



دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی آبشناسی

عنوان:

بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه های

کارستی کوه زرآب - سالدوران (استان چهارمحال و بختیاری)

دانشجو:

فهیمة رحیمی دهکردی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

مهندس عبدا... فاضلی

بهمن ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فهیمه رحیمی دهکردی رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه های کارستی کوه زرآب- سالدوران (استان چهارمحال و بختیاری) که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی) امتیاز (۱۹/۲۵) ☒ 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- اساتید راهنما	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۲- اساتید مشاور	مهندس عبدا. فاضلی		
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر رحیم باقری	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامعباس کاظمی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر هادی جعفری	استادیار	

رئیس دانشکده: دکتر غلامحسین کرمی امضاء

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی

۴

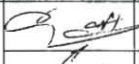
پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فیمه رحیمی دهکردی

بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبریز چشمه های کارستی کوه سالدوران-زرآب

(استان چهارمحال و بختیاری)

در تاریخ ۹۲/۱۰/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			دکتر غلامحسین کرمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
			دکتر غلامعباس کاظمی
			دکتر هادی جعفری عظیم آبادی

بر نام یگانه خالق هستی بخش و خالق تمام زیبای ها

تقدیم به کهنه های زندگیم:

پدر و مادر عزیزم

شکر و قدردانی

تحت پاس خداوندی را که عاشقانه آفرید، سخاوتمندانه بخشید و صادقانه هدایت کرد.

پاس پدری را که در سیه سار حیات بی دریغش خواستن را آزمودم، تلاش را آموختم و هدف را یافتم. پاس مادری را که با تکیه بر مهرپاکش خواسته‌ها را خواستم، زندگی را زیستم و امیدها را یافتم.

بر خود می‌بالم که در مسیر نگارش پایان نامه ام فرصتی دست داد تا افتخار علم آموزی نزد استاد فرهیخته جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی را در کارنامه علمی خود بنگارم که علم و اخلاق را به من آموختند و با حمایت و راهنمایی بی دریغشان در تمامی مراحل این پژوهش دلسوزانه مرایاری نمودند.

در ادامه از کیه استادان ارجمند در طول دوره تحصیل از جمله آقایان دکتر کاظمی، دکتر جعفری، دکتر طاهری و دکتر طاهری شهرآیینی صمیمانه شکر و قدردانی نموده و از کارمندان محترم دانشکده (خصوصاً سرکار خانم مهندس فارسی) و از کارکنان شرکت آب منطقه‌ای شهر کرد (به ویژه جناب آقای مهندس فاضلی که مشاور این رساله را به عهده داشتن) شکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از برادر عزیزم، خواهر نازنینم و مهندس بهرام ایوبی به خاطر دگریشان نهایت شکر و قدردانی را دارم.

و از دوستان و همکلاسی‌های عزیزم:

خانم‌ها: رقیه شایق، زینب نجفی، لیحه شیرافکن، محدثه ولی زاده، زهرا باقرزاده، زهرا ابراهیمی، سیمه تقی زاده، مرضیه غلامی، نذر رضا زاده، بهار شاهرادی، عاطفه سکاکی، شیوا راو، یاسمین شهرکی، سارا آذری، شبنم علیخانی، فاطمه جعفرزاده

و آقایان فیروز موسایی، مصطفی اسماعیلی، عبدالشمس و محمد میلان و سایر دوستانم که همیشه حضور گرمشان را در کنارم نمونه بارز لطف خداوندی دانم کمال شکر و قدردانی را دارم.

فهیمة رحیمی دهلوی

مقاله‌های مستخرج از این پایان نامه:

- ۱- ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی پیرغار در تقادیس سالدوران، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران، آبان ۱۳۹۲، ش، ص، ۳۵۷-۳۵۰
- ۲- کاربرد GIS برای ارزیابی میزان تغذیه آهک‌های کارستی تقادیس سالدوران و تعیین حوضه آبریز چشمه‌های کارستی سراب باباحیدر و پیرغار، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران، بهمن ۱۳۹۲

تعهد نامه

اینجانب فهیمه رحیمی دهکردی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه های کارستی کوه سالدوران-زرآب (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: ۹۲/۱۲/۴



امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

منطقه کوهستانی زرآب-سالدوران در جنوب غرب و غرب فارسان در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه کوهستانی عمدتاً از سنگ‌های آهکی تشکیل شده است که به شدت کارستی شده‌اند. وجود این نوع سنگ‌ها و میانگین بارش سالانه نسبتاً بالای منطقه باعث شده است که چشمه‌های کارستی بزرگی در منطقه به وجود آید. در این تحقیق به منظور بررسی جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی در این منطقه کارستی، موارد زیر انجام شده است. بارندگی منطقه با در نظر گرفتن ارتفاع و فاصله از محور زاگرس برآورد گردید. به این ترتیب که میانگین بارندگی سالانه برای حوضه‌های آبگیر چشمه‌های پیرغار، سراب باباحیدر و باغ‌رستم به ترتیب ۱۰۰۰، ۹۵۰ و ۷۵۰ میلیمتر برآورد شده است. سپس به بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه (پیرغار، سراب باباحیدر و باغ‌رستم) پرداخته شد. نتایج حاصله از این بخش بیانگر این است که آبخوان‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه از توسعه‌یافتگی بالایی برخوردار هستند. در ادامه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار تغذیه سالانه منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و لایه‌های اطلاعاتی آنها در محیط GIS تهیه گردید. این پارامترها شامل لیتولوژی، شیب لایه‌ها، جهت شیب، تراکم شکستگی‌ها، عوارض کارستی، بارش و تراکم آبراهه‌ها می‌باشند. بعد از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به هر کدام از این لایه‌ها ارزش متناسب با مقدار تأثیرگذاری آنها بر مقدار تغذیه سالانه داده شده است. با استفاده از نرم‌افزار GIS هم‌پوشانی لایه‌ها انجام شد و در نهایت میانگین تغذیه سالانه برای حوضه‌های آبگیر سراب باباحیدر، پیرغار و باغ‌رستم به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۶ و ۰/۶۲ تعیین شد. در بخش دیگری از مطالعات، حوضه آبگیر اولیه چشمه‌های کارستی مورد مطالعه با استفاده از روش زمین‌شناسی مشخص شد. درجه دقت حوضه‌های آبگیر اولیه مشخص شده با به کارگیری روش بیلان هیدروژئولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، پس از مشخص شدن حوضه‌های آبگیر چشمه‌ها و با توجه به پارامترهایی نظیر مسیر آبروچاله‌ها و دره‌های خشک جهت‌های کلی جریان مورد شناسایی قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، حوضه آبگیر، کارست، سالدوران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها.....	ط.....
فهرست جدول‌ها.....	ک.....
فصل اول: مقدمه.....	۱.....
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۱.....
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.....	۲.....
۳-۱- آب و هوای منطقه.....	۳.....
۴-۱- زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۴.....
۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۵.....
۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۶.....
۲-۵-۱- سازندهای پهنه زاگرس مرتفع در منطقه.....	۸.....
۱-۲-۵-۱- سری هرمز.....	۸.....
۲-۲-۵-۱- سازند میلا.....	۸.....
۳-۲-۵-۱- سازند دالان.....	۸.....
۴-۲-۵-۱- معادل سازند آهکی سروک.....	۹.....
۵-۲-۵-۱- معادل سازند کشکان.....	۱۰.....
۶-۲-۵-۱- معادل سازند آسماری.....	۱۰.....
۷-۲-۵-۱- معادل سازند کنگلومرای بختیاری.....	۱۱.....
۸-۲-۵-۱- نهشته‌های عهد حاضر.....	۱۱.....
۳-۵-۱- وضعیت تکتونیک منطقه.....	۱۲.....
۱-۳-۵-۱- گسل‌های منطقه.....	۱۲.....
الف- گسل اصلی زاگرس.....	۱۲.....
ب- گسل زرآب.....	۱۳.....
ج- گسل‌های کوه سالدوران.....	۱۳.....

۱۴.....	د- مجموعه گسل‌های لاغرک
۱۵.....	۱-۵-۳-۲- چین خوردگی
۱۵.....	الف- رشته کوه سالدوران - زرآب
۱۵.....	۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه
۱۶.....	۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه
۱۹.....	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده تعیین جهت عمومی جریان
۱۹.....	۱-۲- مقدمه
۲۰.....	۲-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی و تعیین نوع جریان
۲۰.....	۲-۳- برآورد میزان تغذیه در مناطق کارستی
۲۱.....	۲-۳-۱- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای برآورد میزان تغذیه
۲۱.....	۲-۴- تعیین حوضه آبرگیر در سفره‌های کارستی
۲۳.....	۲-۵- روش‌های تعیین جهت جریان در مناطق کارستی و کاربرد آنها
۲۳.....	۲-۵-۱- استفاده از ردیاب
۲۴.....	۲-۵-۲- استفاده از داده‌های سنجش از دور
۲۴.....	۲-۵-۳- توموگرافی دو بعدی
۲۴.....	۲-۵-۴- روش زمین‌شناسی
۳۲.....	۲-۵-۵- بیلان هیدروژئوکی
۳۳.....	۲-۵-۶- چشمه‌ها و نقش آن در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی
۳۳.....	۲-۵-۷- اثر سطح اساس فرسایش در توسعه کارست و نقش آن در جهت جریان آب زیرزمینی
۳۷.....	فصل سوم: روش انجام کار
۳۷.....	۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز منطقه
۳۸.....	۳-۲- بازدیدهای صحرایی
۳۸.....	۳-۳- مطالعات زمین‌شناسی
۳۹.....	۳-۴- تهیه نقشه‌های مورد نیاز در منطقه
۳۹.....	۳-۵- مطالعات هیدروژئولوژی و هواشناسی
۳۹.....	۳-۶- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین میزان تغذیه

۴۰	۳-۶-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی
۴۰	۳-۶-۲- طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی
۴۲	۳-۶-۳- امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی
۴۲	۳-۶-۴- همپوشانی و تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه معیار
۴۲	۳-۶-۵- وزن‌دهی کارشناسی
۴۳	۳-۷- تحلیل هیدروژئولوژی منطقه و جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی
فصل چهارم: بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی	
۴۵	کوه زرآب-سالدوران (استان چهارمحال و بختیاری)
۴۶	۴-۱- برآورد بارندگی منطقه مورد مطالعه
۴۶	۴-۱-۱- میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های موجود در اطراف حوضه مورد نظر
۴۷	۴-۱-۲- ارائه روشی مناسب برای برآورد بارندگی در حوضه مورد نظر
۵۰	۴-۱-۳- برآورد میانگین بارش سالانه در بخش‌های مختلف حوضه مورد مطالعه
۵۲	۴-۲- خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی
۵۲	۴-۲-۱- چشمه کارستی پیرغار
۵۳	۴-۲-۱-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه پیرغار
۵۴	۴-۲-۱-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه پیرغار
۵۵	۴-۲-۱-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه پیرغار
۵۶	۴-۲-۲- چشمه سراب باباحیدر
۵۸	۴-۲-۲-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه سراب باباحیدر
۵۸	۴-۲-۲-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه سراب باباحیدر
۶۰	۴-۲-۲-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه سراب باباحیدر
۶۱	۴-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای تعیین تغذیه منطقه
۷۱	۴-۳-۱- هم مقیاس‌سازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی
۷۳	۴-۳-۲- تعیین مقدار تغذیه منطقه
۷۴	۴-۴- ارزیابی کلی بیلان در کوه سالدوران- زرآب
۷۵	۴-۵- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی منطقه
۷۷	۴-۵-۱- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی پیرغار

۷۹.....	۴-۵-۲- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی سراب باباحیدر.....
۸۳.....	۴-۵-۳- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی باغ‌رستم.....
۸۶.....	۴-۶- ارزیابی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه.....
۸۷.....	۴-۶-۱- ارزیابی جهت کلی جریان در محدوده چشمه کارستی پیرغار.....
۸۸.....	۴-۶-۲- تعیین مسیر عمومی جهت جریان در حوضه آبرگیر چشمه کارستی باباحیدر.....
۹۰.....	۴-۶-۳- تعیین مسیر عمومی جهت جریان در حوضه آبرگیر چشمه کارستی باغ‌رستم.....
۹۱.....	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
۹۱.....	۵-۱- نتیجه‌گیری.....
۹۱.....	۵-۱-۱- ارائه روشی مناسب برای برآورد میانگین بارندگی حوضه مورد نظر.....
۹۲.....	۵-۱-۲- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی.....
۹۴.....	۵-۱-۳- برآورد تغذیه سالانه در حوضه کارستی سالدوران.....
۹۴.....	۵-۱-۴- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها.....
۹۴.....	۵-۱-۵- ارزیابی جهت کلی جریان در منطقه.....
۹۵.....	۵-۲- پیشنهادها.....
۹۶.....	منابع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت کلی و راه‌های دسترسی به منطقه ۲
- شکل ۲-۱- تصویر سه بعدی از پلیه لاغرک (برگرفته از نرم‌افزار Google Earth) ۵
- شکل ۳-۱- پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران (آقاناتی ۱۳۸۳) ۶
- شکل ۴-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷
- شکل ۵-۱- تصاویری از سازند سروک در دره مشرف به چشمه پیرغار ۹
- شکل ۶-۱- نمایی از سازند آسماری و طبقات آهکی، روستای ده چشمه، چشمه پیرغار ۱۱
- شکل ۷-۱- رشته کوه سالدوران، تنگ درکش‌ورکش ۱۵
- شکل ۸-۱- مقطع زمین‌شناسی پلیه لاغرک ۱۸
- شکل ۹-۱- مقطع زمین‌شناسی کوه سالدوران ۱۸
- شکل ۱-۲- سازوکار گسل‌ها و نقش آن در تعیین جهت جریان ۲۸
- شکل ۱-۳- نمودار جریان‌ی مراحل تهیه نقشه تغذیه منطقه ۴۰
- شکل ۲-۳- مدل تفهیمی هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تاقدیس سالدوران-زرآب ۴۲
- شکل ۱-۴- موقعیت ایستگاه‌های موجود در منطقه (برگرفته از Google Earth) ۴۴
- شکل ۲-۴- رابطه ارتفاع- بارش ایستگاه‌های مجاور کوه سالدوران- زرآب ۴۶
- شکل ۳-۴- بخش‌های مختلف بارندگی کوه سالدوران- زرآب ۴۹
- شکل ۴-۴- نمایی از چشمه کارستی پیرغار ۵۰
- شکل ۵-۴- هیدروگراف چشمه پیرغار در سال آبی ۹۰-۹۱ ۵۲
- شکل ۶-۴- منحنی فروکش چشمه کارستی پیرغار ۵۳
- شکل ۷-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه پیرغار در سال آبی ۹۰-۹۱ ۵۴
- شکل ۸-۴- نمایی از چشمه کارستی سراب باباحیدر ۵۵
- شکل ۹-۴- هیدروگراف چشمه سراب باباحیدر در سال آبی ۹۰-۹۱ ۵۶
- شکل ۱۰-۴- منحنی فروکش چشمه سراب باباحیدر ۵۷
- شکل ۱۱-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه سراب باباحیدر در سال آبی ۹۰-۹۱ ۵۸
- شکل ۱۲-۴- لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه ۶۰
- شکل ۱۳-۴- لایه مقدار شیب منطقه ۶۱

- شکل ۴-۱۴- لایه جهت شیب منطقه ۶۲
- شکل ۴-۱۵- لایه تراکم خطواره‌های منطقه ۶۳
- شکل ۴-۱۶- لایه تراکم آبراهه‌های منطقه ۶۴
- شکل ۴-۱۷- لایه بارش در منطقه ۶۵
- شکل ۴-۱۸- نمایی از کارن‌های شیاری در منطقه ۶۶
- شکل ۴-۱۹- نمایی از درزه‌های بزرگ انحلال یافته و حفرات انحلالی در منطقه ۶۷
- شکل ۴-۲۰- نمایی از آبروچاله‌ها در منطقه ۶۷
- شکل ۴-۲۱- لایه عوارض کارستی منطقه ۶۸
- شکل ۴-۲۲- ترک در خاک‌های کارستی منطقه بر اثر زهکشی زیر سطحی قابل توجه منطقه ۶۸
- شکل ۴-۲۳- یکی از دره‌های خشک موجود در ارتفاعات سالدوران در حوضه آبگیر چشمه پیرغار ۶۹
- شکل ۴-۲۴- نقشه نهایی تغذیه منطقه ۷۳
- شکل ۴-۲۵- موقعیت چشمه‌های (پیرغار، سراب باباحیدر و باغ‌رستم) اطراف کوه سالدوران-زرآب ۷۵
- شکل ۴-۲۶- موقعیت و میزان تغذیه حوضه‌های آبگیر ۷۶
- شکل ۴-۲۷- موقعیت حوضه آبگیر چشمه پیرغار در Google earth ۷۸
- شکل ۴-۲۸- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر چشمه پیرغار ۷۹
- شکل ۴-۲۹- موقعیت حوضه آبگیر سراب باباحیدر در Google earth ۸۱
- شکل ۴-۳۰- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر چشمه سراب باباحیدر ۸۲
- شکل ۴-۳۱- موقعیت حوضه آبگیر باغ‌رستم در Google earth ۸۲
- شکل ۴-۳۲- نقشه زمین‌شناسی چشمه باغ‌رستم ۸۵
- شکل ۴-۳۳- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت جریان (چشمه پیرغار) ۸۸
- شکل ۴-۳۴- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت جریان (چشمه سراب باباحیدر) ۸۹
- شکل ۴-۳۵- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت جریان (چشمه باغ‌رستم) ۹۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس معادله دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۹۰)..... ۳
- جدول ۱-۲- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های مختلف منطقه بر اساس دوره آماری ۱۰ ساله..... ۴
- جدول ۱-۳- خصوصیات چشمه‌های مهم منطقه..... ۱۷
- جدول ۱-۴- موقعیت و میزان دبی چشمه‌های منطقه..... ۱۷
- جدول ۴-۱- مشخصات ایستگاه‌های بارندگی منطقه..... ۴۷
- جدول ۴-۲- مقایسه بارندگی واقعی و بارندگی محاسبه شده از نمودار ارتفاع-بارش ایستگاه‌های منطقه..... ۴۸
- جدول ۴-۳- مقایسه بارندگی واقعی و بارندگی برآورد شده از معادله (۲-۴) برای ایستگاه‌های منطقه..... ۴۹
- جدول ۴-۴- مشخصات میانگین بارش بخش‌های مختلف منطقه..... ۵۱
- جدول ۴-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی پیرغار..... ۵۳
- جدول ۴-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده چشمه سراب باباحیدر..... ۵۷
- جدول ۴-۷- ارزش‌دهی به لایه‌های مختلف..... ۷۲
- جدول ۴-۸- وزن‌دهی به لایه‌ها..... ۷۲
- جدول ۴-۹- درصد تغذیه سالانه محاسبه شده و مساحت هر رده..... ۷۴
- جدول ۴-۱۰- عوامل تأثیرگذار در جهت عمومی جریان در آبخوان‌های کارستی منطقه..... ۸۷

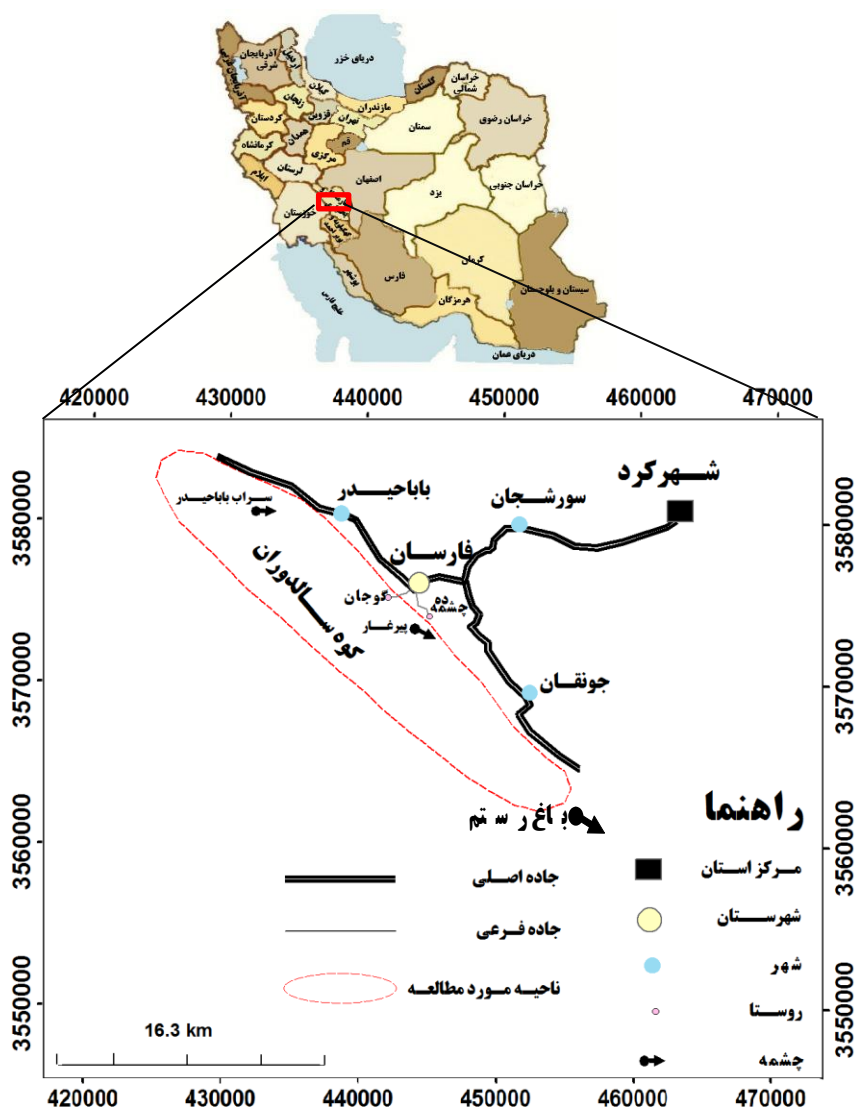
فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

چشمه‌های منطقه‌ی زرآب-سالدوران از سازندهای آهکی کارستی شده سرچشمه می‌گیرند. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی جزء زون زاگرس مرتفع قرار می‌گیرد که در جنوب‌غربی ایران قرار دارد و یکی از مناطق پر آب کشور محسوب می‌شود. در این منطقه، چشمه‌های بسیار بزرگ و پر آبی همچون سراب باباحیدر، باغ‌رستم و پیرغار جریان دارد که منشاء آنها آبخوان‌های کارستی است. با توجه به لیتولوژی این منطقه که عمدتاً آهکی است و نیز شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه، عوارض کارستی شاخصی مانند غار، فضاها، انحلالی، آب‌فروچاله‌ها، پلایه‌های کارستی و دره‌های خشک در مسیر مشاهده می‌شود. عوامل تکتونیکی باعث ایجاد شکستگی‌ها می‌شوند و آب با ورود به این شکستگی‌ها باعث انحلال و در نتیجه توسعه فضاها می‌شود. بنابراین، فعالیت‌های تکتونیکی، که در منطقه نسبتاً شدید است، نقش مهمی در توسعه پدیده‌های کارستی دارند. بارش در این منطقه نسبتاً زیاد است و عمدتاً به صورت برف رخ می‌دهد که نشانگر محیط مساعد برای توسعه کارست می‌باشد. تاکنون در خصوص حوضه آبریز چشمه‌های کارستی ذکر شده و جهت عمومی جریان در آبخوان‌های کارستی کوه سالدوران-زرآب مطالعه‌ای صورت نگرفته است. هدف اساسی از انجام این تحقیق، تعیین میزان تغذیه و تخلیه سالانه از آهک‌های کارستی تاقدیس سالدوران-زرآب و مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه به منظور تعیین حوضه آبریز چشمه‌ها و جهت عمومی جریان آب در آبخوان‌های کارستی منطقه است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه با مساحت حدوداً ۴۴۳ کیلومتر مربع در غرب شهرستان فارس در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه در حفاصل طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی قرار می‌گیرد. فارس، جوقان، باباحیدر از مهمترین شهرهایی هستند که در مجاورت این منطقه قرار گرفته‌اند. شکل (۱-۱) موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. محدوده مورد مطالعه در بخش بالایی حوضه آبریز رودخانه بزرگ کارون واقع شده است.



شکل ۱-۱- موقعیت کلی و راه‌های دسترسی به منطقه

۱-۳- آب و هوای منطقه

جهت بررسی آب و هوای منطقه اقدام به جمع‌آوری پارامترهای هواشناسی از ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک و اقلیم‌شناسی ایستگاه‌های فارسان، جونقان، دشتک، صمصامی، دوپلان و اردل شده است. براساس دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۸۲) میانگین بارندگی ماهیانه، میانگین بارندگی سالیانه برای همه ایستگاه‌ها و به دلیل نبود داده دما، میانگین دمای ماهیانه و سالیانه ایستگاه فارسان و اردل در جدول (۱-۲) اشاره شده است. حدود ۸۰ درصد بارندگی‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان صورت می‌گیرد که قسمت بیشتر آن‌ها به صورت برف می‌باشد. برای تعیین اقلیم، دمارتن (De Martonne) معادله زیر را پیشنهاد می‌کند:

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

P متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر) و T دمای سالانه به درجه سانتیگراد می‌باشد. طبقه بندی دمارتن مطابق جدول (۱-۱) می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه ضریب I برای ایستگاه‌های فارسان و اردل به ترتیب برابر با ۲۳/۶ و ۲۱/۶ بدست آمد که طبق جدول (۱-۱) اقلیم در محدوده هر دو ایستگاه از نوع مدیترانه‌ای می‌باشد.

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس معادله دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۹۰)

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

جدول ۱-۲- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های مختلف منطقه بر اساس دوره آماری ۱۰ ساله

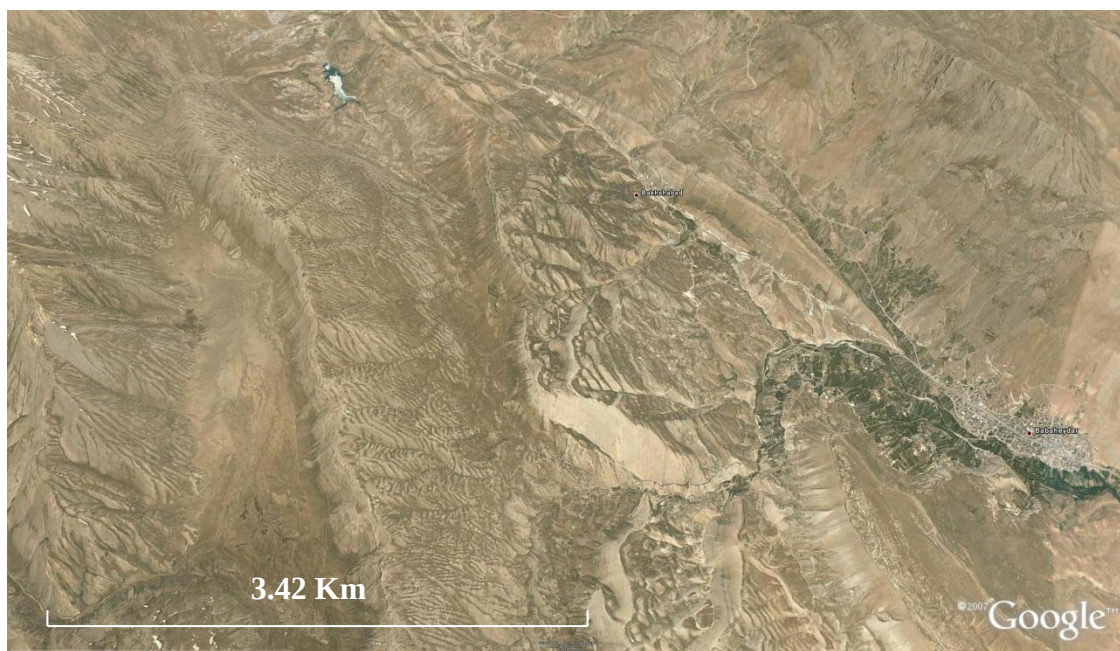
ماه	ایستگاه فارسان*		ایستگاه جونقان	ایستگاه صمصامی	ایستگاه دشتک	ایستگاه دوپلان	ایستگاه اردل*	
	دما C°	بارندگی mm	بارندگی mm	بارندگی mm	بارندگی mm	بارندگی mm	دما C°	بارندگی mm
فروردین	۱۰/۸	۹۷/۵	۱۰۸/۵	۱۵۳/۴	۱۱۹/۸	۸۶/۱	۱۱/۷	۷۷/۶
اردیبهشت	۱۵/۹	۳۲/۸	۴۴/۴	۴۶/۲	۳۶/۴	۲۶/۶	۱۶/۵	۳۴/۴
خرداد	۱۹/۵	۶/۴	۴/۵	۱/۸	۰/۰	۲/۵	۲۲/۹	۰/۷
تیر	۲۲/۸	۷/۰	۰/۱	۱/۴	۰/۰	۰/۰	۲۶/۸	۱/۴
مرداد	۲۸/۸	۱/۵	۰/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۰	۲۷/۴	۱/۰
شهریور	۱۹/۵	۱/۶	۲/۹	۱/۶	۱۳/۵	۲۰/۵	۲۴/۳	۶/۵
مهر	۱۴/۱	۲/۱	۱/۷	۳/۱	۲۳/۵	۱۰/۷	۱۸/۹	۴/۷
آبان	۹	۵۹/۴	۸۵/۳	۹۶/۲	۷۴/۸	۷۲/۲	۱۱/۸	۷۰/۵
آذر	۵/۳	۱۰۸/۴	۱۰۳/۶	۱۲۹/۴	۱۵۷/۵	۹۳/۵	۵/۱	۸۵/۳
دی	۲	۸۶/۵	۸۹/۷	۱۱۹/۷	۱۳۱/۸	۹۶/۲	۴/۲	۹۰/۲
بهمن	۲	۱۰۵/۲	۱۴۳/۷	۲۰۲/۰	۱۵۹/۲	۱۲۶/۱	۴/۰	۱۰۹/۲
اسفند	۷	۵۲/۵	۸۶/۸	۱۳۵/۰	۸۴/۰	۷۱/۷	۷/۳	۵۹/۳
میانگین سالانه	۱۳/۵	۵۵۴/۳	۶۷۰/۹	۸۹۰/۴	۸۰۱/۴	۶۰۶/۱	۱۵/۰۷	۵۴۰/۶

* دما فقط در ایستگاه‌های فارسان و اردل در دسترس بوده است.

۱-۴- زمین ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه

امتداد کوه‌های منطقه مورد مطالعه از شمال غرب به جنوب شرق بوده و از نظر زمین ریخت‌شناسی از سمت غرب به طرف شرق از میزان ارتفاعات کاسته شده و به دره‌های باز و دشت فارسان-جونقان ختم می‌شود. مرتفع‌ترین قله در منطقه، کوه سالدوران با ارتفاع ۳۶۲۱ متر است. به دلیل مرتفع بودن منطقه درجه حرارت به طور معمول پایین بوده و در برخی از نقاط حتی به چندین درجه زیر صفر می‌رسد و اغلب ریزش‌های آسمانی به صورت برف می‌باشد که عامل مؤثر برای پیشرفت کارست است. از نظر تکتونیکی به لحاظ رورانندگی زاگرس و تحت فشار بودن این ناحیه، سیستم درزه‌ها، توسعه قابل توجهی یافته و محیط مساعد برای چرخه آب در سنگ‌های کربناته را فراهم آورده است. لذا منطقه مورد مطالعه برای توسعه کارست مساعد بوده و باعث پدیده‌های زمین ریخت‌شناسی کارستی متنوعی نظیر غار،

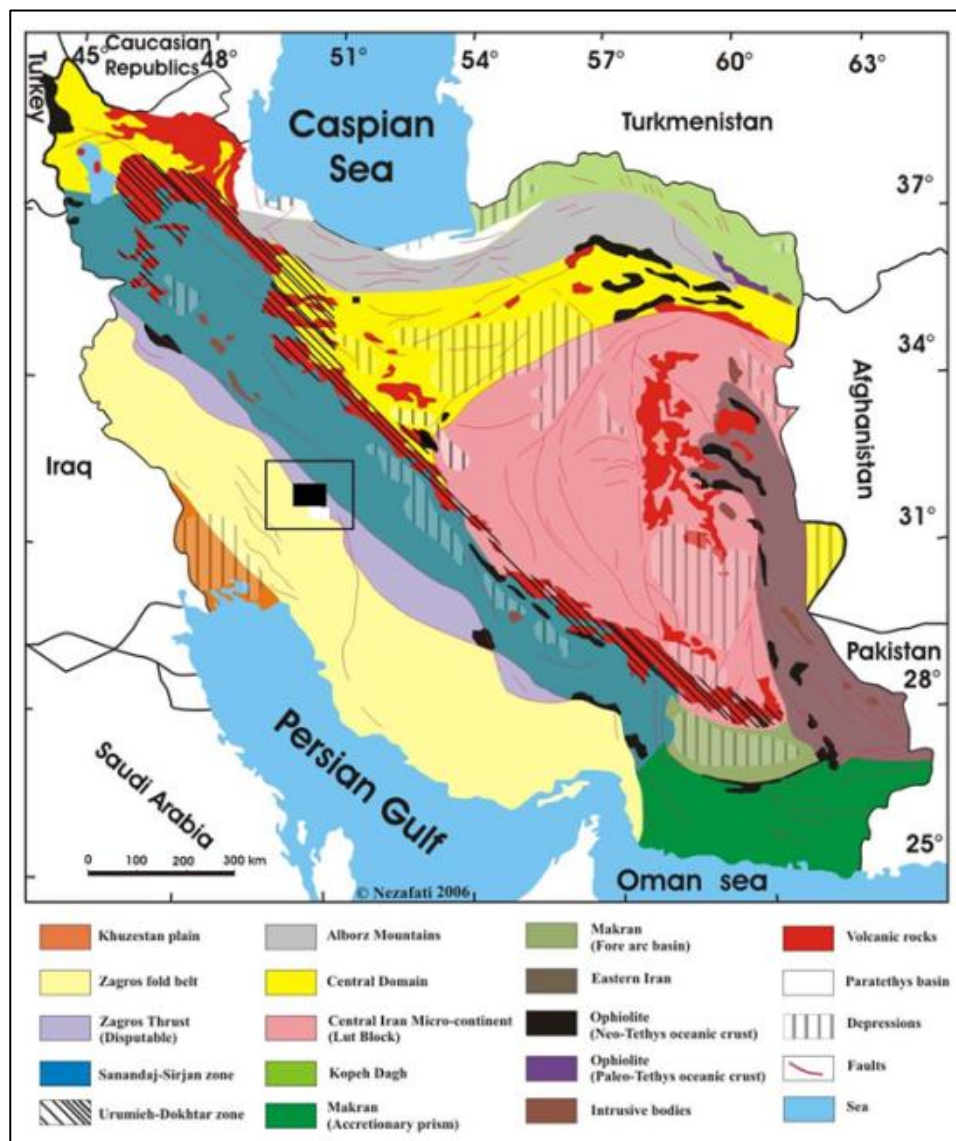
آبفروچاله و چشمه شده است. به طور کلی قسمت بیشتر منطقه دارای تیپ کوهستان بوده که در مجاورت آن تیپ تپه ماهور هم به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. بخشی از منطقه که پلایه لاغرک نامیده می‌شود، دارای تیپ دشت می‌باشد. پلایه لاغرک به صورت مستطیل کشیده‌ای در محیطی بسته قرار گرفته است (شکل ۱-۲). همچنین در بستر پلایه لاغرک، پونر و آبفروچاله‌های متعددی وجود دارد که باعث نفوذ تدریجی آب‌های سطحی می‌شود.



شکل ۱-۲- تصویر سه بعدی از پلایه لاغرک (برگرفته از نرم‌افزار Google Earth)

۵-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به روندهای ساختاری و رخساره‌های موجود در منطقه مورد مطالعه و بر اساس تقسیم‌بندی زون‌های رسوبی- ساختاری ایران توسط اشتوکلین (Stocklin 1968)، ناحیه مورد مطالعه در قسمت زون رسوبی-ساختاری زاگرس مرتفع قرار دارد (شکل ۱-۳). در این منطقه، گسلش بر چین خوردگی غلبه دارد و واحدهای رسوبی متعلق به پالئوزئیک و مزوزوئیک با کنتاکت گسله بیرون‌زدگی دارد. تاقدیس‌ها و ناودیس‌های شکل گرفته نیز به تبعیت از روند غالب رشته کوه زاگرس، شمال‌غرب- جنوب‌شرق می‌باشند.

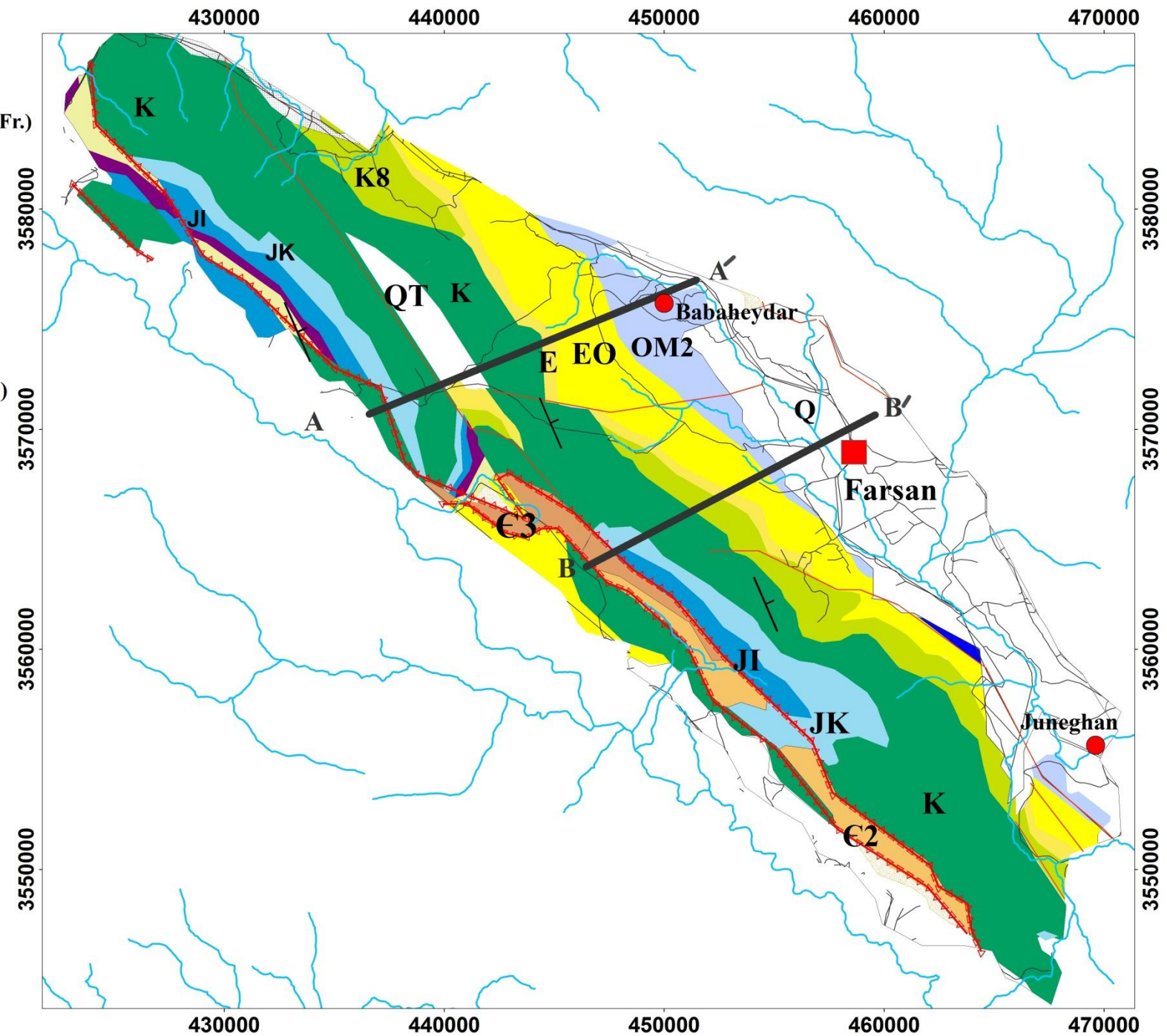
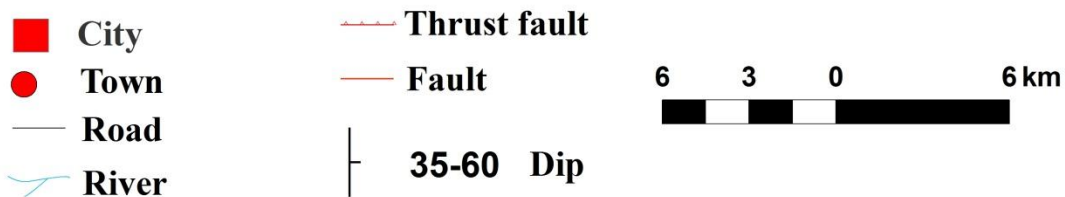
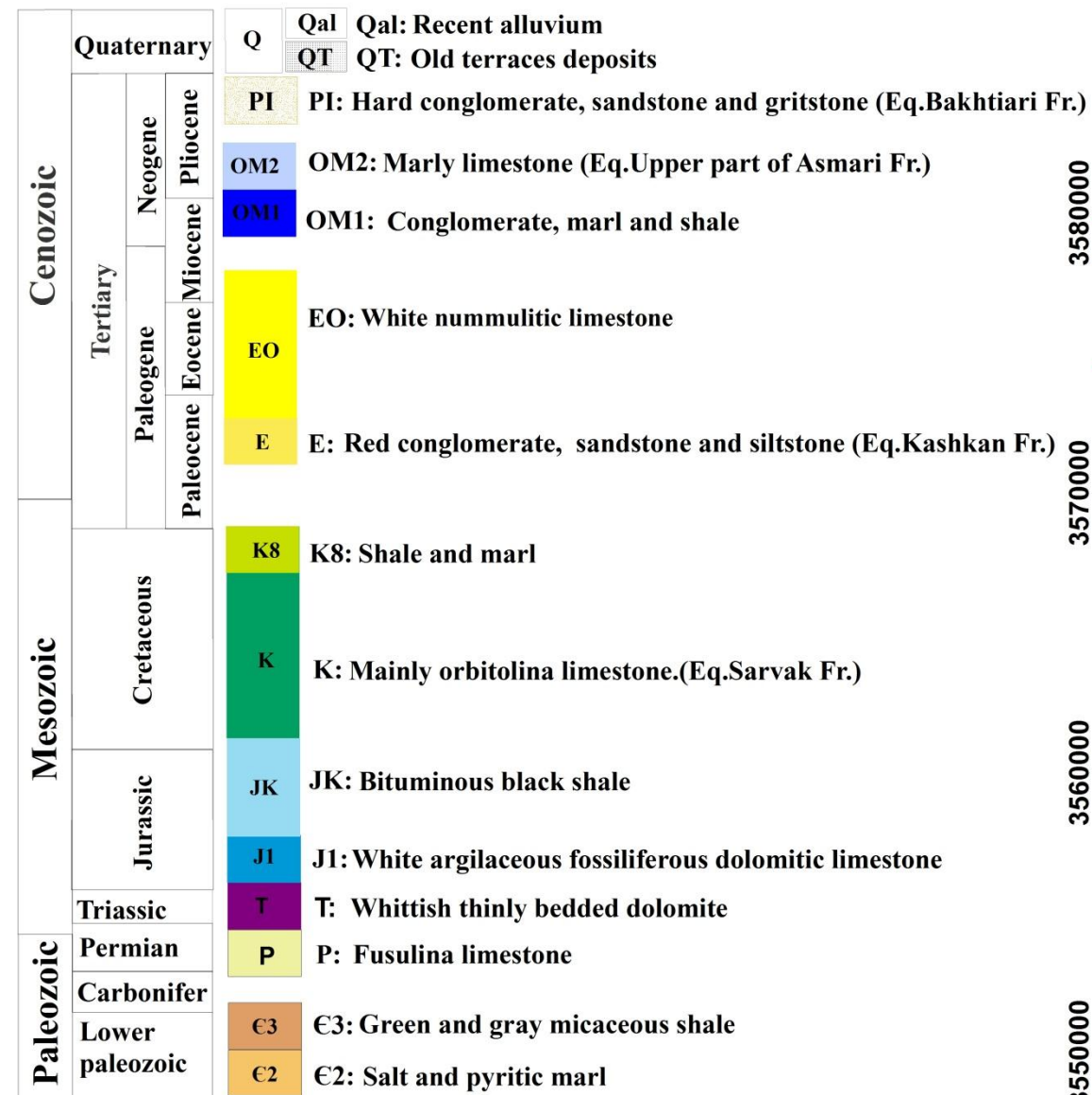


شکل ۱-۳- پهنه‌های رسوبی-ساختاری عمده ایران (آقائباتی ۱۳۸۳)

۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در این بخش به بررسی ویژگی‌های سازندهای رخمون یافته در منطقه مورد مطالعه، از قدیم به جدید پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که نامگذاری سازندها بر اساس نامگذاری موجود در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد (زاهدی و همکاران ۱۳۷۲) صورت گرفته است. شکل (۴-۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

Legend



شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد)

در پهنه زاگرس مرتفع سازندهای موجود در منطقه، با توجه به نقشه زمین‌شناسی و بر اساس مطالعات چینه‌شناسی و بازدیدهای صحرایی شامل موارد زیر می‌باشد.

۱-۵-۲- سازندهای پهنه زاگرس مرتفع در منطقه

۱-۵-۲-۱- سری هرمز

کهن‌ترین واحد منطقه مورد مطالعه سری نمکی هرمز است. این واحد از مارن و سنگ‌های رسی رنگین همراه با نمک و طبقات بهم ریخته‌ای از سنگ‌های آهکی حاوی تریلوبیت، ماسه سنگ و شیل مارنی و سنگ‌های آذرین حدواسط و دگرگونی تشکیل شده است (Stocklin 1972). بیرون‌زدگی این واحد همراه با تشکیل گنبدهای نمکی از پی‌سنگ به سطح می‌باشد. انتشار گنبدهای نمکی در منطقه در حاشیه گسل‌هایی است که تا پی‌سنگ ادامه دارد. از جمله این گنبدها، گنبد نمکی دوپلان است. بیشترین رخنمون این واحد را می‌توان در یال جنوب‌غربی تاقدیس سالدوران مشاهده نمود.

۱-۵-۲-۲- سازند میلا

این واحد از سنگ‌های دولومیتی دارای خرده‌های کرینئید و تریلوبیت و سنگ‌های آهکی روشن در تناوب با شیل قرمز رنگ تشکیل شده است. قسمت انتهایی این سازند از ۹۰ متر شیل سبز زیتونی میکادار تشکیل شده است. بیرون‌زدگی این واحد در منطقه محدود به شمال روستای دشتک و یال جنوب‌غربی کوه سالدوران می‌باشد. سن این واحد به کامبرین میانی - پسین می‌رسد و قابل مقایسه با سازند میلا در ناحیه البرز است. در زاگرس سازند میلا به سه بخش تقسیم شده است (Setudehnia 1975).

۱-۵-۲-۳- سازند دالان

واحدهای پالئوزئیک در سطح منطقه در اثر عملکرد گسل‌های تراستی رخنمون یافته و قاعده آنها اغلب با کنتاکت گسلی است. در سطح منطقه، سازند دالان از جوان‌ترین سازندهای پالئوزئیک است. این واحد سنگی از دولومیت‌های متبلور توده‌ای، سخت و دیواره‌ساز به رنگ خاکستری روشن تا رنگ هوازده قهوه‌ای

تشکیل شده است. سن این واحد به پرمین میانی - پسین می‌رسد و هم‌ارز سازندهای روته و نسن در البرز مرکزی است (آقانباتی ۱۳۸۵).

۱-۵-۲-۴- معادل سازند آهکی سروک

این سازند که مهمترین و گسترده‌ترین سازند موجود در منطقه است، عمدتاً از طبقات کربناته تشکیل شده است. قسمت بیشتر ارتفاعات کوه سالدوران-زرآب از آهک‌های توده‌ای و صخره‌ساز این سازند تشکیل شده است (شکل ۱-۵). این آهک‌ها ضخیم لایه تا توده‌ای هستند. تعدادی زیادی درزه به صورت پراکنده در این سنگ‌ها دیده می‌شود. در نواحی گسله این سازند کارن و آبروچاله‌های فراوانی تشکیل شده است. سن این واحد سنگی مربوط به آلبین-تورونین می‌باشد (مطیعی ۱۳۷۲). این واحد بسیار خرد شده است و به صورت توده‌ای و صخره‌ساز با آثار فراوان کارست دیده می‌شود. پدیده فرسایش، سیمای سنگ‌های آهکی این سازند را ناهموار ساخته و اشکال سطحی و ابتدایی کارستی شدن در بخش‌های مختلف این سازند آشکار است. با توجه به وسعت قابل توجه و توسعه ایی کارست در آن، نقش این سنگ‌ها در تغذیه آبخوان و تشکیل مخازن آبدار بسیار زیاد است. اشکال مختلف کارست نظیر حفرات انحلالی، غارها، آبروچاله‌ها و مجاری بزرگ در ساختار کربناته باعث شده حجم زیادی آب را در خود ذخیره کند.



شکل ۱-۵- تصاویری از سازند سروک در دره مشرف به چشمه پیرغار

۱-۵-۲-۵- معادل سازند کشکان

این واحد در منطقه رخنمون قابل توجهی دارد و به صورت نواری شکل در امتداد گسل‌های اصلی منطقه برونزد یافته است. ماسه سنگ قرمز و کنگلومرا سنگ‌شناسی عمده آن را تشکیل می‌دهد. در بخش‌هایی از این واحد، لایه‌های لنزی تبخیری و گچ نیز دیده می‌شود. رنگ عمومی این واحد به علت وجود اکسید آهن قرمز کم‌رنگ است. سن این واحد در برش نمونه آن در لرستان پالئوسن تا ائوسن میانی است (آقانباتی ۱۳۸۵).

۱-۵-۲-۶- معادل سازند آسماری

برش نمونه‌ی سازند آسماری از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ آهک‌های مقاوم کرم تا قهوه‌ای به همراه میان لایه‌های شیلی است. در برش نمونه قسمت پایینی سازند آسماری وجود ندارد، لذا یک برش کمکی در نواحی جنوب فرو افتادگی دزفول در نظر گرفته شده که بر اساس آن ضخامت سازند مزبور به ۴۲۰ تا ۵۰۰ متر رسیده است. برخی نیز معتقدند که قسمت پائینی سازند آسماری در مقطع نمونه توسط شیل و مارن‌های سازند پابده جانشین شده است. مطالعات مختلف انجام شده، سن سازند آسماری را از الیگوسن تا بوردیگالین ذکر نموده و این سازند را از لحاظ زمان چینه‌ای به سه قسمت آسماری پائینی با سن الیگوسن، آسماری میانی با سن آکی‌تانین و آسماری بالائی با سن بوردیگالین تقسیم کرده‌اند (مطیعی ۱۳۷۲). به دلیل عدم تفکیک‌پذیری این سازند با سازند جهرم در منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت معادل آسماری-جهرم در نظر گرفته می‌شوند. این سازند رخنمون گسترده‌ای در یال شمال‌شرقی ارتفاعات سالدرون - زرآب و نواحی روستای ده‌چشمه و دوپلان دارد (شکل ۱-۶). از جمله آهک‌هایی که به علت خلوص نسبی در بسیاری از مناطق تشکیل آبخوان‌های گسترده‌ای داده است، آهک آسماری می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه خروج چندین چشمه از آهک آسماری بیانگر توسعه نسبی کارست در آن می‌باشد و سیستم‌های درزه و شکاف و سیماهای کارستی نظیر غار و کارن در این سازند گسترش دارد. گسترش

سفره‌های آبدار کارستی در آهک آسماری موجب شده تا این سازند از نظر هیدروژئولوژیکی اهمیت خاصی داشته باشد.



شکل ۱-۶- نمایی از سازند آسماری و طبقات آهکی، روستای ده چشمه، چشمه پیرغار

۱-۵-۲-۷- معادل سازند کنگلومرای بختیاری

این سازند بیشتر از کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل یافته است و با یک ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی سازندهای کهن‌تر جای گرفته است. پراکندگی این واحد سنگی در سطح منطقه گسترده بوده و بیشتر در حاشیه دشت فارسان و جوققان بیرون‌زدگی دارد. دانه‌های کنگلومرای این سازند بیشتر از دانه‌های آواری سازندهای سروک و آسماری برگرفته شده است و سیمان آن آهکی است و از سخت‌شدگی بالایی برخوردار است. سن این سازند در منطقه به پلیوسن و حتی جوان‌تر نیز می‌رسد.

۱-۵-۲-۸- نهشته‌های عهد حاضر

رسوبات عهد حاضر جوان‌ترین نهشته‌های موجود در منطقه را تشکیل می‌دهند و خود شامل نهشته‌های واریزه‌ای آب‌شست‌های دامنه‌ای، نهشته‌های رودخانه‌ای و تراس‌های آبرفتی است. از این میان رسوبات

آبرفتی بستر و حاشیه رودخانه‌ها به دلیل جورشدگی و گردشدگی بهتر و درصد رس کمتر می‌توانند از نفوذپذیری بالایی برخوردار باشند. این واحد بخش اصلی آبرفت دشت‌ها را تشکیل می‌دهد. بر اساس 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).

۱-۵-۳- وضعیت تکتونیک منطقه

۱-۵-۳-۱- گسل‌های منطقه

روند کلی واحدهای ساختمانی در راستای زون اصلی زاگرس (شمال‌غرب-جنوب‌شرق) بوده و امتداد متوسط آنها بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ درجه تغییر می‌کند. شیب‌ها معمولاً متفاوت‌اند و بین ۲۵ تا ۴۰ درصد و یا بیشتر بوده ولی به طور معمول شیب لایه‌بندی به سمت شمال‌شرق می‌باشد. ساز و کار تعداد زیادی از گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه از نوع راندگی و هم روند با راندگی اصلی زاگرس می‌باشند. گسل‌های رورانده که حاصل نیروهای وارده از جنوب‌غرب به صفحه ایران می‌باشند، حین فعالیت و حرکت در طول روراندگی‌های مذکور گسل‌های فرعی زیادی را نیز منشعب و تشکیلات مختلف از جمله سازند سروک را قطع کرده‌اند. این گسل‌ها به نوبه خود در تشدید عمل کارستی شدن سازند سروک نقش مهمی را ایفا می‌کنند.

الف- گسل اصلی زاگرس

این گسل در شمال‌شرقی منطقه و در امتداد کنتاکت یال جنوب‌غربی کوه‌های چوبین و جهان‌بین با دشت فارسان و جوققان جای گرفته است. گسل از نوع راندگی بوده و شیب راندگی آن به طرف شمال‌شرق می‌باشد و سنگ آهک‌های کرتاسه را بر روی نهشته‌های میوسن و کنگلومرای بختیاری رانده است. شواهد زمین‌شناسی حرکت راستگرد این گسل را تأیید می‌کند و به احتمال زیاد همین حرکات موجب جابه‌جایی سنگ‌های تبخیری در زاگرس بوده است. این گسل مرز پهنه زاگرس مرتفع از پهنه سنندج-سیرجان است.

به طوری که سرزمین‌های شمال‌شرقی این گسل پهنه سنج - سیرجان و سرزمین‌های جنوب‌غربی آن پهنه زاگرس مرتفع را تشکیل می‌دهد. مطالعات ریکو (Ricou 1971، به نقل از آقانباتی ۱۳۸۳) نشان می‌دهد که راندگی اصلی زاگرس یک شکستگی تنها نیست، بلکه در حقیقت دو گسل راندگی اصلی است که گاه با هم موازی بوده و گاه بر هم منطبق شده است. ولی گاهی نیز به طور قابل ملاحظه از یکدیگر دور می‌شوند. در محدوده مورد مطالعه این دو راندگی بر هم منطبق است.

ب- گسل زرآب

گسل زرآب یک گسل تراستی با شیب صفحه گسلی به سمت شمال‌شرقی می‌باشد که به موازات تراست زاگرس از حاشیه جنوبی دشت زری عبور کرده و از انتهای دشت به سمت شمال‌شرقی ادامه می‌یابد و به گسل اردل متصل می‌شود. این گسل با طول حدود ۷۰ کیلومتر و راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق، دارای مکانیسم معکوس و راستگرد با شیب صفحه ۷۰ تا ۸۰ درجه و در برخی موارد ۵۰ درجه می‌باشد. جا به‌جایی‌های این گسل موجب شکل‌گیری فرورفتگی‌های ساختاری و پولیه‌های دشت زری و دشت لاغرک واقع در جنوب دشت زری شده است. چشمه‌های موجود در دشت زری در سطح تماس گسلی بین آهک‌های کرتاسه زیرین و مارن‌های کرتاسه بالایی به وجود آمده‌اند. هیچ گونه شواهد لرزه‌ای دقیق از این گسل ثبت نشده ولی در بعضی قسمت‌ها شواهد مورفولوژیکی مبنی بر جابجایی جدید در حدود ۱۰۰ متری آن دیده می‌شود. این گسل از جمله گسل‌های فعال و لرزه‌خیز محسوب می‌گردد.

ج- گسل‌های کوه سالدوران

گسل‌های کوه سالدوران شامل دو راندگی اصلی است که به سوی شمال دو شاخه می‌شود. شاخه شمالی راندگی کوه زرآب را تشکیل می‌دهد. امتداد این گسل‌ها با امتداد راندگی اصلی زاگرس موازی است. به نظر می‌رسد انشعاب راندگی زرآب از گسل اصلی سالدوران به علت عمیق بودن این گسل باشد. لایه‌های تبخیری زیرین تحت تأثیر سازوکارهای مشابه گنبد‌های نمکی، به سبب تشکیل یک سطح ضعیف در این

قسمت، به سمت بالا حرکت نموده و موجب شده لایه‌های رویی نیز تحت تأثیر قرار گیرد. گسل رانده زرآب با سازوکار معکوس بزرگ زاویه و امتداد N310 و طول حدود ۱۰۰ کیلومتر از مهمترین گسل‌های پی‌سنگی منطقه است به طوری که بر اثر عملکرد آن سازند سرگلو و دولومیت‌های ژوراسیک بر روی نهشته‌های سری هرمز رانده شده است. ارتفاعات کوه زرآب ناشی از عملکرد این گسل و در فرادیواره آن شکل گرفته است.

مطالعات ژئوفیزیک در محل تونل انتقال آب سوم کوهرنگ نشانگر آن است که محدوده خردشدگی این گسل به پهنای ۳۰۰ متر می‌باشد. تکتونیک و خردشدگی‌های حاصل از حرکت این گسل باعث ایجاد مسیرهای حرکت آب و شکل‌گیری آبخوان کارستی شده است. به نظر می‌رسد که این گسل یک مرز هیدروژئولوژیک باشد زیرا مطالعات تونل انتقال آب سوم کوهرنگ در محل کوه زرآب نشانگر آن است که تراز سطح آب زیرزمینی در دو طرف صفحه گسل اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. در امتداد این گسل چشمه‌های متعددی وجود دارد. از مهمترین این چشمه‌ها، چشمه مروارید است که به تازگی و با راه‌اندازی تونل سوم کوهرنگ این چشمه خشک گردیده است.

د- مجموعه گسل‌های لاغرک

مجموعه گسل‌های لاغرک در جنوب‌شرقی کوه زرآب و در محل پولیه لاغرک به صورت دو گسل قابل تشخیص است و به سمت شمال‌غربی تبدیل به یک گسل می‌شود. طول این گسل‌ها حدود ۲۰ کیلومتر است و دارای سازوکار معکوس است. شیب سطح گسلش به سوی شمال‌شرقی است و زاویه آن ۵۰ تا ۷۰ است. پیرامون این دو گسل شاخه‌های فرعی متعددی دیده می‌شود که باعث خردشدگی‌هایی با عرض دو تا چهار متر در بین طبقات آهکی شده است.

عملکرد این گسل‌ها در طبقات آهکی کرتاسه و خرد شدگی حاصل از آن و اثر فرسایش انحلالی از مهمترین عوامل تشکیل پولیه لاغرک در جنوب کوه زرآب می‌باشد.

۱-۵-۳-۲- چین خوردگی

الف- رشته کوه سالدوران - زرآب

رشته کوه سالدوران - زرآب در واقع یک تک چین است که دامنه جنوب غربی آن بر اثر عملکرد گسل‌های تراستی تحت تأثیر قرار گرفته و خرد شده است. لذا دامنه جنوب غربی آن عمدتاً از بین رفته است. عمده رخنمون این رشته کوه را طبقات آهکی سازندهای داریان، کژدمی، آسماری، سروک و ایلام تشکیل می‌دهد. این رشته کوه از طویل‌ترین ساختارهای چینهای منطقه می‌باشد و با توجه به گستردگی و توسعه اشکال کارست پیشرفته در آن، نقش مؤثری در تغذیه آبخوان و تشکیل مخازن آبدار دارد (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷- رشته کوه سالدوران، تنگ درکش ورکش

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

در منطقه مورد مطالعه، در قسمت ارتفاعات کوه سالدوران-زرآب، هیچ گونه رودخانه‌ای دیده نمی‌شود. همچنین با وجود میزان بارندگی بالا سیل‌خیزی در دامنه‌های آهکی، معمولاً وجود ندارد که می‌توان دلیل

آن را نفوذپذیری بالای سازندهای آهکی موجود در منطقه و درز و شکافهای فراوان بیان نمود. بنابراین، می‌توان این چنین اظهار نمود که تقریباً تمام بارش‌ها به داخل زمین نفوذ می‌کنند. لازم به ذکر است که در پلایه‌های کارستی معمولاً به علت وجود رسوبات عهد حاضر، جریان‌های سطحی وجود دارد که این جریان‌ها عمدتاً در فصل تر به وقوع می‌پیوندند. در منطقه مورد مطالعه، یک پلایه به نام پلایه لاغرک وجود دارد که در فصل بهار، آبراهه نسبتاً مهمی بر روی آن جریان دارد. همچنین از رودخانه‌های مهم مجاور منطقه می‌توان به رودخانه سراب اشاره کرد که در جنوب‌غربی باباحیدر جریان دارد و منبع اصلی تغذیه آن، چشمه پر آب سراب می‌باشد.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

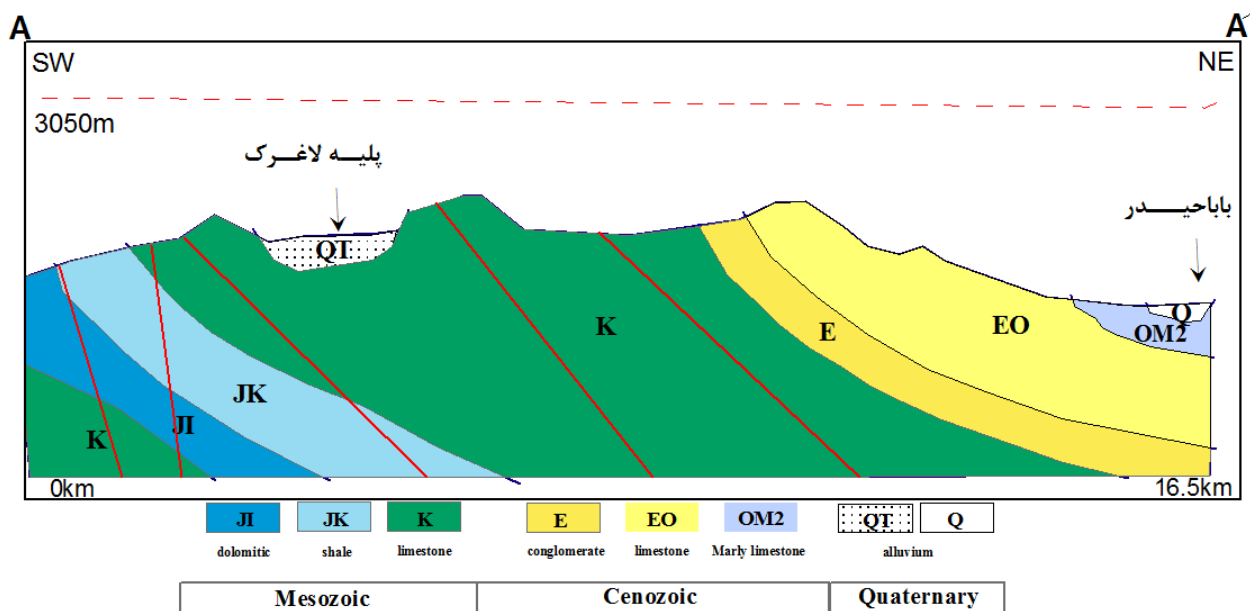
برای بررسی هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه از منابع مختلف نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی و اندازه‌گیری دبی آب چشمه‌ها استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه شامل یک آبخوان کارستی توسعه یافته‌ای است که چندین چشمه مهم کارستی (شامل پیرغار، سراب باباحیدر و باغ رستم) از آن خارج می‌شود. میانگین دبی و هدایت الکتریکی آنها در جدول (۱-۳) آورده شده است. همچنین جدول (۱-۴) موقعیت و خصوصیات آبدهی چشمه‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد. از خصوصیات عمده این چشمه‌ها وابستگی مستقیم به نزولات جوی و تغییرات قابل توجه آبدهی حداقل و حداکثر آنها است. به منظور درک بهتر هیدروژئولوژیکی و عملکرد عوامل ساختمانی و تکتونیکی، دو مقطع زمین‌شناسی از ناهمواری‌های عمده منطقه تهیه گردیده است. محل این مقاطع به گونه‌ای انتخاب شد که ساختمان‌های زمین‌شناسی منطقه، شامل واحدهای چین‌شده و گسل‌ها و چین خوردگی‌ها و واحدهای تراوا و ناتراوا به بهترین شکل به نمایش گذاشته شود و نقش کلی آنها در هیدروژئولوژی منطقه در نظر گرفته شود و همچنین شیب لایه‌ها به سمت شمال‌شرق نشان داده شده است (شکل‌های (۱-۸) و (۱-۹). سازندهای آهکی آسماری و سروک به دلیل ضخامت زیاد و پتانسیل بالایی که برای پدیده انحلال دارند، بهترین و غنی‌ترین سازندهای تراوای منطقه را شامل می‌شوند.

جدول ۱-۳- خصوصیات چشمه‌های مهم منطقه (داده‌ای اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای شهرکرد)

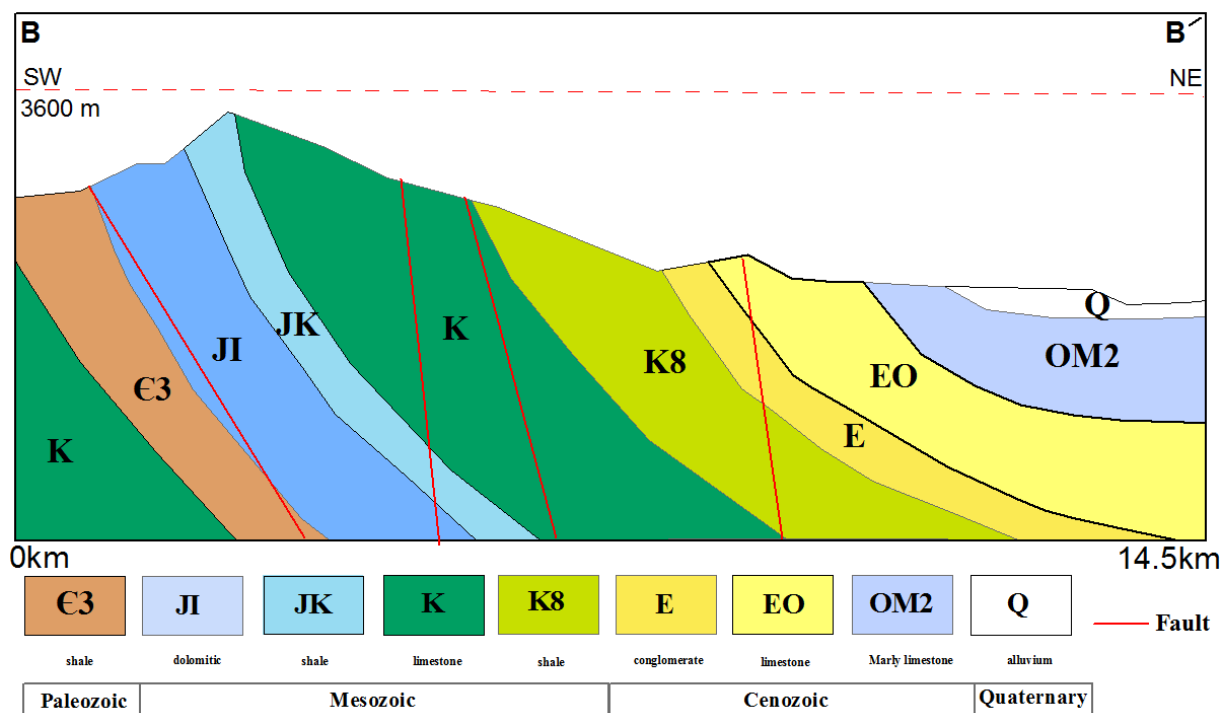
نام چشمه	میانگین آبدهی (m^3/s)	میانگین هدایت الکتریکی ($\mu mhos/cm$)
باغ رستم	۳	۴۷۵
پیرغار	۱/۹	۴۳۸
سرآب باباحیدر	۰/۹۸	۳۴۷

جدول ۱-۴- موقعیت و میزان دبی چشمه‌های منطقه (داده‌ای اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای شهرکرد)

نام چشمه	x	y	ارتفاع (m)	دبی حداقل (lit/s)	دبی حداکثر (lit/s)
نهرآب	۴۲۸۴۹۸	۳۵۷۷۱۹۷	۲۵۱۴	۲۵	۸۰
نعل‌اشکنان	۴۳۷۵۵۰۰	۳۵۷۸۷۵۰	۲۸۳۱	۵۵	۱۵۰
باغ رستم	۴۶۷۵۰۰	۳۵۴۴۵۰۰	۱۹۰۰	۵۰۰	۵۰۰۰
پیرغار	۴۵۷۰۶۱	۳۵۶۴۵۵۳	۲۰۰۳	۴۷۰	۸۶۰۰
مروارید	۴۳۶۰۰۲	۳۵۷۱۶۸۱	۲۵۴۰	۴۲۰	۱۱۸۰
سرآب باباحیدر	۴۴۴۸۷۸	۳۵۷۴۸۵۰	۲۹۰۰	۱۰۰	۳۲۰۰
ماری	۴۵۶۸۵۰	۳۵۶۴۸۰۰	۲۰۷۰	۱۲۰	۶۰۰
سرچاه	۴۵۵۸۴۸	۳۵۶۳۹۰۸	۱۹۶۲	۷۵	۱۶۰
چم گردو چم گرداب راه گوجان	۴۵۷۲۰۰	۳۵۶۶۵۰۰	۱۹۸۰	۶۰	۲۰۰
سودره سی-کوگانک	۴۵۵۳۹۷	۳۵۶۷۲۴۴	۲۲۶۸	۵۰	۱۲۰
سفید سرپیر	۴۴۶۸۲۱	۳۵۶۰۹۷۴	۲۴۰۰	۳۰۰	۱۰۰۰



شکل ۸-۱- مقطع زمین‌شناسی پلینه لاغرک در مسیر AA' (محل مقطع در نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است)



شکل ۹-۱- مقطع زمین‌شناسی کوه سالدوران در مسیر BB' (محل مقطع در نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است)

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته تعیین جهت عمومی جریان

آب زیرزمینی در مناطق کارستی

۲-۱- مقدمه

جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی، با جریان آب در مناطق غیرکارستی تفاوت دارد. این موضوع نشان‌دهنده ویژگی هیدروژئولوژیکی خاص مناطق کارستی است. تقریباً تمام پدیده‌های زیرزمینی و سطحی که در مناطق کارستی وجود دارند، حضورشان در رابطه با سرعت و جهت جریان آب زیرزمینی است. بیشتر اوقات در سفره‌های کارستی جهت اصلی جریان آب زیرزمینی، نسبت به نقطه تخلیه، جهت کلی جریان آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (Ashjari and Raeisi 2006).

عوامل بسیاری از جمله مقدار تغذیه از سطح و پمپاژ از چاه‌ها می‌توانند بر جهت جریان و مقدار جریان آب زیرزمینی مؤثر باشند. در سفره‌های کارستی به دلیل ناهمگن بودن و همچنین توسعه‌ی مجاری انحلالی که به صورت سه بعدی و نامنظم است و محدوده وسیعی از سرعت را در بر دارد، تعیین مقدار و جهت جریان آب زیرزمینی نسبت به محیط‌های دیگر پیچیده‌تر است (Ford and Williams 2007).

تعیین مسیر حرکت آب در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت است. شناخت واقعی و توصیف روشنی از ویژگی‌های جریان و نوع جریان، مسیرهای حرکت آب زیرزمینی و شناخت مناطق ارتباطی و تعیین موقعیت مرزهای جریان و نقاط تغذیه و تخلیه، در سیستم‌های کارستی، پایه ایجاد مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی و ارزیابی از منابع آب‌های زیرزمینی در سفره‌های کارستی می‌باشد (Dongmei and Xingliang 2009).

۲-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی و تعیین نوع جریان

تعیین مسیرهای جریان و منشأ تغذیه انجام شده در سفره‌های کارستی از طریق بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها در طول چند دهه اخیر رواج بسیاری داشته است (Lakey and Krothe 1996). زولت (Zolt 1960) و گامز (Gams 1966) اولین کسانی بودند که تغییرات شیمیایی چشمه‌ها را به نوع جریان آب زیرزمینی ارتباط دادند. گارلز و کریست (Garrels and Christ 1965) عنوان کردند که جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های کربناته به دو دسته جریان باز و بسته تقسیم می‌شوند. پیتی (Pitty 1960) در مقالات خود نشان داد در صورت بالا بودن درجه حرارت زمان تغذیه، میزان فشار CO_2 موجود در خاک در اثر فعالیت زیستی بالا می‌رود، در نتیجه قدرت انحلال آب‌های نفوذ یافته بیشتر می‌شود و باعث افزایش میزان یون کلسیم و سختی آب چشمه را به دنبال دارد. تغییرپذیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به نحوه تغذیه چشمه بستگی دارد. تغذیه می‌تواند به صورت متمرکز از طریق آبروچاله‌ها یا به صورت جریان افشان از سطح سفره انجام شود. به‌طور مثال ورسینگتون و همکاران (Worthington *et al.* 1992) با بررسی تغییرات پارامتر سختی چشمه‌های کارستی در چند کشور مختلف، به این نتیجه رسیدند که تغییرات پارامترها به وسیله نوع تغذیه قابل توجیه و تفسیر است. وایت (White 1998) بر اساس رفتار چشمه‌ها، جریان‌های کارستی را به دو نوع مجرای و افشان تقسیم کردند. وایت و اشمیت (White and Schmidt 1971) پس از یک سال اندازه‌گیری تغییرات درجه حرارت، هدایت الکتریکی، یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و بده تخمینی، تغییرات فصلی را مورد بررسی قرار دادند و چشمه‌های منطقه را بر اساس زمین‌شناسی، خصوصیات فیزیکی جریان، توپوگرافی چشمه‌ها، وجود یا عدم وجود آبروچاله و غار و سایر پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارستی، به جریان‌های افشان و مجرای تقسیم کردند.

۲-۳- برآورد میزان تغذیه در مناطق کارستی

میزان تغذیه تابع عوامل متعددی مانند وجود یا عدم وجود آبروچاله، تعداد (تراکم) درزه و شکاف‌ها، میزان بازشدگی شکاف‌ها، میزان و نوع پرشدگی آنها، درصد و ضخامت پوشش خاک، شیب لایه‌ها، نوع

نزولات جوی و توزیع زمانی بارش آن‌ها، شدت بارندگی، درجه حرارت و پوشش گیاهی می‌باشد و به همین دلیل تعیین دقیق میزان تغذیه در مناطق کارستی بسیار مشکل است. برای برآورد میزان تغذیه به آبخوان‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات صحرایی برای تخمین تغذیه، استفاده شده است.

۲-۳-۱- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای برآورد میزان تغذیه

استفاده از روش سنجش از دور به دلیل اینکه توانایی در نظر گرفتن چندین متغیر را داراست، در بسیاری از امور مفید است. این روش در تخمین تغذیه، هم کم‌هزینه‌تر است و هم می‌تواند در مقیاس وسیع به کار رود. در این روش متغیرهای مختلف به صورت لایه اطلاعاتی استخراج و جهت پردازش‌های بعدی وارد محیط نرم‌افزار GIS می‌گردد. شعبان و همکاران (Shaban et al. 2004) در لبنان مطالعه‌ای به منظور تعیین نواحی با میزان تغذیه بالا انجام دادند و از سنجش از دور و GIS استفاده کردند، فاکتورهایی مانند پوشش گیاهی، لیتولوژی، خطواره‌ها که بر روی افزایش یا کاهش میزان تغذیه مؤثرند را به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط GIS کرده و با وزن‌دهی مناسب یک نقشه نهایی از مقدار تغذیه بدست آوردند که نشان می‌دهد ۵۷٪ از غرب لبنان را نواحی با مقدار تغذیه بالا، در بر می‌گیرد. بالاترین مقدار تغذیه مربوط به نواحی مرتفع است که در آن کارست به خوبی توسعه یافته است. نتایج نشان می‌دهد که در آن منطقه سالانه ۲۴٪ کل میزان بارش تغذیه می‌شود که معادل ۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

۲-۴- تعیین حوضه آبرگیر در سفره‌های کارستی

آبخوان‌های کارستی به دلیل سرعت بالای جریان آب زیرزمینی، بسیار آسیب‌پذیر هستند و باید حفاظت ویژه‌ای از آنها در برابر آلاینده‌ها صورت گیرد. از همین‌رو تعیین حوضه آبرگیر آب‌های زیرزمینی و شناخت مسیرهای عمومی جهت جریان آب زیرزمینی و نقاط تغذیه و تخلیه نقش بسزایی در این امر ایفا می‌کند (Foster et al. 2004). مساحت حوضه آبرگیر و وضع هندسی آبخوان‌های کارستی در زمان و مکان تغییر می‌کنند و به شرایط هیدرولوژیکی بستگی دارند و همین امر باعث تغییراتی در جهت جریان آب زیرزمینی

خواهد شد (رئیزی ۱۳۷۶). با توجه به این که اغلب آب چشمه‌های کارستی برای مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شوند باید حوضه آبرگیر چشمه‌ها در کنترل مداوم باشند و برای جلوگیری از مشکلات آلودگی، در نظر گرفتن جهت جریان آب زیرزمینی و ارزیابی مکان مناسب دفن زباله مهم است (Brewer and Crawford 2005).

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

$$a = \frac{q \cdot A}{Q} \quad \text{معادله (۱-۲)}$$

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

$$Q_B = I \cdot A \cdot P \quad \text{معادله (۲-۲)}$$

در این رابطه A مساحت حوضه آبرگیر بر حسب کیلومتر مربع، P متوسط بارندگی منطقه به متر که با استفاده از رابطه بارندگی-ارتفاع به دست می‌آید، I درصد نفوذ بارندگی و Q_B نیز میزان تخلیه چشمه ناشی از بارندگی‌های سال بیلان می‌باشد.

۲-۵- روش‌های تعیین جهت جریان در مناطق کارستی و کاربرد آنها

برای تعیین جهت جریان آب در آبخوان‌های کارستی از روش‌های متعددی توسط محققین مختلف استفاده شده است. به طور کلی می‌توان این‌چنین اظهار نمود که مهمترین روش‌های تعیین جهت جریان در آبخوان‌های کارستی، شامل آزمایش ردیاب، استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، توموگرافی دو بعدی، روش‌های زمین‌شناسی، بیلان، تغییرات سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با دبی چشمه‌های مجاور، تغییرات دبی چشمه‌ها و ارتباط آن با بارندگی، خصوصیات چشمه‌ها و تغییرات هیدروژئوشیمی آنها، هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها، اندازه‌گیری دما و استفاده از لوگ‌های هیدروژئوشیمی و مدل‌های عددی می‌باشد، در ادامه به چند مورد از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

۲-۵-۱- استفاده از ردیاب

آزمایش‌های ردیابی نقش مهمی در هیدرولوژی کارست و بررسی ارتباط و پویایی مجراها و سرعت جریان آب زیرزمینی دارد. برای مثال اد و کاول (Ede 1973, Cowell 1983) برای بررسی تغییرات ساختار کلی جریان آب زیرزمینی از دما به عنوان یک ردیاب طبیعی استفاده کردند. همچنین آنها بیان کردند که این پارامتر به سادگی و با دقت مناسبی قابل اندازه‌گیری است و مقدار دمای چشمه‌های کارستی از ۱/۴ تا ۱۷/۸ درجه سانتیگراد متغیر می‌باشد. آزمون ردیابی دیگری توسط لیباندگات (Leibundgut 1997) در کوه‌های آلپ در سوئیس به منظور تعیین جهت جریان آب زیرزمینی انجام شد، وی با استفاده از نتایج بدست آمده از ردیابی نشان داد که ساختارهای چین، اثر اصلی روی جریان آب زیرزمینی در سیستم کارستی منطقه دارد. خانلری و همکاران (۱۳۸۵) به منظور اطمینان از عدم فرار آب از مخزن کارستی سد گرین و همچنین تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه، آزمایش ردیابی در حوضه احداث سد انجام دادند در این آزمایش اقدام به تزریق ردیاب اورانین در چشمه‌های اطراف، از جمله چشمه امیر و گمانه‌های RGL1, RGL2 گردید و در ارزیابی نتایج حاصل از ردیابی مشخص شد که مسیر جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات منطقه به طرف مناطق شمال و شمال غرب می‌باشد.

۲-۵-۲- استفاده از داده‌های سنجش از دور

داده‌های سنجش از دور اگر همراه با تجزیه و تحلیل توپوگرافی، زمین‌شناسی ساختمانی و هیدروژئولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد، می‌تواند برای تعیین جهت جریان آب به کار رود. چنین تحقیقی در شمال ویتنام انجام گرفت که با کشیدن نقشه تراکم خطواره‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، جهت جریان آب زیرزمینی و مکان‌های مناسب جهت حفاری چاه مشخص شد (Tam and Batelaan 2010). سولمان و کویل (Solomon and Quiel 2006) با استفاده از سنجش از دور، نقشه‌های ارتفاعی (DEM)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بازدیدهای صحرایی به مطالعه وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه ایرتریا (Eritrea) پرداختند. نتایج نشانگر این است که آب زیرزمینی توسط لیتولوژی و زمین‌شناسی ساختمانی کنترل می‌شود.

۲-۵-۳- توموگرافی دو بعدی

یکی از راه‌های تعیین مسیر حرکت آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی استفاده از روش توموگرافی الکتریکی دو بعدی است. عبدالهی و نذری (۱۳۸۶) با به‌کارگیری توموگرافی دو بعدی در تعیین مسیرهای جریان آب کارست در تاقدیس پاپده در شمال خوزستان به این نتیجه رسیدند که روش توموگرافی دو بعدی می‌تواند ناحیه آبدار سیستم کارستی و مسیر جهت جریان را با قطعیت بالا تعیین کند.

۲-۵-۴- روش زمین‌شناسی

با شناخت دقیق وضعیت زمین‌شناسی یک منطقه از قبیل: وضعیت سنگ‌شناسی، گسل‌ها، چین‌ها، سازندهای مختلف زمین‌شناسی، لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها امکان بررسی جهت جریان آب زیرزمینی وجود دارد. شناخت زمین‌شناسی یک منطقه، با استفاده از نقشه‌ها و مقاطع زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی ضروری است. مهم‌ترین عوامل زمین‌شناسی که مسیرهای آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد لیتولوژی و زمین‌شناسی ساختاری منطقه می‌باشد.

الف - لیتولوژی

لیتولوژی شامل ترکیب کانی‌شناسی، اندازه دانه، و نحوه دانه‌بندی رسوبات و سنگ‌ها می‌باشد که سیستم‌های زمین‌شناسی را آرایش می‌دهند (Freeze and Cherry 1979). لیتولوژی سنگ‌های کربناته، بر میزان تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن آنها تأثیر دارد. نوع سنگ‌شناسی یک منطقه نقش مهمی در حرکت آب زیرزمینی دارد. با توجه به نوع سنگ‌شناسی منطقه فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی هوازگی به طور مداوم بر سنگ‌ها اثر می‌گذارد که موجب افزایش یا کاهش حجم منافذ می‌شود و آب زیرزمینی را از فضاهای خالی موجود در سنگ‌های سخت حرکت می‌دهد.

ب - ساختارهای زمین‌شناسی

عوامل ساختاری نظیر چین‌ها، درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به شمار رفته و راهی برای عبور آب زیرزمینی می‌باشند. این عامل همچنین به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تأثیر می‌گذارد، زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آهک آغاز می‌شود این تأثیر به طور مستقیم در مسیر جریان آب زیرزمینی اعمال می‌شود که به توزیع منافذ بستگی دارد و خود به وسیله تکتونیک، درون سنگ آهک به وجود آمده است (Harold et al. 1998).

۱- نقش چین‌ها در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

ویدی (Weidie 1988) نقش چین‌ها را در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های منطقه مکزیکو (Mexico) مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که بیشترین آبدهی چاه‌ها، مربوط به چاه‌های نزدیک به محور تاقدیس‌ها است و جهت جریان به موازات پلانژ محور تاقدیس‌ها و به طرف پایین تعیین شد. در مناطقی که سنگ‌ها به شدت چین خورده‌اند به دلیل بزرگی دهانه در امتداد درزه‌ها و سنگ‌شناسی مطلوب، مجراها تمایل به جهت‌یافتگی در طول امتداد ساختارها را دارند، اما در مناطقی با کمترین چین‌خوردگی، سنگ‌های تقریباً مسطح، مسیرهای جریان دو بعدی، در طول بخش‌هایی از صفحات

لایه‌بندی شده با توسعه از الگوهای زهکشی بسیار یکپارچه را فراهم می‌کنند (White 2003). تاکدیس‌ها، یکی از مهم‌ترین عوارض کنترل‌کننده مرزهای محلی و گسترش جانبی آبخوان‌ها در مناطق چین‌خورده می‌باشند اشجاری و رئیسی (Ashjari and Raeisi 2006) با بررسی تاکدیس‌های زاگرس به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که لایه‌های نفوذناپذیر در هسته تاکدیس و بالاتر از سطح ایستابی لایه کارستی قرار دارند ارتباط هیدرولیکی بین این دو یال وجود ندارد و آب تغذیه شده به هر یال به طرف پاشنه آن یال حرکت می‌کند و جهت‌گیری جریان در سیستم مجرای در پای هر یال تاکدیس به محل تخلیه بستگی دارد. چین‌ها بر روی هندسه‌ی سفره، میزان ذخیره‌ی آب زیرزمینی و الگوی زهکشی سطحی تأثیر گذارند (Glodscheider and Drew 2007). کریمی و همکاران (Karimi et al. 2007) با تهیه نقشه‌ی چین‌های زاگرس پی بردند که چین‌ها نقش مهمی در الگوی جریان آب زیرزمینی مخصوصاً در سفره‌های کارستی سطحی که کنترل‌چینه‌ای جریان در آنها بالاست، دارند. در سفره‌های کارستی عمیق، نقش چین‌ها محدود می‌شود. در محدوده سطحی کارست، جایی که کف سفره‌ی کارستی بالاتر از سطح اساس هیدرولوژیکی است، آب زیرزمینی در نزدیکی کف سفره و بالای لایه‌ی نفوذناپذیر زیرین جریان می‌یابد. در نتیجه ناودیس‌های پلانچ شده مسیرهای اصلی جریان زیرزمینی را تشکیل داده و تاکدیس‌ها به صورت مرز جداکننده‌ی سفره‌ها عمل می‌کنند. در محدوده عمیق کارست، ناودیس‌ها اغلب به صورت کامل توسط آب‌زیرزمینی اشباع می‌باشند و سرریز آب زیرزمینی می‌تواند از طریق تاکدیس به ناودیس مجاور وارد گردد. بنابراین در این محدوده، جریان عرضی از طریق چین را می‌توان مشاهده کرد. در مواردی که هسته نفوذناپذیر یک تاکدیس بالاتر از محل خروج چشمه‌ها باشد، می‌توان نتیجه گرفت که حرکت آب از یک یال به یال دیگر تاکدیس وجود ندارد (کریمی ۱۳۸۹). ناودیس‌های پلانژدار، اصلی‌ترین مجاری آبگذر زیرزمینی را به وجود می‌آورند و جریان آب زیرزمینی زمانی که سطح اساس آبخوان کارستی بالاتر از سطح اساس سنگ کف باشد از شیب لایه‌ها به سمت خط القعر ناودیس پلانژدار است. تاکدیس‌ها به عنوان مرزهای محلی خط تقسیم آب عمل می‌کنند (Goldscheider et al. 2010).

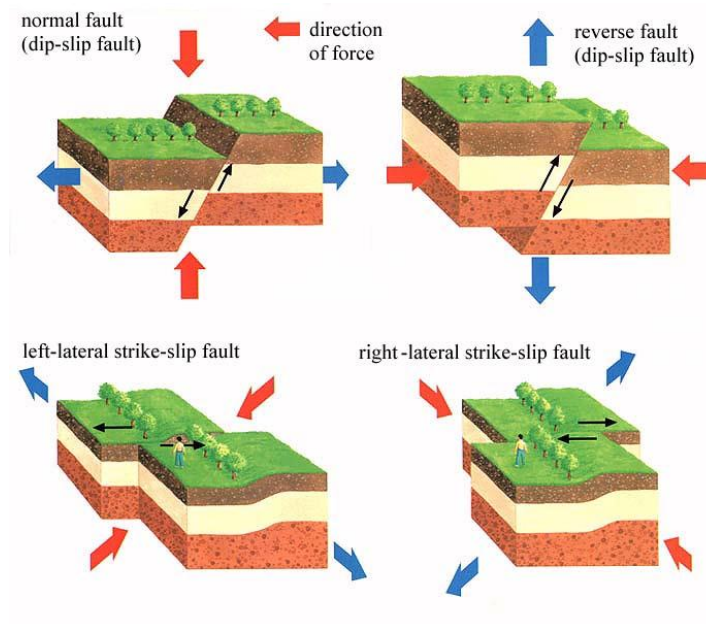
بنابراین بسیار مهم است که در انجام مطالعات هیدروژئولوژی کارست، نقشه‌ای از وضعیت چین‌های منطقه

با ذکر جزئیات آنها تهیه گردد و با تعیین محور چین جهت جریان آب زیرزمینی را پیش‌بینی کرد.

۲- نقش گسل‌ها در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

گسل‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل ساختاری زمین‌شناسی در تعیین جهت جریان آب‌های زیرزمینی هستند. کاستنینگ (Kastning 1977) تحقیقی پیرامون نقش گسل‌ها در جهت جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های آهکی انجام داد. وی سه نقش مثبت، منفی و خنثی برای گسل‌ها در جهت جریان آب زیرزمینی در نظر گرفت: ۱- نقش مثبت گسل در جایی است که بر اثر نیروهای کششی و افزایش شکستگی و ضعف ساختمانی ایجاد می‌شود و در جریان آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند و منجر به افزایش نفوذپذیری محلی می‌شود. ۲- نقش منفی گسل هنگامی است که به دلیل وجود صفحه گسل ناتروا، جلوی جریان آب زیرزمینی را سد کند، طوری که جریان را به سوی دیگر هدایت کند و یا منجر به ظهور چشمه در سطح زمین گردد. ۳- چنانچه وجود گسلی اثری در جهت جریان آب زیرزمینی نداشته باشد، نقش آن گسل خنثی می‌باشد. احمد (Ahmed 1996) از گسل‌ها به عنوان راهنمای اکتشاف آب زیرزمینی در سازندهای آهکی در منطقه مراکش استفاده کرد و نتیجه گرفت که تکتونیک روی هیدروگرافی منطقه تأثیر زیادی داشته و گسل‌ها مسیر عمده جریان برای حرکات جانبی و عمودی آب‌های زیرزمینی هستند. هاموند و همکاران (Hammond et al. 2007) در مطالعه‌ای که با استفاده از درخشان کننده‌های نوری انجام داد، نشان داد که جهت جریان آب زیرزمینی تا حد زیادی توسط گسل‌های منطقه کنترل می‌شود. نقش هیدرولیکی گسل‌ها به سه عامل، بازشدگی عرض صفحه گسل، درصد و نفوذپذیری مواد پرکننده و جابه‌جای گسل‌ها بستگی دارد. مشخصات هیدرولیکی یک گسل می‌تواند از یک قسمت به قسمت دیگر آن متفاوت باشد. مثلاً گسل می‌تواند در قسمتی از طول خود به صورت سد هیدرولیکی عمل کرده و در قسمتی دیگر، دو سفره را به هم متصل نماید (Glodscheider 2007). لی و همکاران (Li et al. 2010) بیان کردند که تعیین نوع گسل در جهت جریان آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد. گسل‌هایی که دارای سازوکار کششی هستند قابلیت بیشتری در تعیین

جهت جریان آب زیرزمینی دارند و گسل‌های دارای سازوکار فشارشی مسیره‌های مناسبی برای تشخیص جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند. گسل‌های نرمال در اثر کشش ایجاد شده در نتیجه امکان دارد به میزان چند سانتی‌متر بازشدگی نشان دهند و بر اثر کلسیت ثانویه و یا برش گسلی پر شوند. گسل‌های معکوس و گسل‌های جانبی در اثر نیروهای فشارشی ایجاد شده و می‌توانند به صورت نفوذناپذیر عمل کنند. گسل‌های تراستی در جهت تغییر وضعیت چینه‌شناسی و به دنبال آن تغییر در جهت جریان آب نقش دارند و بسیاری از مجاری کارستی در امتداد این گسل‌ها ایجاد می‌شوند. به طور کلی نقش شکستگی‌ها در کنترل رژیم آب‌های زیرزمینی بسیار پیچیده بوده و حتی نقش یک نوع شکستگی نیز در کنترل جریان آب ثابت نیست و بستگی به بافت و ساخت سطح آن و یا ویژگی سنگ‌های اطرافش دارد. تحقیقات صورت گرفته در زمینه تأثیر سیماهای ساختاری بر جریان آب‌های زیرزمینی در نواحی کارستی نشان می‌دهد که گسل‌های تراستی و نرمال، درزه‌ها و محور تاقدیس‌ها می‌توانند، جهت عمومی حرکت و مجاری عبور آب زیرزمینی در یک سیستم کارستی باشند. همچنین نقاط خروجی آب چشمه‌ها به وسیله گسل، مرز بین تشکیلات نفوذپذیر و غیرقابل نفوذ و سطح اساس فرسایش جهت کلی جریان را کنترل می‌کنند.



شکل ۱-۲- سازوکار گسل‌ها و نقش آن در تعیین جهت جریان

۳- اثر درزه‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

سطوح جداکننده تکتونیکی نظیر سطوح لایه‌بندی و درزه‌ها و شکستگی‌ها در جهت جریان آب زیرزمینی و توسعه کارست نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌نمایند. درزه‌ها که ناشی از فشارهای تکتونیکی بر روی سنگ‌ها می‌باشند شکستگی‌هایی هستند که دارای جابجایی قابل ملاحظه‌ای نیستند. سطوح لایه‌بندی نیز سطوحی هستند که لایه‌های مختلف چینه‌شناسی را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحات لایه‌بندی نقش مسیرهایی برای نفوذ روبه پایین در ناحیه ودوز را دارند، اما اهمیت بیشتر در ناحیه فراتیک دارند و به دلیل تداوم جانبی بزرگتر آنها است. وقتی شیب تندتر می‌شود بخش‌های صفحات لایه‌بندی می‌تواند مسیره‌های تغذیه را به‌طور فزاینده‌ای فراهم کند (Ford and Williams 2007). کنیز (Knez 1996) در اسلوونی نشان داد که صفحات لایه‌بندی شده و درزه‌ها می‌تواند مسیره‌های پتانسیل حرکت آب زیرزمینی و یا تمرکز آنها، را فراهم کند. از نظر هیدروژئولوژی صفحات لایه‌بندی و درزه‌ها اگر به اندازه کافی باز باشند برای نفوذ توسط آب و تحت فشار گرادیان معقول، به تنهایی برای تعیین مسیره‌های جریان آب با اهمیت هستند (Ford and Williams 2007, Klimchouk and Ford 2000). در صفحات لایه‌بندی مشخص، مجرا در یک محل هیدرولیکی مطلوب شکل گرفته است، این ممکن است درست در زیر سطح آب، ۱۰ متر زیر سطح آب، ۱۰۰ متر یا صدها متر زیر سطح آب باشد (Worthington et al. 2000). شناسایی درزه‌ها اهمیت ویژه‌ای در هیدروژئولوژی سازندهای آهکی دارند زیرا شکستگی‌های واحدهای سنگی، محل انتقال و تمرکز آب‌های زیرزمینی هستند. عوامل ساختاری از جمله درزه و شکستگی‌ها در تشکیل پدیده‌های کارستی و ایجاد مسیره‌های انحلالی زیرزمینی بسیار مؤثر هستند. فرناندس و رودولف (Fernandes and Rudolph 2001) بیان کردند که درزه‌های برشی که تحت فشار باقی می‌ماند چندان مؤثر در انتقال آب نیستند اما درزه‌های کششی برای تعیین جهت و توسعه آب زیرزمینی ارزشمند هستند. زابیدی و فریتاس (Zabidi and Freitas 2006) بیان کردند که هر جا تعداد شکستگی‌ها و ارتباط بین آنها در مناطق کارستی زیاد باشد، احتمال زهکشی هم بیشتر است و بیشترین هجوم آب در شکستگی‌ها خواهد بود. بنابراین احتمال بدست آوردن چاهی با آبدهی زیاد در مکان‌هایی که شکستگی‌های سنگ‌های کربناته زیاد

است بیشتر می‌باشد (Kang and He 2013). صفحه‌های لایه‌بندی نقش اتصال‌دهنده ریز درزه‌هایی که عمل نفوذ عمقی آب در منطقه غیر اشباع را بازی می‌کنند، دارند و هر چه شیب صفحه‌های لایه‌بندی بیشتر باشد در ایجاد مسیرهای جریان آب زیرزمینی و تغذیه کمک بیشتری می‌کند (Singhal and Gupta 1999). بنابراین صفحات لایه‌بندی شده، چین‌ها، درزه‌ها و گسل‌هایی که مسطح و خرد شده هستند به عنوان راهنمای ساختار اصلی، برای جریان آب زیرزمینی تقریباً در همه سنگ‌های کارستی به کار می‌روند. چین‌ها، گسل‌ها و شکستگی در سنگ‌ها اغلب تخلخل و نفوذپذیری سفره را بر عهده دارند و همچنین جهت‌های مسیرهای جریان خاص از آب‌های زیرزمینی را از طریق سیستم کربناته تعیین می‌کنند (Lowe 2000).

ج- چینه‌شناسی

چینه‌شناسی مطالعه توالی سنگ‌ها با توجه به معیارهای مختلف، از جمله مثل سن نسبی سنگ، فسیل‌های آنها یا شناسایی محلی واحدهای سنگ است (Lowe 2000). عوامل چینه‌شناسی که آب زیرزمینی را هدایت می‌کند شامل ضخامت کلی از سنگ‌های کربناته، شیل‌های بین لایه‌بندی، ماسه سنگ‌ها و سنگ‌های دیگر است که می‌تواند به عنوان موانع هیدرولوژیکی عمل کند و همگن بودن سنگ‌های کربناته را نیز در بر می‌گیرد (White and White 2001). بسته به این که تا چه حد جریان آب زیرزمینی توسط چینه‌شناسی کنترل شود، تحت عنوان کنترل چینه‌ای جریان تعریف می‌گردد. میزان این کنترل به هدایت هیدرولیکی سفره و لایه‌های ناتراوای مجاور آن، ضخامت لایه‌های ناتروا و درجه‌ی کارستی شدن وابسته است (کریمی ۱۳۸۹).

د- ژئومورفولوژی

اولین نتیجه‌ی کارستی شدن ژئومورفولوژی خاصی است که مناطق کارستی را کاملاً متمایز می‌سازد. پدیده‌های کارستی بسیار متنوع بوده و هر کدام در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و نقاط تغذیه و

تخلیه نقش دارند. به همین دلیل مطالعه ژئومورفولوژی کارست جزء اولین مرحله از مطالعه کارست می‌باشد.

۱- **دره‌های کارستی:** دره‌های کارستی یکی از رایج‌ترین اشکال ژئومورفولوژیکی در مناطق کارستی است و معمولاً فصلی هستند و حالت دائمی ندارند. دره‌ها می‌توانند در برخی نقاط به عنوان رودخانه آبگیر عمل کنند و در برخی نقاط به شکل آبده آبخوان‌های کارستی منطقه را تغذیه و یا تخلیه کنند. میلانویچ (Milanovic 1988) بیان می‌کند که توسعه‌ی دره‌های کارستی می‌تواند در شناسایی جهت جریان آب زیرزمینی مفید باشد به طوری که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی با جهت دره‌ها هم‌خوانی داشته و دره‌ها در این مناطق به عنوان زهکش عمل می‌کنند.

۲- **پستی و بلندی‌های مناطق کارستی:** پستی و بلندی‌هایی که در مناطق کارستی ایجاد می‌شوند، به صورت جریانی شبیه ریپل مارک قرار می‌گیرد و از روی آن می‌شود جهت جریان در مناطق کارستی را مشخص کرد. پستی و بلندی‌ها بر اثر حرکات ورقه‌ای جریان بر روی سطح سنگ به وجود می‌آیند. پستی و بلندی ناشی از اختلاف بار آبی میان مظهر چشمه با خط تقسیم حوضه است. حوضه‌های بزرگتر نیاز به پستی و بلندی‌های بزرگتر جهت حفظ همان شیب هیدرولیکی قبلی را دارند. در مناطق کارستی با پستی و بلندی کم و در حوضه‌های زهکشی کارستیک بسیار بزرگ، شیب هیدرولیکی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد (White and White 2001). جایی که ذخیره بیشتر است پستی و بلندی محلی به طور نرمال، یک اثر بزرگ روی جهت جریان آب زیرزمینی نشان می‌دهد. این پستی و بلندی محلی است که بالاترین موقعیتی که تغذیه می‌تواند رخ دهد و پایین‌ترین نقطه که در آن تخلیه آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد را تعیین می‌کند (Ashjari 2007).

ه - توپوگرافی

توپوگرافی یک پارامتر پیچیده است که می‌تواند در سیمای بیرونی و یا در ساختارهای داخلی سنگ مانند گسل‌ها و زون شکستگی منعکس گردد (Henriksen et al. 2003).

۱- **ارتفاع:** ارتفاع مبنا می‌تواند بیانگر خروجی سیستم‌های آب زیرزمینی باشد. بنابراین عامل ارتفاع می‌تواند در برونزد منابع نقش مؤثری داشته باشد. کاظمی (Kazemi 2003) نشان داد که برونزد چشمه‌ها با ارتفاع دارای رابطه معنی‌داری می‌باشد، به طوری که بیش از ۲۵ درصد چشمه‌ها در ارتفاع پایین رخنمون داشته‌اند.

۲- **شیب توپوگرافی:** از دیگر فاکتورهای توپوگرافی مؤثر که گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی را تعیین می‌کند شیب توپوگرافی یا شیب سطح زمین می‌باشد. سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب سطح زمین می‌باشد. علاوه بر آن، میزان شیب هم در میزان رواناب حاصله از بارش و هم در میزان نفوذپذیری و انحلال آب باران نقش مؤثری دارد. کاظمی (Kazemi 2003) نشان داد که بین درصد شیب و درصد برونزد چشمه‌های کارستی رابطه تنگاتنگی وجود دارد، به این ترتیب که با افزایش شیب، برونزد چشمه‌های کارستی نیز کاهش می‌یابد و بیشترین تعداد چشمه‌ها در ارتفاع ۲۰-۵ متر واقع می‌باشند.

۲-۵-۵- بیان هیدرولوژیکی

یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین حضور آب زیرزمینی در نقاط مختلف استفاده از بیان و برقراری رابطه بین ورودی و خروجی‌ها می‌باشد. کواکا (Kukacka 2009) در جمهوری چک با استفاده از بیان هیدرولوژیکی و هندسه سنگ‌ها، جهت جریان آب زیرزمینی را مشخص کردند. هدف از این مطالعه، مشخص کردن تمام چشمه‌ها و خروجی از کربنات‌ها به منظور برآورد جهت جریان در سنگ‌های کربناته و ترسیم مناطق تغذیه و تخلیه بود. در این تحقیق جهت جریان آب با استفاده از بیان هیدرولوژی به جای آزمون ردیاب با توجه به تعداد بالایی از نقاط تغذیه و تخلیه و هندسه نسبتاً ساده از کربنات‌ها برآورده شد. بنابراین با مقایسه حجم تخلیه و حجم تغذیه سالانه و برقراری صحیح معادله بیان می‌توان حوضه‌های آبگیر و مسیرهای جریان آب زیرزمینی را مشخص نمود.

۲-۵-۶- چشمه و نقش آن در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان‌های کارستی است که بهره‌برداری از آنها در مقایسه با استحصال آب از طریق حفاری و پمپاژ به مراتب آسان‌تر و کم هزینه‌تر است. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده، لذا تجزیه و تحلیل، تغییرات و نحوه فروکش دبی، همچنین غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم باشد و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن و مرزهای هیدرولوژیکی آن کمک نماید (رضایی ۱۳۷۹). چشمه‌ها شامل مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زیر زمین بوده که به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند و معمولاً به عنوان زهکش اصلی سفره‌های کارستی محسوب می‌شوند. با توجه به مطالعات انجام شده توسط وایت (White 1998) تغییرات فصلی دمای آب چشمه‌ها، معیاری است که در تشخیص مسیرهای جریان آب و نوع جریان (انتشاری و مجرای) به کار گرفته می‌شود. در سیستم‌های انتشاری به دلیل طولانی بودن زمان ماندگاری آب، تغییرات چندانی در درجه حرارت آب مشاهده نمی‌شود. چشمه‌های جاری از سفره‌های آبدار کارستی نشانه بارزی از تأثیر هیدرولوژی آب زیرزمینی بر روی سطح زمین می‌باشند (Desmarais and Rojstaczer 2002). یکی از شناخته‌ترین روش‌های بررسی چشمه‌های کارستی تحلیل سری زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه می‌باشد (Kovacs 2005). به خاطر در دسترس بودن اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و دبی، این دو متغیر از طریق روش‌های متعددی برای بررسی سیستم‌های کارستی مورد توجه قرار گرفته‌اند. موقعیت و شکل چشمه‌های کارستی عمدتاً به وسیله‌ی توزیع سنگ‌های کارستی و الگوهای مسیرهای جریان اصلی آب، در سنگ تعیین می‌شود (Karimi et al. 2005).

۲-۵-۷- اثر سطح اساس فرسایش در توسعه کارست و نقش آن در جهت جریان

موقعیت عمودی چشمه‌ها نسبت به مخزن، ارتفاع سطح آب زیرزمینی در خروجی آبخوان کارستی را کنترل می‌کند. در حالی که هدایت هیدرولیکی و میزان آب عبوری از داخل سیستم، شیب سطح ایستابی

در بالادست چشمه را کنترل می‌کند و تغییرات آن تابع میزان تخلیه است، اختلاف بین ارتفاع چشمه و سطح ایستابی در بالادست، میزان ارتفاع مؤثر موجود در سیستم را مشخص می‌کند که از روی آن میزان انرژی موجود برای چرخش آب در سیستم بدست می‌آید. بنابراین نقش چشمه‌ها و محل خروج آنها در سیستم، بسیار مهم می‌باشد. لگران (Legrand 1983) معتقد است که سطح اساس فرسایش در فهم انحلال و توسعه کارست مهم می‌باشد. موقعیت سطح اساس فرسایش فاکتور اساسی برای تعیین جهت حرکت آب زیرزمینی در کارست می‌باشد. هر چند لیتولوژی، گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی در تعیین جهت حرکت آب زیرزمینی نقش زیادی دارند، اما عملکرد آنها به اندازه سطح اساس فرسایش مهم نیست (Stringfield and Legrand 1969, Ford and Williams 1989, Milanovic 2004, White 2001). برای مثال اگر آبی که به سمت سطح اساس فرسایش در حرکت است به یک ساختمان زمین‌شناسی که به عنوان مانع عمل می‌کند برخورد کند ممکن است مسیر آن به صورت موضعی تغییر کند، اما ارتباط نهایی با سطح اساس فرسایش را قطع نخواهد کرد. سطح اساس فرسایش به سه دسته تقسیم می‌شود: ۱- سطح اساس فرسایش مطلق که همان سطح آب آزاد دریا می‌باشد. ۲- سطح اساس فرسایش اصلی که شامل رودخانه‌های بزرگ بوده و اغلب به دریا می‌ریزند. ۳- سطح اساس فرسایش محلی شامل پولیه‌های کارستی، رودخانه‌های نواحی مرتفع، غارهای بزرگ و مواردی از این قبیل می‌باشد. از نظر توسعه کارست این نوع از سطح اساس بسیار مهم است زیرا تأثیر زیادی بر تنظیم و تکامل فرایندهای کارستی دارد (Milanovic 2004 و سیادتی ۱۳۷۶). تغییر در سطح اساس فرسایش، اثر هیدروژئولوژیکی مهمی در پی خواهد داشت. پایین آمدن سطح اساس در اثر بالا آمدگی تکتونیکی یا پسرفت دریا، باعث توسعه رو به پایین شبکه‌های جدید کارستی می‌گردد. هنگامی که سطح اساس در اثر فرونشست زمین یا بالا آمدن آب دریا، بالا می‌آید، بخشی از مجاری، توسط رسوبات بسته شده و قسمت پایین سیستم کارستی غیر فعال می‌شود، در نتیجه آب زیرزمینی تا سطح اساس جدید بالا می‌آید (Bakalowicz 2005).

به منظور شناسایی نقش تغییر سطح اساس فرسایش بر روی محل خط تقسیم آب زیرزمینی، مطالعه‌ای در تاق‌دیس‌های آهکی موجود در دریای مدیترانه انجام شد. این مطالعه نشان داد که ساختارهای زمین‌شناسی با کنترل محل تغذیه، توزیع نفوذپذیری و همچنین با تعیین هندسه کف سفره، کنترل

کننده‌ی اصلی محل خط تقسیم آب زیرزمینی هستند و در غیاب این عوامل، محل خط تقسیم آب زیرزمینی در اثر تغییرات سطح اساس تغییر می‌کند (Yechieli *et al.* 2009).

از مطالعات گذشته که درباره روش‌های تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و پارامترهای مؤثر بر آن آورده شده، چنین استنباط می‌شود که برای تعیین جهت جریان آب زیرزمینی پارامترها و عوامل تأثیرگذار زیادی نقش دارند و روش‌های زیادی برای تعیین جهت جریان وجود دارد، اما اینکه پارامترهای اصلی در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی کدام باشند و یا چه روشی استفاده شود، به شرایط زمین‌شناسی منطقه، تأثیرگذاری بیشتر هر کدام از این پارامترها و موجود بودن داده‌های مورد نیاز در هنگام تحقیق بستگی دارد.

فصل سوم: روش انجام کار

هدف اصلی این تحقیق، مطالعه جهت کلی جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی سالدوران، یکی از مهمترین مناطق کارستی ایران در استان چهارمحال و بختیاری است. به منظور انجام چنین مطالعه‌ای، از روش‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. مراحل مطالعات و بررسی‌های انجام شده به شرح زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مرتبط با موضوع مورد تحقیق
- بازدیدهای صحرایی از منطقه و شناسایی عوامل مؤثر بر تغذیه، جهت جریان و عوارض کارستی
- مطالعات زمین‌شناسی
- تهیه نقشه‌های مورد نیاز در منطقه
- مطالعات هیدروژئولوژی و هواشناسی
- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر تغذیه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10، Google Earth و ...
- تحلیل هیدروژئولوژی منطقه و جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی
- تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز منطقه

جمع‌آوری آمار و اطلاعات در هر منطقه اولین قدم در شناسایی و تعیین روش مطالعه و بررسی می‌باشد. مهم‌ترین آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده شامل آمار هواشناسی منطقه (دما و میزان بارندگی)، آمار دبی

روزانه و ماهانه چشمه‌ها و آمار اطلاعات اندازه‌گیری شده خصوصیات کمی چشمه‌ها در محل نمونه‌برداری یا آزمایشگاه، می‌باشد. این آمار به ترتیب برای بررسی تعیین اقلیم منطقه، برآورد بارندگی منطقه، تحلیل منحنی فرود چشمه‌ها و تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- بازدیدهای صحرایی

بازدید صحرایی به عنوان بهترین روش جهت شناسایی و ارزیابی عوارض مختلف زمین‌شناسی می‌باشد. با بازدیدهای صحرایی در منطقه مورد مطالعه، عوارض مهم کارستی (آب‌روچاله، کارن و حفرات انحلالی) و همچنین روند عمومی این پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در بازدید از منطقه واحدهای سنگ چینه‌ای منطقه، مورد شناسایی قرار گرفت و مشخص گردید که سازند آهکی سروک در منطقه بدنه اصلی آبخوان کارستی را تشکیل می‌دهد. همچنین جهت عمومی شیب لایه‌ها، وجود یا عدم وجود اپی‌کارست در منطقه، گسل‌های مهم و دره‌های خشک مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۳- مطالعات زمین‌شناسی

هدف اصلی از بخش مطالعات زمین‌شناسی، شناخت و ارزیابی عوامل زمین‌شناسی بر روی سیستم هیدروژئولوژیکی در مناطق کارستی می‌باشد. از آنجا که نقشه هیدروژئولوژیکی بر اساس نقشه زمین‌شناسی تهیه می‌شود، نقطه شروع در بررسی‌های کارستی، شناخت زمین‌شناسی دقیق از منطقه است. از آنجا که هدف از مطالعه حاضر، تعیین جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد، بنابراین لازم است وجود لایه‌های ناتروا و تراوا، وضعیت هندسی و ذخیره پتانسیل، مشخص گردد. در این بخش لیتولوژی، توالی رسوبی و گسترش سازندها، موقعیت تکتونیکی و تأثیر زمین‌شناسی و تکتونیک بر روی ژئومورفولوژی و ویژگی‌های کارستی ناحیه مورد مطالعه، مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳-۴- تهیه نقشه‌های مورد نیاز در منطقه

نقشه‌های زمین‌شناسی با دقت کافی یکی از مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به نتایج حاصله می‌باشد. در نقشه‌های زمین‌شناسی، لیتولوژی و ساختارهای زمین‌شناسی از پارامترهای مهم مؤثر بر آب‌های زیرزمینی می‌باشد. برای تعیین واحدهای لیتولوژی از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد (زاهدی و همکاران ۱۳۷۲) استفاده شده است. اصلاحات بر روی نقشه، با بازدیدهای صحرایی و استفاده از نرم‌افزار Google earth انجام گردید.

۳-۵- مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی

هدف از مطالعات هیدرولوژیکی بدست آوردن داده‌ها و اطلاعات لازم جهت محاسبه بیلان کمی آب در قسمت‌های مختلف منطقه می‌باشد. در بخش هیدرولوژی نیاز به وجود آمار بارندگی و همچنین نمودار ارتفاع-بارندگی جهت محاسبه میانگین بارندگی در منطقه مورد مطالعه بود که در این قسمت از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری و همچنین اطلاعات اداره هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای برآورد بارندگی در منطقه، معادله $P=a+b \times h+c \times 1/L$ ارائه شد. در این معادله P بارندگی نقطه مورد نظر بر حسب میلی‌متر، h ارتفاع بر حسب متر و L فاصله نقطه مورد نظر از محور مرتفع زاگرس بر حسب کیلومتر و a ، b و c ضرایب ثابتی هستند که با کمک روش‌های آماری مختلفی می‌توانند برآورد شوند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضرایب معادله فوق‌الذکر برآورده شده و معادله پیشنهادی به صورت زیر استخراج گردید:

$$P=0.131 \times h + 2090.131 \times (1/L) + 292.32 \quad \text{معادله (۳-۱)}$$

۳-۶- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین میزان تغذیه

کارهای انجام شده در این مرحله شامل تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و وزن‌دهی و هم‌پوشانی آنها می‌باشد، که به اختصار توضیح داده می‌شوند (شکل ۱-۳). برای انجام این مرحله از این تحقیق ابتدا

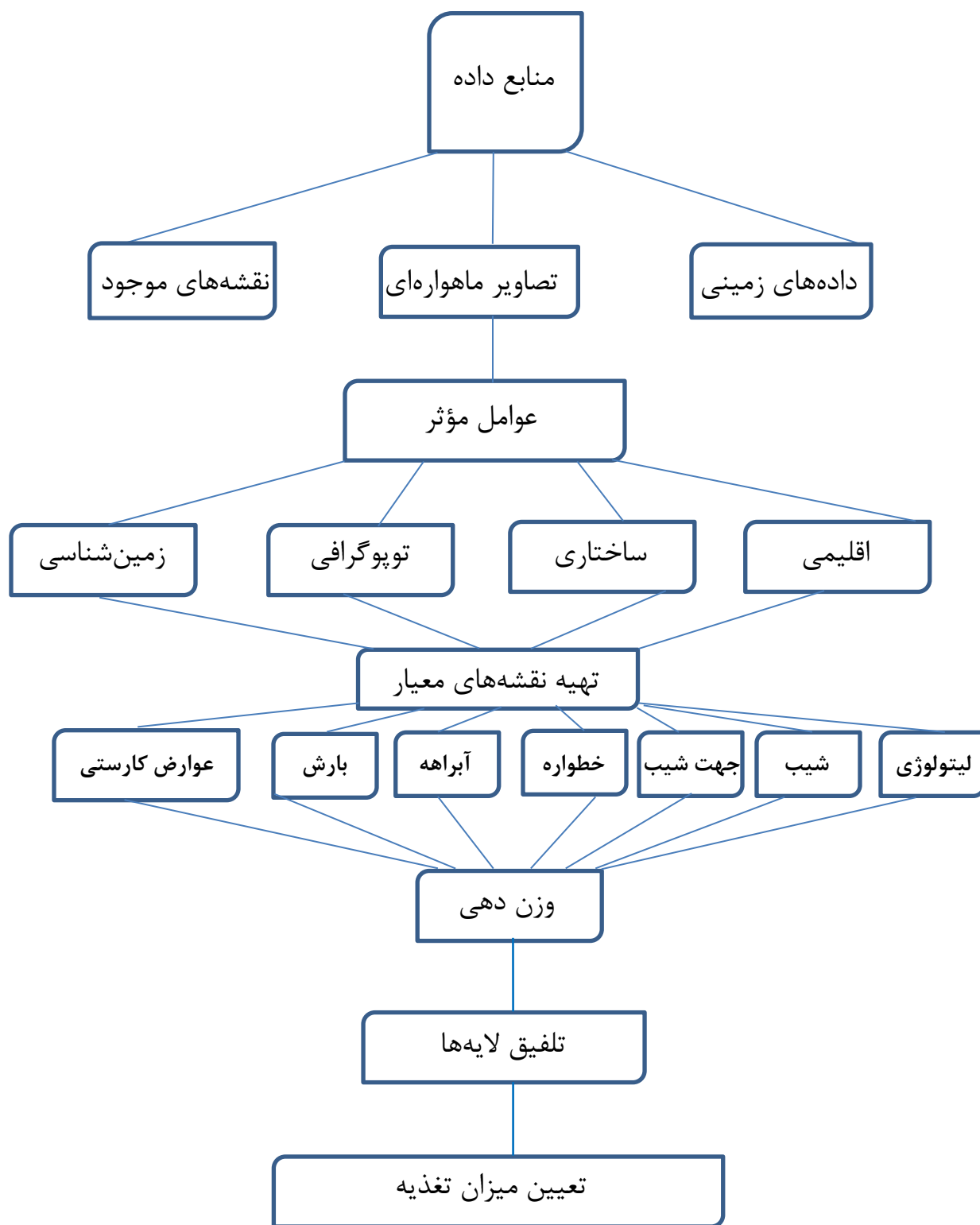
لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، شیب، جهت شیب، بارش، تراکم خطواره، تراکم آبراهه و عوارض کارستی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه تهیه شدند و با اعمال وزن‌های مناسب میزان تغذیه در منطقه بدست آمد. در زیر نحوه تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای این تحقیق شرح داده شده است.

۳-۶-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی لازم است اطلاعات جمع‌آوری شده دارای فرمت قابل قبول برای ورود به محیط نرم‌افزار Arc GIS باشند. اطلاعات تصویری مانند نقشه‌ها پس از اسکن نمودن با فرمت JPEG و سایر اطلاعات آماری با فرمت اکسل (Xls) وارد محیط نرم‌افزار شده است. سپس با توجه به نقشه‌های پایه و آمار موجود اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی شد. تولید لایه‌های اطلاعاتی از لایه‌های ورودی، مرحله دوم کار است. لایه‌های مورد نیاز که باید ایجاد شوند شامل لایه اطلاعاتی جهت شیب (Aspect)، مقدار شیب (Slope)، لیتولوژی، عوارض کارستی مهم، تراکم شکستگی‌ها (Density)، تراکم آبراهه‌ها و مقدار بارش می‌باشند.

۳-۶-۲- طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی

مرحله بعد از ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، ترکیب لایه‌های ایجاد شده است. جهت ارزیابی مقدار تغذیه در منطقه لازم است لایه‌هایی که طبق عوامل مختلف مؤثر بر تغذیه تعیین شده‌اند را به یک مقیاس واحد تبدیل نمود. مقیاس‌بندی این لایه‌ها براساس نظرات کارشناسی است و لایه‌های اطلاعاتی به نسبت فواصل مساوی طبقه‌بندی می‌شوند که بیانگر این است که هر موقعیت مشخص (هر پیکسل) تا چه میزان برای تغذیه مناسب می‌باشد. ارزش‌های بالاتر به گروه‌هایی داده می‌شود که دارای اهمیت بیشتر در تغذیه هستند.



شکل ۳-۱- نمودار جریان‌ی مراحل تهیه نقشه تغذیه منطقه

۳-۶-۳- امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی

از مهم‌ترین مراحل کار تعیین اهمیت نسبی پارامترهای مؤثر در تغذیه و وزن‌دهی مناسب به هر یک از آن‌ها می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد. که در این تحقیق بر اساس دانش کارشناسی یا کارشناس محور صورت گرفت، که مبتنی بر دانش و تجربه کارشناسان است.

۳-۶-۴- همپوشانی و تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه معیار

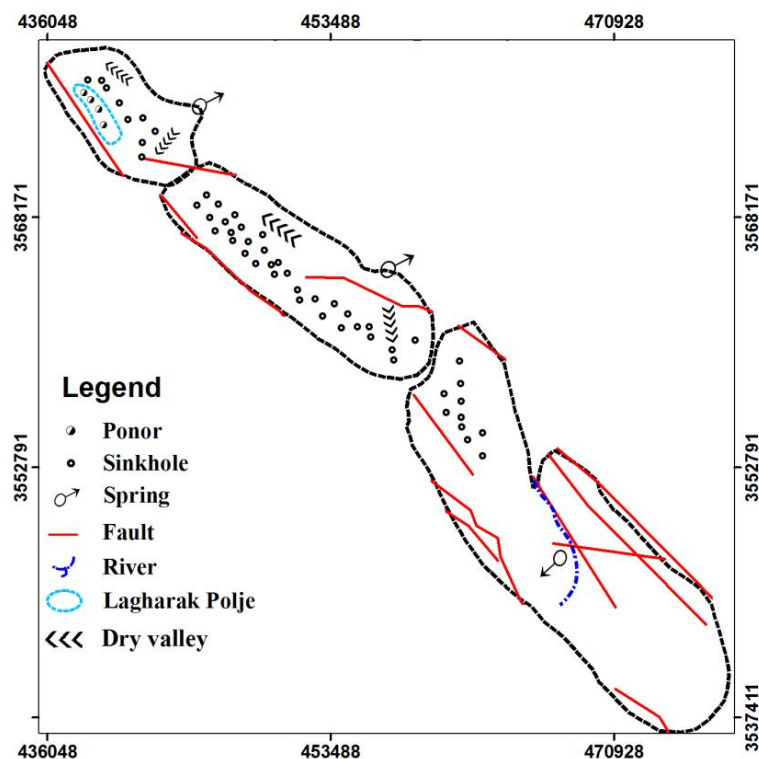
روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مطالعات مکانیابی وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر پایه داده‌ها و به عبارت دیگر داده محورند و برخی دیگر از روش‌ها براساس دانش کارشناسی یا کارشناس محور هستند. روش اول (داده محور)، در مدل‌هایی مانند تجزیه و تحلیل شبکه عصبی استفاده می‌شوند. در مدل‌های فازی بیشتر از روش کارشناس محور استفاده می‌شود که مبتنی بر دانش و تجربه کارشناسان است. در این مطالعه از نظر کارشناسی استفاده شده است. جهت اعمال تحلیل‌های تصمیم‌گیری، ارزش‌های موجود در نقشه معیار تغییر داده می‌شود و تبدیل به واحدهایی می‌شوند که قابل مقایسه باشند. به عبارت دیگر جهت تلفیق لایه‌ها بایستی مقیاس معیارها یکسان باشند. وزن هر معیار نشان‌دهنده میزان اهمیت و ارزش آن معیار نسبت به سایر معیارها در عملیات مکانیابی است، با توجه به اینکه میزان تأثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت است، اهمیت این مرحله از کار، قبل از تلفیق نقشه‌های معیار مشخص می‌گردد.

۳-۶-۵- وزن‌دهی کارشناسی

در این روش تصمیم‌گیرنده وزن معیار را براساس نظر کارشناسی در یک مقیاس مشخص برای مثال صفر تا ۱۰۰ تخمین می‌زند. در این روش از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود این ۱۰۰ امتیاز را بین معیارهای مختلف تقسیم نماید. امتیاز صفر به معنی صرفه‌نظر از آن معیار و امتیاز ۱۰۰ برای معیاری به کار می‌رود که اگر قرار بود فقط یک معیار برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شد، همان یک معیار مورد توجه قرار می‌گرفت.

۳-۷- تحلیل هیدروژئولوژی منطقه و جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی

جهت تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان کارستی، تعیین نوع جریان، محاسبه حوضه آبریز چشمه‌های کارستی پیرغار، سراب باباحیدر و باغ‌رستم که خروجی اصلی آبخوان کارستی هستند و همچنین تفسیرهای هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمی آبخوان کارستی، این سه چشمه، به عنوان چشمه معرف انتخاب شدند. سپس جهت رسم آبنمود سالانه این چشمه‌ها از آمار اندازه‌گیری دبی استفاده گردید. بررسی هیدروژئولوژی به منظور ارزیابی جهت کلی جریان و تعیین حوضه آبریز چشمه‌های کارستی ذکر شده در منطقه انجام شد و نقشه هیدروژئولوژیکی منطقه تهیه شده است (شکل ۳-۲). چشمه‌های هر منطقه به عنوان سطح اساس فرسایش محلی آن محدوده عمل می‌کنند. حوضه آبریز هر چشمه با استفاده از میزان تغذیه بدست آمده در منطقه و با توجه به دبی خروجی سالانه از چشمه‌ها تعیین شد. در نهایت با توجه به شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی حوضه آبریز هر چشمه، جهت جریان آب زیرزمینی در هر کدام از حوضه‌های آبریز تعیین شده است.



شکل ۳-۲- مدل تفهیمی هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تافدیس زر آب-سالدوران

فصل چهارم: بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی کوه زرآب - سالدوران

در این فصل به منظور تعیین جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی و تعیین نوع جریان، ابتدا با بررسی بارندگی منطقه، سعی بر آن شد تا شناخت بیشتری نسبت به منطقه و شرایط هیدرولوژیکی منطقه پیدا شود تا بتوان از نتایج بدست آمده در معادله بیلان استفاده گردد. برای این منظور دو پارامتر ارتفاع و فاصله طولی از محور زاگرس به عنوان بهترین حالت‌های ممکن برای برآورد بارندگی در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد اقدام به تفسیرهای هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی پیرغار و سراب باباحیدر که خروجی‌های اصلی آبخوان کارستی تاقدیس سالدوران می‌باشند، شده است. سپس جهت رسم آبنمود سالانه این چشمه‌ها از آمار اندازه‌گیری‌های دبی استفاده گردید و با استفاده از هیدروگراف تولید شده و روش‌های مشخصی که در تجزیه و تحلیل آن وجود دارد، خصوصیات هیدروژئولوژیکی تفسیر شد.

در مرحله بعد سعی شده است با استفاده از روش‌ها و اصول اولیه زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و نیز ابزار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در تغذیه آب به آبخوان‌های کارستی تهیه شود و اقدام به پردازش، وزن‌دهی و هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی شده است. سپس با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده در محیط GIS میزان تغذیه منطقه محاسبه شد و در نهایت با تعیین حوضه‌های آبرگیر به روش زمین‌شناسی و بیلان سعی شد تا جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی تعیین شود.

۴-۱- برآورد بارندگی منطقه مورد مطالعه

توزیع بارندگی در یک ناحیه رابطه نزدیکی با ژئومورفولوژی منطقه دارد. به طور معمول میزان بارندگی با افزایش ارتفاع رابطه مستقیم دارد اما گاهی مشاهده شده است که در منطقه‌ای بارندگی از رابطه مشخصی با ارتفاع تبعیت نمی‌کند. به عبارت دیگر، عوامل دیگری غیر از ارتفاع در مقدار بارش در نقاط مختلف محدوده دخالت دارند. در منطقه مورد مطالعه، بر اساس ارزیابی‌های انجام شده بر روی مقادیر بارندگی ایستگاه‌های موجود، ملاحظه می‌شود که مقدار بارندگی در نقاط مختلف منطقه به طور عمده تابع دو عامل می‌باشد. عامل اول ارتفاع محل از سطح دریا است که هر چه بیشتر باشد، بارندگی محل مورد نظر بیشتر خواهد بود. عامل دوم، فاصله از محور زاگرس است که هر چه این فاصله بیشتر شود مقدار بارندگی کمتر می‌شود.

۴-۱-۱- میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های موجود در اطراف حوضه مورد نظر

با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های بارندگی در ارتفاعات سالدوران- زراب از اطلاعات سال‌های آماری (۱۳۹۰-۱۳۷۹) ۱۱ ایستگاه موجود در اطراف این کوه استفاده شده است. شکل (۴-۱) موقعیت قرارگیری این ایستگاه‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول (۴-۱) ارائه شده است.



شکل ۴-۱- موقعیت ایستگاه‌های موجود در منطقه (برگرفته از Google Earth)

جدول ۴-۱- مشخصات ایستگاه‌های بارندگی منطقه (اداره کل هواشناسی چهارمحال و بختیاری ۱۳۹۰)

نام ایستگاه	y	x	بارش (mm)	ارتفاع (m)
دشتک	۳۵۵۸۵۴۹	۴۴۸۱۶۷.۱	۶۹۵	۲۰۶۰
جونقان	۳۵۵۶۹۴۹	۴۷۱۲۶۳.۸	۶۷۵	۲۰۶۵
فارسان	۳۵۶۸۸۱۲	۴۶۰۶۷۸	۶۷۷	۲۲۵۰
هیرگان	۳۵۷۹۸۰۰	۴۴۷۳۸۷.۲	۶۲۲	۲۴۲۲
رستم‌آباد	۳۵۵۱۳۳۹	۴۵۸۱۶۵	۶۶۲	۱۸۸۲
صمصامی	۳۵۵۹۱۷۰	۴۳۱۸۰۰.۶	۸۳۸	۲۰۶۴
اردل	۳۵۳۹۴۸۸	۴۶۷۲۳۳	۵۴۴	۱۸۵۰
دوپلان	۳۵۴۳۷۴۸	۴۶۴۵۸۸.۳	۵۸۵	۱۴۹۰
دستنا	۳۵۴۷۶۶۴	۴۷۸۱۳۳.۳	۶۹۳	۲۱۵۰
دره زری	۳۵۸۴۶۸۹	۴۳۳۱۲۲.۲	۷۲۲	۲۴۶۷
میله	۳۵۸۵۰۷۹	۴۳۹۶۰۳.۷	۶۳۹	۲۵۰۰

۴-۱-۲- ارائه روشی مناسب برای برآورد بارندگی در حوضه مورد نظر

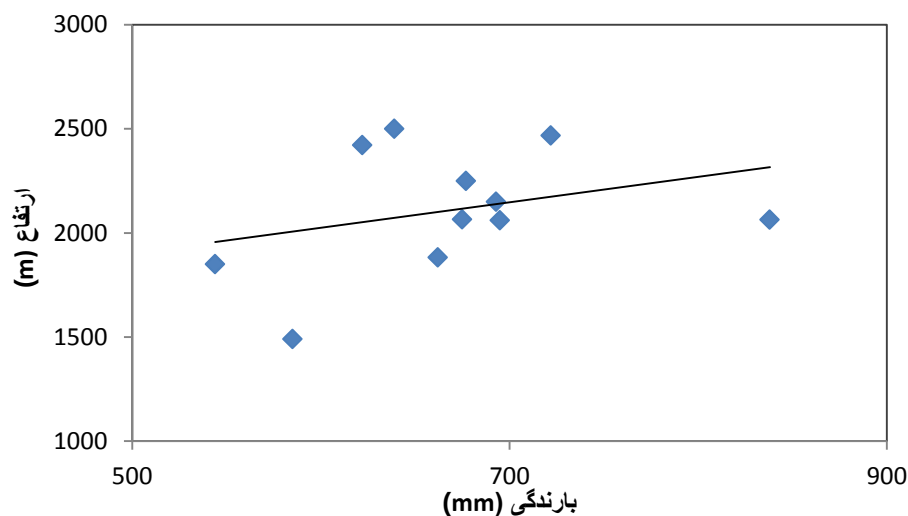
با توجه به اینکه بین بارش و ارتفاع رابطه مستقیمی وجود دارد، میانگین بارندگی سالانه هر ایستگاه در مقابل ارتفاع رسم شده است (شکل ۴-۲). با استفاده از این شکل میانگین مقدار بارندگی از معادله زیر برآورد می‌شود:

$$P=0.079h+502.2$$

معادله (۴-۱)

به منظور ارزیابی دقت داده‌های بدست آمده از نمودار فوق‌الذکر، مقادیر محاسبه شده میانگین بارندگی سالانه با میانگین دراز مدت مربوط به ایستگاه‌ها با هم مقایسه شده‌اند (جدول ۴-۲). بر اساس نتایج مندرج در جدول (۴-۲) ملاحظه می‌شود که خطای نسبی داده‌های محاسبه شده برای بعضی از ایستگاه‌ها مانند (صمصامی، اردل و هیرگان) نسبتاً بالا است. سپس با در نظر گرفتن اینکه تعدادی از ایستگاه‌های

باران‌سنجی با وجود تفاوت نداشتن زیاد در ارتفاع، تفاوت چشم‌گیری در مقدار بارندگی داشتند، عامل دیگر که همان فاصله شرقی-غربی از محور زاگرس بود در نظر گرفته شد.



شکل ۴-۲- رابطه ارتفاع- بارش ایستگاه‌های مجاور کوه سالدوران- زرآب

جدول ۴-۲- مقایسه بارندگی واقعی و بارندگی محاسبه شده از نمودار ارتفاع-بارش ایستگاه‌های منطقه

نام ایستگاه	بارندگی واقعی (mm)	بارندگی محاسبه شده (mm)	خطای نسبی (%)
جونقان	۶۷۵	۶۶۷	۱/۴
صمصامی	۸۳۸	۶۶۴	۲۰/۸
دشتک	۶۹۵	۶۶۶	۴/۴
رستم آباد	۶۶۲	۶۵۲	۱/۶
اردل	۵۴۴	۶۴۹	۱۹/۳
دوپلان	۵۸۵	۶۲۱	۷/۰
میبه	۶۳۹	۷۰۰	۹/۶
فارسان	۶۷۷	۶۸۱	۰/۴۹
دستنا	۶۹۳	۶۷۲	۳/۰
هیرگان	۶۲۲	۶۹۴	۱۱/۵
دره زری	۷۲۲	۶۹۸	۳/۵
حداکثر خطای نسبی			۲۰/۸
میانگین خطای نسبی			۷/۵

با عنایت به این که با افزایش ارتفاع، بارندگی در یک محدوده خاص افزایش پیدا می‌کند و از طرفی با دور شدن از محور مرتفع زاگرس بارندگی کم می‌شود، برای برآورد مقدار بارش منطقه مورد مطالعه، معادله $P=a+b \times h+c \times 1/L$ ارائه شد. در این معادله P بارندگی نقطه مورد نظر بر حسب میلی‌متر، h ارتفاع بر حسب متر و L فاصله نقطه مورد نظر از محور مرتفع زاگرس بر حسب کیلومتر و a ، b و c ضرایب ثابتی هستند که با کمک روش‌های آماری مختلفی می‌توانند برآورد شوند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضرایب معادله فوق‌الذکر برآورده شده و معادله پیشنهادی به صورت زیر استخراج گردید:

$$P=0.131 \times h+2090.131 \times (1/L)+292.32 \quad \text{معادله (۲-۴)}$$

با کمک معادله بدست آمده می‌توان مقدار بارش را در سراسر منطقه به آسانی برآورد نمود. با استفاده از معادله بدست آمده، مقادیر بارندگی برای ایستگاه‌های مورد نظر محاسبه شده و در نهایت با مقادیر بارندگی واقعی ایستگاه‌ها مقایسه شده است (جدول ۳-۴). بر اساس نتایج مندرج در جدول (۳-۴) ملاحظه می‌شود که خطای نسبی داده‌های محاسبه شده با این روش تا حدودی کمتر از نمودار ارتفاع-بارندگی (شکل ۲-۴) می‌باشد.

جدول ۳-۴ - مقایسه بارندگی واقعی و بارندگی برآورد شده از معادله (۲-۴) برای ایستگاه‌های منطقه

نام ایستگاه	بارندگی واقعی (mm)	بارندگی محاسبه شده (mm)	خطای نسبی (%)
چونقان	۶۷۵	۶۲۷	۶/۲
صمصامی	۸۳۸	۸۴۰	۰/۲
دشتک	۶۹۵	۶۴۷	۵/۸
رستم آباد	۶۶۲	۶۴۳	۲/۷
اردل	۵۴۴	۵۸۷	۶/۷
دوپلان	۵۸۵	۵۶۰	۴/۰
می‌هه	۶۳۹	۶۸۹	۶/۹
فارسان	۶۷۷	۶۴۹	۳/۸
دستنا	۶۹۳	۶۵۵	۵/۰
هیرگان	۶۲۲	۶۷۲	۶/۵
دره زری	۷۲۲	۷۲۰	۰/۲
حداکثر خطای نسبی			۶/۹
میانگین خطای نسبی			۴/۲

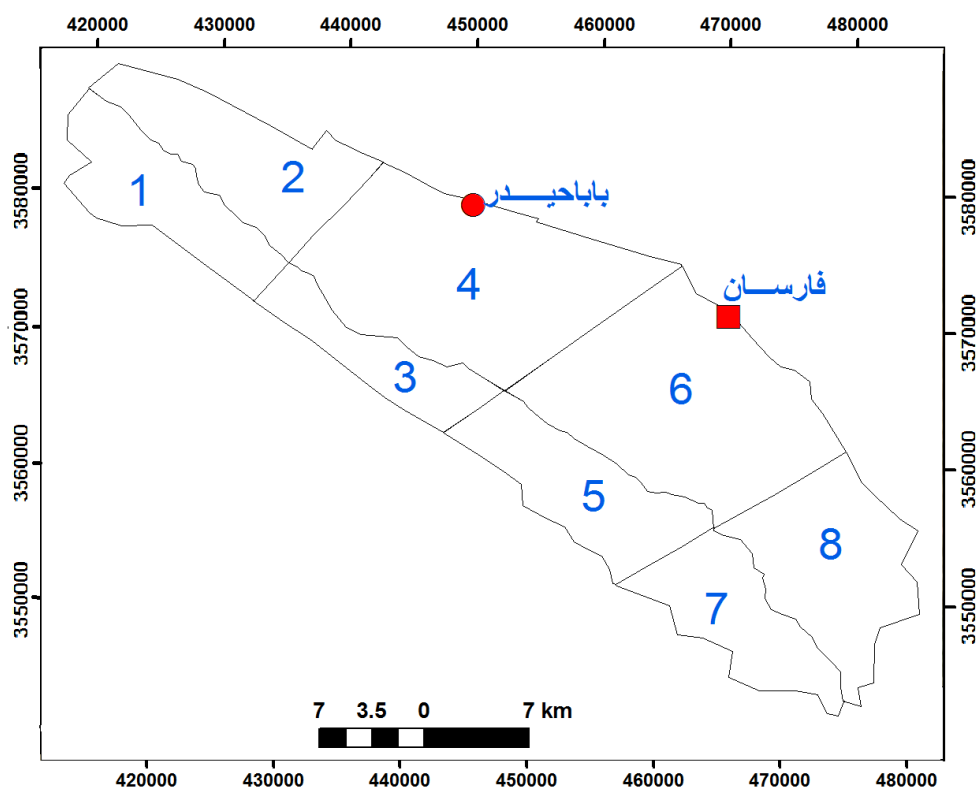
در مرحله بعد به منظور اطمینان بیشتر کار، با استفاده از نرم‌افزار R سعی شد که با دادن اطلاعات به این نرم‌افزار و با استفاده از روش ناپارامتری رگرسیونی بهترین خط ممکن را از داده‌ها برازش داده شود، دو مدل‌های Mars و Quadratic روی داده‌ها برازش داده شد. بر اساس این نتایج هر دو پارامتر ارتفاع و فاصله طولی از محور زاگرس از لحاظ آماری معنادار شدند به این معنی که هر دو پارامتر در متغیر پاسخ که همان بارش می‌باشد نقش دارند. مقدار بارندگی با ارتفاع رابطه مستقیم داشته و با فاصله طولی از محور زاگرس رابطه عکس دارد. این پدیده به طور کلی در تمام مناطق سلسله جبال زاگرس وجود داشته و از غرب به شرق کاهش بارندگی محسوس می‌باشد. همچنین با تعیین خطای نسبی (معادله ۳-۴) برای هر دو روش مشخص شد که در روش دوم به لحاظ داشتن مقدار خطای نسبی کمتر، پارامتر فاصله طولی از محور زاگرس نقش مؤثری در تعیین میزان بارندگی منطقه دارد که باید برای تعیین میانگین مقدار بارندگی منطقه در نظر گرفته شود.

$$RE\% = \frac{P_{obs} - P_{com}}{P_{obs}} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

به طوری که RE% درصد خطای نسبی و P_{obs} بارندگی واقعی و P_{com} بارندگی محاسبه‌ای می‌باشد.

۳-۱-۴- برآورد میانگین بارش سالانه در بخش‌های مختلف حوضه مورد مطالعه

با در نظر گرفتن شیب‌های روبه شمال و شیب‌های رو به جنوب و همچنین میانگین ارتفاع، کوه سالدوران- زرآب به هشت ناحیه تقسیم شده است، سپس با استفاده از معادله بدست آمده از نرم‌افزار SPSS (معادله ۲-۴) و با داشتن میانگین ارتفاع هر ناحیه و میانگین فاصله از محور طولی زاگرس، میانگین بارندگی هر بخش تعیین شد (شکل ۳-۴). جدول (۳-۴) میانگین بارندگی بخش‌های مختلف کوه سالدوران-زرآب را نشان می‌دهد که تائید کننده افزایش بارندگی‌ها، با افزایش ارتفاع و کاهش فاصله طولی-عرضی از محور مرکزی زاگرس می‌باشد.



شکل ۴-۳- بخش‌های مختلف بارندگی کوه سالدوران- زرآب

جدول ۴-۴- مشخصات میانگین بارش بخش‌های مختلف منطقه

میانگین بارش (mm)	فاصله از محور زاگرس (km)	میانگین ارتفاع (m)	ناحیه
۷۸۹	۱۵/۷	۲۷۶۹	۱
۸۷۶	۱۰/۹	۲۹۸۶	۲
۷۹۸	۱۶/۲	۲۸۷۷	۳
۶۹۱	۲۳/۵	۲۳۵۹	۴
۶۳۴	۱۹/۸	۲۰۵۴	۵
۷۰۴	۳۰/۲	۲۳۳۲	۶
۶۸۸	۲۳/۰	۲۳۲۴	۷
۶۲۷	۳۰/۱۶	۲۰۱۴	۸

۴-۲- خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی

به منظور درک بیشتر درباره جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی سالدوران، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه به طور مختصر ارائه می‌شود. برای این منظور از اطلاعات اندازه‌گیری شده سال آبی (۹۰-۹۱) شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است.

۴-۲-۱- چشمه کارستی پیرغار

این چشمه در حاشیه شمال شرقی زون زاگرس مرتفع و در یال شمال شرقی تاقدیس سالدوران قرار گرفته است. سنگ میزبان مظهر چشمه را آهک دولومیتی سازند آسماری تشکیل می‌دهد. ساختارهای اصلی احاطه کننده چشمه بیشتر شامل درزه‌هایی می‌باشد که در ارتباط با گسل‌های اصلی منطقه شکل گرفته‌اند. آبدهی چشمه پیرغار از ۰/۷ تا بیش از ۶ مترمکعب در ثانیه متغیر است و با آبدهی متوسط ۱/۹۶ مترمکعب بر ثانیه، یکی از بزرگترین چشمه‌های منطقه می‌باشد که از طریق آن بخش قابل توجهی از آب‌های کارستی تاقدیس سالدوران تخلیه می‌شود. شکل (۴-۴) نمایی از این چشمه را نشان می‌دهد. جدول (۴-۴) مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی پیرغار را به همراه ضرایب تغییرات نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- نمایی از چشمه کارستی پیرغار

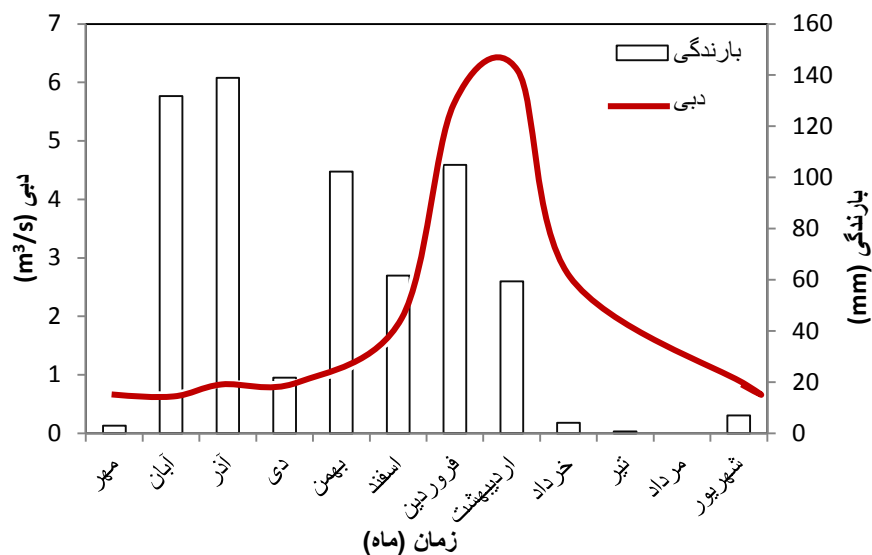
جدول ۴-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی پیرغار
(بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری)

زمان	دبی (m^3/s)	هدایت الکتریکی ($\mu mhos/cm$)
۹۰/۷/۱۴	۰/۷۰	۴۹۹
۹۰/۰۸/۰۴	۰/۶۶	۴۹۷
۹۰/۰۹/۱۳	۰/۸۶	۵۱۰
۹۰/۱۰/۰۹	۰/۸۴	۴۸۶
۹۰/۱۱/۰۷	۱/۰۲	۵۱۴
۹۰/۱۲/۱۳	۱/۶۶	۴۴۵
۹۱/۱/۰۷	۵/۶۲	۳۱۰
۹۱/۲/۱۵	۶/۱۹	۲۹۷
۹۱/۳/۱۵	۲/۷۷	۳۵۰
۹۱/۴/۰۵	۱/۳۸	۴۲۹
۹۱/۵/۱۰	۱/۰۶	۴۰۸
۹۱/۶/۱۵	۰/۸۶	۴۵۳
میانگین	۱/۹۶	۴۳۳
انحراف معیار	۱/۹۳	۷۷
ضریب تغییرات (/.)	۹۸/۱	۱۸

۴-۲-۱-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه پیرغار

تغییرات زمانی آبدهی چشمه یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی چشمه‌های کارستی می‌باشد و به عنوان معیاری برای ارزیابی نوع جریان در آبخوان‌های کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۴-۵) هیدروگراف چشمه پیرغار را در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ نشان می‌دهد. همچنانکه ملاحظه می‌شود تغییرات آبدهی نسبت به بارندگی با تأخیر صورت می‌گیرد که این امر نشانگر تغذیه این چشمه از حوضه آبرگیر وسیعی است و به طور قابل توجهی تحت تأثیر بارندگی‌های مؤثر منطقه بوده است. با دقت در مقدار ضریب تغییرات دبی که برابر با ۹۸/۱ درصد می‌باشد ملاحظه می‌شود مقدار تغییرات دبی بسیار بالاست. ضریب تغییرات بسیار بالای دبی چشمه بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و وجود آب‌فروچاله‌های فراوان و دیگر عارضه‌های کارستی گسترده در نواحی مرتفع حوضه آبرگیر چشمه و همچنین شیب هیدرولیکی بالا

در حوضه آبرگیر است. با عنایت به بازدیدهای صحرایی انجام شده ملاحظه شد که عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته از قبیل آبروچاله و چاه در منطقه وجود دارد و فضاهای انحلالی توسعه شدیدی در منطقه پیدا کرده‌اند.



شکل ۴-۵- هیدروگراف چشمه پیرغار در سال آبی ۹۰-۹۱

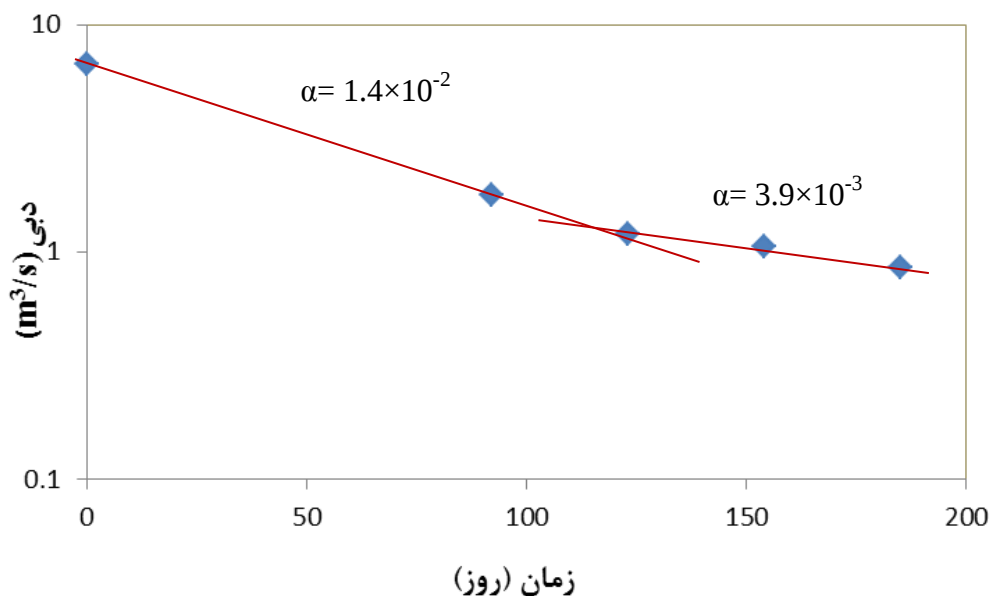
۴-۱-۲-۴- تحلیل منحنی فرود چشمه پیرغار

همانطور که شکل (۴-۶) نشان می‌دهد منحنی فرود چشمه دارای دو شیب α_1 ، α_2 می‌باشد. برای برآورد ضرایب بده فرود از معادله زیر استفاده شده است: که در آن Q_t آبدهی چشمه در زمان t ، Q_0 آبدهی قبلی چشمه در زمان صفر و t زمان بین Q_0 و Q_t می‌باشد.

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

در طی رژیم α_1 که حدود چهار ماه طول می‌کشد، آبدهی چشمه ناشی از ذوب شدن برف‌ها است و حجم زیاد آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با آبروچاله‌ها و پولیه‌های آهکی بزرگ موجود در ارتفاعات در ارتباط مستقیم هستند. رژیم α_2 حدود دو ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه به طور

عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود و با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌ها در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدهی چشمه در طول این رژیم آبدهی نسبت به رژیم آبدهی α_1 کمتر است. به علت ذخیره‌سازی بالای این عوامل در مقایسه با عوامل تأثیرگذار در رژیم α_1 شیب کاهش دبی در این رژیم بسیار کمتر از رژیم قبلی است.

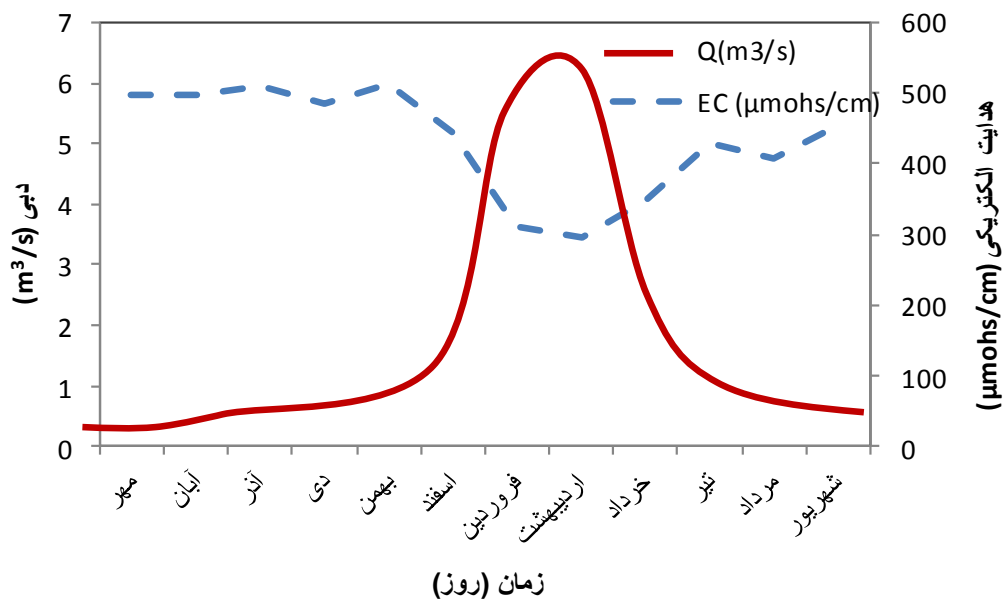


شکل ۴-۶- منحنی فروکش چشمه کارستی پیرغار

۴-۲-۱-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه پیرغار

شکل (۴-۷) تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه پیرغار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه مشاهده گردید که یک حالت معمول در آبخوان‌های کارستی قلمداد می‌شود. علت این امر از این قرار است که در مواردی که دبی زیاد می‌شود آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها که از طریق آبروچاله‌ها به آبخوان ملحق می‌شوند، بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و علاوه بر این به علت سرعت بالای جریان آب در آبخوان کارستی فرصت کمتری برای انحلال مواد وجود دارد. بنابراین، مقدار املاح محلول در آب کمتر و در

نتیجه هدایت الکتریکی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با عنایت به ضریب تغییرات بالای هدایت الکتریکی (جدول ۴-۴) می‌توان نتیجه گرفت مقدار تغییرات سالانه این پارامتر نسبتاً بالا می‌باشد. از دلایل بالا بودن این ضریب می‌توان به بزرگ بودن حوضه آبرگیر چشمه، و ناهمگن بودن آهک‌های آبخوان کارستی اشاره کرد.



شکل ۴-۷- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه پیرغار در سال آبی ۹۰-۹۱

۴-۲-۲- چشمه سراب باباحیدر

این چشمه در سازند آهکی آسماری ظهور یافته است. مورفولوژی محل ظهور چشمه یک دره فرسایشی می‌باشد که فرسایش آن در امتداد درزه‌های برشی منطقه است. شکل (۴-۸) نمایی از چشمه سراب باباحیدر را نشان می‌دهد. آبدهی متوسط چشمه سراب باباحیدر از مهر ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ برابر ۰/۹۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. جدول (۴-۵) مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی سراب باباحیدر را به همراه ضرایب تغییرات نشان می‌دهد. این پارامترها شامل تغییرات زمانی دبی چشمه و هدایت الکتریکی می‌باشد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود ضریب تغییرات دبی چشمه سراب باباحیدر برابر با ۱۰۹/۲ درصد می‌باشد که در مقایسه با چشمه پیرغار اندکی بیشتر است.

این مطلب احتمالاً به درجه گردی بالاتر حوضه آبرگیر این چشمه و همچنین وجود یک پلایه نسبتاً بزرگ (پلایه لاغرک) در حوضه آبرگیر این چشمه مربوط می‌شود. ضریب تغییرات هدایت الکتریکی این چشمه برابر ۱۲ درصد است که بیانگر لیتولوژی نسبتاً همگن تر آبخوان تأمین کننده جریان این چشمه کارستی است.



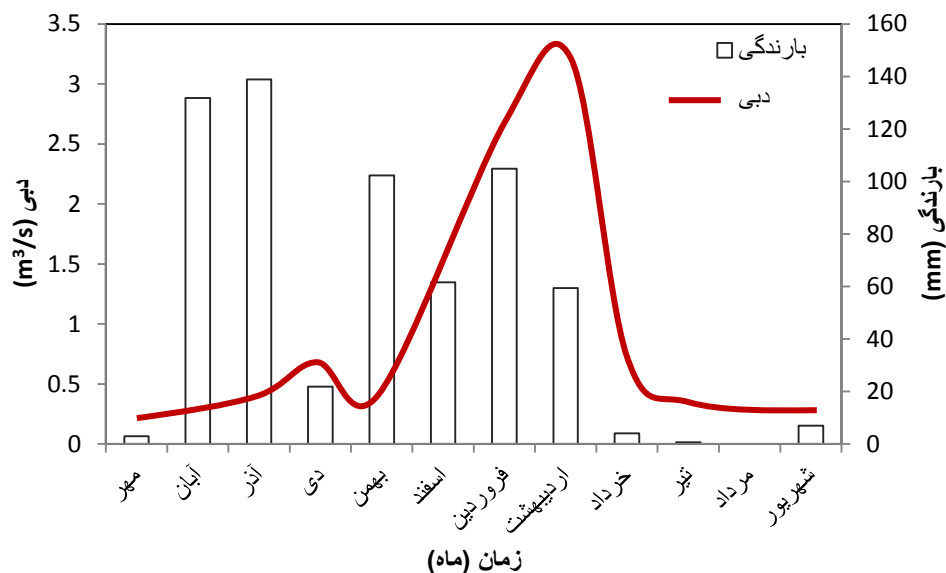
شکل ۴-۸- نمایی از چشمه کارستی سراب باباحیدر

جدول ۴-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده چشمه سراب باباحیدر

زمان	دبی (m^3/s)	هدایت الکتریکی ($\mu mhos/cm$)
۸۹/۷/۱۴	۰/۲۱	۳۵۷
۸۹/۰۸/۰۴	۰/۳۱	۳۸۴
۸۹/۰۹/۱۳	۰/۴۰	۳۲۰
۸۹/۱۰/۰۹	۰/۶۷	۲۴۹
۸۹/۱۱/۰۷	۰/۴۴	۳۳۷
۸۹/۱۲/۱۳	۱/۳۱	۳۸۰
۹۰/۱/۰۷	۲/۶۳	۳۳۳
۹۰/۲/۱۵	۳/۱۷	۳۸۵
۹۰/۳/۱۵	۰/۷۶	۳۳۳
۹۰/۴/۰۵	۰/۳۳	۳۴۸
۹۰/۵/۱۰	۰/۳۱	۳۹۸
۹۰/۶/۱۵	۰/۳۰	۳۹۰
میانگین	۰/۹۰	۳۵۱
انحراف معیار	۰/۹۸	۴۱
ضریب تغییرات (/.)	۱۰۹/۲	۱۲

۴-۲-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه سراب باباحیدر

شکل (۹-۴) هیدروگراف چشمه سراب باباحیدر را در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ نشان می‌دهد. با عنایت به شکل (۹-۴) ملاحظه می‌شود که دبی چشمه در اوایل اسفند به طور قابل توجهی رو به افزایش می‌گذارد و در اوایل خرداد ماه به اوج خود می‌رسد و مجدداً در اوایل تابستان سریعاً کاهش می‌یابد. دلیل این تغییرات به این قرار است که بارش‌های ماه‌های آذر و بهمن ماه اغلب به صورت برف می‌باشد و این برف‌ها در اواخر زمستان شروع به ذوب شدن می‌کنند و باعث افزایش تغذیه آبخوان می‌شود. در فصل بهار آب ناشی از ذوب برف‌ها و به ویژه بارندگی‌های بهاره باعث افزایش بیشتر آبدهی چشمه می‌شوند، به طوری که دبی اوج چشمه در اوایل خرداد ماه رخ می‌دهد. با کاهش شدید بارندگی‌ها در اواخر بهار، تغذیه‌ای به آبخوان انجام نمی‌شود و دبی چشمه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

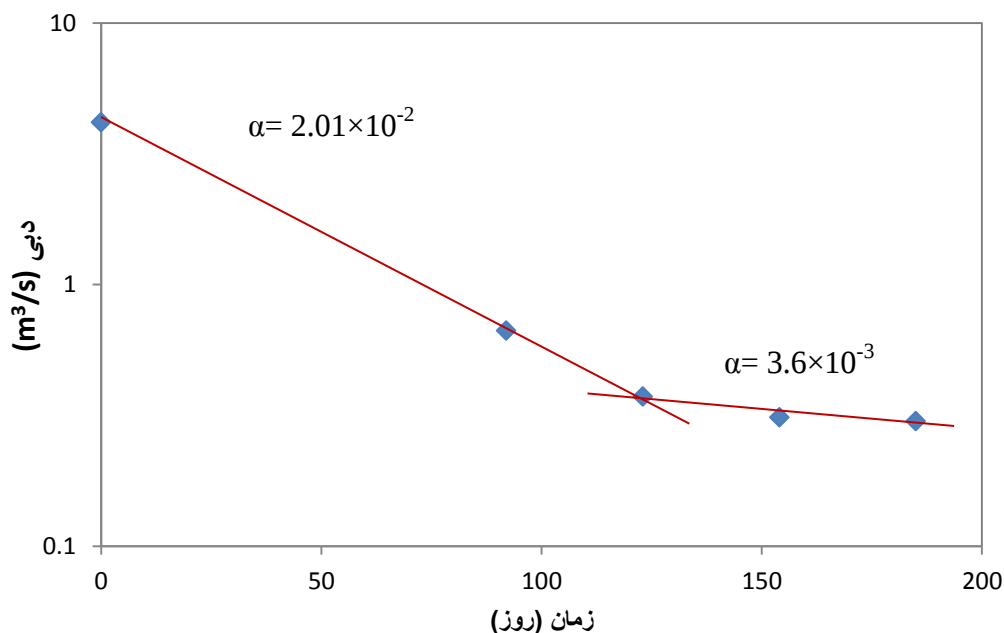


شکل ۹-۴- هیدروگراف چشمه سراب باباحیدر در سال آبی ۹۰-۹۱

۴-۲-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه سراب باباحیدر

به منظور محاسبه ضرایب بده این چشمه منحنی فروکش آبدهی چشمه ترسیم شده است (شکل ۱۰-۴). بر اساس شکل (۱۰-۴) دو رژیم آبدهی در چشمه مشاهده می‌شود. برای برآورد ضرایب بده از معادله (۲-۲)

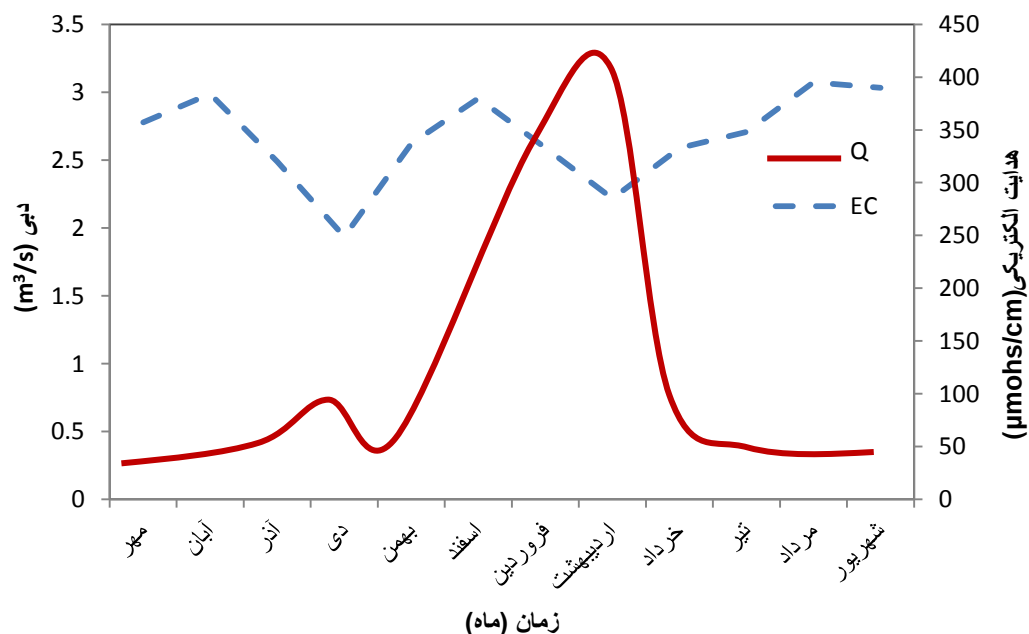
(۴) استفاده شده است. رژیم‌های α_1 و α_2 نمودار ترسیم شده حاکی از وجود دو رژیم آبدی در آن می‌باشد. برای برآورد ضرایب بده فرود از معادله (۲-۴) استفاده شده است. در رژیم α_1 حجم زیادی آب توسط مجاری توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود به طوری که دبی چشمه در مدت چهار ماه از حدود $3/17$ مترمکعب بر ثانیه به $0/7$ متر مکعب بر ثانیه رسیده است و آبدی چشمه ناشی از ذوب شدن برف‌ها است و حجم زیاد آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با آب‌فروچاله‌ها و پولیه‌های آهکی بزرگ موجود در ارتفاعات در ارتباط مستقیم می‌باشند. رژیم α_2 حدود دو ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه عمدتاً از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود و با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌ها در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدی چشمه در طول این رژیم آبدی نسبت به رژیم آبدی α_1 کمتر است و تخلیه‌ی آب به طور عمده از طریق ذخیره‌ی درون سیستم صورت گرفته و با پایین افتادن شدید سطح آب سیستم کارستی، کاهش شیب هیدرولیکی نیز رخ داده و تخلیه‌ی آب آهسته‌تر از رژیم α_1 صورت می‌گیرد.



شکل ۴-۱۰- منحنی فروکش چشمه سراب باباحیدر

۴-۲-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه سراب باباحیدر

شکل (۴-۱۱) تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه سراب باباحیدر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان می‌دهد، همانند چشمه پیرغار با در نظر گرفتن تأخیر، رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه وجود دارد که یک حالت معمول در آبخوان‌های کارستی قلمداد می‌شود. علت این امر از این قرار است که در مواردی که دبی زیاد می‌شود آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها که از طریق آب‌فروچاله‌ها به آبخوان ملحق می‌شوند، بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و علاوه بر این به علت سرعت بالای جریان آب در آبخوان کارستی فرصت کمتری برای انحلال مواد وجود دارد. بنابراین، مقدار املاح محلول در آب کمتر و در نتیجه هدایت الکتریکی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با عنایت به ضریب تغییرات بالای هدایت الکتریکی (جدول ۴-۵) می‌توان نتیجه گرفت مقدار تغییرات سالانه این پارامتر نسبتاً بالا می‌باشد.



شکل ۴-۱۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه سراب باباحیدر در سال آبی ۹۰-۹۱

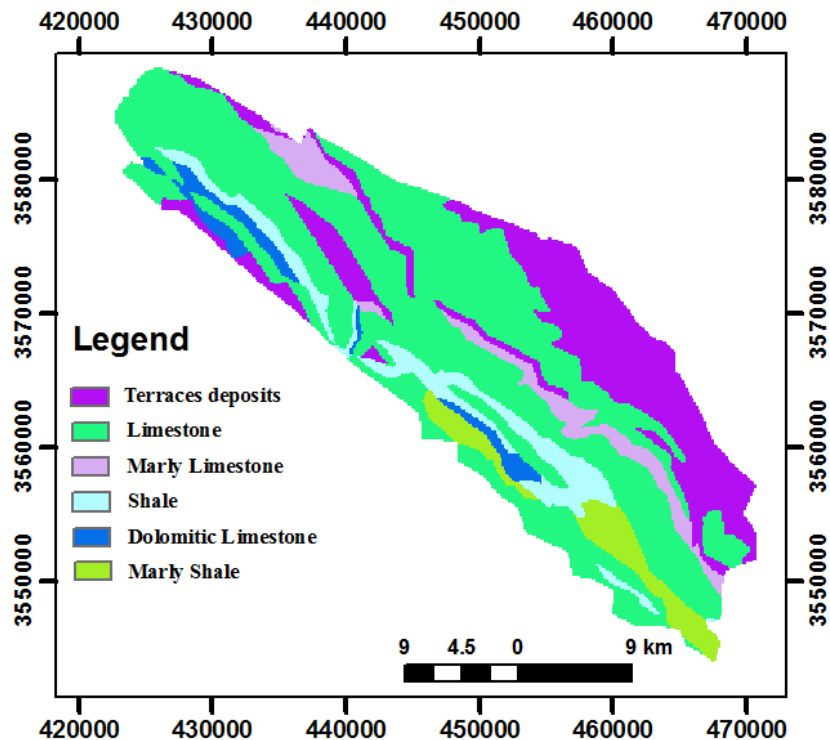
۴-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای تعیین تغذیه منطقه

مهم‌ترین عواملی که در منطقه مورد مطالعه بر روی درصد تغذیه سالانه تأثیر گذار هستند شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، بارش، تراکم خطواره‌ها، تراکم آبراهه‌ها و عوارض کارستی می‌باشند. به منظور تعیین درصد تغذیه سالانه در منطقه مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی عوامل فوق‌الذکر در محیط GIS تهیه شده است. سپس با اعمال وزن‌های مناسب برای هر کدام از این لایه‌های اطلاعاتی و همچنین طبقه‌بندی هر پارامتر از دیدگاه درصد تغذیه، میانگین درصد تغذیه سالانه در بخش‌های مختلف منطقه برآورد شده است.

الف- لایه لیتولوژی

لیتولوژی‌های گوناگون، دارای نفوذپذیری متفاوتی می‌باشند. در نقشه زمین‌شناسی با توجه به وجود انواع لیتولوژی‌هایی با تراوایی متفاوت و تأثیر آن‌ها بر میزان تغذیه می‌توان آن‌ها را تقسیم‌بندی و در نتیجه امتیازدهی نمود.

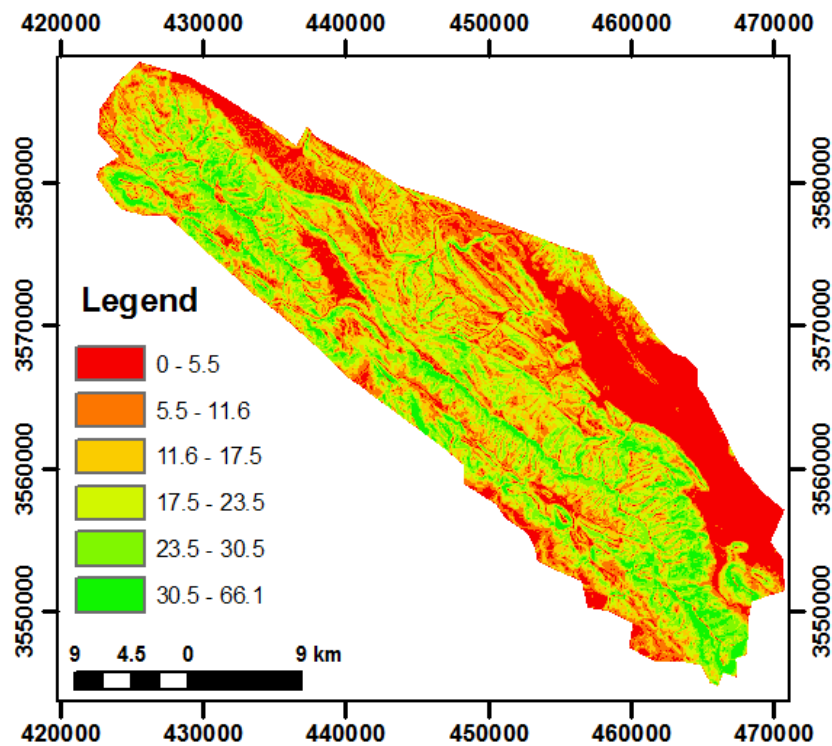
مهم‌ترین لیتولوژی‌های موجود در منطقه که با توجه به بازدیدهای صحرایی و نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد (زاهدی ۱۳۷۲) تشخیص داده شد شامل آهک، آهک دولومیتی، آهک مارنی، شیل، کنگلومرا و آبرفت می‌باشد. سپس با توجه به میزان نفوذ هر کدام از لیتولوژی‌های فوق در منطقه مورد مطالعه، می‌توان آن‌ها را به لحاظ تأثیرگذاری بر درصد تغذیه، تقسیم‌بندی نمود. جدول (۴-۷) و جدول (۴-۸) و شکل (۴-۱۲) تقسیم‌بندی و امتیازدهی به لیتولوژی‌های مختلف موجود در منطقه را نشان می‌دهد. در این لایه مناطق دارای واحدهای آهکی دارای بیشترین ارزش و مناطق شیلی و مارنی دارای کمترین ارزش هستند.



شکل ۴-۱۲- لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

ب- لایه مقدار شیب

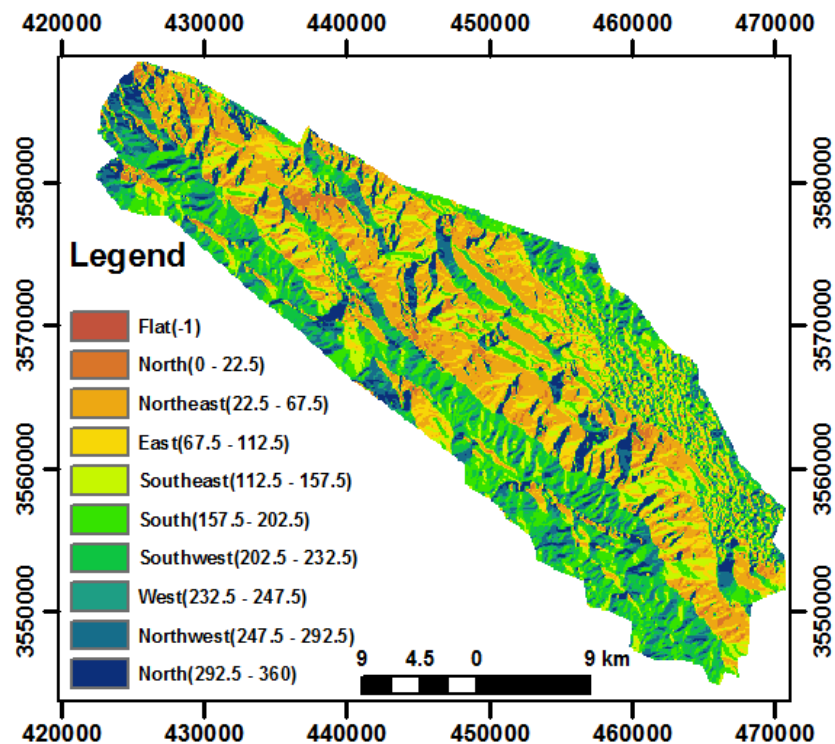
شیب توپوگرافی یکی از عوامل ژئومورفولوژیک مؤثر بر مقدار نفوذ و در نتیجه مقدار تغذیه است. توپوگرافی سطح زمین با ایجاد تغییرات دما، میزان بارش، نوع پوشش گیاهی و نیز تبخیر نسبت به ارتفاع و همچنین با ایجاد شیب‌های مختلف و تأثیر آن بر میزان رواناب تولید شده در میزان تغذیه و نهایتاً توسعه کارست حوضه مؤثر است. به این ترتیب که در شیب‌های کم، فرصت تغذیه بیشتر است و در مناطق پر شیب میزان تغذیه کم می‌شود. بنابراین، شیب‌های مختلف را می‌توان بر اساس درجه تأثیرگذاری بر مقدار تغذیه، تقسیم‌بندی و امتیازدهی نمود به این ترتیب که به شیب‌های کم، ارزش بیشتر و به شیب‌های زیاد، ارزش کمتری داده شده است (جدول‌های ۴-۷ و ۴-۸). شکل (۴-۱۳) لایه مقدار شیب منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- لایه مقدار شیب منطقه

ج- لایه جهت شیب توپوگرافی

زاویه تابش خورشید در دامنه‌های شمال و شمال شرق نسبت به دامنه‌های جنوب و جنوب غرب متفاوت است و زمان ماندگاری برف بر روی دامنه‌های شمالی بیشتر است و این باعث افزایش تغذیه می‌شود. با توجه به برف‌گیر بودن منطقه، لایه جهت شیب با استفاده از مدل رقومی منطقه تهیه شد (شکل ۴-۱۴). سپس در تابع Reclassify در GIS طبقه‌بندی شد. به دامنه‌های رو به شمال ارزش بیشتر و به دامنه‌های رو به جنوب ارزش کمتری تعلق گرفت (جدول‌های (۴-۷) و (۴-۸)).

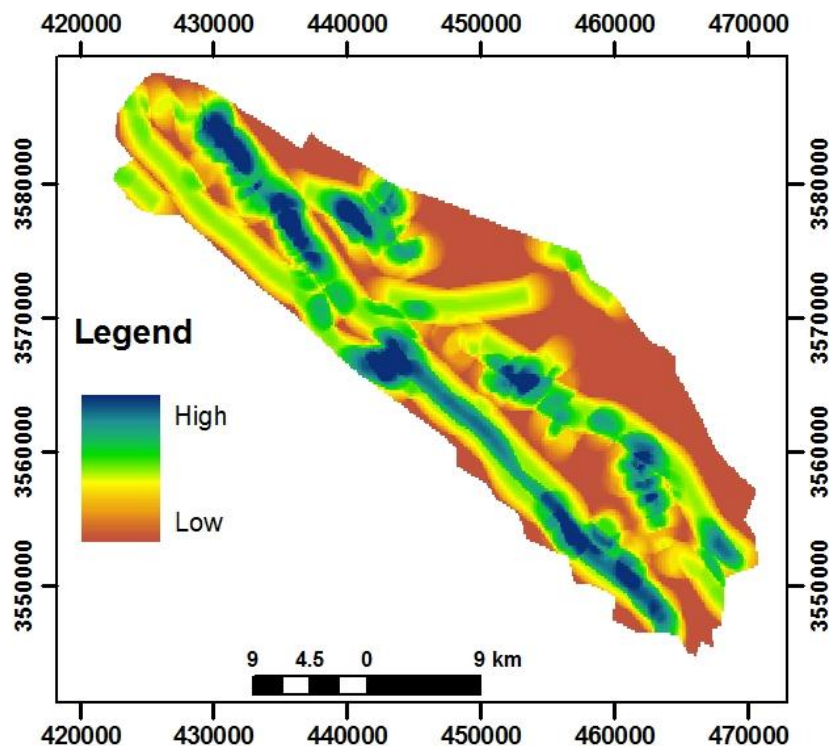


شکل ۴-۱۴- لایه جهت شیب منطقه

د- لایه تراکم خطواره‌ها

آنالیز خطواره‌ها و گسل‌ها نشان‌دهنده حرکت و ذخیره آب زیرزمینی می‌باشند، و امکان تغذیه به لایه‌های زیرین را فراهم می‌کنند. گسل‌ها و شکستگی‌ها به عنوان یکی از نقاط ضعف در هر منطقه بوده و امکان نفوذپذیری بالایی دارند و در اثر انحلال تشکیل معابر زیرزمینی داده و جریان آب زیرزمینی در امتداد آنها شکل می‌گیرد. دقیق‌ترین روش تهیه نقشه خطواره‌ها روش صحرایی است، اما به دلیل کم بودن زاویه دید و مشکلات ناشی از عملیات صحرایی، این موضوع مقدور نمی‌باشد. در عکس‌های هوایی نیز خطواره‌های بزرگ که از حد پوشش عکس‌های هوایی خارج می‌شوند به علت بزرگ مقیاس بودن نمی‌توانند آشکار شوند، اما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با میدان دید وسیع می‌توان نقشه‌های قابل اطمینانی از خطواره‌ها فراهم کرد. جهت شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Google earth استفاده شده است. نقشه تراکم با استفاده از تابع تراکم (Density) در Arc GIS تهیه شد

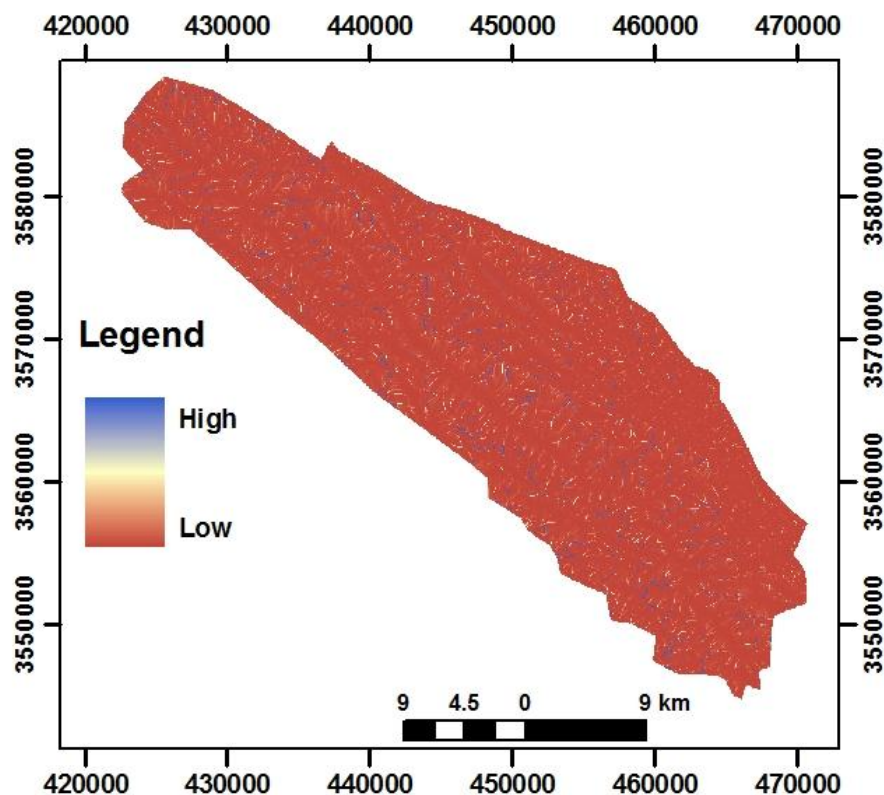
(شکل ۴-۱۵). هر چه تراکم خطواره‌ها بیشتر باشد، ارزش بیشتری داده شده است. نقش گسل در کنترل و انتقال آب زیرزمینی، بسته به شرایط گسل و وضعیت منطقه می‌تواند خنثی، مثبت و یا منفی باشد. گسل‌ها با ایجاد درز و شکاف و فرآیند برشی شدن و افزایش خردشدگی و تخلخل ثانویه و یا معبر ورود آب به زون کارستی، می‌توانند دارای نقش مثبت باشند. در حالی که می‌توانند در موارد زیر دارای نقش منفی باشند، بدین صورت که جابه‌جایی یک لایه ناتراوای عمیق در برابر لایه تراوا به عنوان سد عمل می‌کنند که مانع حرکت و انتقال آب می‌شود. پرشدگی شکاف گسل‌ها با مواد ناتراوای متراکم مانند کلسیت و کوارتز یا رس، در مقدار نفوذ نقش منفی پیدا می‌کند و یا ممکن است یک زون کارستی با وجود داشتن شرایط لازم، به دلیل فرار آب، از طریق گسل از تغذیه مناسبی برخوردار نباشد. از طرفی گسل‌هایی که ساز و کار کششی داشته باشند قابلیت بیشتری نیز جهت هدایت آب دارند و برعکس گسل‌های دارای ساز و کار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند.



شکل ۴-۱۵- لایه تراکم خطواره‌های منطقه

ه- لایه تراکم آبراهه‌ها

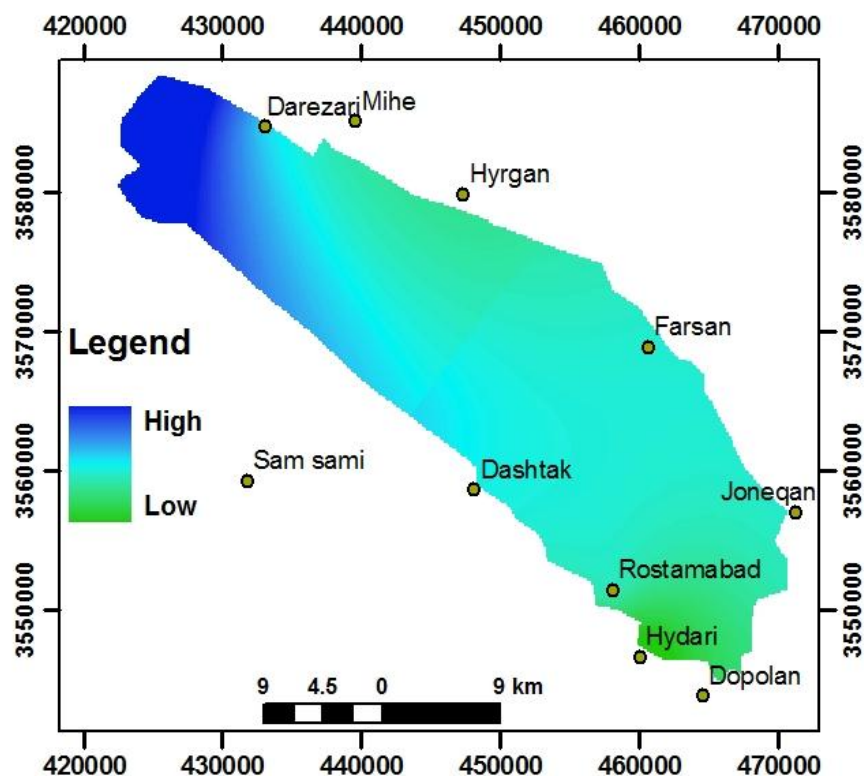
از دیگر فاکتورهای مؤثر در مقدار تغذیه، که وجودشان معلول دیگر عوامل می‌باشد، پدیده‌های سطحی همچون آبراهه‌ها می‌باشد. آبراهه‌ها در پرشیب‌ترین مناطق تشکیل می‌شوند و با ایجاد رواناب تا حدودی در تغذیه آب نقش دارند و به عنوان مسیری برای عبور آب از ارتفاعات به سمت نقاطی با ارتفاع کم محسوب می‌شوند. این لایه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد (شکل ۴-۱۶). جهت تصحیح احتمالی از نرم‌افزار Google Earth استفاده شده است. آبراهه‌ها در مناطق با شیب کم و یا در محل عبور گسل‌ها اهمیت بیشتری دارند زیرا آب مدت زمان بیشتری برای تغذیه در اختیار دارد. این در مورد آبراهه‌های رده بالاتر که حجم بیشتری از آب را در زمان طولانی‌تری در اختیار دارند بیشتر است.



شکل ۴-۱۶- لایه تراکم آبراهه‌های منطقه

و- لایه بارش

بارش یکی از مهمترین عواملی است که در تغذیه آب‌های کارستی یک سازند مستعد برای ذخیره آب، تأثیرگذار است. مقدار و نوع بارش‌های جوی بسته به اقلیم و ارتفاع منطقه متفاوت است. هرچه مقدار و حجم بارش در ناحیه‌ای بیشتر باشد (با در نظر گرفتن یکسان بودن سایر شرایط)، مقدار آب نفوذ کرده به درون سفره کارستی بیشتر بوده و در نتیجه دبی خروجی از این سفره افزایش می‌یابد. نوع نزولات و شدت آن نیز در میزان تغذیه مؤثر است، به این ترتیب که بارش‌های سیل آسا و ناگهانی حجم زیادی رواناب تولید می‌کنند و درمقایسه با بارش‌های تدریجی و یا بارش‌های برف که فرصت بیشتری برای تغذیه دارند، اهمیت کمتری دارند. با توجه به اهمیت بارش در نفوذ آب، اقدام به تهیه لایه بارش گردید. لایه بارش از پیاده‌کردن اطلاعات ۱۱ ایستگاه در نرم‌افزار GIS تهیه شد (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۷- لایه بارش در منطقه

ز- لایه عوارض کارستی

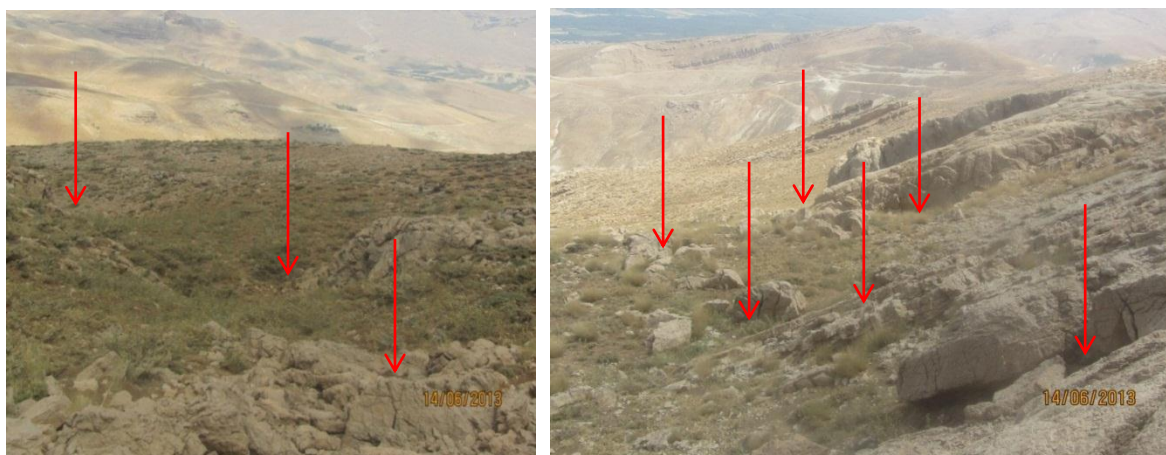
تنوع اشکال کارست سطحی در سازندهای کربناته حاکی از انحلال‌پذیری خوب این سازندها می‌باشد. بنابراین گسترش این پدیده‌ها در منطقه می‌تواند نشان دهنده پدیده کارست در عمق باشد. در بازدید از منطقه اشکال مختلف و فراوان کارست سطحی مشاهده شد (شکل‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹). بنابراین به طور صریح می‌توان اظهار داشت که سنگ‌های در برگیرنده این پدیده‌ها از قابلیت انحلال بالایی برخوردارند و از آنجایی که ریزش‌های جوی منطقه قابل توجه، می‌باشد می‌توان انتظار محیط یا محیط‌های مناسب جهت نفوذ و ذخیره آب‌های زیرزمینی را داشت. انواع پدیده‌های کارست سطحی قابل مشاهده در منطقه عبارتند از: انواع آب‌فروچاله‌ها، کارن، غار، پلیه لاغرک و دره‌های کارستی بودند که به طور چشم‌گیر در نفوذپذیری مؤثرند و به تعداد زیاد در منطقه قابل مشاهده هستند (شکل ۴-۲۰). زمانی که آب‌فروچاله به تعداد زیادی با دهانه‌های وسیع وجود داشته باشند کمک قابل توجهی به نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی می‌کنند. چون حجم بالایی از آب را قبل از تبخیر و یا جاری شدن و هدر رفتن دریافت نموده و به درون زمین انتقال می‌دهند (عبادیان ۱۳۸۱).



شکل ۴-۱۸- نمایی از کارن‌های شیاری در منطقه

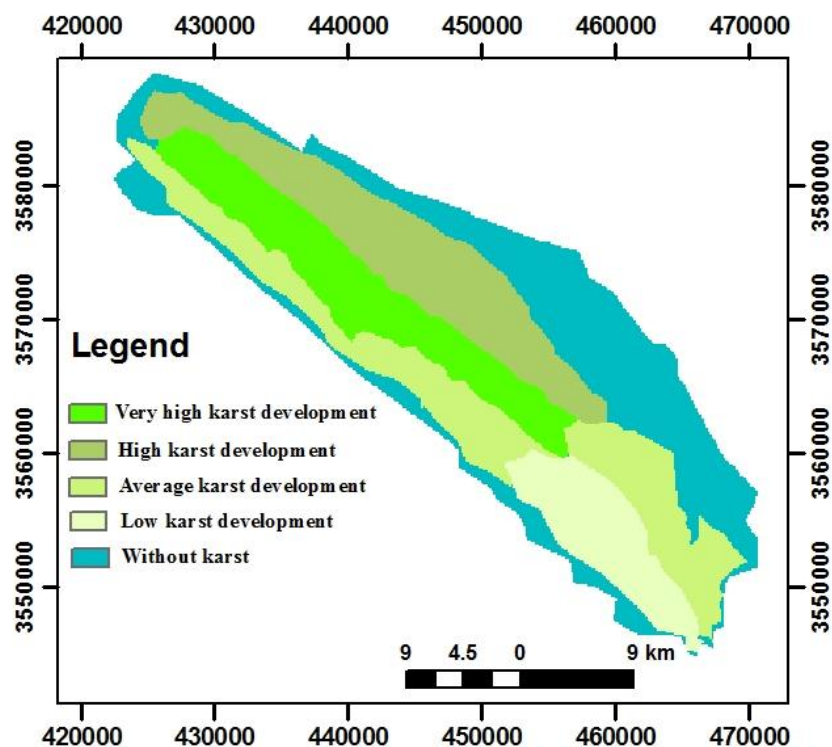


شکل ۴-۱۹- نمایی از درزه‌های بزرگ انحلال یافته و حفرات انحلالی در منطقه



شکل ۴-۲۰- نمایی از آبروچاله‌ها در منطقه

مناطق با عوارض کارستی عمده شناسایی شده، بر روی Google Earth ترسیم شد و به صورت یک لایه اطلاعاتی به Arc GIS منتقل شد (شکل ۴-۲۱). شکل (۴-۲۲) وجود ترک در خاک‌های کارستی منطقه را نشان می‌دهد که ناشی از زهکشی زیرسطحی قوی در منطقه می‌باشد همچنین شکل (۴-۲۳) وجود یکی از دره‌های خشک کارستی را در حوضه آبرگیر چشمه پیرغار نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۱- لایه عوارض کارستی منطقه



شکل ۴-۲۲- ترک در خاک‌های کارستی منطقه بر اثر زهکشی زیرسطحی قابل توجه منطقه



شکل ۴-۲۳- یکی از دره‌های خشک موجود در ارتفاعات سالدوران در حوضه آبرگیر چشمه پیرغار

۴-۳-۱- هم مقیاس‌سازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی

به منظور تعیین تغذیه منطقه، لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده شامل تراکم آبراهه‌ها، تراکم خطواره‌ها، لیتولوژی، شیب، جهت شیب، بارش، عوارض کارستی با استفاده از روش کارشناسی هم‌مقیاس شدند و در محدوده ۰ تا ۹ طبقه‌بندی شدند. ارزش داده شده به هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی در (جدول ۴-۷) آمده است. پس از ساماندهی لایه‌ها، از آنجا که تأثیر هر عامل در میزان تغذیه نسبت به عوامل دیگر متفاوت است باید به هر عامل وزنی اختصاص یابد. به منظور تلفیق و تحلیل داده‌ها از روش هم‌پوشانی وزن‌دار شده (Weighted overlay) استفاده گردید. برای استفاده از روش هم‌پوشانی، از روش کارشناسی که بر اساس شناخت منطقه بوده استفاده شده است. (جدول ۴-۸) وزن لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده از روش کارشناسانه را نشان می‌دهد. در این روش به هریک از رده‌های لایه‌های اطلاعاتی یک ارزش (Score) داده شده است. این وزن‌ها طوری انتخاب شدند که از یک طرف با واقعیات فیزیکی مطابقت داشته و از طرف دیگر در کنار لایه‌های دیگر معنا پیدا کند و اهمیت آن لایه را در تصمیم‌گیری نهایی نشان دهد. لازم به ذکر است جمع وزن‌ها در این مرحله عدد ۱۰۰ انتخاب گردید. در روش Weighted overlay محاسبه به این صورت است که وزن هر لایه اطلاعاتی را در ارزش تک‌تک پیکسل‌های این لایه ضرب می‌کند و سپس با هم جمع و در نهایت نقشه رستری به دست می‌آید (شکل ۴-۲۴).

جدول ۴-۷- ارزش‌دهی به لایه‌های مختلف

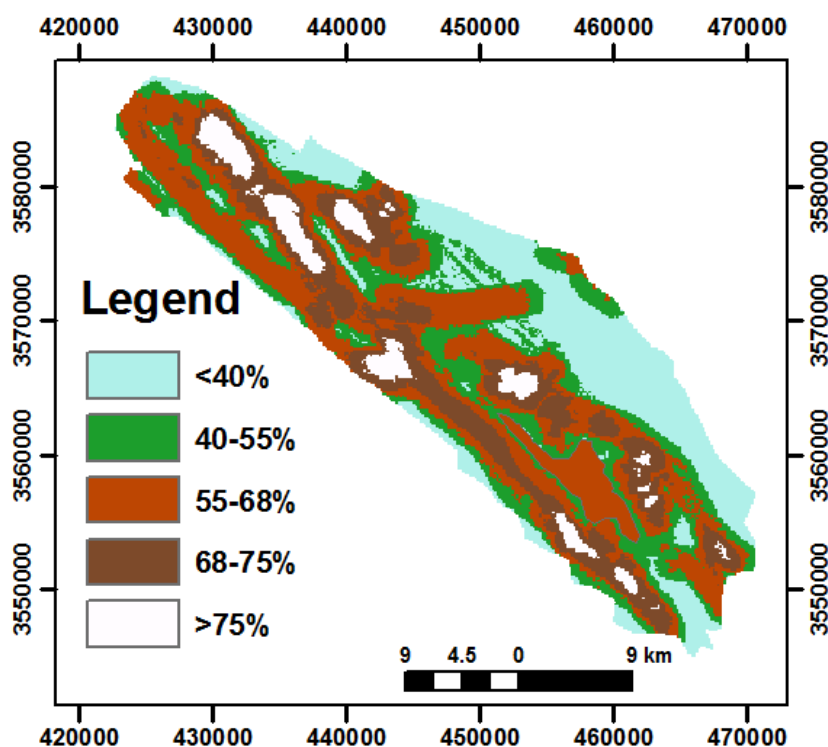
ارزش	تقسیم‌بندی لایه اطلاعاتی	لایه اطلاعاتی	ارزش	تقسیم‌بندی لایه اطلاعاتی	لایه اطلاعاتی
۳	۴۸۶-۵۰۰	میزان بارش (mm)	۹	شمال	جهت شیب
۴	۵۰۰-۶۰۰		۹	شمال شرق	
۵	۶۰۰-۷۰۰		۵	شمال غرب	
۶	۷۰۰-۸۰۰		۱	جنوب	
۷	۸۰۰-۹۰۰		۲	جنوب غرب	
۸	۹۰۰-۱۰۰۰		۳	جنوب شرق	
۹	۱۰۰۰-۱۱۰۰		۴	شرق	
			۴	غرب	
			۶	صاف	
۲	۰-۲۵	تراکم خطواره (درصد)	۹	آهک	لیتولوژی
۴	۲۰-۴۰		۷	آهک دولومیتی	
۶	۴۰-۶۰		۴	آهک مارنی	
۸	۶۰-۸۰		۲	کنگومرا	
۹	>۸۰		۲	مارن نمکی	
۲	۰-۲۵	تراکم آبراهه (درصد)	۲	شیل	
۴	۲۵-۵۰		۱	آبرفت	
۷	۵۰-۷۵		۱	دشت	
۹	>۷۵				
۹	کارست با توسعه خیلی زیاد	عوارض کارستی	۹	۰-۵/۵۱	میزان شیب (درصد)
۸	کارست با توسعه زیاد		۸	۵/۵۱-۱۱/۶۹	
۶	کارست با توسعه متوسط		۷	۱۱/۶۹-۱۷/۵۳	
۴	کارست با توسعه کم		۶	۱۷/۵۳-۲۳/۵۴	
۲	کارست با توسعه خیلی کم		۵	۲۳/۵۴-۳۰/۵۷	
			۳	۳۰/۵۷-۶۶/۱۷	

جدول ۴-۸- وزن‌دهی به لایه‌ها

عوارض کارستی	بارش	تراکم آبراهه	تراکم خطواره	جهت شیب	میزان شیب	لیتولوژی	لایه اطلاعاتی
٪۳۰	٪۱۵	٪۵	٪۱۳	٪۱۰	٪۱۷	٪۱۰	وزن

۴-۳-۲- تعیین مقدار تغذیه منطقه

برای تعیین تغذیه، هر هفت لایه اطلاعاتی (لیتولوژی، تراکم خطواره، شیب، جهت‌شیب، عوارض کارستی، بارش، تراکم آبراهه) که در مراحل قبل تهیه شدند، به صورت لایه‌های اطلاعاتی رستری با پیکسل دارای اندازه یکسان (۱۵۰ ضرب در ۱۵۰ متر) در قسمت Weighted overlay برنامه Arc GIS با هم تلفیق شدند. نهایتاً با اجرای برنامه، مقدار تغذیه منطقه بدست آمد. نتیجه این ترکیب نقشه‌ای رستری شد که در آن هر پیکسل دارای ارزش منحصر به فردی است و این ارزش نمایانگر مقدار تغذیه آن پیکسل می‌باشد. در این مرحله با توجه به نظر کارشناسی و مطالعات گذشته برای هر فاکتور مؤثر در میزان تغذیه برای وزن‌دهی به لایه‌ها وزنی مناسب با آن در میزان تغذیه در نظر گرفته شد. شکل (۴-۲۴) نقشه طبقه‌بندی شده، وضعیت مقدار تغذیه در منطقه را با وزن‌دهی به روش کارشناسی نشان می‌دهد. درصد تغذیه و مساحت هر رده از نواحی مختلف در پنج رده دسته‌بندی شده است که در جدول (۴-۹) آمده است.



شکل ۴-۲۴- نقشه نهایی تغذیه منطقه

جدول ۴-۹- درصد تغذیه سالانه محاسبه شده و مساحت هر رده

تغذیه سالانه (درصد)	مساحت (km^2)
<۴۰	۱۰۰
۴۰-۵۵	۴۰
۵۵-۶۸	۳۰۰
۶۸-۷۵	۱۴۹
>۷۵	۱۳۰

برای بدست آوردن میزان تغذیه سالانه، ابتدا ضریب تغذیه از معادله (۴-۵) محاسبه شد و سپس با استفاده از معادله (۴-۶) حجم تغذیه سالانه بدست آمد.

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i I_i}{A_t} \quad \text{معادله (۴-۵)}$$

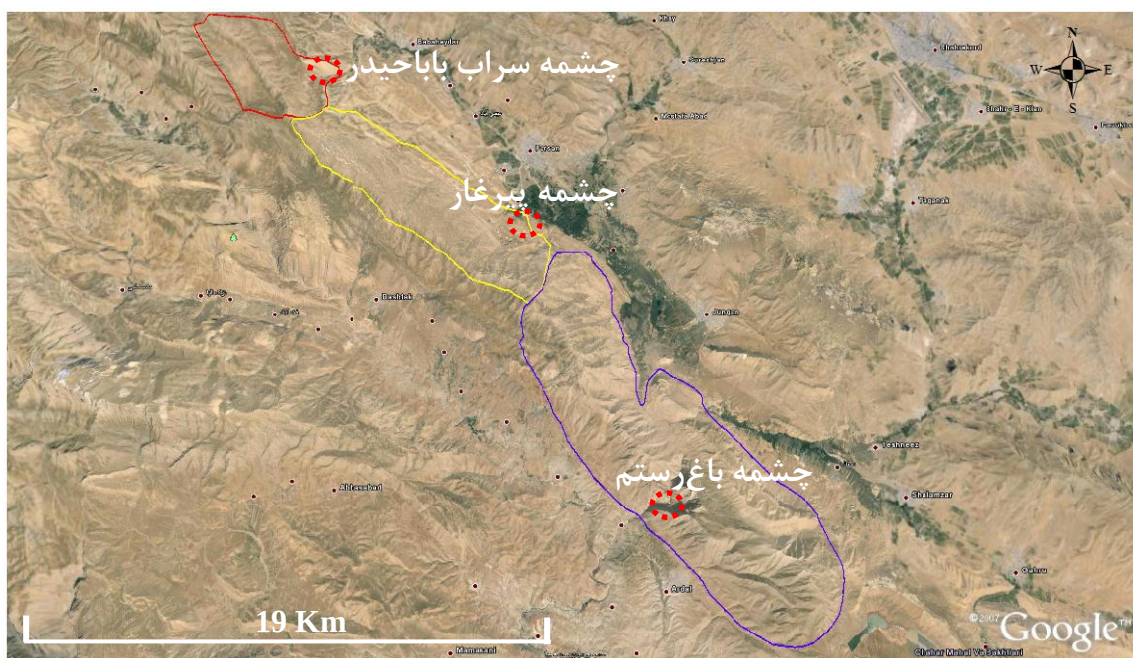
$$V = \bar{P} \cdot \bar{I} \cdot A \quad \text{معادله (۴-۶)}$$

در معادله‌های بالا $\bar{I}$ میزان تغذیه سالانه، A_i مساحت هر رده، I_i میزان تغذیه هر رده، A_t مساحت کل، V حجم آب تغذیه شده، A مساحت منطقه و $\bar{P}$ میانگین بارندگی است.

۴-۴- ارزیابی کلی بیلان در کوه سالدوران- زرآب

بیلان هیدروژئولوژیکی در یک سفره‌ی آب زیرزمینی محاسبه‌ی مقدار حجم آب ورودی به سفره، حجم آب خروجی از آن و در نهایت تغییر در حجم ذخیره سفره در طول یک دوره خاص می‌باشد. در آغاز و پایان سال آبی ذخیره سفره در کمترین مقدار خود قرار دارد (Todd, 2005). هدف عمده از ارزیابی بیلان در کوه سالدوران- زرآب این است که پس از واسنجی‌های نهایی مشخص شود که حجم کل آب تخلیه شده از

چشمه‌های پیرغار و سراب باباحیدر و باغ‌رستم با حجم تغذیه سالانه در کوه آهکی سالدوران-زرآب-سوخته کم و بیش برابر می‌باشد. برای این منظور پس از محاسبه مساحت کوه سالدوران-زرآب-سوخته که حدوداً $344/5$ کیلومتر مربع می‌باشد و با بدست آوردن میانگین بارندگی این کوه از فرمول (۲-۴) که حدوداً 950 میلی‌متر می‌باشد و با استفاده از درصد تغذیه تعیین شده در بخش قبل که حدوداً $0/63$ درصد می‌باشد میزان حجم تغذیه سالانه در کوه سالدوران-زرآب-سوخته 205 میلیون متر مکعب بدست آمد. مجموع حجم تخلیه چشمه‌ها حدوداً 195 میلیون متر مکعب می‌باشد که با حجم تغذیه بدست آمده کوه سالدوران-زرآب-سوخته هم‌خوانی نزدیکی دارد. بنابراین این‌چنین می‌توان اظهار نظر نمود که کوه سالدوران تقریباً تمام حوضه آبرگیر چشمه‌های فوق‌الذکر را شامل می‌شود. شکل (۴-۲۵) موقعیت حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد نظر را نشان می‌دهد.

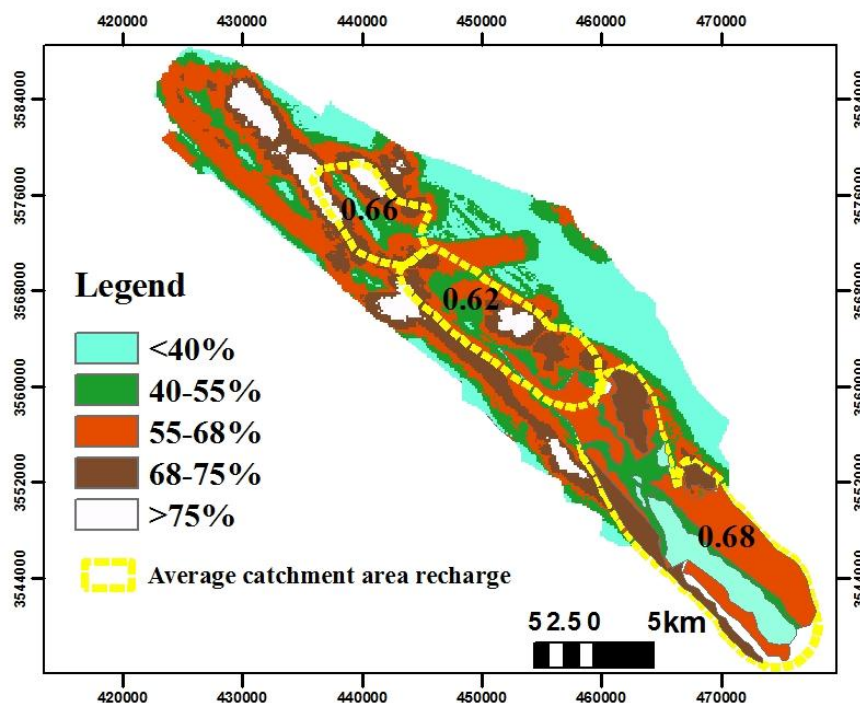


شکل ۴-۲۵- موقعیت چشمه‌های (پیرغار، سراب باباحیدر و باغ‌رستم) اطراف کوه سالدوران-زرآب

۴-۵- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی منطقه

در منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از روش زمین‌شناسی که شامل وضعیت چینه‌شناسی منطقه،

ژئومورفولوژی منطقه، تکتونیک منطقه و توپوگرافی منطقه می‌باشد، اقدام به تعیین مرز اولیه حوضه آبرگیر چشمه‌های مهم منطقه شده است. برای این منظور عوامل زمین‌شناسی مهم که در تعیین حوضه‌های آبرگیر منطقه در نظر گرفته شد شامل: شناسایی سازند اصلی آبخوان چشمه کارستی، شناسایی لایه نفوذناپذیر زیرین آبخوان چشمه کارستی، شناسایی محدوده لایه نفوذناپذیر اطراف سنگ آبخوان چشمه، بررسی دقیق سیستم گسل‌های موجود در آبخوان کارستی و توپوگرافی منطقه (با توجه به جهت شیب لایه‌ها و در نظر گرفتن گرادیان هیدرولیکی تقریبی مورد نیاز برای حرکت آب به سمت چشمه) می‌باشد. در این مرحله، با توجه به مطالب ذکر شده، حوضه آبرگیر اولیه چشمه‌ها ترسیم گردید. سپس با استفاده از روش بیلان هیدروژئولوژیکی، حوضه آبرگیر اولیه منطقه اصلاح شد، به این ترتیب که حجم تخلیه سالانه چشمه با میزان حجم تغذیه بدست آمده در حوضه آبرگیر چشمه، مورد مقایسه قرار گرفت. در این مرحله، چنانچه اختلاف قابل توجهی بین تخلیه سالانه چشمه با میزان حجم تغذیه بدست آمده وجود نداشته باشد و میزان خطای نسبی بین آنها اندک باشد، حوضه آبرگیر اولیه ترسیم شده، مورد تأیید قرار می‌گیرد. شکل (۴-۲۶) میزان درصد تغذیه هر کدام از حوضه‌های آبرگیر را با توجه به میزان نفوذپذیری هر رده نشان می‌دهد.

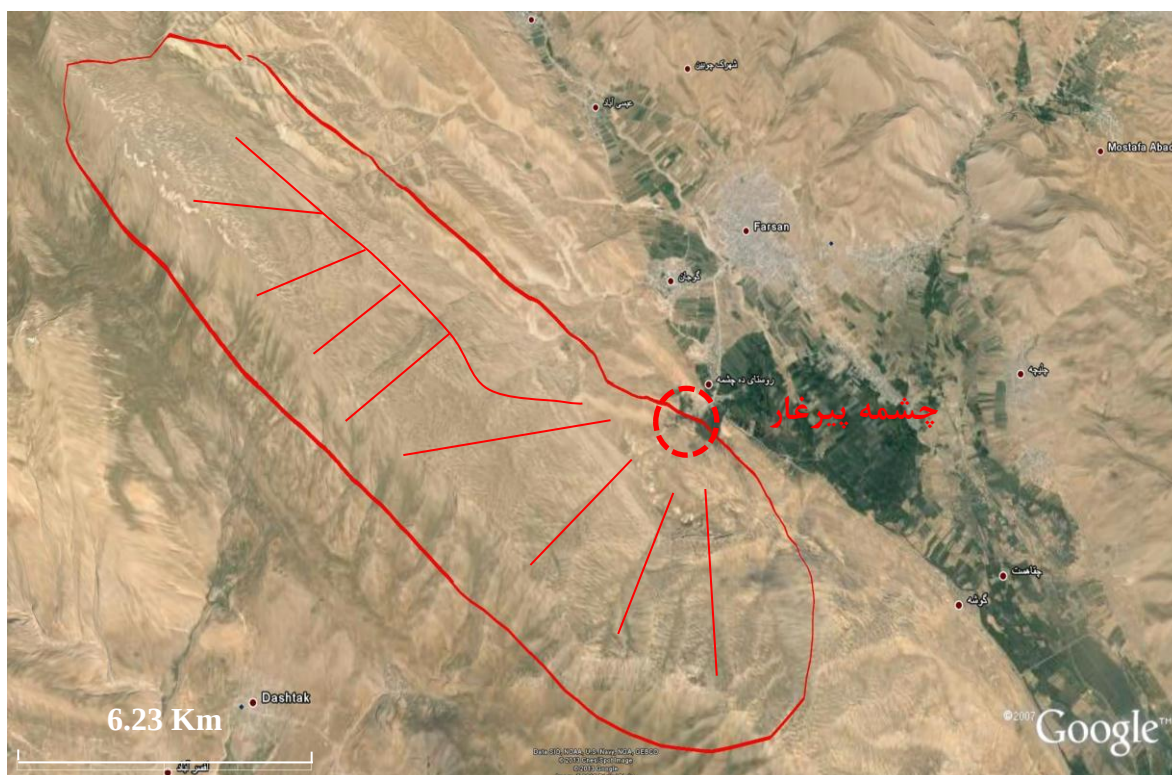
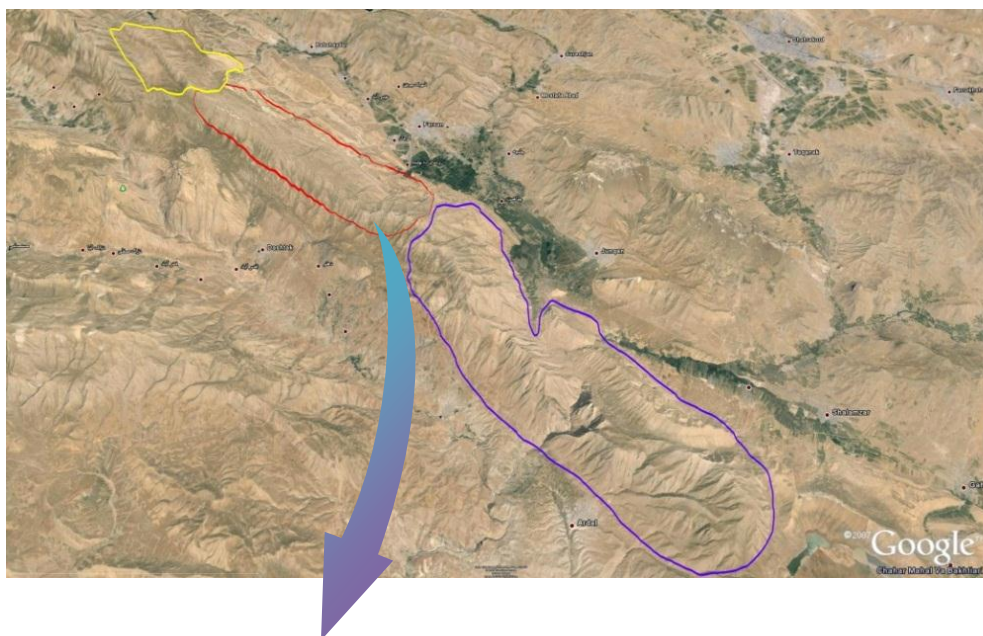


شکل ۴-۲۶- موقعیت و میزان تغذیه حوضه‌های آبرگیر

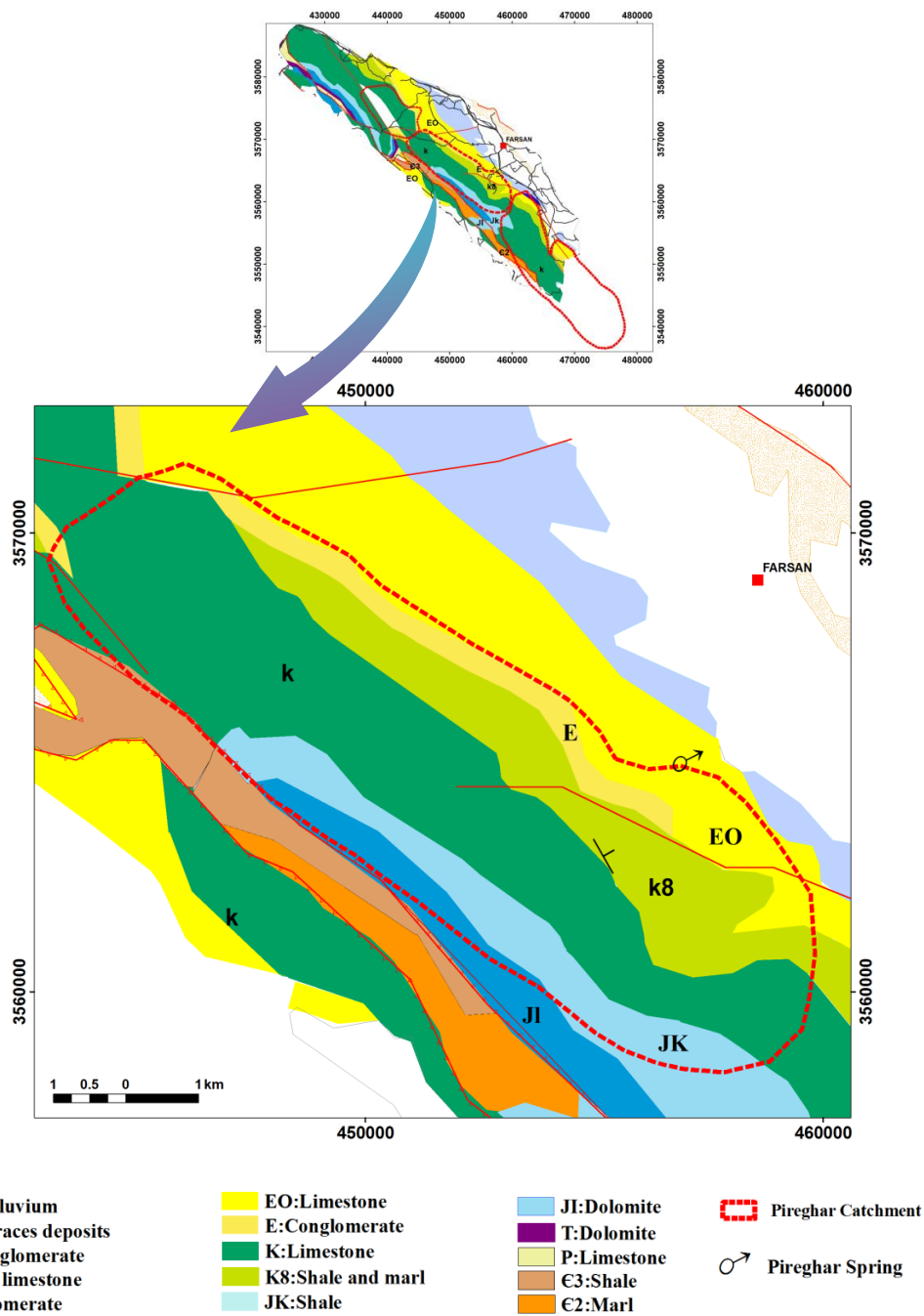
۴-۵-۱- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی پیرغار

برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبرگیر این چشمه از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چین‌شناسی، وضعیت تکتونیک و مورفولوژی منطقه، محدوده احتمالی حوضه آبرگیر اولیه چشمه، تعیین شد. این محدوده شامل بخشی از تاقدیس سالدوران می‌باشد که سازند آسماری و بخش عمده‌ای از سازند سروک را در بر می‌گیرد. بخش رخنمون یافته کوچکی از لایه‌های ناتروای شیلی که در تماس هیدرولیکی با سازند سروک قرار دارد و در اثر فعالیت‌های تکتونیکی و فرسایشی به یک زون خرد شده تبدیل شده، جزء محدوده حوضه آبرگیر چشمه پیرغار در نظر گرفته شده است. به طور کلی، محدوده حوضه آبرگیر با توجه به عملکرد گسل‌های تراستی در منطقه به خصوص در یال شمالی کوه سالدوران و امتداد گسل‌های فرعی منشعب شده از گسل تراستی با روند تقریباً عمود بر روند عمومی زاگرس (شکل ۴-۲۷) و شیب لایه‌های زمین‌شناسی که با شیب زیاد به سمت شمال شرقی قرار گرفته‌اند، حدوداً ۹۲ کیلومترمربع تعیین شد. همانطور که در (شکل ۴-۲۸) نشان داده شده در تمام این منطقه امکان حرکت آب زیرزمینی به سمت چشمه از نظر هیدرولیکی وجود دارد. به نظر می‌رسد که پتانسیل تخلیه آب از یال شمالی کوه سالدوران نسبت به یال جنوبی بیشتر باشد. این مطلب به خصوص در مورد سازند سروک و تخلیه از این سازند مصداق بیشتری دارد.

پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبرگیر اولیه چشمه، به منظور تأیید یا عدم تأیید محدوده تعیین شده برای حوضه آبرگیر چشمه پیرغار، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور، میزان حجم تخلیه سالانه چشمه که حدوداً ۶۲/۳ میلیون مترمکعب می‌باشد با حجم تغذیه بدست آمده از فرمول (۴-۶) که حدوداً ۶۱/۲ میلیون متر مکعب می‌باشد (با میزان بارندگی ۱۰۰۰ میلیمتر و درصد تغذیه ۰/۶۶) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی بدست آمده که حدود یک درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالانه چشمه و حجم تغذیه بدست آمده، حوضه آبرگیر اصلاح شده حدوداً ۹۳ کیلومتر مربع تعیین شد که با حوضه آبرگیر اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



شکل ۴-۲۷- موقعیت حوضه آبرگیر چشمه پیرغار در Google earth



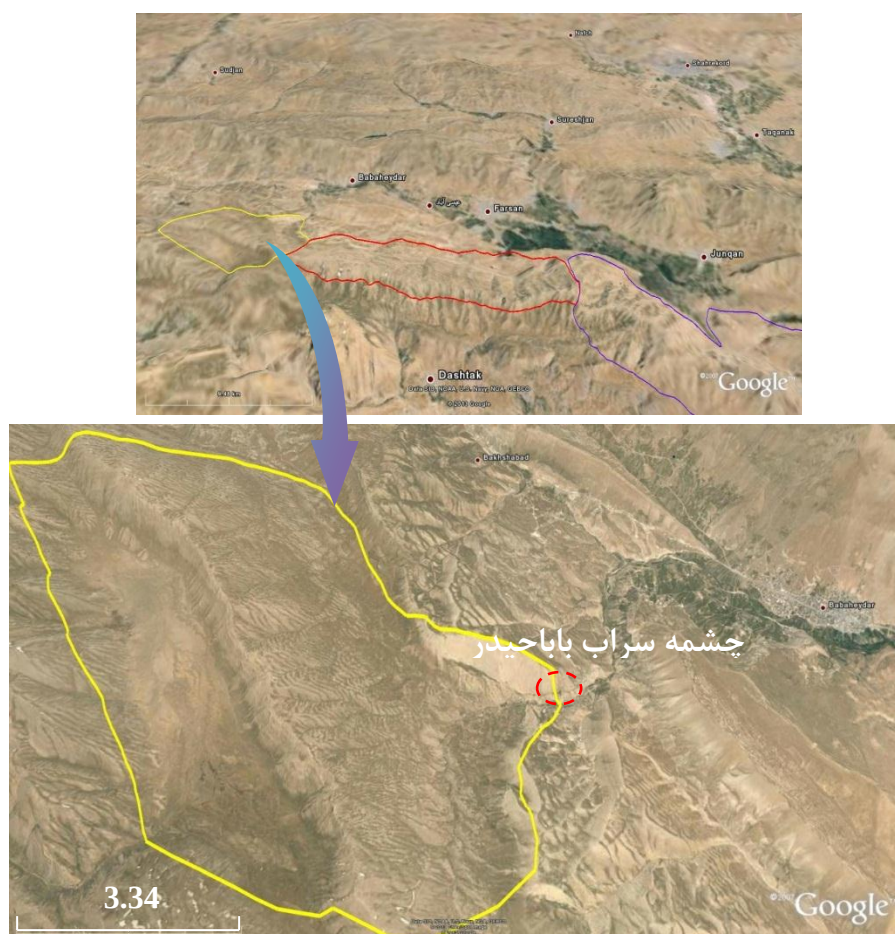
شکل ۴-۲۸- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبرگیر چشمه پیرغار

۴-۵-۲- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی سراب باباحیدر

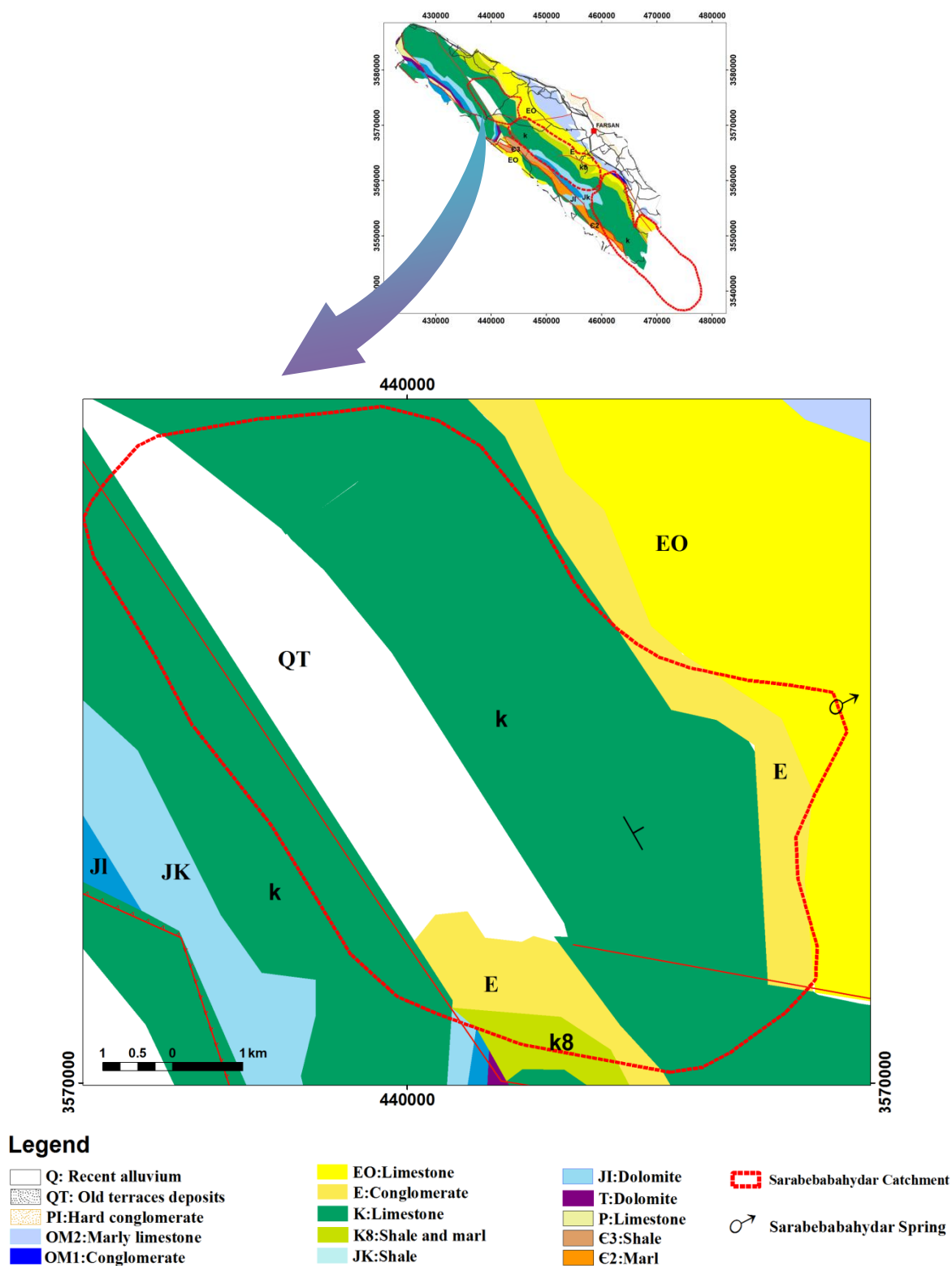
برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبرگیر این چشمه همانند چشمه پیرغار از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چینه‌شناسی، وضعیت تکتونیک و مورفولوژی

منطقه، محدوده احتمالی حوضه آبرگیر اولیه چشمه، تعیین شد. این چشمه در سازند آهکی آسماری ظهور یافته است. این سازند در محل چشمه دارای شیب به سمت شمال شرق می‌باشد، در زیر سازند آسماری در محل چشمه سازند کشکان و در زیر آن نیز سازند سروک قرار گرفته است. مورفولوژی محل ظهور چشمه یک دره فرسایش می‌باشد که فرسایش آن در امتداد درزه‌های برشی منطقه می‌باشد. سازندهای ذکر شده همه جزئی از یال یک تاقدیس تک شیب با شیب به سمت شمال شرق می‌باشند. از جنوب شرق به ارتفاعات سالدوران و از شمال غرب به کوه زرآب منتهی می‌شود. درزه‌های کشتی که در ابعاد بزرگ و توسعه یافته به گسل‌های کشتی تبدیل شده‌اند در توسعه و هدایت جریان‌های آب کارست نقش اساسی را ایفا کرده‌اند. پولیه لاغرک در ارتفاعات جنوب غربی چشمه نقش تغذیه کنندگی آب چشمه را بر عهده دارد (شکل ۴-۲۹). با توجه به توالی چینه‌شناسی، محدوده احتمالی حوضه آبرگیر چشمه بخشی از سازند سروک و سازند آسماری را شامل می‌شود (شکل ۴-۳۰). با توجه به نقشه، دلایل تعیین این محدوده به شرح زیر است. در مرز جنوب غربی حوضه آبرگیر و در تماس با پایین دست سازند سروک، لایه‌های ناتروای شیلی رخنمون دارد که به عنوان یک سد هیدروژئولوژیکی مانع از حرکت آب به سمت رسوبات عهد حاضر شده است. بنابراین این مرز یک مرز کاملاً نفوذناپذیر محسوب می‌گردد. مرز شرقی چشمه سراب باباحیدر از لحاظ توپوگرافی در مرز با سازند غیرکارستی کشکان واقع می‌شود که به نظر نمی‌رسد ذخایر آب چندانی داشته باشد و بخشی از رواناب سطحی با عبور از این سازند به سمت رودخانه سراب حرکت می‌کند. مرز غربی حوضه آبرگیر به گسل لاغرک محدود می‌شود که به عنوان یک معبر، آب حاصل از ذوب برف در ارتفاعات را به سمت چشمه سراب باباحیدر تخلیه می‌کند. از نظر هیدروژئولوژیکی این گسل یک مرز تغذیه کننده محسوب می‌شود، زیرا در کف دره‌ای که این گسل واقع شده پلیه لاغرک واقع شده که حجم آب زیادی به داخل آن فرو می‌رود. مطالعات صحرایی شکستگی‌های بزرگ را نشان می‌دهد که از این گسل به سمت حوضه آبرگیر انتخاب شده، امتداد دارند که در طول این شکستگی‌ها، آب‌فروچاله‌های زیادی نیز دیده می‌شوند. به این ترتیب محدوده حوضه آبرگیر حدود ۴۹ کیلومتر مربع تعیین گردید. پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبرگیر اولیه چشمه، به منظور تأیید یا عدم تأیید محدوده

تعیین شده برای حوضه آبرگیر چشمه سراب باباحیدر، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور، میزان حجم تخلیه سالیانه چشمه که ۳۱ میلیون مترمکعب می‌باشد با حجم تغذیه بدست آمده از فرمول (۴-۶) که حدوداً $30/7$ میلیون متر مکعب می‌باشد (با میزان بارندگی ۹۵۰ میلیمتر و درصد تغذیه ۰/۶۸) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی بدست آمده که حدوداً نه درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالیانه چشمه و حجم تغذیه بدست آمده، حوضه آبرگیر اصلاح شده حدوداً $47/5$ کیلومتر مربع تعیین شد که با حوضه آبرگیر اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



شکل ۴-۲۹- موقعیت حوضه آبرگیر سراب باباحیدر در Google earth

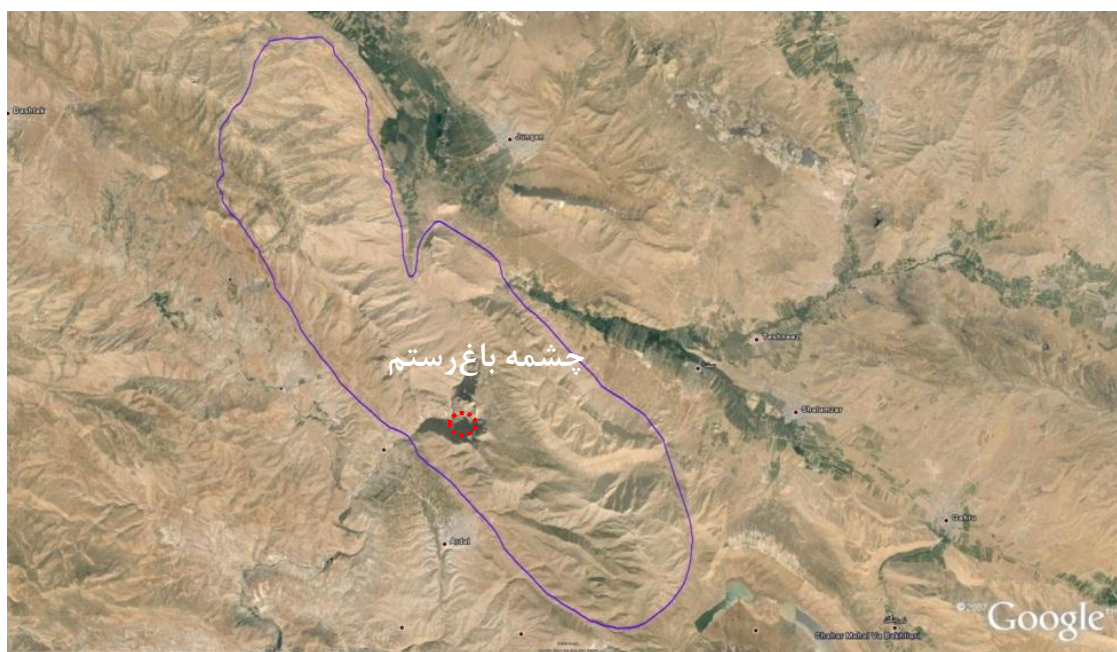


شکل ۴-۳- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبرگیر چشمه سراب باباحیدر

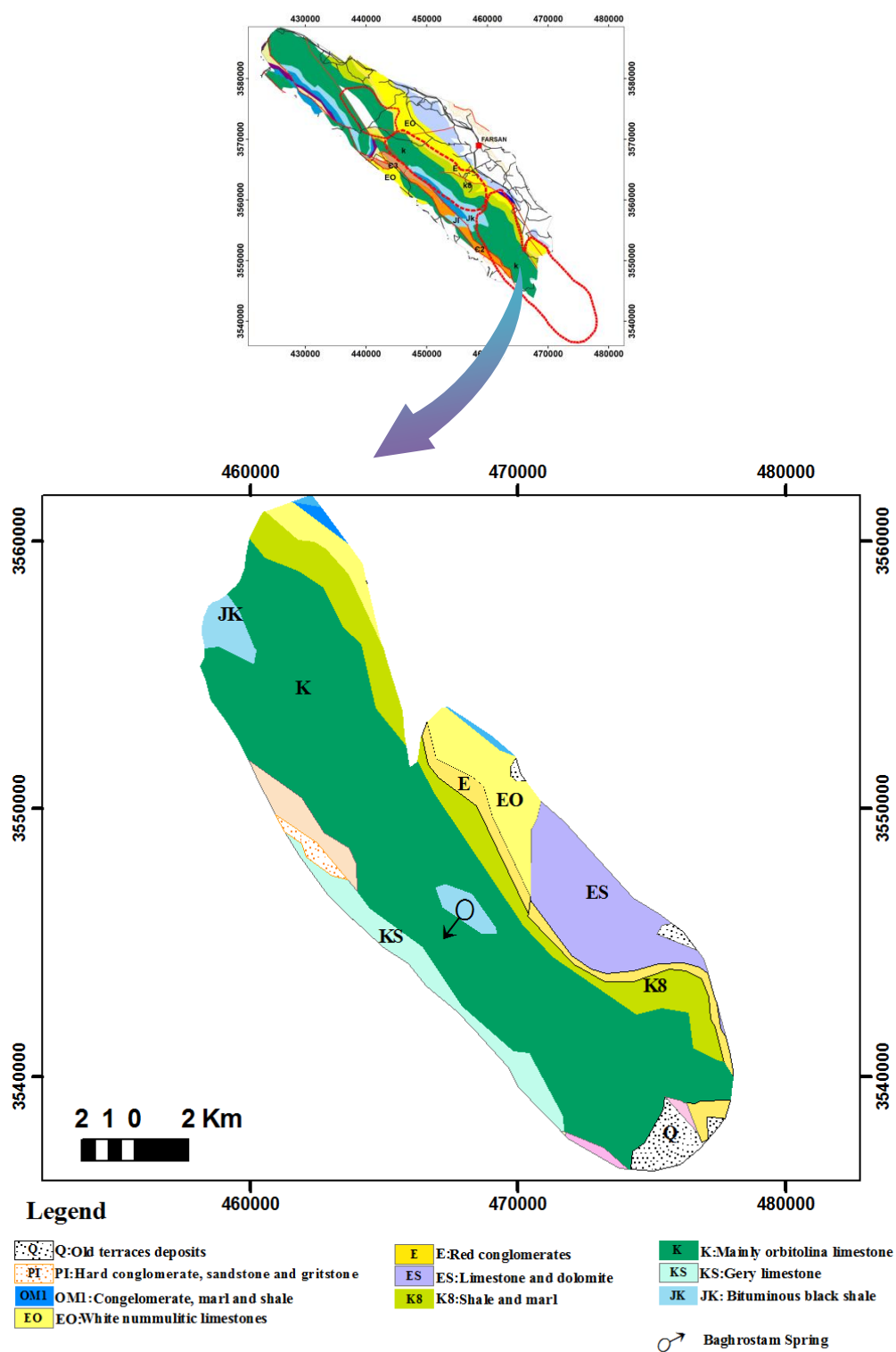
۴-۵-۳- تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی باغ‌رستم

برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبرگیر این چشمه همانند چشمه پیرغار و سراب باباحیدر از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چینه‌شناسی، وضعیت تکتونیک و مورفولوژی منطقه، محدوده احتمالی حوضه آبرگیر اولیه چشمه، تعیین شد. این چشمه در خروجی تنگ سالدوران در محل تقاطع گسل اردل با دو گسل فرعی دیگر ظهور پیدا کرده است (شکل ۴-۳۱). گسل اردل که یک گسل پی‌سنگی می‌باشد با امتداد شمال غرب- جنوب شرق، در واقع نقش یک سد طبیعی زیرزمینی را در ظهور چشمه باغ‌رستم دارد. درزه‌ها با قطع نمودن سازند آهکی سروک باعث زهکشی و هدایت جریان‌های آب زیرزمینی از ارتفاع بالاتر به ارتفاع پایین‌تر می‌شوند. سپس گسل اردل جریان آب زیرزمینی را در محل چشمه باغ‌رستم در سطح زمین جاری می‌سازد. به احتمال زیاد حوضه تغذیه چشمه باغ‌رستم تا کیلومترها در امتداد گسل اردل توسعه دارد. از نظر زمین‌شناسی مهم‌ترین سازند کارستی منطقه سازند سروک است (شکل ۴-۳۲) که دارای ویژگی انحلال و کارستی شدن است و باعث بارزترین پدیده ژئومورفولوژیکی منطقه که مجموعه آبروچاله‌های کارستی می‌باشد شده است. بنابراین محدوده حوضه آبرگیر باغ‌رستم حدود ۲۰۲ کیلومترمربع تعیین گردید.

پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبرگیر اولیه چشمه، به منظور تأیید یا عدم تأیید محدوده تعیین شده برای حوضه آبرگیر چشمه باغ‌رستم، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور، میزان حجم تخلیه سالیانه چشمه که ۹۷/۷ میلیون متر مکعب می‌باشد که با حجم تغذیه بدست آمده از فرمول (۴-۶) که حدوداً ۹۴/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد (با میزان بارندگی ۷۵۰ میلیمتر و درصد تغذیه ۰/۶۲) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی بدست آمده که حدوداً دو درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالیانه چشمه و حجم تغذیه بدست آمده، حوضه آبرگیر اصلاح شده حدوداً ۲۰۴ کیلومتر مربع تعیین شد که با حوضه آبرگیر اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



شکل ۴-۳۱- موقعیت حوضه آبرگیر باغ رستم در Google earth



شکل ۴-۳۲- نقشه زمین‌شناسی چشمه باغ‌روستم

۴-۶- ارزیابی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه

یکی از مسائل مهم در هیدروژئولوژی، پی بردن به مسیر جریان آب زیرزمینی و چگونگی ارتباط آبخوان‌های موجود در یک منطقه با یکدیگر است. اگر چه تعیین مسیرهای جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی بسیار پیچیده است اما می‌توان با توجه به برخی عوارض و شواهد موجود جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی را پیش‌بینی نمود. لایه‌های نفوذناپذیر در کنترل جهت‌گیری جریان نقش مؤثری دارند و می‌توانند بیشترین اثر را در جهت‌گیری، هدایت و متمرکز شدن جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی داشته باشند. جهت کلی جریان آب زیرزمینی که عمدتاً در سیستم درزهای سنگ‌ها صورت می‌گیرد غالباً از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌نماید. به این منظور برای هر یک از چشمه‌های مورد نظر عوامل مؤثر (مانند دره‌های کارستی، مسیر آبروچاله‌ها، چینه‌شناسی، گسل‌ها، درزه‌ها، شیب، ارتفاع و...) در جهت‌گیری جریان آب زیرزمینی بررسی شد. جریان آب زیرزمینی درون یک سفره کارستی پس از عبور از مسیرهای فرعی وارد مسیرهای اصلی جریان می‌شوند و در آن راستا به سوی چشمه هدایت می‌شوند. در این تحقیق بر نقش تأثیرگذار عواملی مانند دره‌های کارستی، مسیر آبروچاله‌ها، چینه‌شناسی، گسل‌ها، درزه‌ها، شیب، ارتفاع در ایجاد جریان‌های زیرزمینی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. همچنین بررسی‌های انجام شده حاکی از وجود جریان‌های زیرزمینی در جایی که تراکم شکستگی‌ها و آبروچاله‌ها بالا است، دارد. در منطقه مورد نظر نواحی تغذیه شامل، آبروچاله‌های متصل به پلایه‌ها، درزه‌ها و شکاف‌ها، سطوح لایه‌بندی و گسل‌های فرعی می‌باشند که در دامنه چین‌ها تمرکز داشته و تخلیه آب چشمه نیز در جهت شیب لایه‌ها و به ویژه در محل تماس با تشکیلات نفوذناپذیر صورت می‌گیرد. بنابراین، عوامل فوق بر راستای عمومی جریان آب زیرزمینی اثر گذاشته و آن را کنترل می‌کنند و محل ظهور چشمه‌ها در سطح زمین توسط عواملی چون گسل‌ها و تماس بین سازندهای تراوا و ناتراوا و در برخی موارد توسط سطح اساس فرسایش محلی (Local base level) تعیین می‌شود. از آنجا که عوامل کنترل پدیده کارست و بر هم کنش آنها در مناطق کارستی به ویژه در منطقه مورد مطالعه که از به هم ریختگی ساختاری برخوردار است، ناهمسان می‌باشد ارائه یک قانون کلی درباره نقش عوامل ذکر

شده در تعیین راستای عمومی جریان آب زیرزمینی امکان‌پذیر نبوده و در هر مورد خاص و برای هر یک از چشمه‌ها باید به طور جداگانه انجام شود. به همین منظور در ادامه سعی شده با در نظر گرفتن موارد فوق‌الذکر برای هر کدام از حوضه‌های آبرگیر چشمه‌ها، جهت عمومی جریان آب زیرزمینی مشخص شود. در جدول (۴-۱۰) عوامل مهم کنترل‌کننده جهت جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه‌ها آورده شده است.

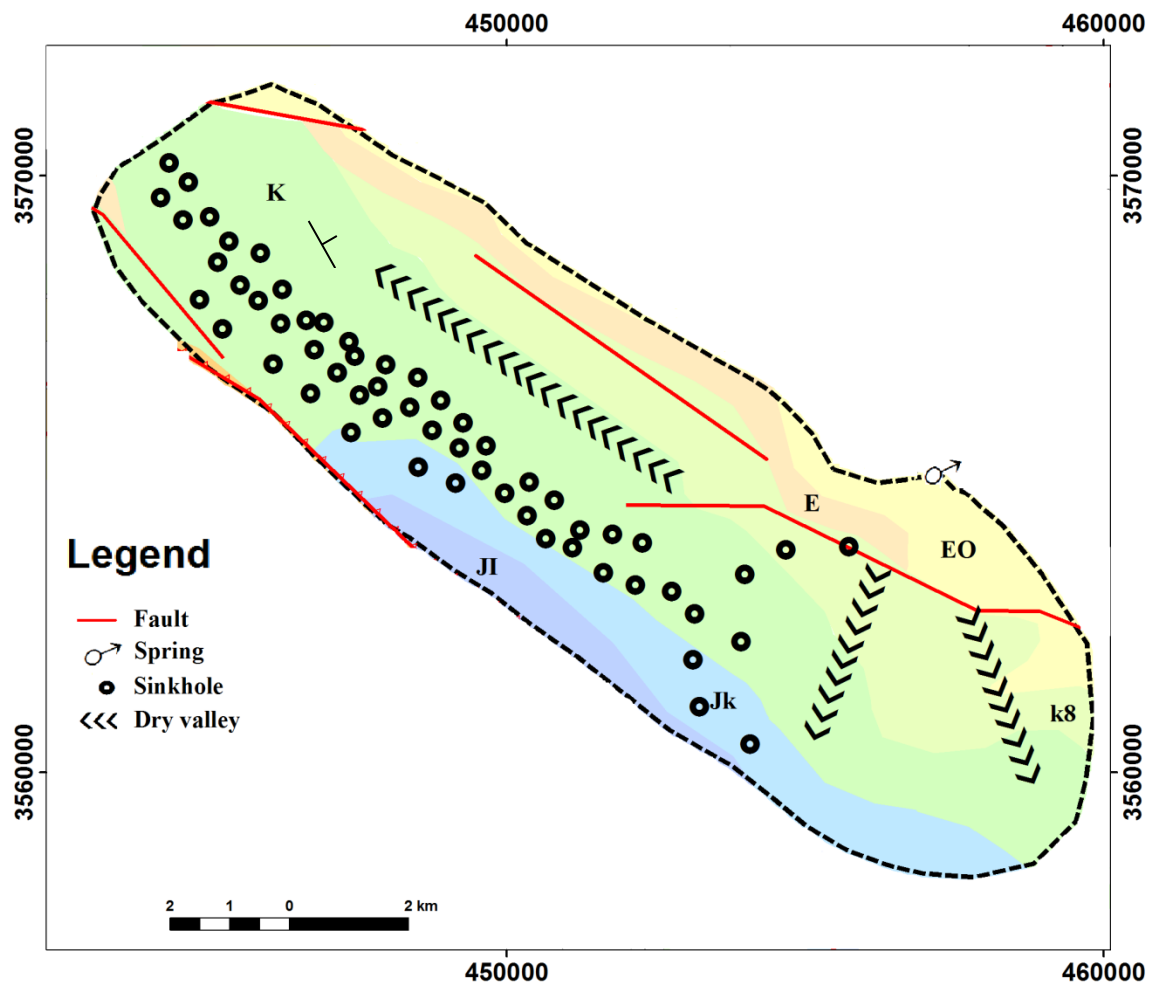
جدول ۴-۱۰- عوامل تأثیرگذار در جهت عمومی جریان در آبخوان‌های کارستی منطقه

نام چشمه	عوامل کنترل‌کننده جهت عمومی جریان آب زیرزمینی	
	عوامل اصلی	عوامل فرعی
پیرغار	دره‌های خشک-آبفروچاله‌ها-گسل‌های اصلی	سطوح لایه‌بندی، درزه‌ها و گسل‌های فرعی
سراب باباحیدر	همگرایی دره‌های خشک، سطح اساس فرسایش، مسیر آبفروچاله‌ها	سطوح لایه‌بندی، درزه‌ها
باغ‌رستم	وجود گسل‌های اصلی زاگرس، سطح اساس فرسایش	درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی

۴-۶-۱- ارزیابی جهت کلی جریان در محدوده چشمه کارستی پیرغار

پس از تعیین محدوده احتمالی حوضه آبرگیر چشمه سعی بر آن شد تا با توجه به شواهد موجود، جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی مشخص شود. از جمله شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت جریان آب زیرزمینی مسیر آبفروچاله‌ها در این حوضه آبرگیر است که تقریباً همه آن‌ها از یک روند تبعیت می‌کنند. همچنین وجود دره‌های خشک کارستی یکی دیگر از شواهد تأثیرگذار برای تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در این حوضه آبرگیر بود. وجود شکستگی‌ها به خصوص گسل اصلی فارسان در محدوده

حوضه آبرگیر از جمله عوامل تأثیرگذار بر جهت جریان شناخته شده است. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال غرب به جنوب شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران می‌باشد. شکل (۴-۳۳) عوامل تأثیرگذار بر جهت جریان را نشان می‌دهد و همانطور که دیده می‌شود آبروچاله‌ها نقش مؤثری در شکل‌گیری جهت عمومی جریان دارند.

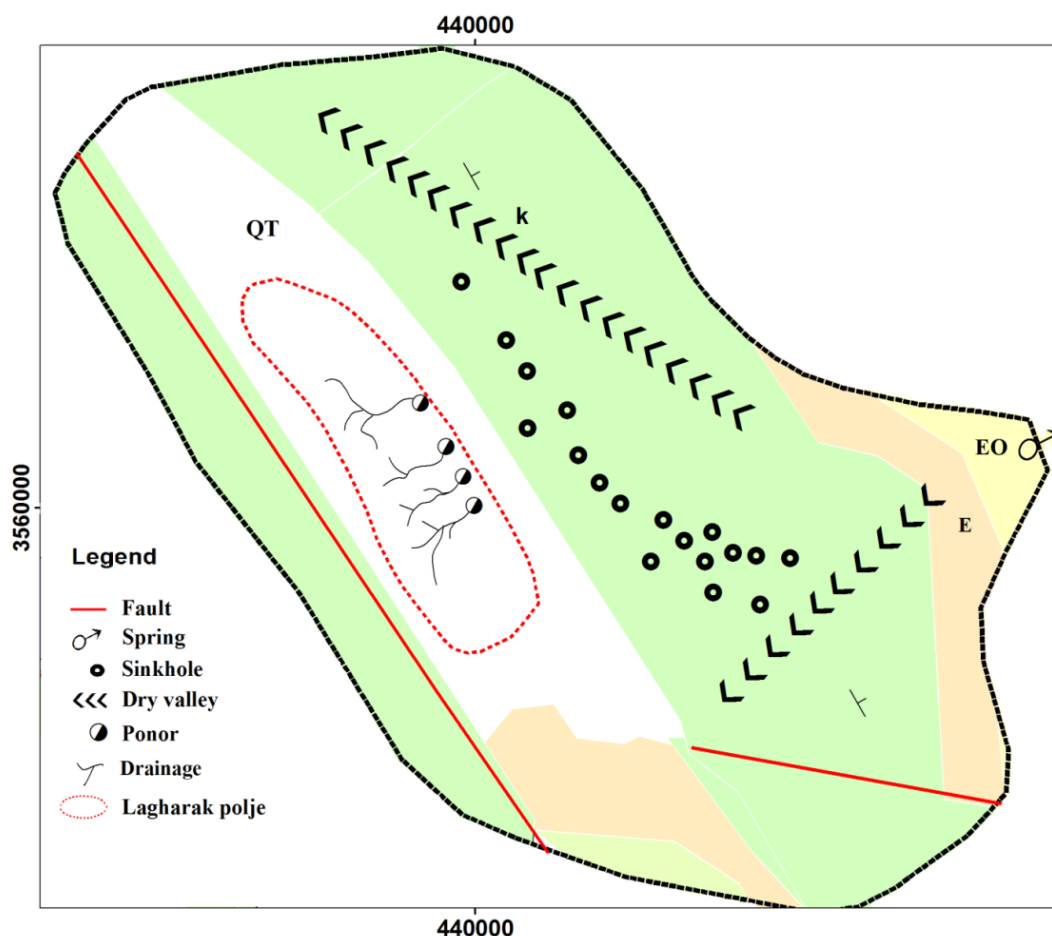


شکل ۴-۳۳- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت عمومی جریان (چشمه پیرغار)

۴-۶-۲- تعیین مسیر عمومی جهت جریان در حوضه آبرگیر چشمه کارستی باباحیدر

پس از تعیین حوضه آبرگیر چشمه کارستی سراب باباحیدر، همانند چشمه پیرغار سعی بر آن شد تا با

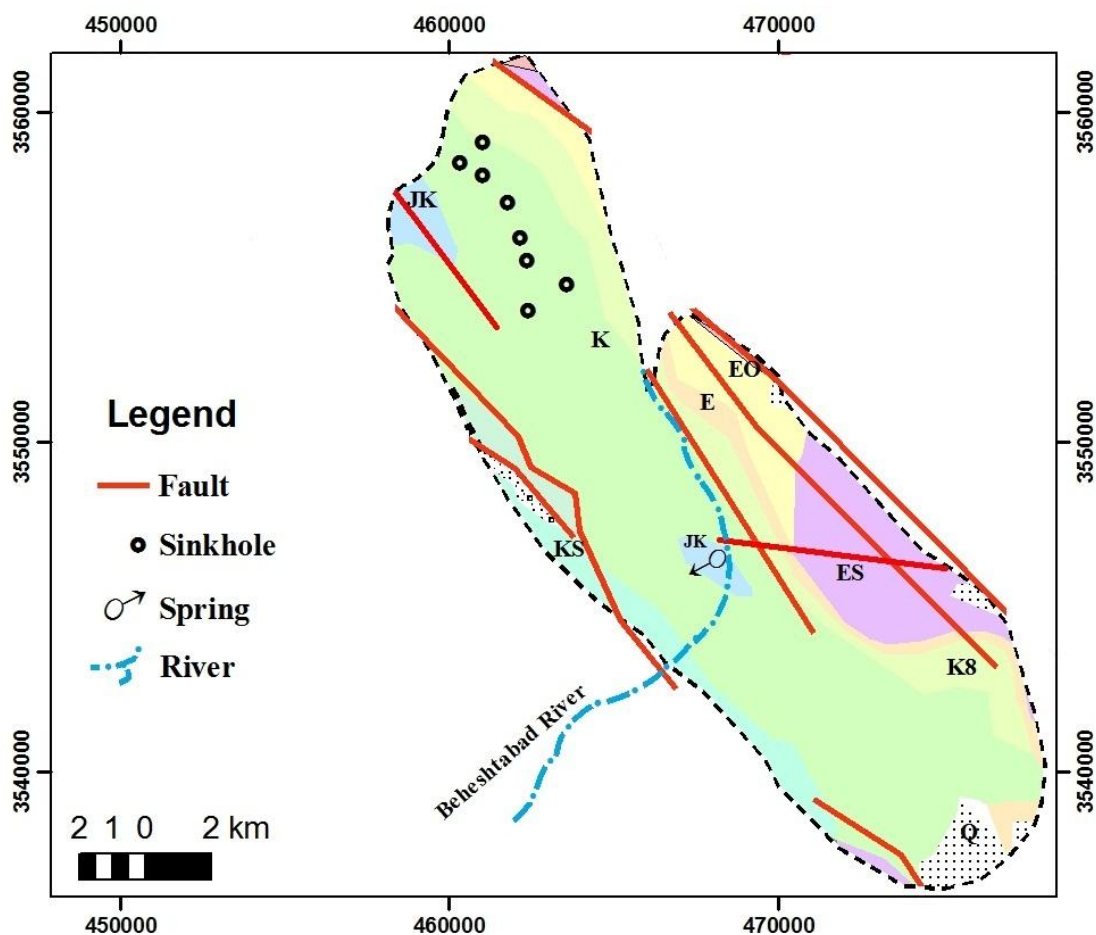
توجه به شواهد موجود، جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی مشخص شود. از جمله شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت جریان وجود آب‌فروچاله‌های فراوان با ابعاد متفاوت در این حوضه آبرگیر، سطح اساس فرسایش، وجود پلایه لاغرک و پونرهای متعدد در آن می‌باشد. همچنین وجود دره‌های کارستی و همگرایی آنها یکی دیگر از شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در این حوضه آبرگیر بود. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران می‌باشد. شکل (۴-۳۴) موقعیت زمین‌شناسی و وجود سازندهای آهکی با ویژگی انحلال و کارستی شدن را در حوضه آبرگیر چشمه و عوامل تأثیرگذار در جهت جریان را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۴- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت عمومی جریان (چشمه سراب باباحیدر)

۴-۶-۳- تعیین مسیر عمومی جهت جریان در حوضه آبرگیر چشمه کارستی باغ‌رستم

پس از تعیین حوضه آبرگیر این چشمه همانند چشمه پیرغار و سراب باباحیدر سعی بر آن شده است تا با توجه به شواهد موجود، جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی تعیین شود. از جمله شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت جریان وجود آب‌فروچاله‌ها، سطح اساس فرسایش و گسل‌های اصلی زاگرس در این حوضه آبرگیر بود که نقش اصلی را در جهت‌گیری جریان آب زیرزمینی دارند. همچنین وجود دره کارستی عمیق و موقعیت قرارگیری چشمه در آن از جمله شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در این حوضه آبرگیر بود. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال غرب به جنوب شرق و در جهت محور تاقدیس سوخته-سالدوران می‌باشد (شکل ۴-۳۵).



شکل ۴-۳۵- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت عمومی جریان (چشمه باغ‌رستم)

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل، ابتدا نتایج اصلی بدست آمده از این تحقیق به طور مختصر ذکر می‌شود و سپس پیشنهادهایی برای تکمیل این تحقیق ارائه خواهد شد.

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این بخش نتایج حاصل از کلیه مراحل تحقیق شامل: برآورد بارندگی منطقه، ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی، تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای برآورد میانگین تغذیه سالانه منطقه با استفاده از GIS، تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی منطقه و ارزیابی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه به طور مختصر ارائه می‌شود.

۵-۱-۱- ارائه روشی مناسب برای برآورد میانگین بارندگی حوضه مورد نظر

همانطور که قبلاً اشاره شد به منظور برآورد دقیق‌تر میانگین بارندگی سالانه منطقه با استفاده از روش‌های آماری اقدام به برآورد بارندگی حوضه مورد نظر شده است. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده ملاحظه شد که بارندگی منطقه علاوه بر ارتفاع به یک پارامتر دیگری نیز وابسته است. بررسی‌های انجام شده نشان داد که مقدار بارندگی در ایستگاه‌های منطقه علاوه بر ارتفاع با فاصله از محور زاگرس نیز رابطه دارند. به طوری که افزایش بارندگی‌ها، با افزایش ارتفاع و کاهش فاصله طولی-عرضی از محور مرکزی زاگرس می‌باشد.

۵-۱-۲- بررسی خصوصیات هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه‌های کارستی

به منظور ارزیابی جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی مورد نظر، اقدام به بررسی خصوصیات هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه‌های کارستی پیرغار و سراب باباحیدر گردید. نتایجی که حاصل شد به طور مختصر برای هر چشمه ذکر خواهد شد.

الف - چشمه پیرغار

همانطور که در بخش (۴-۲-۱) توضیح داده شد، ضریب تغییرات دبی در این چشمه بسیار بالا می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات دبی برای سال آبی ۹۰-۹۱ برابر با ۹۸/۱ درصد است که بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و وجود آب‌فروچاله‌های فراوان و دیگر عارضه‌های کارستی گسترده در نواحی مرتفع حوضه آبرگیر چشمه و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبرگیر می‌باشد. همچنین تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه پیرغار نشان می‌دهد که منحنی فروکش این چشمه دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که بیانگر توسعه‌یافتگی آبخوان کارستی تأمین کننده آب این چشمه است. همچنین اشاره شد که رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه وجود دارد. علت این امر از این قرار است که در مواردی که دبی زیاد می‌شود آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها که از طریق آب‌فروچاله‌ها به آبخوان ملحق می‌شوند، بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و علاوه بر این به علت سرعت بالای جریان آب در آبخوان کارستی فرصت کمتری برای انحلال مواد وجود دارد. بنابراین، این موارد باعث می‌شوند که هدایت الکتریکی چشمه با افزایش دبی چشمه به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند. تغییرات قابل توجه هدایت الکتریکی چشمه با تغییرات دبی بیانگر توسعه‌یافتگی در آبخوان کارستی مورد مطالعه می‌باشد.

ب - چشمه باباحیدر

همانطور که در بخش (۴-۲-۲) توضیح داده شد، ضریب تغییرات دبی در این چشمه بسیار بالا می‌باشد به

طوری که ضریب تغییرات دبی برای سال آبی ۹۱-۹۰ برابر با ۱۰۹/۲ درصد می‌باشد که در مقایسه با چشمه پیرغار اندکی بیشتر است که این امر بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و وجود آب‌فروچاله‌های و پونرهای فراوان و وجود پلایه لاغرک در نواحی مرتفع حوضه آبرگیر چشمه و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبرگیر می‌باشد. همچنین تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه سراب باباحیدر نشان می‌دهد که منحنی فروکش این چشمه همانند چشمه پیرغار دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که بیانگر توسعه‌یافتگی آبخوان کارستی تأمین کننده آب این چشمه است. همچنین نشان داده شد که همانند چشمه پیرغار رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه وجود دارد. علت این امر از این قرار است که در مواردی که دبی زیاد می‌شود آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها که از طریق آب‌فروچاله‌ها به آبخوان ملحق می‌شوند، بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و علاوه بر این به علت سرعت بالای جریان آب در آبخوان کارستی فرصت کمتری برای انحلال مواد وجود دارد. بنابراین، این موارد باعث می‌شوند که هدایت الکتریکی چشمه با افزایش دبی چشمه به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند. تغییرات قابل توجه هدایت الکتریکی چشمه با تغییرات دبی بیانگر توسعه‌یافتگی در آبخوان کارستی مورد مطالعه می‌باشد.

ج - چشمه باغ‌رستم

چشمه باغ‌رستم در مسیر شهرکرد به اردل در دره‌ای عمیق ظاهر شده است. دسترسی به این چشمه بسیار مشکل است و به همین دلیل، حتی در شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری، اطلاعات زیادی درباره تغییرات دبی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این چشمه موجود نمی‌باشد. بر اساس چند اندازه‌گیری متفرقه، میانگین آبدهی این چشمه ۳/۲ متر مکعب بر ثانیه و میانگین هدایت الکتریکی آن حدود ۴۳۰ میکروموس بر سانتیمتر برآورد شده است. لازم به ذکر است که بر اساس اطلاعات محلی، تغییرات دبی این چشمه نیز زیاد می‌باشد و به همین دلیل رفتار آن با چشمه‌های بزرگ منطقه (پیرغار و سراب باباحیدر) کم و بیش یکسان است.

۵-۱-۳- برآورد تغذیه سالانه در حوضه کارستی سالدوران

به منظور برآورد تغذیه سالانه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر تغذیه آبخوان کارستی، جهت ورود به نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. لایه‌های تهیه شده شامل عوارض کارستی مشاهده شده در منطقه، شیب توپوگرافی، جهت شیب دامنه‌ها، بارش، تراکم خطواره‌ها، لیتولوژی و تراکم آبراهه‌ها می‌شود. سرانجام با تحلیل‌های انجام شده، درصد تغذیه سالانه در آبخوان‌های کارستی منطقه برآورد گردید. نتایج بدست آمده بیانگر این است که درصد تغذیه سالانه در آبخوان‌های سراب باباحیدر، پیرغار و باغ‌رستم به ترتیب برابر با ۶۸، ۶۶ و ۶۲ درصد می‌باشد.

۵-۱-۴- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها

به منظور تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی سراب باباحیدر، پیرغار و باغ‌رستم، ابتدا با استفاده از روش زمین‌شناسی حوضه آبرگیر اولیه این چشمه‌ها ترسیم شد. سپس با به کارگیری روش بیلان هیدروژئولوژیکی دقت تعیین حوضه‌های آبرگیر چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از روش بیلان هیدروژئولوژیکی در حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی فوق‌الذکر بیانگر این است که حوضه‌های آبرگیر اولیه این چشمه‌ها که با استفاده از روش زمین‌شناسی ترسیم شده است از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است. در نهایت، بر اساس نتایج بدست آمده از بیلان هیدروژئولوژیکی حوضه آبرگیر اولیه چشمه‌های کارستی مورد نظر اصلاح شده است. به این ترتیب که مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌های پیرغار، باباحیدر و باغ‌رستم به ترتیب ۹۳، ۴۷ و ۲۰۴ کیلومتر مربع بدست آمد.

۵-۱-۵- ارزیابی جهت کلی جریان در منطقه

پس از تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی مورد نظر، بر اساس مسیر قرارگیری آب‌فروچاله‌ها، دره‌های خشک کارستی، جهت شیب لایه‌ها، گسل‌های مهم منطقه و شکل حوضه‌ها، جهت‌های کلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی مورد نظر تعیین گردید.

۵-۲- پیشنهادها

به منظور تأیید حوضه آبرگیر و مسیرهای کلی جریان در آبخوان‌های کارستی مورد نظر، که در این تحقیق مشخص شده‌اند، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- انجام آزمایش ردیابی با دو ردیاب رنگی مختلف یکی در حوضه‌های آبرگیر سراب باباحیدر و باغ‌رستم و دیگری در حوضه آبرگیر چشمه پیرغار.

۲- نصب باران‌سنج‌های ذخیره‌ای در حوضه‌های آبرگیر هر سه چشمه و برآورد دقیق‌تر میانگین بارندگی در حوضه آبرگیر هر سه چشمه.

۳- بسترسازی جهت نصب اشل‌های مناسب در خروجی چشمه‌های مورد نظر و تهیه دقیق‌تر هیدروگراف چشمه‌ها.

منابع

آقاناتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی / ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور و اکتشافات معدنی کشور، ۶۹۷ ص.

اشجاری، ج.، (۱۳۸۶)، "طبقه‌بندی آبخوانهای کارستی زاگرس بر اساس جهت جریان عمومی آب‌های زیر زمینی و خصوصیات فیزیکی شیمیایی"، پایان نامه دکتری آب شناسی، دانشکده علوم دانشگاه شیراز.

خانلری، غ.، حیدری، م.، موسیوند، م.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی هیدروژئولوژیکی سد گرین نهاوند با استفاده از ردیاب‌های رنگی"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

دفتر مدیریت منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، (۱۳۶۵)، "گزارش آزمایش پمپاژ چاه‌های اکتشافی منطقه چهارمحال و بختیاری".

رضایی، م.، (۱۳۷۹)، "پیش‌بینی تغییرات آبدی چشمه‌های کارستی در دوره‌های خشکسالی"، اولین کنفرانس ملی مقابله با کم آبی و خشکسالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان.

رئیس، ع.، (۱۳۷۶)، "کارگاه صحرایی بیان منابع آب سازندهای کارستی"، مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور، شماره ۴۴۰-۴۵-۱۰۵۰.

زاهدی و همکاران، (۱۳۷۲)، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، (۱۳۹۱)، "آمار بارندگی و دمای ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه".

شمسی، ع.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی مناطق مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب کارست در شمال غرب اسلام

آباد، کرمانشاه"، پایان نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

عبادیان، س.، (۱۳۸۱)، "ارزیابی عوامل موثر در پتانسیل آبهای کارستی کوه های گر و برم فیروز در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره ای و روش‌های سنجش از دور و GIS"، پایان نامه کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شیراز.

عبداللهی، ف.، و ندری، آ.، (۱۳۸۶)، "چالش هیدروژئولوژی کارست و توپوگرافی در تاق‌دیس پابده لالی (محدوده هارکله)"، بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، بهمن (۱۳۸۶)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

علیزاده، الف.، (۱۳۹۰)، "اصول هیدروژئولوژی کاربردی"، چاپ سی و یکم، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه فردوسی، ۹۱۲ ص.

کریمی، ح.، (۱۳۷۶)، "بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدرشیمیایی چشمه‌ها و تاق‌دیس پودنو فیروزآباد"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شیراز.

کریمی وردجانی، ح.، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)"، انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ ص.

مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، "زمین‌شناسی ایران: چینه شناسی زاگرس"، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۶ ص. نیک پیمان، ی.، (۱۳۸۸)، "بررسی تأثیر خطواره‌ها بر روی نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی"، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مینویی، الف.، (۱۳۸۸)، "نقش شکستگی‌ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه شاهو، کردستان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نجفی، ز.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی تغذیه آهک‌های کارستی سازند بیستون (شرق و جنوب‌شرق روانسر)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

References:

Ahmed, M., (1996), "Lineament as groundwater exploration guides in hard-rock terranes of arid regions", *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol .22, No.1, pp. 108-116.

Ashjari, J., (2007), "In Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran" (in English), Phd Thesis, University of Shiraz, Iran.

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.

Brewer, M., and Crawford, C., (2005), "Groundwater Basin Catchment Delineation and Generalized Flow Routes Through the Karst Aquifer Beneath Bowling Green, Kentucky, USA", *Karst modeling*, Vol.11, pp.11-16.

Cowell, D.W., and Ford, D.C., (1983), "Karst hydrology of the Bruce Peninsula, Ontario, Canada", In: Back W., LaMoreaux P. E., and Stringfield, V. T. Symposium Processes in Karst Hydrology. *Journal of Hydrology*, Vol. 61, pp. 163-168.

Desmarais, K., and Rojstaczer, S., (2002), "Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms", *Journal of Hydrology*, Vol.260, pp.118-134.

Dongmei, H., and Xing, L., (2009), "Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China " , *Environmental Management*, Vol.44, pp. 257.

Ede, D.P., (1973), "Aspects of karst hydrology in south wales, partz", *Geography Journal* Vol.139, pp.280-294.

Fernandes, A., and Rudolph, D., (2001), “The influence of Cenozoic tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil”, *Hydrogeology Journal*, Vol.9, pp.151-167.

Ford, D. C., and Williams, P.W., (2007), “Karst Geomorphology and Hydrogeology”, Wiley Chichester, 2nd ed., pp.576.

Foster, S., Garduno, H., Evans, R., Olson, D., Tian, Y., Zhang, W., and Han, Z., (2004), “Quaternary Aquifer of the North China Plain”, assessing and achieving groundwater resource sustainability. *Hydrogeology Journal*.Vol.12, pp.81-93.

Freeze, F. A., and cherry, J. A., (1979), “Ground water. Prentice- Inc Frumkin, A. (1994). Hydrogy and denudation rates of halite karst”, *Journal of Hydrology*, Vol.162, pp.171-189.

Gams, I., (1966), “Factor and dynamics of corrosion of the carbonate rocks in the Dinaric and Alpine karst of Slovenia (Yugoslavia)”, *Geografski Vestnik*, Vol.38, pp.11-68.

Garrels, R.M., Christ, C.L., (1965), “Solutions, minerals, and equilibria.Harper and Row”, *New York*, Vol.9, pp. 450.

Goldscheider, N., Drew, D., (2007), “*Methods in Karst Hydrogeology*”, Taylor and Francis, pp.279.

Goldscheider, N., Neukum, Ch., (2010), “Fold and fault control on the drainage pattern of a double-karst-aquifer system, Winterstaude, Austrian Alps”, *Acta Carsologica*, Vol.13, pp.173-186.

Hammond, W., Murray, K.E., and Straud, D.R., (2007), "Characterizing groundwater flow in a faulted karst system using optical brighteners from septic systems as tracers", *Environmental Geology*, Vol.53, pp.769-776.

Harold, T.H., Jordan, P., and Zwahlen, F., (1998), "Recognition karstic system genesis by setting tectonic", Proceeding 2nd International Symposium on Karst Water Resources, I. R. Iran-Tehran- Kermanshah, PP.55-60.

Henriksen, H., Troldborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T., Refsgaard, Jens, C., Madsen, B., (2003), "Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark", *Journal of Hydrology*, Vol.280, No.1, pp.52-71.

Kang, Z., and He, S., (2013), "The Soil and Vegetation Effect on Carbon Transfer Path in Epigenic Karst System", *Advanced Materials Research*, Vol.726, pp. 3732-3736.

Karimi Vardanjani, H., Keshavarz, T., Mohammadi, Z., Raeisi, E., (2007), "Potential leakage at the Khersan 3 Dam Site", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.66, pp.269-278.

Karimi, H., Raeisi, E., and Zare, M., (2005), "Physicochemical parameters time series of karst spring as a tool to differentiate the source of spring water: Carbonates and Evaporites", *Carbonates and Evaporites*, Vol. 20, No. 2, pp.138-147.

Kastning, E.H., (1977), " Faults as positive and negative influences on groundwater flow and conduit enlargement", in Dilamarter, R.R., and Csallany, S.C., eds. *Hydrologic Problems in Karst Regions*: Bowling Green, Western Kentucky University, pp. 193–201.

Kazemi, M., (2003), “Reconnaissance of Karst Hydrology in the Lar catchments, Iran using RS and GIS”, M.Sc. thesis. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*, Enschede, the Netherland.

Klimchouk, A. B., Ford, D., Palmer, A., and Dreybrodt, W., editors, (2000), “*National Speleological Society ink*”, Huntsville, Alabama 35810, USA.

Knez, M., (1996), “Vpliv ležik na razvoj kraških jam: primer Velike doline, Vojvodine”, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, pp.181.

Kovács, A., (2005), “A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis”, *Journal of Hydrology*, Vol.303, pp.152–160.

Kukacka, M., (2009), “ Self-organization for the detection of local features”, *WDS 09 Proceedings of Contributed*, Vol.1, pp.62-67.

Lakey, B.L., Krothe, N.C., (1996). “Stable isotopic variation of storm discharge from a perennial karst spring”, Indiana, *Water Resources Research*, Vol.32, pp.721-731.

Leibundgut, C., (1997), “Vulnerability of karst aquifers”, *IAHS Publication*, Vol.61, pp.45-60.

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.

Lowe, D.J., (2000), “Role of stratigraphic elements in speleogenesis”, *National Speleological Society, Huntsville*, Vol.19, pp.65-76.

Milanovic', P.T., (1981), "*Karst Hydrogeology*", Fort Collins, Colorado, Water Resources Publications, pp.434.

Milanovic', P.T., (2004), "*Water resources engineering in karst*", CRC Press, Florida, USA.pp.312.

Pitty, A.F., (1960), "An approach to the study of karst water", *Univ.Hull, Occasional Pap. in Geography*, Vol.5, pp.1-70.

Setudehnia, A.(1975), "The Paleozoic sequence at zarrd kuh and kuh-e- dinar", Bull. Of the Iranian Petrol., Inst. Third quarter. No.60.

Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, Ch., (2004), "Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon", *Hydrogeology Journal*, Vol.14, pp. 433–443.

Singhal, B.B.S., and Gupta R.P., (1999), "*Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*", Kluwer Academic Publisher, Netherlands, pp. 600.

Solomon, S., and Quiel, F., (2006), "Groundwater study using remote sensing and geographical information systems (GIS) in the central highlands Eritrea", *Hydogeology Journal*, Vol.14(6), pp.1029-1041.

Stockline, J., (1968), "*Structural history and tectonics of Iran a review*", A. A. P. G. Bull, pp. 1229-1258.

Stringfield, VT., and LeGrand, HE., (1969), "Hydrology of carbonate rock terranes-A review: With special reference to the United States", *Journaln of Hydrology*, Vol.8,

pp.377-417.

Tam, V.T., Smedt, F. De., Batelaan, O., and Dassargues, A., (2010), “Study on the relationship between lineaments and borehole specific capacity in a fractured and karstified limestone area in Vietnam”, *Hydrogeology Journal*, Vol.12(6), pp.662–673.

Todd, D.K. and Mays, L.W., (2005), "*Groundwater Hydrology*", Third Edition, John Wiley and sons, New York, PP. 625.

Weidie , A . E., (1988), “Fracture control of groundwater flow in folded and horizontal carbonate rocks in Mexico” . Abs . In : Karst hydrogeology and karst environmental protection. Proc . *IAHS-AISH publication*. Congress , Guilin , China. Vol.176, pp.422.

White, W.B., (1969), “Conceptual models for carbonate aquifers”, *Groundwater* Vol.7(3), pp. 15-21

White, W, B., (1998), “Groundwater flow in karstic aquifers”. In *Delleur, J. W. (Ed.), The Handbook of Groundwater Engineering*, CRC Press, Boca Raton, FL, Vol.21, pp. 1-47.

White, W.B., and Schmidt, V.A., (1971), “Hydrology of a karst area in east- central West Virginia”, *Water Resources Research*, Vol.2, pp.549-560.

White, W.B., and White, E.L., (2001), “Conduit fragmentation, cave patterns, and the localization of karst ground water basins”, the Appalachians as a test case, *Speleogenesis and Evolution of karst Aquifers* 1 (2), April 2003, p.2. Re-published by permission from, *Theoretical and Applied Karstology*, Vol.13-14, pp.9-24.

Worthington, S.R.H., Davies, G.J. and Quinlan, J.F., (1992), “*Geochemistry of springs in temperate carbonate aquifers*”, recharge type explains most of the variation. Proceedings 5th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Neuchatel, Switzerland, No.11, pp. 341–347.

Worthington, S. R. H., Ford, D. C. and Davies, G. J., (2000), “Matrix, fracture and channel components of storage and flow in a Paleozoic limestone aquifer”, *Groundwater flow and contaminant transport in carbonate aquifers: Rotterdam, Balkema, I.D., Sasowsky and C.M., Wicks, Eds., A.A.Balkema, Rotterdam, pp. 113-128.*

Yechieli, Y., Kafri, U., Wollman, S., Shalev, E., Lyakhovsky, V., (2009), “The effect of base level changes and geological structures on the location of the groundwater divide, as exhibited in the hydrological system between the Dead Sea and the Mediterranean Sea”, *Journal of Hydrology*, Vol.378, pp. 218-229.

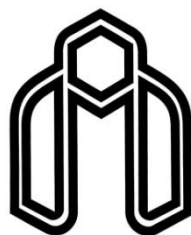
Zabidi, H., and Freitas, M.H., (2006), “*Structural studies for the prediction of karst in the Kuala Lumpur limestone*”. IAEG, pp.264.

Zölt, J., (1960), “Die Hydrographic des nordost Alpinen Karsts, Steirsche Beitrage Hydrogeology”, No. 2, pp.53-183.

Abstract:

Zarab - Saldoran Mountainous region in the south west and west Farsan is located in the Chaharmahal va Bakhtiari Province. This mountainous region is composed mainly of limestone which has been highly karstified. Presence of the highly karstic limestone and the relatively high average annual precipitation in the region has caused occurrences of large karstic springs in the region. In this study, to investigate the general direction of groundwater flow in the study area, the following steps have been. The precipitation, considering the elevation and distance from the Zagros axis was estimated. Thus, the average annual precipitation for the catchment spring Pyreghar, Baghrostan and Babaheydar 1000 mm, 950 mm and 750 mm is estimated. The hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of karst springs in the region (i.e. Pyreghar, Babaheydar and Baghrostan) were investigated. The obtained results of this section demonstrate that the karst aquifer in the study region is highly developed. Then the most important factors affecting the percentage of annual recharge of the region have been assessed and data layers in the GIS environment were prepared. These layers including lithology, slope, aspect, lineament density, karst features, precipitation and drainage density. After preparation of layers, each value is proportional to the amount of influence on the percentage of annual recharge. Using GIS software, layers are overlaid and finally, the average of annual recharge was determined for catchments area Babaheydar, Pyreghar and Baghrostan 68/0, 66/0 and 62/0 was determined respectively. In another part of the study, the primary catchment area of karst springs were specified using geological method. Degree of accuracy of the initial basins identified using hydrogeological budget method was investigated. Finally, after determination of springs catchment area, by paying attention to the parameters such as the route of sinkholes and dry valleys the general direction of flow were identified.

Keywords: General direction of groundwater flow, Catchment area, Karst, Saldoran



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis

**Evaluating the general groundwater flow direction in the
catchment areas of karst springs in the Zarab - Saldoran
Mountainous region, (Chaharmahal va Bakhtiyari Province)**

By

Fahimeh Rahimi

Supervisor:

Dr. Gholam Hossein Karami

Advisor:

Abdollah Fazeli

January 2014