش تراوایی خواهد شد. در حالی که در بخش‌های دیگر که احتمالاً تراکم این درزه‌ها و شکستگی‌ها کمتر است، تراوایی اندک خواهد بود. بنابراین ضروری است سازندهای با خصوصیات سنگ‌شناسی یکسان برای اهداف هیدروژئولوژیکی از نظر تراوایی از یکدیگر تفکیک شوند.

### ۳-۵-۲- تهیه نقشه هم‌پتانسیل و تعیین مسیر عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه

به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب در آبخوان آبرفتی دشت شلمزار، نقشه هم‌پتانسیل دشت تهیه شده است. برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از داده‌های اسفند ماه سال ۱۳۸۹ استفاده شده است.

### ۳-۵-۳- ترسیم هیدروگراف جهت بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی در منطقه

به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارش‌های جوی، ذوب برف و جهت بررسی تغییرات توسعه کارست و نوع جریان و همچنین مدت زمان تغییرات سطح آب در منطقه با توجه به نزولات جوی، در محدوده مورد مطالعه اقدام به ترسیم هیدروگراف پیزومترهای موجود در منطقه برای یک دوره آماری تقریباً ۵ ساله یعنی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ شده است. به همین منظور از اطلاعات بارندگی تهیه شده از سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری و اطلاعات سطح آب زیرزمینی موجود در پیزومترها (با توجه به ناقص بودن اطلاعات بعضی از پیزومترها) استفاده شده است.

### ۳-۶- ارزیابی ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های کم عمق و عمیق

به منظور بررسی احتمال ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های کم عمق و عمیق در منطقه مورد مطالعه (بخشی از مسیر تونل انتقال آب) اقدامات زیر انجام شده است.

الف- مشخص کردن و شناسایی منابع آب زیرزمینی و آبخوان‌های موجود در مسیر تونل با استفاده از مرزهای توپوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی

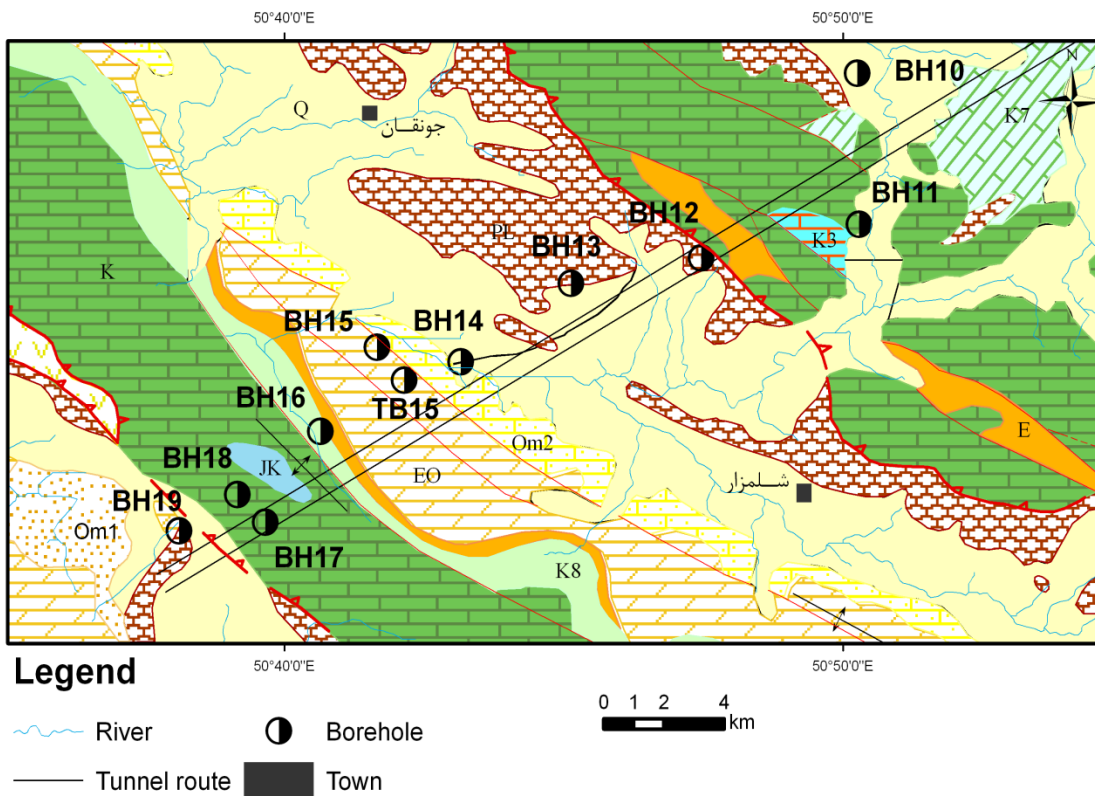
ب- بررسی دشت از نظر نوع، عمق، گسترش، جهت جریان و ارتباط هیدرولیکی آن با بخش‌های زیرین، برای این منظور از گمانه‌های اکتشافی حفاری شده و همچنین پیزومترهای موجود در دشت مورد مطالعه استفاده شده است.

✓ جهت مطالعه آبخوان‌ها از نظر هیدروژئولوژیکی در منطقه مراحل زیر انجام گرفته است:

۱- با استفاده از داده‌های موجود و پارامترهای محاسبه شده، جهت تعیین نوع آب‌ها، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی بین نمونه‌های تهیه شده از بخش‌های زیرزمینی کم عمق و عمیق و تعیین تیپ آب و منشاء آنها از دیاگرام‌های پایپر (Piper) و استیف (Stiff) استفاده شده است.

۲- بررسی موقعیت مسیر تونل نسبت به تراز آب زیرزمینی در هر آبخوان، منظور بررسی مسیر تونل از نظر قرارگیری در زیر سطح ایستابی یا بالای سطح ایستابی آن می باشد.

۳- با توجه به مشخص شدن واحدهای سنگی و سازندهای مختلف در طول مسیر، همچنین تعیین میزان نفوذپذیری آنها و با توجه به تفسیر عوامل ساختاری موجود در منطقه، مناطق بحرانی از نظر هجوم آبهای زیرزمینی و ارتباط بین بخش های بالا و پایین ( محل عبور تونل) شناسایی شده و مورد بحث و بررسی گرفته است.



شکل ۳-۱- موقعیت و محل گمانه ها در بخشی از مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه

## فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس توالی چینه‌شناسی

### ۴-۱- مقدمه

در این فصل در ابتدا به بررسی سازندهای مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده و همچنین تفسیر کاملی از گمانه‌های حفر شده ارائه شده است. در همین راستا ارتباط لیتولوژیکی بین گمانه‌های موجود در منطقه برقرار شده است. در نهایت به ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس توالی چینه‌شناسی محل پرداخته شده است.

### ۴-۲- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به طور عمده در پهنه زاگرس مرتفع و بخش کمی از آن نیز در پهنه سنندج-سیرجان قرار گرفته است. در پهنه زاگرس مرتفع سازندها، به ترتیب شامل آهک‌های ضخیم لایه (معادل سازند سروک)، کنگلومرای (معادل سازند کشکان)، آهک و دولومیت (معادل سازند جهرم-آسماری)، آهک (معادل بخش بالایی سازند آسماری)، مارن‌های (معادل سازند رازک)، مادستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرای (معادل سازند بختیاری) هستند. پهنه سنندج-سیرجان به واسطه تغییرات زیاد ساختاری دارای زمین‌شناسی بسیار پیچیده است. سنگ‌های رخنمون یافته از این پهنه در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای کرتاسه متشکل از آهک، آهک مارنی، آهک ماسه‌ای و همچنین رخنمون‌های محدودی از آهک، مارن و کنگلومرا متعلق به سنوزوئیک است، که در مناطق مختلف

## فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس توالی چینه‌شناسی

دیده می‌شوند. اشکال (۱-۴) و (۲-۴) ستون چینه‌شناسی مربوط به هر یک از این دو پهنه در محدوده مورد نظر را نشان می‌دهند. در شکل (۳-۴) نمایی از واحدهای سنگی مختلف که با توجه به مطالعات صحرایی انجام شده در منطقه تهیه شده است را نشان می‌دهد.

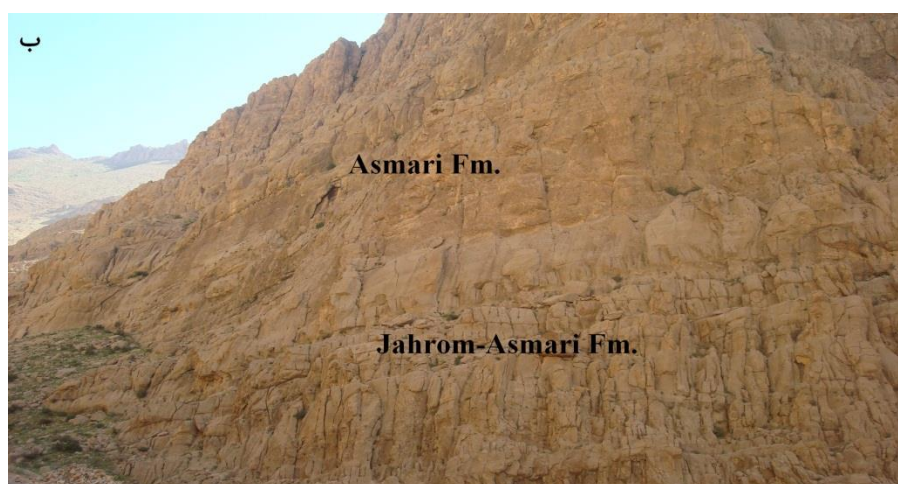
System	Series	Formation	Lithology	Description
Tertiary	Plio - Pleistocene	Bakhtiari		Conglomerate and Sandstone
	Miocene	Razak		Marl- Siltstone
	Miocene	Asmari		Thick bedded limestone
				Limestone Dolomite
				Limestone
	Eocene - Oligocene	Asmari - Jahrom		Sandy limestone
Paleocene-Eocene	Kashkan		Alternation of Conglomerate and Sandstone	
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Thick bedded limestone

شکل ۱-۴ - ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه زگراس مرتفع (بدون مقیاس)

System	Series	Formation	Lithology	Description
Tertiary	Paleocene-Eocene	Kashkan		Conglomerate and sandstone
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Shale limestone Sandy limestone Thin bedded limestone

شکل ۲-۴ - ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه سندرچ- سیرجان (بدون مقیاس)





شکل ۳-۴- برونزد واحدهای مختلف سنگی در محدوده مورد مطالعه، الف- معادل سروک، ب- معادل جهرم-آسماری و بخش بالایی آسماری (دید به سمت NE)، ج- معادل بختیاری (دید به سمت SW)



#### ۳-۴- مشخصات گمانه‌ها

در محدوده مورد مطالعه ۱۱ گمانه حفاری شده است. این گمانه‌ها توسط شرکت مشاور زاینده‌آب اصفهان حفر شده‌اند. در هر یک از این گمانه‌ها اطلاعات سنگ‌شناسی و سطح آب زیرزمینی تعیین شده، که در این فصل به بررسی آنها پرداخته شده است. در این گمانه‌ها اطلاعات سنگ‌شناسی از محل شروع حفاری تا بخش‌های زیرین (منظور اطراف تونل) بیان شده، که بر اساس این اطلاعات به بررسی سنگ‌شناسی منطقه از نظر قابلیت انتقال آب زیرزمینی و توالی‌های چینه‌شناسی آن پرداخته شده است. اطلاعات مربوط به گمانه‌ها در جدول (۴-۱) آورده شده است.

#### ۴-۴- تطابق گمانه‌ها

برای این که ارتباط لیتولوژیکی در بین گمانه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برقرار شود، اول بر اساس زمین‌شناسی منطقه که در فصل اول به آن پرداخته شده، سازندهای مختلف موجود در منطقه از قدیم به جدید مرتب شده و ستون چینه‌شناسی مربوط به آنها ترسیم شده است. نیمرخ توپوگرافی و نیمرخ زمین‌شناسی منطقه نیز ترسیم شده، سپس با توجه به ستون چینه‌شناسی و نحوه قرارگیری گمانه‌های اکتشافی بر روی نیمرخ‌ها، سازندهای مختلف موجود در منطقه مشخص و از نظر تراوایی و خصوصیات هیدروژئولوژیکی و لیتولوژیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفته شدند. در این ارتباط به بررسی محل و نوع سنگ‌شناسی هر گمانه بر اساس اطلاعات موجود در روی نقشه زمین‌شناسی و با توجه به مقاطع نازک تهیه شده از منطقه نیز پرداخته شده است. در انتها گمانه‌های مختلف را با هم مقایسه کرده و یک تطابق لیتولوژیکی در بین گمانه‌ها بدست آمده است. جهت تشخیص سنگ‌شناسی و نوع سازندهای موجود در منطقه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد نیز استفاده شده است.

## فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس توالی چینه‌شناسی

جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌های حفر شده در بخشی از مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه (شرکت زاینده‌آب ۱۳۸۷)

شماره	گمانه	UTM		ارتفاع دهانه گمانه (m)	عمق حفاری (m)	مقدار حفاری (m)	سطح آب زیرزمینی (m)
		Y	X				
۱	BH <sub>۱۰</sub>	۳۵۵۸۱۵۹	۴۸۵۸۳۱	۲۰۱۶	۱۶۹۶	۳۲۰	۲۰۱۰
۲	BH <sub>۱۱</sub>	۳۵۵۴۶۸۹	۴۸۴۸۳۱	۲۰۴۳	۱۶۹۳	۳۵۰	۲۰۳۰
۳	BH <sub>۱۲</sub>	۳۵۵۳۱۳۳	۴۸۱۱۱۶	۲۲۲۰	۱۷۱۸	۵۰۲	۲۲۱۰
۴	BH <sub>۱۳</sub>	۳۵۵۲۸۵۰	۴۷۸۱۲۰	۲۰۸۰	۱۶۹۵	۳۸۵	۲۰۰۰
۵	BH <sub>۱۴</sub>	۳۵۴۹۳۰۶	۴۷۴۶۳۶	۲۰۰۳	۱۵۷۲	۴۳۱	۲۰۰۰
۶	BH <sub>۱۵</sub>	۳۵۴۸۷۹۸	۴۷۲۲۹۲	۲۰۹۸	۱۴۷۸	۶۲۰	۲۰۷۰
۷	TB <sub>۱۵</sub>	۳۵۴۸۲۳۵	۴۷۳۰۸۷	۲۰۷۶	۱۶۸۵	۳۹۱	۲۰۶۵
۸	BH <sub>۱۶</sub>	۳۵۴۶۹۸۵	۴۶۹۵۵۹	۲۳۰۷	۱۶۹۷	۶۱۰	۱۸۰۰
۹	BH <sub>۱۷</sub>	۳۵۴۵۶۰۷	۴۶۷۷۰۲	۱۹۴۱	۱۷۰۱	۲۴۰	۱۷۹۰
۱۰	BH <sub>۱۸</sub>	۳۵۴۵۱۲۱	۴۶۷۹۷۰	۱۹۵۸	۱۷۰۹	۲۴۹	۱۷۸۸
۱۱	BH <sub>۱۹</sub>	۳۵۴۴۲۰۵	۴۶۶۳۴۵	۱۸۸۱	۱۶۷۶	۲۳۵	۱۷۲۵

### ۴-۴-۱- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH<sub>10</sub>

محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک شیلی و لایه‌های نازک لایه آهک ماسه‌ای و آهک‌های سخت می‌باشند، سنگ‌شناسی گمانه از سطح تا عمق ۳۲۰ متری شامل سنگ آهک شیلی سخت، خاکستری تیره تا سیاه، میکریتی، تازه، با رگه‌های نامنظم نازک کلسیتی است. بر اساس نوع سنگ‌شناسی و محل قرارگیری آن بر روی نقشه زمین‌شناسی نتیجه می‌شود که این گمانه نیز در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده است.

### ۴-۴-۲- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH<sub>11</sub>

محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک‌های نازک لایه تا سخت است. سنگ‌شناسی گمانه از سطح تا عمق ۳۵۰ متری شامل سنگ آهک سخت، خاکستری، اسپاریتی، تازه با رگه‌های نازک کلسیتی است. با این نوع سنگ‌شناسی و همچنین بر اساس مقطع نازک تهیه شده، این نوع سنگ‌شناسی مربوط به سازند معادل سروک است، که می‌توان گفت گمانه در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده است.

#### ۳-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH12

محل حفر گمانه در منطقه بر روی کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ با میان لایه‌های ولکانیکی و سیلت‌استون است. بر اساس سنگ‌شناسی گمانه که از سطح زمین تا عمق ۵۰۲ متری شامل سرپانتینیت خرد شده، خیلی ضعیف، سبز تیره، مقداری هوازده است. احتمالاً این گمانه در رسوبات معادل سازند کشکان حفاری شده است.

#### ۴-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH13

محل حفر گمانه در منطقه بر روی کنگلومرا، ماسه‌سنگ و گریت‌استون‌های سخت می‌باشند. سنگ‌شناسی این گمانه از سطح زمین تا عمق ۳۴۱ متری شامل تناوبی از مارن و کنگلومرا با دانه‌بندی ریز و تازه و از این عمق تا عمق ۳۵۴ متری شامل ماسه‌سنگ آهک‌دار، سخت، خاکستری متمایل به قهوه‌ای، دانه‌بندی ریز و تازه و سپس تا انتها گمانه (عمق ۳۸۵ متری) شامل مارن به صورت متناوب و ضعیف تا سخت است. این نوع سنگ‌شناسی را می‌توان طبق نقشه معادل سازند بختیاری قرار داد.

#### ۵-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH14

نهمین تراسه‌های تراست‌های کهن در این قسمت وجود دارند. سنگ‌شناسی این گمانه از سطح زمین تا عمق ۳۸۹ متری شامل تناوب مارن و آهک‌های مارنی متناوب، سخت، خاکستری، تازه و دانه‌بندی ریز تا متوسط و تا عمق ۴۰۶ متری شامل مارن‌استون‌های آهکی سخت، خاکستری و تازه است. بر اساس محل قرارگیری گمانه در این قسمت احتمالاً گمانه در رسوبات معادل سازند رازک حفاری شده است.

#### ۴-۴-۶- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH15

محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک‌های سفید نومولیت‌دار، آهک مارنی و آهک دولومیتی که طبق نقشه معادل سازندهای جهرم- آسماری می‌باشند قرار می‌گیرد. بر اساس سنگ‌شناسی موجود در منطقه و نوع سنگ‌شناسی گمانه که از سطح تا عمق ۵۲۹ متری شامل مارن‌استون سخت، خاکستری متمایل به سبز و سپس تا عمق ۵۶۰ متری شامل لایه‌های متناوبی از آهک‌های سخت، خاکستری می‌باشند که می‌توان گفت که این گمانه در ابتدا در رسوبات معادل سازند رازک و سپس در رسوبات معادل سازند جهرم- آسماری حفاری شده است.

#### ۴-۴-۷- بررسی لیتولوژیکی گمانه TB15

سنگ‌شناسی این گمانه از سطح زمین تا عمق ۳۹۱ متری (یعنی محل عبور تونل) شامل مارن‌استون‌های سخت و خاکستری می‌باشد. بر اساس توالی چینه‌شناسی منطقه و بر اساس این نوع سنگ‌شناسی می‌توان گفت که گمانه مذکور در رسوبات معادل سازند رازک حفاری شده است.

#### ۴-۴-۸- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH16

محل حفر گمانه در منطقه بر روی لایه‌های متناوب شیل و مارن با میان لایه‌های آهک مارنی فسیل‌دار و همچنین کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ و سلیت‌استون و آهک‌های سخت کرتاسه می‌باشد. واحدهای کنگلومرای این قسمت طبق نقشه معادل سازند کشکان می‌باشد. با توجه به نوع سنگ‌شناسی گمانه که از سطح تا عمق ۵۴ متری شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ می‌باشد و از این عمق تا عمق ۶۱۰ متری شامل آهک‌های سخت می‌باشد. بنابراین نتیجه می‌شود که این گمانه ابتدا به رسوبات معادل سازند کشکان و سپس به رسوبات معادل سازند سروک با توجه به سنگ‌شناسی محل رسیده است.

#### ۹-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH17

محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک و آهک‌های مارنی و سپس آهک‌های ضخیم لایه، و همچنین شیل‌های بیتومن‌دار با میان لایه‌های آهک و ماسه سنگ در بخش پایین و آهک‌های آمونیت‌دار و آهک‌های مارنی است. بر اساس نوع سنگ‌شناسی از ابتدا تا عمق ۵۳ متری به آهک‌های مارنی و سپس از این عمق تا حدود عمق ۲۴۰ متری آهک‌های سخت و خاکستری مایل به قهوه‌ای رسیده است. بر اساس نتایج مقطع نازک، این گمانه نیز در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده است.

#### ۱۰-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH18

محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک و آهک‌های مارنی و سپس آهک‌های ضخیم لایه، و همچنین شیل‌های بیتومن‌دار با میان لایه‌های آهک و ماسه‌سنگ در بخش پایین و آهک‌های آمونیت‌دار است. بر اساس نوع سنگ‌شناسی گمانه از ابتدا تا عمق ۵۳ متری به آهک‌های مارنی و سپس از این عمق تا حدود عمق ۲۴۹ متری آهک‌های سخت و خاکستری مایل به قهوه‌ای رسیده است. برای این منظور جهت تشخیص سازند این قسمت از رخنمون‌های واحدهای سنگی آن مقطع نازک تهیه شده و بر اساس نتایج آن مشخص گردید، که این گمانه احتمالاً در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده است.

#### ۱۱-۴-۴- بررسی لیتولوژیکی گمانه BH19

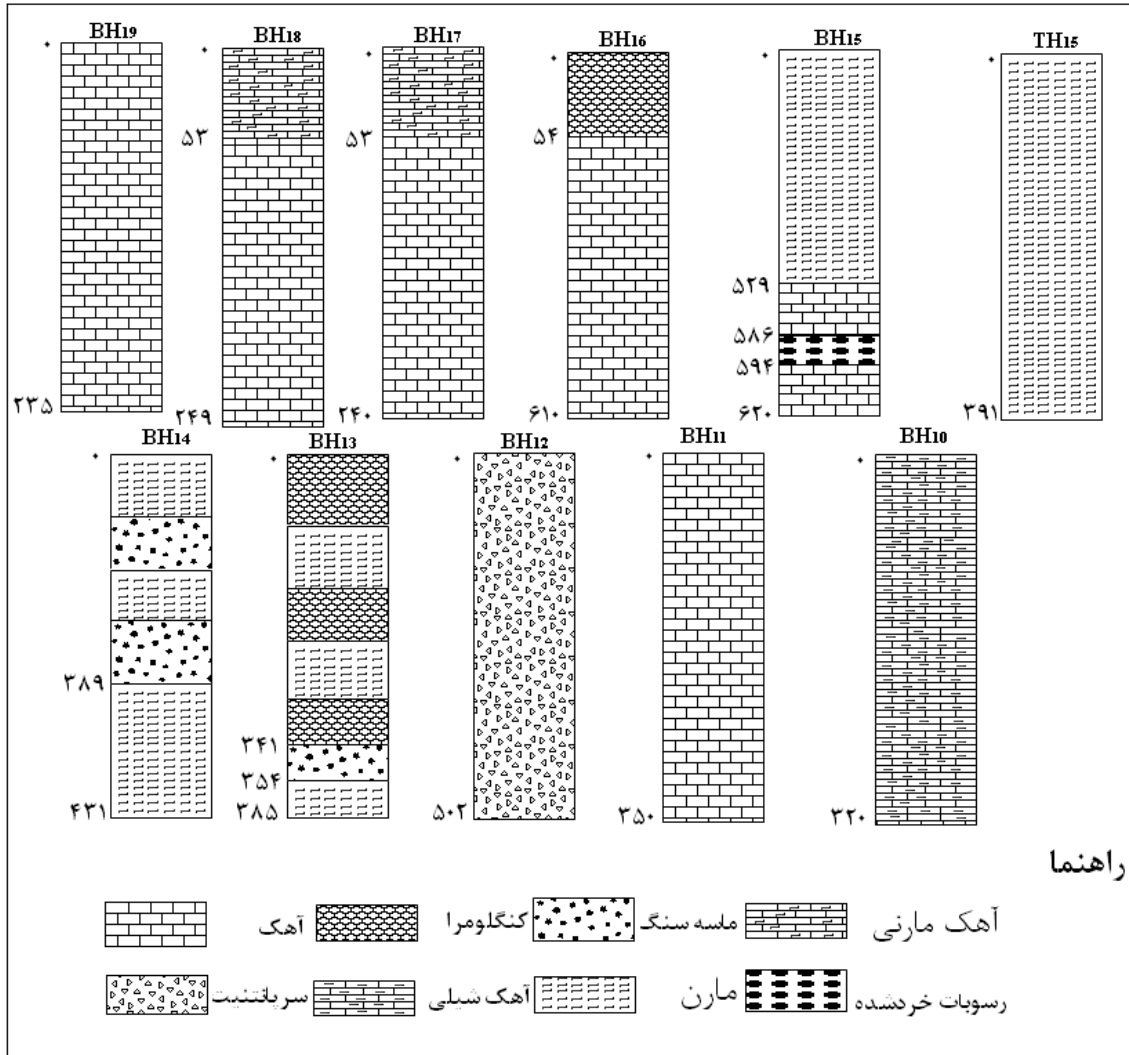
محل حفر گمانه در منطقه بر روی آهک‌های ضخیم لایه و آهک‌های دولومیتی است، که توالی فوق به رسوبات معادل سازندهای سروک و جهرم-آسماری نسبت داده شده است (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰). بر اساس لاگ گمانه از سطح تا محل حفر تونل یعنی در عمق ۲۳۵ متری، شامل آهک‌های خرد شده، هوازده و خاکستری روشن می‌باشد، که می‌توان این گمانه را در رسوبات معادل سازند سروک در نظر گرفت.

### ۴-۴-۱۲- نتایج تطابق لیتولوژیکی بین گمانه‌ها

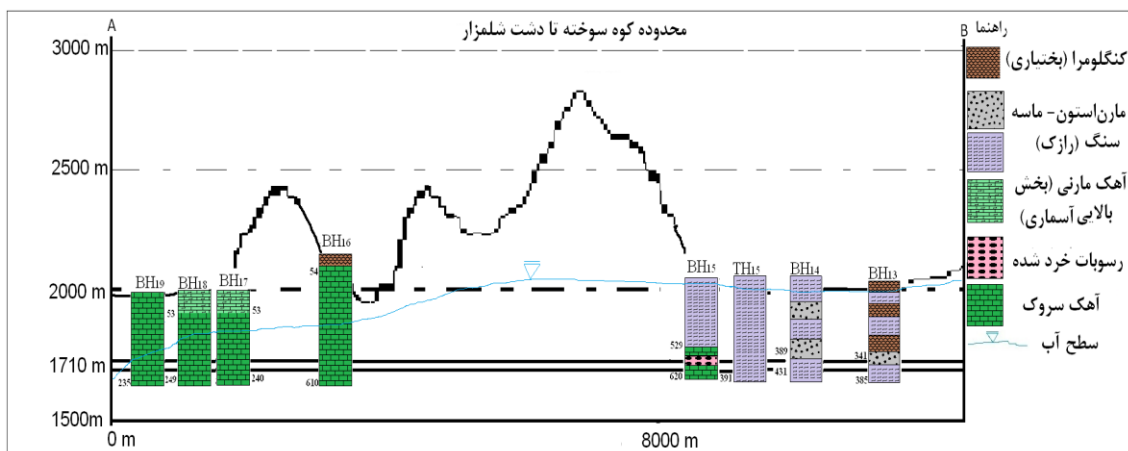
بر طبق نتایج بدست آمده از بررسی گمانه‌های حفاری شده، سنگ‌شناسی موجود در منطقه و ترسیم نیمرخ‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی در منطقه می‌توان به این نتیجه رسید، که گمانه BH<sub>15</sub> در رسوبات معادل سازند جهرم-آسماری و گمانه‌های BH<sub>19</sub>، BH<sub>18</sub>، BH<sub>17</sub>، BH<sub>11</sub>، BH<sub>10</sub> با توجه به مشخصات بیان شده و بر اساس محل حفر گمانه در منطقه و بر روی نقشه زمین‌شناسی در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده‌اند. گمانه BH<sub>16</sub> نیز ابتدا در رسوبات معادل سازند کشکان و در قسمت انتهایی آن احتمالاً در رسوبات معادل سازند سروک حفاری شده است. گمانه TB<sub>15</sub> و BH<sub>14</sub> و بخش ابتدای گمانه BH<sub>15</sub> نیز احتمالاً در رسوبات معادل سازند رازک حفاری شده، گمانه BH<sub>13</sub> در رسوبات معادل سازند بختیاری، گمانه BH<sub>12</sub> در رسوبات معادل سازند کشکان حفاری شده است.

### ۴-۵- نیمرخ توپوگرافی منطقه

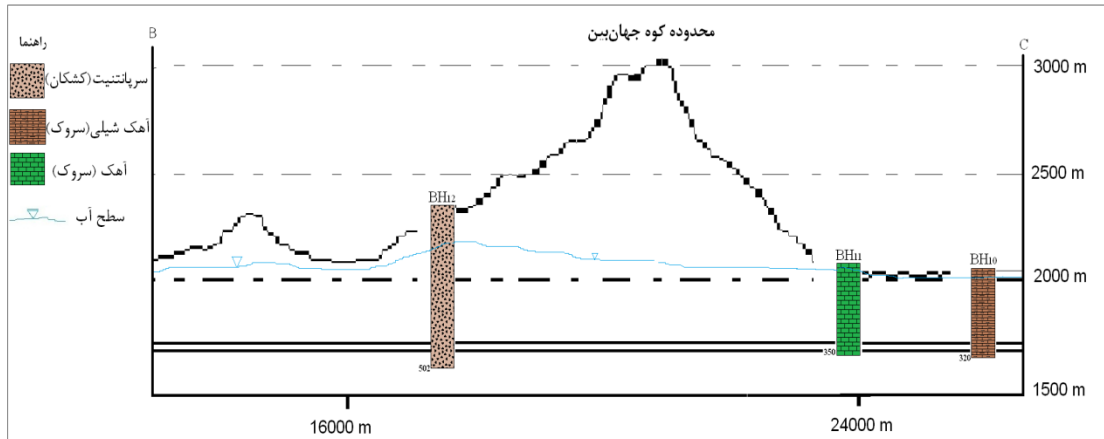
جهت بررسی وضعیت توپوگرافی و موقعیت دشت و مناطق کوهستانی موجود در منطقه مشخص شوند و یک دید کلی از مسیر عبور تونل در محدوده مورد مطالعه پیدا شود اقدام به ترسیم نیمرخ توپوگرافی مسیر شده است. برای ترسیم این نیمرخ از نرم افزار 12 Global Mapper استفاده شده است. بر اساس مختصات هر گمانه، آنها را بر روی نیمرخ پلات و اطلاعات سنگ‌شناسی هر گمانه را نیز بر روی آن آورده شده است. با توجه به سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه و اطلاعاتی موجود در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد و همچنین با توجه به سنگ‌شناسی گمانه‌ها، سازندهای مختلف در منطقه مشخص شده است (شکل ۴-۴). به منظور بررسی دقیق‌تر و بهتر منطقه نیمرخ توپوگرافی به دو قسمت که در اشکال (۴-۵) و (۴-۶) مشخص شده، تقسیم شده است. لازم به ذکر است که در این نیمرخ‌ها بر اساس اطلاعاتی که از سطح آب زیرزمینی در گمانه‌های مختلف موجود در مسیر تونل وجود داشته، سطح آب در طول مسیر عبور تونل مشخص و ترسیم شده است.



شکل ۴-۴- ستون سنگ‌شناسی گمانه‌های اکتشافی در منطقه در مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)



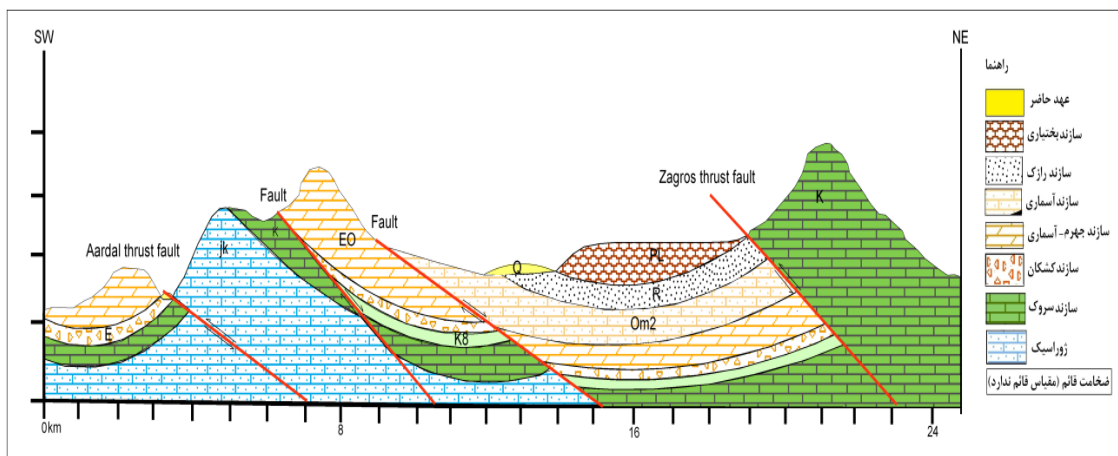
شکل ۴-۵- نیمرخ توپوگرافی محدوده کوه سوخته و هزارگزی تا دشت شلمزار



شکل ۴-۶- نیمرخ توپوگرافی محدوده کوه جهان بین

#### ۴-۶- نیمرخ زمین‌شناسی منطقه

به منظور بررسی وضعیت واحدهای سنگی و ترتیب قرارگیری آنها در منطقه مورد مطالعه و به جهت بدست آوردن یک دید زیر سطحی مناسب از منطقه، اقدام به ترسیم نیمرخ زمین‌شناسی در این قسمت شده است. در این نیمرخ از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد و همچنین کارهای صحرایی انجام شده در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نیمرخ تهیه شده از منطقه در جهت جنوب غربی-شمال شرقی ترسیم شده است. نیمرخ زمین‌شناسی منطقه در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. با توجه به این که ضخامت سازندهای مختلف موجود در منطقه در دست نبوده، مقطع فاقد ضخامت قائم می‌باشد.



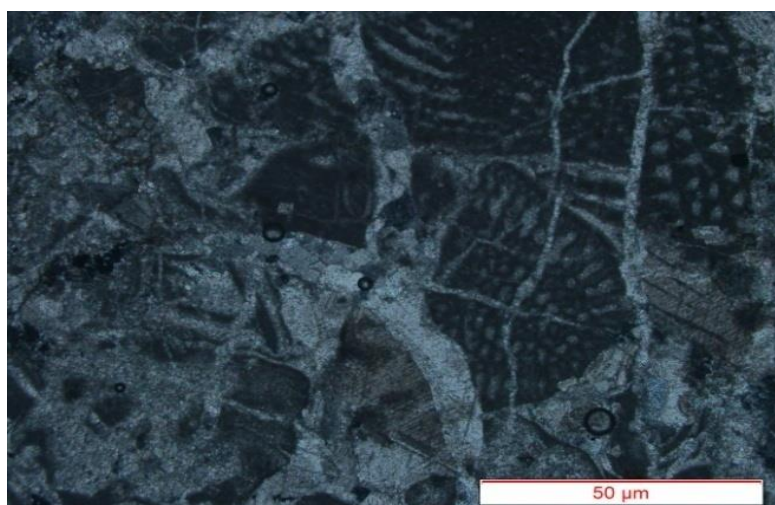
شکل ۴-۷- نیمرخ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



همان‌طور که در نیمرخ مشاهده می‌شود، گسل‌های تراستی اردل و اصلی زاگراس باعث رخنمون واحدهای قدیمی‌تر ژوراسیک و کرتاسه در سطح زمین و در قسمت فرادیواره خود شده و آنها را در کنار واحدهای جوان‌تر مربوط به سازندهای کشکان، جهرم- آسماری، آسماری، رازک و بختیاری در قسمت فرودیواره خود قرار داده‌اند. گسل‌های تراستی با توجه به این که سیستم تکتونیکی از نوع فشاری دارند، قابلیت انتقال آب آنها از سیستم‌های کششی (گسل‌های نرمال) کمتر است، ولی باید لیتولوژی که این گسل‌ها جابه‌جا کرده و پهنه خرد شده آنها نیز در نظر گرفته شود. بر طبق بررسی‌های انجام شده و همچنین بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه در کوه هزارگری نیز دو گسل باعث جابه‌جا شدن واحدهای سنگی شده که در بازیده‌های صحرایی و مشاهدات انجام شده نیز تایید شده است.

### ۴-۷- مقاطع میکروسکوپی از منطقه مورد مطالعه

جهت بررسی دقیق‌تر سازندهای موجود در منطقه، از برخی از رخنمون‌ها، نمونه‌برداری و از آنها جهت مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک تهیه گردید. برای مثال نمونه‌ای که از سازند آهکی کوه جهان‌بین تهیه شده دارای مجموعه فسیلی دیسکلینا و اوریتولینا بوده که می‌توانند معرف رسوبات سازند سروک در منطقه باشند، در شکل (۴-۸) تصویر میکروسکوپی از این نمونه آورده شده است.



شکل ۴-۸- مقطع میکروسکوپی از آهک‌های معادل سازند سروک، در مقطع فسیل‌های اوریتولین مشاهده گردید

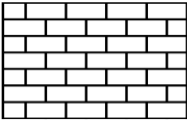
#### ۴-۸- ارزیابی تراوایی آبخوان‌ها

شناسایی واحدهای سنگ چینه‌ای در شناسایی واحدهای آب چینه‌ای و در نهایت برای تفکیک سفره‌های مختلف اهمیت و کاربرد دارد (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). یک سازند اگر چه ممکن است از نظر چینه‌شناسی یک واحد در نظر گرفته شود، اما این سازند ممکن است از نظر هیدروژئولوژیکی به چندین واحد مجزا با خواص هیدرولیکی مختلف تقسیم‌بندی گردد. در منطقه مورد مطالعه سازندهای مختلف با قسمت‌های مجزا وجود دارند، که ممکن است از نظر چینه‌شناسی جزء یک سازند محسوب شوند، ولی از نظر هیدروژئولوژیکی و ساختاری با هم تفاوت داشته و قابلیت‌های مختلفی در جهت انتقال یا نگهداشت آب به بخش‌های زیرین داشته باشند.

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌هایی از کرتاسه تا کواترنری دیده می‌شود. سنگ‌های کرتاسه شامل رسوبات معادل سازند سروک (واحدهای چینه‌شناسی K تا K<sub>8</sub>) که تقریباً در اکثر قسمت‌های منطقه وجود دارند. سنگ‌های پالئوسن، ائوسن و الیگوسن که در بخش‌های ابتدایی و تقریباً انتهایی منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند، و شامل رسوبات معادل سازندهای کشکان، جهرم- آسماری و بخش بالایی آسماری هستند. بر روی آنها نهشته‌های مربوط به میوسن تا پلیوسن یعنی رسوبات معادل سازندهای رازک و بختیاری قرار گرفته‌اند. با توجه به اطلاعات گمانه‌های حفاری شده در منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی، بازیده‌های صحرایی و همچنین بر اساس مقاطع نازک تهیه شده به بررسی و شناسایی هر یک از بخش‌های مختلف منطقه در مسیر عبور تونل پرداخته شده، و تراوا یا نیمه تراوا و ناتراوا بودن هر بخش را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شده است. بر این اساس با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه به ۷ آبخوان تقسیم‌بندی شده و با توجه به این که سنگ‌ها از نظر نفوذپذیری و قابلیت انتقال دارای اختلافات و تشابهاتی هستند این تفسیرها انجام شده است.

۴-۸-۱- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه سوخته

بر اساس بررسی گمانه‌های حفاری شده در این بخش، واحدهای سنگی این قسمت از سطح تا لایه‌های محل عبور تونل بیشتر شامل سنگ‌های آهکی ضخیم لایه تا توده‌ای بوده که این ویژگی سبب شده این سنگ‌ها از نظر قابلیت نفوذپذیری در سطح بالایی قرار گیرند. سنگ‌ها در این آبخوان تحت تأثیر گسل اردل قرار داشته و به شدت خرد شده هستند (شکل ۴-۱۰). می‌توان گفت این محدوده از نظر کارستی بودن شامل یک محدوده کارست توسعه یافته می‌باشد. از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی این قسمت این است که با توجه به مشخصات سنگ‌شناسی از نظر تراوایی در اکثر قسمت‌ها، کاملاً تراوا و کارستی است. ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای این بخش در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Aquifer

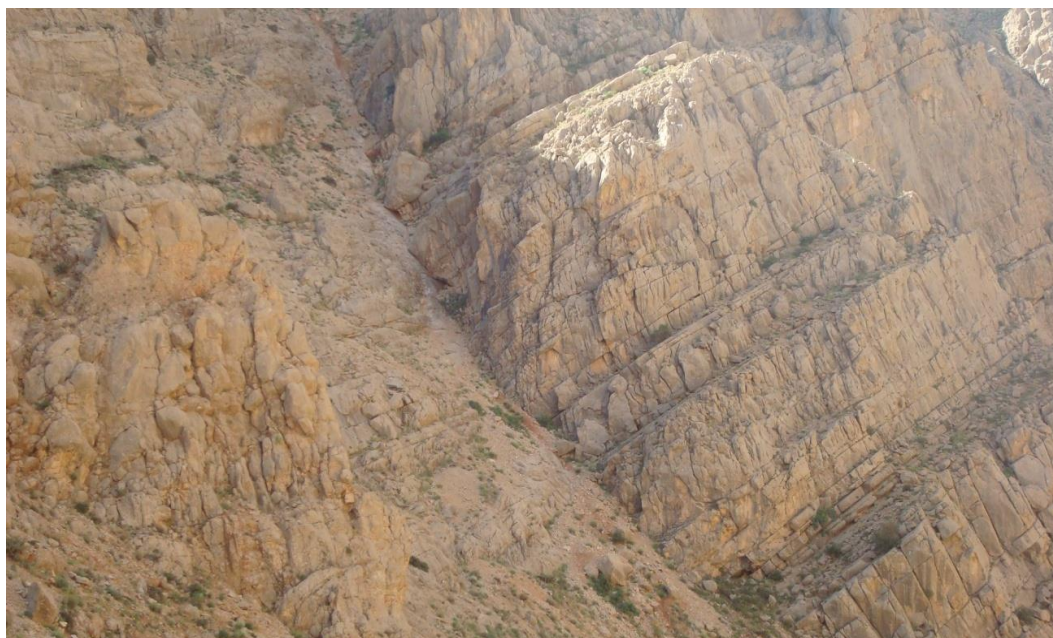
شکل ۴-۹- ستون چینه‌شناسی آبخوان کوه سوخته (بدون مقیاس)



شکل ۴-۱۰- درز و شکاف‌ها در آهک‌های معادل سازند سروک در کوه سوخته (دید به سمت جنوب غربی)

#### ۴-۸-۲- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه هزارگری

بر اساس بررسی گمانه‌های حفاری شده، واحدهای سنگی در این بخش بیشتر شامل آهک‌های دولومیتی و آهک‌های مارنی (معادل سازند جهرم-آسماری)، کنگلومرای (معادل سازند کشکان) و نهایتاً آهک‌های ضخیم لایه (معادل سازند سروک) می‌باشد. سنگ‌های آهکی واحدهای فوق‌الذکر تحت تأثیر عوامل تکتونیکی قرار گرفته، و بسیار خرد شده هستند. همچنین در سطح این سنگ‌ها نیز حفرات انحلالی زیادی دیده شده، که دلیلی بر کارستی بودن در این بخش است (شکل ۴-۱۱). لازم به ذکر است که بر اساس بررسی گمانه‌های حفاری شده مشخص شده که واحدهای آهک مارنی و آهک دولومیتی و واحدهای آهکی در قسمت‌های مختلف این بخش تونل را قطع می‌کنند. با توجه به مشخصات سنگ‌شناسی و میزان نفوذپذیری تقریباً بالا می‌توان گفت که این بخش در قسمت‌های آهکی خود از نظر هیدروژئولوژیکی جز بخش‌های تقریباً تراوا و کارستی می‌باشند. شکل (۴-۱۲) ستون چینه‌شناسی این بخش را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱- درز و شکاف و خردشدگی در آهک‌های معادل سازند جهرم-آسماری در کوه هزارگری (دید به سمت شمال شرقی)



System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Tertiary	Eocene-Miocene	Jahrom-Asmari		Aquifer
	Paleocene-Eocene	Kashkan		Aquitard
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Aquifer

شکل ۴-۱۲- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان کوه هزارگری (بدون مقیاس)

#### ۴-۸-۳- ارزیابی تراوایی آبخوان سلم

این قسمت در محدوده روستای سلم قرار دارد، با توجه به گمانه حفاری شده در این آبخوان تعیین شده که سنگ‌شناسی آن شامل مارن و آهک‌های مارنی است. این واحد مارنی دارای پتانسیل نفوذ کمی بوده و قابلیت انتقال و هدایت آب زیرزمینی از قسمت‌های سطحی در این آبخوان به بخش‌های عمیق‌تر (لایه‌های محل عبور تونل) بسیار ناچیز است. در شکل (۴-۱۳) ستون چینه‌شناسی این بخش ترسیم شده است.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Tertiary	Miocene	Razak		Aquiclude

شکل ۴-۱۳- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان سلم (بدون مقیاس)

#### ۴-۸-۴- ارزیابی تراوایی آبخوان شلمزار

این قسمت در محدوده دشت شلمزار و در نزدیکی این شهر قرار دارد. بر اساس گمانه حفر شده، شامل لایه‌های متناوبی از مارن‌استون و ماسه‌سنگ می‌باشد. با توجه به وجود این نوع سنگ‌ها در این آبخوان که میزبان عبور محور تونل هستند باید گفت که این واحد پتانسیل کم تا متوسطی در جهت انتقال آب زیرزمینی دارد. به طوری که می‌توان آنها را جزء بخش‌های ناتراوا تا تراوا قرار داد. در کل

## فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس توالی چینه‌شناسی

باید گفت که این بخش از نظر ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی دارای قسمت‌های متفاوتی بوده است. ستون چینه‌شناسی این بخش در شکل (۴-۱۴) ترسیم شده است.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Tertiary	Miocene	Razak		Aquiclude
				Aquifer
				Aquiclude
				Aquifer
				Aquiclude

شکل ۴-۱۴- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان شلمزار (بدون مقیاس)

### ۴-۸-۵- ارزیابی تراوایی آبخوان کیار

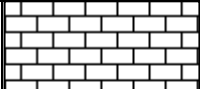
این قسمت در انتهای محدوده دشت شلمزار قرار می‌گیرد، با توجه به گمانه حفر شده در این بخش، از نظر سنگ‌شناسی نیز شامل لایه‌های متناوبی از مادستون، سیلتستون با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا است. این واحد معادل سازند بختیاری می‌باشند. بخش زیادی از این آبخوان را مادستون و سیلتستون تشکیل داده، که مقدار نفوذپذیری بسیار پایینی دارند. در حالی که بخش‌های کنگلومرائی و ماسه‌سنگی دارای قابلیت نفوذپذیری بیشتری هستند. بر اساس ویژگی‌های گفته شده از نظر هیدروژئولوژیکی مادستون و سیلتستون‌های این بخش در جمله بخش‌های ناتراوا قرار می‌گیرند، در حالی که بخش‌های کنگلومرائی آن بخش‌های نیمه‌تراوا و همچنین بخش ماسه‌سنگی آن نیز نقش قسمت تراوای آن را بازی می‌کند. در شکل (۴-۱۵) ستون چینه‌شناسی این بخش آورده شده است.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Tertiary	Plio - Pleistocene	Bakhtiari		Aquitard
				Aquiclude
				Aquitard
				Aquiclude
				Aquitard
				Aquifer
				Aquiclude

شکل ۴-۱۵- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان کیار (بدون مقیاس)

#### ۴-۸-۶- ارزیابی تراوایی آبخوان کوه جهان‌بین

این قسمت در محدوده کوه جهان‌بین واقع شده است، از نظر سنگ‌شناسی شامل تناوبی از آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای و همچنین در بعضی از قسمت‌ها دارای آهک‌های مارنی و آهک‌های ماسه‌ای و همچنین شامل مقدار بسیار کمی نیز سنگ‌های آذرین از قبیل سرپانتینیت می‌باشد (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰). نزدیکی این قسمت به گسل اصلی زاگرس سبب شده که لایه‌های مختلف آهکی بر روی هم رانده شده و باعث پیچیدگی زیاد در این محدوده شده است. گمانه BH<sub>11</sub> در این محدوده حفاری شده و نشان‌گر این ویژگی می‌باشد، که شامل سنگ‌های آهکی است. طبق بررسی‌های انجام شده سنگ‌های آهکی در این قسمت پتانسیل فراوانی جهت پدیده کارستی شدن دارند. ارتفاعات برف‌گیر کوه جهان‌بین و استعداد کارستی شدن سنگ‌های آهکی این قسمت، مکان مناسبی جهت ذخیره آب زیرزمینی می‌باشند. سنگ‌ها در این قسمت به شدت خرد شده و دارای درزه و شکاف‌های فراوانی می‌باشند. با توجه به سنگ‌شناسی این قسمت که بیشتر شامل سنگ‌های آهکی هستند (معادل سازند سروک)، میزان نفوذپذیری در این بخش بالا می‌باشد. از نظر هیدروژئولوژیکی این بخش را نیز می‌توان جز بخش‌های تراوا از نظر انتقال آب زیرزمینی قلمداد کرد. نوع آبخوان آن نیز از نوع کارستی می‌باشد. در شکل (۴-۱۶) ستون چینه‌شناسی این آبخوان کارستی ترسیم شده و در شکل (۴-۱۷) نمایی از وضعیت سنگ‌شناسی این قسمت نشان داده شده است.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Aquifer

شکل ۴-۱۶- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان جهان‌بین (بدون مقیاس)



شکل ۴-۱۷- درز و شکاف‌های آهک‌های معادل سازند سروک در کوه جهان‌بین (دید به سمت شمال شرقی)

#### ۴-۸-۷- ارزیابی تراوایی آبخوان تنگ‌خراچی

این قسمت در نزدیکی تنگ‌خراچی واقع شده است، بر اساس گمانه حفاری شده، سنگ‌شناسی آن شامل آهک‌های شیلی با میان لایه‌های از آهک کربن‌دار و آهک ماسه‌ای معادل سازند سروک می‌باشد. آبخوان آبرفتی این قسمت در واقع قسمت خروجی آب‌های خارج شده از دشت شهرکرد است. با توجه به نوع سنگ میزبانی که تونل آن را قطع خواهد کرد، انتظار می‌رود که مقدار نفوذپذیری در حد متوسط باشد. این نوع سنگ‌شناسی از نظر هیدروژئولوژیکی جزء بخش‌های نیمه تراوا قرار دارد. شکل (۴-۱۸) ستون چینه‌شناسی این بخش را نشان می‌دهد.

System	Series	Formation	Lithology	Hydrogeology Situation
Cretaceous	Lower Cretaceous	Sarvak		Aquitard

شکل ۴-۱۸- ستون چینه‌شناسی تهیه شده برای آبخوان تنگ‌خراچی (بدون مقیاس)



## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی

### و ساختاری منطقه

#### ۵-۱- مقدمه

تونل انتقال آب بهشت‌آباد در طول مسیر عبور خود از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی محدوده مورد مطالعه عبور خواهد کرد. در این فصل هدف از مطالعات هیدروژئولوژیکی و ساختاری، مشخص کردن خصوصیات آبخوان‌ها از نظر آبگذری، کارستی شدن در آبخوان‌های کارستی، تراوایی در هر بخش، تعیین منشأ آب‌های زیرزمینی و بررسی موقعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه در مسیر عبور تونل می‌باشد.

#### ۵-۲- مطالعات اکتشافی دشت شلمزار

به منظور بررسی دشت شلمزار در محل عبور تونل اقدام به تشخیص سنگ‌بستر، نوع و ضخامت آبخوان و جنس سنگ‌بستر بر اساس گمانه‌های اکتشافی (اطلاعات گرفته شده از شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری) شده است. با توجه به این که گمانه‌های حفر شده در این دشت فاقد مختصات جغرافیایی بوده، فقط بر اساس کروکی که از محل هر یک از آنها وجود داشته، اقدام به پلات کردن این گمانه‌ها در منطقه شده است. جهت شناخت خصوصیات هندسی و

هیدرودینامیکی آبخوان، داشتن اطلاعاتی مانند ضخامت آبرفت، عمق آبخوان، جنس سنگ کف و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ضروری می‌باشد.

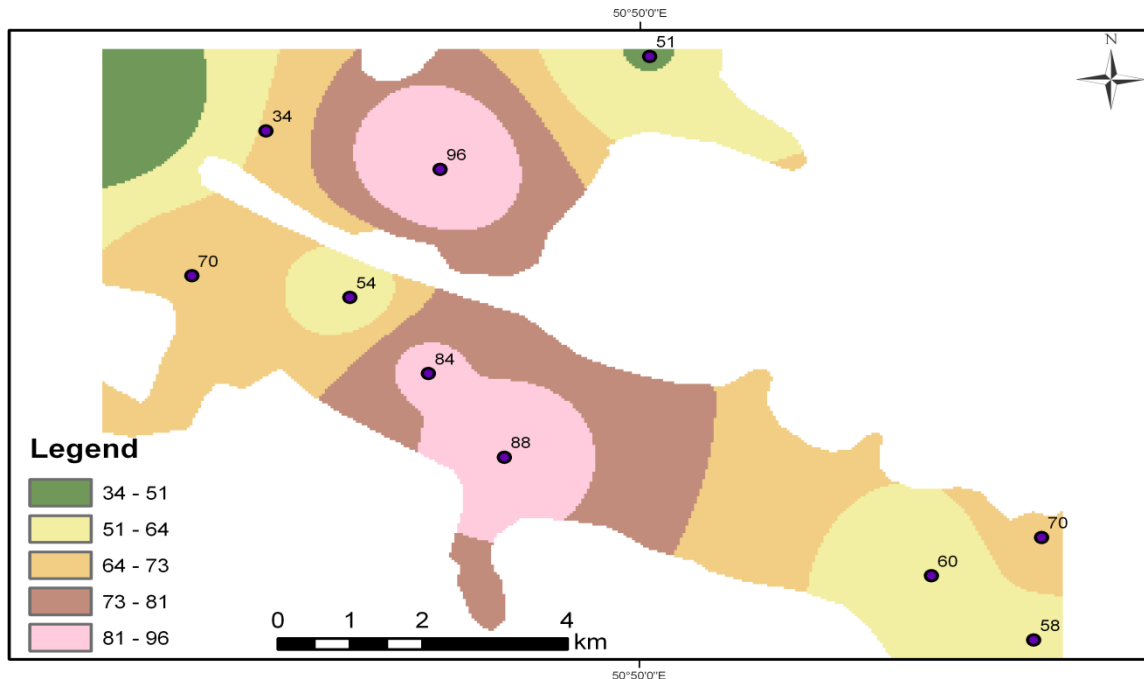
### ۵-۲-۱- بررسی زیر سطحی دشت شلمزار

#### ۵-۲-۱-۱- شکل و جنس سنگ کف آبخوان

دشت شلمزار به صورت باریکه‌ای موازی با روند عمومی زاگرس از جنوب شرق به شمال غرب گسترش دارد. خروجی آن در منتهی‌الیه غرب و شمال غربی دشت است. با توجه به گمانه‌های حفاری شده در این دشت، جنس سنگ کف در نقاطی که تونل از آن عبور خواهد کرد، به این صورت می‌باشد، که در قسمت‌های شمالی و شمال غربی دشت جنس سنگ کف بیشتر از نوع کنگلومرانی بوده، در حالی که در قسمت شمال شرقی دشت از نوع آهک‌های شیلی است.

#### ۵-۲-۱-۲- نوع و ضخامت آبخوان

با توجه به حفاری چاه‌های بهره‌برداری و همین‌طور پیزومترهای حفر شده، بیشترین ضخامت آبخوان در دشت در محدوده مسیر تونل در روستای تشنیز، با ضخامتی حدود ۹۶ متر است و کمترین ضخامت هم مربوط به قسمت‌های شمالی و شمال غربی دشت با ضخامت حدود ۳۴ متر می‌باشد. به دلیل عدم انجام مطالعات ژئوفیزیکی در این دشت، از نوع آبخوان آن اطلاعاتی در دست نیست. در شکل (۵-۱) موقعیت هر یک از این پیزومترها همراه با میزان ضخامت آبرفت در قسمت‌های مختلف دشت نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- نقشه هم‌ضخامت دشت شلمزار

### ۵-۳- ارزیابی ضرایب هیدرودینامیکی منطقه در مقیاس بزرگ‌تر

ضریب قابلیت انتقال (Transmissivity) و ضریب ذخیره (Storage coefficient) که ضرایب هیدرودینامیک آبخوان نامیده می‌شوند، مشخص کننده خصوصیات هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی هستند. این ضرایب نشان می‌دهند که آب در محیط‌های متخلخل با چه سرعتی داخل شده، در خلال منافذ آنها حرکت کرده و از آنها خارج می‌شود. پیش‌بینی درست حرکت آب زیرزمینی قبل از هر چیز بستگی به آن دارد که تا چه حد این ضرایب دقیق برآورد شوند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان وجود دارد که مهمترین و معمول‌ترین این روش‌ها، آزمایش پمپاژ می‌باشد. جهت بررسی ضرایب هیدرودینامیک سفره آب زیرزمینی دشت‌های مجاور تونل از تعداد ۱۰ حلقه چاه در سطح دشت‌ها که آزمایش پمپاژ در آنها انجام شده است استفاده شده، و نتایج در جدول (۵-۱) ارائه شده است.

### ۵-۳-۱- مقادیر قابلیت انتقال

قابلیت انتقال پارامتری است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می‌دهد. قابلیت انتقال طبق رابطه (۵-۱) از حاصل ضرب ضریب نفوذپذیری (K) در ضخامت سفره (D) بدست می‌آید.

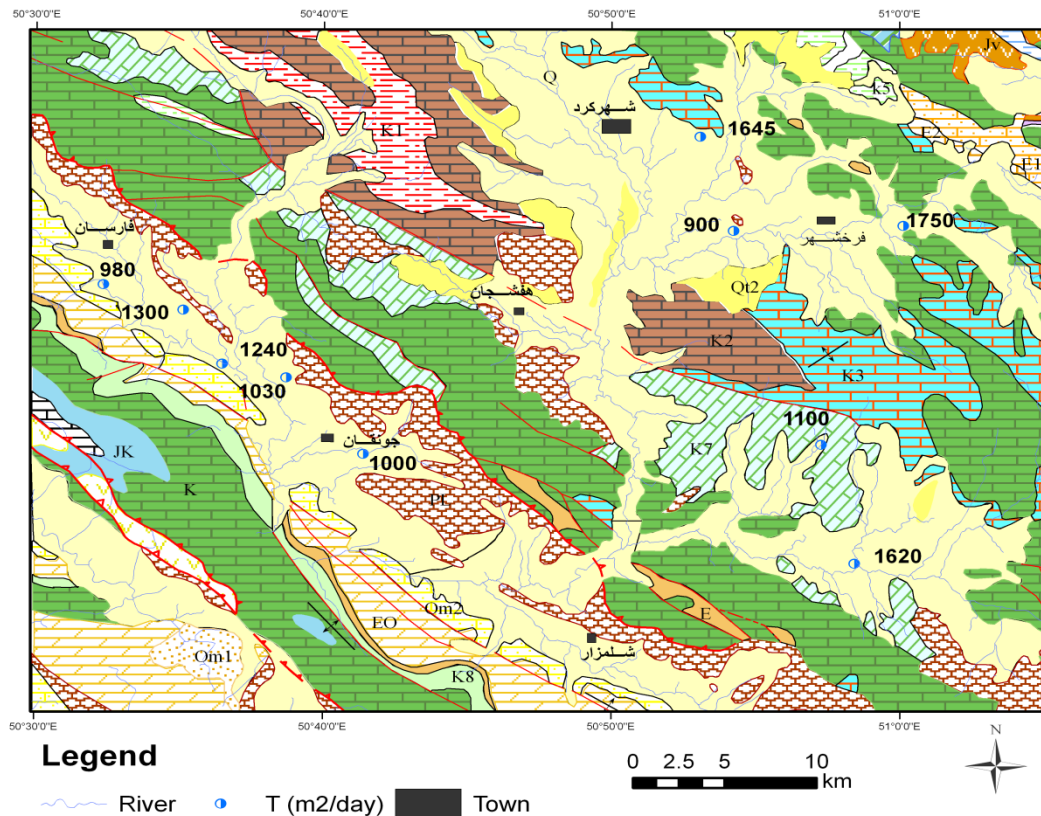
$$T=DK \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$

مقدار ضریب نفوذپذیری در سنگ‌ها به اندازه و تعداد فضاهای خالی و نحوه ارتباط آنها با هم بستگی دارد. به منظور پایش وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان‌های آبرفتی منطقه در یک دید بزرگ‌تر نسبت به داده‌های حاصل از آزمایش لوژان‌های که در منطقه انجام شده، از نتایج آزمایش پمپاژ چاه‌های شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری طبق جدول (۵-۱۵) استفاده شده است.

محل چاه‌های پمپاژ فوق‌الذکر بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است (شکل ۵-۲). بر اساس این شکل ملاحظه می‌شود که مقادیر قابلیت انتقال منطقه دارای روند مشخصی نیست، به این ترتیب که مقادیر این پارامتر از حدود ۱۷۵۰ متر مربع بر روز در مناطقی که سنگ کف آنها سنگ‌های با نفوذپذیری بالاتر است یعنی در حاشیه دشت‌ها، تا حدود ۹۰۰ متر مربع بر روز در قسمت‌های مرکزی دشت‌های منطقه متغیر می‌باشد.

جدول ۵-۱- نتایج آزمایش پمپاژ در منطقه مورد مطالعه (شرکت مهندسی مشاور جامع کار سپاهان ۱۳۸۷)

نام چاه	عمق چاه (m)	T(m <sup>2</sup> /day)	%S	نام چاه	عمق چاه (m)	T(m <sup>2</sup> /day)	%S
شهرکرد	-	۱۶۴۵	۵	کران علیا	۵۰	۱۲۴۰	۲/۵
جونقان	۷۰	۱۰۰۰	۳	کران سفلا	۵۴	۱۳۰۰	۳
شهرکیان	۱۲۴	۹۰۰	۲/۵	دستگرد-کیار	۱۲۱	۱۶۲۰	۶
حسین آباد	۱۵۲	۱۱۰۰	۳	گوجان	۶۵	۱۰۳۰	۲/۵
فرخشهر	۱۰۳	۱۷۵۰	۶	چقاست	۸۵	۹۸۰	۳



شکل ۵-۲- مقادیر قابلیت انتقال بر روی نقشه زمین شناسی

### ۵-۳-۲- مقادیر ضریب ذخیره

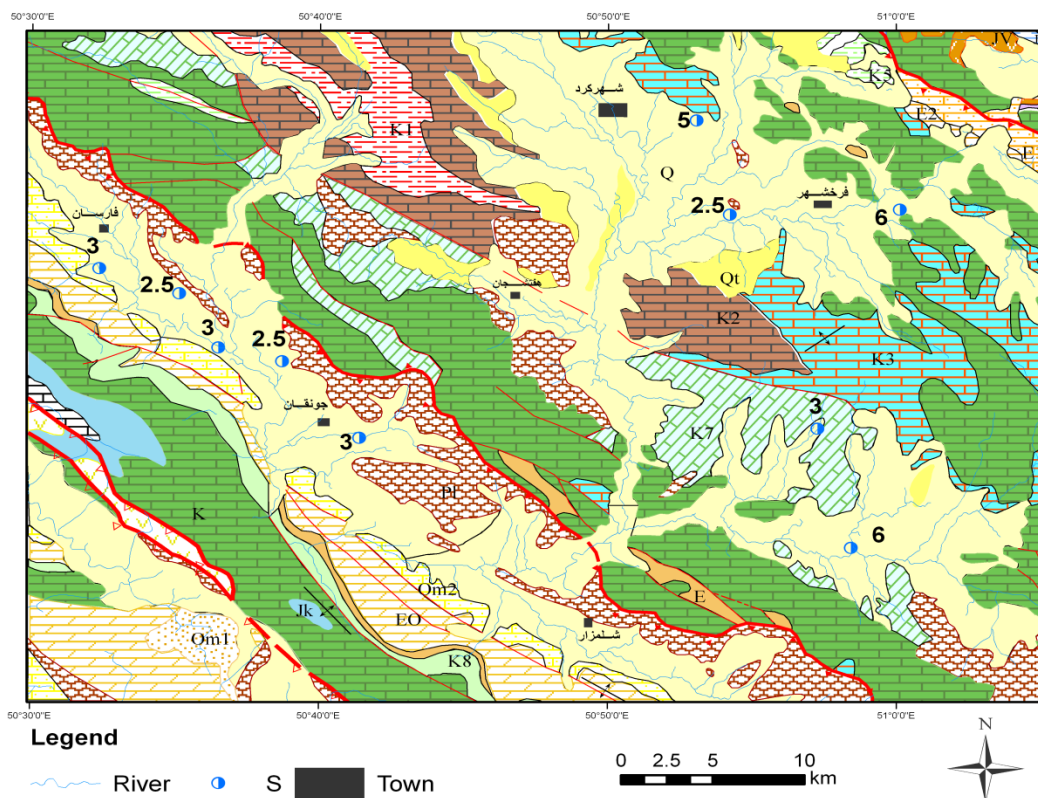
ضریب ذخیره طبق تعریف عبارت است از حجم آبی که هر واحد سطح افقی به ازای هر واحد افت سطح ایستابی (در سفره آزاد) و یا سطح پیزومتریک (در سفره تحت فشار) می تواند آزاد کند. این ضریب معمولاً با حرف S نمایش داده می شود. این پارامتر نمایانگر عکس العمل سطح آب زیرزمینی در اثر تخلیه و یا تغذیه می باشد. ضریب ذخیره در آبخوان های آزاد معادل آبدهی ویژه است که طبق رابطه (۵-۲) از تقسیم حجم آب آزاد شده ( $V_y$ ) به حجم منطقه زهکشی شده ( $V_t$ ) بدست می آید.

$$S = V_y / V_t \quad \text{رابطه (۵-۲)}$$

برای تعیین ضریب ذخیره سفره، حفر چاه های مشاهده ای در مجاورت چاه در حال آزمایش پمپاژ ضروری می باشد. در این ارتباط از آزمایش پمپاژ و مقادیر ضریب ذخیره تهیه شده از شرکت آب

منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. شکل (۳-۵) مقدار ضریب ذخیره در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل مذکور ملاحظه می‌شود که مقادیر این پارامتر بین ۲/۵ تا ۶ درصد در نقاط مختلف منطقه تعیین شده است. مقدار متوسط این پارامتر در سطح دشت‌ها برابر ۳/۷ درصد گزارش شده است. می‌توان گفت که مقادیر زیاد اختلاف سطح آب نشان دهنده نفوذپذیری بالا و مقادیر کم اختلاف نشان دهنده نفوذپذیری کمتر در این منطقه می‌باشد.



شکل ۳-۵- مقادیر ضریب خیره بر روی نقشه زمین‌شناسی (بر حسب درصد)

#### ۴-۵- عمق برخورد به آب در منطقه مورد مطالعه

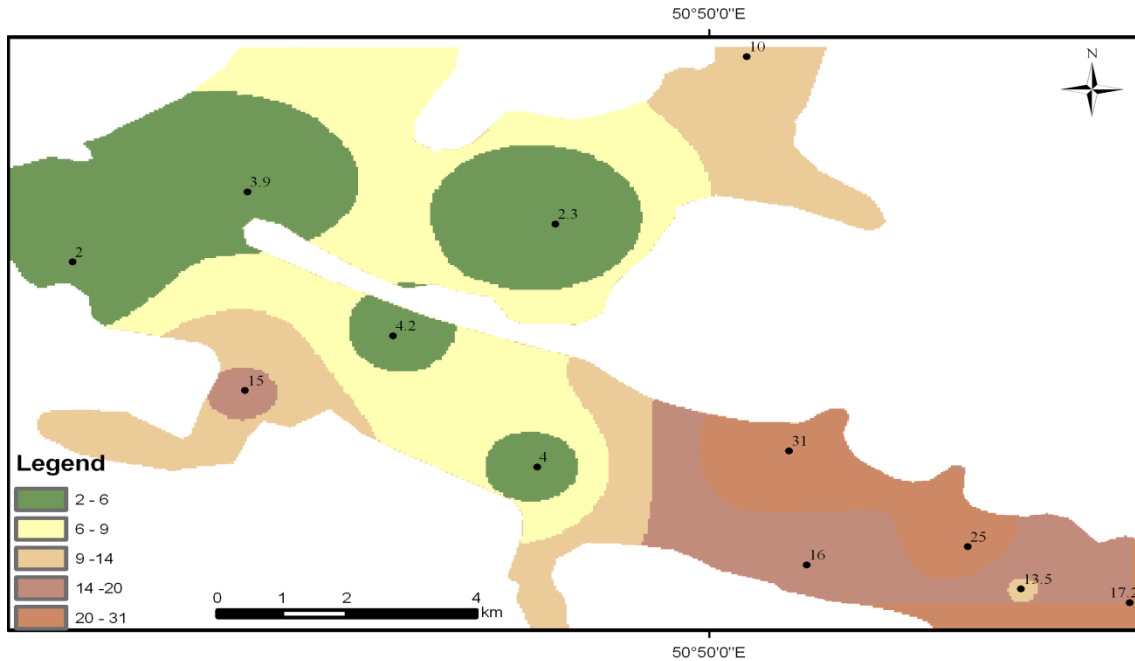
به منظور بررسی تغییرات عمق برخورد به آب در قسمت‌های مختلف مسیر اقدام به تفسیر داده‌های سطح آب زیرزمینی در اسفند ماه ۱۳۸۹ شده است. در جدول (۲-۵) عمق برخورد به آب در هر یک

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

از پیزومترها در منطقه آورده شده است. بر اساس سطح آب بدست آمده، مشخص شده که روند تغییرات عمق برخورد به آب نیز از روند جریان آب زیرزمینی پیروی می‌کند (شکل ۵-۴). مقایسه این دو نقشه نشان می‌دهد، که تقریباً روند همسان دارند. بر اساس نقشه‌ها مربوطه این موارد قابل تفسیر هستند، به این صورت که در دشت شلمزار سطح آب از حدود ۳۱ متر در نواحی جنوبی و جنوب شرقی یعنی در نزدیکی روستای جعفرآباد تا حدود ۲ متر در نواحی شمالی و شمال غربی در نزدیکی روستاهای سلم و امیرآباد تغییر می‌کند. بر اساس این نقشه‌ها کاهش عمق سطح آب در حدفاصل گهرو- شلمزار از سمت شمال شرق به طرف جنوب می‌باشد. در غرب و شمال غرب نیز عمق برخورد به سطح آب کاهش می‌یابد.

جدول ۵-۲- عمق برخورد به آب در پیزومترهای دشت شلمزار (اسفندماه ۱۳۸۹)

عمق برخورد به آب (m)	UTM		نام پیزومتر
	Y	X	
۲	۳۵۴۸۱۰۹	۴۷۵۹۳۳	سلم
۱۵	۳۵۴۵۸۱۸	۴۷۸۱۸۶	دستنا
۳/۹	۳۵۴۹۳۴۸	۴۷۸۲۲۳	امیرآباد
۴/۲	۳۵۴۶۷۸۵	۴۸۰۱۲۷	دستنا به شلمزار
۴	۳۵۴۴۴۵۰	۴۸۲۰۱۱	شلمزار دریاچه
۲/۳	۳۵۴۸۷۶۸	۴۸۲۲۵۹	تشنیز
۱۰	۳۵۵۱۸۹۶	۴۸۴۷۶۹	تنگ خراجی
۳۱	۳۵۴۴۷۳۰	۴۸۵۳۱۵	جعفرآباد- شلمزار
۱۶	۳۵۴۲۷۰۴	۴۸۵۵۴۲	جعفرآبادسنگ شکن
۲۵	۴۸۷۶۵۵	۳۵۴۳۰۲۵	جعفرآباد- گهرو
۱۳/۵	۳۵۴۲۲۷۳	۴۸۸۳۴۹	گهرو ۲ راهی ناغان
۱۷/۲	۳۵۴۲۰۳۱	۴۸۹۷۷۷	شهرک جدید گهرو



شکل ۵-۴- نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی در اسفندماه ۱۳۸۹

#### ۵-۵- بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه

بر اساس اطلاعات پیزومترهای حفر شده در منطقه، که توسط شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری تهیه شده، اقدام به تهیه نقشه هم‌پتانسیل شده است. آمار مذکور در جدول (۵-۳) ارائه شده است. لذا با استفاده از آمار این چاه‌ها در حد امکان نسبت به تهیه و ارائه نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی برای اسفند ماه سال ۸۹ اقدام شده، که به‌طور مفصل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

#### ۵-۵-۱- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی

به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان شلمزار، نقشه هم‌پتانسیل این محدوده در بازه زمانی مشخصی ترسیم شده است. برای این منظور از آمار سطح آب و ارتفاع دهانه چاه‌های پیزومتری از سطح دریای آزاد در دشت استفاده شده است. این نقشه نیز برای اسفندماه سال ۱۳۸۹



## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

ترسیم شده است. برای ترسیم این نقشه از نرم افزار ARC GIS 9.3 استفاده شده است. داده‌های

ارتفاع مطلق سطح آب مربوط به شهریور و اسفند ماه سال ۱۳۸۹ در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

جدول ۳-۵- ارتفاع مطلق سطح آب در پیزومترهای دشت شلمزار

ارتفاع مطلق سطح آب اسفند	ارتفاع مطلق سطح آب شهریور	UTM		نام پیزومتر
		Y	X	
۱۹۹۹/۹۴	۱۹۹۴/۸۳	۳۵۴۸۱۰۹	۴۷۵۹۳۳	سلم
۲۰۲۲/۶۶	۲۰۲۱/۸۳	۳۵۴۵۸۱۸	۴۷۸۱۸۶	دستنا
۱۹۸۲/۰۳	۱۹۸۱/۳۲	۳۵۴۹۳۴۸	۴۷۸۲۲۳	امیرآباد
۲۰۰۵/۹۱	۲۰۰۵/۲۳	۳۵۴۶۷۸۵	۴۸۰۱۲۷	دستنا به شلمزار
۲۰۱۴/۳	۲۰۱۳/۴	۳۵۴۴۴۵۰	۴۸۲۰۱۱	شلمزار دریاچه
۱۹۹۴/۹۶	۱۹۹۴/۸۱	۳۵۴۸۷۶۸	۴۸۲۲۵۹	تشنیز
۱۹۹۸/۹۲	۱۹۹۵/۴۸	۳۵۵۱۸۹۶	۴۸۴۷۶۹	تنگ خراجی
۲۰۲۴/۵۲	۲۰۲۳/۸۱	۳۵۴۴۷۳۰	۴۸۵۳۱۵	جعفر آباد- شلمزار
۲۰۳۰/۵۷	۲۰۲۶/۴۱	۳۵۴۲۷۰۴	۴۸۵۵۴۲	جعفرآبادسنگ شکن
۲۰۵۹/۸۳	۲۰۵۶/۱	۴۸۷۶۵۵	۳۵۴۳۰۲۵	جعفر آباد - گهرو
۲۰۶۷/۹۵	۲۰۶۵/۳۱	۳۵۴۲۲۷۳	۴۸۸۳۴۹	گهرو ۲ راهی ناغان
۲۰۹۷/۴۵	۲۰۹۶/۱۴	۳۵۴۲۰۳۱	۴۸۹۷۷۷	شهرک جدید گرو

روند منحنی‌های تراز سطح آب زیرزمینی دشت شلمزار نشان می‌دهد، که جریان زیرزمینی خروجی از

ارتفاعات شرقی، شمالی و جنوبی مشرف به دشت، موجب تغذیه آبخوان آبرفتی می‌شود.

فاصله خطوط تراز آب زیرزمینی نشان دهنده تفاوت نفوذپذیری در آبخوان است، وقتی که خطوط تراز

آب زیرزمینی نزدیک به هم باشد، نشان دهنده نفوذپذیری کم آنها خواهد بود. به علت اینکه شیب

هیدرولیکی زیادی لازم است. وقتی که خطوط تراز آب زیرزمینی دارای فاصله زیادی باشند، عکس

حالت قبل است و نشانگر نفوذپذیری بیشتر آبخوان است (Brassington 1998). شکل (۵-۵) نقشه

هم‌پتانسیل دشت شلمزار را در اسفند ماه سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. با توجه به این که مسیر تونل

بهشت‌آباد در محدوده مورد مطالعه از دشت شلمزار عبور خواهد کرد، به بررسی جهت جریان آب

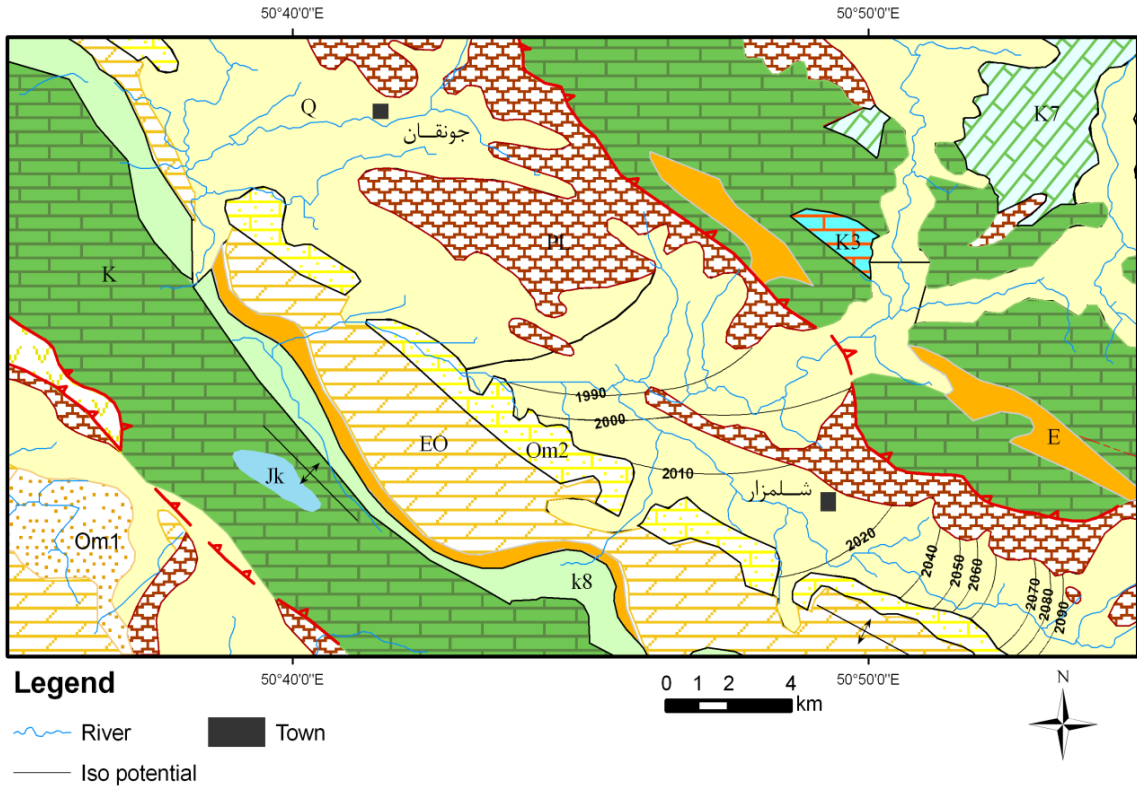
زیرزمینی در این دشت پرداخته شده است. بر اساس نقشه مذکور همان طور که ملاحظه می‌شود،

جریان آب زیرزمینی از توپوگرافی حاکم بر دشت تبعیت نموده، و از شرق و جنوب شرق دشت به

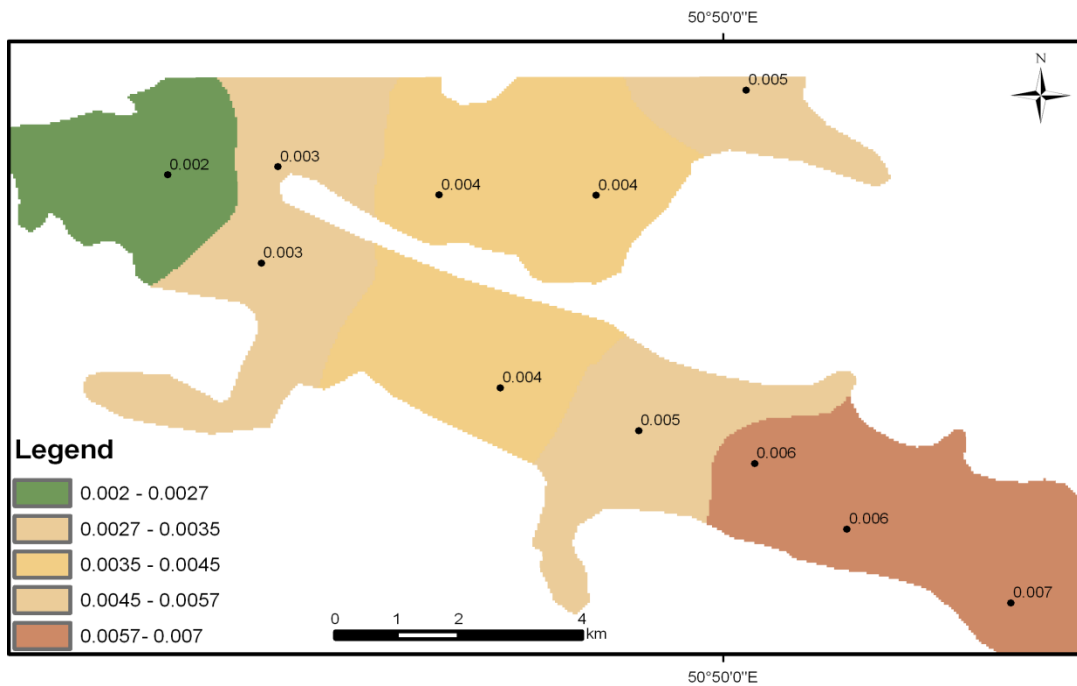
سمت شمال غرب و غرب یعنی به سمتی که مسیر تونل از آنجا عبور خواهد کرد، در جریان می‌باشد. بر اساس نقشه خطوط هم‌پتانسیل ترسیم شده، می‌شود گفت که جهت کلی جریان آب زیرزمینی در اکثر منطقه به سمت محل عبور تونل می‌باشند. به طور کلی جهت جریان در قسمت‌های میانی مسیر در امتداد محورهای ناودیس موجود در آن بخش می‌باشد. شیب هیدرولیکی در این آبخوان‌ها معمولاً هر چه به سمت تونل نزدیک می‌شویم کمتر می‌شود. بر اساس سطح آب زیرزمینی در پیزومترها، جدول (۳-۵) و با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه دیده می‌شود که بین سطح آب در شهر یور ماه و اسفند ماه در بعضی از قسمت‌ها اختلاف زیادی وجود دارد، که این نشان دهنده تاثیر مستقیم آن قسمت‌ها نسبت به بارندگی‌ها منطقه است. به این صورت که در قسمت‌های آهکی منطقه تغییرات خیلی زیاد بوده در حالی که در بخش‌های دیگر این مقدار تغییرات کمتر اتفاق افتاده است.

### ۵-۵-۲- محاسبه شیب هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه

به طور کلی تغییرات نسبی شیب توپوگرافی و همچنین تفاوت در دانه‌بندی نهشته‌های موجود در نقاط مختلف، شکل، شیب سنگ‌کف و شرایط تغذیه و تخلیه آبخوان‌ها از عواملی هستند که باعث تغییر شیب سطح آبخوان‌ها می‌گردند. به منظور برآورد میزان شیب هیدرولیکی و تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در این بخش اقدام به بررسی سطح آب زیرزمینی در یک زمان مشخص در پیزومترها و همچنین با در نظر گرفتن فاصله این پیزومترها از یکدیگر شده است. در نقشه هم‌پتانسیل تهیه شده از منطقه نیز تغییرات شیب هیدرولیکی در نقاط مختلف مشاهده و تفسیر شده است. با توجه به موارد فوق‌الذکر میزان شیب هیدرولیکی در نقاط مختلف محاسبه شده، که بر این اساس اندازه آن در دشت از حدود ۶ تا ۷ در هزار متر در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی تا حدود ۲ تا ۳ در هزار متر در بخش‌های شمالی یعنی نزدیک روستا سلم در محل عبور تونل کاهش یافته است. شکل (۵-۶) نقشه تغییرات شیب در دشت شلمزار را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵- نقشه هم‌پتانسیل دشت شلمزار اسفند ماه سال ۱۳۸۹



شکل ۵-۶- تغییرات شیب هیدرولیکی در بخش‌های مختلف دشت شلمزار

## ۵-۶- ارزیابی موقعیت مسیر تونل نسبت به تراز آب زیرزمینی

بر اساس اطلاعاتی که از سطح آب زیرزمینی در گمانه‌های اکتشافی در طول مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه کسب شده است، مشخص گردید که در اکثر قسمت‌های منطقه، تونل در زیر سطح ایستابی یعنی در منطقه اشباع در آبخوان‌های عمیق واقع در بخش‌های زیرین منطقه مورد مطالعه عبور خواهد کرد. بر اساس اطلاعاتی که از گمانه‌های ابتدای مسیر بدست آمد، تعیین شده است، که سطح آب زیرزمینی در ابتدا در ارتفاع ۱۶۸۰ متری از سطح دریا قرار دارد یعنی تونل بالای سطح ایستابی قرار خواهد داشت. در حالی که در ادامه مسیر تقریباً و در کل منطقه مورد مطالعه تونل در زیر سطح ایستابی در آبخوان‌ها قرار می‌گیرد. بیشترین ارتفاع سطح ایستابی نسبت به سطح دریا در مسیر مربوط به بخش‌های انتهایی منطقه مورد مطالعه در کوه جهان‌بین با ارتفاع ۲۲۱۰ متری از سطح دریا قرار دارد. کمترین مقدار هم مربوط به بخش ابتدای منطقه مورد مطالعه است.

## ۵-۷- ارزیابی آبخوان‌های مسیر تونل

جهت ارزیابی مطالعات هیدروژئولوژیکی و ساختاری، آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده و سپس به تجزیه و تحلیل هیدروژئولوژیکی و ساختاری منطقه پرداخته شده است. در کل ۳ آبخوان کارستی و ۴ آبخوان آبرفتی، بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی (ساختاری و سنگ‌شناسی)، هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژی در طول منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شده است. آبخوان‌های محدوده در جدول (۴-۵) آورده شده است. در هر یک از آبخوان‌های موجود در منطقه در ابتدا منابع آب زیرزمینی (از قبیل چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها) مشخص شده، و سپس نتایج حاصل از آزمایش لوژان موجود در آبخوان آنالیز شده، عوامل ساختاری منطقه مورد بحث و بررسی قرار گرفته، نوسانات و تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی در پیزومترها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و همچنین تغییرات دبی چشمه‌های موجود در این تاق‌دیس‌ها نیز بررسی

شده است. لازم به ذکر است جهت بررسی ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های سطحی و عمیق‌تر (لایه‌های مقطع تونل)، از اطلاعات کیفی منابع آب زیرزمینی در استان (تهیه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری) و از اطلاعات کیفی آب در گمانه‌های اکتشافی مسیر تونل (شرکت زاینده‌آب اصفهان) استفاده شده است. در راستای این هدف با استفاده از نرم افزار Rock Work 15 نمودارهای پایپیر (Piper) و استیف (Stiff) ترسیم شده است. در منطقه مورد مطالعه یک سری آزمایش‌های لوژان به طور منظم توسط شرکت مشاور زاینده‌آب اصفهان انجام شده است، که با توجه به محل آزمایش در هر یک از آبخوان‌ها در بحث نفوذپذیری هر بخش از آنها استفاده شده است.

جدول ۴-۵- آبخوان‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام آبخوان
۱	آبخوان کارستی کوه سوخته
۲	آبخوان کارستی کوه هزارگری
۳	آبخوان آبرفتی سلم
۴	آبخوان آبرفتی شلمزار
۵	آبخوان آبرفتی کیار
۶	آبخوان کارستی کوه جهان‌بین
۷	آبخوان آبرفتی تنگ خراجی

#### ۵-۷-۱- آبخوان کارستی کوه سوخته

این آبخوان در محدوده پهنه زاگرس مرتفع واقع شده است. مرزهای این قسمت به این صورت است که گسل اردل در جنوب به عنوان مرز فیزیکی، رودخانه بهشت‌آباد تا انتهای تنگ درکش‌ورکش در غرب مرز هیدرولیکی آن و سازند کنگلومرانی با میان لایه‌های رسی (واحد Om<sub>1</sub>) در شمال و ارتفاعات آهکی در شرق این آبخوان واقع شده است.

### ۵-۷-۱-۱- منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان چشمه‌های متعددی با دبی‌های مختلف وجود دارد. چشمه باغ‌رستم با دبی حدود ۲ تا ۸ متر مکعب بر ثانیه بزرگترین و چشمه‌های دیگر با دبی‌های کمتر که بیشتر به صورت نشتی در نزدیکی تنگ درکش‌ورکش در محدوده آبخوان در فصل خشک قابل رویت هستند. با توجه به مطالعات زمین‌شناسی، ویژگی‌های کارستی منطقه و آنالیز نتایج هیدروژئوشیمیایی از این منطقه، منشاء تغذیه این چشمه‌ها و به ویژه چشمه باغ‌رستم را می‌توان از ارتفاعات کوه سوخته و از تاقدیس این کوه در نظر گرفت.

### ۵-۷-۱-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش لوژان در این آبخوان مشخص شده که میزان نفوذپذیری سنگ بستر در مقطع عبور تونل از کمترین مقدار نفوذپذیری در حدود  $10^{-4}$  m/s تا بیشترین مقدار نفوذپذیری  $10^{-2}$  m/s متغیر است. میزان نفوذپذیری در این بخش نشان دهنده پتانسیل بالای نفوذپذیری توده سنگ در این آبخوان که اکثراً هم شامل سنگ‌های آهکی و تقریباً کارستی شده می‌باشند، است.

### ۵-۷-۱-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

#### الف- تحلیل لایه‌بندی و درزه‌ها

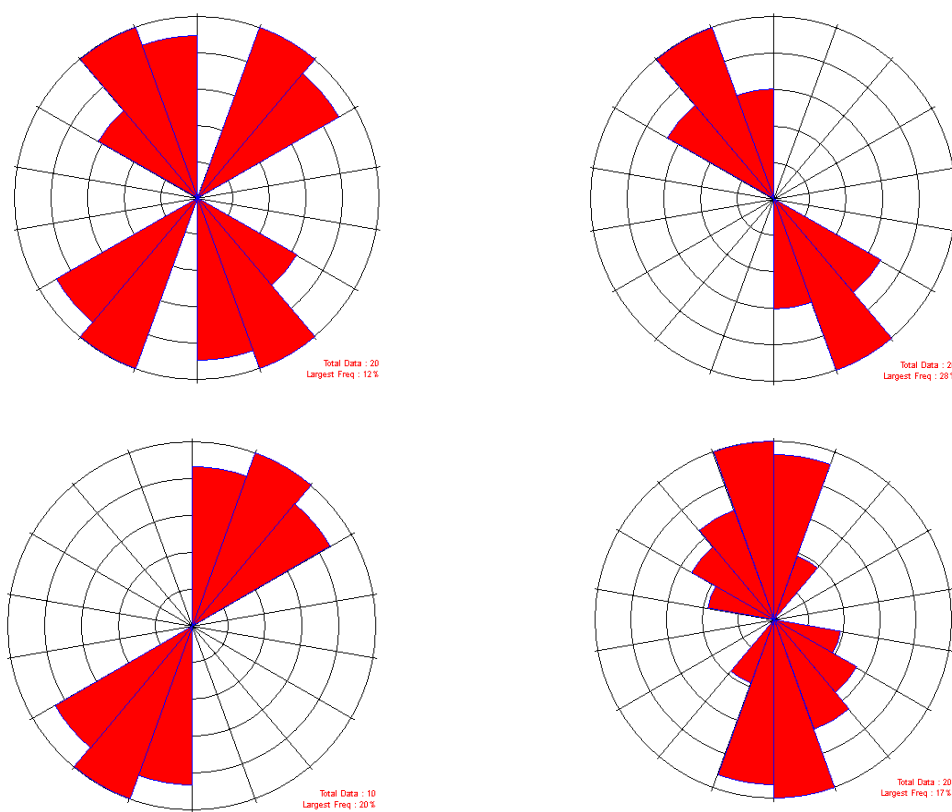
آهک‌های کرتاسه رسوبات سازند معادل سروک و تا حدی هم واحدهای سنگی معادل سازند جهرم-آسماری سنگ‌شناسی این آبخوان را تشکیل می‌دهند. در ایستگاه‌های برداشت شده، شیب و امتداد درزه‌ها و لایه‌ها اندازه‌گیری شده است. شیب لایه‌های برداشت شده در ابتدای آبخوان متغیر بوده و از حدود ۳۶ تا ۸۰ درجه و جهت آنها نیز به سمت جنوب غرب (SW) یعنی به سمت ابتدای منطقه

(ورودی تونل) است، ولی در ادامه مسیر جهت لایه‌ها به سمت شمال شرق تغییر کرده و مقدار آنها کمتر شده و بین ۲۰ تا ۳۵ درجه متغیر است. شیب درزه‌های برداشت شده در این ایستگاه‌ها نیز اندازه‌های مختلفی داشته، که از حدود ۱۰ تا ۸۰ درجه تغییر می‌کنند. جهت شیب درزه‌ها نیز از جهت لایه‌بندی پیروی می‌کند. همان‌طور که در نمودار شکل (۵-۷) مشاهده می‌شود، درزه‌های منطقه دارای جهات مختلفی بوده که علت آن نیز وجود گسل‌های تراسی موجود و همچنین پهنه‌های خرد شده که باعث ایجاد شکستگی زیاد در واحدهای سنگی منطقه شده است. به هر حال بیشترین فراوانی درزه‌ها در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی بوده که در امتداد محور تاقدیس قرار دارند.

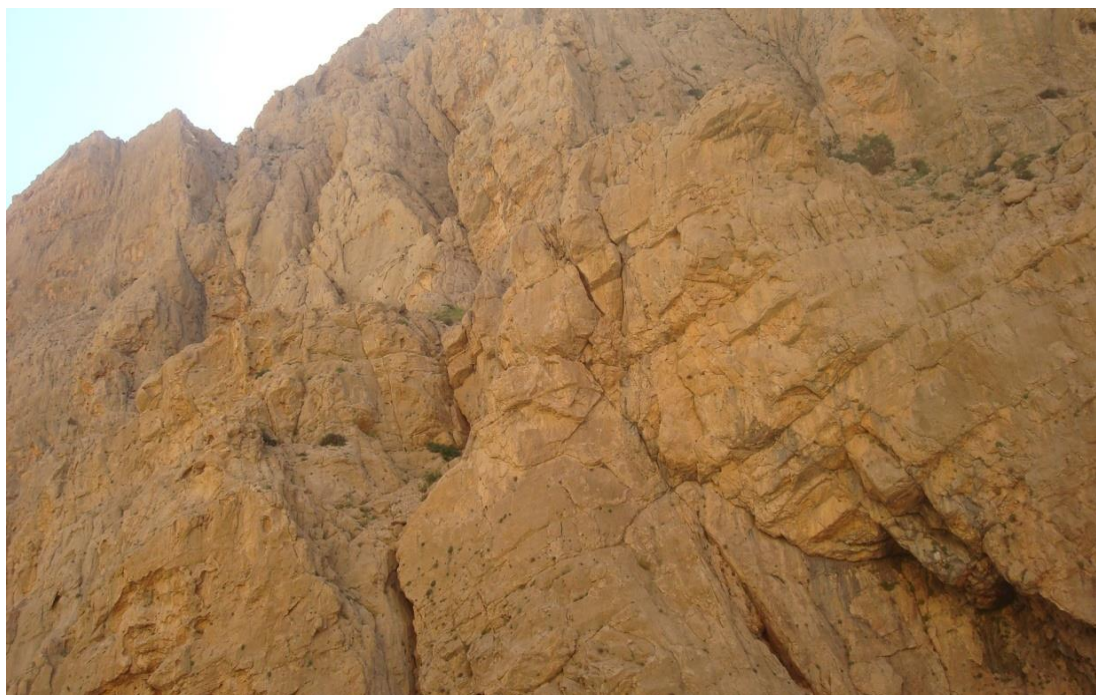
### ب- تحلیل گسل‌ها

این بخش تحت تاثیر گسل اردل قرار دارد و به شدت خرد شده است. گسل اردل با روند شمال غرب- جنوب شرق و به موازات گسل اصلی زاگرس در منطقه قرار دارد. این گسل با امتداد ۱۶۰ درجه و شیب ۳۳ درجه به سمت شمال شرق (NE) قرار دارد. محل آن نیز بر روی عکس‌های ماهواره‌ای (IRS) مسیر تونل مشخص شده است. با توجه به این که موقعیت گسل تقریباً عمود بر محور تونل خواهد بود، و به علت این که در زمان حفاری تونل، قطعاً با آن برخورد خواهد شد، توجه ویژه به این گسل ضروری است. این گسل عملکردی تراسی دارد (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد)، نحوه عملکرد این گسل در نیمرخ زمین‌شناسی ترسیم شده در فصل چهارم آورده شده است، بر اساس نوع لیتولوژی و پهنه‌های خرد شده موجود در این بخش می‌توان گفت که این گسل پتانسیل بالایی جهت انتقال آب دارد. به دلیل وجود این پهنه‌های خرد شده و با توجه به حفرات انحلالی، وجود آهک‌های ضخیم لایه خرد شده و توده‌ای با شواهد کارستی شدن سنگ‌های این قسمت می‌توان این آبخوان را یک آبخوان کارستی در نظر گرفت (شکل ۵-۸). بر اساس ویژگی‌های گفته شده، احتمال ورود آب زیرزمینی به داخل تونل از این گسل و پهنه گسلی ایجاد شده خیلی زیاد می‌باشد.





شکل ۵-۷- نمودار گل سرخی ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تافدیس کوه سوخته



شکل ۵-۸- آهک‌های خرد شده و توده‌ای مربوط به سازند سروک در کوه سوخته (دید به سمت جنوب غربی)



### ج- تحلیل چین خوردگی‌ها (تاقدیس کوه سوخته)

تاقدیس سوخته-سالدوران نیز مانند دیگر چین خوردگی‌های موجود در منطقه دارای روندی شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. بر اساس نقشه ساختاری تهیه شده از منطقه مشاهده می‌شود، که محور تاقدیس کوه سوخته-سالدوران تقریباً عمود بر مسیر عبور تونل خواهد بود. یعنی تونل یال‌های تاقدیس، را قطع می‌کند. به احتمال فراوان مقدار آب نشتی به بخش‌های زیرین از طریق یال‌های تاقدیس صورت خواهد گرفت. با توجه به عملکرد گسل تراستی اردل در این قسمت یال جنوب غربی تاقدیس خرد شده و گلسیده است. در هسته این تاقدیس در اثر فرسایش، سازند سروک رخنمون دارد. توالی واحدهای چین‌شناسی در این تاقدیس شامل رسوبات معادل سازندهای مربوط به ژوراسیک، سروک، کشکان، جهرم-آسماری و بخش بالایی آسماری است. به طور کلی آثار خطواره‌ها و شکستگی‌های زیادی در سطح سنگ‌های آهکی این تاقدیس وجود دارند. وجود این گسل‌های تراستی در این بخش باعث ایجاد پهنه خرد شده با تخلخل ثانویه در این منطقه شده است، که احتمالاً این پهنه‌های خرد شده به عنوان کانال‌های جریان آب زیرزمینی عمل می‌کنند. در حد فاصل تاقدیس سوخته تا تاقدیس هزارگزی ناودیس هزارگزی وجود دارد. با توجه به نفوذپذیری توده سنگ در این قسمت احتمال ورود آب زیاد است (شکل ۵-۹). در کل می‌توان گفت که در پهنه‌های گسلی آبدار در سنگ‌های کربناته که توانایی انتقال حجم زیاد آب را دارند، انحلال باعث ایجاد حفرات و کانال‌های انحلالی شده است و آب در داخل این حفرات انحلالی به راحتی جریان می‌یابد.

### ۵-۷-۱-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

جهت بررسی ترکیب شیمیایی و تیپ آب منابع زیرزمینی مسیر و گمانه‌های اکتشافی به منظور تعیین ارتباط هیدرولیکی بین آنها، از نمودارهای کیفی پایپر (Piper) و استیف (Stiff) استفاده شده است. لازم به ذکر است، که تاریخ انجام تمام نمونه‌برداری‌ها که توسط شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری انجام شده است، مربوط به سال آبی ۸۹-۸۸ می‌باشند. برای این منظور از

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

منابع زیرزمینی در مجاورت گمانه BH<sub>17</sub> در آبخوان کارستی کوه سوخته و گمانه اکتشافی حفاری شده تا مقطع تونل جهت بررسی ترکیبات هیدروژئوشیمیایی، نمونه برداری شده است، که نتایج این آنالیزهای نمونه‌ها در جدول (۵-۵) نشان داده شده است.

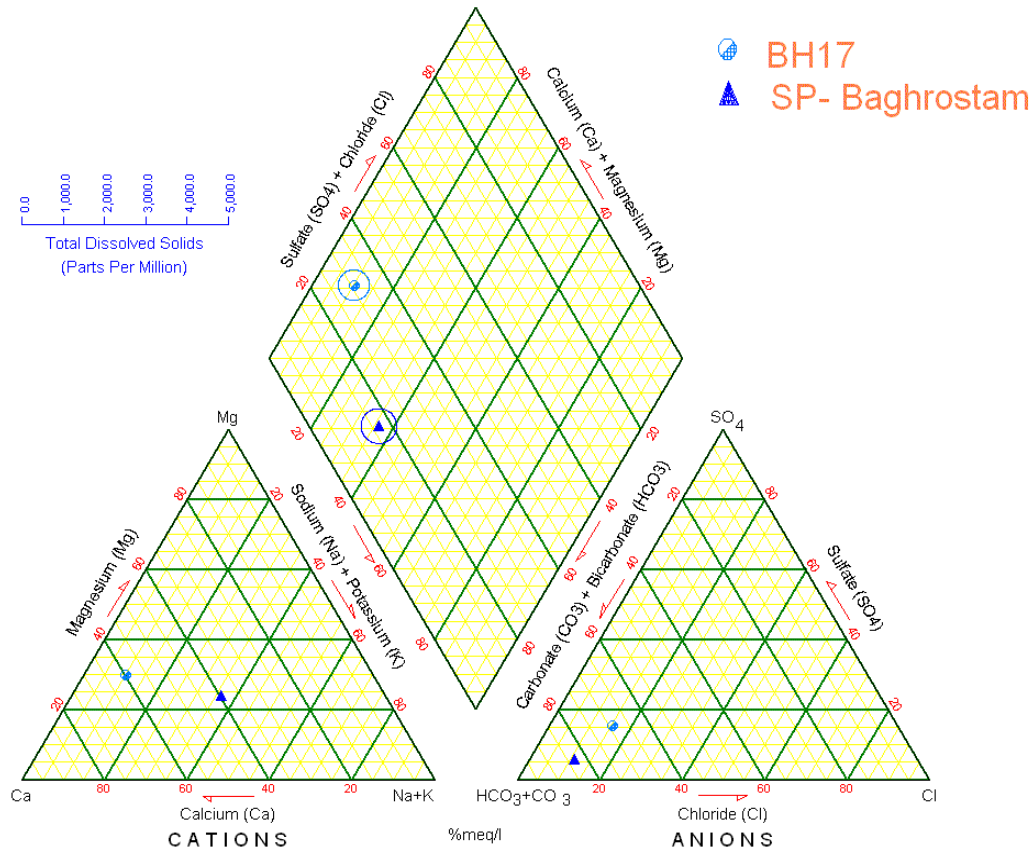


شکل ۵-۹- نمایی از تاقدیس کوه سوخته (دید به سمت جنوب غربی)

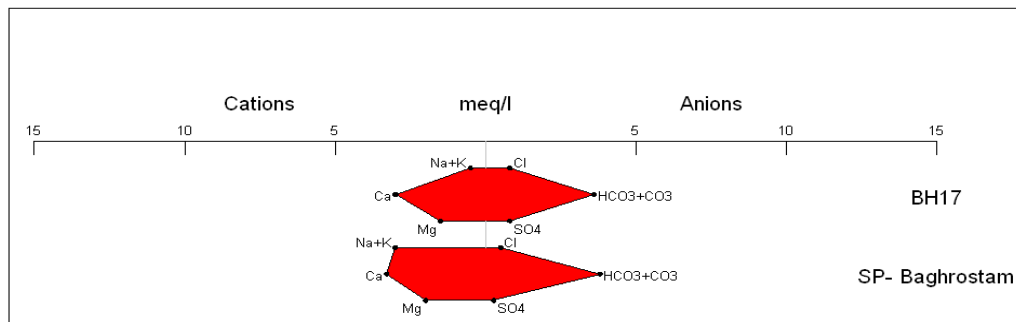
جدول ۵-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۰	۲۸/۴	۳۸/۷	۲۱۹	۶۰	۱۸/۲	۹/۲	۳/۹	۸/۵	۳۳۵	۳۵۴۵۶۰۷	۴۶۷۷۰۲	BH <sub>17</sub>
۰	۱۷/۸	۱۲/۹	۲۳۱	۶۶	۲۴/۳	۵۵/۲	۲۳/۴	۸/۶	۳۳۰	۳۵۴۴۵۰۰	۴۶۷۵۰۰	چشمه باغ رستم

شکل (۵-۱۰)، نمودار پایپر ترسیم شده برای بزرگترین چشمه آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، موارد زیر قابل تفسیر هستند، هر دو نمونه از نظر ترکیب شیمیایی ترکیب یکسانی داشته، یعنی هر دو دارای کربنات و کلسیم بالایی هستند. هر دو نمونه نیز در سمت چپ لوزی قرار دارند که آب شیرین و مطلوبی دارند.



شکل ۵-۱۰- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان کوه سوخته



شکل ۵-۱۱- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان کوه سوخته

جهت بررسی تیپ آب زیرزمینی در این آبخوان از نمودار استیف استفاده شده است. با توجه به نمودار استیف می‌توان تا حدی به محیطی که آب از آن منشأ گرفته است پی برد. بر اساس نمودار استیف در شکل (۵-۱۱)، مشخص شده که تیپ آب در هر دو این نمونه‌ها از نوع بی‌کربنات-کلسیک

بوده است. این نشان دهنده یکی بودن منبع تغذیه بین آبخوان‌های سطحی و لایه‌های زیرین (مقطع تونل) است.

#### ۵-۷-۱-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان اطلاعات پیزومتر خاصی در دست نبوده است. برای تعیین نوع سیستم جریان از پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و تغییرات دبی چشمه باغ رستم استفاده شده است. مقدار تغییرات هر دو پارامتر زیاد بوده و این دلیلی بر وجود جریان مجرای (Conduit Flow) برای این چشمه می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که اختلاف زیاد بین بیشترین و کمترین دبی خروجی از این چشمه نیز دلیل برای وجود درزه و شکستگی زیاد در این آبخوان است. شکل (۵-۱۲) تغییرات دبی چشمه را نسبت به بارندگی برای سال آبی ۸۸-۸۹ نشان می‌دهد، بر اساس این نمودار دیده می‌شود، که یک رابطه مستقیم بین دبی چشمه با بارندگی وجود دارد، که این عامل دلیلی بر وجود سیستم مجرای و وجود درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان در این آبخوان می‌باشد، که باعث این نوع تغییرات سریع در دبی چشمه شده است. با توجه به این که یکی از ویژگی‌های آبخوان‌های کارستی حفظ نفوذپذیری بالا تا اعماق زیاد است، می‌توان این تغییرات و این سیستم مجرای را برای بخش‌های عمیق‌تر هم در نظر گرفت.



شکل ۵-۱۲- نمودار تغییرات دبی چشمه باغ رستم در سال آبی ۸۸-۸۹

## ۵-۷-۲- آبخوان کارستی کوه هزارگزی

این آبخوان در محدوده پهنه زاگرس مرتفع واقع شده است، بخش ابتدای آبخوان شامل رسوبات معادل سازند کشکان با تناوب سنگی از سیلت‌استون، ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ، و در بخش دیگر بیشتر شامل رسوبات معادل سازندهای آهک مارنی و آهک دولومیتی جهرم-آسماری و بخش بالایی آسماری می‌باشند. مرزهای این قسمت به ترتیب از شمال به سازند کریناته جهرم-آسماری و از جنوب به سازند کریناته سروک به عنوان مرز فیزیکی و مرز هیدرولیکی آن رودخانه بهشت‌آباد در غرب و از شرق به دشت شلمزار می‌رسد.

## ۵-۷-۲-۱- منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان چشمه کارستی دریاچه شلمزار با آبدهی حدود ۲ متر مکعب بر ثانیه از ارتفاعات کوه هزارگزی تخلیه می‌شود. چشمه جونقان-کیار نیز با آبدهی حدود ۳۰ لیتر بر ثانیه از آهک‌های جهرم-آسماری در این آبخوان تخلیه می‌شود. این چشمه در سمت چپ رودخانه کیار واقع شده و حوضه آبرگیر آن نیز همین آهک‌های جهرم-آسماری در این محدوده می‌باشند. علاوه بر این چشمه‌های مهم این آبخوان، چشمه‌های دیگری نیز با دبی کمتر در اطراف مسیر عبور تونل نیز وجود دارد.

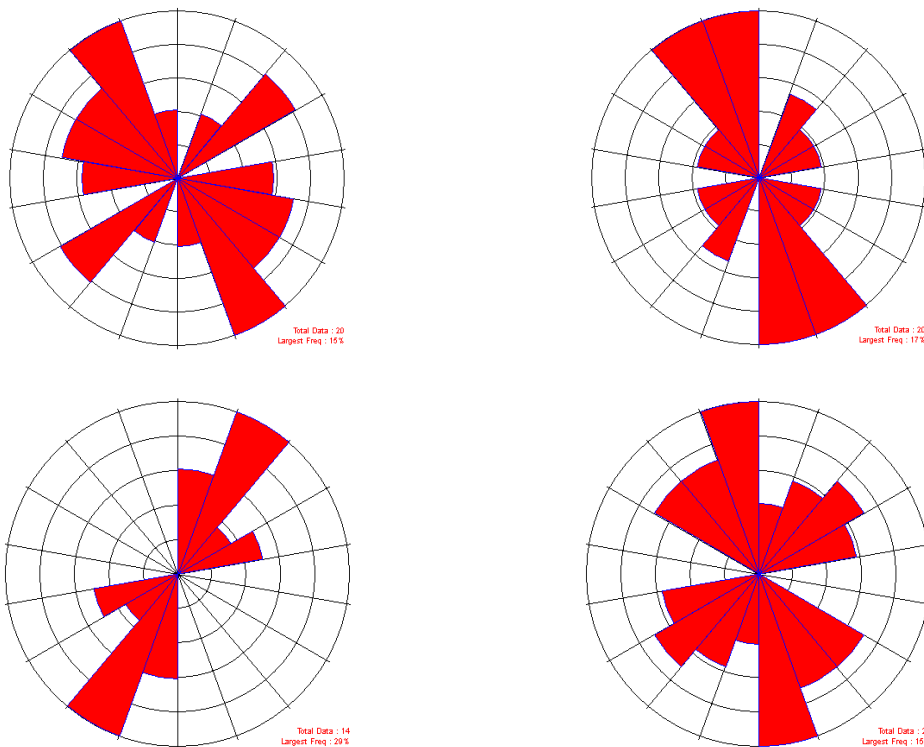
## ۵-۷-۲-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

نتایج آزمایش لوژان در این بخش با توجه به نوع سنگ‌شناسی که در محدوده آبخوان وجود دارد متفاوت بوده، به این صورت که در بخش‌های از حدود  $10^{-7}$  تا  $10^{-5}$  m/s و در دیگر قسمت‌ها با تغییر نوع سنگ‌شناسی مقدار نفوذپذیری سنگ‌بستر افزایش یافته و به حدود  $10^{-4}$  تا  $10^{-2}$  m/s می‌رسد.

۵-۷-۲-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

الف- تحلیل لایه‌بندی و درزه‌ها

سنگ‌های آهکی معادل سازندهای چهارم-آسماری و بخش بالایی سازند آسماری و همچنین رسوبات معادل سازند کنگلومرانی کشکان واحدهای سنگی در این آبخوان را تشکیل می‌دهند. در ایستگاه‌های برداشت شده، امتداد و شیب لایه‌ها و درزه‌ها اندازه‌گیری شده است. شیب لایه‌های برداشت شده از حدود ۲۰ تا ۴۰ درجه به سمت شمال شرقی منطقه (خروجی تونل) متغیر هستند. درزه‌های برداشت شده از این آبخوان بیشتر به صورت سیتماطیک بوده و شیبی که از این دسته درزه‌ها بدست آمده بین ۲۵ تا ۶۵ درجه بوده است (شکل ۵-۱۳). همان طور که در این نمودارها نیز مشاهده می‌شود، درزه‌های موجود در منطقه به دلیل وجود گسل‌های این قسمت دارای جهت خاصی نبوده و ولی فراوانی اکثر درزه‌های برداشت شده در راستای شمال غربی- جنوب شرقی بوده است، در حالی که درزه‌های با جهت شمال شرقی- جنوب غربی نیز در ایستگاه‌های برداشت شده وجود دارند.

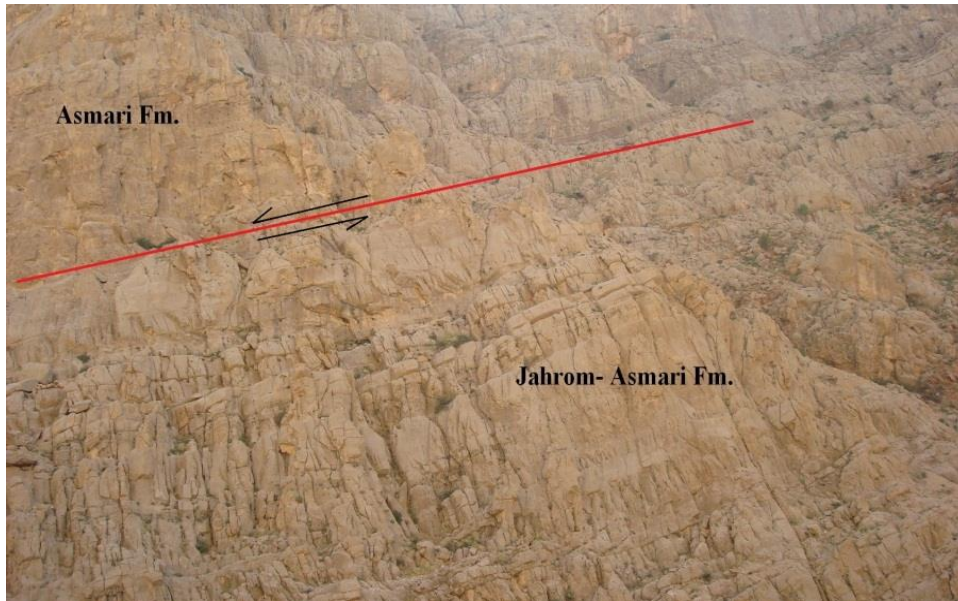


شکل ۵-۱۳- نمودارهای گل‌سرخ ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تاق‌دیس کوه هزارگری

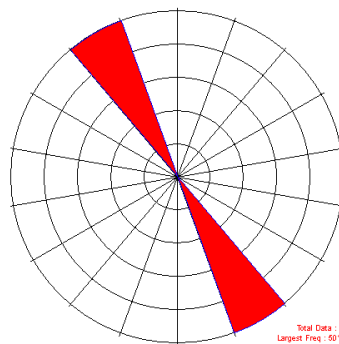
### ب- تحلیل گسل‌ها

مرز واحدهای سنگی در این بخش تحت تاثیر گسل‌های که بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز مشخص شده قرار گرفته است. با توجه به شکل (۵-۱۴) گسل در مرز رسوبات معادل سازندهای جهرم- آسماری با بخش بالایی آسماری در محدوده دیده شده است. این منطقه با توجه به وجود این گسل با امتداد ۳۲۰ درجه و شیب ۳۲ درجه که به سمت شمال شرق نیز جهت دارد، به شدت خرد شده است. همچنین با توجه به شکل (۵-۱۵) نمودار گل‌سرخ‌ی این گسل موجود در منطقه ترسیم شده است. بر اساس این نمودار مشخص شده که امتداد این گسل نیز تقریباً هم‌روند با دیگر گسل‌های مهم زاگرس یعنی شمال غربی-جنوب شرقی است. علاوه بر درزه‌ها و گسل‌های موجود، مجموعه چین‌خورده هزارگری که شامل تاقدیس و ناودیس هزارگری است، نیز ویژگی‌های ساختاری این آبخوان را تشکیل می‌دهد. این ویژگی‌های ساختاری باعث قرار دادن واحدهای آهکی جهرم- آسماری و بخش بالایی آسماری در بخش‌های که تونل از آنها عبور خواهد کرد، بر طبق سنگ‌شناسی بدست آمده از گمانه‌ها شده است. پهنه‌های گسلی، مناطق خرد شده و وجود آهک‌های ضخیم لایه و توده‌ای در این بخش که در مجموع نشان دهنده توسعه کارست در این بخش است. بر اساس نفوذپذیری بالای نزولات جوی و نفوذپذیری زیاد خود توده سنگ که با توجه به شرایط می‌توان آن را تا بخش‌های عمیق‌تر هم تصور کرد. با وجود پهنه‌های خرد شده که در اطراف مناطق گسلی هستند، باید گفت که پتانسیل بالایی در جهت ورود آب زیرزمینی به بخش‌های زیرین یعنی محل عبور تونل وجود دارد.





شکل ۵-۱۴- نمایشی از گسل در مرز واحدهای سنگی معادل سازندهای جهرم-آسماری و آسماری (دید به شمال شرقی)



شکل ۵-۱۵- نمودار گل سرخی گسل کوه هزارگری در منطقه مورد مطالعه

### ج- تحلیل چین خوردگی‌ها (تاقدیس هزارگری)

در این قسمت مجموعه چین خورده هزارگری که شامل ناودیس و تاقدیس هزارگری قرار دارد. محور این تاقدیس و ناودیس عمود بر مسیر عبور تونل می‌باشند، که این حالت بیشترین احتمال ورود آب به درون تونل را نشان می‌دهد. توالی واحدهای چین‌شناسی در این تاقدیس شامل رسوبات معادل سازندهای سروک، کشکان، جهرم-آسماری و بخش بالایی آسماری می‌باشند. در این قسمت چندین گسل سرتاسری وجود دارد، که باعث ایجاد پهنه‌های خرد شده زیادی در این تاقدیس شده است. با توجه به بازدیدهای صحرائی انجام شده نیز مشخص شد، که تعداد فراوانی خطواره و شکستگی در



سطح سنگ‌های این بخش وجود دارد و آنها به عنوان کانال‌های جریان آب زیرزمینی عمل می‌کنند. با توجه به نفوذپذیر بودن سنگ‌ها و پهنه‌های خرد شده در این بخش، احتمال می‌رود که با رسیدن تونل به این بخش‌ها مقدار خیلی زیادی آب زیرزمینی به سمت تونل وارد شود و باعث از بین رفتن این منابع زیرزمینی شود.

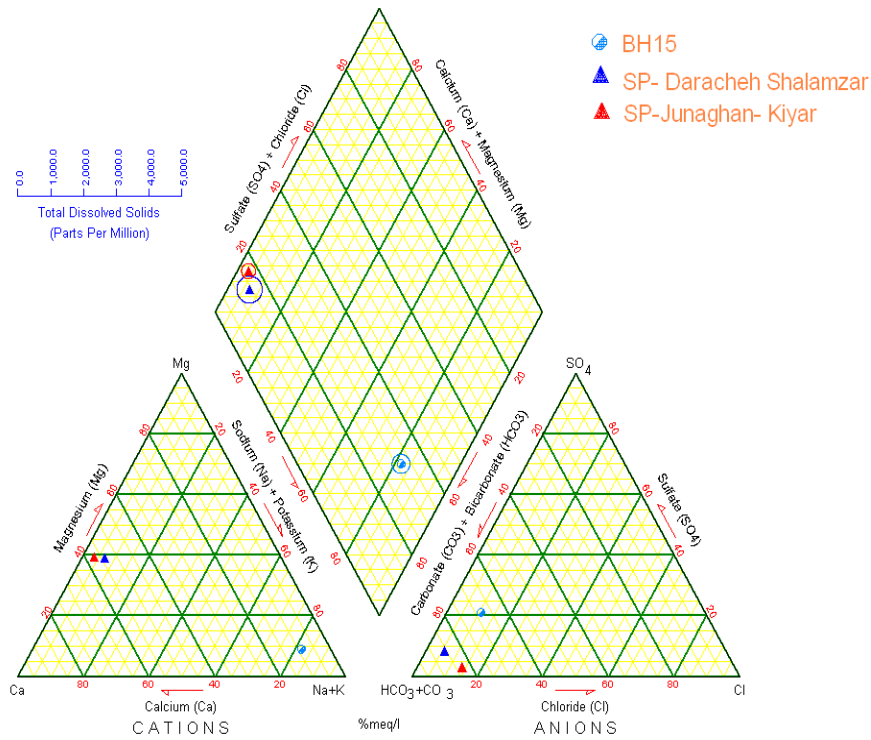
#### ۵-۷-۲-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

جهت بررسی ترکیب شیمیایی بین منابع آب زیرزمینی موجود در آبخوان کارستی کوه هزارگری از دو چشمه مهم آبخوان و نزدیک‌ترین گمانه اکتشافی حفر شده تا مقطع تونل نسبت به این آبخوان نمونه‌برداری شده است. در جدول (۵-۶) میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همچنین پارامترهای pH و EC به علاوه مختصات و ارتفاع آنها ذکر شده است.

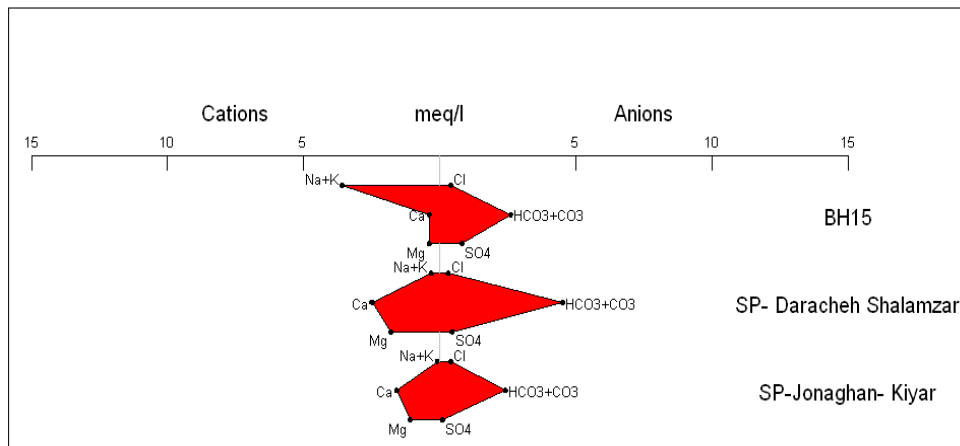
جدول ۵-۶- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۳۶	۱۴/۲	۳۸/۷	۸۵/۴	۸	۴/۸	۸۰/۵	۳/۹	۱۱/۳	۸۴۰	۳۵۴۸۷۹۸	۴۷۲۲۹۲	BH <sub>15</sub>
۰	۱۰/۶	۲۱/۵	۲۷۴/۵	۵۰	۲۱/۸	۶/۹	۰/۷۸	۷	۳۹۰	۳۵۴۲۹۸۵	۴۸۳۳۱۹	چشمه دریاچه
۰	۱۴/۲	۴/۳	۱۴۶/۴	۳۲	۱۳/۳	۲/۳	۰	۸/۱	۲۷۰	۳۵۵۰۲۵۴	۴۶۷۹۹۴	چشمه جونقان-کیار

شکل (۵-۱۶) نمودار پایپر ترسیم شده برای چشمه‌های مهم آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار موارد زیر قابل تفسیر هستند، هر دو نمونه از نظر ترکیب شیمیایی ترکیب یکسانی داشته، یعنی دارای کربنات و کلسیم بالای بوده در حالی که در نمونه گمانه اکتشافی مقدار سدیم خیلی زیاد می‌باشند. علت این تغییر ترکیب می‌تواند به دلیل وجود آهک‌های مارنی و سلیت‌استون‌های موجود که باعث ماندگاری بیشتر آب در اعماق و افزایش سدیم در آنها می‌شود است.



شکل ۵-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان کوه هزارگری



شکل ۵-۱۷- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان کوه هزارگری

با توجه به نمودار استیف ترسیم شده، شکل (۵-۱۷)، مشخص شده که تیپ آب در هر دو چشمه موجود در آبخوان از نوع تیپ بی‌کربنات-کلسیک می‌باشد در حالی که تیپ آب گمانه از نوع بی‌کربنات-سدیک است.

### ۵-۷-۲-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان نیز اطلاعات پیزومتر خاصی در دست نبوده است. به منظور بررسی نوع جریان در چشمه‌های موجود در این آبخوان از ضریب تغییرات هدایت الکتریکی، pH و آبدهی چشمه‌ها استفاده شده است. بر اساس این نتایج مشخص شده که ضریب تغییرات هر دو پارامتر هدایت الکتریکی و pH زیاد بوده و همچنین بر اساس نمودار تغییرات دبی چشمه دریاچه شلمزار نسبت به بارندگی در این آبخوان می‌توان گفت که سیستم از نوع مجرایبی بوده، چون یک رابطه مستقیم بین دبی چشمه و بارندگی وجود داشته، به این صورت که با افزایش بارندگی میزان دبی چشمه زیاد می‌شود. این نشان دهنده تعداد زیاد درزه و شکستگی در آهک‌های سطحی در این بخش است. شکل (۵-۱۸) میزان تغییرات و نوسانات دبی چشمه دریاچه شلمزار را نسبت به بارندگی در سال آبی ۸۸-۸۹ نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۸- نمودار تغییرات دبی چشمه دریاچه شلمزار در سال آبی ۸۸-۸۹

### ۵-۷-۳- آبخوان آبرفتی روستای سلم

این آبخوان نیز در محدوده پهنه زاگرس مرتفع واقع شده است. در این آبخوان مسیر تونل از نزدیکی روستای سلم عبور خواهد کرد. طبق بررسی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی و بر اساس گمانه‌های

اکتشافی در این قسمت می‌توان گفت که تونل در این قسمت از رسوبات معادل سازند رازک عبور خواهد کرد. دشت شلمزار و رودخانه کیار به عنوان مرز هیدرولیکی در جنوب، سازند کنگلومرانی با میان لایه‌های رسی بختیاری به عنوان مرز فیزیکی در شمال، رودخانه کیار در غرب و ارتفاعات یمری در شرق این آبخوان واقع شده‌اند.

### ۵-۷-۳-۱- منابع آب زیرزمینی

با بررسی چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌های موجود در مسیر و پلات کردن آنها بر روی نقشه مسیر مشخص شده، که در این آبخوان تعدادی چشمه‌های بزرگ و کوچک با دبی‌های مختلف در آبخوان وجود دارند. از جمله چشمه‌های مهم می‌توان به چشمه بالاقلی سلم اشاره کرد، دبی سالانه این چشمه به طور متوسط ۶۰۰ لیتر بر ثانیه است. این چشمه از دامنه ارتفاعات تپه‌های سلم در نزدیکی روستای سلم تخلیه می‌شود. چاه‌های جونقان ۱ و جونقان ۲ نیز در محدوده وجود دارند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این چشمه و چاه‌ها توسط شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری برداشت شده است، که در قسمت بررسی هیدروژئوشیمیایی جهت برقراری ارتباط هیدرولیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است.

### ۵-۷-۳-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

با توجه به سنگ‌شناسی گمانه اکتشافی در این قسمت مشخص شده که تونل در مسیر خود در آن از واحد سنگ‌شناسی رسوبات معادل سازند رازک عبور خواهد کرد، نتایج بدست آمده از آزمایش لوژان که مقدار نفوذپذیری بسیار پایین بین  $10^{-10}$  تا  $10^{-8}$  m/s را نشان می‌دهد، که این مسئله را اثبات می‌کند.

۵-۷-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

الف- تحلیل لایه‌بندی

بر طبق بررسی‌های چینه‌شناسی انجام شده و همچنین بر اساس بررسی سنگ‌شناسی موجود در گمانه‌های اکتشافی در این آبخوان مشخص شده که سنگ‌های مارن‌استونی و مارن‌های آهکی ضخیم معادل سازند رازک سنگ‌شناسی این بخش را تشکیل می‌دهند. شیب لایه‌ها در این آبخوان متغیر بوده به این صورت که در ابتدا شیب لایه‌ها به سمت شمال شرقی (خروجی) و سپس جهت شیب عوض شده و با یک شیب ملایم ۱۵ تا ۳۰ به سمت ورودی یعنی جنوب غرب تغییر می‌کنند. در انتهای آبخوان نیز با یک شیب ۲۰ تا ۳۵ درجه به سمت شمال شرقی تغییر جهت می‌دهند. در این آبخوان گسلی به طور مشخص مشاهده نشده است.

۵-۷-۳-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

جهت بررسی ترکیب شیمیایی آب منابع زیرزمینی در مجاورت گمانه BH<sub>14</sub> در آبخوان ابرفتی سلم از منابع زیرزمینی آبخوان (اعم از چشمه و چاه‌ها) و گمانه اکتشافی تا مقطع تونل نمونه‌برداری شده است، که اطلاعات مربوط به این آنالیزها در جدول (۵-۷) آورده شده است.

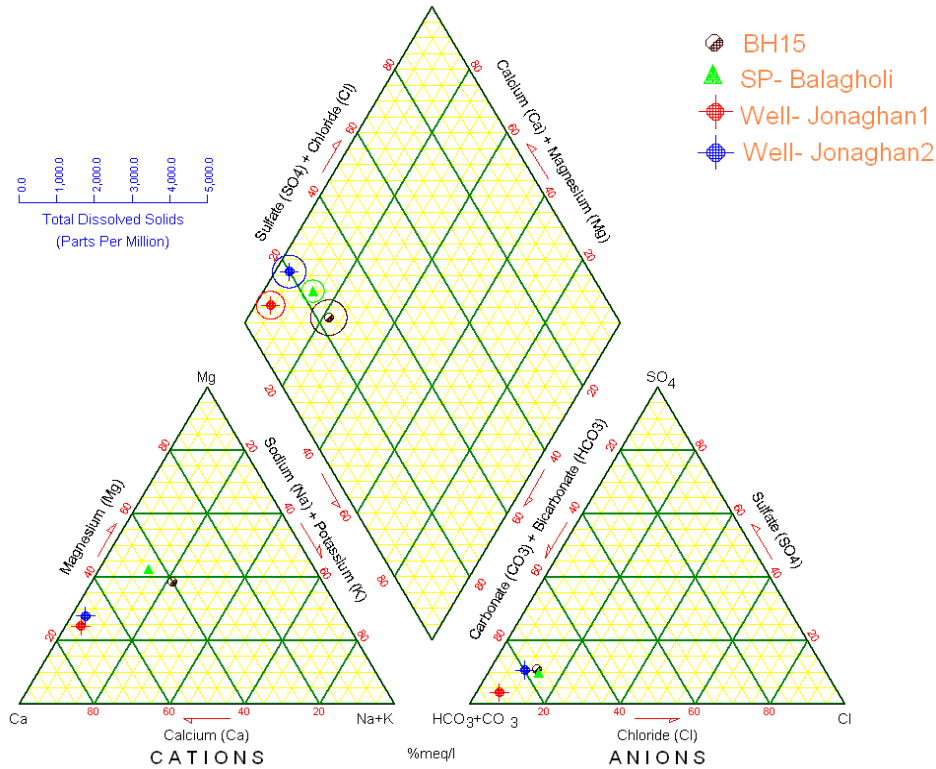
جدول ۵-۷- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۰	۲۸/۴	۳۴/۴	۳۰۵	۵۲	۳۰/۴	۲۹/۹	۳/۹	۷/۷	۴۱۰	۳۵۴۹۳۰۶	۴۷۴۶۳۶	BH <sub>14</sub>
۱۱	۱۹/۵	۱۹/۴	۱۷۱	۴۴	۲۵/۵	۱۴/۹	۰	۷/۷	۲۱۲	۳۵۴۹۲۹۳	۴۷۳۷۸۲	چشمه بالاقلی
۰	۱۰/۶	۸/۶	۲۷۲	۷۰	۱۴/۵	۴/۱۴	۰/۷۸	۷/۷	۵۱۹	۳۵۶۰۳۹۷	۴۶۷۱۹۰	چاه‌جونقان ۱
۰	۱۹/۵	۳۰/۱	۲۸۷	۸۴	۲۰/۶	۴/۸۳	۰/۷۸	۷/۶	۵۸۹	۳۵۵۶۶۸۵	۴۶۹۲۹۴	چاه‌جونقان ۲

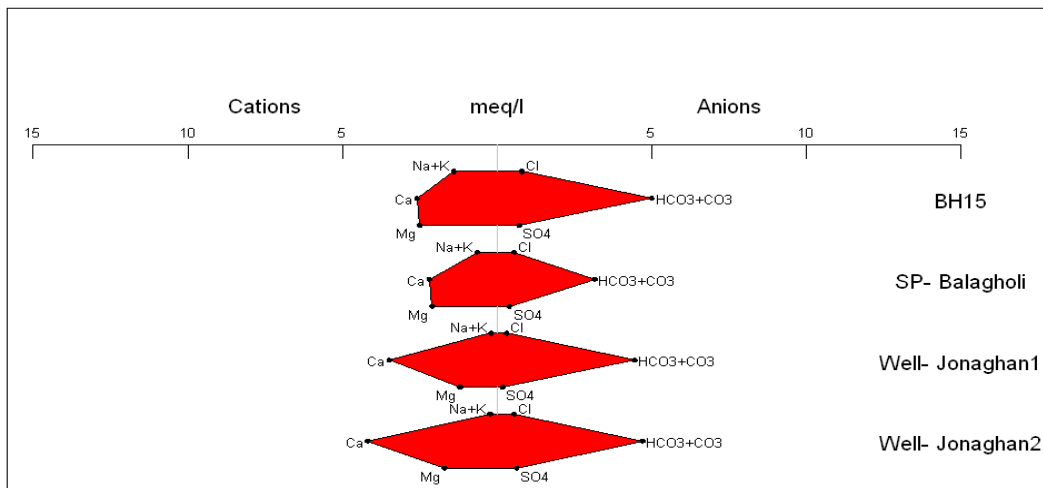
شکل (۵-۱۹) نمودار پایپر ترسیم شده برای منابع زیرزمینی مهم آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار همه نمونه‌ها از نظر ترکیب شیمیایی، ترکیب یکسانی داشته و

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

دارای مقدار کلسیم و کربنات بالایی هستند.



شکل ۵-۱۹- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان سلم



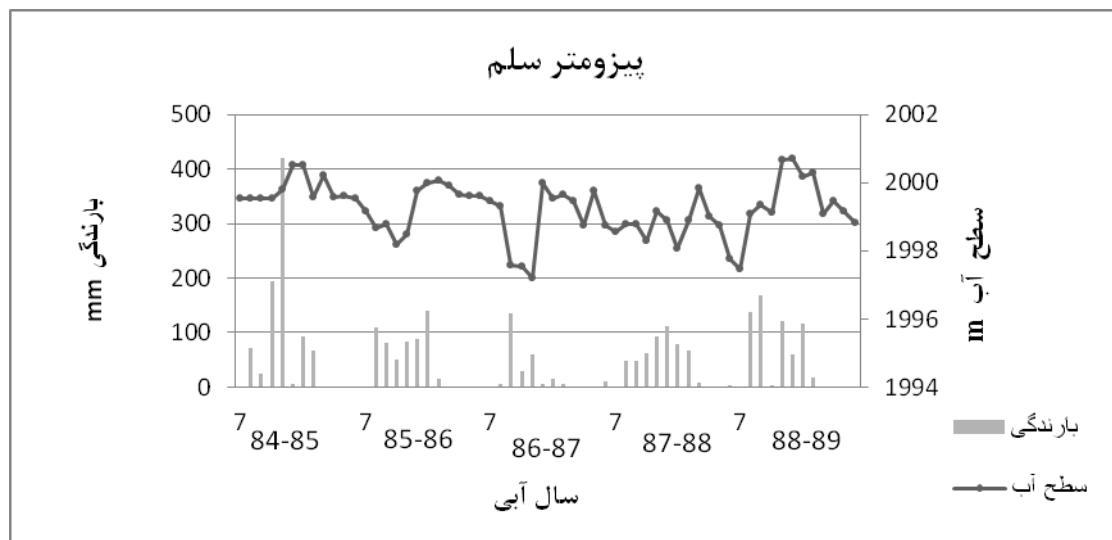
شکل ۵-۲۰- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان سلم

بر اساس نمودار استیف شکل (۵-۲۰) تیپ آب بدست آمده در همه نمونه‌ها یکی بوده به این صورت

که در همه آنها تیپ آمده از نوع بی کربنات-کلسیک بوده است.

### ۵-۷-۳-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی به بررسی پیزومتر سلم که در این بخش حفر شده است پرداخته شده است. بر اساس ترسیم هیدروگراف این پیزومتر برای یک دوره ۵ ساله در شکل (۵-۲۱) مشخص شده که تغییرات سطح آب با بارندگی رابطه دارد اما با تاخیر سبب بالا آمدن سطح آب شده است. به این صورت که با افزایش بارندگی تغییرات آنچنانی در سطح آب زیرزمینی ایجاد نشده، که احتمالاً دلیل این موضوع می‌تواند به خاطر نفوذپذیری کمی باشد که در این محل وجود دارد، و باعث شده پاسخ تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی با یک تاخیر انجام شود. همان طور هم که مشاهده می‌شود، اختلاف بین حداکثر و حداقل سطح آب زیرزمینی در این آبخوان خیلی زیاد نبوده که این نیز نشان از نفوذپذیری کم این بخش دارد.



شکل ۵-۲۱- هیدروگراف پیزومتر سلم

### ۵-۷-۴- آبخوان آبرفتی شلمزار

این آبخوان نیز در محدوده پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. محدوده این آبخوان قسمت شمالی دشت شلمزار که تونل از این قسمت عبور خواهد کرد در نظر گرفته شده است. طبق بررسی‌های انجام شده

در این بخش و بر اساس گمانه‌های اکتشافی در اینجا می‌توان گفت که سنگ کف آن را رسوبات معادل سازند رازک تشکیل می‌دهند. مرز شمالی و جنوبی این آبخوان به صورت مرز فیزیکی می‌باشد، به ترتیب از رسوبات معادل سازندهای بختیاری و آسماری جهرم تشکیل شده است. رودخانه کیار به صورت یک مرز هیدرولیکی و با راستای شرقی- غربی از این آبخوان عبور می‌کند.

### ۵-۷-۴-۱- منابع آب زیرزمینی

طبق بررسی‌های انجام شده در منطقه مشخص شده که تعدادی چشمه در این آبخوان وجود دارد که دبی این چشمه‌ها خیلی زیاد نبوده و بیشتر به صورت فصلی وجود دارند. چاه‌ها و قنات‌های متعددی از جمله چاه‌های شلمزار و امیرآباد و قنات‌های امیرآباد و جعفرآباد در این آبخوان وجود داشته که بیشتر برای مصارف کشاورزی و شرب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۵-۷-۴-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

طبق نتایج بدست آمده از این آزمایش کمترین مقدار نفوذپذیری در حدود  $10^{-9}$  m/s و بیشترین مقدار نفوذپذیری نیز  $10^{-4}$  m/s است، که این نتایج با نوع سنگ‌شناسی موجود در آبخوان تطابق دارد.

### ۵-۷-۴-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

#### الف- تحلیل لایه‌بندی

با توجه به این که این آبخوان در نزدیکی مجموعه چین‌خورده کوه شیخ قرار دارد، وجود چین‌خوردگی در این منطقه دور از انتظار نیست. البته لازم به ذکر است، با توجه به نزدیکی این قسمت به گسل اصلی زاگرس، احتمال وجود گسل‌های فرعی در این آبخوان وجود دارد. بر مبنای بازدیدهای صحرائی انجام شده در منطقه و دیدن ناودیس کوه شیخ، تشخیص داده شده که فرم



ساختاری این آبخوان به صورت یک ناودیس بزرگ که همراه با چین خوردگی‌های زیاد می‌باشد. البته باید گفت که لایه‌ها در این بخش توسط آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده هستند.

### ب- تحلیل چین خوردگی‌ها

در این آبخوان نیز همان طور که در نقشه زمین‌شناسی ساختاری دیده می‌شود یک ناودیس به نام ناودیس کوه شیخ وجود دارد. کنگلومرای بختیاری سازند تشکیل دهنده این ناودیس می‌باشد. محور این ناودیس نیز عمود بر مسیر تونل خواهد بود. با توجه به حرکت آب‌های زیرزمینی به سمت محور ناودیس (بر اساس ترسیم خطوط هم‌پتانسیل)، می‌توان گفت که با رسیدن تونل به این ناودیس خطر ورود آب زیرزمینی به داخل آن به‌ویژه در قسمت مرکزی یا هسته ناودیس زیاد است.

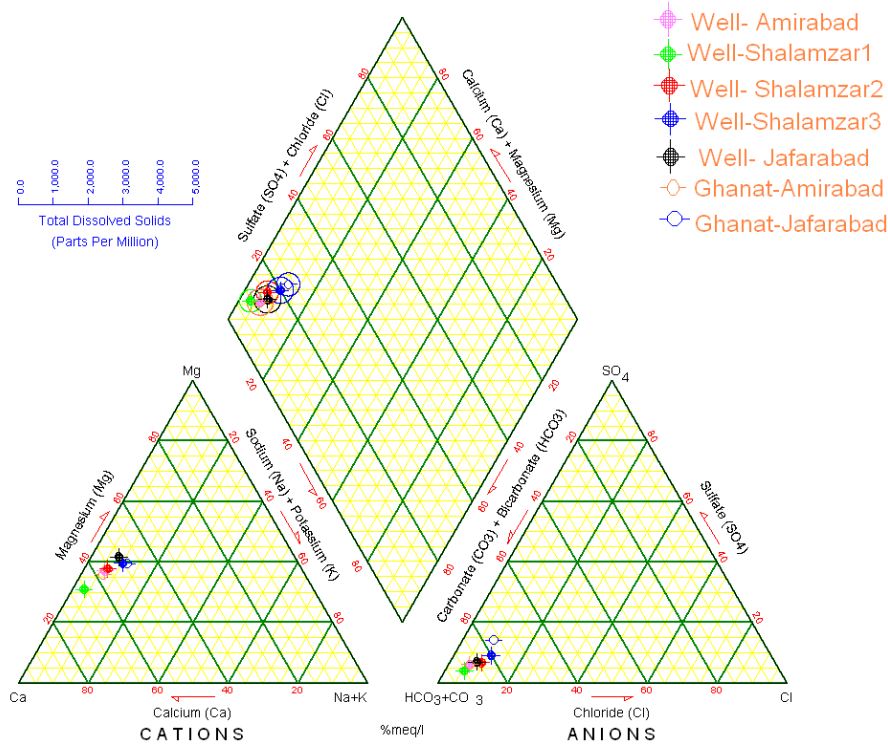
### ۵-۴-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

در این آبخوان جهت بررسی ترکیب شیمیایی اطلاعات مربوط به گمانه اکتشافی در دسترس نبوده و تنها اطلاعات مربوط به منابع زیرزمینی آبخوان (اعم از چاه‌ها و قنات‌ها) وجود داشته و بر اساس آنها به بررسی کیفی در این قسمت پرداخته شده است (جدول ۵-۸). البته در اینجا نیز همانند دیگر بخش‌های مسیر جهت بررسی و ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های سطحی و قسمت عبور مسیر تونل به بررسی سنگ‌شناسی و نتایج حاصل از گمانه‌ها و آزمایش لوژان و عوامل ساختاری و بررسی هیدروگراف پیرومترهای و جنس سنگ کف در طول مسیر تونل پرداخته شده است.

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

جدول ۵-۸- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان ( شرکت آب منطقه‌ای استان)

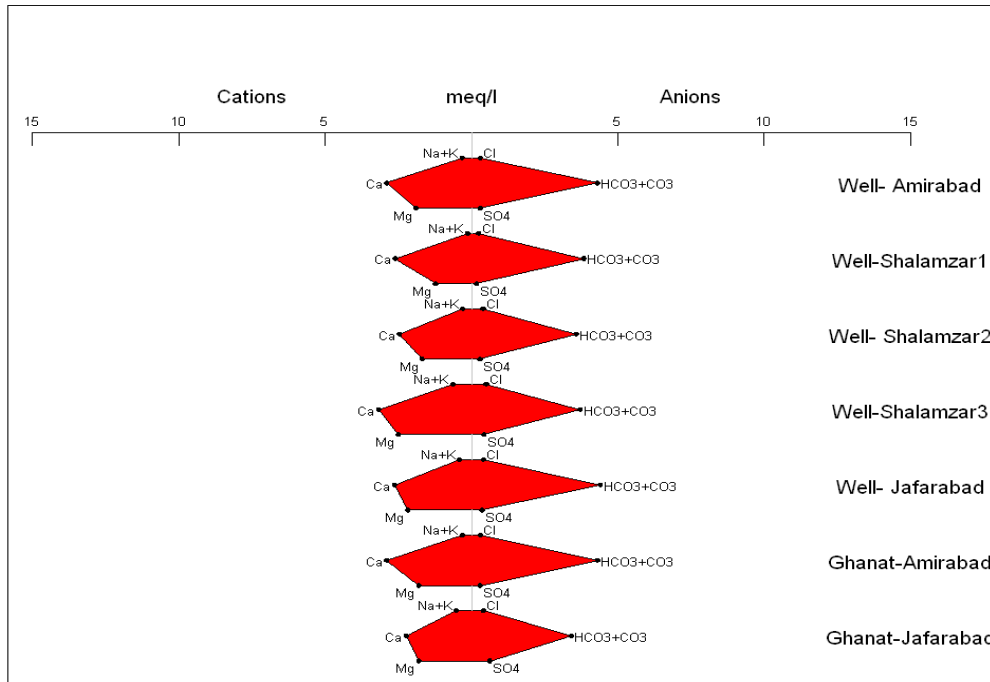
آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۰	۱۰/۷	۱۴/۲	۲۶۲	۵۸/۲	۲۳/۱	۶/۹	۰/۹۴	۷/۷	۴۶۸	۳۵۵۰۳۳۵	۴۷۹۲۸۸	چاه امیرآباد
۰	۸/۵۲	۸/۱۷	۲۳۴	۵۲/۲	۱۴/۹	۲/۸	۰/۶۳	۷/۷	۳۸۷	۳۵۴۴۴۲۸	۴۸۰۸۵۵	چاه شلمزار ۱
۰	۱۳/۹	۱۳/۷	۲۱۸	۴۹/۴	۲۰/۴	۶/۵	۰/۸۶	۷/۷	۴۳۸	۳۵۴۷۲۷۴	۴۸۲۶۷۸	چاه شلمزار ۲
۰	۱۷/۸	۲۰/۲	۲۲۶	۶۳/۶	۳۰/۴	۱۴/۳	۰/۸۶	۷/۹	۶۴۵	۳۵۴۴۸۰۰	۴۸۶۰۹۹	چاه شلمزار ۳
۰	۱۴/۲	۱۷/۲	۲۶۸	۵۲/۸	۲۶/۵	۹/۲	۰/۷۸	۷/۷	۴۸۰	۳۵۴۲۵۳۱	۴۸۶۸۶۷	چاه جعفرآباد
۰	۱۰/۷	۱۴/۲	۲۶۲	۵۸/۲	۲۱/۹	۶/۹	۰/۹۴	۷/۶	۴۴۰	۳۵۵۰۳۲۶	۴۷۸۶۶۱	قنات امیرآباد
۰	۱۴/۲	۳۰/۱	۲۰۸	۴۴/۸	۲۱/۹	۱۱/۵	۰/۹۴	۷/۸	۴۱۱	۳۵۴۳۵۶	۴۸۶۴۷۷	قنات جعفرآباد



شکل ۵-۲۲- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان شلمزار

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

در شکل (۵-۲۲) نمودار پایپر ترسیم شده برای منابع آب زیرزمینی مهم آبخوان نشان داده شده است. با توجه به این نمودار مشخص شده، که تمامی نمونه از نظر ترکیب شیمیایی، ترکیب یکسانی داشته یعنی دارای کلسیم و کربنات بالایی هستند.



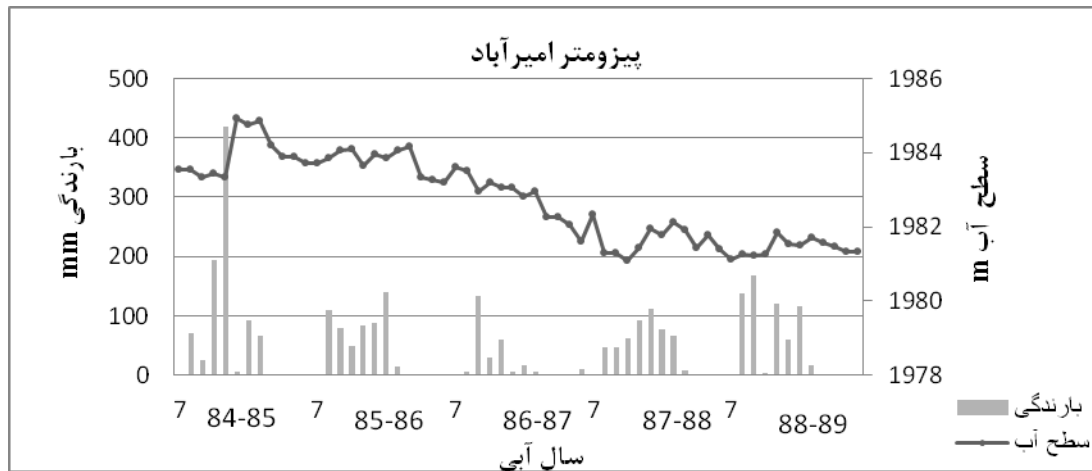
شکل ۵-۲۳- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان شلمزار

بر اساس نمودار استیف ترسیم شده شکل (۵-۲۳) مشخص شده که از نظر تیپ آب، تیپ بی‌کربنات- کلسیک در تمامی نمونه‌های منابع آب زیرزمینی در این آبخوان وجود دارد.

### ۵-۷-۴-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی و بیان نوع سیستم جریان به بررسی پیزومتر امیرآباد که در این بخش حفر شده است پرداخته شده است. بر اساس ترسیم هیدروگراف این پیزومتر برای یک دوره ۵ ساله شکل (۵-۲۴) مشخص شده که پاسخ تغییرات سطح آب به بارندگی با یک تغییر زمانی یک تا دو ماه همراه بوده است، که این تغییرات را در شکل زیر می‌توان مشاهده کرد. این ویژگی نیز نشان دهنده میزان نفوذپذیری کم و وجود

سنگ‌های با نفوذپذیری خیلی پایین در این بخش است، که باعث این پاسخ با تاخیر سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی می‌شود.



شکل ۵-۲۴- هیدروگراف پیزومتر امیرآباد

#### ۵-۷-۵- آبخوان آبرفتی کیار

این آبخوان نیز در محدوده پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. مسیر تونل در این بخش از رسوبات معادل سازند بختیاری که دارای لایه‌های متناوب کنگلومرا، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ می‌باشند عبور خواهد کرد. مرز شمالی و جنوبی آن که به صورت مرز فیزیکی می‌باشند، شامل گسل اصلی زاگراس در شمال و سنگ‌های آهکی مربوط به سازند سروک در جنوب به عنوان مرز فیزیکی عمل می‌کنند است. بخش سطحی آن که به صورت دشت می‌باشند و از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است. سنگ‌کف آن از رسوبات معادل سازند بختیاری تشکیل شده است.

#### ۵-۷-۵-۱- منابع آب زیرزمینی

چشمه‌های موجود در این آبخوان نیز دبی خیلی زیادی نداشته و بیشتر به صورت فصلی در اینجا ظاهر می‌شوند. همانند شلمزار در این بخش نیز که تونل از قسمت شمال غربی تا شرقی آن می‌گذرد. چاه‌ها و قنات‌های مهم آبخوان شامل چاه‌های خیرآباد، کیار، سرتشنیز و گشنیزجان و

قنات دزک هستند. آب بیشتر این منابع اکثراً جهت مصارف کشاورزی و شرب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۵-۷-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

طبق نتایج بدست آمده از این آزمایش در این محدوده کمترین مقدار نفوذپذیری در حدود  $m/s$   $10^{-10}$  و بیشترین مقدار نفوذ نیز  $m/s$   $10^{-8}$  خواهد بود.

### ۵-۷-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

با توجه به این که این آبخوان نیز در نزدیکی گسل اصلی زاگرس قرار داد، احتمالاً تحت تاثیر این گسل یک سری گسل‌های فرعی کوچک نیز در آن به وجود آمده است، که پیدا کردن آنها احتیاج به کارهای ژئوفیزیکی و استفاده از روش‌های الکتریکی جهت بررسی کارهای زیر سطحی دارد.

### ۵-۷-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

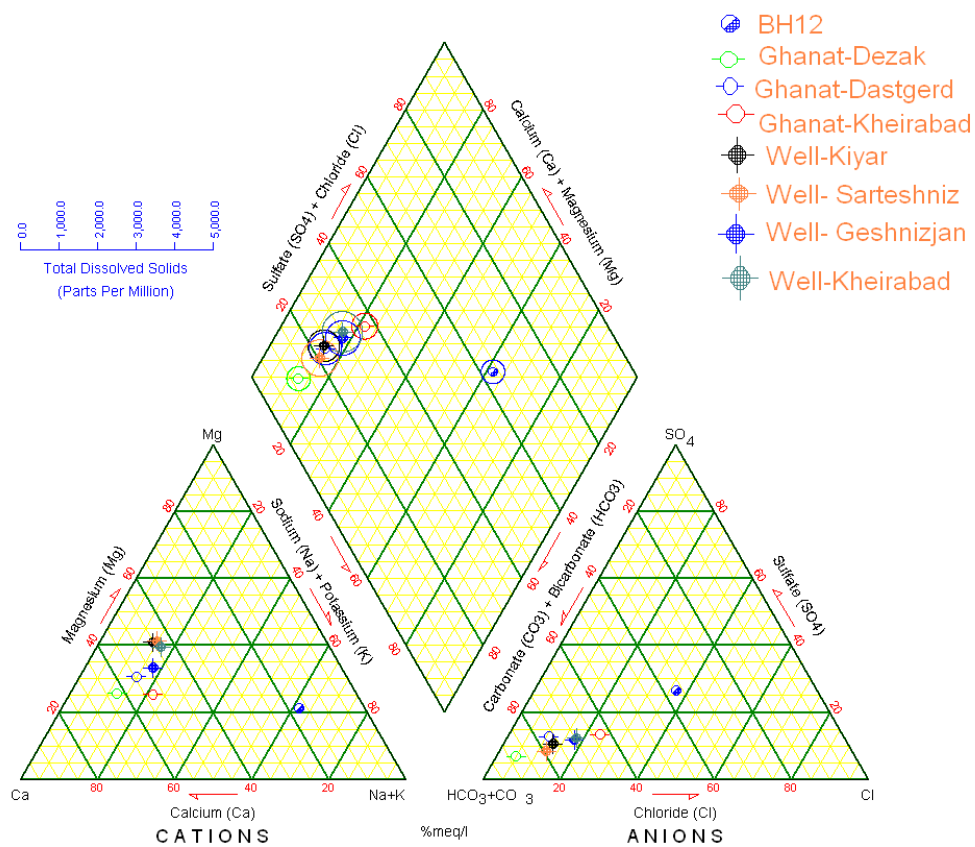
جهت بررسی ترکیب شیمیایی منابع زیرزمینی در مجاورت گمانه BH<sub>12</sub> در آبخوان ابرفتی کیار از منابع آب زیرزمینی آبخوان (اعم از قنات‌ها و چاه‌ها) و همچنین گمانه اکتشافی حفاری شده تا مقطع تونل نمونه برداری شده است، که آنالیز نتایج این نمونه‌ها در جدول (۵-۹) آورده شده است. شکل (۵-۲۵) نمودار پایپر ترسیم شده برای منابع آب زیرزمینی مهم آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشخص شده که نمونه‌های آب زیرزمینی قنات‌ها و چاه‌ها از نظر ترکیب شیمیایی مشابه بوده و شامل کلسیم و کربنات بالایی هستند. ولی نمونه آب گمانه اکتشافی در آبخوان از نظر ترکیب شیمیایی مقدار کمی متفاوت بوده و به طوری که در آن میزان سدیم و کلر بالایی دارد. همه نمونه‌های منابع آب زیرزمینی موجود در آبخوان در گوشه سمت چپ لوزی قرار می‌گیرند، که نشان دهنده مطلوب بودن آب این منابع است. در حالی که نمونه آب گمانه

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

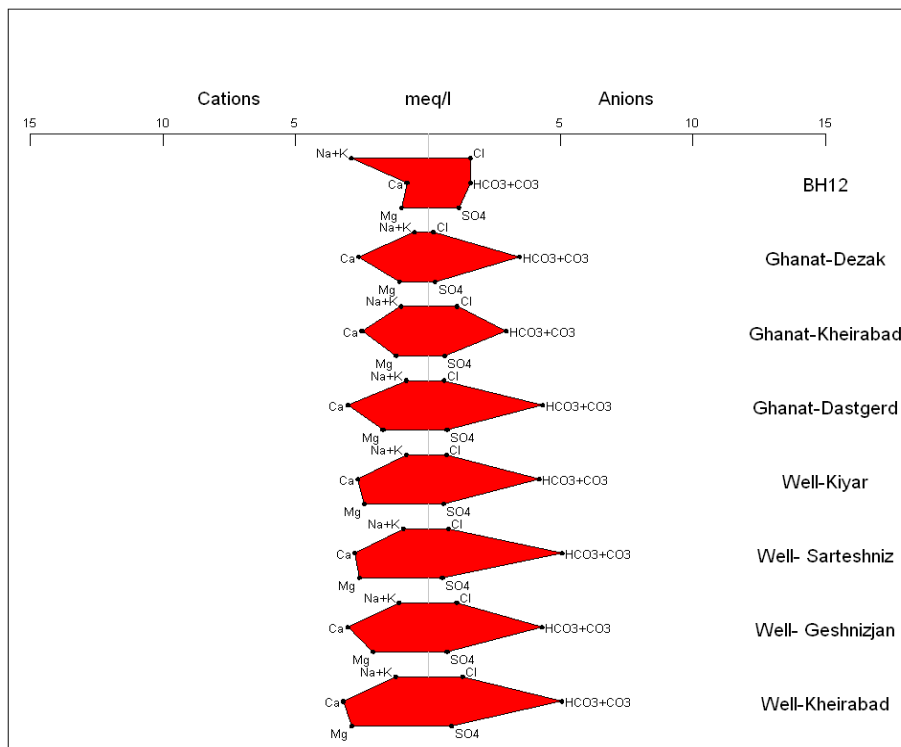
تقریباً در گوشه سمت راست لوزی قرار می‌گیرند. افزایش میزان سدیم و کلر در نمونه گمانه به علت ماندگاری زیادتر آب با توجه به نفوذپذیری پایین در این قسمت است، که باعث این تغییر ترکیب شده است.

جدول ۵-۹- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۰	۵۶/۸	۵۵/۹	۹۸	۱۶	۱۲/۲	۶۴/۴	۳/۹	۷/۴	۶۰۰	۳۵۵۳۱۳۳	۴۸۱۱۱۱۶	BH12
۰	۷/۱	۱۲/۹	۲۱۱	۵۲/۴	۱۳/۲	۱۱/۵	۰/۷۸	۷/۸	۳۷۴	۳۵۴۸۴۰۷	۴۹۸۰۰۰۳	قنات دزک
۰	۳۹/۱	۳۰/۱	۱۸۰	۵۰	۱۴/۶	۲۳	۰/۷۸	۷/۷	۴۵۷	۳۵۵۶۸۶۴	۴۹۵۲۹۰	قنات خیرآباد
۰	۲۱/۳	۳۴/۴	۲۶۴	۶۰/۶	۲۰/۷	۱۸/۴	۰/۷۸	۷/۷	۶۱۸	۳۵۵۷۷۱۷	۴۹۷۷۵۵	قنات دستگرد
۰	۲۴/۸	۲۷/۹	۲۵۶	۵۳	۲۹/۲	۱۸/۴	۰/۷۸	۷/۹	۵۸۰	۳۵۵۳۲۵۱	۴۸۹۸۴۱	چاه کیار
۰	۲۷/۳	۲۵/۸	۳۰۹	۵۵/۴	۳۱/۶	۲۰/۹	۰/۷۸	۷/۵	۶۳۰	۳۵۵۳۰۴۸	۴۹۱۱۲۰	چاه سرتشنیز
۰	۳۸/۳	۳۴/۴	۲۶۲	۶۰/۸	۲۵/۲	۲۴/۴	۰/۷۸	۷/۶	۶۳۹	۳۵۵۱۰۶۵	۴۹۲۸۱۳	چاه گشنیز
۰	۴۶/۱	۴۳	۳۰۸	۶۴	۳۵/۲	۲۷/۶	۰/۷۸	۷/۷	۷۴۹	۳۵۵۳۶۱۸	۴۹۲۸۷۹	چاه خیرآباد



شکل ۵-۲۵- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان کیار

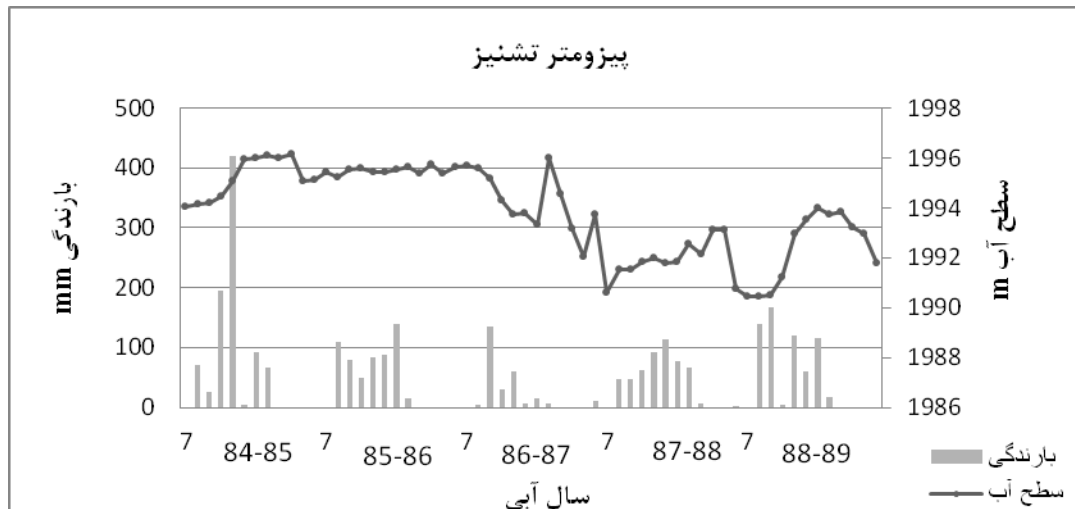


شکل ۵-۲۶- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان کیار

همان طور که در نمودار استیف، شکل (۵-۲۶) نشان داده می‌شود، در اینجا دو نوع تیپ وجود داشته به این صورت که منابع آب زیرزمینی آبخوان تیپ آب بی کربنات-کلسیک داشته، در حالی که تیپ آب موجود در گمانه اکتشافی با توجه به مقدار زیاد سدیم در آن از نوع کلرو-سدیک بوده است.

#### ۵-۵-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان نیز به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی به بررسی پیزومتر حفر شده در این بخش پرداخته شده است. بر اساس هیدروگراف این پیزومتر برای که برای یک دوره ۵ ساله شکل (۵-۲۷) ترسیم شده، تعیین شده که پاسخ تغییرات سطح آب زیرزمینی به بارندگی کمی با تاخیر بوده و نوسانات سطح آب زیرزمینی خیلی شارپ وجود نداشته، که این دلیلی بر وجود یک بخش با نفوذپذیری کم در این قسمت از مسیر است.



شکل ۵-۲۷- هیدروگراف بیزومتر تشنیز

### ۵-۷-۶- آبخوان کارستی کوه جهان بین

پهنه سنج-سیرجان از ابتدای این قسمت آغاز می‌شود. مسیر تونل در این قسمت از ارتفاعات کوه جهان بین و از لایه‌های متناوب آهک، آهک مارنی و شیل عبور خواهد کرد. مرز فیزیکی این قطعه شامل گسل اصلی زاگرس و سنگ‌های آذرین (سرپانتینیت) در امتداد آن در مرز جنوبی این قطعه و رودخانه جهان بین به عنوان مرز هیدرولیکی در شمال شرق و شرق و ارتفاعات کوه شیخ در غرب این آبخوان واقع شده است.

### ۵-۷-۶-۱- منابع آب زیرزمینی

طبق بررسی‌های انجام شده و بر اساس آمار منابع زیرزمینی این بخش از منطقه مشخص شده که تعداد زیادی چشمه با دبی‌های متفاوت در نقاط مختلف کوه جهان بین وجود داشته، از جمله این چشمه‌ها می‌توان به چشمه سراب جونقان با دبی حدود میانگین ۱ متر مکعب بر ثانیه و چشمه‌های قلعه‌تک، چهل چشمه و زنه به طور میانگین به ترتیب با ۸، ۵ و ۵۰ لیتر بر ثانیه اشاره کرد. آنالیزهای مربوط به هیدروژئوشیمی این منابع در قسمت مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. چاه عمیق نوآباد نیز در این آبخوان حفاری شده است.



### ۵-۷-۶-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

با توجه به وجود سنگ‌های آهکی در آبخوان، نتایج بدست آمده از آزمایش لوژان بین  $10^{-4}$  m/s تا  $10^{-2}$  بوده، که این بیان کننده نفوذپذیری زیاد سنگ میزبان مقطع تونل در طول مسیر است.

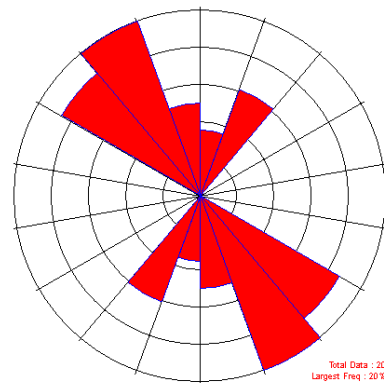
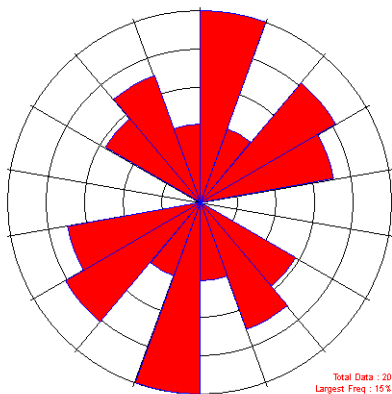
### ۵-۷-۶-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

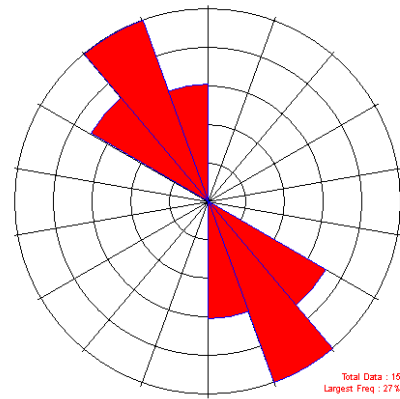
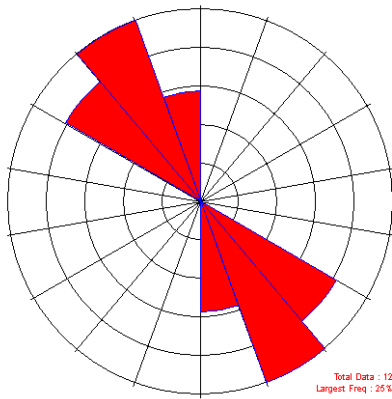
#### الف- تحلیل لایه‌بندی و درزه‌ها

واحدهای سنگی تشکیل دهنده این آبخوان بیشتر شامل سنگ‌های آهکی کرتاسه که بر اساس کارهای چین‌شناسی انجام شده به رسوبات معادل سازند سروک نسبت داده شده و واحدهای کنگلومرایی و ماسه‌سنگی معادل سازندهای بختیاری و کشکان هستند. در ایستگاه‌های برداشت شده در اطراف و خود کوه جهان‌بین شیب و امتداد لایه‌ها و درزه‌ها و گسل اصلی زاگرس اندازه‌گیری شده است. با توجه به وجود گسل اصلی زاگرس و تعدادی گسل فرعی در این کوه، لایه‌ها و درزه‌های موجود جابه‌جا شده، به گونه‌ای که در این منطقه تغییرات زیادی در این لایه‌ها و درزه‌های دیده شده است. شیب لایه‌های برداشت شده از دامنه غربی کوه از حدود ۲۸ تا ۵۱ درجه که بیشتر به سمت جنوب غربی (SW) یعنی به سمت ورودی تونل متغیر هستند. درزه‌های برداشت شده از این قسمت نیز که بیشتر به صورت درزه‌های سیستمتائیک بوده شیب آنها بین ۳۰ تا ۵۰ درجه متغیر است. در یال دیگر کوه شیب لایه‌ها بیشتر به سمت شمال شرقی بوده که شیبی بین ۴۸ تا ۸۰ درجه دارند. درزه‌های برداشت شده از این قسمت نیز دارای اندازه‌های مختلفی بوده و در جهت‌های شمال شرقی و جنوب غربی در اندازه بین ۴۰ تا ۶۵ درجه شیب دارند. همان طور که در شکل (۵-۲۸) مشاهده می‌شود نیز امتداد اکثر درزه‌های برداشت شده در ایستگاه‌های مختلف نیز در جهت گسل اصلی زاگرس هستند، که این درزه‌ها و شکستگی‌ها در بحث انتقال آب می‌توانند تاثیر گذار باشند.

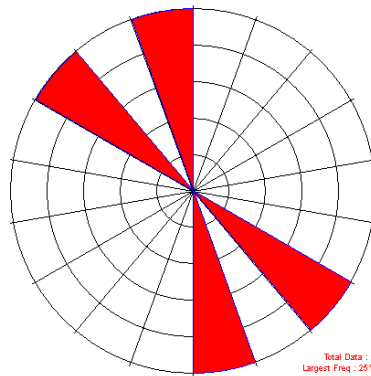
ب- تحلیل گسل‌ها

مهم‌ترین گسل موجود گسل اصلی زاگرس می‌باشد، که با راستای شمال غربی-جنوب شرقی در منطقه قرار دارد. گسل زاگرس در واقع مرز بین پهنه سنندج-سیرجان با زاگرس مرتفع بوده است. سازوکار این گسل به صورت گسل معکوس (تراستی) است. این گسل با امتداد ۱۳۰ درجه و شیب متغیر بین ۳۰ تا ۳۵ درجه که جهت شیب آن نیز با سمت شمال شرق بوده در منطقه عمل کرده است. در شکل (۵-۲۹) نمودار گل‌سرخ‌ی ترسیم شده برای این گسل و گسل اردل آورده شده است. مسیر تونل بهشت‌آباد دقیقاً عمود بر این گسل خواهد بود. در اطراف این گسل نیز یک سری گسل‌های فرعی دیده می‌شود، که تا حدودی باعث تغییر جهت لایه‌ها و شکستگی‌ها در این بخش از منطقه شده است. به دلیل وجود این گسل اصلی و یک سری گسل‌های فرعی دیگر یک پهنه گسلی در این منطقه ایجاد شده، که وجود تعداد زیاد شکستگی نیز این پدیده را تایید می‌کند (شکل ۵-۳۰). با توجه به موارد فوق و نفوذپذیری بالا در این منطقه این احتمال وجود دارد که این گسل و پهنه‌های برشی ایجاد شده در اطراف آن قابلیت آبگذر بودن را در این آبخوان داشته باشند، و باعث هدایت حجم بسیاری از آب زیرزمینی این آبخوان به سمت تونل شوند.





شکل ۵-۲۸- نمودار گل سرخی ایستگاه‌های مختلف برداشت شده در تاقدیس کوه جهان‌بین



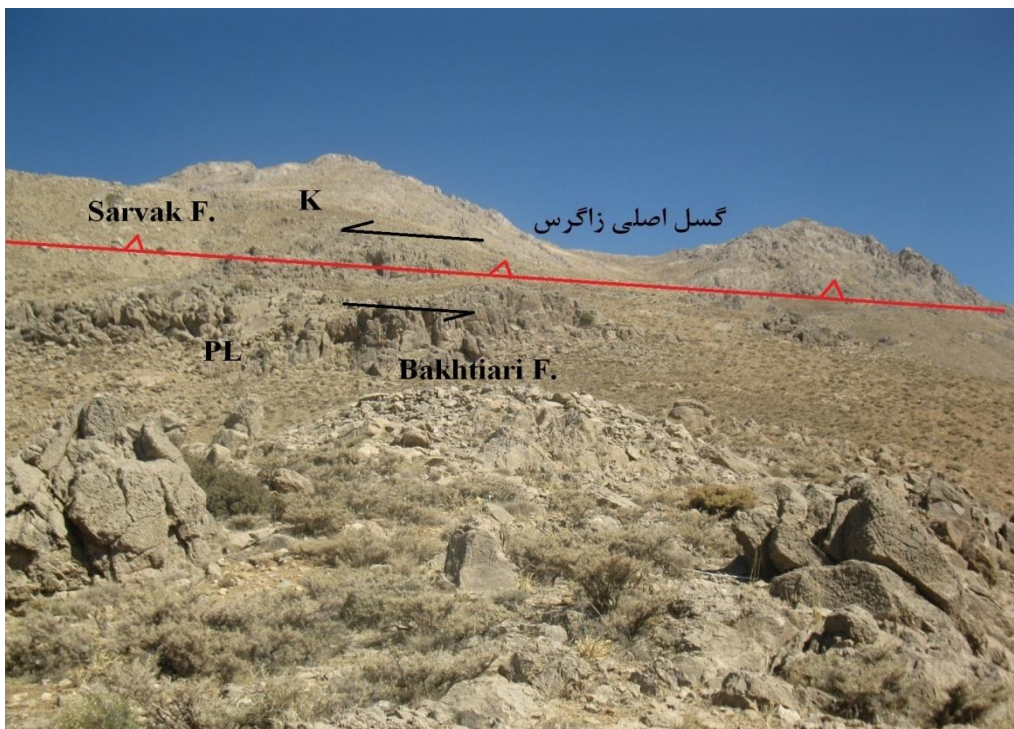
شکل ۵-۲۹- نمودار گل سرخی تهیه شده از گسل اردل و گسل زاگرس در منطقه مورد مطالعه

### ج- تحلیل چین خوردگی‌ها (تاقدیس جهان‌بین)

تاقدیس جهان‌بین نیز مانند دو تاقدیس موجود در منطقه مورد مطالعه دارای روندی شمال غرب- جنوب شرقی دارد. چندین گسل به صورت اصلی و فرعی تاقدیس را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اصلی‌ترین گسل موجود در این تاقدیس گسل تراستی اصلی زاگرس می‌باشد. سازند سروک در اکثر قسمت‌های تاقدیس در سطح زمین رخنون دارد. در سطح سنگ‌های آهکی این تاقدیس خطواره‌ها و شکستگی‌های زیادی وجود دارد. وجود این گسل‌ها باعث ایجاد پهنه‌های خرد شده زیادی در تاقدیس شده، که با توجه به نفوذپذیری بالا در این قسمت می‌توان گفت که در این تاقدیس همین

شکستگی‌ها و خطواره‌ها به عنوان کانال‌های اصلی انتقال آب از بخش‌های سطحی منطقه به بخش‌های پایینی یعنی در محل عبور تونل محسوب می‌شوند.

۵-۷-۶-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان جهت بررسی ترکیب شیمیایی منابع زیرزمینی در مجاورت گمانه BH<sub>11</sub> در آبخوان کارستی جهان‌بین از منابع زیرزمینی آبخوان (اعم از چشمه‌ها و چاه‌ها) و همچنین گمانه اکتشافی حفاری شده تا مقطع تونل نمونه برداری شده است. در جدول (۵-۱۰) نتایج حاصل از این نمونه برداری‌ها در آبخوان نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۰- نمایی از گسل اصلی زاگرس در کوه جهان‌بین دید به سمت شمال شرقی

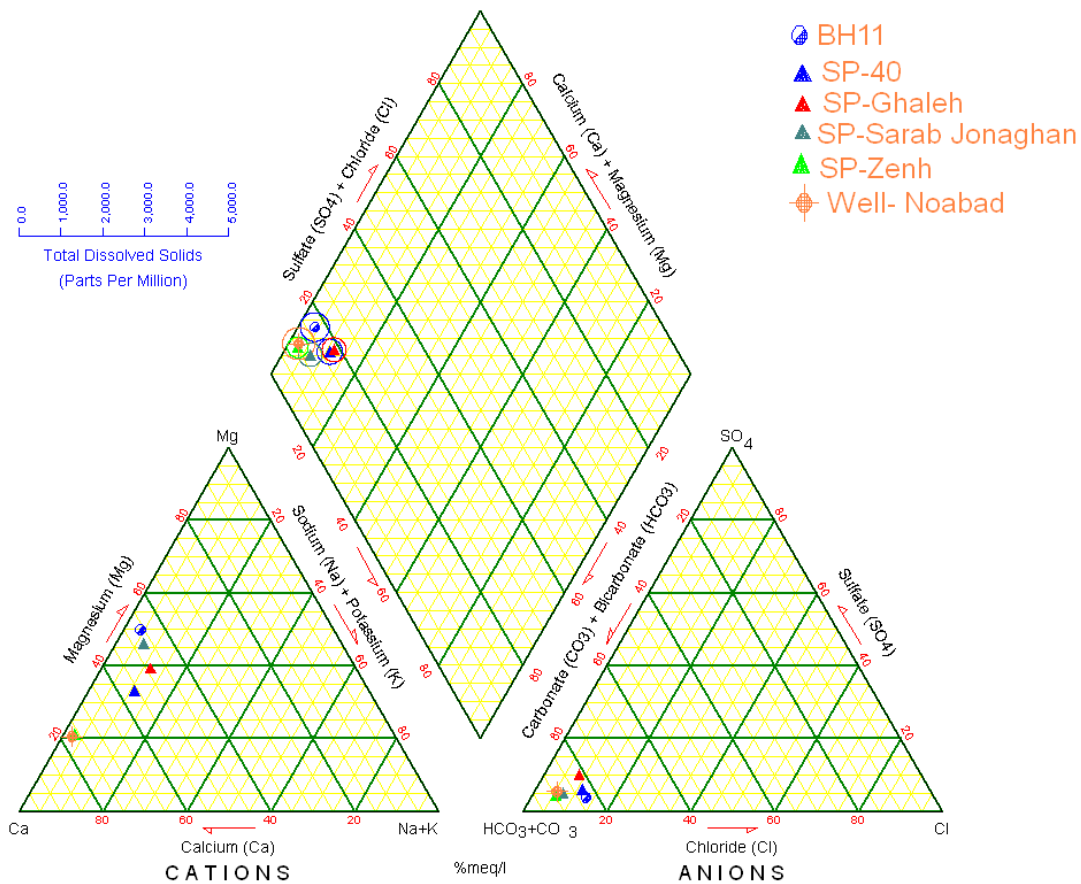
شکل (۵-۳۱) نمودار پایپر ترسیم شده برای منابع زیرزمینی مهم آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشخص شده که ترکیب شیمیایی در کل نمونه‌های موجود در

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

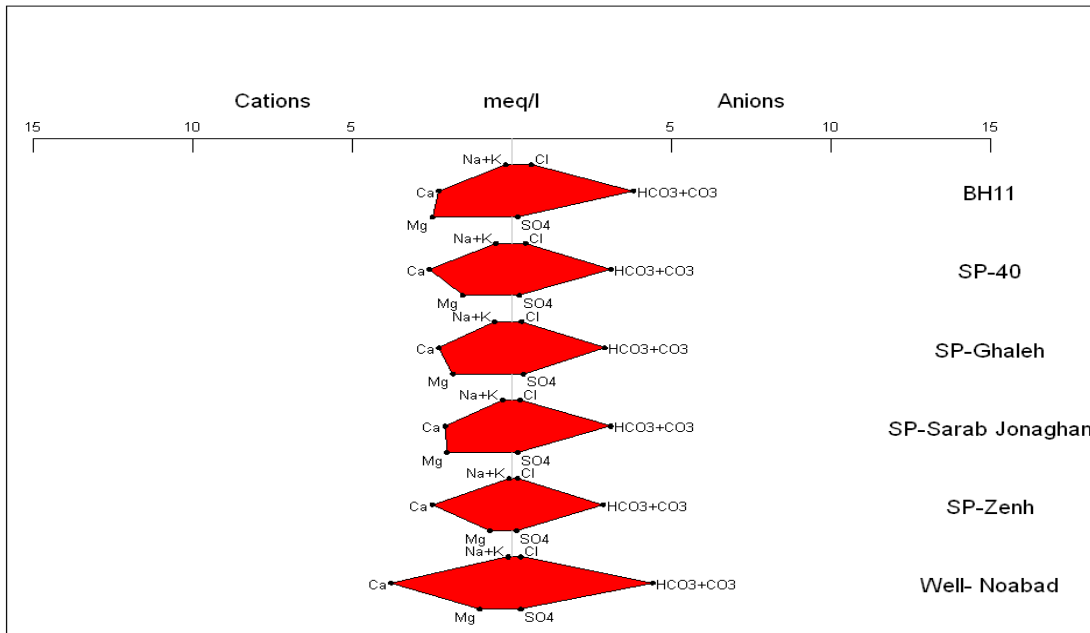
آبخوان و گمانه حفر شده یکی بوده، در همه آنها مقدار کلسیم و کربنات بالا بوده، کل نمونه‌ها در گوشه سمت چپ لوزی قرار می‌گیرند.

جدول ۵-۱۰- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۰	۲۱/۳	۸/۶	۲۲۲	۴۶	۳۰/۴	۲/۳	۳/۹	۸/۹	۳۹۰	۳۵۵۴۶۸۹	۴۸۴۸۳۱	BH <sub>11</sub>
۰	۱۴/۹	۱۰/۸	۱۸۹	۵۲	۱۸/۹	۴/۶	۱۲/۱	۷/۴	۳۲۰	۳۵۹۱۸۸۰	۴۵۰۶۱۱	چشمه ۴۰
۰	۱۰/۷	۱۷/۲	۱۷۷	۴۶	۲۲/۵	۱۲/۷	۰	۷/۸	۵۶۰	۳۵۵۵۳۰۶	۴۷۸۶۸۰	چشمه قعله تک
۰	۸/۹	۸/۶	۱۸۹	۴۲	۲۴/۹	۶/۹	۰	۷/۸	۲۴۱	۳۵۵۹۲۵۰	۴۷۶۵۰۰	چشمه سراب
۰	۶/۴	۶/۸۸	۱۷۴	۵۰	۸/۵	۱/۹	۰/۳۹	۷/۷	۳۳۵	۳۵۶۳۳۶۲	۴۷۸۰۰۰	چشمه زنه
۰	۹/۶	۱۲/۹	۲۶۸	۷۶	۱۲/۳	۲/۳	۰/۷۸	۷/۶	۲۸۰	۳۵۶۱۶۶۶	۴۸۲۰۱۵	چاه نوآباد



شکل ۵-۳۱- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان کوه جهان‌بین



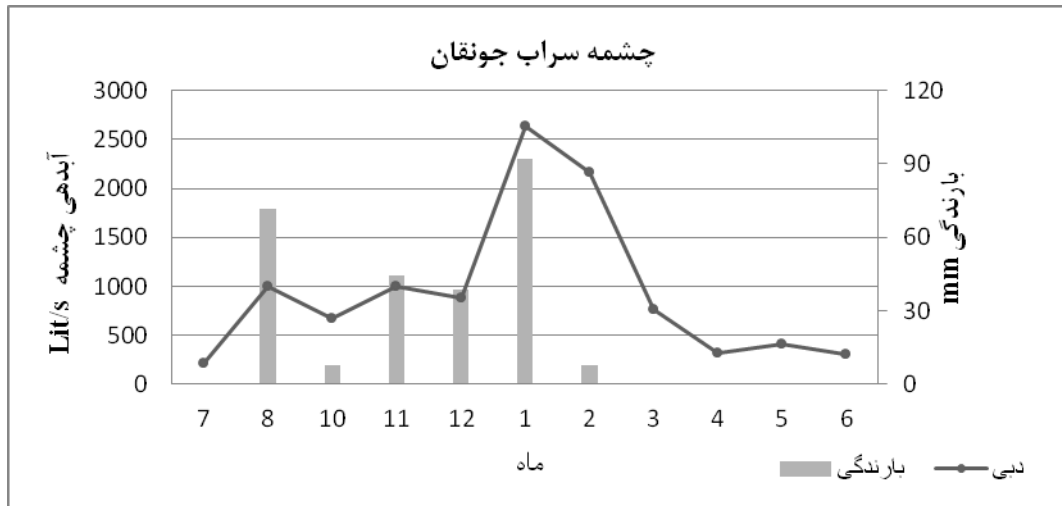
شکل ۵-۳۲- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان کوه جهان‌بین

بر اساس نتایج نمودار استیف شکل (۵-۳۲) می‌توان گفت که تیپ آب تقریباً یکی بوده یعنی بی‌کربنات-کلسیک بوده ولی باید گفت که در نمونه گمانه مقدار منیزیم کمی بالا بوده است.

#### ۵-۶-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیژومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان نیز با توجه به وجود سنگ‌های آهکی در آن و احتمال کارستی شدن آنها، به منظور بررسی و تعیین نوع سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان به بررسی ضریب تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی و pH در هر یک از چشمه‌های موجود و همچنین به بررسی تغییرات آبدهی چشمه‌های نیز پرداخته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص که ضریب تغییرات هر دو پارامتر خیلی زیاد بوده است. همچنین با توجه به بررسی تغییرات دبی چشمه سراب جونقان مشخص شده، که پاسخ تغییرات دبی چشمه‌ها به بارندگی خیلی سریع بوده به این صورت که با افزایش میزان بارندگی میزان دبی نیز زیاد شده که این نشان دهنده نوع سیستم مجرای و همچنین

وجود درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان در این بخش است. شکل (۵-۳۳) نمودار تغییرات دبی چشمه سراب را نسبت به بارندگی نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۳- نمودار تغییرات دبی چشمه سراب در سال آبی ۸۸-۸۹

### ۵-۷-۷- آبخوان آبرفتی تنگ خراجی

این آبخوان در پهنه سنندج-سیرجان قرار دارد. بر اساس بررسی گمانه اکتشافی و همچنین بررسی‌های چینه‌شناسی انجام شده مشخص شده که تونل در مسیر خود از میان رسوبات معادل سازند سروک، که شامل سنگ‌های آهکی می‌باشد عبور خواهد کرد. مرزهای فیزیکی و هیدرولیکی این قسمت به ترتیب شامل سنگ‌های آهکی سروک در شمال و شرق، و رودخانه جهان‌بین با راستای شمالی- جنوبی است که از این آبخوان عبور می‌کند.

### ۵-۷-۷-۱- منابع آب زیرزمینی

مهمترین منابع آب زیرزمینی چشمه وقت و ساعت با دبی ۵ لیتر بر ثانیه و همچنین چاه‌های شمس‌آباد و خراجی و قنات هفشجان می‌باشند. هر یک از این چاه‌ها و قنات‌ها از کوه‌های آهکی اطراف تغذیه می‌شوند.

### ۵-۷-۲- بررسی نتایج آزمایش لوژان

طبق نتایج بدست آمده از این آزمایش در این محدوده کمترین مقدار نفوذپذیری در حدود  $10^{-8}$  m/s و بیشترین مقدار نفوذپذیری نیز  $10^{-3}$  m/s خواهد بود. سنگ میزبان مقطع تونل در این بخش احتمالاً از سنگ‌های معادل سروک می‌باشند که نفوذپذیری تقریباً زیاد این بخش را اثبات می‌کند.

### ۵-۷-۳- تحلیل داده‌های ساختاری

با توجه به نزدیکی آبخوان به گسل اصلی زاگرس این احتمال می‌رود که تحت تاثیر گسل قرار گرفته و یک پهنه خرد شده در آن به وجود آمده است.

### ۵-۷-۴- آنالیز خصوصیات هیدروژئوشیمی گمانه‌ها و منابع آب زیرزمینی در آبخوان

جهت بررسی ترکیب شیمیایی منابع زیرزمینی در مجاورت گمانه BH10 در آبخوان ابرفتی خراجی از منابع زیرزمینی آبخوان (اعم از چشمه‌ها، قنات‌ها و چاه‌ها) و همچنین گمانه اکتشافی حفاری شده تا مقطع تونل نمونه‌برداری شده است، که در جدول (۵-۱۱) مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها و دیگر پارامترهای آن نشان داده شده است.

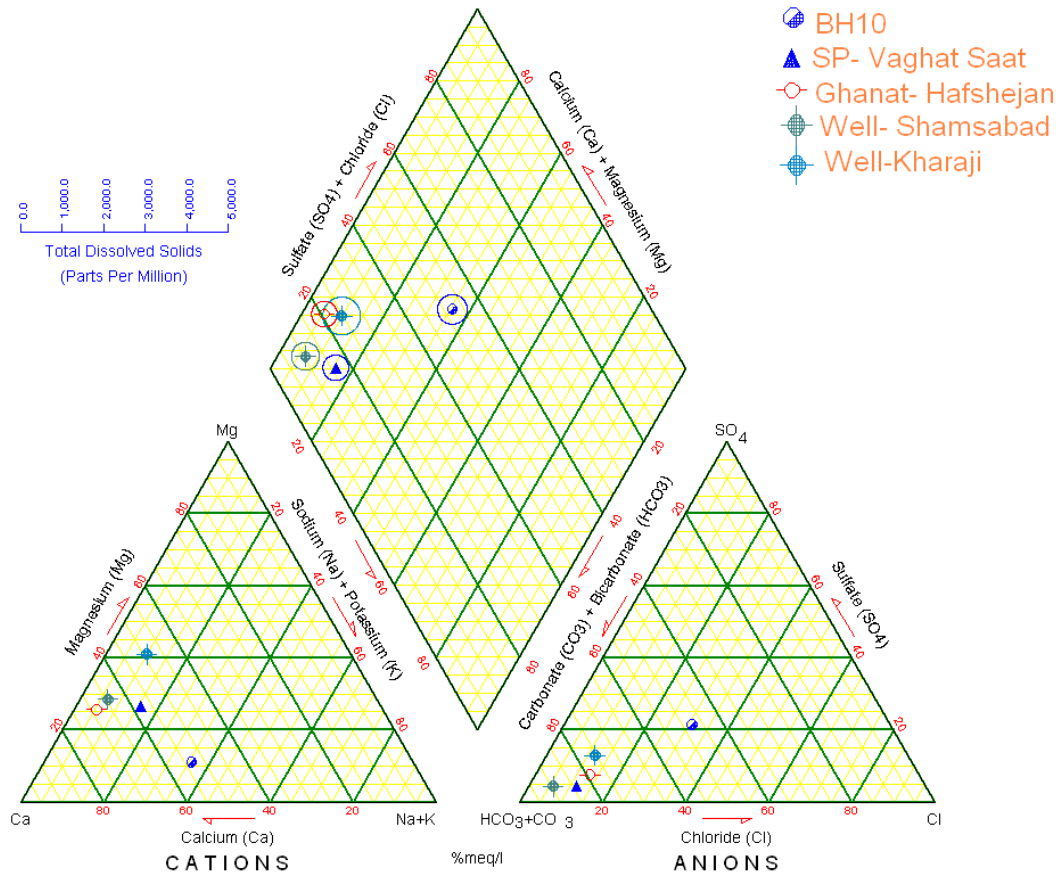
جدول ۵-۱۱- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان (شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و آب منطقه‌ای استان)

آنیون‌های اصلی ppm				کاتیون‌های اصلی ppm				pH	EC	UTM		نام
CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K			Y	X	
۳۰	۶۴	۶۰/۲	۱۱۰	۴۸	۶/۱	۳۴/۵	۳/۹	۷/۴	۸۸۰	۳۵۵۸۱۴۹	۴۸۵۸۴۱	BH10
۰	۱۶	۸/۶	۲۰۱	۴۸	۱۳/۴	۵/۷۵	۱۵/۶	۷/۵	۳۱۵	۳۵۵۶۵۷۵	۴۸۵۱۲۶	وقت‌وساعت
۰	۱۹/۵	۱۵/۱	۲۰۱	۵۵/۴	۱۲/۵	۴/۶	۰/۷۸	۷/۷	۳۴۰	۳۵۶۵۵۶۱	۴۷۹۳۶۰	هفشجان
۰	۹/۳	۹/۱	۲۳۷	۵۷/۲	۱۵/۳	۶/۴۴	۰/۷۸	۷/۵	۴۲۵	۳۵۵۷۲۲۰	۴۸۵۱۸۵	شمس‌آباد
۰	۲۵/۶	۳۸/۳	۲۸۳	۶۱/۶	۳۱/۳	۱۳/۸	۰/۷۸	۷/۹	۵۸۵	۳۵۵۲۰۳۲	۴۸۴۹۸۵	چاه خراجی



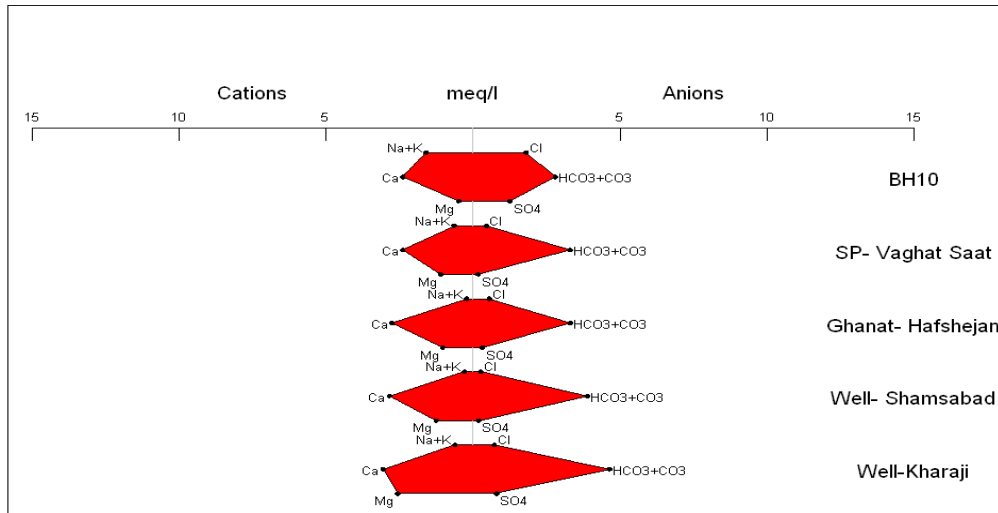
## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

شکل (۵-۳۴) نمودار پایپر ترسیم شده برای منابع آب زیرزمینی مهم آبخوان و گمانه حفر شده در آن را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار می‌توان بیان کرد که تمامی نمونه‌ها، ترکیب شیمیایی یکسانی داشته به طوری که در تمامی آنها میزان کلسیم و کربنات بالا است.



شکل ۵-۳۴- نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان خراچی

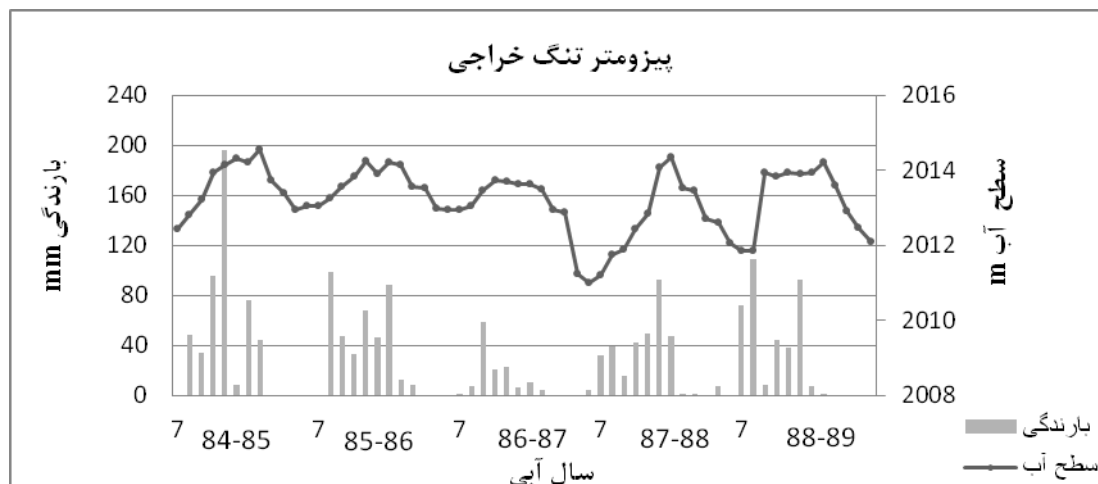
نتایج بدست آمده از نمودار استیف نیز همین شرایط را نشان می‌دهد (شکل ۵-۳۵). به این صورت که در نمونه‌ها از نظر ترکیب شیمیایی میزان کلسیم و کربنات بالایی داشته به طوری که تیپ آب بدست آمده آن از نوع بی‌کربنات-کلسیک است.



شکل ۵-۳۵- نمودار استیف نمونه‌های آبخوان خراجی

### ۵-۷-۷-۵- ترسیم هیدروگراف پیزومترها و بررسی ضریب تغییرات منابع آب زیرزمینی

در این آبخوان به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی، اقدام به ترسیم هیدروگراف پیزومتر تنگ خراجی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از این هیدروگراف که در شکل (۵-۳۶) مشخص شده، پاسخ نوسانات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارندگی خیلی سریع بوده که این نشان دهنده وجود درزه و شکستگی‌های فراوان در این آبخوان سطحی است. لازم به ذکر است که این نوع سنگ‌شناسی تا بخش‌های زیرین یعنی مقطع عبور تونل نیز ادامه دارند.



شکل ۵-۳۶- هیدروگراف پیزومتر تنگ خراجی

## ۵-۸- مطالعه و تحلیل ساختاری شکستگی‌ها در کل منطقه مورد مطالعه

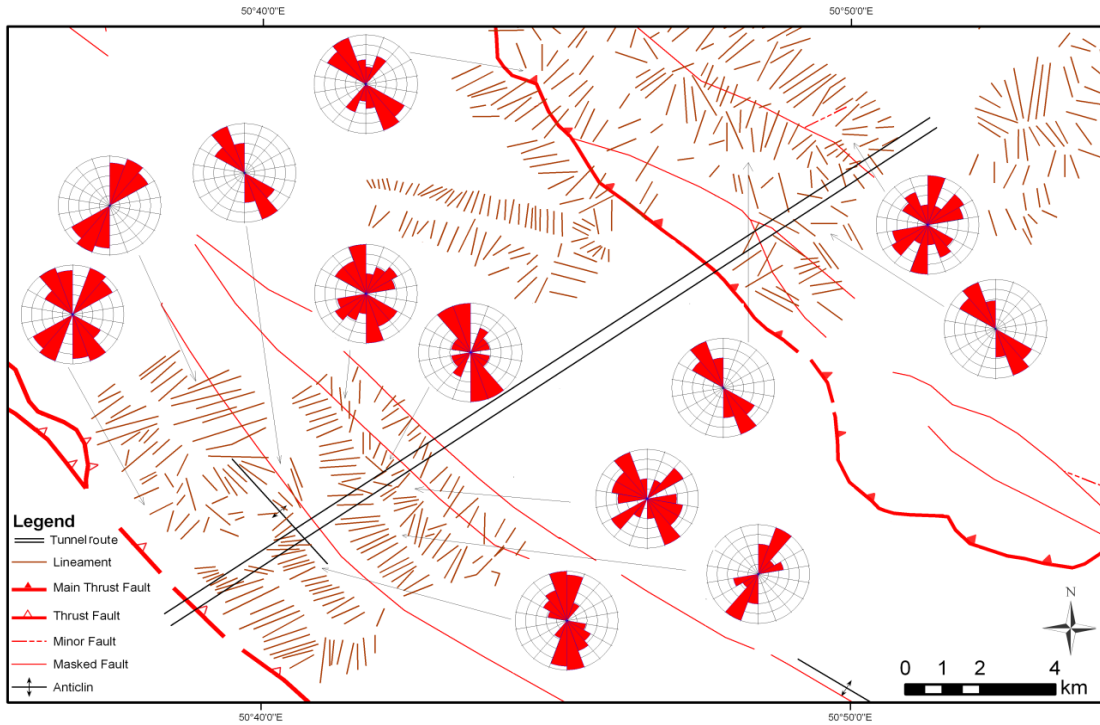
در این بخش جهت مطالعه شکستگی‌ها و خطواره‌ها از عکس‌های ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه زمین‌شناسی و با توجه به بازدیدهای صحرایی انجام شده در محل، استفاده شده است. به این صورت که در مرحله اول داده‌های خطی با کمک این تصاویر و با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه شناسایی شده و سپس با بازدیدهای صحرایی انجام شده در منطقه تایید شده است. این ساختارهای خطی به صورت یک لایه در نرم افزار Arc GIS 9.3 پیاده شده و با استفاده از آن نقشه ساختاری نهایی منطقه ترسیم شده است. لازم به ذکر است، که ساختارهای خطی منظور گسل‌ها، خطواره‌ها و همچنین محور تاقدیس‌ها می‌باشند. همان طور که در این نقشه نیز مشاهده می‌شود، منطقه مورد مطالعه یک منطقه مهم از نظر ساختارهای زمین‌شناسی بوده به این صورت که از آن دو گسل تراستی اصلی و تعداد زیادی گسل‌های دیگر عبور می‌کند. منطقه نیز به شدت تحت تاثیر این گسل‌ها واقع شده به این صورت که مقدار زیادی شکستگی و خردشدگی در اثر عملکرد این گسل‌ها در آن ایجاد شده است. شکستگی‌ها باعث ایجاد پهنه‌های نفوذپذیر در سازندهای سخت از جمله سازندهای کربناته می‌گردد. در نواحی آهکی گسل‌ها، درزه‌ها و سطح لایه‌بندی محل مناسبی هستند که پتانسیل تبدیل شده به مسیرهای برای ایجاد و گسترش مجاری انحلالی را دارا می‌باشند. به منظور بررسی وضعیت لایه‌بندی سنگ‌ها و نحوه گسترش درزه‌ها و شکستگی‌ها و بیان وضعیت ساختاری منطقه به ارزیابی برداشتهای صحرایی و تجزیه و تحلیل آماری این داده‌ها به صورت نمودار گل‌سرخ‌ی پرداخته شده است. برای این منظور از تمامی ساختارهای، خطواره‌های منطقه مورد مطالعه، نمودار گل‌سرخ‌ی تهیه شده است، که به صورت شماتیک نیز بر روی نقشه ساختاری در شکل (۵-۳۷) نشان داده شده است. بیشترین فراوانی خطواره‌ها در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است ولی با توجه به خردشدگی و وجود شکستگی‌های فراوان در این منطقه خطواره‌های زیادی نیز در جهات مختلف از جمله شمال شرقی- جنوب غربی و شرقی- غربی برداشت شده که امتداد هر یک از آنها در نمودارهای گل‌سرخ‌ی کشیده شده نشان داده شده است. با توجه به این که

راستای اصلی تاقدیس‌ها شمال غرب- جنوب شرق (NW-SE) می‌باشند، اکثر شکستگی‌های منطقه نیز در همین راستا واقع شده‌اند. شکل (۵-۳۸) خطواره‌های در منطقه مشخص شده، که امتداد غالب آنها در قسمت‌های مختلف به عنوان مسیرهای جریان آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. با بررسی سیستم درزه و شکاف‌های منطقه با نگرشی بر اهمیت آنها در توسعه کارست و روند آب‌های زیرزمینی داشته می‌توان گفت، که چون روند اصلی شکستگی‌ها اصلی در جهت صفحه محوری تاقدیس‌ها است، این شکستگی‌ها نقش مهمی را در انتقال آب بر عهده دارند. از آنجایی که چشمه‌های کارستی اکثراً در امتداد محور تاقدیس‌ها و در تقاطع گسل‌ها واقع شده‌اند، این مسئله اهمیت روند شکستگی‌ها را در جهت روند تاقدیس نشان می‌دهند. علاوه بر موارد فوق با توجه به این که این شکستگی‌ها در اطراف گسل‌های تراستی موجود در منطقه ایجاد شده‌اند، اکثراً نیز سازندهای کربناته را قطع کرده، که در تغذیه منابع کارستیک در سازندهای کربناته نقش ویژه‌ای را اعمال می‌کنند. بارزترین آنها را می‌تواند در تاقدیس‌های جهان‌بین، سوخته و هزارگری مشاهده نمود، که این شکستگی‌ها دارای گسترش و فراوانی بالایی هستند که باعث نفوذ و انتقال آب از بخش‌های سطحی به بخش‌های زیرین می‌شوند. حفرات انحلالی زیادی نیز در مناطق آهکی محدوده مورد مطالعه ایجاد شده است.

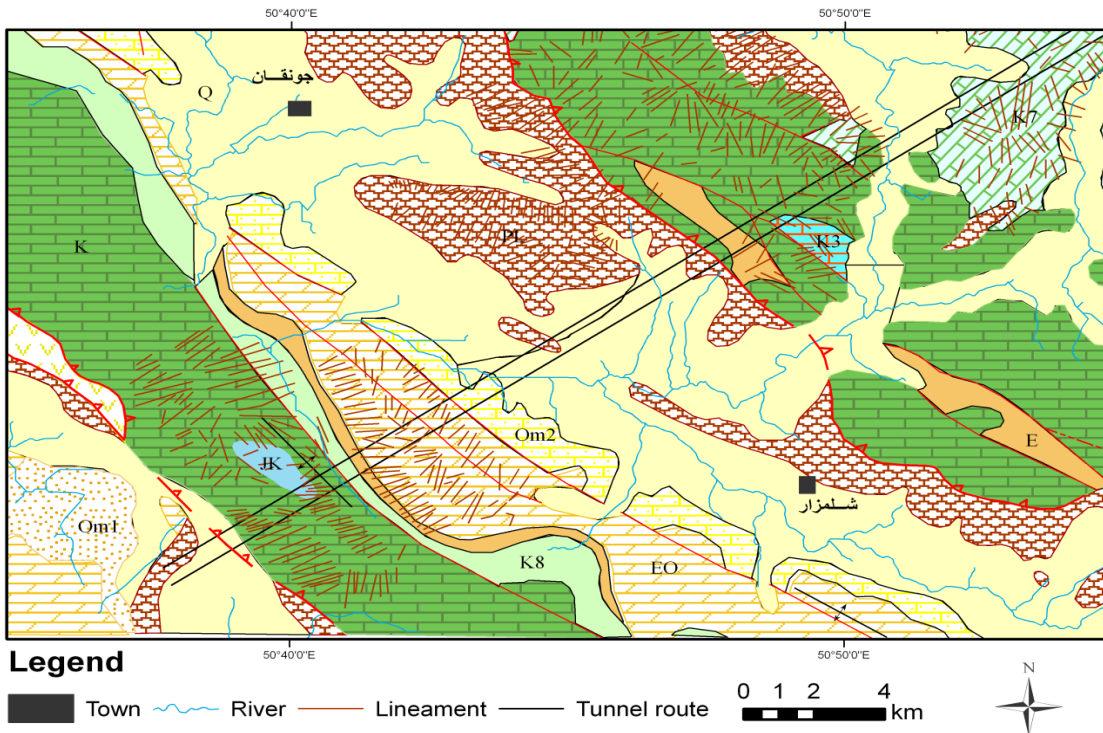
با توجه به کلیه موارد فوق باید گفت که از نظر توسعه کارست منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل فراوانی بوده است. لازم به ذکر است که نواحی گسلی در داخل سنگ‌های کربناته باعث سهولت حرکت آب و بالا رفتن نرخ انحلال شده و کانال‌های انحلالی نیز بیشتر در امتداد این نقاط ضعیف تشکیل می‌شوند. این مناطق گسلی یکی از مناطق مهم و تاثیر گذار از نظر انتقال آب زیرزمینی از بخش‌های سطحی به بخش‌های عمیق‌تر است. شکل (۵-۳۸) نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه همراه با لایه‌های اطلاعاتی سنگ‌شناسی محدوده ترسیم شده است. بر اساس این نقشه مشخص شده که در مناطق کارستی در کوه‌های سوخته، هزارگری و جهان‌بین با توجه به توسعه کارست و وجود درزه‌ها و شکستگی‌های زیاد در این مناطق احتمال برقراری ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

زیرین و سطحی زیاد می‌باشد. در شکل (۵-۳۹) نیز موقعیت ساختارهای اصلی منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده از منطقه نشان داده شده است.

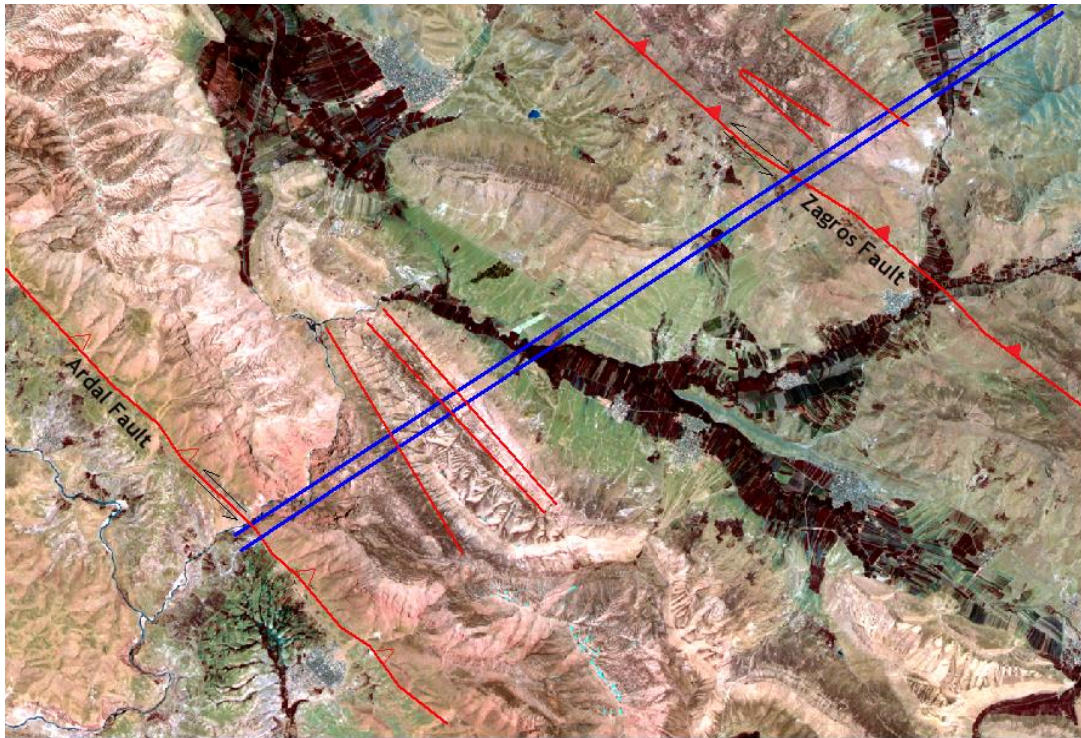


شکل ۵-۳۷- نمایی از نمودارهای گل‌سرخ تهیه شده در ایستگاه‌های تعیین شده در منطقه



شکل ۵-۳۸- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه همراه با لایه‌های اطلاعاتی سنگ‌شناسی محدوده





شکل ۵-۳۹- موقعیت ساختارهای اصلی منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای IRS

## ۵-۹- بیلان آب زیرزمینی

به منظور ارزیابی کمی پتانسیل آبخوان و بررسی و تعیین پارامترهای مؤثر در تغذیه و تخلیه آن مبادرت به تنظیم جدول بیلان شده است. در محاسبه بیلان آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از رابطه (۵-۳) استفاده شده است. در این ارتباط ابتدا زمان و محدوده بیلان و سپس عوامل مؤثر در جدول بیلان توضیح داده شده است. آبخوان آبرفتی در محدوده مطالعاتی شلمزار، بصورت محدود با ضخامت متوسط ۴۵ متر در دشت شکل گرفته است. میزان بهره‌برداری از این آبخوان محدود بوده و حجم ذخیره آب زیرزمینی آن نیز قابل توجه می‌باشد. منابع تغذیه‌ای آبخوان قابل نامحدود بوده و با توجه به منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل توجهی که در سطح محدوده وجود دارد، امکان توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی شلمزار تا جایی که منجر به افت قابل ملاحظه آبخوان نشود وجود دارد. به لحاظ نوسانات سطح آب زیرزمینی و حجم مخزن، آبخوان آبرفتی شلمزار

تا حدودی مثبت در نظر گرفته شده است. نتایج بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی در جدول (۵-۵) - (۱۲) ارائه شده است. رابطه (۵-۳) تعادل حجمی آب در محدوده بیلان عبارتست از:

$$Q_{UI} + Q_P + Q_I + Q_R + Q_{SW} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET} = \pm \Delta V \quad \text{رابطه (۵-۳)}$$

$Q_{UI}$ : حجم جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان آبرفتی

$Q_P$ : حجم آب نفوذ یافته از ریزش‌های جوی

$Q_R$ : حجم آب نفوذ یافته از جریان‌های سطحی

$Q_I$ : حجم آب نفوذ یافته از آبیاری مزارع

$Q_{SW}$ : حجم آب نفوذ یافته از پساب شرب و صنعت

$Q_{EX}$ : حجم تخلیه و برداشت از آبخوان از طریق چاه، چشمه و قنات

$Q_D$ : حجم آب زهکشی شده و خروجی از آبخوان

$Q_{ET}$ : حجم تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی آبخوان

$\Delta V$ : تغییر حجم ذخیره آبخوان آبرفتی

برای محاسبه بیلان و برقراری رابطه فوق، اندازه‌گیری مستقیم، محاسبات به وسیله معادلات، استفاده از نتایج تجربی و در برخی مواقع از تخمین برخی از پارامترهای مختلف استفاده شده است. با بررسی موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و ویژگی‌های آبخوان مساحت محدوده بیلان حدود ۷۹/۳۹ کیلومتر مربع می‌باشد. پس از بررسی‌های انجام شده در مورد زمان آمار و اطلاعات موجود، زمان بیلان سال آبی ۸۴-۸۵ تعیین شده، که توسط شرکت مهندسی مشاور آب شילה محاسبه شده است. بر اساس مقادیر مختلف پارامترهای بیلان و طبق رابطه (۵-۳) تغییرات حجم مخزن در محدوده مورد مطالعه بدست آمده است.

$$\Delta V = 41 + 4/83 + 8/21 + 10 + 4/21 - 26/4 - 38/4 - 0/84 = 2/1 \text{ Mm}^3/\text{Year}$$

## فصل پنجم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ساختاری

جدول (۵-۱۲) مقادیر پارامترهای بیلان سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۵ (شرکت مهندسی مشاور آب شילה ۱۳۸۷)

ردیف	عوامل تغذیه	حجم آب (m <sup>3</sup> /Year)	عوامل تخلیه	حجم آب (m <sup>3</sup> /Year)
۱	حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۴۱	حجم آب تخلیه شده توسط چاه، چشمه و قنوات	۲۶/۹۴
۲	حجم آب نفوذ یافته از آبیاری زمین‌های کشاورزی و باغات	۸/۲۱	حجم آب زهکش شده از سفره آب زیرزمینی	۳۸/۴
۳	حجم آب نفوذ یافته از پساب‌های شهری و روستایی و صنعتی	۴/۲۱	حجم آب تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی	۰/۸۴
۴	حجم آب نفوذ یافته از جریان‌های سطحی	۱۰	-	-
۵	حجم آب نفوذ یافته از بارش‌های جوی	۴/۸۳	-	-
۶	جمع	۶۸/۲۵	جمع	۶۶/۱۵

با توجه به این که  $\Delta V$  مثبت می‌باشد، میزان جریان‌های ورودی (طبیعی و مصنوعی) و تغذیه بیشتر از جریان‌های خروجی (طبیعی و مصنوعی) و تخلیه می‌باشد. دلیل این مسئله افزایش میزان بارندگی در سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و همچنین وجود کوه‌های آهکی در اطراف این دشت بوده، که باعث تغذیه مناسب آن می‌شوند.



## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

### ۶-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به بررسی‌های انجام شده و نتایج بدست آمده در فصل‌های چهارم و پنجم به تجزیه و تحلیل نهایی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است. در هر یک از این بخش‌ها، منطقه از نظر قابلیت انتقال و همچنین وضعیت نفوذپذیری مسیر عبور تونل بررسی و شناسایی شده است.

### ۶-۲- تجزیه و تحلیل نهایی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها

در این قسمت بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها، که شامل شناسایی منابع آب زیرزمینی، بررسی کیفی آبخوان‌ها، نوسانات سطح آب در پیزومترهای موجود در منطقه عبور تونل، نقشه‌های هم‌پتانسیل کشیده شده جهت تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، آنالیز نتایج آزمایش‌های لوژان انجام شده در مسیر تونل، تحلیل‌های ساختاری انجام شده، تفسیر گمانه‌های حفاری شده مسیر تونل و همچنین بررسی چشمه‌های موجود در منطقه و پارامترهای هیدرولیکی منطقه و تعیین حوضه‌های آب زیرزمینی و مناطق تخلیه به بررسی نهایی هیدروژئولوژیکی هر یک از آبخوان‌های موجود در سازندهای سخت و آبرفتی مسیر تونل پرداخته

شده است. در نهایت موقعیت و وضعیت کلی مسیر عبور تونل را در هر آبخوان مشخص کرده و مناطق بحرانی از نظر نفوذ آب و جریان‌های زیرزمینی تشخیص داده شده است.

### ۶-۲-۱- بخش اول مسیر

یک نتیجه کلی هیدروژئولوژیکی که از این قسمت استخراج می‌شود این است که به دلیل وجود گسل اردل در این بخش، و در اثر عملکرد آن پهنه خرد شده‌ای ایجاد شده و با توجه به نوع سنگ‌شناسی پهنه خرد شده، که شامل سنگ‌های آهکی است نفوذپذیری بالایی دارد. آنالیز نتایج بدست آمده از آزمایش لوژان نیز این نکته را تایید می‌کنند. با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی منابع آب زیرزمینی در این آبخوان و پاسخ سریع نوسانات سطح آب زیرزمینی به بارندگی در منطقه و بررسی ضریب تغییرات هدایت الکتریکی و pH آنها مشخص شده، که سیستم جریان در آبخوان از نوع مجرایبی است. سنگ‌شناسی بدست آمده از گمانه‌های حفاری شده در آبخوان نیز سنگ‌شناسی یکسانی را تا مقطع عبور تونل در آبخوان نشان می‌دهند. بر اساس بازدیدهای صحرایی انجام شده و وجود حفرات انحلالی و شواهد کارستی در سنگ‌های آهکی این منطقه می‌توان گفت که پدیده کارستی شدن در آنها ایجاد شده است. بین دبی حداکثر و حداقل چشمه کارستی باغ‌رستم اختلاف زیادی وجود دارد که این عامل تا حد زیادی به پدیده کارستی شدن و مقدار زیاد شکستگی‌ها و درزه‌ها در این آبخوان بستگی دارد. بر اساس نوع سنگ‌شناسی یکسان در این بخش تا بخش‌های عمیق می‌توان این ویژگی‌ها را تا لایه‌های آبدار مقطع عبور تونل نیز تا حدی در نظر گرفت. نتایج بدست آمده از نمودارهای پایپر و استیف ترسیم شده در این آبخوان نشان می‌دهند که ترکیب شیمیایی یکسانی بین منابع آب زیرزمینی آبخوان و نمونه گرفته شده از مقطع عبور تونل وجود دارد. با بررسی تمامی موارد ذکر شده مشخص شده که بین بخش‌های تغذیه کننده منابع آب زیرزمینی و لایه‌های آبدار مقطع عبور تونل ارتباط برقرار است، که آنها را می‌توان یک آبخوان در

نظر گرفت. در نهایت این آبخوان را یکی از آبخوان‌های مؤثر در نشت آب زیرزمینی از بخش‌های سطحی به بخش‌های زیرین باید در نظر گرفت.

### ۶-۲-۲- بخش دوم مسیر

گسل‌های متعددی در این آبخوان باعث ایجاد یک پهنه خرد شده در آن شده‌اند. به طوری که در سطح سنگ‌های این بخش تعداد زیادی درزه‌ها و شکستگی‌ها وجود دارد. با بررسی ضریب تغییرات هدایت الکتریکی و pH چشمه‌های مهم موجود در این آبخوان و با توجه به اختلاف زیاد بین حداکثر و حداقل دبی موجود در این چشمه‌ها، مشخص شده که سیستم آنها یک سیستم مجرای بوده است. این عامل نیز دلیلی بر وجود درزه‌ها و شکستگی‌ها فراوان در سطح این سنگ‌ها است. بر اساس گمانه‌های حفاری شده در این آبخوان معلوم شده که از نظر سنگ‌شناسی این آبخوان بیشتر شامل واحدهای کنگلومرانی، آهکی، آهک مارنی و آهک دولومیتی که معادل با سازندهای کشکان، سروک، جهرم- آسماری و بخش بالایی آسماری است. همان طور که گفته شد در قسمت ابتدایی به دلیل وجود درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان در این قسمت تغییرات زیادی در دبی خروجی از چشمه‌ها و دیگر منابع آب زیرزمینی بوده است، که با توجه به سنگ‌شناسی یکسان این قسمت با بخش‌های عمیق‌تر این ویژگی‌ها را می‌توان به بخش‌های زیرین (محل عبور تونل) هم نسبت داد. نتایج آزمایش لوژان نیز همین توصیف را بیان می‌کند، به این صورت که با رسیدن به مناطق آهکی به دلیل وجود حفرات انحلالی و وجود فضاهای خالی نفوذپذیری افزایش و با رسیدن به قسمت‌های با مقدار فضای خالی کمتر نفوذپذیری کاهش می‌یابد. با بررسی نمودارهای پایپر و استیف مشخص شده که از نظر ترکیب شیمیایی بین نمونه این دو یعنی بخش‌های سطحی و لایه‌های آبدار در محور تونل اختلاف کمی وجود دارد، که این احتمالاً به دلیل ماندگاری بیشتر و فاصله زیاد بین سطح و زیر است، در حالی که در قسمت‌های سطحی مقدار شکستگی‌ها و درزه‌ها فراوان است و به همین دلیل مقدار ماندگاری آب نیز کمتر است، که باعث این اختلاف جزئی شده است. در کل این طور

بیان می‌شود که در این آبخوان در محل عملکرد گسل‌ها یعنی در مرز بین واحدهای سنگی و همچنین در محل پهنه‌های گسلی ایجاد شده در سنگ‌ها احتمال انتقال آب بین این دو بخش وجود دارد.

### ۶-۲-۳- بخش سوم مسیر

سنگ‌های معادل سازند رازک در این بخش به عنوان سنگ کف در این آبخوان آبرفتی وجود دارند. نوسانات سطح آب در پیرومترهای حفر شده در این محل نسبت به بارندگی خیلی زیاد نبوده و رابطه مستقیم بین آنها وجود ندارد، که این به دلیل وجود سنگ‌های با میزان نفوذپذیری کم در این بخش است. تغذیه آبخوان نیز از طریق بخش‌های آهکی اطراف صورت می‌پذیرد. در این آبخوان ترکیب شیمیایی یکسانی بین نمونه‌های منابع آب زیرزمینی موجود در آبخوان و نمونه گمانه حفر شده تا مقطع تونل وجود دارد. با بررسی سنگ‌شناسی موجود در گمانه‌های حفر شده در این آبخوان نیز وجود سنگ‌های مارن‌استونی در این بخش تا مقطع تونل نیز دیده می‌شود، که این نشان دهنده وجود آبخوان یکسان تا مقطع عبور تونل است. نفوذپذیری کم حاصل از آنالیز نتایج آزمایش لوژان بدست آمده از این آبخوان نیز وجود سنگ‌های مارن‌استون‌های مربوط به سازند رازک را تایید می‌کند. بر اساس نتایج حاصل مطالعات هیدروژئولوژیکی مشخص شده که برقراری ارتباط هیدرولیکی بین بخش‌های عمیق‌تر و بخش‌های سطحی و بالاتر به دلیل نفوذپذیری پایین خیلی کم و ناچیز خواهد بود. پس می‌توان گفت که در این بخش محور عبور تونل تاثیر آنچنانی بر روی منبع تغذیه منابع زیرزمینی آبخوان نخواهد داشت.

#### ۶-۲-۴- بخش چهارم مسیر

با توجه به سنگ‌شناسی موجود در گمانه حفاری شده در این آبخوان، می‌توان گفت که این بخش شامل سه قسمت است، در بخش اول رسوبات ریزدانه و فرسایشی نفوذناپذیر وجود دارد و سپس ماسه‌سنگ‌های که لایه آبدار این آبخوان را تشکیل می‌دهند و در آخر مادستون‌های مربوط به سازند معادل رازک قرار دارند، که این قسمت سوم به عنوان سنگ کف در این آبخوان وجود دارد. بر اساس خطوط هم‌پتانسیل ترسیم شده در این بخش مشخص شده که سنگ‌های آهکی در این منطقه دشت را تغذیه می‌کنند، که این بیانگر جهت جریان آب زیرزمینی از سمت آهک‌ها به سمت دشت است. با توجه به این نوع سنگ‌شناسی مشخص شده که نفوذپذیری در این قسمت تقریباً پایین بوده و به این ترتیب که واحد مادستونی به صورت یک سد عمل کرده و باعث جدا شدن این دو بخش شده است. این عاملی است که نشت آب را از آبخوان به سمت تونل بسیار کم رنگ و بی اثر می‌کند. حفر تونل در این آبخوان تاثیر آنچنانی بر روی منابع زیرزمینی آن ندارد.

#### ۶-۲-۵- بخش پنجم مسیر

در این قسمت وجود لایه‌های مادستون و سیلتستون به صورت لایه‌های آبدار با نفوذپذیری پایین عمل کرده، به طوری که جریان آب‌های زیرزمینی به صورت نشتی جریان دارد. لایه‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگی نیز به صورت Aquifer عمل می‌کنند. با بررسی سطح آب زیرزمینی در پیرومترهای حفاری شده در این آبخوان مشخص شده که سطح آب زیرزمینی در این آبخوان نسبت به بارندگی پاسخ تقریباً سریع داده، که این به دلیل عمق کم سطح آب زیرزمینی در این آبخوان است، با توجه به نوع سنگ‌شناسی یکسان تا تونل، این تغییرات را می‌توان تا محل عبور تونل در بخش‌های زیرین هم نسبت داد. با بررسی نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای کیفی پایپر و استیف مشاهده گردید که از نظر ترکیب شیمیایی این دو نمونه منابع آب زیرزمینی و گمانه اکتشافی تا مقطع تونل ترکیب

تقریباً متفاوتی داشته به طوری که در نمونه بخش‌های عمیق‌تر مقدار سدیم و کلر بالا بوده که این تغییر در ترکیب احتمالاً به ماندگاری بیشتر آب در بخش‌های عمیق برمی‌گردد. با توجه به نفوذپذیری پایین این آبخوان می‌توان گفت که احتمال ارتباط هیدرولیکی بین این آبخوان با (لایه‌های آبدار) محل عبور تونل بسیار کم بوده است.

### ۶-۲-۶- بخش ششم مسیر

وجود گسل اصلی زاگرس و یک سری گسل‌های دیگر (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد) در این قسمت از مسیر عبور تونل باعث شده تا پهنه خرد شده با شکستگی‌های فراوان و با پتانسیل انتقال آب در مسیر عبور تونل ایجاد شود. با توجه به نوع سنگ‌شناسی این قسمت که بیشتر شامل سنگ‌های آهکی بوده و معادل سازند سروک می‌باشند، میزان نفوذپذیری در این بخش بالاست. محل عبور گسل اصلی زاگرس کنتاکت بین سازند کنگلومرایی بختیاری و سازند آهکی سروک است، نیز یک محل مناسب جهت انتقال آب از آبخوان سطحی به بخش‌های محل عبور تونل است. با توجه بررسی‌های منابع آب زیرزمینی در این بخش، سطح آب زیرزمینی در این قسمت پاسخ سریع به بارندگی را نشان می‌دهد و بر اساس بررسی ضریب تغییرات هدایت الکتریکی و pH چشمه‌ها، سیستم جریان در این چشمه‌ها از نوع مجرای تشخیص داده شد. گمانه BH<sub>11a</sub> سنگ‌شناسی یکسانی شامل آهک و آهک‌های مارنی در این قسمت از سطح تا محل عبور تونل نشان می‌دهد. آهک‌های این بخش کارستی شده‌اند. این منابع آب زیرزمینی در این آبخوان از آهک‌ها تغذیه می‌شوند، که بر اساس موارد فوق می‌توان گفت که محل تغذیه این منابع زیرزمینی و بخش‌های عمیق‌تر (محل عبور تونل) یکی است. بررسی‌های مربوط به نمودارهای کیفی پایپر و استیف نمونه‌ها که ترکیب شیمیایی یکسانی را نشان می‌دهد، یکی بودن منبع تغذیه در این قسمت را اثبات می‌کند. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های لوژان در این بخش بالا بودن نفوذپذیری را در بخش‌های آهکی نشان می‌دهند، که باعث تشکیل آبخوان‌های کارستی شده و احتمال برقراری ارتباط

هیدرولیکی بین این دو بخش و نشت آب از آبخوان‌های سطحی به قسمت‌های زیرین و عمیق‌تر (محل عبور تونل) را نشان می‌دهند. پس می‌توان گفت که این منطقه نیز یکی از محل‌های بحرانی جهت انتقال و نشت آب زیرزمینی از بخش‌های بالا به لایه‌های آبدار (محل عبور تونل) خواهد بود.

### ۶-۲-۷- بخش هفتم مسیر

بر اساس بررسی نمودارهای پایپر و استیف نمونه‌های منابع آب زیرزمینی آبخوان و نمونه گمانه حفاری شده تا مقطع تونل می‌توان بیان کرد از نظر ترکیب شیمیایی، ترکیب یکسانی داشته و یک نوع تیپ آب را نشان می‌دهند، که این بیانگر یکسان بودن منبع تغذیه در این دو بخش است. نوع سنگ‌شناسی بدست آمده از گمانه BH<sub>10</sub> که شامل آهک‌های شیلی که تقریباً تا محل عبور تونل نیز وجود دارند، نیز یک منبع تغذیه را می‌توان برای آنها در نظر گرفت. با توجه به بررسی ضریب تغییرات هدایت الکتریکی و pH چشمه موجود نتیجه می‌شود که سیستم جریان در اینجا از نوع مجرای بوده است. همچنین پاسخ سریع تغییرات سطح آب زیرزمینی به بارندگی در پیژومترهای موجود در این آبخوان نشان دهنده بالا بودن سطح آب زیرزمینی و وجود پهنه‌های خرد شده در سنگ‌های با شکستگی‌های فراوان در این قسمت آن هم به خاطر نزدیکی به گسل اصلی زاگرس در این بخش است. بر اساس نتایج آزمایش لوژان نشان می‌دهد که نفوذپذیری در حد متوسط بوده که این به دلیل وجود آهک‌های شیلی موجود است. در کل آبخوان تا حد کمی می‌تواند در نشت آب به بخش‌های زیرین مؤثر باشد.

### ۶-۳- جمع‌بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ هیدروژئولوژیکی

آبخوان‌های کارستی و آبرفتی محدوده مورد مطالعه بخش اعظم نیاز آبی (شرب، کشاورزی و شیلات) روستاها و شهرهای اطراف را تامین می‌کنند. شرایط آب و هوایی مساعد و بارش فراوان برف و باران باعث شده است تا سطح آب زیرزمینی در منطقه بالا و احتمال کارستی شدن در سازندهای آهکی در

طول مسیر مهیا گردد. بنابراین مسئله آب‌های زیرزمینی و احتمال زهکش شدن آنها توسط تونل و حتی خطراتی که برای خود تونل هم به همراه دارد، یکی از مسائل جدی و مهم در پروژه‌های زیرزمینی است. لذا یکی از عواملی است که باعث شده که تونل انتقال آب بهشت‌آباد در گروه تونل‌های خاص قرار گیرد. عملکرد گسل‌های تراستی اردل و اصلی زاگرس در بخش‌های ابتدای و انتهایی محدوده مورد مطالعه، پهنه‌های خرد شده و شرایط پیچیده زمین‌شناسی را به وجود آورده است. بنابراین با وجود محدودیت گمانه‌ها، سعی شده است تا با مطالعات صحرایی و برداشت‌های سطحی بیشتر و دقیق‌تر، این محدودیت‌ها جبران شود.

### ۶-۳-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مربوط به چشمه‌ها و دیگر منابع زیرزمینی موجود، نقاط بحرانی از نظر هجوم آب از بخش‌های سطحی به بخش‌های عمیق‌تر (محدوده عبور مسیر تونل) پیش‌بینی شده است. به طور کلی در محدوده مورد نظر ۷ آبخوان بر اساس ویژگی‌های هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، توپوگرافی و زمین‌شناسی مشخص شده است. در محدوده‌های ابتدای و انتهایی منطقه مورد مطالعه در مسیر تونل رسوبات معادل سازند سروک به عنوان یکی از آبخوان‌های اصلی و آبدار به شمار می‌رود، که احتمال هجوم آب زیرزمینی به درون تونل در زمان عبور از این واحد وجود دارد. این احتمال به ویژه در زمان برخورد به پهنه‌های گسلی از جمله گسل‌های اصلی زاگرس و اردل بیشتر می‌شود. در حالی که در سایر بخش‌های مسیر تونل به دلیل وجود واحدهای سنگی با میزان نفوذپذیری پایین در آنها میزان آب نشتی از این قسمت‌ها به بخش‌های پایینی (محدوده عبور تونل) ناچیز و یا خیلی کم می‌باشد.

بخش انتهایی منطقه نسبت به بخش ابتدایی و میانی مسیر از شرایط بحرانی بیشتری برخوردار می‌باشد. این محدوده را به عنوان یک آبخوان کارستی شناسایی شده است. آهک‌های سازند سروک به عنوان مخزن اصلی چشمه‌های بزرگی همچون، چشمه زنه، سراب‌جونقان، چشمه‌های قعله‌تک و



چهل چشمه، از نقاط بحرانی هجوم آب در زمان حفاری تونل می‌باشد. وجود گسل اصلی زاگراس و تعدادی گسل‌های دیگر در این بخش باعث ایجاد پهنه‌های برشی و خردشدگی زیاد در آهک‌های این قسمت شده است. به طور کلی جهت جریان آب‌های زیرزمینی در قسمت انتهایی منطقه مورد مطالعه عمود بر محور تاقدیس جهان‌بین و عمود بر لایه‌بندی می‌باشد. شیب هیدرولیکی در این قسمت و در کل محدوده مورد مطالعه به سمت تونل و چشمه‌های قعله تک، چهل چشمه و دریاچه شلمزار و دیگر چشمه‌های موجود در منطقه می‌باشد. در کل باید گفت که این آبخوان‌ها از طریق چشمه‌های مذکور در هر قسمت تخلیه می‌شوند.

به طور کلی با توجه به مطالعات انجام شده و در نظر گرفتن پارامترهای مورد بررسی در این پایان‌نامه در منطقه مورد مطالعه موارد زیر قابل نتیجه‌گیری هستند:

۱- سنگ‌های موجود در منطقه بیشتر شامل سنگ‌های رسوبی مارن، آهک مارنی، آهک، آهک دولومیتی شده و کنگلومرا می‌باشد. جهت محور تونل تقریباً عمود بر امتداد لایه‌بندی بوده بنابراین نوع و تغییر جنس سنگ در زمان حفاری زیاد و در بیشترین حالت ممکن است. بر اساس بررسی‌های انجام شده نیز مشخص شده که سنگ‌های آهکی قسمت‌های ابتدایی و انتهایی منطقه در مسیر عبور تونل از جهت انتقال آب از بخش‌های سطحی به بخش‌های عمیق پتانسیل بالایی داشته و جزء مناطق بحرانی‌تر نسبت به واحدهای سنگی مارنی و کنگلومرائی در بخش میانی مسیر محسوب می‌شوند.

۲- از نظر هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه به سه دسته کاملاً متمایز با خصوصیات هیدرودینامیکی متفاوت به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

الف- سازندهای تراوا: این سازندها دارای تراوایی خوبی هستند، که در این منطقه شامل آهک‌های سروک، بخش بالایی آسماری و تا حدی هم جهرم-آسماری می‌باشند. به علت درزه و شکاف‌های فراوانی که در اثر فعالیت‌های تکتونیکی و همچنین وقوع پدیده انحلال و کارستی شدن به وجود آمده، باعث شده که آنها دارای خواص هیدرودینامیکی خوب از نظر نفوذپذیری داشته باشند. از این واحدها در تاقدیس کوه سوخته چندین چشمه که بزرگ‌ترین آنها چشمه باغ‌رستم با دبی بین ۲ تا ۸

مترمکعب بر ثانیه از سازند سروک و چشمه دریاچه شلمزار با دبی حدود ۲ مترمکعب بر ثانیه از سازند جهرم- آسماری در تاقدیس کوه هزارگزی و ۵ تا ۶ چشمه نیز در تاقدیس کوه جهان‌بین از سازند سروک با دبی‌های مختلف منشاء می‌گیرند.

ب- سازندهای نیمه تراوا: این سازندها شامل واحدهای با ترکیب تخریبی و آهک‌های با مارن و شیل فراوان می‌باشد. در این منطقه این سازندها در قسمت‌های مختلفی وجود دارند. از واحدهای با این ویژگی می‌توان به سازندهای کشکان، بخش‌های از سازندهای سروک، بختیاری اشاره کرد.

ج- سازندهای ناتراوا: این سازندها فاقد نفوذپذیری مناسب و دارای خواص هیدرودینامیکی ضعیف هستند، که این خصوصیات شاخص واحدهایی از سازندهای رازک و بختیاری می‌باشند. این سازندها از نظر هیدروژئولوژیکی بیشتر به عنوان سنگ بستر در منطقه مورد مطالعه عمل می‌کنند.

۳- گسل‌های اصلی زاگرس و اردل موجود در منطقه مورد مطالعه دارای عملکردی تراستی می‌باشند و پهنه‌های خرد شده گسترده‌ای در اطراف آنها به وجود آمده است. اهمیت این گسل‌ها به خصوص در دو بخش ابتدایی و خروجی مسیر در محدوده مورد مطالعه در هدایت آب‌های زیرزمینی به سمت تونل قابل ملاحظه می‌باشد.

۴- تحلیل داده‌های درزه‌های برداشت شده در ایستگاه‌های مختلف در منطقه نشان دهنده تأثیر متقابل، گسل‌های منطقه در شکل‌گیری و جهت‌یابی آنها می‌باشد.

۵- بررسی‌های انجام شده در ارتباط با تحلیل چشمه‌ها، شرایط هیدروژئولوژیکی و آب و هوایی منطقه نشان از وقوع پدیده کارست در ابعاد بزرگ و کوچک در آهک‌های سازندهای سروک، جهرم-آسماری در بخش‌های ابتدایی و انتهای مسیر دارد.

۶- تغییرات دبی چشمه‌ها در مناطق کارستی زیاد بوده، که این بیان‌کننده وجود پهنه‌های خردشده و شکستگی‌های فراوان در بخش‌های آهکی و کارستی شده موجود در منطقه شده است. در حالی که نوسانات سطح آب زیرزمینی در پیژومترهای موجود در آبخوان‌های آبرفتی موجود در قسمت‌های میانی منطقه به دلیل وجود واحدهای سنگی با میزان نفوذپذیری پایین خیلی کم می‌باشد.

۷- نتایج گمانه‌های حفر شده دلالت بر افزایش میزان نفوذپذیری و نشت آب زیرزمینی در سنگ‌های آهکی و کارستی شده و همچنین در پهنه‌های خرد شده و گسله به بخش‌های عمیق‌تر بوده، در حالی که این میزان در سنگ‌های مارنی و یا بخش آبرفتی منطقه که دارای لایه‌های سنگی با نفوذپذیری کمتر می‌باشد به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند.

۸- جهت جریان آب‌های زیرزمینی در دشت شلمزار از سمت جنوب و جنوب شرقی به سمت شمال و شمال غرب منطقه می‌باشد.

۹- بر اساس بررسی نتایج حاصل از آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌های منابع زیرزمینی و گمانه‌های حفاری شده در مسیر تونل در منطقه مورد مطالعه تیپ آب در کل منطقه تعیین شده و محل‌های تغذیه آبخوان‌ها مشخص شده است. همچنین با توجه به گمانه‌های موجود در منطقه از نوع سنگ‌شناسی و ویژگی‌های آنها از وضعیت کلی زیر سطحی هر بخش از منطقه اطلاعات بدست آمده است. بر اساس این بررسی‌ها مشخص شده که در بخش‌های آهکی با توجه به یکسان بودن سنگ‌شناسی تا بخش‌های پایینی و همچنین به دلیل وجود درزه‌ها و شکستگی‌های زیاد تیپ آب بدست آمده یکی بوده که این نشان دهنده یکی بودن منبع تغذیه این دو بخش است. این در حالی است که در بخش‌های آبرفتی به دلیل نفوذپذیری کم واحدهای سنگی آنها که باعث ماندگاری بیشتر آب در این قسمت‌ها شده و در بعضی موارد این واحدهای نفوذناپذیر باعث جدا شدن این بخش شده است.

### ۴-۶- پیشنهادها

۱- قبل از اجرای طرح، انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی در کل مسیر تونل لازم است. این مطالعات شامل تعیین جهت عمومی جریان در کل مسیر، تعیین خصوصیات لایه‌های آبدار با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های منطقه، شناسایی حوضه‌های کارستی مسیر و همچنین بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی گمانه‌ها می‌باشد.

۲- حفر گمانه‌های با فواصل کم در پهنه‌های اولویت‌دار حائز اهمیت می‌باشد. به این منظور، در زمان اجرا طرح، جهت بررسی دقیق‌تر و بهتر مسیر در بخش‌های که به صورت بحرانی تشخیص داده شده است، استفاده از گمانه‌ها در فواصل نزدیک به هم ضروری است.

۳- بررسی‌های کامل زمین‌شناسی شامل مطالعات مقدماتی و تفصیلی منطقه در مسیر عبور تونل، به‌ویژه از نظر اولویت‌بندی کل مناطق عبور تونل به لحاظ تراوایی، ارتباط طبقات آبدار با یکدیگر و همچنین گذر آب از طبقات آبرفتی و کارستی باید با دقت زیادتری انجام شود.

## منابع

- حاجیان م. (۱۳۸۲). "تاثیر حفر تونل بر منابع آب زیرزمینی" ششمین کنفرانس تونل ایران، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- حافظی مقدس، ن. (۱۳۹۰). زمین‌شناسی مهندسی، چاپ اول، انتشارت آرسس، مشهد، ۴۸۸ صفحه.
- حسن پور ر. (۱۳۸۸)، "تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌های منطقه شهرکرد"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۴ صفحه.
- حسن پور ج. (۱۳۸۲). "تخمین جریان ورودی آب به تونل با استفاده از تست‌های فشار آب (مطالعه موردی تونل انتقال قمرود)" ششمین کنفرانس تونل ایران، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- رئیسی ع. (۱۳۷۷). "بررسی مشکلات احداث سد و تونل در مناطق کارستی" دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد.
- زارعی ح. ارومیه‌ای ع. (۱۳۸۸). "شناسایی و طبقه‌بندی مخاطرات ناشی از ورود آب به درون تونل سبزکوه" ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- زاهدی، مصطفی، نقشه زمین‌شناسی شهرکرد با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲.
- سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، (۱۳۸۹)، آمار بارندگی و دما ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه.
- شرکت مهندسی مشاور آب شילה، (۱۳۸۷)، "طرح مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی کیار، شلمزار و لردگان" جلد سوم، گزارش آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی شلمزار، ۸۳ صفحه.
- شرکت مهندسی مشاور آب شילה، (۱۳۸۷)، "طرح مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کیار، شلمزار و لردگان" جلد سوم، گزارش آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی کیار، ۷۹ صفحه.
- شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۸۸)، "گزارش منابع و مصارف حوضه‌های آبرگیر بهشت‌آباد و کوهرنگ" ۱۰۰ صفحه.
- شرکت مهندسی مشاور جامع کار سپاهان، (۱۳۸۷) "گزارش مطالعات مرحله اول طرح تغذیه مصنوعی دشت شهرکرد" جلد سوم، آبهای زیرزمینی، ۷۶ صفحه.

- شرکت مشاور زاینده‌آب (۱۳۸۷). شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، "طرح انتقال آب به فلات مرکزی ایران" مطالعات مرحله اول، گزارش‌های تونل، سیمای طرح، جلد سی و ششم، ۲۹۰ صفحه.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۶)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵۷ صفحه.
- کتیبه ه. عالی انوری ع. (۱۳۸۵). "تخمین جریان نشت آب زیرزمینی به تونل انتقال آب قمروود توسط نرم افزار Tunsep" هفتمین کنفرانس تونل ایران، دانشگاه شریف، تهران.
- کریمی وردنجانی، ح. (۱۳۸۹). هیدروژئولوژی کارست مفاهیم و روش‌ها، چاپ اول، انتشارات ارم، شیراز، ۴۱۴ صفحه.
- گزارش آزمایش پمپاژ چاههای اکتشافی منطقه چهارمحال و بختیاری، (۱۳۶۵). دفتر مدیریت منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری.
- مرسلی م، حسن‌پور ج. (۱۳۸۶) "بررسی هجوم آب و گاز به داخل تونل ناقدیس اسیر" بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تهران.
- ناصری ح. خدائی ک. (۱۳۷۹). "تهیه خطواره‌ها و پوشش گیاهی به عنوان نمایانگر آب زیرزمینی در منطقه کارستی در شمال اشنویه با استفاده از داده‌های رقومی" چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز.
- نقشه راههای ایران، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

### References

- Ashjari, J., and Raeisi, E., (2006). "Influences of anticlinal structure on regional flow Zagros Iran". *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol. 68, No. 3, pp. 118–129.
- Berberian, M., (1995). "Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", *Journal Tectonophysics*, Vol 241, Issues 3–4, pp. 199-224.
- Berberian, M., and Nabavi, M.H., (1977). "Naghan (Chahar Mahal Bakhtiari-High Zagros, Iran) Earthquake". A preliminary field report and a seismotectonic discussion. *Geol Surv Iran*, 40, 51-77.
- Brassington, R., (1998). "Field Hydrogeology". John Wiley & Sons. New York. pp. 248.
- Celico, P., and Fabbrocino, S., and Petitta, M., and Tallini, M., (2005). "Hydrogeological impact of the Gran Sasso motor-way tunnels (Central Italy)". *Giornale di Geologia Applicata* 1, pp. 157 –165.
- Dematteis, A., et al., (2003). "The hydrogeological studies concerning the new interational railway connection between lyon and turin : forecasting groundwater impact during tunneling", *RMZ- Material and Geoenvironment*, Vol. 50, No. 1, pp. 101- 104.
- Fakhari, M., Axen, G., Horton, B., Amini, K., Abdolhosseini, j., Ghavidel- syooki, M. and Hosseini, S., (2005). Revised Age of the proximat Bakhtiari Formation and Implications for the Evolution of the High Zagros. Salt lake City Annual Meeting. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, Vol. 37, No. 7, p. 58
- Frumkin, A., and Shimron, A., (2005). "Tunnel engineering in the Iron Age: geoarchaeology of the Siloam Tunnel", *Jerusalem Journal of Archaeological Science*, 33, pp. 227-237.
- Ford, D., Williams, P., (2007). "Karst Hydrogeology and Geomorphology". JohnWiley & Sons, the Atrium, Southern Gate, Chichester, pp. 578.
- Ford, D., and Williams, P., (1989). "Karst geomorphology and hydrology", London: Chapman & Hall, pp. 601.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., (1979). "Ground Water, Prentice Hall", Englewood Cliffs, NJ, pp. 691
- Frefzege, R.E., (1996). "Tecolate Tunnel engineering geology in southern California": *Assoc .Eng.Geol.Spes. Pub*, pp.104-107.
- Goodman, R.E. et al, (1965). "Ground water inflows during tunnel driving". *Bull. Ass. Eng. Geologists* 2, pp. 35–56.

## References

---

- Glodscheider, N., (2005). "Fold structure and underground drainage pattern in the in the alpine karst system Hochifen-Gottesacker". *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 98, pp. 1-17.
- Glodscheider, N., and Drew, D., (2007). "Methods in Karst Hydrogeology". International Association of Hydrogeologists, Taylor & Francis, pp. 264.
- Ganerod, G. v., et al., (2006). "Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel", *NorwayBull Eng Geol Env* 65, pp. 231–243.
- Herold, T., Jordan, P., and Zwahlen, F., (2000). "The influence of tectonic structures on karst flow patterns in karstified limestones and aquitard in the Jura Mountains, Switzerland". *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. 93, pp. 349-362.
- Hauselmann, P., Jeannin, P.Y., Bitterli, T. (1999). "Relationships between karst and tectonics: case- study of the system north of Lake Thun (Bern, Switzerland)". *Geodinamica Acta*, 12, pp. 377-387.
- Jinxiu, Y., and Shujioe, Y., (2005). "Risk evaluation and control of yesanguan railway tunnel on yiwan railway line, china". China Railway Southwest Research Institute Co., Ltd. , No.118.
- Katibeh, H., and Aalianvari, A., (2009). "Develoment of a New Method for TunnelSite Rating from Groundwater Hazard Point View". *Journal of Applied Sciences* 9 (8), pp. 1496-1502.
- Knez, M., Slabe, T., Ebela, S., and Gabrovs, F., (2008). "The largest karst cave discovered in a tunnel during motorway construction in Slovenia's Classical Karst (Kras)". *Environ Geol*, 54, pp.711–718.
- Li, Sh., Zhang, Q., Su, M., Wang, Z., and Wang, S., (2010). "Predicting geological hazards during tunnel construction" *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 232–242.
- Milanovich, P.T., (2005). "Water resources engineering in karst". Boca Raton London New York Washington, D.C. pp. 328.
- Mabee, B., and, Curry, P.J., and Hardastle (2002). "Correlation of lineaments to ground water inflow in a dedrock tunnel". *National ground water Awareness Week*, pp. 17-23.
- Marinos, P.(2001). "Tunneling and mining in karstic terrane; an engineering challenge", *Geotechnical & Environmental Appliactions of Karst Geology & Hydrology*, Beck & Herring.
- Rayner, J. H. (2001). "Predicting groundwater inflow into hard-rock tunnels: Estimating the high-end of the permeability distribution". RETC



## References

---

- Song, W. K., Hamm S.Y., and Cheong J.Y., (2006). “Estimation of groundwater discharged into a tunnel”. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 21, Issues 3-4, pp. 460.
- Shapiro, A. M., and Greene, E. A., (2003). “Hydrogeologic controls on water intrusion into subway tunnels constructed in fractured rock, Washington, DC and Maryland, USA”. *RMZ- Materials and Geoenvironment*, Vol. 50, No.1, pp. 341-344.
- Schwarz, L., et al. (2006). “ Risks and hazards caused by groundwater during tunnelling: geotechnical solutions used as demonstrated by recent examples from Tyrol, Austria”. *Environ Geol*, No. 49, pp. 858–864.
- Stockline, J., (1968), “Structural history and tectonics of Iran: a review”, *A. A. P. G. Bull*, pp. 1229- 1258.
- Tseng, D. J., and Tsai, B. R., Chang, L. C., (2001). “ A case study on ground treatment for a rock tunnel with high groundwater ingression in Taiwan”. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 16, Issue 3, pp. 175-183.
- Williams, P.W., (1983). “The role of subcutaneous zone in karst hydrology”. *Journal of Hydrology*. Vol. 61, pp. 45-67.
- Wood, A., M. (2002). *Tunnelling: Management by design*, E & FN Spon.
- Xiaobing, K., and Zhang, Q., and Sheng, L., (2004). “A Preliminary study of water discharge in zoumaling karst tuuuel Chongqing”. *Journal of Engineering Geology*. pp. 01-013.
- Xeldakls, G. S., Torok, A., Kleb, B., and Marinos, P.G., (2006). “Karst-related engineering geological hazards, a comparative study of Hungary and Greece”. *IAEG*, No. 353.
- Zabidi, H., and Freitas, M. H., (2006). “Structural studies for the prediction of karst in the Kuala Lumpur limestone”. *IAEG Paper number 264* .
- Zarei, H., Uromeihy, A., and Sharifzadeh, M., (2010). “Evaluation of high local groundwater inflow to a rock tunnel by characterization of geological features”. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 26, Issue 2, pp. 364-373.

## **Abstract**

Most of the tunnels, especially the water conveyance tunnels are partly drilled below the water level. When the permeability of host rocks of tunnel is low, the inflow of water into the tunnel is low, and hydrogeological problems for surrounding aquifers will be low. If the host rocks of tunnel has high permeability, a large volume of water enters into the tunnel during drilling, and this causes decreasing of the ground water level resulting in changing in discharge of ground water resources across the tunnel. All areas in which tunnel is being drilled below the ground water level, have not high sudden invasion potential of large volume of water into the drilling space. The potential exists in places where the rock mass permeability is extremely high. This occurs in intense porous fault zones and karstic horizons. The study area is located in south west of shahrekord, Chahar mahal and Bakhtiari province. In order to assess hydrogeologic status of the area and determining hydraulic connection between the surficial and deep parts across the tunnel, data and information related to the area were collected. Field works were carried out for structural studies. For this purpose, according to the field studies in different stops, status of joints and fractures was determined. Also by investigating of exploration boreholes drilled through the tunnel route, lithologic status and order of stratigraphic units of the area were determined. Based on the hydrogeochemical results obtained from boreholes and groundwater resources of the area, source of ground water was recognized. According to the lithology in different parts of the area and also by using results obtained from Lozhan and pumping tests, permeability in all parts are determined. In addition to determining the stratigraphy of the area, hydrogeological permeability has been investigated with boreholes information in different depths in relation to permeability. In hydrological studies according to available piezometers in the area, the general direction of ground water is determined and isopotential map is also plotted. According to the different rock units and formations recognized in the area and interpretation of structural factors and of the permeability, critical areas of groundwater invasion and hydraulic connection between surface areas and the surrounding cross tunnel area have been recognized. Entirely, the study area is divided into seven zones (3 karstic and 4 alluvial aquifers). Results from this study indicate that in some areas such as fault zones and karstic horizons, high permeability of the rock mass and the invasion of groundwater into the tunnel is more likely compared to the alluvial areas with low permeability. These studies indicate that in karstic aquifers according to the high permeability and uniform source of supply for shallow and deeper groundwater and also due to the large number of fractures and fractured zones in this section, hydraulic connection between the two part are more likely, while in other parts due to low permeability and different chemical composition of water, the possibility of the two parts begin separated, is high.

**Keywords:** Karst and Alluvial aquifers, Permeability, Tunnel, Hydrogeological, boreholes, Connection, Faults



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

**Evaluation of the hydrogeological characteristics of  
Kuh-e Sukhteh- Jahanbin region in Chahar Mahal and  
Bakhtiari province**

**Ehsan Darvishpour**

Supervisor:  
**Dr. GH. H. Karami**

Advisor:  
**Dr. F. Musivand**

**February 2012**