بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

عنوان پایان‌نامه:

مطالعه هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی منطقه کلاله، استان گلستان

نگارنده: قمرالدین میرحسنی

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

استاد مشاور:

یعقوب نیک‌قوجق

بهمن ۹۶

شماره:
تاریخ:

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای قمرالدین میرحسنی با شماره دانشجویی ۹۴۱۷۴۳۴ رشته زمین‌شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان مطالعه هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی منطقه کلاله، استان گلستان، که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر رحیم باقری	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر پرویز امیدی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر هادی جعفری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۱۱/۱۴

دانشکده علوم زمین

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

تشکر و قدردانی

سپاس خدایی را که به من توفیق انجام این تحقیق را عطا فرمود و من بر خود واجب میدانم از زحمات و همکاری کلیه کسانی که در مراحل تهیه این پروژه اینجانب را یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد راهنما جناب آقای رحیم باقری، که مرا همواره با راهنمایی‌های ارزشمند خویش یاری رساندند سپاسگزاری می‌کنم، و از خداوند متعال برای ایشان آرزوی توفیق روزافزون و سلامتی بی‌پایان می‌نمایم.

از آقای مهندس یعقوب نیک‌قوجوق نیز، به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان سپاسگزارم، و برای ایشان صمیمانه آرزوی موفقیت روزافزون در تمام مراحل زندگی دارم.

از تمام دوستان و همکلاسی‌های عزیزم که در دوره کارشناسی ارشد افتخار آشنایی با آنها را داشتم و مرا یاری نموده‌اند، سپاسگزارم.

در پایان از خانواده که همواره مشوق و راهنمای من در تمام مراحل زندگی، و مؤثر در شوق ادامه تحصیل این‌جانب بوده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

قمرالدین میرحسنی

دی ماه ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب **قمرالدین میرحسنی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب‌شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **مطالعه هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی منطقه کلاله، استان گلستان** تحت راهنمایی آقای دکتر رحیم باقری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده 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 تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technilogy» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیر گذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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 اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ .

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

منطقه کوهستانی کلاله در شرق استان گلستان واقع شده است. وجود سنگ‌های آهکی کارستی و میانگین بارش سالانه نسبتاً بالای منطقه باعث شده است که چشمه‌های کارستی بزرگی همچون زاو، آق‌سو و یل‌چشمه در منطقه به وجود آید. در این تحقیق به منظور مطالعه‌ی هیدروژئولوژیکی کارست چشمه‌های کلاله، موارد زیر انجام شده است. توسعه کارست در منطقه کلاله و حوضه آبگیر سه چشمه نسبتاً بزرگ منطقه براساس فاکتورهای زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. در این منطقه سازندهای آهکی لار، تیرگان و مزدوران و سازند شیلی سرچشمه رخنمون داشته که چشمه‌ها از آنها تخلیه می‌گردند. دو سازند لار و تیرگان در مجاور یکدیگر پتانسیل تشکیل حوضه آبگیر چشمه بزرگ زاو را داشتند. با بازدید صحرایی و مشاهده عوارض مختلف کارستی همچون گودی مسدود، آبفروچاله و درزه و شکستگیهای مختلف در سازند کارستی لار، حوضه آبگیر این چشمه در این سازند تشخیص داده شد. نوع جریان در تمام چشمه‌ها از نوع مجرایی و افشان می‌باشد. همچنین نتایج بررسی منحنی فرود نشان داد که چشمه زاو با سه رژیم خطی فرود مختلف، از یک سفره تکامل یافته‌ی کارستی تغذیه می‌شود؛ درحالیکه منحنی فرود آق‌سو و یل‌چشمه اولیا دارای یک رژیم فرود بوده که دلیل بر توسعه‌ی کمتر کارست در حوضه‌ی آبگیر می‌تواند باشد. همه‌ی چشمه‌ها تقریباً دارای منشاء یکسان و تیپ غالب بیکربناته-کلسیک می‌باشند. فرایند تبادل یونی مستقیم نیز علاوه بر پدیده انحلال در منطقه تا حدودی رخ داده است. تمامی چشمه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع ولی نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. در ادامه مهمترین عوامل موثر بر تغذیه سالانه منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و لایه‌های اطلاعاتی آن در محیط GIS تهیه گردید. این پارامترها شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، تراکم شکستگی‌ها عوارض کارستی، بارش، تراکم آبراهه‌ها و پوشش گیاهی می‌باشند. بعد از آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی، به هر کدام از این لایه‌ها ارزش متناسب با مقدار تاثیرگذاری 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 زاو، آق‌سو و یل‌چشمه به ترتیب٪۴۴، ۴۱٪ و ٪۳۹ تعین شد. در بخش دیگری از مطالعات، حوضه اولیه چشمه‌های‌کارستی مورد مطالعه از روش زمین‌شناسی مشخص شد. درجه دقت حوضه آبگیر اولیه مشخص شده با به کارگیری روش بیلان هیدروژئولوژیکی مورد ارزیابی قرارگرفت.

کلمات کلیدی: چشمه‌های کارستی، منحنی فرود، توسعه کارست، حوضه آبگیر، استان گلستان

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

میرحسنی، ق. باقری، ر.، و نیک‌قوجوق، ی، (۱۳۹۵) " تحلیل منحنی فرود و تعیین حوضه آبگیر چشمه کارستی زاو در منطقه کلاله، استان گلستان"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور

میرحسنی، ق. باقری، ر.، و نیک‌قوجوق، ی، (۱۳۹۶) "هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی منطقه کلاله، استان گلستان"، مجله اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق ۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲
۱-۳- آب و هوای منطقه ۳
۱-۴- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ۸
۱-۴-۱- واحدهای سنگی مزوزوئیک ۱۰
۱-۴-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک ۱۳
۱-۵- وضعیت تکتونیک منطقه ۱۶
۱-۶- هیدرولوژی منطقه ۱۸
۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه ۱۸

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته هیدروژئولوژی کارست چشمه‌ها ۲۱

۲-۱- تعریف و اهمیت کارست ۲۲
۲-۲- نفوذ در کارست ۲۳
۲-۳- ارتباط تکتونیکی در کارست ۲۴
۲-۴- خصوصیات هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی ۲۵
۲-۴-۱- تغییرات آبدهی ۲۶
۲-۴-۲- تغییرات هدایت الکتریکی ۲۷
۲-۴-۳- تغییرات یون‌های اصلی ۲۷
۲-۵- برآورد میزان تغذیه در چشمه‌های کارستی ۲۸
۲-۵-۱- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای برآورد میزان تغذیه ۲۸
۲-۶- تعیین حوضه در سفره‌های کارستی ۲۹
۲-۷- عوارض مؤثر بر توسعه کارست ۳۰
۲-۷-۱- بارش ۳۱
۲-۷-۲- دما ۳۱
۲-۷-۳- فشار گاز دی‌اکسیدکربن ۳۲
۲-۷-۴- لیتولوژی ۳۲
۲-۷-۵- چینه‌شناسی ۳۳

۲-۷-۶- عوارض تکتونیکی ۳۴
۲-۷-۷- توپوگرافی ۳۵
۲-۷-۸- پوشش خاک و پوشش گیاهی ۳۶
۲-۷-۹- آبراهه ۳۷
فصل سوم: روش انجام کار ۳۹
۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز منطقه ۴۰
۳-۲- بازدید صحرایی و بررسی زمین‌شناسی از حوضه‌آبگیر چشمه‌های منطقه کلاله ۴۱
۳-۳- نمونه برداری از چشمه‌های منطقه کلاله ۴۱
۳-۳-۱- نمونه برداری هیدروشیمیایی از منابع آب ۴۲
۳-۳-۲- اندازه‌گیری دبی ۴۲
۳-۳-۳- اندازه‌گیری درجه حرارت ۴۲
۳-۳-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ۴۳
۳-۳-۵- اندازه‌گیری pH ۴۳
۳-۳-۶- اندازه‌گیری یون‌ها در آزمایشگاه ۴۳
۳-۳-۷- محاسبه درصد خطای آزمایش ۴۴
۳-۳-۸- سختی کل ۴۴
۳-۳-۹- کل مواد محلول ۴۴
۳-۳-۱۰- محاسبه ضرایب اشباع (کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت) ۴۵
۳-۴- تعیین محدوده حوضه آبگیرچشمه‌های منطقه کلاله ۴۵
۳-۵- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین میزان تغذیه ۴۶
۳-۵-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی ۴۸
۳-۵-۲- طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی ۴۸
۳-۵-۳- امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی ۴۹
۳-۵-۴- وزن‌دهی کارشناسی ۴۹
فصل چهارم: مطالعه‌ی هیدروژئولوژی کارست چشمه‌های منطقه کلاله ۵۱
۴-۱- خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی ۵۲
۴-۱-۱- چشمه کارستی زاو ۵۲
۴-۱-۱-۱- تغییرات زمانی چشمه کارستی زاو ۵۳
۴-۱-۱-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه زاو ۵۴
۴-۱-۲- چشمه کارستی آق‌سو ۵۶
۴-۱-۲-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه آق‌سو ۵۶
۴-۱-۲-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه آق‌سو ۵۷
۴-۱-۳- چشمه کارستی یل‌چشمه ۵۸
۴-۱-۳-۱- تغییرات زمانی دبی یل‌چشمه ۵۹
۴-۱-۳-۲- تحلیل منحنی فرود یل‌چشمه ۵۹
۴-۲- بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب چشمه‌ها ۶۱

۴-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای تعیین درصد تغذیه..... ۶۵
۴-۴- هم‌مقیاس سازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی..... ۷۶
۴-۵- تعیین مقدار تغذیه منطقه..... ۷۸
۴-۶- ارزیابی کلی بیلان هیدرولوژیکی منطقه کارستی کلاله..... ۸۰
۴-۷- تعیین حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی منطقه..... ۸۱
۴-۷-۱- تعیین حوضه آبگیر چشمه زاو..... ۸۲
۴-۷-۲- تعیین حوضه آبگیر چشمه کارستی آق‌سو..... ۸۴
۴-۷-۳- تعیین حوضه آبگیر چشمه کارستی یل‌چشمه..... ۸۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهاداها..... ۸۹

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۹۰
۵-۱-۱- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی وهیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی..... ۹۰
۵-۱-۲- برآورد تغذیه سالانه در حوضه کارستی کلاله..... ۹۱
۱-۵-۳- تعیین حوضه آبگیر چشمه‌ها..... ۹۱
۵-۲- پیشنهادها..... ۹۲
منابع..... ۹۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳
شکل ۱-۲: نمودار امبروترمیک ایستگاه گلیداغ بر اساس میانگین دما و بارش (۱۳۹۵-۱۳۸۵) ۵
شکل ۱-۳: نمودار امبروترمیک ایستگاه آق‌سو براساس میانگین دما و بارش (۱۳۹۵ تا ۱۳۸۵) ۵
شکل ۱-۴: نمودار ارتفاع بارش ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه ۷
شکل ۱-۵: نمودار هیپسومتری منطقه مورد مطالعه ۷
شکل ۱-۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۹
شکل ۱-۷: نمایی از سازند لار با آهک‌های ضخیم لایه ۱۱
شکل ۱-۸: نمایی از سازند تیرگان با طبقات آهکی ۱۲
شکل ۱-۹: نیمرخ شماتک منطقه مورد مطالعه ۱۹
شکل ۳-۱: نمودار جریانی مراحل تهیه نقشه منطقه ۴۷
شکل ۴-۱: نمایی از چشمه کارستی زاو ۵۳
شکل ۴-۲: هیدروگراف چشمه زاو در سال آبی ۹۵-۹۴ ۵۴
شکل ۴-۳: منحنی فروکش چشمه کارستی زاو ۵۵
شکل ۴-۴: نمایی از چشمه کارستی آق‌سو ۵۶
شکل ۴-۵: هیدروگراف چشمه آق‌سو سال آبی ۹۵-۹۴ ۵۷
شکل ۴-۶: منحنی فرود چشمه کارستی آق‌سو ۵۷
شکل ۴-۷: هیدروگراف چشمه یل‌چشمه سال آبی ۹۵-۹۴ ۵۹
شکل ۴-۸: منحنی فروکش چشمه کارستی یل‌چشمه ۶۰
شکل ۴-۹: نمودار پایپر چشمه‌های آق‌سو (S1)، یل‌چشمه سفلا (S4) ، یل‌چشمه اولیا (S3) و زاو (S4). ۶۲
شکل ۴-۱۰: نمودار شولر برای چشمه‌های کارستی آق‌سو (S1)، یل‌چشمه علیا (S2)، یل‌چشمه سفلا (S3) و زاو (S4) ۶۲
شکل ۴-۱۱: نمودار ترکیبی نسبت‌های یونی ۶۴
شکل ۴-۱۱: نمودار نسبت شاخص اشباع کلسیت به دولومیت و هالیت به ژیپس ۶۵
شکل ۴-۱۲ لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه ۶۶
شکل ۴-۱۳: لایه شیب منطقه مورد مطالعه ۶۷
شکل ۴-۱۴: لایه جهت شیب منطقه ۶۸
شکل ۴-۱۵: لایه خطواره‌های منطقه ۶۹
شکل۴-۱۶: لایه آبراهه‌های منطقه ۷۰

شکل ۴-۱۷: لایه بارش در منطقه ۷۱
شکل ۴-۱۸: نمایی از اپی‌کارست در منطقه ۷۲
شکل ۴-۱۹: نمایی از کارن‌های شیاری در منطقه ۷۳
شکل ۴-۲۰: نمایی از آبفروچاله‌ی منطقه ۷۳
شکل ۴-۲۱: یکی از دره‌های خشک موجود در ارتفاعات حوضه آبگیر چشمه زاو ۷۴
شکل ۴-۲۲: لایه عوارض کارستی در منطقه ۷۴
شکل ۴-۲۳: لایه پوشش گیاهی در منطقه ۷۵
شکل ۴-۲۴: نقشه نهایی تغذیه منطقه ۷۹
شکل ۴-۲۵: موقعیت چشمه‌های زاو، آق‌سو و یل‌چشمه در منطقه مورد مطالعه ۸۰
شکل ۴-۲۶: موقعیت و میزان تغذیه حوضه آبگیر ۸۱
شکل ۴-۲۷: موقعیت حوضه آبگیر چشمه زاو در GOOGLE EARTH ۸۲
شکل ۴-۲۸: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر چشمه زاو ۸۳
شکل ۴-۲۹: موقعیت حوضه آبگیر چشمه آق‌سو در GOOGLE EARTH ۸۵
شکل ۴-۳۰: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر آق‌سو ۸۶
شکل ۴-۳۱: موقعیت حوضه آبگیر چشمه یل‌چشمه در GOOGLE EARTH ۸۷
شکل ۴-۳۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر یل چشمه ۸۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: مقادیر بارندگی و دما در ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه ۴
جدول ۱-۲: مشخصات ایستگاه‌ها ۶
جدول ۱-۳: طبقه بندی اقلیمی دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۶) ۸
جدول ۴-۱: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی زاو ۵۵
جدول۴-۲: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی آق‌سو ۵۸
جدول ۴-۳: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی یل‌چشمه ۶۰
جدول ۴-۴: نمایه اشباع کلسیت (SI_C)، دولومیت (SI_D)، ژیپس (SI_G) و هالیت (SI_H) در نمونه آب چشمه‌های منطقه ۶۴
جدول ۴-۵: ارزش دهی و وزن دهی به لایه‌های مختلف ۷۷
جدول ۴-۶: درصد تغذیه سالانه محاسبه شده و مساحت هر رده ۷۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله وهدف از انجام تحقیق

منطقه کوهستانی کلاله در شرق استان گلستان واقع شده است. این منطقه کوهستانی عمدتاً از سنگ‌های آهکی کارستی تشکیل گردیده است. وجود این نوع سنگ‌ها و میانگین بارش سالانه نسبتاً بالای منطقه باعث شده تا چشمه‌های کارستی بزرگی در منطقه به وجود آید. در این منطقه، چشمه‌های پر آبی همچون زاو، آق‌سو و یل‌چشمه جریان دارد که منشاء آنها می‌تواند آبخوان‌های کارستی باشند. منطقه مورد مطالعه‌ی از لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی بین دو زون کپه‌داغ غربی و البرز شرقی قرار دارد که در شمال شرق ایران واقع شده است. با توجه به شرایط آب و هوایی و لیتولوژی این منطقه که عمدتا آهکی است، عوارض کارستی شاخصی همچون فضاهای انحلالی، آبفروچاله‌ها، پلیه‌های کارستی و دره‌های خشک در منطقه‌ی مورد مطالعه دیده می‌شوند. در این منطقه عمده آب شرب و کشاورزی از این چشمه‌ها تامین می‌گردد. بنابراین، حفظ و نگهداری این چشمه‌ها نیازمند مدیریت درست از این منابع آب در این منطقه می‌باشند. انجام مطالعات هیدروژئولوژی کارست بعنوان اولین مرحله از اقدامات مدیریتی در این منطقه کارست جنگلی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین، هدف اساسی از انجام این تحقیق، مطالعه خصوصیات زمین شناسی، هیدروژئولوژی کارست و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های مهم کارستی منطقه جهت تعیین حوضه آبگیر و بررسی توسعه کارست در این سازندهای آهکی می‌باشد. لازم به ذکر است تاکنون مطالعه‌ای جهت بررسی توسعه کارست در سازندها این منطقه انجام نشده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان گلستان در ۱۵ کیلومتری شرق شهرستان کلاله واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدودا ۵۸ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه در حد فاصل طول جغرافیایی ′۳۶ °۵۵ تا′۱۰ °۵۶ طول شرقی و′۲۱ °۳۷ تا ′۳۶ °۳۷ عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده‌ی مورد مطاله بین دو زون کپه‌داغ غربی و البرز شرقی قرار گرفته است. شکل (۱-۱) موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.

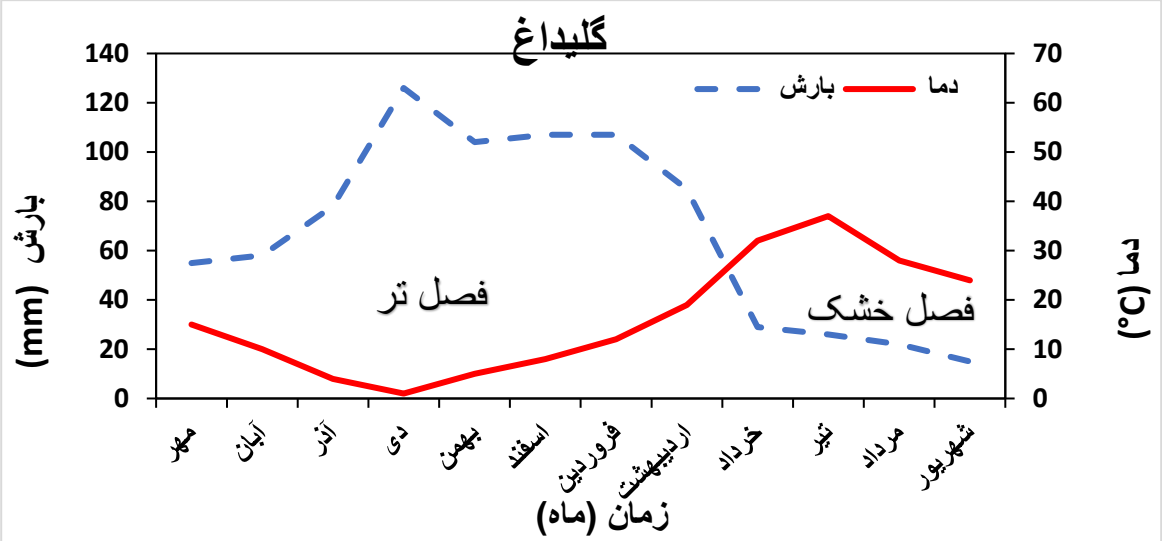
شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۱-۳- آب و هوای منطقه

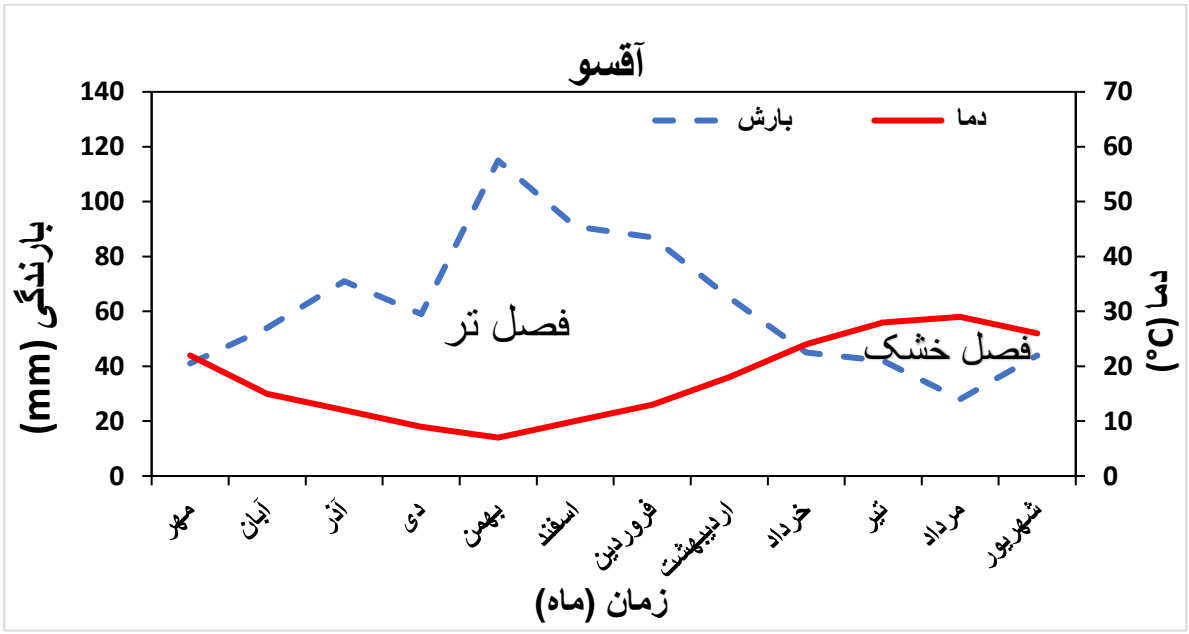
جهت بررسی آب و هوای منطقه اقدام به جمع آوری پارامترهای هواشناسی از ایستگاه‌های باران سنجی و اقلیم شناسی ایستگاه آق‌سو، ایستگاه گلیداغ و ایستگاه تنگراه شده است (جدول ۱-۱). با توجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی گلیداغ، میزان بارندگی سالیانه در منطقه حدودا ۸۴۲ میلیمتر بوده که بیشترین میزان بارندگی ماهانه مربوط به دی ماه برابر ۱۲۶ میلیمتر و کمترین بارش مربوط به شهریور ماه برابر با ۱۵ میلیمتر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالیانه در منطقه مورد مطالعه تقریباً ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. بیشترین درجه حرارت مربوط به مرداد ماه با متوسط ۲۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار آن مربوط به دی ماه با متوسط ۱درجه سانتی‌گراد است. بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی آق‌سو متوسط بارندگی سالیانه تقریباً ۷۴۲ میلیمتر می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی مربوط به بهمن ماه با متوسط ۱۱۵ میلیمتر و کمترین میزان آن مربوط به تیر ماه با متوسط ۲۸ میلیمتر می‌باشد، و بیشترین درجه حرارت مربوط به مرداد ماه با متوسط ۲۹ درجه سانتی‌گراد و کمترین درجه حرارت مربوط به دی ماه با متوسط ۷ درجه سانتی‌گراد است. شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳ به ترتیب نمودارهای امبروترمیک (Embrothermic) مربوط به ایستگاه‌های گلیداغ و آق‌سو را نشان می‌دهند.

جدول: ۱-۱: مقادیر بارندگی و دما در ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

زمان (ماه)	ایستگاه						
	گلیداغ		تنگراه	زاو	پشکمر	آق‌سو	
	بارش (mm)	دما (°C)	بارش (mm)	بارش (mm)	بارش (mm)	بارش (mm)	دما (C°)
مهر	۵۵	۱۵	۶۵	۵۵	۳۵	۴۱	۲۲
آبان	۵۸	۱۰	۶۱	۵۷	۴۲	۵۴	۱۵
آذر	۷۸	۴	۷۹	۲۷	۵۷	۷۱	۱۲
دی	۱۲۶	۱	۶۸	۳۱	۵۸	۵۹	۹
بهمن	۱۰۴	۵	۱۱۳	۳۸	۷۰	۱۱۵	۷
اسفند	۱۰۷	۸	۱۰۳	۴۴	۷۶	۹۱	۱۰
فروردین	۱۰۷	۱۲	۸۰	۲۸	۹۰	۸۷	۱۳
اردیبهشت	۸۵	۱۹	۵۸	۲۷	۵۳	۶۵	۱۸
خرداد	۲۹	۲۳	۳۴	۳۲	۳۵	۴۵	۲۴
تیر	۲۶	۲۷	۲۷	۴	۳۱	۴۲	۲۸
مرداد	۲۲	۲۸	۲۷	۷۹	۹	۲۸	۲۹
شهریور	۱۵	۲۴	۳۹	۳۴	۲۷	۴۴	۲۶
مجموع	۸۱۲	ــــ	۷۶۵	۴۵۶	۵۸۳	۷۴۲	ــــ
میانگین	۷۰	۱۴/۵	۶۹	۳۹	۴۸	۶۱	۱۷/۵
حداکثر	۱۲۶	۲۸	۱۳۵	۷۹	۹۰	۱۱۵	۲۹
حداقل	۱۵	۱	۲۷	۴	۹	۲۸	۷



شکل ۱-۲: نمودار امبروترمیک ایستگاه گلیداغ بر اساس میانگین دما وبارش (۱۳۹۵ تا ۱۳۸۵)



شکل ۱-۳: نمودار امبروترمیک ایستگاه آق‌سو براساس میانگین دما و بارش (۱۳۹۵ تا ۱۳۸۵)

با توجه به نمودارهای امبروترمیک زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما باشد، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک رخ می‌دهد. همچنین نقطه برخورد منحنی میانگین دما با منحنی میانگین بارش جدا کننده فصل تر، خشک و تر از یکدیگر است. بر طبق نمودار امبروترمیک ایستگاه هواشناسی

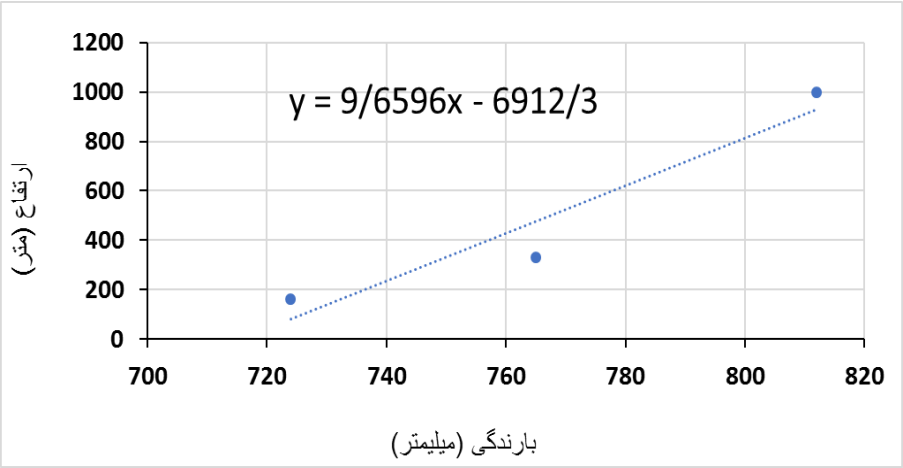
گلیداغ فصل تر حدودا از مهر ماه تا اوایل خرداد ماه بوده و بقیه سال، خشک نامیده می‌شود. همچنین برای ایسگاه آق‌سو فصل تر از اواسط مهرماه تا اواسط خرداد ماه بوده و بقیه سال خشک می‌باشد.

برای محاسبه میزان متوسط بارندگی در منطقه مورد مطالعه، به کمک ایستگاه‌های مجاور، رابطه بارش با ارتفاع رسم شده است. ایستگاه‌های مجاور منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به شباهت به وضعیت آب‌هوایی و نزدیکی به منطقه انتخاب شده‌اند. مشخصات ایستگاه‌های مذکور جدول در ۱-۲ ارائه شده است.

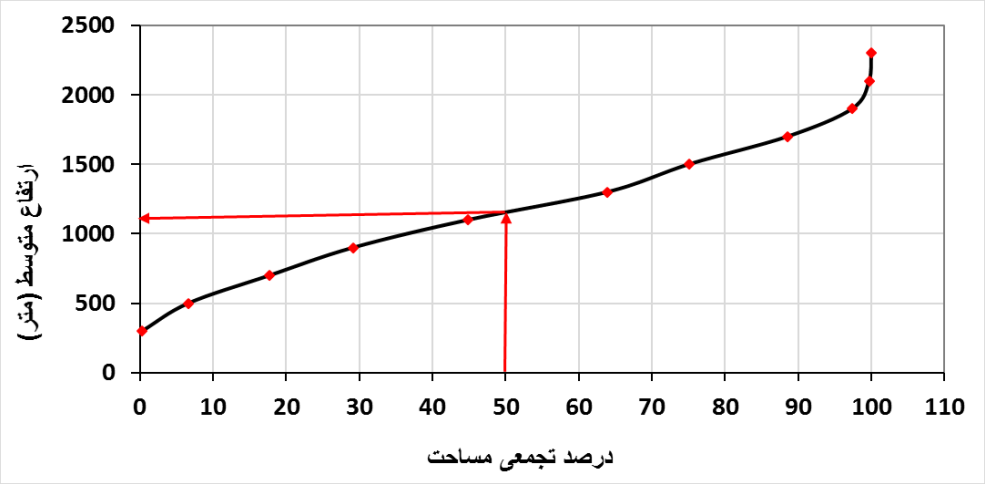
جدول ۱-۲: مشخصات ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			نوع ایستگاه	میانگین بارندگی سالیانه (mm)
	UTM(X)	UTM(Y)	ارتفاع (m)		
گلیداغ	۴۱۱۷۸۶	۴۱۶۷۴۵۳	۱۰۰۰	باران سنجی	۸۴۲
تنگراه	۳۹۰۲۸۸	۴۱۳۹۴۷۱	۳۳۰	باران سنجی	۸۲۰
آق‌سو	۳۶۷۹۹۷	۴۱۳۹۸۹۸	۱۶۰	باران سنجی	۷۶۳
پیشکمر	۳۷۴۹۴۵	۴۱۶۲۳۷۹	۲۵۰	باران سنجی	۵۱۰
زاو	۳۸۹۵۳۵	۴۱۵۲۹۲۴	۷۰۰	باران سنجی	۴۸۰

نمودار ارتفاع – بارش نشان دهنده‌ی رابطه مستقیم بین ارتفاع و بارندگی در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱-۵). بر اساس رابطه ارتفاع بارش و نیز ارتفاع متوسط منطقه که از نمودار هیپسومتری بدست آمده است متوسط بارش منطقه حدود ۸۲۹ میلیمتر در سال می‌باشد.



شکل ۱-۴: نمودار ارتفاع بارش ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه



شکل ۱-۵: نمودار هیپسومتری منطقه مورد مطالعه

از طبقه‌بندی دمارتن، برای تعیین اقلیم منطقه مورد مطالعه نیز استفاده شده است. فرمول پیشنهادی دمارتن برای تعیین اقلیم هر منطقه به شرح زیر است:

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

P: متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر

T: متوسط دما سالیانه بر حسب درجه‌سانتیگراد

I: ضریب خشکی دمارتن

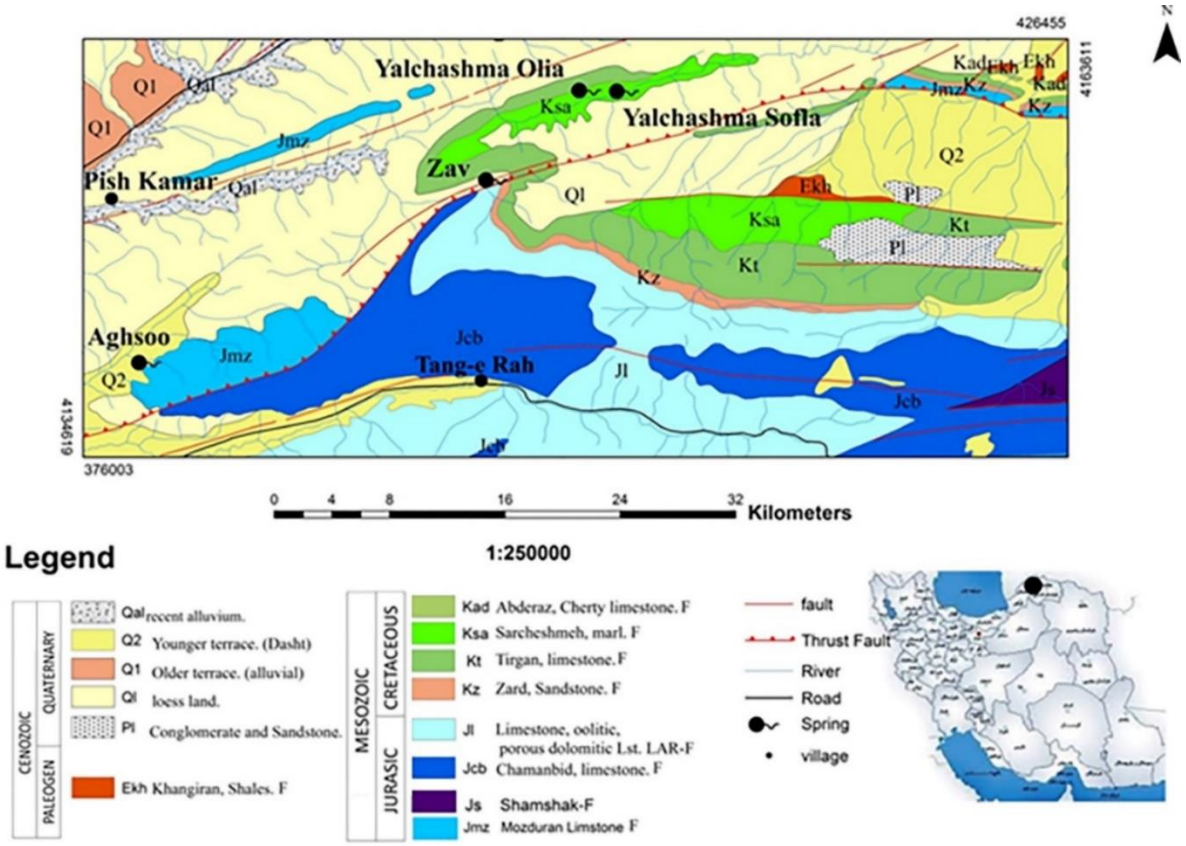
مقدار I نوع اقلیم منطقه را مشخص می‌کند. مقدار I محاسبه شده با توجه به فرمول بالا برای داده‌های ایستگاه هواشناسی گلیداغ و آق‌سو به ترتیب برابر با ۳۳/۸۳ و ۲۹/۸۷ است، که با توجه به جدول (۱-۳) اقلیم منطقه مورد مطاله تعیین می‌گردد.

جدول۱-۳: طبقه بندی اقلیمی دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۶)

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

۱-۴- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شرق استان گلستان، در منطقه‌ی کلاله و بین دو زون البرز شرقی و غرب کپه داغ قرار دارد. بیشینه ارتفاع در حدود ۲۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. تاقدیس‌های این ناحیه بیشتر دارای روند شمال خاوری– جنوب باختری بوده که دارای یال شمالی کم شیب و یال جنوبی پر شیب می‌باشند. مهمترین سازندهای منطقه مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازند آهک- دولومیتی لار، سازند آهکی چمن بید و سازند آهکی مزدوران به سن ژوراسیک، سازند های آهکی- دولومیتی تیرگان و سازند مارنی سرچشمه به سن کرتاسه و سازند شیلی خانگیران به سن پالئوسن و گسترده ترین رسوبات و لس‌های کواترنری می‌باشند (شکل۱-۴).



شکل ۱-۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۴-۱- واحد های سنگی مزوزوئیک

شمشک

این سازند دارای رخنمون نسبتاً وسیعی در جنوب گرگان، جنوب آزاد شهر و مینودشت می باشد. از نظرلیتولوژی از تناوب شیل، آرژیلیت ذغال دار، ماسه سنگ و کنگلومرا به همراه عدسی های ذغال سنگ تشکیل شده است. سن این سازند ژوراسیک و مساحت رخنمون آن نیز ۵۰۲ کیلومتر مربع می باشد.

سازند مارنی چمن‌بید

نام این سازند از دهکده چمن‌بید در ۶۰ کیلومتری باختر بجنورد گرفته شده است. ستبرای این سازند در برش الگو ۱۷۲۲ متر و در برگیرنده شیل، مارن و سنگ آهک است (افشارحرب، ۱۳۷۷). در این ناحیه مرز زیرین آن، شیل‌های دریایی است و بر پایه‌ی روزنداران، سن آن باژوسین تعیین شده است. اما مرز بالایی آن به طور تدریجی به سازند مزدوران پایان می‌پزیرد، به طوری که از جنوب باختر به شمال خاور، آهک‌های نازک لایه چمن‌بید کم‌کم به آهک‌ها و دولومیت های توده‌ای مزدوران تبدیل می‌شود. ستبرای این سازند نیز به سوی شمال باختر به تدریج کاهش می‌یابد و از ۲۰۰۰ متر (مزدوران) به ۶۰۰ متر در طاهرآباد می‌رسد.

سازند آهکی مزدوران

برش نمونه و نام آن از تنگه مزدوران، در بستر کشف‌رود برگزیده شده است. از نظر سنگ شناختی، در برگیرنده آهک ستبر لایه‌ای تا توده‌ای به رنگ روشن است (شکل ۱-۶). این آهک دولومیتی متخلخل و دولومیت است که ستبرای آن در برش نمونه حدود ۵۰۰ متر است، اما به سوی جنوب خاوری به سرعت کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که رخساره‌هایی همانند سازند شوریجه (ماسه سنگ‌ها و سنگ‌های قرمز آواری و سنگ‌های تبخیری) جانشین آهک و دولومیت می‌شود (افشارحرب، ۱۳۷۳) ستبرای این سازند به سوی شمال باختر افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در نزدیکی شهرک سیرزار، ستبرای آهک مزدوران به ۱۴۰۰ متر می‌رسد. سازند مزدوران در برش نمونه، بدون دگرشیبی آشکار بر روی سازند کشف‌رود قرار می‌گیرد و به وسیله نهشته‌های آواری سرخ رنگ سازند شوریجه پوشیده می‌شود. با دور شدن از برش نمونه به سوی

شمال باختر، سازند چمن‌بید در زیر سازند مزدوران به صورت زبانه‌ای نمایان و بتدریج ستبر می‌شود که نشانگر همسنی و هم‌ارزی سازند است.

بر اساس فسیل‌های موجود، سن این سازند، آکسفوردین – کیمریجین تعیین شده است. سازند مزدوران، از نظر ترکیب سنگ شناسی و سنی، تا اندازه‌ای هم ارز آهک لار در البرز مرکزی است (Stocklin, 1972).

شکل ۱-۷: نمایی از سازند لار با آهک‌های ضخیم لایه

سازند ماسه‌ای زرد

این سازند در نواحی جنوبی مراوه تپه به صورت محدود رخنمون دارد. از نظر لیتولوژی شامل مارن‌های دریایی به رنگ خاکستری و ماسه سنگ دریایی و لایه‌های جزئی سنگ آهک ماسه‌ای می باشد. سن این سازند کرتاسه پایینی و مساحت رخنمون آن در حدود ۱۸/۹ کیلومتر مربع می باشد.

سازند آهکی تیرگان

نام این سازند از دره تیرگان در خاور کپه‌داغ مرکزی به وسیله زمین‌شناسان شرکت ملی نفت برگزیده شده است. برش مرجع این سازند در جنوب باختر روستای جوزک قرار دارد. واحدهای سنگی عمده این سازند تیرگان در برش مرجع شامل سنگ آهک اوربیتولین‌دار است (افشارحرب، ۱۳۷۳). بر پایه ویژگی‌های سنگ شناسی، این برش به دو بخش تقسیم می‌شود که قسمت پایین دربر گیرنده دولومیت و سنگ آهک دولومیت نازک لایه است. دولومیت و سنگ آهک دولومیتی سازند تیرگان به علت سختی و مقاومت در برابر فرسایش، بلندی‌ها و قله‌های منطقه را تشکیل می‌دهد. ستبرای آن در خاور رشته کوه کپه‌داغ نزدیک ۵۰ متر تا کمتر از آن است، اما به سوی باختر، ستبرای آن بیشتر می‌شود و در دره تیرگان (باختر بجنورد) به ۷۰۰ متر می‌رسد. سازند تیرگان به‌طور هم‌شیب و گاه بین‌انگشتی بر روی سازند شوریجه (ژوراسیک بالایی) قرار می‌گیرد.

شکل ۱-۸: نمایی از سازند تیرگان با طبقات آهکی

سازند مارنی سرچشمه

سازند سرچشمه در برش الگو، در خاور بجنورد، حدود ۲۷۶ متر ستبرا دارد و از دو بخش غیر رسمی زیرین با مارن‌های خاکستری همراه با آهک مارنی و بخش بالایی شیل‌های آهکی خاکستری و چندین لایه سنگ آهک اربیتولین‌دار تشکیل شده است (Afshar Harb, 1979). ستبرای این سازند از خاور (۱۰۰ متر) به باختر (۵۰۰ متر در مرکز کپه‌داغ) به تدریج افزایش می‌یابد. در حد زیرین آن سازند تیرگان قرار داردکه در برخی محل‌ها با آن حالت بین‌انگشتی دارد و در حد بالایی آن نیز یک لایه‌ی کلیدی آهک صدف‌دار با آمونیت‌های آپسین بالایی وجود دارد که قله سازند سرچشمه به شمار می‌رود. سازند سنگانه به طور هم‌شیب روی آن دیده می‌شود. سن سازند سرچشمه، آپسین (پیشین و پسین) تعیین شده است.

سازند آب‌دراز

نام این سازند از دهکده آب‌دراز در جنوب خاور رشته‌کوه‌های کپه‌داغ گرفته شده است (افشارحرب، ۱۳۷۳). از نظر سنگ شناختی در بر گیرنده آهک‌های مارنی سفید و شیل‌های بسیار یکنواخت آبی – خاکستری تا سبز روشن است که در آن فسیل‌های فراوان یافت می‌شود. ستبرای آن از خاور به باختر متغیر است و از ۵۰۰ متر (در خاور) به ۱۵۰۰ متر در طاهرآباد (باختر) می‌رسد. مرز زیرین با سازند اتامیر هم‌شیب، اما حالت دگرشیب فرسایشی در آن برقرار است. سن سازند آب‌دراز از روی ریزفسیل‌ها، خارپوستان و اینوسراموس، تورونین تا سانتونین تعیین شده است.

۱-۴-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک

سازند شیلی خانگیران

سازند خانگیران آخرین نهشته‌های دریای پهنه‌ی کپه‌داغ است که نام آن از روستای خانگیران (۳۰ کیلومتری باختر سرخس) گرفته شده، اما برش الگوی آن در دامنه جنوبی تاقدیس زرین کوه در شمال شهر درگز مطالعه شده است (افشارحرب، ۱۳۷۳).

سازند خانگیران جوانترین واحد سنگی حوضه کپه‌داغ است که در محیط دریایی رسوب کرده است. سازند خانگیران به دلیل وجود گاز خانگیران اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به مطالعات سن نهشته‌ها در ناحیه

سرخس چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی سازند یاد شده بر مبنای روزنه‌داران از پالئوسن پسین تا اواخر ائوسن و احتمالا الیگوسن پیشین ذکر شده است. بر پایه مطالعات نانوپلانکتون‌های آهکی سازند خانگیران، سن سازند در محدوده زمانی ائوسن آغازین تا الیگوسن پسین تعیین شده است. سازند شیلی خانگیران، معرف آخرین پیشروی گسترده دریا در پهنه کپه‌داغ است که به جز بخش کوچکی از شمال باختری گنبد کاووس، دیگر نواحی را زیر پوشش داشته است.

رسوبات آبرفتی دوران چهارم (کواترنری)

رسوبات دوران چهارم در محدوده مورد مطالعه از گستردگی و ضخامت نسبتاً زیادی برخوردار هستند. این رسوبات با دگرشیبی بر روی نهشته های چین خورده نئوژن قرار گرفته‌اند. ضمن اینکه در بخشی از محدوده که در زون فرونشست خزر قرار گرفته (از جمله دشت گمیشان تا شمال گنبد) رسوبات کواترنر در سطح رخنمون نداشته و در اعماق با ضخامت زیادی دیده شده‌اند. بر اساس حفاری‌های شرکت نفت که در شمال آق قلا، اینچه برون و گرگان انجام شده‌است. قدیمی ترین رسوبات کواترنر در زون فرونشست خزر شامل نهشته‌های آپشرونین با لیتولوژی مارن‌های آبی، خاکستری، سبز و آبی همراه با ماسه‌های دانه‌ریز و گراول و بعضاً لایه های نازک خاکستر آتشفشانی می باشد که ضخامتی معادل ۴۵۵ متر داشته و به صورت افقی هستند. ضخامت این رسوبات از شرق به طرف دریای خزر کم می شود.

نهشته های کاسپین قدیمی شامل تناوبی از مارن‌های خاکستری متمایل به سبز و خاکستری و آبی رنگ و ماسه های دانه ریز و سیمانی نشده است که بر روی نهشته‌های آپشرونین قرار می‌گیرد و ضخامت آن ۴۵۰ متر گزارش شده است. نهشته‌های کاسپین جدید از جمله رسوباتی هستند که با ضخامت ۳۰ متر در چاه‌های نفتی گزارش گردیده‌اند که بر روی رسوبات قدیمی قرار می‌گیرند. شرایط رسوبگذاری در این زمان شبیه شرایط امروز دریای خزر و آب شور بوده و جانوران مشابه زندگی می‌کرده‌اند.

لس‌ها یکی از گسترده ترین نهشته‌های رسوبی دوران چهارم هستند که در سطح وسیع به صورت تپه-ماهورهای پست تا نسبتاً مرتفع در محدوده مورد مطالعه گسترش دارند و ضخامت آنها گاه به ۳۰۰ متر می رسد. لس‌ها از جنس رسوبات رسی، سیلتی و ماسه‌های نرم تشکیل شده‌اند و اصولاً به صورت نهشته‌های

فشرده و متراکم، فاقد لایه بندی و دارای چسبندگی بین دانه‌ای ضعیف می باشند و فسیل شکم پایان خشکی نیز در آنها دیده می شود. این رسوبات محصول حمل باد هستند و دلیل آن را به این صورت تفسیر کرده‌اند که در دوره‌های بین یخچالی به علت شرایط آب و هوایی متفاوت، توفان‌های عظیم از ناحیه ترکمنستان مواد دانه ریز مثل رس یا سیلت همراه با نمک و گچ را حمل و در برخورد به ارتفاعات کپه‌داغ و البرز از حرکت باز ایستاده و نواحی پست و حتی دامنه ارتفاعات را با قشری از لس پوشانیده است. این نهشته‌ها بطور گسترده ای در پیشانی ارتفاعات مشرف بر جلگه گرگان از حوالی کردکوی تا بخش های شمال شرقی استان توسعه دارد.

دیگر نهشته‌های رسوبی دوران چهارم شامل پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های بلند قدیمی، پادگانه‌های جوان آبرفتی، واریزه‌های دامنه‌ای و آبرفت‌های حاشیه رودخانه‌ای می‌باشد. رسوبات مخروط‌افکنه‌های قدیمی شامل رسوبات رودخانه‌ای، دریاچه‌ای و مجموعه رسوبات درهم کف دره‌ای می‌باشد. اغلب این رسوبات شامل رسوبات تخریبی با زمینه سیلتی – ماسه‌ای تقریباً سخت است. این رسوبات در دامنه ارتفاعات و حاشیه دشت‌ها و مسیر رودخانه ها به ضخامت‌های یک تا ۱۰۰ متر دیده می‌شود. این رسوبات علیرغم ضخامت زیاد آن به علت تخلخل کم و عدم تغذیه از سیلاب‌های رودخانه‌ای منطقه، به لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت چندانی ندارند که در جنوب رامیان و نوده رخنمون دارند.

رسوبات مخروط افکنه‌ها یا دشت‌های آبرفتی شامل رسوبات تجمع یافته در چاله‌های سیلابی و رسوبات دلتایی شامل ماسه، سیلت و رس بوده که ضخامت کلی این رسوبات بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر می باشد. این رسوبات گسترش وسیعی در محدوده مورد مطالعه داشته و سفره آب زیرزمینی در این رسوبات تشکیل شده است. رسوبات آبرفتی عهد حاضر شامل آبرفت‌های سخت نشده بستر اکثر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها است و از ماسه، گراول، قلوه سنگ‌های گرد شده با زمینه‌ای از مواد ریز دانه سیلتی، ماسه‌ای و مقداری رس است.

۵-۱- وضعیت تکتونیک منطقه:

الف ـ گسل‌های منطقه

روند کلی واحدهای ساختمانی منطقه مورد مطالعه بصورت شمال شرق – جنوب غرب بوده و امتداد متوسط آنها بین N۱۱۰ درجه در بخش خاوری و N۲۵۰ درجه در بخش باختری متغییر می‌باشد. راستای کلی گسل‌ها از راستای چین‌خوردگی عمومی منطقه پیروی می‌کند و عموما سازکار آنها، راندگی با شیب به سمت شمال می‌باشد. گسل‌های رورانده که حاصل نیروهای وارده از جنوب غرب به صفحه ایران می‌باشد، حین فعالیت و حرکت در طول راندگی‌های مذکور گسل‌های فرعی زیادی را نیز منشعب و تشکیلات مختلف از جمله سازندهایی با سن ژوراسیک و کرتاسه را قطع و جابه‌جا کرده است. این گسل‌ها در عمل کارستی شدن، انتقال آب و ظهور چشمه‌ها نقش مهمی را ایفا کرده‌اند.

ـ گسل مراوه‌تپه

گسل مراوه تپه به شکل کمانی با راستای خاوری – باختری در شمال مراوه‌تپه، در بخش باختری کپه‌داغ واقع شده است و از باش‌تپه در خاور تا آق‌دربند در باختر ادامه می‌یابد. این گسل‌ها باتوجه به راستایش به دو بخش تسیم می‌شود. بخش خاوری آن راستای N۱۱۰ درجه وبخش باختری آن راستای N۲۴۰ درجه دارد. بخش باختری از دو گسل موازی تشکیل شده که در فاصله حدود ۵ کیلومتری از یکدیگر قرار گرفته‌اند. پایانه بخش باختری در شمال گنبد کاوس به نام گسل آق‌دربند معرفی شده است (افشارحرب، ۱۳۷۳). راستای کلی گسل از راستای چین‌خوردگی عمومی منطقه پیروی می‌کند و سازوکار آن، رانگی با شیب به سمت شمال است.

ـ گسل تکل‌کوه

گسل تکل‌کوه در جنوب گسل مراوه‌تپه قرار گرفته و دارای روندی مشابه آن است. از شمال شهر آشخانه آغاز شده وبه سمت باختر امتداد می‌یابد. بخش خاوری آن دارای راستای کلی N۱۱۰ درجه است و به صورت یک گسل راندگی با شیب به سمت شمال، مرز بین سازند تیرگان و سرچشه در شمال را با رسوبات نئوژن و کواترنری در جنوب تشکیل می‌دهد. بخش باختری آن با راستای N۲۵۰ درجه به صورت یک

خطواره وارد پهنه لسی در جنوب باختر مراوه‌تپه می‌شود. گسل تکل‌کوه نیز به عنوان یک گسل پی‌سنگی در آخرین مرحله‌های زمین ساختی منطقه بصورت معکوس یا راندگی عمل کرده و واحدهای مختلف را بر روی هم جابه‌جا کرده است(افشارحرب،۱۳۷۳) که انتهای این گسل به خطواره گرگان‌رود در شمال باختر گنبد کاوس متصل می‌شود.

ـ گسل سوقا

این گسل در جنوب بخش باختری گسل تکل‌کوه قرار گرفته و با روند کمانی شکل دارای راستای N۲۵۰ درجه است. سازوکار آن به صورت راندگی با شیب به سمت شمال است که سازندهایی با سن ژوراسیک و کرتاسه را قطع و جابه‌جا کرده است که پایانه جنوب باختری آن به گسل خزر متصل می‌شود.

ـ گسل کورخود

گسل کورخود از جنوب شهر آشخانه آغاز و به سمت جنوب باختر با راستای کلی N۲۴۰-۲۵۰ درجه امتداد می‌یابد. این گسل بصورت تکه‌های متعددی است که یک پهنه گسلی گسترده راتشکیل می‌دهند. سازوکار آن بصورت راندگی با شیب به سمت شمال است. واحدهای رسوبی ژوراسیک در بلوک شمال این گسل به طور وسیعی رخنمون دارند. گسل کورخود نیز جزو مجموعه گسل‌های پی‌سنگی حوضه کپه‌داغ معرفی شده افشار حرب (۱۳۷۳) از آنها نام برده است. این گسل از اواخر ژوراسیک پسین پویا شده و قطعه شمال آن شروع به فرونشست کرده است.

ب ـ چین‌خوردگی

بخش باختری کپه‌داغ: ساختمان‌های این ناحیه بیشتر به صورت کشیده و طویل هستند و نسبت طول به عرض آنها بیشتر از ۳ است. همچنین این ساختمان‌ها بیشتر در امتداد هم قرار گرفته‌اند و عامل جدایش آنها تنها یک افتادگی زین‌اسبی شکل است که گاه با ژرفای قابل توجه وگاه ژرفای کم دارد. بیشتر ساختمان-های این ناحیه یال شمالی کم‌شیب و یال جنوبی پرشیب دارند. میزان کوتاه‌شدگی در کپه‌داغ دست کم

حدود ۵ درصد است. این مقدار کوتاه‌شدگی در مقایسه با کمربند کوهزایی زاگرس با بخش پیشانی آن که کوتاه‌شدگی حدود ۶ درصد را نشان می‌دهد، قابل مقایسه است. گسل‌های طولی که به موازات تاقدیس‌ها هستند که در بخش باختری کپه‌داغ راستای شمال خاور- جنوب باختر دارند. این گسل‌ها غالبا با تغییرات ستبرای قابل توجه دست کم در سازندهای سرچشه، سنگانه و اتامیر همراه هستند و چنین به نظر می‌رسد که در هنگام رسوب‌گذاری در حوضه، کارساز بوده‌اند. این دسته از گسل‌ها اختلاف قابل توجهی در ژرفای ناودیس‌ها را سبب شده و در پی آن با تغییر ستبرای سری رسوبی موجب تغییر طول موج و ابعاد تاقدیس‌ها شده‌اند.

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

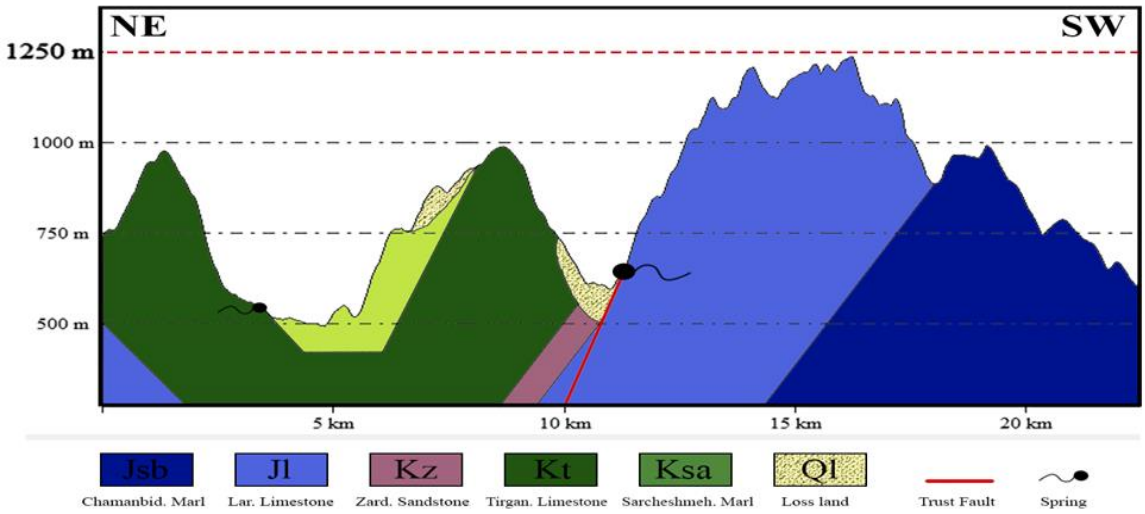
در منطقه مورد مطالعه، در ارتفاعات کوه کلاله هیچ‌گونه رودخانه‌ای دیده نمی‌شود. همچنین با وجود میزان بارندگی بالا سیل خیزی در دامنه‌های آهکی، معمولا وجود ندارد که می‌توان دلیل آن را نفوذپذیری قابل توجه سازند آهکی و درز شکاف‌های فرواوان و وجود جنگل‌های انبوه بیان کرد. بنابرین می‌توان این چنین اظهار نظر کرد که بیشتر بارش‌ها به داخل زمین نفوذ می‌کند. از رودخانه‌های مهم منطقه می‌توان به رودخانه زاو و آق‌سو اشاره کرد که دبی پایه این رودخانه‌ها عمدتا از چشمه زاو و آق‌سو منشاء می‌گیرند.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

هیدروژئولوژی هر آبخوان تابعی از زمین‌شناسی منطقه می‌باشد، در واقع زمین‌شناسی در پیدایش سفره‌های کارستی نقش بسزایی دارد. سازندهای آهکی لار، مزدوران و تیرگان از عمده‌ترین سازندهای آهکی منطقه می‌باشند. همچنین یک لایه نازک از لس بیشتر این منطقه را پوشانده است که تاثیر بالایی در نفوذپذیری آبخوان آهکی داشته است. این سازندهای آهکی در اثر حرکات تکتونیکی و فرسایش فیزیکی و شیمیایی دارای شکستگی‌های فراوانی شده است. که این عمل باعث نفوذ آسانتر آب به داخل آبخوان‌های آهکی شده

است، که مقادیر قابل توجه‌ای از آب‌های این آبخوان به واسطه چشمه‌ها خارج می‌شود و بخشی از آب‌های آن هم باعث تغذیه سفره‌های آبرفتی مجاور می‌شود.

سازندهایی همچون لار، مزدوران و تیرگان قابلیت کارست‌زایی بالایی دارند و همچنین به دلیل بارندگی بالای این منطقه شرایط خوبی را برای توسعه کارست فراهم کرده است. کیفیت آب خروجی از این آبخوان-های کارستی که به واسطه چشمه‌ها می‌باشد بسیار مطلوب بوده، که غلظت کم آنیون‌های کلر و سولفات و همچنین کم بودن EC شاهد خوبی بر این موضوع می‌باشد. بیشترین مصارف این چشمه‌ها برای شرب و کشاورزی است. به‌منظور درک بهتر هیدروژئولوژی و عمل‌کرد ساختمانی و تکتونیکی یک نمیرخ شماتیک از ناهمواری‌های عمده منطقه تهیه شده است. محل این مقطع به گونه‌ای انتخاب شد که ساختمان‌های زمین‌شناسی منطقه، شامل واحدهای چینه شناسی، گسل‌ها و واحدهای تروا‌و ناتراوا نمایش گذاشته شود و نقش کلی آنها درهیدروژئولوژی منطقه در نظر گرفته شود (شکل ۱-۹). سازندهای آهکی لار، مزدوران و تیرگان به دلیل ضخامت قابل توجه و پتانسیل بالایی که برای پدیده انحلال دارند، بهترین و غنی‌ترین سازندهای تراوای منطقه را شامل می‌شوند.



شکل ۱-۹: نیمرخ شماتک منطقه مورد مطالعه

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته هیدروژئولوژی کارست چشمه‌ها

حدود ۲۵ درصد از منابع آبهای زیرزمینی جهان در تشکیلات کارست ذخیره شده است و به عنوان یکی از منابع مهم تامین کننده نیازهای آبی بر روی کره‌ی زمین شناخته شده‌اند. در ایران نیز حدود ۱۱ درصد از وسعت کشور را نواحی کارستی تشکیل می‌دهد. آبخوان‌های کارستی، مخازن زیرزمینی به شدت ناهمگنی هستند که سطح ایستابی در این آبخوان‌ها یک سطح پیوسته نیست و دارای شیب منطقه‌ای و محلی است. چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان‌های کارستی است. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده، لذا با استفاده از داده‌های سری زمانی تخلیه چشمه‌ها و منحنی فروکش آنها ، با هزینه‌ی بسیار کمی در رابطه با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهار نظر نمود و نوع جریان (افشان یا مجرایی) سهم هر نوع جریان، نوع و حجم آب ورودی، رژیم تغذیه (بارانی یا برفی) و حتی روند تغذیه یک چشمه کارستی را تعیین نمود. برای استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سفره کارستی ابتدا باید تاثیر عوامل خارج از سیستم را بر روی چشمه حذف و سپس تاثیر عوامل داخلی را بر سفره‌ی کارستی بررسی نمود. بنابراین با بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی می‌توان به میزان توسعه کارست در یک ناحیه پی برد. آبخوان‌های کارستی در مقایسه با آبخوان‌های دیگر شرایط مساعدی را برای تغذیه از خود نشان می‌دهند. شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی لایه های آبدار کارستی، تعیین مسیرهای جریان و منشاء تغذیه در سفره‌های کارستی با استفاده از روند تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها، در طول چند دهه اخیر، رواج بسیاری داشته است.

۲-۱- تعریف و اهمیت کارست

به طور کلی تعریف کارست عبارت است از گستره‌ای با هیدرولوژی و مورفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی بزرگ که از انحلال سنگ‌های کربناته (بخصوص سنگ آهگ) با قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی ایجاد می‌شود (Karami, 2002). در علم ژئومورفولوژی، کارست شامل همه سنگ‌های انحلال‌پذیر است که آب به درون آن‌ها نفوذ کرده، درون آن‌ها را انحلال داده و حفرات بادوام ایجاد نماید. از طرفی سنگ‌های نواحی

کارستی باید استحکام مکانیکی زیادی داشته باشند تا از ریزش‌ها سریع در حفرات ایجاد شده اجتناب شود و به عبارت دیگر باید دارای مسیری باشند که مواد انحلال یافته از سیستم خارج شود. در مواردی سطوح انحلالی را می‌توان در برخی سنگ‌های آذرین (بازالتی، گرانیتی) نیز مشاهده نمود که توسط آب ایجاد شده است در این موارد، تأثیر آب تا اعماق زیاد ادامه نمی‌یابد زیرا مجاری انحلالی به سرعت به وسیله فراورده حاصل از انحلال، ریزش یا دگرسانی پر می‌شوند (Gilli 2002).

در بیشتر نقاط جهان از آبهای کارستی به عنوان مهمترین منبع تولید کننده آب مورد نیاز برای آشامیدن، کشاورزی و صنعت استفاده می‌کنند. همچنین آب‌های زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی در حال حاضر آب مورد نیاز یک‌چهارم از کل جمعیت جهان را تامین می‌کند (Ford and Williams, 2007). علاوه بر این حدود ۱۵ درصد از خشکی‌های زمین را سازندهای کربناته تشکیل می‌دهد. در ایران نیز حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور را سازندهای کارستی تشکیل می‌دهد، که حدود ۵۲ درصد از سازندهای در رشته‌کوه‌های زاگرس قرار گرفته‌اند (Raeisi 2002). با توجه به آمار ذکر شده اهمیت منابع آب کارستی به عنوان یکی از با ارزشترین منابع تامین کننده آب در جهان و بخصوص در ایران بیش از پیش آشکار می‌شود.

۲-۲- نفوذ در کارست

بوردن و و پایاکس (Bordon and Payakis 1963) در بررسی تغذیه پوشش‌های آهکی نفوذ را به دو دسته تقسیم نموده‌اند. **الف**- نفوذ اولیه (Primary infiltration) نفوذ مستقیم بارندگی در آهک، **ب**- نفوذ ثانویه (Secondry infiltration) آن بخشی از آب‌های جاری که پس از عبور از لایه‌های نفوذ ناپذیر در مسیر خود به آهک برخورد می‌کنند. بوگلی (Bogli 1980) بیان نمود که یکی از منابع آب در سفره‌های کارستی، نفوذ از بستر رودخانه می‌باشدکه از آهک عبور می‌کنند. تغذیه در سفره‌های کارستی توسط مولفین مختلف به دو دسته تقسیم شده است. الف- تغذیه نابرجا (Allojenic recharge) ب- تغذیه برجا (Autogenic recharge). تغذیه نابرجا مربوط به جریان‌هایی هستند که از سنگ‌های غیر کارستی وارد حوضه کارستی می‌شوند. تغذیه برجا از نفوذ مستقیم بارش در سطح زمین‌های کارستی که از طریق فروچاله‌ها، چاه‌های عمودی و شکستگی‌های باز صورت می‌گیرد (White 1988, Ford and Williams 1989).

نفوذ آب در در داخل کارست و لایه‌های آبدار کارستی به سه طریق، نفوذ به داخل خاک، نفوذ ار طریق درز و شکاف‌ها و نفوذ به داخل فروچاله‌ها (Sinkholes) صورت می‌گیرد. بخش عمده نفوذ در سنگ‌های آهکی از طریق مجاری انحلالی و درز و شکاف‌ها صورت می‌گیرد، ظرفیت نفوذ در این شکاف‌ها، به عواملی از قبیل میزان بازشدگی شکاف‌ها، فاصله بین شکاف‌ها، عمقی بودن شکاف‌ها، وجود ویا عدم وجود خاک و سنگریزه و شیب عمومی رخنمون سنگی بستگی دارد (کرمی ۱۳۷۲).

رایسچ و تورن (Reisech and Toran 2013) در یک دوره ۲۱ روزه هدایت الکتریکی، دمای هوا سطح آب، عمق برف را برای توصیف خصوصیات داخلی جریان و نفوذ افشان تحت نظر قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه افشان در منطقه همراه با ذوب برف هدایت و سطح آب پایداری و سرعت جابه‌جایی کندتر مشاهده می‌شود در صورتی که رواناب‌های داخلی با ضرایب هدایت بالا رسانایی بالا و حرکت سریع در فواصل زمانی مشاهده شده است. باربارا و اندرو (Barbara and Andreo) جهت بررسی سیستم تغذیه چشمه کارستی از آنالیز خصوصیات گرمایی، شیمیایی و ایزووپی استفاده کردندو به این نتیجه رسیدند که منشاء تغذیه چشمه‌های کارستی سه نوع آب با منشاءهای متفاوت است. جزء یک، مربوط به تغذیه افشان از طریق رخنمون‌های کربناته نماینده آب‌هایی با مواد معدنی پایین و فقیر در اکثر پارامترهای شیمیایی و ایزوتوپی، جزء دوم شامل آب آلوژنیک با دمای پائین و هدایت الکتریکی زیاد و غنی شده از یون‌های (SO_4^2، Ca^{+2}، Mg^{+2}، Na^+، Cl^-، No_3^-) و جزء سوم که از اختلاط آب‌های بسیار عمیق و معدنی با حرارت بالا تشکیل شده است.

۲-۳-عوامل تکتونیکی در کارست

عوامل تکتونیکی یکی از عوامل مهم تشکیل کارست در سازندهای آهکی و تغییر آن در طول زمان است. پدیده‌های ساختاری مانند گسل، درزه‌ها، چین‌خوردگی‌ها، امتداد و شیب سطوح لایه‌بندی و ... هر یک به نوعی در فرایند ایجاد و توسعه و تغییر کارستی شدن موثراند. بنابراین، یکی از اولین اقدام‌های لازم در

شناخت منابع آب‌های کارستی، شناخت رابطه‌ی کارستی شدن و سیستم ساختاری در یک منطقه می‌باشد (Milanivich 1981). فروچاله‌ها یکی از مهمترین اشکال مورفولوژ در نواحی کارستی هستند. شکل فروچاله و محل تشکیل آنها در بیشتر موارد به وسیله‌ی تکتونیک تعیین می‌شود، از این رو معمولا در طول گسل‌های شناخته شده یافت می‌شوند. چون فروچاله‌ها اغلب در نزدیکی گسل‌ها تشکیل می‌شوند قطر طویل آنها معمولا در جهت شکستگی‌های اصلی تکتونیکی منطقه می‌باشد (Milanovich 1981). احمدی پور (Ahmadipor 1999) در بررسی هیدرولوژیکی حوضه الاشتر در غرب ایران بیان نموده‌اند که جریان آب در این حوضه تحت تاثیر ساختار تکتونیکی موجود در منطقه است و محل خروج چشمه‌های کارستی در محل تقاطع و برخورد خطواره‌های موجود واقع شده است.

۲-۴- خصوصیات هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی

با بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها در سفره‌های کارستی برای تعین منشاء تغذیه استفاده کرد که در طول چند دهه اخیر رواج بسیاری داشته است (Lakey and Krothe 1996). وایت (White 1998) بر اساس جریان چشمه‌ها، جریان‌های کارستی را به دو نوع مجرایی و افشان تقسیم کردند. در یک سیستم کارستی دو نوع جریان وجود دارد. جریان افشان از طریق درز و شکاف‌های ریز و معمولا به صورت آرام صورت می‌گیرد و جریان مجرایی که جریان سریع و آشفته است و در میان شکستگی‌ها و حفرات درشت کارستی صورت می‌گیرد(Bonacci 1993) . در آبخوان‌های کارستی قابلیت انتقال در مجاری بالا، ولی ذخیره‌سازی کم می‌باشد. برعکس در ماتریکس سنگ‌های کارستی، قابلیت انتقال کم، ولی ذخیره سازی بالا است (Milanovich 1981, Karami 2002)

وایت و اشمیت (White and Schmidt 1971) پس از اندازه‌گیری یک ساله پارامترهای از جمله تغییرات دبی، هدایت الکتریکی، درجه حرارت، یون‌های کلسیم، منیزیم و بیکربنات تغییرات فصلی را مورد بررسی قرار دادند و چشمه‌های منطقه را بر اساس زمین‌شناسی خصوصیات فیزیکی جریان، وجود و یا عدم وجود غار، آبفروچاله و سایر پدیده‌های ژئو مورفولوژیکی کارست و توپوگرافی چشمه‌ها به جریان افشان و مجرایی تقسیم کرد.

۲-۴-۱- تغییرات آبدهی

تغییرات زمانی آبدهی چشمه یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی چشمه‌های کارستی می‌باشد و به عنوان معیاری برای ارزیابی نوع جریان در آبخوان‌های کارستی استفاده می‌شود. آبدهی چشمه‌های پهنه کارستی و سازندهای سخت، بازتاب بارنگی منطقه و میزان تغذیه آن است و بررسی آن اطلاعات بسیار سودمندی درباره‌ی ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان در اختیار قرار می‌دهد. تغییرات زمانی آبدهی چشمه پاسخی به عوامل موثر بر تغذیه، خصوصیات هندسی حوضه‌ی آبگیر و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی در حوضه آبگیرمنطقه است (Raeisi and Karami 1996, 1997).

به دلیل ناهمگنی در آبخوان‌های کارستی نمی‌توان خصوصیات هیدرولوژیکی داده‌های نقطه‌ای مثل آزمون پمپاژ را به کل سیستم تعمیم داد، در حالی که منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های تخلیه کننده به خوبی نماینده خصوصیات هیدرودینامیکی کل آبخوان می‌باشد. منحنی فروکش چشمه‌های کارستی منعکس کننده خصوصیات داخلی آبخوان می‌باشد (Bonacci 1993).

عوامل و فاکتورهای مختلف بیرونی و درونی بر توسعه‌ی کارست موثر می‌باشند. بارندگی مهمترین عامل بیرونی توسعه کارست است (عوامل دیگری مانند شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه، تراکم خطواره‌ها، پوشش گیاهی و لیتولوژِی در زمان‌های زمین‌شناسی ممکن است، تغییرات محسوسی داشته باشند). با آنالیز منحنی فرود چشمه‌های کارستی در دوره‌های خشک می‌توان اثر عامل بارندگی را حذف و عامل درونی موثر در توسعه کارست را بررسی کرد. با استفاده از منحنی فروکش می‌توان به خصوصیات ساختاری، تراوایی و حجم ذخیره دینامیکی کارست پی برد. جهت ترسیم منحنی فرود چشمه، آبدهی چشمه را نسبت به زمان در یک دستگاه نیمه‌لگاریتمی رسم می‌گردد. چنین نموداری به صورت یک خط مستقیم یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط یا خطوط شکسته شده ضرایب تخلیه می‌باشند. ضرایب تخلیه توانایی آبخوان را برای آزاد کردن آب و خصوصیات هیدروژئولوژیکی یعنی تخلخل موثر و قابلیت انتقال آبخوان چشمه‌ها را بیان می‌کند. اگر تغییرات مقدار آبدهی چشمه در کنار تغییرات زمانی کیفیت آب مورد بررسی قرار گیرد، اطلاعات مهمی از وضعیت درونی کارست بدست می‌آید.

۲-۴-۲- تغییرات هدایت الکتریکی

به خاطر در دسترس بودن اندازه گیری هدایت الکتریکی و بده در چشمه‌های کارستی، این دو متغیر از طریق روش‌های متعددی برای بررسی سیستم های کارستی مورد توجه قرار گرفته اند، یکی از شناخته ترین روشها تحلیل سری زمانی هدایت الکتریکی و بده است (Kovacs et al. 2005).

گراسو و همکاران(Grasso et al. 2003) با استفاده از آنالیز دو پارامتر هیدروگراف و کموگراف چشمه‌های کارستی و محاسبه ضرایبی از روند تغییرات این خصوصیات در مرحله فروکش دبی به بررسی توسعه کارست پرداخته‌اند. در مرحله فروکش دبی چشمه به دلیل خالی شدن آب از سیستم کارستی، تغییرات غلظت شیمیایی در ارتباط با تغییرات دبی گویای ویژگی های سیستم کارستی می باشد.

۲-۴-۳- تغییرات یون‌های اصلی

آب زیرزمینی به مقدار کم یا زیاد حاوی نمک‌های محلول می‌باشد. نوع و غلظت این املاح به سنگ‌ها که آب با آنها در تماس است، سرعت حرکت آب، مسافتی که آب طی کرده و منشاء آب وابسته است. بیشتر مواد محلول در آب ناشی از انحلال سنگ‌ها می باشد. با توجه به مدت ماندگاری آب در لایه های آب و طول مسیری که آب طی می‌کند، ترکیب شیمیایی آن، از نظر مقدار و نوع تغییر می‌کند.

کیفیت و کمیت مواد محلول در آب نتیجه تمام فرایندها و واکنشهایی است که تحت تأثیر عوامل بیرونی و درونی قرار دارند. فاکتورهای درونی شامل شکل، اندازه و ضخامت آبخوان آبدار، درصد و توزیع و نوع تخلخل، لیتولوژی و خصوصیات ناحیه‌ی اشباع می باشد. فاکتورهای خارجی نیز شامل فرم بارش، توزیع زمانی و مکانی نزولات جوی، نحوه‌ی تغذیه سیستم و درصد و عمق پوشش خاک، لیتولوژی سازندهای مجاور و کمیت آب ورودی به سیستم، پوشش گیاهی و مورفولوژی منطقه می باشد (Raeisi and Karami 1996).

لامبان و همکاران (Lamban et al. 2015) با آنالیز هیدروشیمیایی و ایزوتوپی از ۲۹ چشمه در فاصله زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ در پنومپ در اسپانیا بیکربنات رخسارههای شیمیایی آب منطقه را کلسیم – بیکربنات،

کلسیم و منیزیم - یبکربنات معرفی نمودند و نتیجه گیری نمودند که اختلاف بین منطقه تغذیه و تخلیه نقش مهمی در تغییر رخساره دارد.

۲-۵- برآورد میزان تغذیه در چشمه‌های کارستی

میزان تغذیه تابع عوامل متعددی مانند وجود ویا عدم وجود آبفروچاله، تراکم درزه و شکاف‌ها، میزان بازشدگی شکاف‌ها، میزان و نوع پرشدگی شکاف‌ها، درصد و ضخامت پوشش خاک، شیب لایه‌ها، نوع نزولات جوی و توزیع زمانی بارش آن‌ها، شدت بارندگی، درجه حرارت و پوشش گیاهی می‌باشد وبه همین دلیل تعیین دقیق میزان تغذیه در مناطق کارستی بسیار مشکل است. برای برآورد میزان تغذیه آبخوان‌ها روش-های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات صحرایی برای تخمین تغذیه، استفاده شده است.

۲-۵-۱- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای برآورد میزان تغذیه

استفاده از روش‌های سنج از دور به دلیل اینکه توانایی در نظر گرفتن چندین متغیر را دارست، در بسیاری از امور مفید است. این روش در تخمین تغذیه، هم کم هزینه‌تر و هم میتواند در مقیاس وسیع به کار رود در این روش متغییرهای مختلف به صورت لایه‌های اطلاعاتی استخراج و چهت پردازش بعدی به محیط نرم‌افزار GIS وارد می‌گردد. کرمی و همکاران (Karami and et al. 2011) در حوضه کارستی سالدوران به منظور برآورد تغذیه سالانه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی موثر بر تغذیه آبخوان کارستی، جهت ورود به نرم افزار ArcGIS تهیه کرده اند. لایه‌های تهیه شده شامل عوارض کارستی مشاهده شده در منطقه، شیب توپوگرافی، جهت شیب دامنه‌ها بارش، تراکم خطواره-ها، لیتولوژی و تراکم آبراهه‌ها می‌باشد.سرانجام با وزن دهی مناسب و تحلیل های که انجام داده‌اند، یک نقشه‌ی نهایی از مقدار تغذیه سالانه در آبخوان‌های کارستی منطقه را بدست آوردند.

۲-۶- تعیین حوضه در سفره‌های کارستی

برای تعیین حوضه‌ی آبگیر چشمه‌های کارستی، تحقیقات زمین شناسی مفصلی و محاسبات هیدرو-ژئولوژیکی نسبتاً وسیعی مورد نیاز است. مساحت حوضه‌ی آبگیر در کارست با توجه به تغییرات زمانی سطوح آب زیرزمینی متغییر است. فقط در شرایط استثنائی که در مرز بین حوضه‌ها لایه‌های نفوذ ناپذیر قرار گرفته باشند، خطوط حوضه آبگیر سطحی و زیر سطحی بر هم منطبق می‌شوند. اگر مرز در لایه‌های آهکی نفوذپذیر قرار داشته باشد، مرز حوضه ثابت نخواهد بود. قسمتی از مرز حوضه‌آبگیر درونی به طرف خروجی چشمه‌ها یا به طرف رودخانه جابه‌جا خواهند شد. موقعیت خط تقسیم آب به سطوح مختلف آب زیرزمینی با تغییر در زمان‌های مختلف بستگی دارد. در هنگام بارندگی کانال‌های زیرزمینی در مناطق کارستی فعال می‌شوند که این خود موجب افزایش حوضه‌آبگیر می‌شود.

به دلیل بالابودن سرعت جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی، در برابر آلاینده‌ها بسیار آسیب پذیرند وبه منظور حفاظت از آن‌ها تعیین حوضه آبگیر زیرزمینی و شناخت مسیرهای عمومی جریان آب زیر زمینی و نقاط تغذیه و تخلیه نقش مهمی خواهد داشت (Foster et al. 2004). با توجه به اینکه اغلب آب چشمه‌های کارستی برای شرب و کشاورزی استفاده می‌شوند باید حوضه آبگیر چشمه‌ها در کنترل مداوم باشند و برای جلوگیری از مشکلات آلودگی، علاوه بر در نظر گرفتن جهت جریان آب زیرزمینی، ارزیابی مکان مناسب دفن زباله مهم است (Brewer and Crawford 2005).

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

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

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

معادله (۲-۲) $$Q_B = I \cdot A \cdot P$$

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

۲-۷- عوامل موثر بر توسعه کارست

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

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

$$2CO_2 + 2H_2O + CaMg(CO_3)_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 4HCO_3^-$$

وایت (White 1988) عوامل مؤثر و لازم برای ایجاد و توسعه کارست را به سه دسته عوامل فیزیکی و شیمیایی و هیدروژئولوژیکی تقسیم می‌کند. مهمترین این عوامل شامل مقدار بارندگی، درجه حرارت، فشار گازکربنیک، پستی و بلندی، وضعیت چینهشناسی و سنگشناسی، ضخامت لایه‌های کربناته و موقعیت زمین‌ساختی منطقه می‌باشند.

پارامترهای اقلیمی به یکدیگر وابسته بوده و در هر اقلیم خاص، محدوده تغییرات خاصی از دما، فشار گاز دی‌اکسیدکربن و رطوبت وجود دارد لذا بهتر است اثر این عوامل در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹)

۲-۷-۱- بارش

میزان بارش و وجود آب عامل اصلی اقلیمی تأثیرگذار در توسعه کارست می‌باشد، در شرایط یکسان هر چه مقدار و حجم نزولات در منطقه بیشتر باشد، مقدار نفوذ بیشتر و توسعه کارست نیز بیشتر می شود. مناطق خشک و یا بسیار سرد مانع توسعه کارست می‌گردند زیرا در این شرایط آب و هوایی آب به صورت مایع کم بوده و باعث محدود شدن فرایند انحلال می‌شود.

فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007) نقش نوع تغذیه را در توسعه کارست اینگونه بیان کرده‌اند، که تغذیه نقطه‌ای و متمرکز منجر به ایجاد مجاری بزرگ کارستی و رودخانه‌های زیرسطحی می‌شود اما تغذیه پراکنده تنها سبب افزایش خلل و فرج انحلالی کوچک شده و تأثیر کمتری در توسعه مجاری بزرگ دارد.

۲-۷-۲- دما

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

۲-۷-۳- فشار گاز دی‌اکسیدکربن

افزایش فشار گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا، باعث افزایش خاصیت اسیدی بارش جوی و افزایش انحلال آهک و در نتیجه توسعه بیشتر کارست می‌شود. افزایش بارانهای اسیدی با خاصیت خورندگی بیشتر نرخ انحلال سطحی درزه‌ها را افزایش می‌دهد. میزان گاز کربنیک موجود در خلل و فرج به عوامل پیچیده دیگری چون پوشش گیاهی، موادآلی خاک، وجود باکتریهای هوازی تجزیه کننده موجود در خاک و بسیاری از فعالیت صنعتی بستگی دارد (Milanovich 1981).

۲-۷-۴- لیتولوژی

لیتولوژی سنگهای آهکی بر روی تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن اثر دارد. وجود سازندهای انحلال‌پذیر و انحلال در آنها از شروط اصلی تشکیل و توسعه کارست است که وابسته به ترکیب سنگ می‌باشد. کانیهای اصلی تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های کربناته شامل کلسیت و آراگونیت با ترکیب شیمیایی کربنات کلسیم ($CaCO3$) و نیز دولومیت با ترکیب کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم ($MgCa(CO3)2$) می‌باشند (موسوی حرمی ۱۳۸۵).

آپلو و پوستما (Appelo and postma 2005) انحلال‌پذیری دو کانی کلسیت و آراگونیت در آبهای طبیعی با یکدیگر مقایسه کردند و با توجه به نتایج کارهای آنان انحلال‌پذیری کانی آراگونیت در آب‌های طبیعی بیشتر از کلسیت می‌باشد. دولومیت مربوط به سری محلول جامد میان دو کانی کلسیت ($CaCO3$) و منیزیت ($MgCO3$) است. پژوهشهای انجام شده بر رابطه بین سرعت انحلال کربنات با درصد اکسید کلسیم (CaO) نشان می‌دهد هر چه نسبت اکسیدکلسیم (CaO) به اکسید منیزیم (MgO) بیشتر باشد قابلیت انحلال بیشتر است اما مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که بیشترین سرعت انحلال کربنات هنگامی صورت میگیرد که تا سه درصد اکسید منیزیم (MgO) در ترکیب آن موجود باشد، این مقدار اکسید منیزیم باعث

تغییر وضعیت بلور کلسیت و افزایش سطح تماس و افزایش انحلال می‌شود Raush and White 1970 (cited in Ford and Williams 2007).

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

۲-۷-۵- چینه‌شناسی

چینه‌شناسی مطالعه توالی سنگی بر طبق خواص مختلف سنگ مانند سن نسبی، محتوای فسیلی و یا واحدهای سنگ چینه‌ای می‌باشد. به کمک چینه‌شناسی می‌توان ضخامت و موقعیت سازند کربناته نسبت به لایه‌های زیرین و بالایی خود را تعیین نمود. فاکتورهای چینه‌شناسی که در توسعه کارست نقش دارند عبارتند از:

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

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

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

۲-۷-۶- عوامل تکتونیکی

تکتونیک موجود در منطقه با ایجاد گسل‌خوردگی، درزه و شکستگی، بالاآمدگی و شیب دار کردن لایه‌ها، چین‌خوردگی و افزایش تخلخل ثانویه در توسعه کارست نقش مهمی ایفا می‌کند. در اینجا اشکال ساختاری ناشی از تکتونیک و نقش آنها در توسعه کارست به طور مختصر ارائه می‌شوند:

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

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

ب) گسل: در مطالعات هیدروژئولوژی چشمه‌های کارست، گسل‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی هستند. کستنینگ (Kastning 1997) گسل‌ها را بر اساس تأثیر بر جریان آب زیرزمینی شامل:

- گسل‌هایی با تأثیر مثبت: این گسل‌ها با سیستم شکستگی باز می‌باشند، که در نتیجه نیروهای کششی ایجاد می شوند و در جریان آب زیرزمینی تأثیر گذار می‌باشند.
- گسل‌هایی با تأثیر منفی: در نواحی که توده آهک در صفحه گسلی تحت تأثیر فشار قرار گیرد و آهک تبلور مجدد یا میلونیتی می‌شود و باعث مسدود شدن و انحراف جریان آب زیرزمینی می شود.
- گسل‌های بدون تأثیر: این گسل ها در جریان آب زیرزمینی نقش ندارند.

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

۲-۷-۷- توپوگرافی

توپوگرافی به طور مستقیم و یا به صورت غیرمستقیم با اثر بر عوامل دیگر بر توسعه کارست نقش خود را ایفا می‌کند. مهم‌ترین اثر توپوگرافی این است که سطح اساس فرسایش محلی را مشخص می‌نماید. سطح

اساس توپوگرافی تعیین کننده محل تخلیه و جهت تخلیه می‌باشد. سطح اساس فرسایش در فهم انحلال و فرایند توسعه کارست مهم است و ممکن است که سطح دریا، یک رودخانه دائمی آبگیر و یا یک لایه نفوذ ناپذیر در زیر آبخوان کربناته باشد (Ashjari 2007). در حالت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها به طرف سطح اساس می‌باشد و تمام آبخوان به سمت آن زهکشی می‌شود. اگر چه سنگ‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی و گسل‌ها عامل‌های مهمی در کنترل جهت جریان آب زیزمینی هستند اما اثر سطح اساس فرسایش در نهایت در کنترل جریان نقش اساسی و مهم‌تر ایفا می‌کند (Ford and Williams 1989) .

وایت (White 2002) یکی از پارامترهای فیزیکی در توسعه کارست را اختلاف ارتفاع می‌داند که نقش مؤثری در میزان وقوع بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و وضعیت پوشش‌گیاهی دارد که پوشش گیاهی به نوبه خود از عوامل مؤثر در مقدار نفوذ و رواناب است.

فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007) ذکر کرده‌اند که در مناطق دارای شیب بیش از ۲۰ درجه جریان زیرسطحی و شیب هیدرولیکی در اغلب موارد با شیب توپوگرافی تقریباً موازی است. در نتیجه در جاهایی که شیب توپوگرافی کم است شیب هیدرولیکی هم کم می‌باشد. در جاهایی که شیب بیش از ۳۰ درجه است، رواناب زیادتر و مقدار نفوذ کمتر می‌باشد. شیب زیاد مانع از ایجاد پوشش خاک به صورت ضخیم و رشد پوشش گیاهی شده و در نتیجه میزان نفوذ و تغذیه و توسعه کارست بیشتر است.

۲-۷-۸- پوشش خاک و پوشش گیاهی

در مناطق کارستی که سطح آهک توسط خاک پوشیده شده باشد، نرخ نفوذ آب به درون آهک توسط خاک کنترل می‌شود در غیر این صورت قابلیت انتقال آهک در جهت عمودی نرخ نفوذ را کنترل می‌کند. نفوذپذیری خاک به عوامل زیادی از قبیل بافت، ساختمان، حفرههای ایجاد شده و میزان هوموس بستگی دارد. ضخامت خاکهای پوشاننده سنگهای کربناته از نظر نگهداشت رطوبت اهمیت بسزایی دارد. خاک دانه درشت نسبت به خاک دانه ریز در نفوذ آب مؤثرتر است و آب کمتری را در خود ذخیره می‌کند چنانچه

ذرات خاک دانه‌ریز بوده و ضخامت آن قابل توجه باشد از میزان آب نفوذی کاسته می‌گردد. علاوه بر آن خاک‌های رسی با پر کردن درز و شکافها سبب کاهش نفوذپذیری و انتقال آب به اعماق می‌شوند همچنین خاک در جهت فراهم آوردن محیطی جهت رویش گیاهان نیز دارای اهمیت است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). گیاهان هم تأثیر مثبت و هم تأثیر منفی در توسعه کارست دارند. فشار ریشه گیاهان سبب تخریب و شکستگی سنگها و ایجاد فضای نفوذپذیر در کنار آن می‌شود. وجود برگ گیاهان هوموس خاک را افزایش میدهد و افزایش CO_2 حاصل از تنفس ریشه‌ها باعث افزایش اسیدیته و افزایش انحلال سنگهای کربناته می‌شود. ممانعت از فشرده شدن خاک و ایجاد روان آب‌های سطحی و در نتیجه افزایش نفوذ این جریانات و همچنین ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کم شدن تبخیر از تأثیرات مثبت پوشش گیاهی در توسعه کارست می‌باشد. اما از سوی دیگر پوشش‌های گیاهی متراکم و انبوه به ویژه درختی از رسیدن آبهای جوی به سطح زمین ممانعت می‌کند و این آبها مستقیماً از سطح برگ‌ها و شاخه درختان تبخیر و مجدد به جو برمی‌گردد (شکری ۱۳۹۰).

۲-۷-۹- آبراهه

آبراهه‌ها در سطح زمین به عنوان محل عبور آب از ارتفاعات به پایین دست به شمار می‌روند و می‌توانند در نفوذ آب به درون زمین مؤثر باشند، به خصوص اگر در مناطق کم‌شیب و در محل عبور گسل‌ها یا درزه‌های بزرگ تشکیل شده باشند، چرا که آب هنگام عبور از آنها فرصت نفوذ به درون زمین را پیدا می‌کند. این وضعیت در آبراهه‌های رده بالاتر که حجم بیشتری از آب را در مدت زمان طولانی‌تر دریافت می‌کنند نمایان‌تر و پر اهمیت‌تر می‌باشد. اما واضح است که شبکه‌های زهکشی متراکم، بیانگر تغذیه کمتر در زمین-شناسی منطقه مورد مطالعه است (Shaban *et al*. 2006).

فصل سوم

روش انجام کار

مطالعات انجام‌شده در این پژوهش به منظور مطالعه هیدروژئولوژی کارست چشمه‌های منطقه کلاله به شرح زیر صورت گرفته است.

۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی، مطالعات پیشین در مورد موضوع پژوهش

۲- بازدیدهای صحرایی و زمین‌شناسی به منظور بررسی ژئومورفولوژی کارست، بررسی توالی چینه‌شناسی، تهیه و تکمیل نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۳- نمونه‌برداری از چشمه کارستی منطقه مورد مطالعه و انتقال نمونه به آزمایشگاه و همچنین ثبت برخی خصوصیات فیزیکی در محل نمونه‌برداری

۴- آنالیز عناصر اصلی مانند کاتیونها و آنیون‌ها در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی منطقه مورد مطالعه

۶- ترسیم و محاسبه مساحت حوضه آبگیر احتمالی چشمه کارستی منطقه مورد مطالعه

۷- تعین میزان تغذیه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز منطقه

همان‌طور که در بخش قبل مطرح گردید سعی شد تا با جمع‌آوری داده و بررسی مطالعات انجام‌گرفته در منطقه مورد مطالعه، مطالعات مشابه در سایر نقاط و همچنین تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، شناخت کلی از منطقه و روش صحیح انجام پژوهش حاصل شود تا بتوان با یک دید دقیق در مطالعات میدانی به نتیجه مطلوبی دست یافت.

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه، اطلاعات زیر جمع‌آوری شد:

– جمع‌آوری آمار بارش و دمای مربوط به ایستگاه‌های منطقه کلاله از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان و در ادامه انتخاب ایستگاه‌های گلیداغ، آق‌سو و تنگراه که در نزدیک محدود مورد مطالعه قرار گرفته بودند به منظور ترسیم نمودار بارش و ارتفاع منطقه

– دریافت مدل رقومی ارتفاع (DEM) با تفکیک مکانی سی متر با مراجعه به سایت USGS و ترسیم نقشه هیپسومتری و تخمین ارتفاع متوسط حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی منطقه

۳-۲- بازدیدهای صحرایی و بررسی زمین‌شناسی از حوضه آبگیر چشمه‌های منطقه کلاله

منطقه مورد مطالعه در شرق شهرستان کلاله واقع شده است، که نقشه زمین‌شناسی آن از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کوه کور خود پس از چند دوره بازدید صحرایی از منطقه، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در محیط GIS ترسیم گردید. همچنین بازدیدهای صحرایی به منظور بررسی ژئومورفولوژی کارست، زمین‌شناسی، تعیین توالی چینه‌شناسی و حوضه آبگیر چشمه‌های منطقه انجام گرفته است. همزمان با این بررسی‌ها نقش چین‌خوردگی‌ها و شکستگی‌های اصلی شامل گسل‌ها نیز به دقت بررسی گردید. در بررسی‌های ژئومورفولوژی کارست نیز سعی شد تا با ارزیابی درصد پوشش خاک، توسعه فضاهای انحلالی و سایر عوارض کارستی درصد تغذیه سالیانه در محدوده مورد نظر برآورد گردد و توسعه کارست در محدوده حوضه‌آبگیر چشمه‌های منطقه بررسی شود.

۳-۳- نمونه‌برداری از چشمه‌های منطقه کلاله

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی از چشمه‌های کارستی منطقه کلاله نمونه برداری به عمل آمد است. برخی پارامترها در مظهر چشمه و برخی دیگر پس از انتقال در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند.

۳-۳-۱- نمونه‌برداری هیدروشیمیایی از منابع آب

جهت نمونه‌برداری از منابع آبی مذکور از ظروف پلی‌اتیلنی ۵۰۰ سی‌سی استفاده شد. در طول دوره نمونه‌برداری سعی گردید از روش‌های استاندارد نمونه‌برداری استفاده شود. قبل از نمونه‌برداری نیز ظروف پلی‌اتیلنی چندین بار با آب چشمه شستشو داده شد. در نهایت، نمونه‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن برای آنالیز کیفی به آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل گردیدند و آزمایش‌ها طی زمان کوتاهی پس از نمونه‌برداری انجام شده‌اند. برخی از پارامترها کمی شامل آبدهی، درجه حرارت و برخی پارامترهای شیمیایی شامل هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده‌اند.

۳-۳-۲- اندازه‌گیری دبی

دبی یکی از پارامترهای مهم در مطالعات آبهای سطحی و زیرزمینی (چشمه) است. منظور از دبی، حجمی از آب است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می‌کند. اگر سرعت متوسط جریان (v) و سطح مقطع جریان (A) اندازه‌گیری شود، مقدار دبی (Q) را می‌توان از معادله زیر محاسبه نمود. میزان دبی با استفاده از دستگاه فلومتر و ایستگاه هیدرومتری اندازه گیری شده است.

$$Q = A \cdot v$$ معادله (۳-۱)

۳-۳-۳- اندازه‌گیری درجه حرارت

یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی در مطالعات چشمه‌های کارستی درجه حرارت می‌باشد. اندازه‌گیری دما باید در محل نمونه‌برداری و به صورت سریع انجام شود. برای اندازه‌گیری این پارامتر از دماسنج شیشه‌ای با دقت یکدهم درجه سانتی‌گراد استفاده گردید.

۳-۳-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (EC) آب ارتباط مستقیم با مقدار مواد جامد محلول در آب دارد و مهم‌ترین پارامتر شیمیایی می‌باشد که بهتر است آن را در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری نمود. این پارامتر با املاح حل‌شده (TDS) در آب رابطه مستقیم دارد. جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری، از دستگاه هدایت سنج (EC متر) مدل WP-84 استفاده شده است. دقت دستگاه برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برابر با یک میکرو موس بر سانتی‌متر می‌باشد.

۳-۳-۵- اندازه‌گیری pH

از دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری، pH می‌باشد که مقدار آن به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بیکربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. مقادیر اندازه‌گیری شده برای pH در تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه اندیس اشباع کلسیت و دولومیت و غیره بسیار مؤثر می‌باشد. به همین علت pH آب چشمه در محل به‌وسیله دستگاه pH متر AZ اندازه‌گیری شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با یکصدم واحد می‌باشد. با توجه به تغییرات اندک این پارامتر در طی فصول، این پارامتر تنها برای برخی از نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است.

۳-۳-۶- اندازه‌گیری یون‌ها در آزمایشگاه

نمونه‌های برداشت شده از چشمه‌های منطقه مورد مطالعه پس از آماده سازی جهت آنالیز به آزمایشگاه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند و مقادیر یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات با روش تیتراسیون آن اندازه گیری شده است و یون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شده است، مقادیر سولفات با دستگاه توربیدیتی‌متر اندازه گیری شده است. پارامترهای آماری از قبیل درصد اشباع، درصد خطای آزمایش، سختی کل، ضریب تغییرات و نسبت بین

یون‌های مختلف از نتایج به دست آمده از آنالیز آزمایشگاه تعیین گردیده‌اند. برای محاسبه این مقادیر و رسم نمودارهای مربوطه از برنامه PHREEQC, Excel و Chemistry استفاده شده است.

۳-۳-۷- محاسبه درصد خطای آزمایش

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

$$Error\% = \frac{\sum cation - \sum anion}{\frac{\sum cation + \sum anion}{2}} \times 100$$

در رابطه فوق Σcation و Σanion به ترتیب مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر و $Error\%$ درصد خطای آزمایش می‌باشد.

۳-۳-۸- سختی کل

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

$$TH = 2.5(Ca) + 4 \cdot 2(Mg)$$

۳-۳-۹- کل مواد محلول

جهت محاسبه کل جامدات محلول در آب زیرزمینی از رابطه (۵-۳) استفاده می‌شود.

$$\mathrm{TDS} = \sum Ions + \mathrm{SiO2}$$

در این رابطه (TDS) کل جامدات محلول در آب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و $\sum Ions$ مجموع یون‌ها در نمونه آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

۳-۳-۱۰- محاسبه ضرایب اشباع (کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت)

اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت چهار پارامتر مهم در تفسیر شرایط هیدروشیمیایی آبهای چشمه‌ای کارستی و دیگر منابع آبی می‌باشند. محاسبه این پارامترها توسط نرم‌افزار Phreeqc صورت گرفته است. مقادیر بالای صفر در اندیسهای اشباع نشان دهنده حالت فوق اشباع و مقادیر صفر بیانگر حالت اشباع و مقادیر منفی نشان دهنده حالت تحت اشباع می‌باشد.

۳-۴- تعیین محدوده حوضه آبگیر چشمه‌های منطقه کلاله

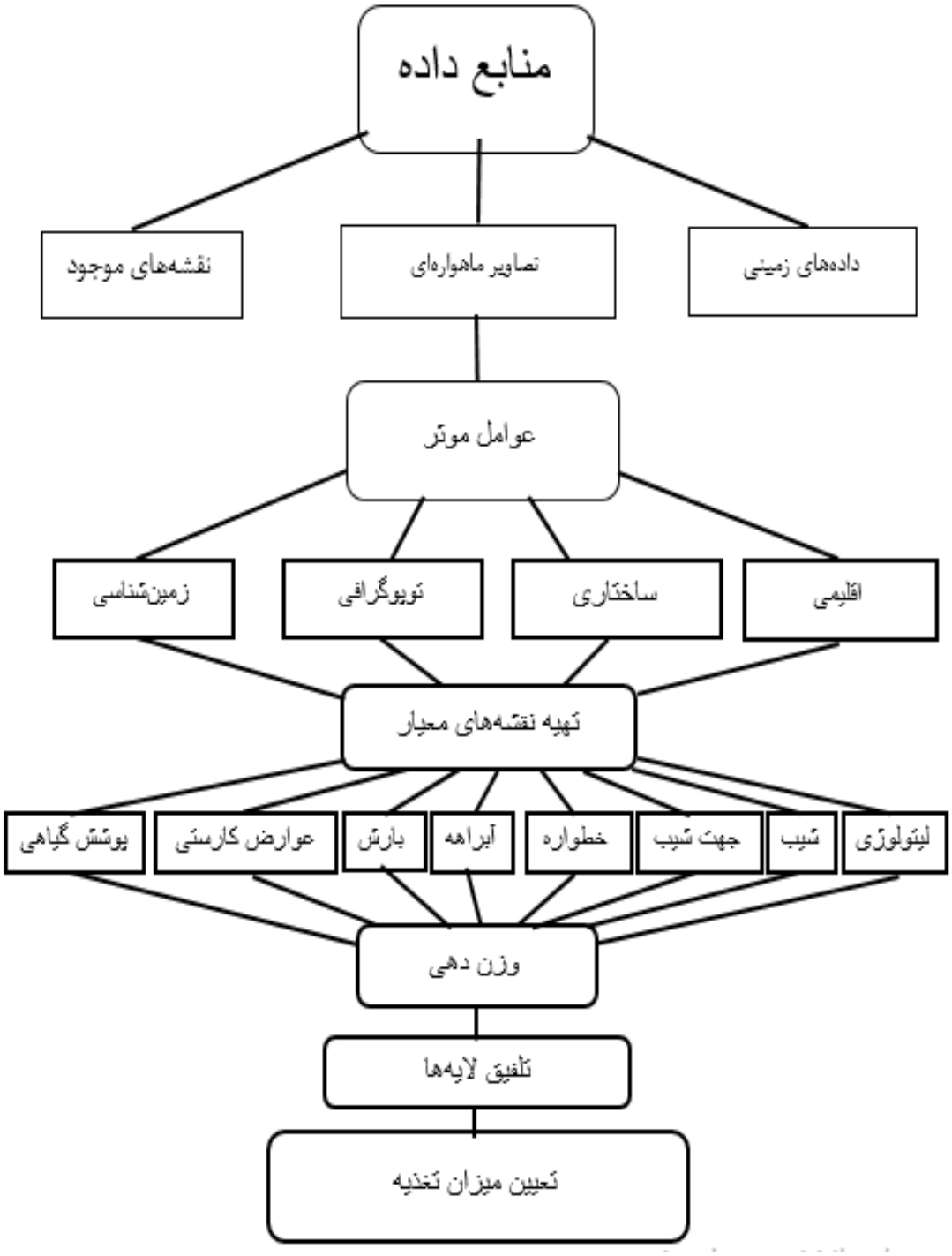
شناسایی حوضه آبگیر به منظور تخمین منابع آب زیرزمینی، جهت و سرعت انتقال آلودگی اهمیت فراوانی دارد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از تلفیق روش‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مد نظر قرار دادن حوضه آبگیر چشمه‌های مجاور، محدوده حوضه آبگیر چشمه کارستی به صورت مقدماتی ترسیم گردید و مساحت آن محاسبه شد. برای حوضه آبگیر مشخص شده، مقادیر بارش سالیانه از روش نمودار ارتفاع بارش ایستگاه‌های مجاور تعیین گردید. همچنین با توجه به بازدیدهای صحرایی به عمل آمده از محدوده درصد تغذیه سالیانه برآورد شد. با داشتن مساحت حوضه آبگیر و مقادیر بارش و درصد تغذیه سالیانه، حجم تغذیه سالیانه در حوضه آبگیر مقدماتی با استفاده از معادله (۶-۳) به دست آمد. علاوه بر این، حجم تخلیه سالیانه از طریق هیدروگراف سالیانه چشمه نیز محاسبه شد. در انتها با مقایسه مقادیر حجم تغذیه و تخلیه سالیانه دقت ترسیم حوضه مقدماتی بررسی و در صورت نیاز تصحیحاتی روی آن اعمال گردید.

$$A = \frac{V}{PR}$$

در این رابطه P میانگین سالیانه بارش در حوضه آبگیر چشمه با واحد متر، Rدرصد نفوذ بارندگی بدونِ واحد، A مساحت حوضه آبگیر با واحد مترمربع و درنهایت V میانگین تخلیه سالیانه چشمه با واحد مترمکعب می‌باشد.

۳-۵- 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 توزیع داده می‌شوند (شکل ۳-۱). برای انجام این مرحله از این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، شیب، جهت شیب، بارش، تراکم خطوره‌ها، تراکم آبراهه‌ها، پوشش گیاهی و عوارض کارستی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه تهیه شده‌اند و با اعمال وزن‌های مناسب میزان تغذیه در منطقه به دست آمد. در زیر نحو تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای این تحقیق شرح داده شده است.



شکل ۳-۱: نمودار جریانی تعیین تغذیه چشمه‌های کارستی

۳-۵-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

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. پس با توجه به نقشه‌های پایه و آمار موجود اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی شد. تولید لایه‌ها 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، مقدار بارش و پوشش گیاهی می‌باشند.

۳-۵-۲- طبقه بندی 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 موثر بر تغذیه تعین شده‌اند را به یک مقیاس واحد تبدیل نمود. مقیاس بندی این لایه‌ها بر اساس نظارت کارشناسی است. 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 گروه‌های داده می‌شود که دارای اهمیت بیشتر در تغذیه هستند.

۳-۵-۳- امتیاز دهی لایه‌های اطلاعاتی

از مهمترین مراحل کار تعیین اهمیت نسبی پارامترهای موثر 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.

۳-۵-۴- همپوشانی و تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه معیار

روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مطالعات مکانیکی وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر پایه داده‌ها و به عبارت دیگر داده محورند و برخی دیگر از روش‌ها بر اساس 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 مبتی بر دانش و تجربه کارشناسی 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. وزن هر معیار نشان دهنده‌ی میزان اهمیت و ارزش آن معیار نسبت به سایر معیارها در عملیات مکانیکی است، با توجه به اینکه میزان تاثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت است، اهمیت این مرحله از کار، قبل از تلفیق نقشه‌های معیار مشخص می‌گردد.

۳-۵-۵- وزن‌دهی کارشناسی

در این روش تصمیم گیرنده وزن معیار را براساس نظر کارشناسی در یک مقیاس مشخص برای مثال صفر تا ۱۰ تخمین می‌زند. در این روش از تصمیم گیرنده خواسته می‌شود این ۱۰ امتیاز را بین معیارهای مختلف تقسیم نماید. امتیاز صفر به معنی صرف‌نظر از آن معیار و امتیاز ۱۰ برای معیاری به کار می‌رود که اگر قرار بود فقط یک معیار برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شد، همان معیار مورد توجه قرار می‌گرفت.

فصل چهارم

مطالعه هیدروژئولوژیکی کارست چشمه‌های منطقه کلاله

جهت مطالعه هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی منطقه کلاله، 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 نمود. در مرحله بعد اقدام به تفسیرهای هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی زاو، آق‌سو و یل‌چشمه است. برای رسم منحنی فرود چشمه‌ها از آمار اندازه‌گیری‌های دبی استفاده شد و با استفاده از هیدروگراف تولید شده و روش‌های مشخصی که در تجزیه و تحلیل آنها وجود دارد، خصوصیات هیدرولوژیکی تفسیر شد.

درمرحله بعد سعی شده است با استفاده از زوش‌ها و اصول اولیه زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و نیز ابزار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های اطلاعاتی موثر در تغذیه آب به آبخوان‌های کارستی منطقه تهیه و اقدام به پردازش، وزن دهی و هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی شده است. درنهایت با استفاده از لایه‌ها اطلاعاتی به دست آمده در محیط GIS میزان تغذیه منطقه محاسبه شد.

۴-۱- خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی

جهت درک بهتر مشخصات هیدرودینامیکی منطقه کارستی کلاله، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه به طور مختصر ارائه گردید. به همین جهت از اطلاعات اندازه‌گیری شده سال‌های آبی (۹۴-۱۳۹۰) شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان استفاده شده است.

۴-۱-۱- چشمه کارستی زاو

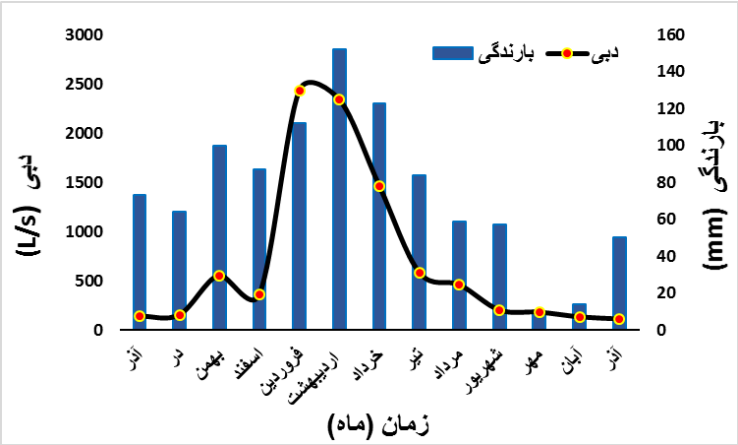
سنگ میزبان مظهر چشمه زاو تقریباً در بین دو سازند آهکی لار و تیرگان می‌باشد. این مظهر چشمه دقیقا منطبق بر گسل سوقا قرار گرفته، که سازوکار این گسل از نوع راندگی با شیب به سمت شمال می‌باشد که به صورت یک سد هیدرولیکی عمل کرده و باعث ظهور چشمه زاو شده است. آبدهی چشمه زاو ۰/۱۵ تا بیش از ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه متغیر است. آبدهی متوسط آن ۰/۷ متر مکعب بر ثانیه بوده که بزرگترین

چشمه در منطقه است شکل (۴-۱) نمایی از این چشمه را نشان می‌دهد. جدول (۴-۱) مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی را به همراه ضرایب تغییرات نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱: نمایی از چشمه کارستی زاو

۴-۱-۱-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه زاو

برای ارزیابی تغییرات زمانی دبی چشمه‌های کاستی، هیدروگراف آنها در ماه‌های مختلف ترسیم شده است (شکل۴-۲). با توجه به هیدروگراف ملاحظه می‌شود که تغییرات زیادی در میزان آبدهی آن وجود دارد، همچنین تغییرات آبدهی آن نسبت به بارندگی با تأخیر کمتری صورت گرفته که می‌تواند دلیلی بر توسعه زیاد کارست و به طور قابل توجهی تحت تاثیر بارندگی‌های منطقه می‌باشد. با توجه به بازدیدهای صحرایی انجام شده، عوارض کارستی همچون فضاهای انحلالی، گودی‌های مسدود و آبفروچاله در منطقه پیدا کرد.



شکل۴-۲: هیدروگراف چشمه زاو در سال آبی ۹۵-۹۴

۴-۱-۱-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه زاو

همانطور که در شکل (۴-۳) نشان می‌دهد منحنی فرود چشمه دارای سه شیب α_1، α_2 و α_3 می‌باشد، برای برآورد ضرایب بده منحنی فرود از معادله زیر استفاده شده است:

معادله ۴-۱

$$\alpha = \frac{log\frac{Q_0}{Q_t}}{0.4343(t)}$$

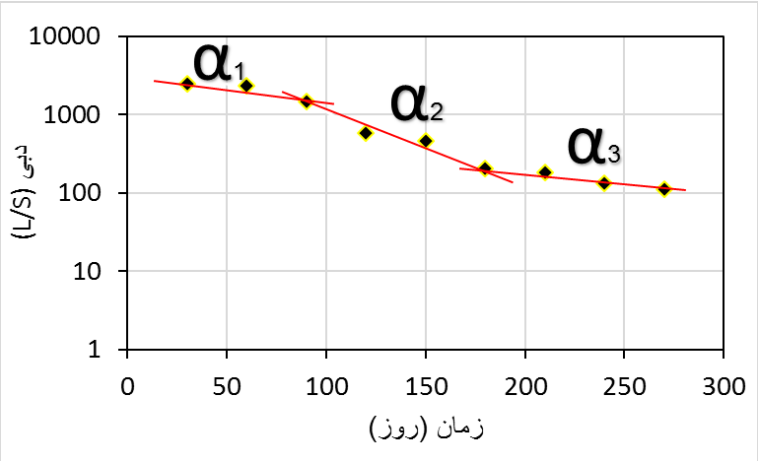
در این معادله Q_t آبدهی چشمه در زمان t، Q_0 آبدهی قبلی چشمه در زمان صفر و t زمان بین Q_t و Q_0 می‌باشد.

با توجه به شکل (۴-۳) و جدول (۴-۱) منحنی فرود چشمه کارستی زاو دارای سه زیر رژیم خطی با مقادیر کم ضریب α هست. رابطه منحنی فرود چشمه زاو به صورت زیر محاسبه شده است:

$$Q=۲۴۳۵e^{-۰,۰۰۱۳t}+۱۴۶۳e^{-۰/۰۱۹۴t}+۲۰۱e^{-۰/۰۰۷t}$$

براساس روش مایلت ووجتکوا (۲۰۱۲) ، درجه توسعه کارست این چشمه ۲/۷ درصد برآورد گردید. در این نوع از آبخوان‌ها درز و شکاف‌های کوچک غلبه دارند. با توجه به ضرایب α این چشمه کارستی که در ابتدا کم (ضریب α_1) و افزایش یافته (ضریب α_2) و دوباره کاهش یافته است (ضریب α_3)، می‌توان چنین استنباط کرد که، کم بودن ضریب α_1 به علت کم بودن توسعه کارست در قسمت بالایی آبخوان و همچنین به علت پوشش گیاهی و یک لایه از مواد ریز دانه (مانند لس) و تغذیه ثابت از یک منبع (مانند برف) برای یک دوره

که نرخ نفوذ به آبخوان را کاهش داده است. بالا بودن ضریب α_2 را به زهکشی از درز و شکاف‌های بزرگ می‌توان نسبت داد. کاهش دوباره‌ی ضریب α_3 زهکشی از خلل و فرج ریز باقی مانده است.



شکل ۴-۳: منحنی فروکش چشمه کارستی زاو

جدول ۴-۱: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی زاو

زمان	دبی	پارامترهای هیدرودینامیکی	
آذر	۱۴۰	ضریب فرود (α_1)	۰/۰۰۱۳
دی	۱۵۳	ضریب فرود (α_2)	۰/۰۱۹۴
بهمن	۵۵۶	ضریب فرود (α_3)	۰/۰۰۷
اسفند	۳۹۵	حجم ذخیره دینامیکی (متر مکعب)	۱/۸*۱۰۱۱
فروردین	۲۴۳۵	درجه کارستی شدن	۲/۷
اردیبهشت	۲۳۴۳	دبی پایه (٪)	۱۶/۵
خرداد	۱۴۶۳	جریان سریع (٪)	۸۳/۵
تیر	۵۸۲	میانگین دبی	۷۰۰
مرداد	۴۵۸	انحراف معیار	۸۳۱
شهریور	۲۰۱	ضریب تغییرات	۱۱۸
مهر	۱۸۰	pH	۸
آبان	۱۳۲	هدایت الکتریکی µmhos/cm	۵۶۶
آذر	۱۱۱	مشخصه رابطه منحنی فرود	Q=۲۴۳۵e-۰,۰۰۱۳t+۱۴۶۳e-۰/۰۱۹۴t+۲۰۱e-۰/۰۰۷t

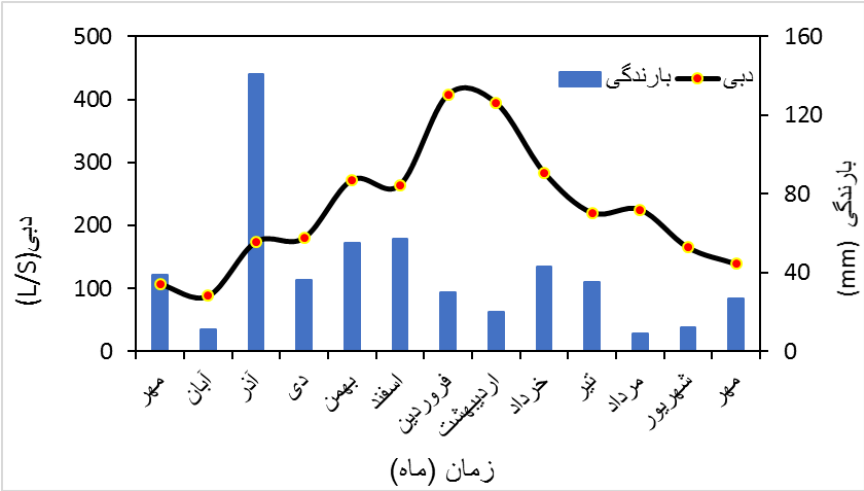
۴-۱-۲- چشمه آق‌سو

این چشمه در سازند آهکی مزدوران ظهور یافته که از نظر ترکیبات سنگ‌شناسی و سنی هم ارز با سازند آهکی لار می‌باشد. تغیرات آبدهی چشمه آق‌سو۵۰۰ -۵۰ لیتر بر ثانیه و مقادیر pH و هدایت الکتریکی آن به ترتیب ۷/۲۲ و ۶۱۰ میکروموهس بر سانتی‌متر می‌باشد. شکل (۴-۴) نمایی از چشمه کارستی آق‌سو را نشان می‌دهد. جدول (۴-۲) مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه و دیگر پارامترهای هیدروژئولوژیکی را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۴: نمایی از چشمه کارستی آق‌سو

۴-۱-۲-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه آق‌سو

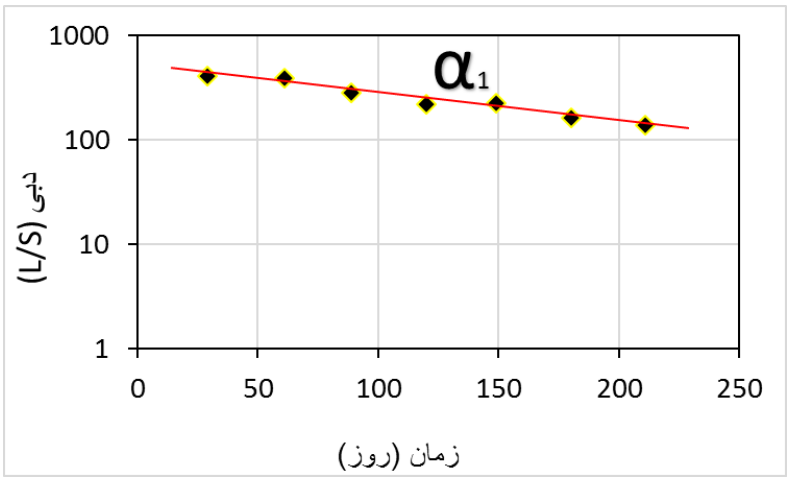
شکل (۴-۵) هیدروگراف چشمه آق‌سو را در سال آبی ۹۵-۹۴ نشان می‌دهد. با توجه به شکل همان‌طور که ملاحظه می‌شود دبی چشمه در آبان ماه رو به افزایش بوده و در فروردین ماه به اوج خود می‌رسد. و مجدداً در اوایل اردیبهشت ماه سریعا کاهش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌شود تغییرات آبدهی نسبت به بارندگی با تاخیر چند ماهه صورت گرفته که می‌تواند دلیل آن پوشش لوسی که منطقه را پوشانده و به طور قابل توجهی میزان ورود آب بارندگی را به داخل آبخوان کارستی کنترل می‌کند.



شکل۴-۵: هیدروگراف چشمه آق‌سو (سال آبی ۹۵-۹۴)

۴-۱-۲-۲- تحلیل منحنی فرود چشمه آق‌سو

به منظور محاسبه ضرایب بده این چشمه، منحنی فروکش آبدهی چشمه ترسیم شده است (شکل ۴-۶). بر اساس شکل (۴-۶) یک رژیم آبدهی در چشمه مشاهده می‌شود. برای برآورد ضرایب بده از معادله (۴-۱) استفاده شده است. منحنی فرود چشمه آق‌سو، دارای یک زیر رژیم خطی با مقادیر زیاد ضریب α می‌باشد که درجه توسعه‌ی کارست آن ۲/۳ درصد است و مناطق تکتونیزه‌ی گسلی با نفوذپذیری زیاد از مشخصه این نوع از آبخوان‌ها می‌باشد. رابطه‌ی منحنی فرود چشمه آق‌سو بصورت ($Q=۴۴۴e^{-۰/۰۰۶۱\ t}$) می‌باشد.



شکل ۴-۶: منحنی فرود چشمه کارستی آق‌سو

جدول۴-۲: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی آق‌سو

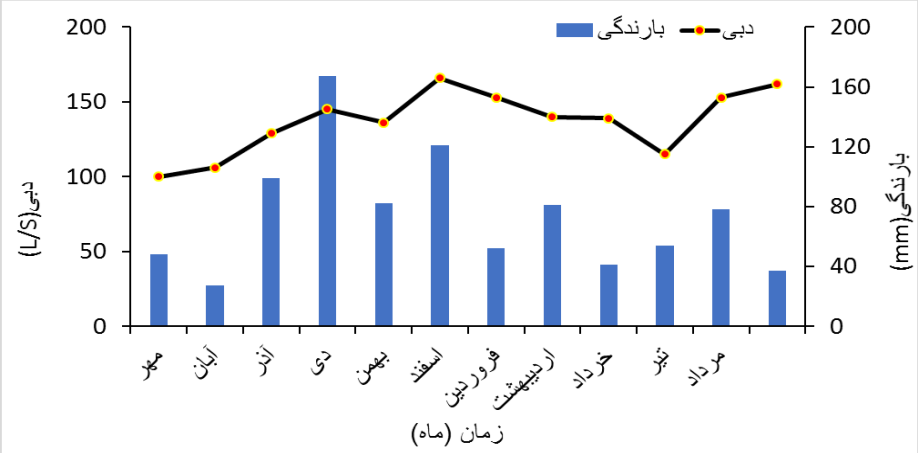
زمان	دبی	پارامترهای هیدرودینامیکی	
مهر	۱۰۸	ضریب فرود (α_1)	۰/۰۰۶۱
آبان	۹۲		
آذر	۱۷۴		
دی	۲۰۴	حجم ذخیره دینامیکی (متر مکعب)	۶/۲۸*۱۰۹
بهمن	۲۷۱	درجه کارستی شدن	۲/۳
اسفند	۲۷۷	دبی پایه (٪)	۴۸
فروردین	۴۴۴	جریان سریع (٪)	۵۲
اردیبهشت	۳۷۱	میانگین دبی	۲۰۴
خرداد	۲۸۲	انحراف معیار	۱۰۱
تیر	۲۳۱	ضریب تغییرات	۴۹/۵
مرداد	۲۰۴	pH	۱۷/۱۷
شهریور	۱۷۸	هدایت الکتریکی(µmhos/cm)	۷۲۵
		مشخصه رابطه منحنی فرود	Q=۴۴۴e-۰/۰۰۶۱t

۴-۱-۳- چشمه کارستی یل‌چشمه

این چشمه در بین دو سازند تیرگان و سرچشمه ظهور یافته است. با توجه به جنس این دو سازند که سازند تیرگان آهکی و سازند سرچشمه مارنی می‌باشد و با توجه به میزان آبدهی آن و همچنین مشخصات هیدرودینامیکی و مشاهدات صحرایی حوضه تغذیه آن مربوط به سازند تیرگان می‌باشد. تغییرات آبدهی آن بین ۵۰ ـ ۱۷۰ لیتر بر ثانیه متغییر است. این چشمه نیز یکی از بزرگترین چشمه‌های منطقه می‌باشد. جدول (۴-۳) پارامترهای هیدرودینامیکی چشمه کارستی یل‌چشمه را نشان می‌دهد.

۴-۱-۳-۱- تغییرات دبی یل‌چشمه

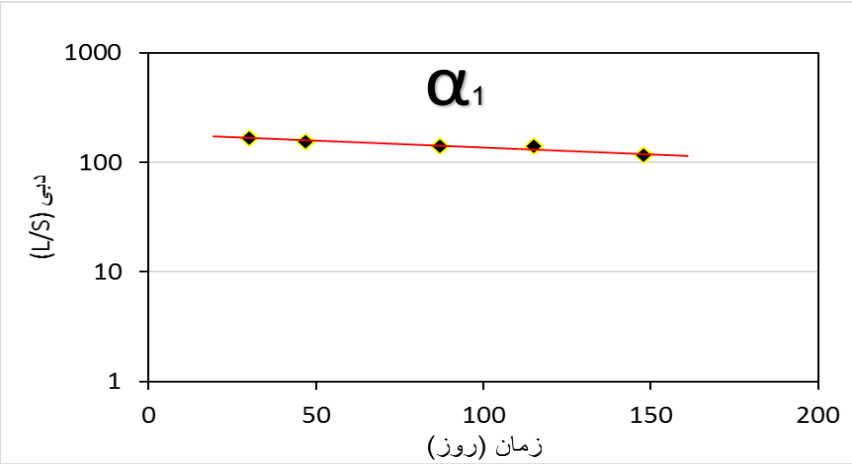
منحنی فرود چشمه‌ها متأثر از وجود شرایط خاص در رژیم تخلیهٔ چشمه‌ها همچون رژیم بارش، لیتولوژی، طرز قرارگیری لایه ها و ضخامت آنها، بافت و تخلخل سنگ‌ها نتیجه می شود. منحنی فرود در نواحی کمتر توسعه یافتهٔ کارستی، به طور معمول روند خطی یکنواخت را نشان می‌دهد، اما رفتار هیدروگراف چشمه ها در نواحی با کارست توسعه یافته، سه ضریب فرود متفاوت را نشان می‌دهند. شکل (۴-۷) هیدروگراف چشمه یل‌چشمه پایین را برای سال آبی ۹۵-۹۴ نشان می‌دهد. تغییرات آبدهی نسبت به بارندگی رابطه خاصی را نشان می‌دهد که این امر نشان دهنده این است که تغذیه این چشمه بیشتر به صورت افشان می‌باشد.



شکل۴-۷: هیدروگراف چشمه یل‌چشمه در سال آبی ۹۵-۹۴

۴-۱-۳-۲- تحلیل منحنی فرود یل‌چشمه

شکل (۴-۸) منحنی فرود یل‌چشمه را نشان می‌دهد. با توجه به منحنی فرود که دارای یک زیر رژیم خطی با مقادیر زیاد α، درجه توسعه کارست آن ۲/۳ درصد است. همچنین در چشمه کارستی یل‌چشمه نسبت جریان سریع به جریان پایه تقریباً با هم برابر است که نشان دهنده‌ی توسعه کم کارست در منطقه را می‌باشد.



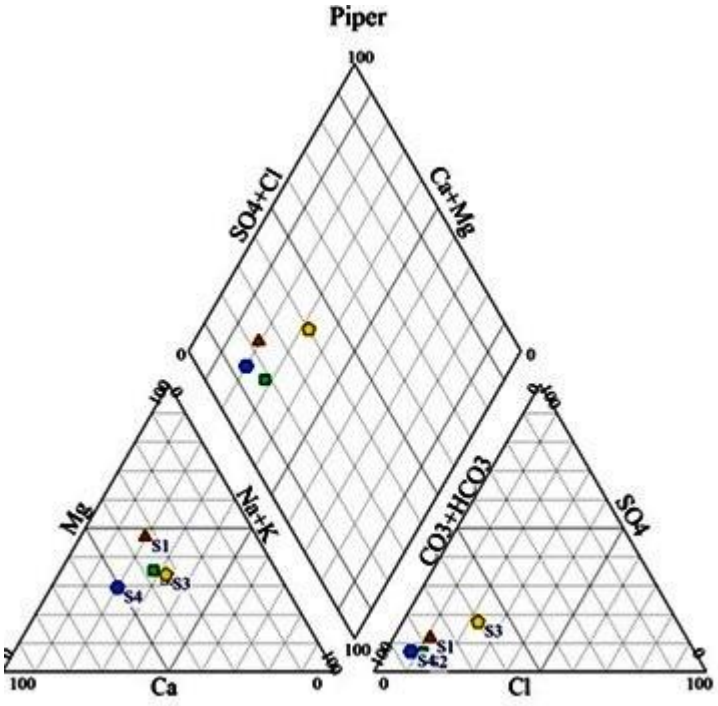
شکل ۴-۸: منحنی فروکش چشمه کارستی یل‌چشمه

جدول ۴-۳: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی محاسبه شده در چشمه کارستی یل‌چشمه

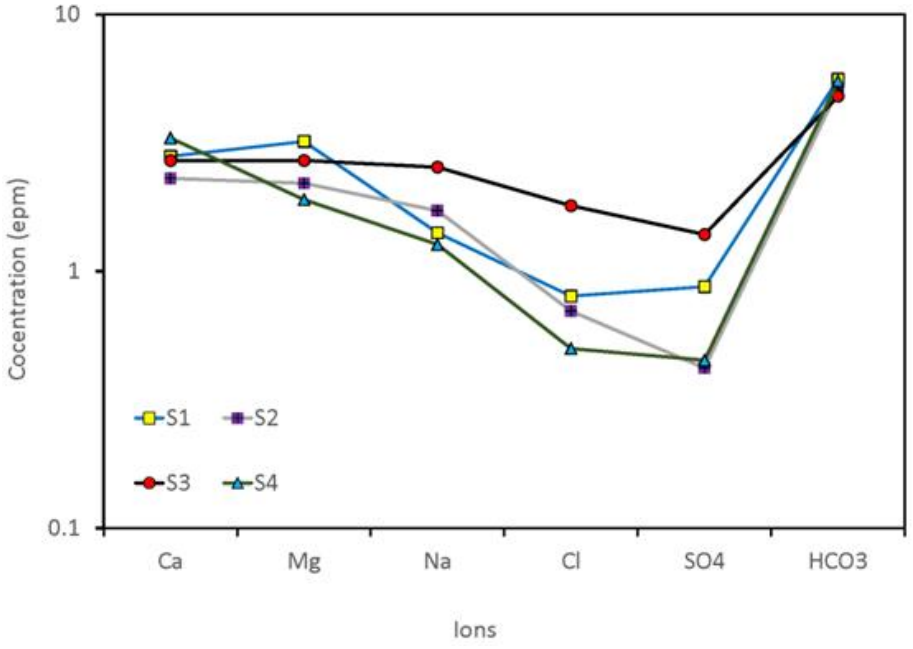
زمان	دبی	پارامترهای هیدرودینامیکی	
مهر	۱۰۰	ضریب فرود (α_1)	۰/۰۰۳
آبان	۱۰۶		
آذر	۱۲۵		
دی	۱۴۵	حجم ذخیره دینامیکی (متر مکعب)	۴/۷۸*۱۰^{۹}
بهمن	۱۳۶	درجه کارستی شدن	۲/۳
اسفند	۱۶۶	دبی پایه (٪)	۵۹
فروردین	۱۵۳	جریان سریع (٪)	۴۱
اردیبهشت	۱۴۰	میانگین دبی	۱۳۷
خرداد	۱۳۹	انحراف معیار	۲۱
تیر	۱۱۵	ضریب تغییرات	۱۵
مرداد	۱۵۳	pH	۷/۹
شهریور	۱۶۲	هدایت الکتریکی µmhos/cm	۷۳۳
		مشخصه رابطه منحنی فرود	$Q=۱۶۶e^{-۰/۰۰۳t}$

۴-۲- بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب چشمه‌ها

مقادیر هدایت الکتریکی و pH در چشمه ها به ترتیب برابر با µmhos/cm ۶۱۰ و ۷/۲۲ در یل چشمه بالا، µmhos/cm ۷۷۳ و ۷/۹ در یل چشمه پایین، ۷۲۵ و ۷/۱۷ در چشمه آق‌سو µmhos/cm ۵۶۶ و ۸ در چشمه زاو می باشند. یکی از کاربردی‌ترین نمودارهایی که جهت بررسی تیپ آب مورد استفاده قرار می‌گیرد دیاگرام مثلثی پایپر است. شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها از طریق نمودار پایپر به خوبی مشخص می‌شود زیرا نمونه‌هایی که دارای خصوصیات مشابه هستند به صورت گروهی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. همچنین از نمودار پایپر جهت تعیین تیپ آب، انحلال یا رسوبگذاری، اختلاط و تبادل یونی استفاده می‌شود. با توجه به محل قرار گیری نمونه‌های آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه در دیاگرام پایپر، تقریباً همه نمونه ها غنی از کلسیم، منیزیم و بیکربنات می‌باشد و دارای سختی موقت هستند. نمونه در مثلث آنیونها دارای مقادیر مشابهی بوده اما نسبت به غلظت کاتیونها پراکندگی نشان می دهند که نشانگر تفاوت در جنس سازند و یا رخداد پدیده تبادل یونی در طول مسیر جریان باشد (شکل۴-۹). بطور کلی در این دیاگرام، تقریباً نمونه‌های سازندهای کارستی در نزدیکی یکدیگر پلات شده‌اند و نمونه چشمه یل چشمه پایینی (S3) به دلیل تخلیه از سازند شیلی سرچشمه دارای کمی انحراف (افزایش کمی یون کلر و سولفات) نسبت به بقیه چشمه‌ها می‌باشد. نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشاء نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه بین نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Todd and Mays 2005). با توجه به شکل (۴-۱۰) تمام نمونه‌ها دارای روند یکسانی می‌باشند که نشان دهنده‌ی منشاء یکسان آب آنها می‌باشد. همه نمونه‌ها نسبت به بیکربنات غالب می‌باشند و تیپ غالب آب بصورت $Ca\text{-}HCO_3$ می‌باشد که ناشی از تغذیه از طریق مناطق آهکی است. مقدار یون منیزیم نیز در برخی چشمه‌ها زیاد می‌باشد که با توجه وجود سازند آهکی-دولومیتی همچون لار و تیرگان قابل انتظار است. سازندهای کربناته در این منطقه در برخی نقاط دولومیتی است. با گذشت زمان و تماس آب با سازندهای مختلف، امکان تغییر ترکیب شیمیایی اولیه آب وجود دارد.



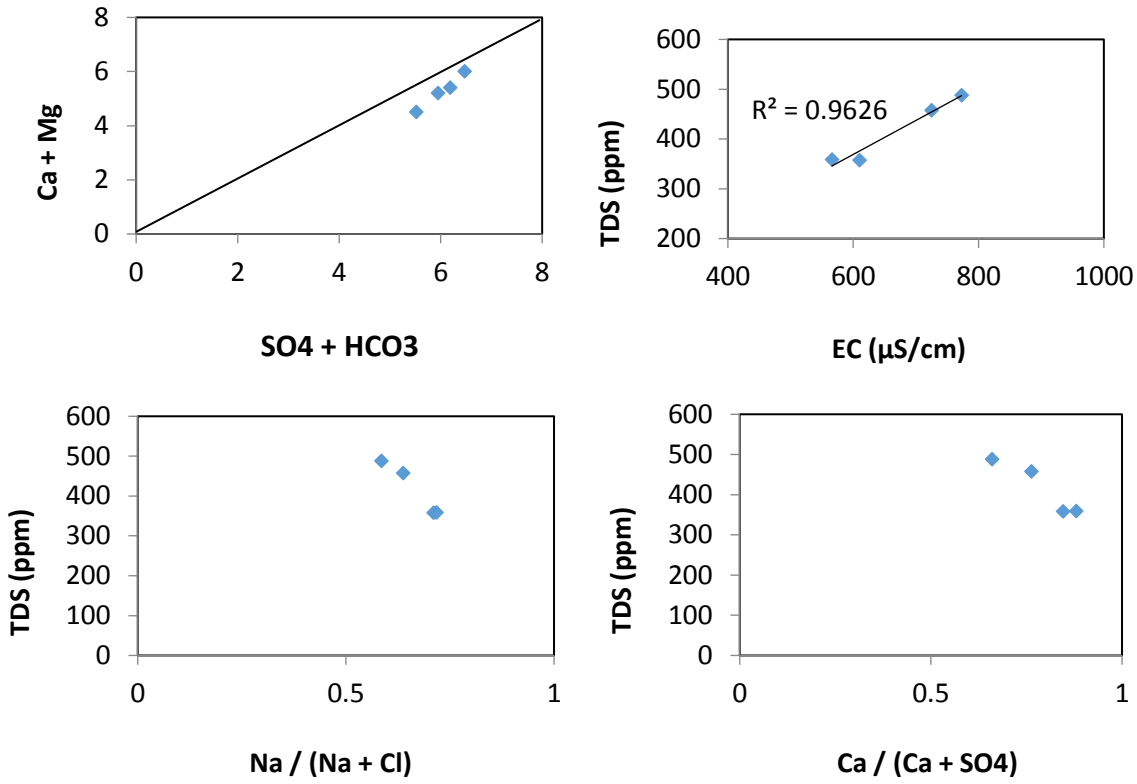
شکل ۴-۹: نمودار پایپر چشمه‌های آق‌سو (S1)، یل‌چشمه سفلا (S2)، یل‌چشمه علیا (S3) و زاو (S4).



شکل۴-۱۰: نمودار شولر برای چشمه‌های کارستی آق‌سو (S1)، یل‌چشمه علیا (S2)، یل‌چشمه سفلا (S3) و زاو (S4)

یکی از فرایندهای غالب در طبیعت که به گذشت زمان باعث تغییر ترکیب شیمیایی آب می شوند، پدیده تبادل یونی است که می‌تواند بصورت مستقیم و یا غیر مستقیم صورت بگیرد. در فرایند تبادل یونی، یون سدیم با یونهای کلسیم و منیزیم تبادل می‌یابد؛ بطوریکه یون سدیم از مارنها و دیگر سازندهای سدیم‌دار وارد آب شده و برعکس کلسیم و منیزیم رسوب کرده و وارد فاز جامد شده و غلظت آنها در آب کم می‌گردد. این فرایند بطور برعکس و یا غیرمستقیم نیز می تواند صورت گیرد و سدیم رسوب و کلسیم به محیط محلول آزاد گردد (Hem 1970). جهت بررسی فرایند تبادل یونی می‌توان از رابطه بین Ca+Mg در مقابل SO_4+HCO_3 استفاده کرد (شکل ۴-۱۱). منشأ اصلی یونهای کلسیم و منیزیم، انحلال کربناتها و ژیپس می باشد. بنابراین با رسم این دو نسبت به یکدیگر می تواند بیان کرد که انحراف از خط ۱:۱ در این گراف می‌تواند دلیل بر افزایش و یا کاهش غلظت این کاتیونها در طی فرایند تبادل یونی باشد. زیرا اگر فقط عامل انحلال کربناتها و ژیپس منشا اصلی بودند بایستی تمامی نمونه‌ها بر روی خط قرار می‌گرفتند. در مورد نمونه‌های منطقه مورد مطالعه می‌توان بیان کرد که پدیده تبادل یونی مستقیم در منطقه رخ داده است. در طی این پدیده غلظت یون سدیم در آب افزایش و بالتبع غلظت کلسیم و یا منیزیم کاهش یافته است. البته این فرایند عامل اصلی در منطقه نبوده و به مقدار کمی رخ داده است. نسبت(Na/Na+Cl) بیشتر از ۰/۵ بوده که نشانگر افزایش غلظت سدیم در طی فرایند تبادل کاتیونی می‌باشد (شکل ۴-۱۱). در طی انحلال ژیپس یک مول Ca و یک مول SO_4 به محیط اضافه می‌شود. بنابراین نسبت ($Ca/Ca+SO_4$) بایستی مقدار ۰/۵ داشته باشد که در منطقه مورد مطالعه این نسبت بیشتر بوده است (شکل ۴-۱۱). دلیل بیشتر بودن این نسبت نیز می‌تواند به منشا دیگر کلسیم همچون انحلال کربناتها و یا انحلال همزمان کربناتها و ژیپس ارتباط داشته باشد. اما با توجه به پایین بودن مقدار TDS در نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که انحلال ژیپس صورت نگرفته و منشاء یون کلسیم، انحلال کربنات‌ها می‌باشد. نمایه‌اشباع (Saturation Index) هر یک از نمونه‌ها نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت محاسبه شده و نتایج در جدول (۴-۴) ارائه شده است. با توجه نتایج تمام نمونه‌ها نسبت به کانی‌های کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع می‌باشند

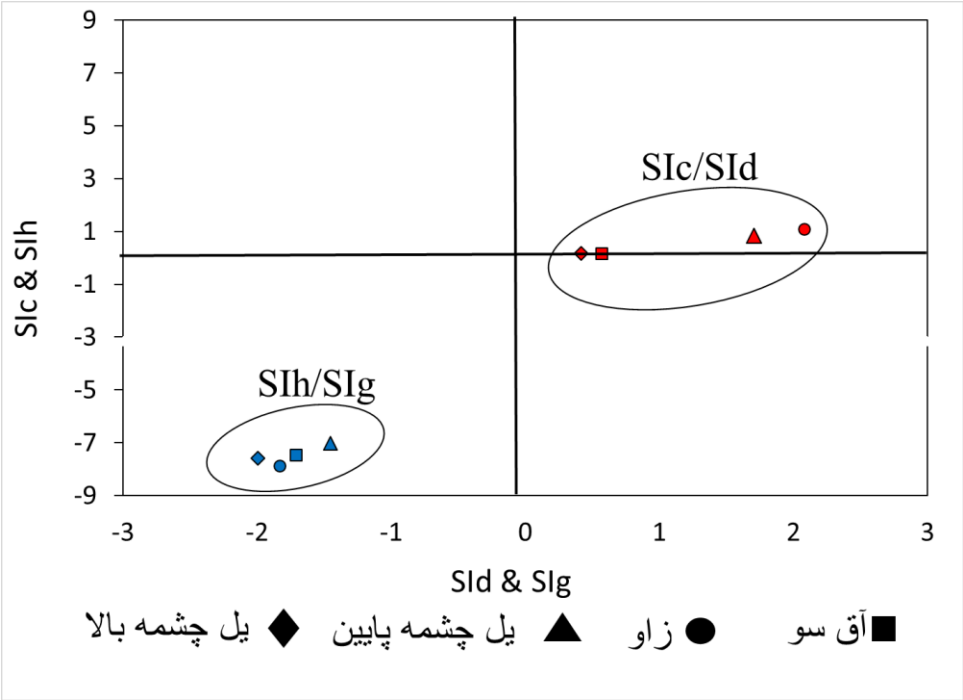
و نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع هستند (شکل ۴-۱۲). این نتایج با توجه به اینکه سازند های عمده در منطقه مورد مطالعه منطقه آهکی-دولومیتی است، قابل توجیه می باشد.



شکل۴-۱۱: نمودار ترکیبی نسبت‌های یونی

جدول ۴-۴: نمایه اشباع کلسیت (**SI_c**)، دولومیت (**SI_d**)، ژیپس (**SI_g**) و هالیت (**SI_h**) در نمونه آب چشمه‌های منطقه

نام محل نمونه برداری	SI_h	SI_g	SI_d	SI_c
آق سو	-۷/۴۶	-۱/۷۱	۰/۵۷	۰/۱۵
یل چشمه بالایی	-۷/۶۰	-۱/۹۹	۰/۴۲	۰/۱۵
یل چشمه پایینی	-۷/۰۳	-۱/۴۵	۱/۷۱	۰/۸۲
زاو	-۷/۸۸	-۱/۸۳	۲/۰۸	۱/۰۹



شکل ۴-۱۲: نسبت شاخص اشباع کلسیت به دولومیت و هالیت به ژیپس

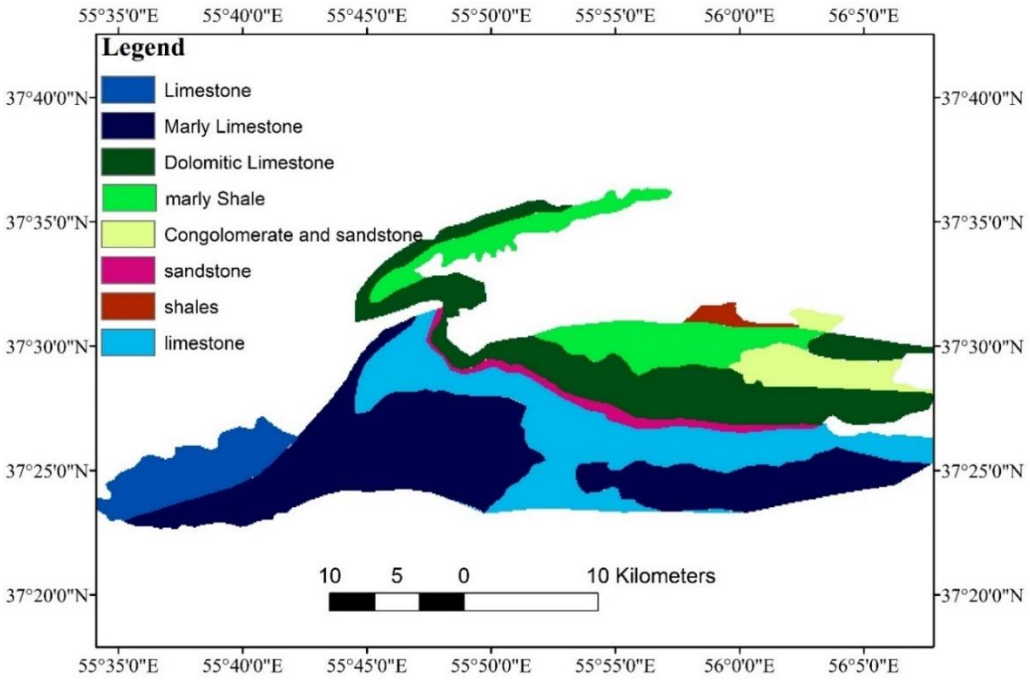
۴-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای تعیین درصد تغذیه

مهمترین عواملی که در منطقه مورد مطالعه بر روی درصد تغذیه سالانه تاثیر گذار هستند شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، بارش، تراکم خطواره‌ها تراکم آبراهه‌ها، عوارض کارستی و پوشش گیاهی می‌باشند. به منظور تعیین درصد تغذیه سالانه در منطقه مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی عوامل فوق ذکر در محیط GIS تهیه شده است. سپس با اعمال وزن‌های مناسب برای هر کدام از این لایه‌های اطلاعاتی و طبقه بندی 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 انواع لیتولوژی‌های با تراوایی متفاوت و تاثیر آنها بر میزان تغذیه می‌توان آنها را تقسیم‌بندی و در نتیجه امتیازدهی نمود.

مهمترین لیتولوژی‌های منطقه که با توجه به بازدید صحرایی و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه کورخود تشخیص داده شد شامل آهک، آهک دولومیتی، آهک مارنی، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا می‌باشد. سپس با توجه به میزان نفوذ هر کدام از لیتولوژی‌های فوق در منطقه مورد مطالعه، می‌توان آنها را به لحاظ تاثیرگذاری بر درصد تغذیه، تقسیم بندی نمود. جدول (۴-۵) و شکل (۴-۱۳) تقسیم بندی 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.

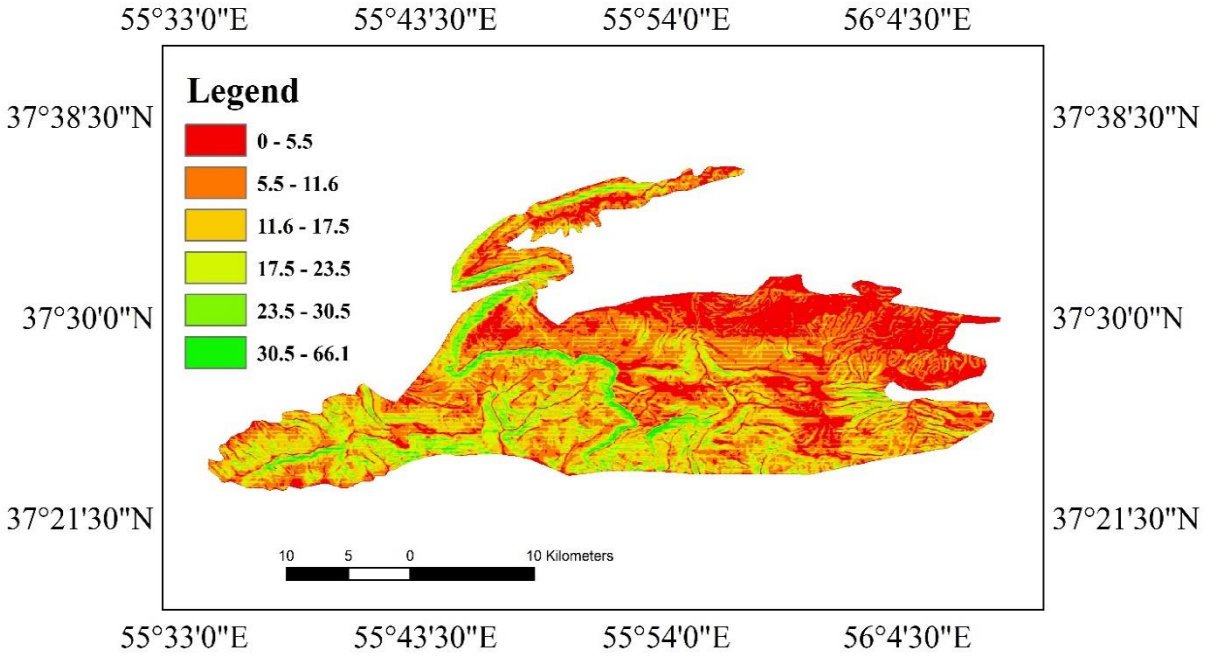


شکل ۴-۱۳: لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

ب- لایه مقدار شیب

شیب توپوگرافی یکی از عوامل ژئومورفولوژیک موثر 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 تاثیر آن در میزان رواناب تولید شده، میزان تغذیه و نهایتاً توسعه کارست حوضه

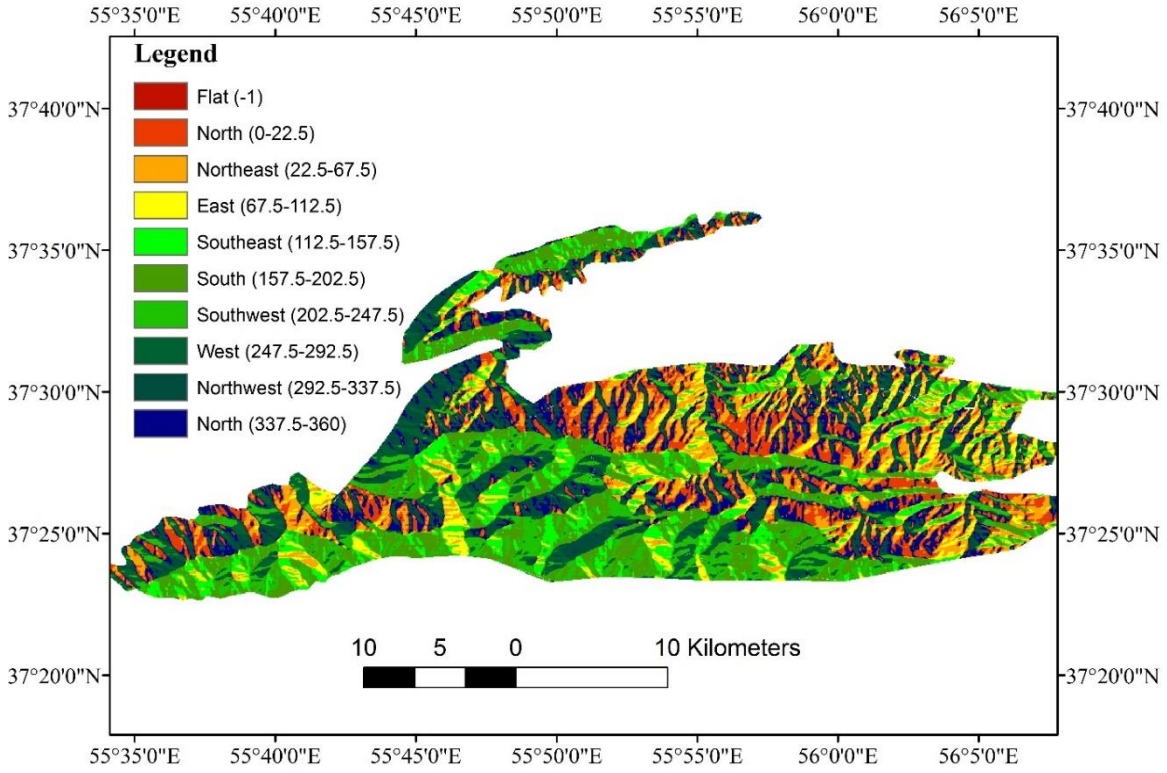
موثر است. به این ترتیب که در شیب‌های کم، فرصت تغذیه بیشتر است و در مناطق پر شیب میزان تغذیه کم می‌شود. بنابراین، شیب‌های مختلف را می‌توان بر اساس درجه تاثیرگذاری بر مقدار تغذیه، تقسیم‌بندی و امتیازدهی نمود به این ترتیب که به شیب‌های کم، ارزش بیشتر و به شیب‌های زیاد، ارزش کمتری داده است (جدول۵-۴). شکل (۴-۱۴) لایه مقدار شیب منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴: لایه شیب منطقه مورد مطالعه (واحد شیب به درجه است)

ج- لایه جهت شیب توپوگرافی

زاویه تابش خورشید در دامنه شمال و شمال‌شرق نسبت به دامنه جنوب و جنوب‌غرب متفاوت است و زمان ماندگاری برف بر روی دامنه‌ی 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 (شکل۴-۱۵). سپس در تابع Reclassify در GIS طبقه بندی شد. به دامنه‌های رو به شمال ارزش بیشتر و به دامنه‌های رو به جنوب ارزش کمتری تعلق گرفت (جدول۴-۵).

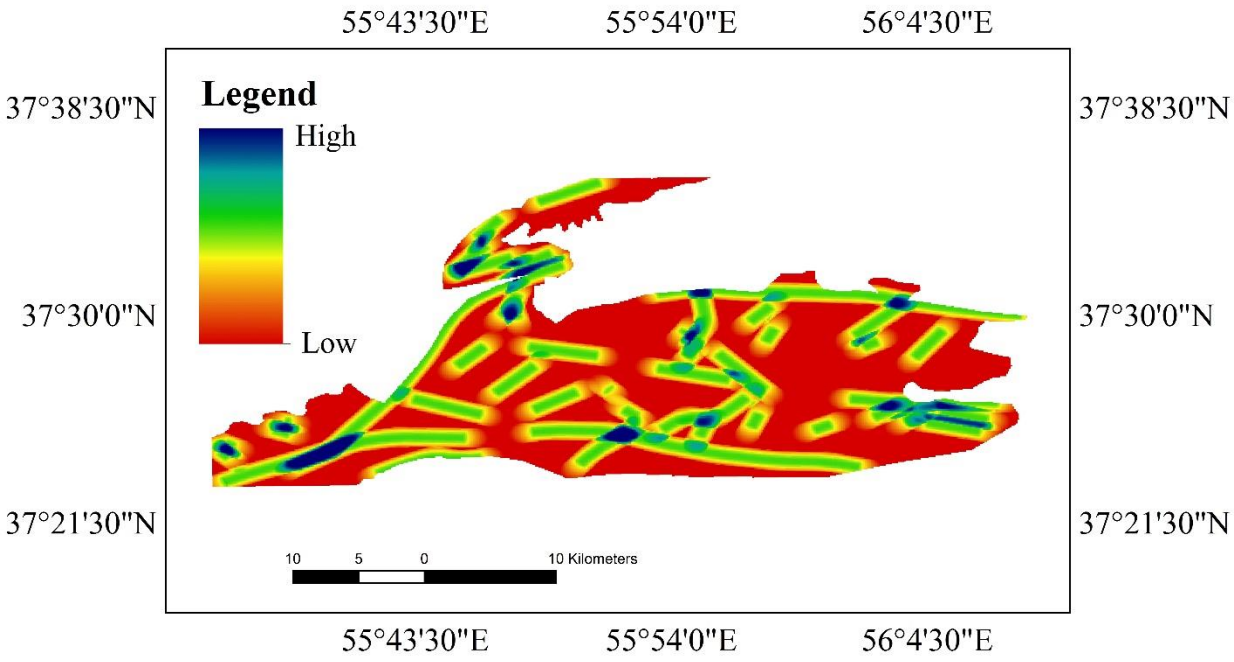


شکل ۴-۱۵: لایه جهت شیب منطقه

د- لایه تراکم خطواره‌ها

آنالیز خطواره‌ها و گسل‌ها نشان‌دهنده حرکت و ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد و امکان تغذیه به لایه‌های زیرین را فراهم می‌کند. 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 اطمینان از خطواره‌ها فراهم کرد. جهت شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای در نرم افزار

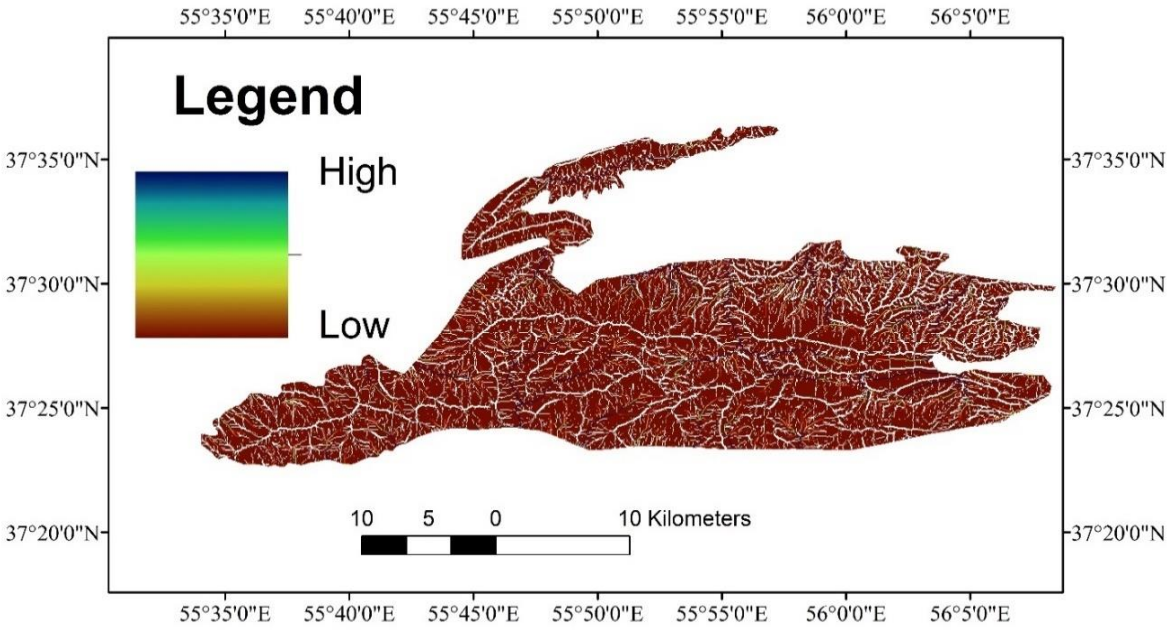
Google earth استفاده شده است. نقشه تراکم با استفاده از نرم‌افزار ENVI تهیه شد (شکل۴-۱۶). هرچه تراکم خطواره ها بیشتر باشد ارزش بیشتری داده شده است (جدول ۴-۵). نقش گسل در کنترل و انتقال آب زیرزمینی، بسته به شرایط گسل و وضعیت منطقه می‌تواند خنثی، مثبت و یا منفی باشد. گسل با ایجاد درز و شکاف و فرآیند برشی شدن و افزایش خوردشدگی و تخلخل ثانویه و یا معبر ورود آب به زون کارستی، می‌تواند دارای نقش مثبت باشند. در حالی که می‌تواند در موارد زیر دارای نقش منفی باشند، بدین صورت که جابجایی یک لایه ناتراوای عمیق در برابر لایه تراوا به عنوان سد عمل می‌کند 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 بدلیل فرار آب، از طریق گسل از تغذیه مناسبی برخوردار نباشد. از طرفی گسل‌هایی که ساز و کار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند.



شکل ۴-۱۶: لایه خطواره‌های منطقه

ه- لایه تراکم آبراهه‌ها

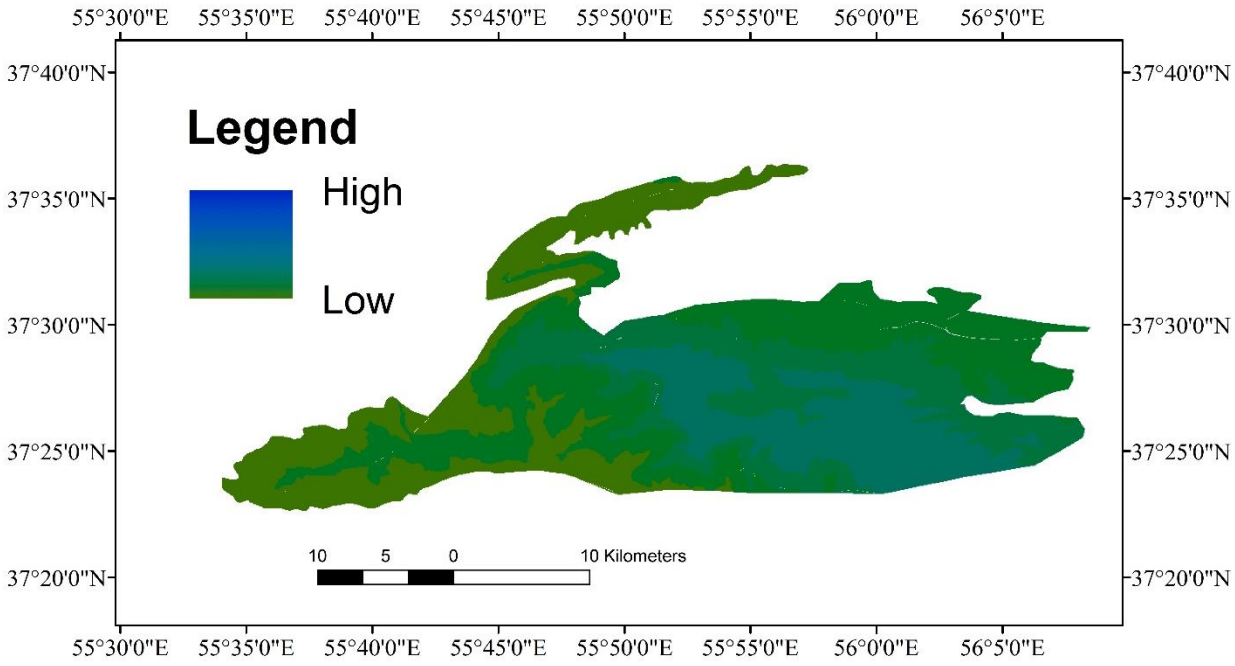
از دیگر فاکتورهای موثر در مقدار تغذیه، پدیده‌های سطحی همچون آبراهه‌ها می‌باشد. آبراهه‌ها در پرشیب-ترین مناطق تشکیل می‌شوند و با ایجاد رواناب تا حدودی در تغذیه آب نقش دارند و به عنوان مسیری برای عبور آب از ارتفاعات به سمت نقاطی با ارتفاعات به سمت نقاطی با ارتفاع کم محسوب می‌شوند. این لایه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه که در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد (شکل۴-۱۷). جهت تصیح 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 آبراهه-های رده بالاتر که حجم بیشتر از آب را در زمان طولانی‌تری در اختیار دارند بیشتر است.



شکل ۴-۱۷: لایه آبراهه‌های منطقه

و- لایه بارش

بارش یکی دیگر از مهمترین عواملی است که در تغذیه آب‌های کارستی یک سازند مستعد برای ذخیره آب، تاثیرگذار است. مقدار و نوع بارش 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 موثر است، به این ترتیب که بارش‌های سیل آسا و ناگهانی حجم زیادی رواناب تولید می‌کنند و در مقایسه 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 لایه‌ی بارش گردید (شکل۴-۱۸).



شکل۴-۱۸: لایه بارش در منطقه

ز- لایه عوارض کارستی منطقه

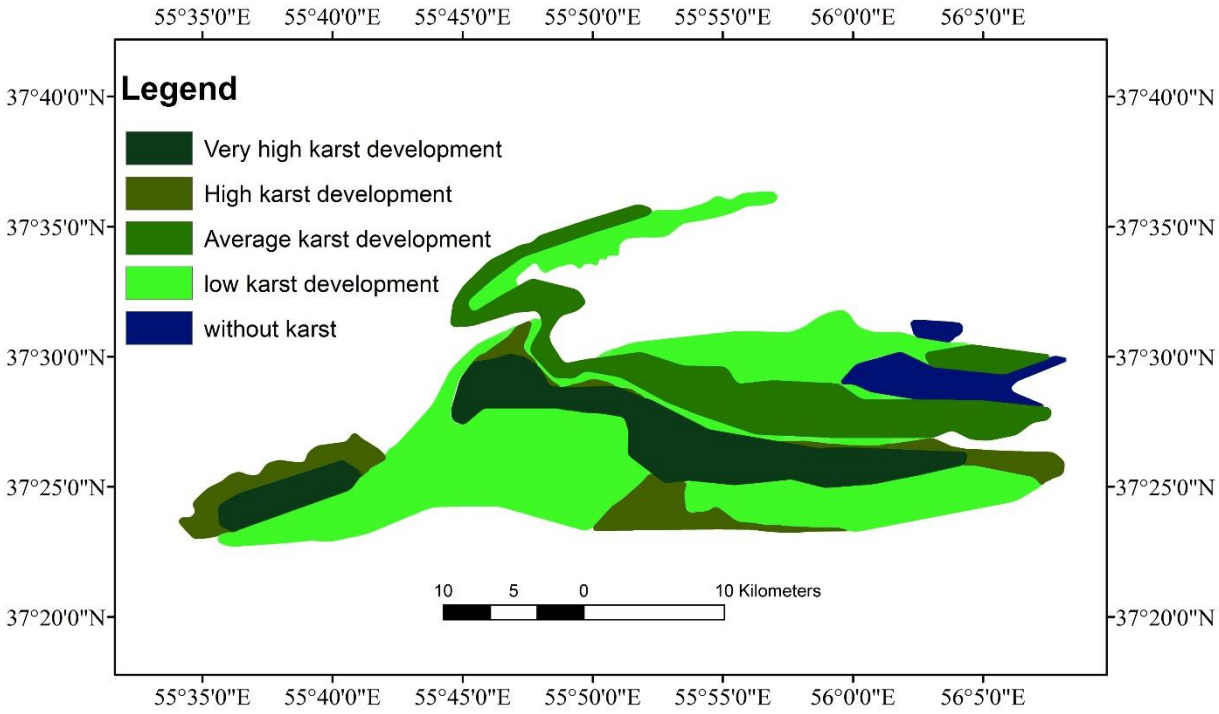
تنوع اشکال کارست سطحی در سازندهای کربناته حاکی از انحلال‌پذیری خوب این سازندها می‌باشد. بنابراین گسترش این پدیده‌ها در منطقه می‌توانند نشان‌دهنده‌ی پدیده کارستی در عمق باشد. در بازدید از منطقه اشکال مختلف و فراوان کارست سطحی مشاهده شد (شکل‌های ۴-۱۹، ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲). بنابراین به طور صریح می‌توان اظهار داشت که سنگ‌های در برگیرنده این پدیده‌ها از قابلیت انحلال بالایی برخوردارند و از آنجایی که ریزش‌های جوی منطقه قابل توجه، می‌باشد می‌توان انتظار محیطی مناسب جهت نفوذ و ذخیره آب‌های زیرزمینی را داشت. انواع پدیده‌ها کارست سطحی قابل مشاهده در منطقه عبارتند از: انواع آبفروچاله‌ها، کارن، دره‌های خشک که به طور قابل ملاحظه‌ای در نفوذپذیری موثرند و به تعداد زیاد در منطقه قابل مشاهده است. مناطق با عوارض کارستی عمده شناسایی شده است و به صورت یک لایه اطلاعاتی به ArcGIS منتقل شد (شکل ۴-۲۳).

شکل۴-۱۹: نمایی از اپی‌کارست در منطقه

شکل۴-۲۰: نمایی از کارن‌های شیاری در منطقه

شکل۴-۲۱: نمایی از آبفروچاله در منطقه

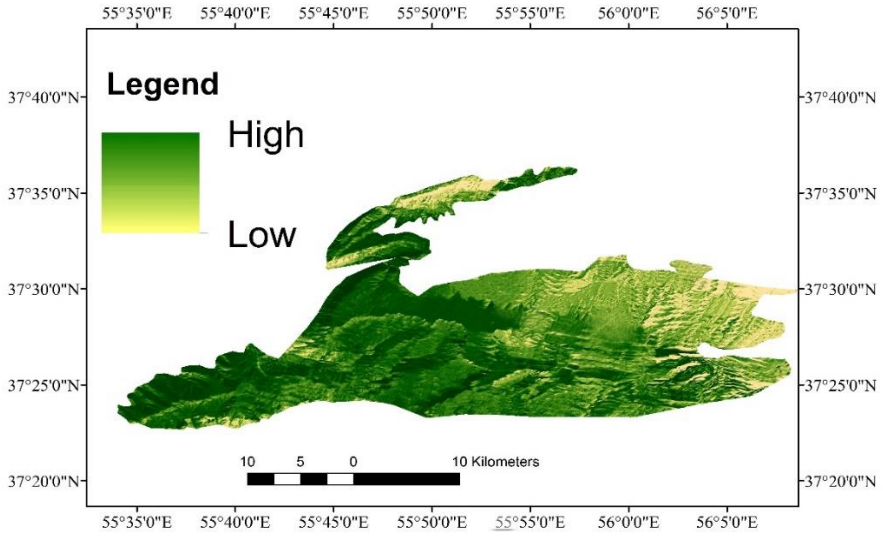
شکل ۴-۲۲: یکی از دره‌های خشک موجود در ارتفاعات حوضه آبگیر چشمه زاو



شکل ۴-۲۳: لایه عوارض کارستی در منطقه

ر- لایه پوشش گیاهی منطقه

گیاهان هم تاثیر مثبت و هم تاثیر منفی در توسعه کارست دارند. فشار ریشه‌ی گیاهان سبب تخریب و شکستگی سنگ‌ها و ایجاد فضای نفوذپذیر در کنار آن می‌شود. وجود برگ گیاهان هوموس خاک را افزایش می‌دهد و افزایش CO_2 حاصل از تغذیه ریشه‌ها باعث افزایش اسیدیته و افزایش انحلال سنگ کربناته می-شود. ممانعت از فشرده شدن خاک و ایجاد رواناب‌های سطحی و در نتیجه افزایش نفوذ این جریانات و همچنین ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کم شدن تبخیر از تاثیر مثبت پوشش گیاهی در توسعه کارست می‌باشد. اما از سوی دیگر در صورت کم بودن میزان بارندگی در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم و انبوه به ویژه درختی از رسیدن آب‌های جوی به سطح زمین ممانعت می‌کند و این آبها مستقیماً از سطح برگ‌ها و شاخه درختان تبخیر و مجدداً به جو برمی‌گردد (شکری ۱۳۹۰). با توجه به منطقه مورد مطالعه که دارای شیب زیاد و میزان بارندگی بالایی دارد یک عامل مثبت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، تراکم پوشش گیاهی مختلف را می‌توان بر اساس درجه تأثیر گذاری بر تغذیه، تقسیم‌بندی و امتیازدهی نمود به این ترتیب، به تراکم بالای پوشش گیاهی، ارزش بیشتری و تراکم کم پوشش گیاهی ارزش کمتری داده شده است (جدول۴-۵) (شکل۴-۲۴).



شکل ۴-۲۴: لایه پوشش گیاهی در منطقه

۴-۴- هم مقیاس سازی 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 و پوشش گیاهی با استفاده از روش کارشناسی هم مقیاس شدند و در محدوده صفر تا ۹ طبقه‌بندی شده‌اند. ارزش داده شده به هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی در (جدول۴-۵) ارائه شده است. به منظور تلفیق و تحلیل داده‌ها از روش‌های همپوشانی وزن‌دار شده (Weighted overlay) استفاده گردید. برای استفاده از روش همپوشانی، با توجه به نظر کارشناسی وزن هر لایه مشخص گردید. (جدول۴-۵) وزن لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده کارشناسی را نشان می‌دهد. در این روش به هر یک از رده‌های لایه‌های اطلاعاتی یک ارزش (Score) داده شده است. این وزن‌ها طوری انتخاب شده‌اند که از یک طرف با واقعیات فیزیکی مطابقت داشته و از Weighted overlay محاسبه به این صورت است که وزن هر لایه اطلاعاتی را در ارزش تک‌تک پیکسل‌های این لایه ضرب می‌کند و سپس باهم جمع و در نهایت نقشه رستری به دست می‌آید (شکل۴-۲۴).

جدول ۴-۵: ارزش دهی و وزن دهی به لایه‌های مختلف

لایه اطلاعاتی	تقسیم‌بندی لایه‌هاطلاعاتی	ارزش	وزن	لایه اطلاعاتی	تقسیم‌بندی لایه‌هاطلاعاتی	ارزش	وزن
جهت شیب	شمال	۹	۸	میزان بارش	۴۰۰-۵۰۰	۳	۱۳
	شمال شرق	۹			۵۰۰-۶۰۰	۴	
	جنوب	۵			۶۰۰-۷۰۰	۵	
	جنوب غرب	۱			۷۰۰-۸۰۰	۶	
	جنوب شرق	۲			۸۰۰-۹۰۰	۷	
	شرق	۳			۹۰۰-۱۰۰۰	۸	
	غرب	۴			۱۰۰۰-۱۱۰۰	۹	
	صاف	۴					
		۶					
لیتولوژی	آهک	۹	۹	میزان شیب	۰ – ۵/۵۱	۹	۱۴
	آهک دولومیتی	۷			۵/۵۱ – ۱۱/۶۹	۸	
	آهک مارنی	۴			۱۱/۶۹ – ۱۷/۵۳	۷	
	کنگولومرا	۲			۱۷/۵۳ – ۲۳/۵۴	۶	
	مارن نمکی	۲			۲۳/۵۴ – ۳۰/۵۷	۵	
	شیل	۲			۳۰/۵۷ – ۶۶/۱۷	۳	
	آبرفت	۱					
	دشت	۱					
عوارض کارستی	کارست با توسعه خیلی زیاد	۹	۲۸	تراکم آبراهه	۰-۲۵	۲	۴
	کارست با توسعه زیاد	۸			۲۵-۵۰	۴	
	کارست با توسعه متوسط	۶			۵۰-۷۵	۷	
	کارست با توسعه کم	۴			>۷۵	۹	
	کارست با توسعه خیلی کم	۲					
پوشش گیاهی	خیلی زیاد	۹	۱۳	تراکم خطواره	۰-۲۰	۲	۱۱
	زیاد	۸			۲۰-۴۰	۴	
	متوسط	۶			۴۰-۶۰	۶	
	کم	۴			۶۰-۸۰	۸	
	خیلی کم	۲			>۸۰	۹	

۴-۵- تعیین مقدار تغذیه منطقه

برای تعیین هر هشت لایه اطلاعاتی (لیتولوژی، تراکم خطواره، شیب، جهت شیب، عوارض کارستی، تراکم خطواره، بارش و تراکم آبراهه) که در مرحله قبل تهیه شدند، به صورت لایه‌های اطلاعاتی رستری با پیکسل دارای اندازه یکسان (۱۵۰*۱۵۰متر) در قسمت Weighted overlay برنامه GIS با هم تلفیق شدند. نهایتاً

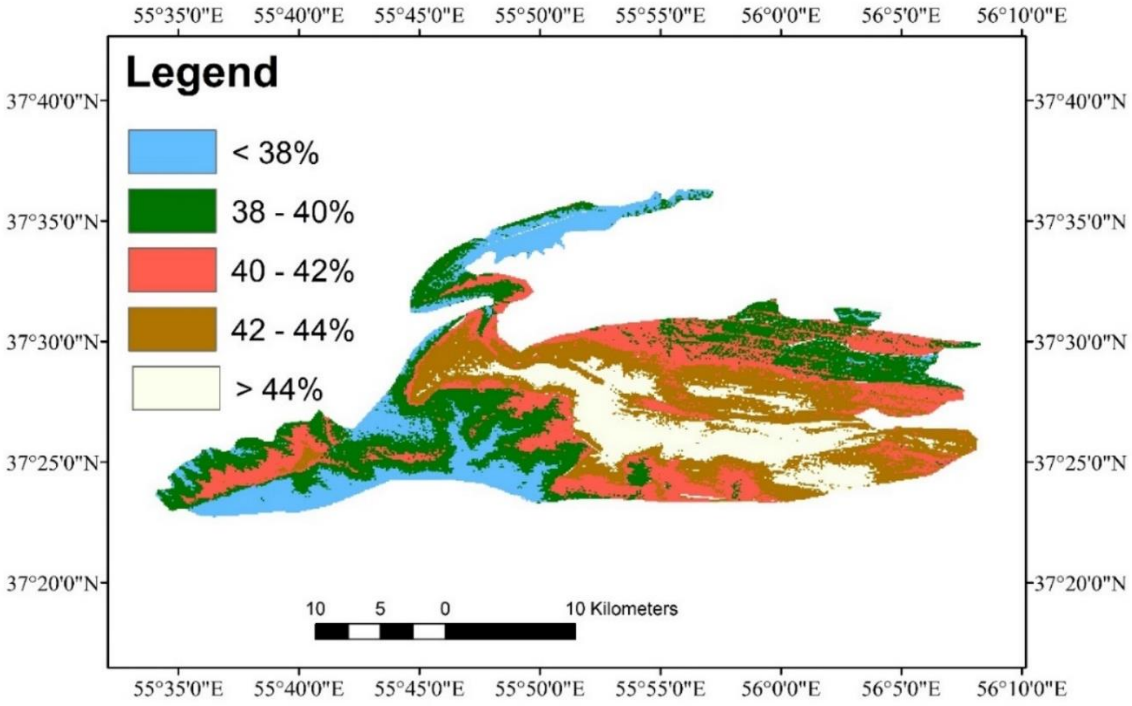
با اجرای برنامه، مقدار تغذیه منطقه بدست آمد. نتیجه این ترکیب نقشه‌ای رستری شد که در آن هر پیکسل دارای ارزش منحصر به فردی است و این ارزش نمایانگر مقدار تغذیه آن پیکسل می‌باشد. در این مرحله با توجه به نظر کارشناسی و مطالعات گذشته برای هر فاکتور موثر در میزان تغذیه جهت وزن‌دهی به لایه‌ها، وزنی متناسب با آن لایه در میزان تغذیه در نظر گرفته شد. شکل (۴-۲۵) نقشه طبقه‌بندی شده، وضعیت مقدار تغذیه در منطقه را نشان می‌دهد. درصد تغذیه و مساحت هر رده از نواحی مختلف در پنج رده دسته‌بندی شده است که در جدول (۴-۶) آمده است.

برای بدست آوردن میزان تغذیه سالانه، ابتدا ضریب تغذیه از معادله (۴-۲) محاسبه شد و سپس با استفاده از معادله (۴-۳) حجم تغذیه سالیانه بدست آمد.

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i I_i}{A_t}$$ معادله۴-۲

$$v = \bar{P} \cdot \bar{I} \cdot A$$ معادله۴-۳

در معادله بالا $\bar{I}$ میزان تغذیه سالیانه، 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.



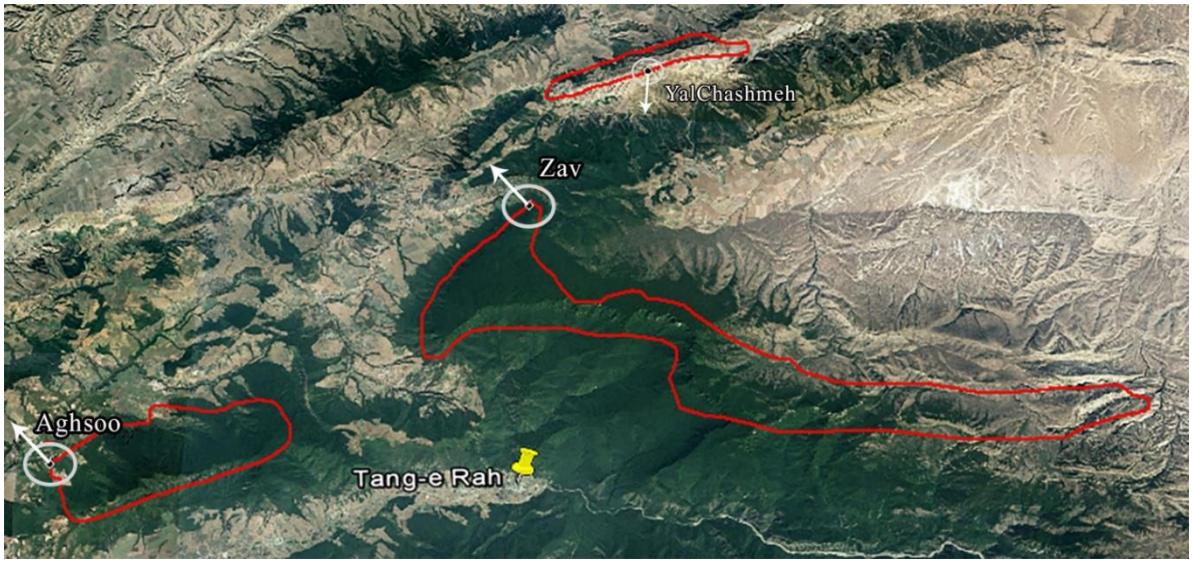
شکل۴-۲۵: نقشه نهایی تغذیه منطقه

جدول ۴-۶: درصد تغذیه سالانه محاسبه شده و مساحت هر رده

تغذیه سالانه (درصد)	مساحت (km^2)
< ۳۸	۸۰
۳۸ – ۴۰	۱۶۰
۴۰ – ۴۲	۱۲۰
۴۲ – ۴۴	۱۳۰
> ۴۴	۹۰

۴-۶- ارزیابی کلی بیلان هیدروژئولوژیکی منطقه کارستی کلاله

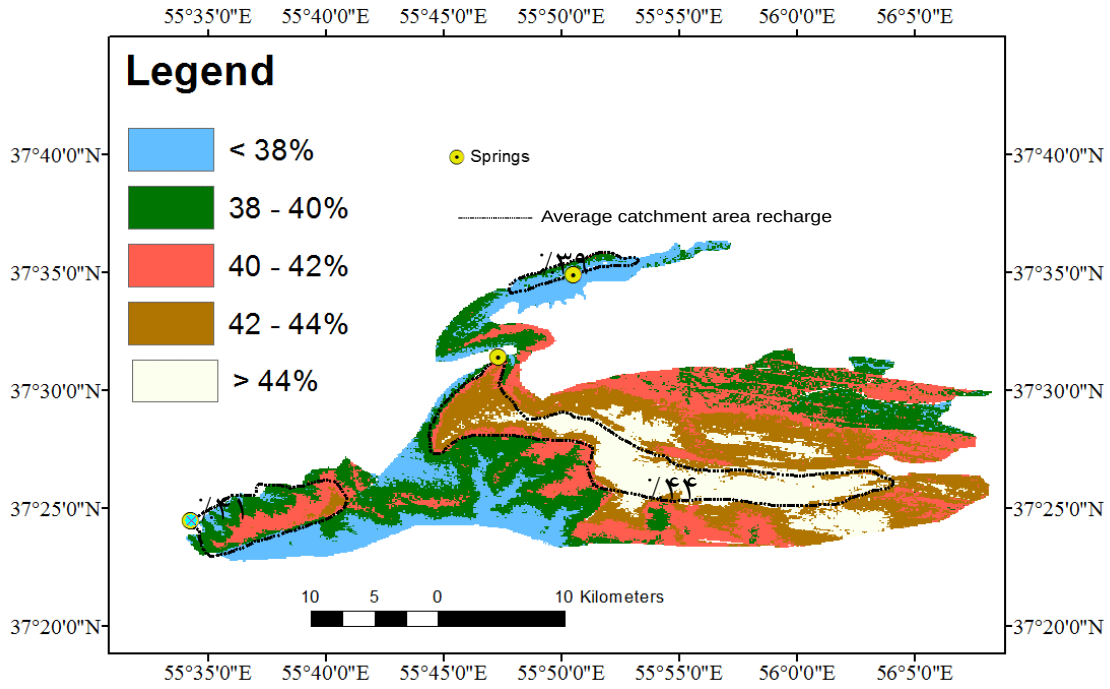
بیلان هیدروژئولوژیکی در یک سفره‌ی آب زیرزمینی محاسبه مقدار حجم آب ورودی به سفره، حجم آب خروجی از آن و در نهایت تغییر در حجم ذخیره سفره در طول یک دوره خاص می‌باشد. هدف عمده از ارزیابی بیلان در سازندهای کارستی منطقه این است که پس از واسنجی‌های نهایی مشخص شود که حجم کل آب تخلیه شده از چشمه‌های زاو، آق‌سو و یل‌چشمه با حجم تغذیه در منطقه مورد مطالعه چه نسبتی دارد. برای محاسبه و برآورد بیلان آب چشمه‌های کارستی این منطقه، مساحت رخنمون سازندهای آهکی کارستی، میانگین بارندگی و درصد تغذیه مشخص گردید. مساحت سازندهای منطقه مورد مطالعه حدوداً ۲۹۰ کیلومتر مربع، میانگین بارندگی این منطقه تقریباً ۸۲۹ میلیمتر و از درصد تغذیه تعیین شده در بخش قبل حدوداً ۴۲ درصد می‌باشد. میزان حجم تغذیه سالانه در این منطقه حدوداً ۱۰۰ میلیون متر مکعب بوده است. مجموع حجم تخلیه سالیانه چشمه‌ها حدودا ۶۵/۵ میلیون متر مکعب بوده است. بنابراین این‌چنین می‌توان اظهار نظر نمود که کوه‌های منطقه علاوه بر تامین آب چشمه‌ها ذخیره بیشتری دارد. شکل (۴-۲۶) موقعیت حوضه آبگیر چشمه‌های مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۶: موقعیت حوضه آبگیر چشمه‌های زاو، آق‌سو و یل‌چشمه در منطقه مورد مطالعه

۴-۷- تعیین حوضه آبگیر 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 آبگیر چشمه‌های مهم منطقه شده است. برای این منظور عوامل زمین‌شناسی مهم که در تعیین حوضه‌های آبگیر منطقه در نظر گرفته شد شامل: شناسایی سازند اصلی آبخوان چشمه‌های کارستی، شناسایی لایه نفوذناپذیر زیرین آبخوان‌چشمه‌های کارستی، شناسایی لایه‌های نفوذ ناپذیر اطراف سنگ آبخوان چشمه‌ها، 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.



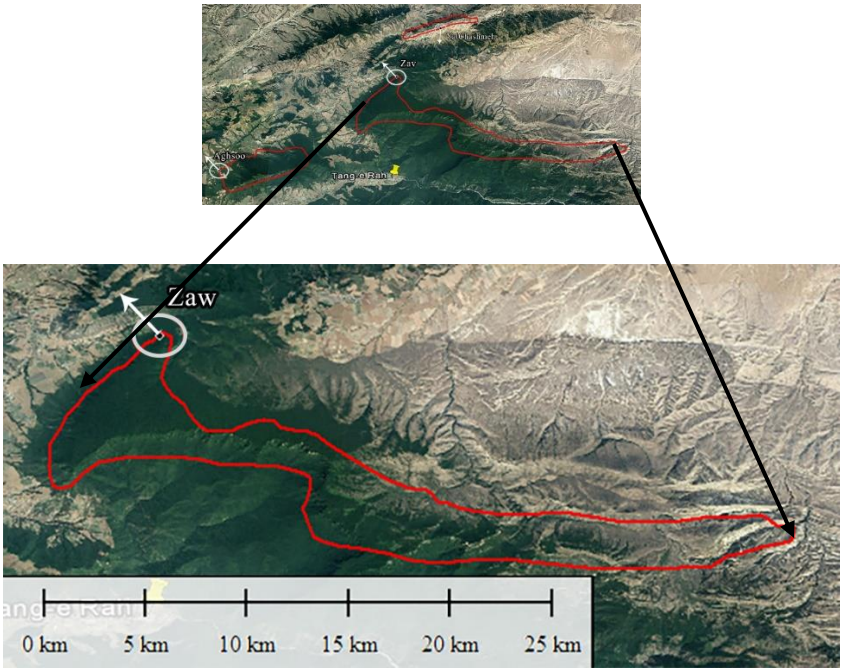
شکل ۴-۲۷: موقعیت و میزان تغذیه حوضه آبگیر

با استفاده از روش بیلان هیدرولوژیکی، محدوده حوضه آبگیر اولیه چشمه‌ها اصلاح شد، به این ترتیب که حجم تغذیه بدست آمده در حوضه آبگیر چشمه‌ها، مورد مقایسه قرار گرفت. در این مرحله، چنانچه اختلاف

قابل توجه‌ای بین تخلیه سالانه چشمه‌ها با میزان حجم تغذیه بدست آمده وجود نداشته باشد و میزان خطای نسبی بین آنها اندک باشد، حوضه آبگیر ترسیم شده اولیه، مورد تایید قرار می‌گیرد. شکل (۴-۲۷) میزان درصد تغذیه هرکدام از حوضه‌های آبگیر را با توجه به میزان نفوذپذیری هر رده نشان می‌دهد.

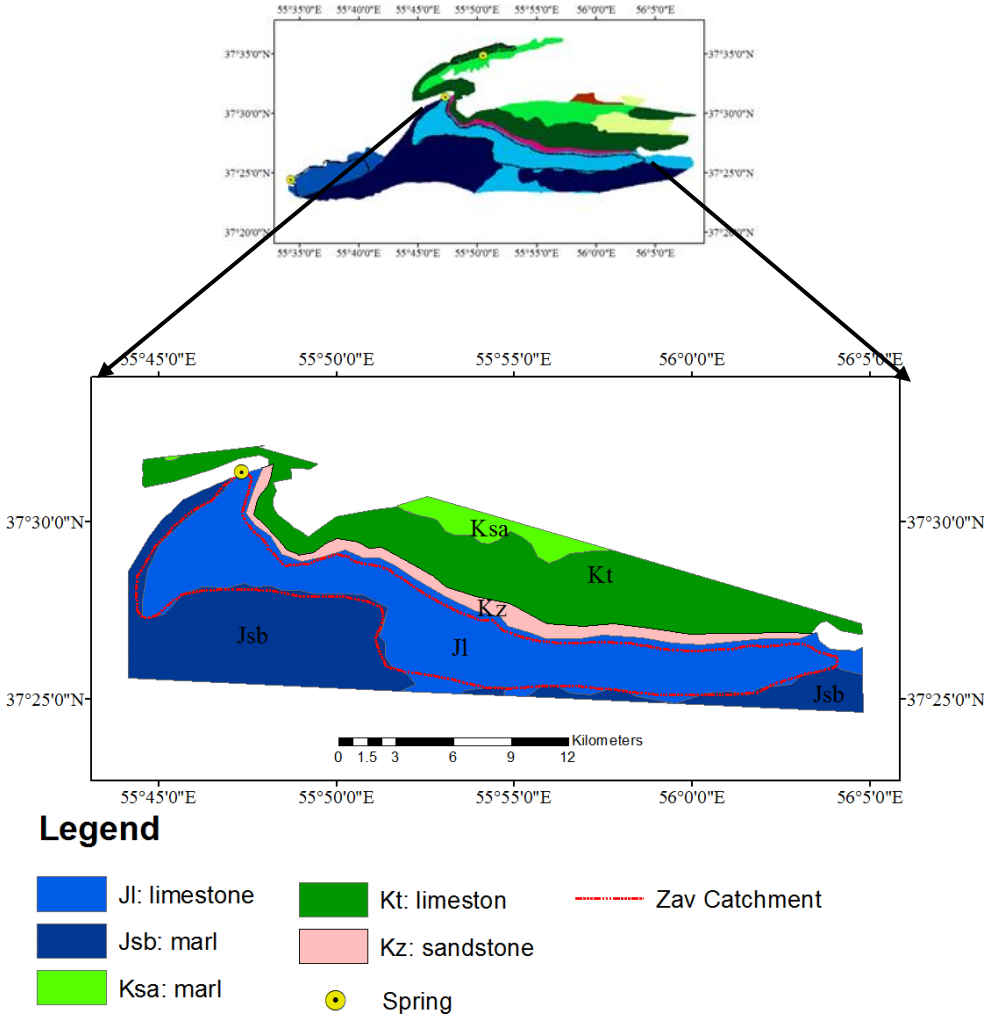
۴-۷-۱- تعیین حوضه آبگیر چشمه زاو

برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبگیر این چشمه از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چینه‌شناسی، وضعیت تکتونیک و مورفولوژی منطقه محدوده احتمالی حوضه آبگیر اولیه چشمه تعیین شد. این محدوده بخشی کوه‌های کارستی منطقه می‌باشد که سازند لار را دربر می‌گیرد. به طور کلی، محدوده حوضه آبگیر با توجه به عملکرد گسل رورانده سوقا در منطقه و شیب لایه‌های زمین‌شناسی که با شیب به سمت شمال قرار گرفته‌اند، حدوداً ۸۵ کیلومترمربع تعیین شد. همان‌طور در شکل(۴-۲۸ و ۴-۲۹) نشان داده شده در تمام این منطقه امکان حرکت آب زیرزمینی به سمت چشمه از نظر هیدرویکی وجود دارد.



شکل۴-۲۸: موقعیت حوضه آبگیر چشمه زاو در Google earth

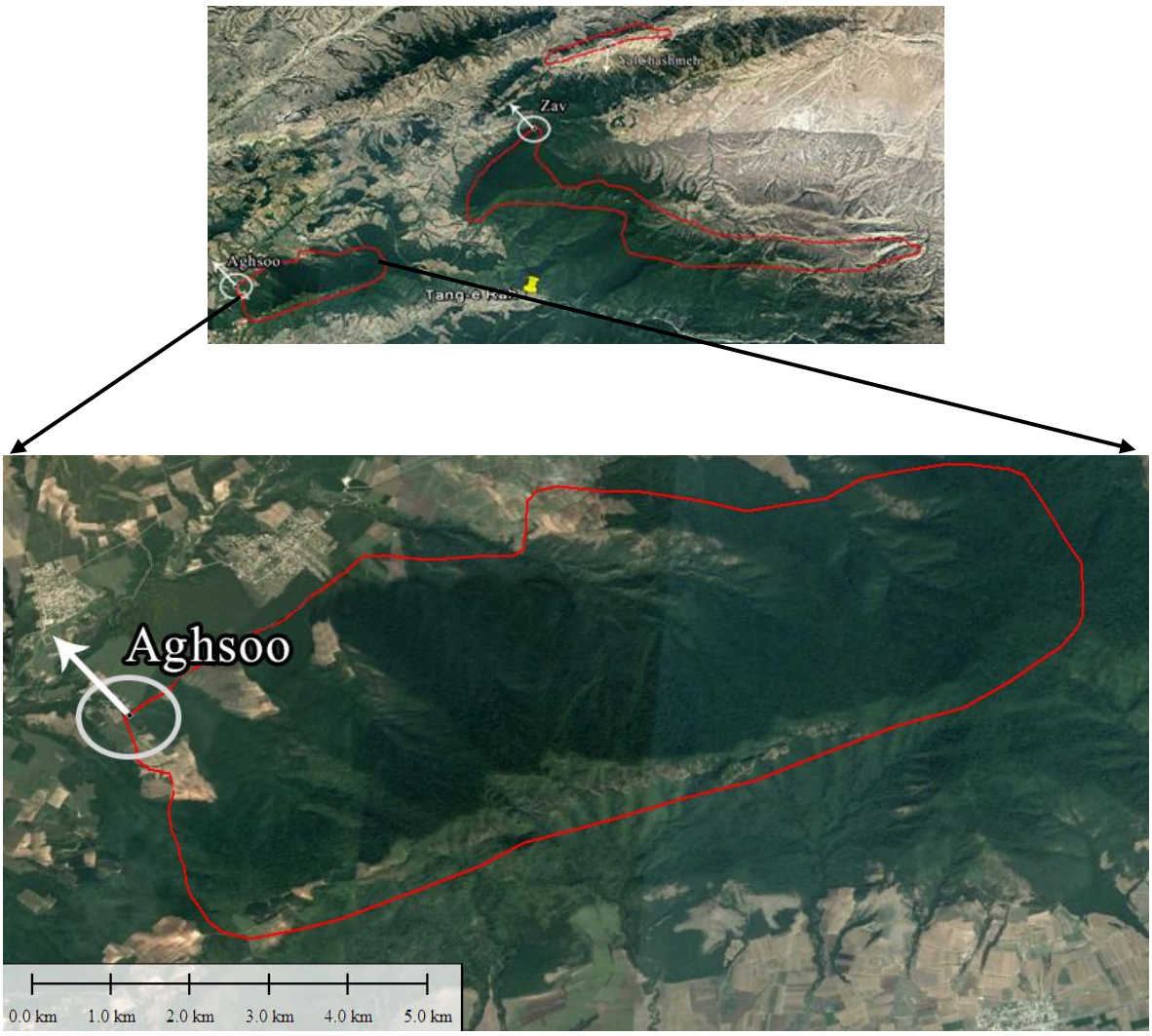
پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبگیر اولیه چشمه، به منظور تأیید یا عدم تأیید محدوده تعیین شده برای حوضه آبگیر چشمه زاو، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور میزان حجم تخلیه سالانه چشمه که حدوداً ۲۳/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد با حجم تغذیه بدست آمده از فرمول (۴-۳) که حدودا ۲۹/۴ (با میزان بارندگی ۸۰۰ میلی‌متر و درصد تغذیه ۰/۴۴) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی به دست آمده که حدود ۹ درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالیانه چشمه و حجم تغذیه به دست آمده، حوضه آبگیر اصلاح شده حدوداً ۸۳/۵ کیلومترمربع تعیین شد که با حوضه آبگیر اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



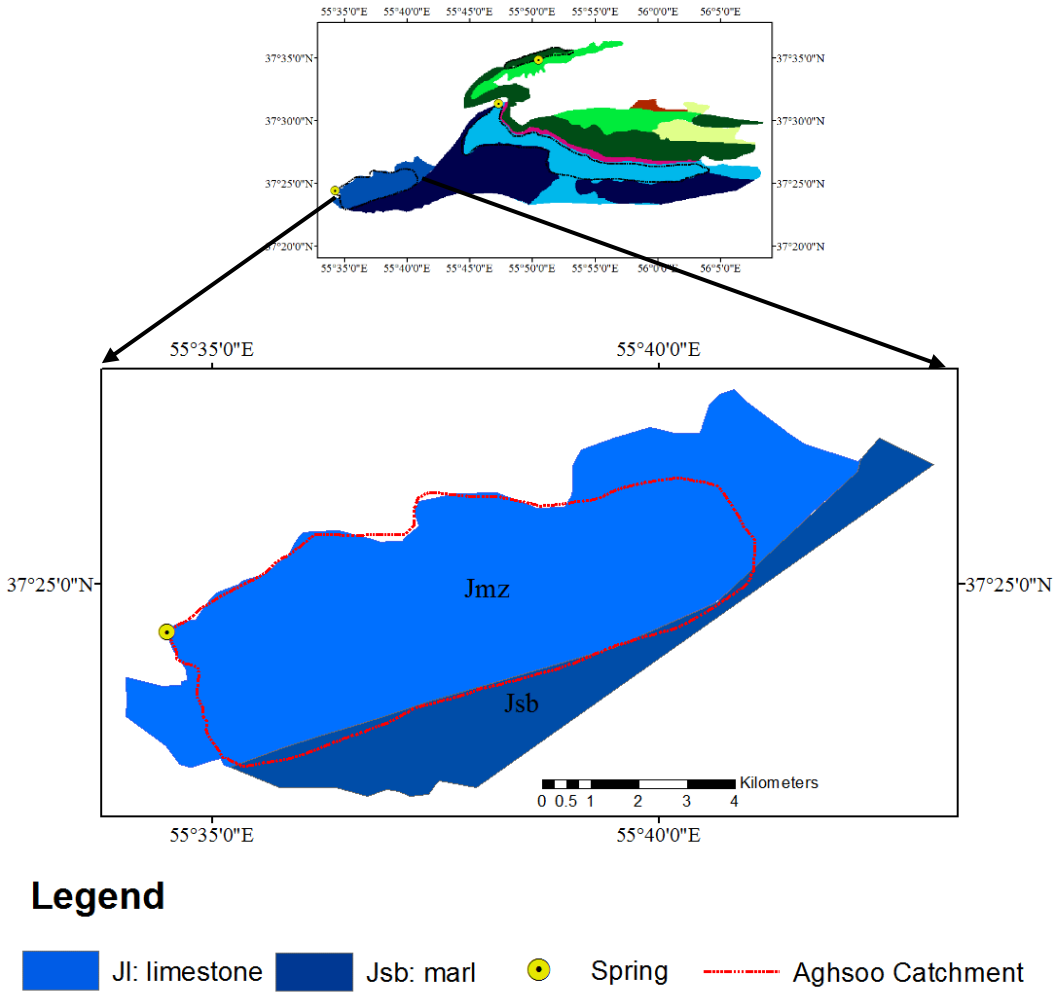
شکل ۴-۲۹: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر چشمه زاو

۴-۷-۲- تعیین حوضه آبگیر چشمه کارستی آق‌سو

برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبگیر این چشمه همانند چشمه زاو از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چینه‌شناسی، وضعیت تکتونیک و مورفولوژی منطقه محدوه احتمالی حوضه آبگیر اولیه چشمه، تعیین شد. این چشمه در سازند آهکی مزدوران ظهور یافته است. این سازند در محل چشمه دارای شیب به سمت شمال می‌باشد. با توجه به توالی چینه‌شناسی محدوده احتمالی حوضه آبگیر چشمه بخشی از سازند مزدوران را شامل می‌شود. با توجه به نقشه دلایل تعیین این محدوده به شرح زیر است. در مرز جنوب و جنوب شرقی حوضه آبگیر در تماس با سازند چمن بید، لایه‌های ناتراوای مارنی رخنمون دارد که به عنوان یک سد هیدروژئولوژیکی مانع از حرکت آب به سمت رسوبات عهد حاضر شده است. بنابراین، این مرز یک مرز نفوذناپذیر محسوب می‌گردد و بقیه مناطق مرزی چشمه آق‌سو را رسوبات عهد حاضر و لس‌ها پوشانده‌اند. محدوده حوضه آبگیر حدود ۳۲ کیلومترمربع تعیین گردید (شکل ۴-۳۰ و۴-۳۱). پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبگیر اولیه چشمه، به منظور تأیید یا عدم تأیید محدوده تعیین شده برای حوضه آبگیر چشمه آق‌سو، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور میزان حجم تخلیه سالیانه چشمه که ۷/۴ میلیون متر مکعب می‌باشد با حجم تغذیه به دست آمده از فرمول (۴-۳) که حدوداً ۹/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد (میزان بارندگی ۷۲۰ میلیمتر و درصد تغذیه ۴۱٪) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی به دست آمده که حدوداً ۱۲ درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالیانه چشمه و حجم تغذیه به دست آمده، حوضه آبگیر اصلاح شده حدوداً ۳۱/۸ کیلومتر مربع تعیین شد که با حوضه آبگیر اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



شکل ۴-۳۰: موقعیت حوضه آبگیر چشمه آق‌سو در Google earth

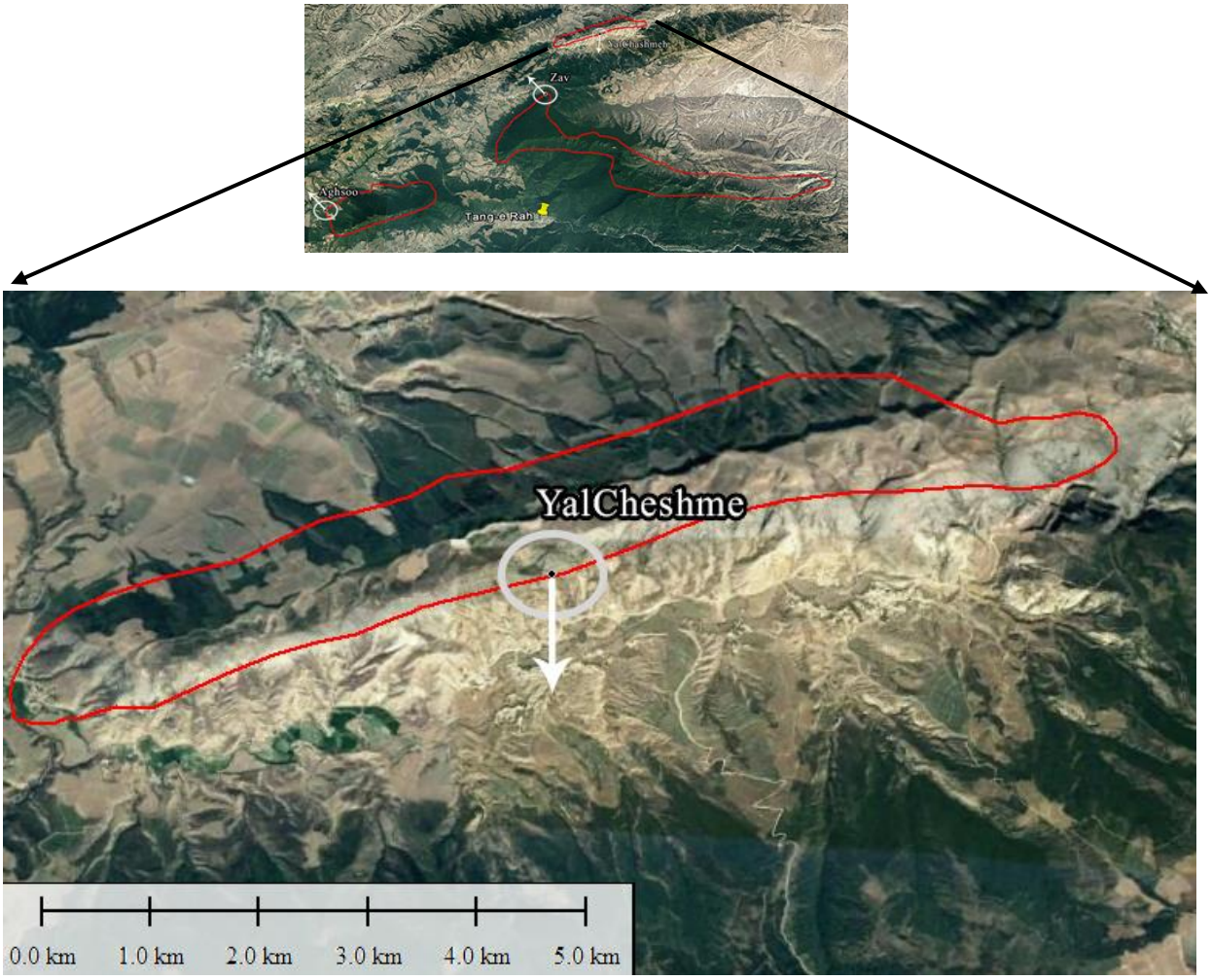


شکل۴-۳۱: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر آق‌سو

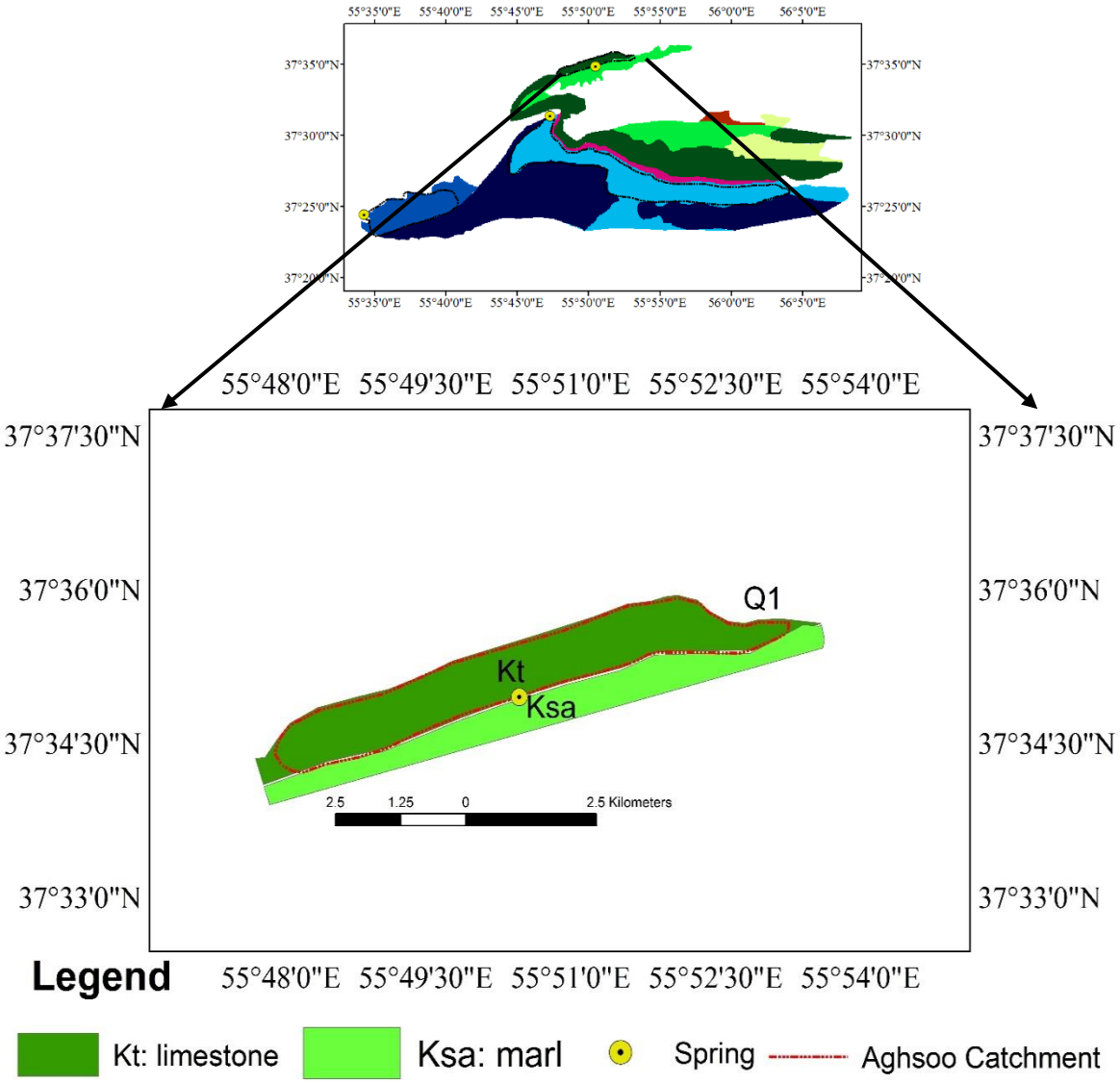
۴-۷-۳- تعیین حوضه آبگیر چشمه کارستی یل‌چشمه

برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبگیر این چشمه همانند چشمه زاو و آق‌سو از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. ابتدا با توجه به توالی چینه‌شناسی وضعیت تکتونیک و مورفولوژی منطقه، محدوده احتمالی حوضه آبگیر اولیه چشمه تعیین شد. این چشمه بین مرز دو سازند تیرگان و سرچشمه حضور پیدا کرده است. درزه‌ها با قطع نمودن سازند آهکی تیرگان باعث زهکشی و هدایت جریان آب زیرزمینی از ارتفاع بالاتر به ارتفاع پایین‌تر می‌شوند. بنابراین، محدوده حوضه آبگیر یل‌چشمه سفلا حدود ۹ کیلومتر مربع تعیین گردید (شکل ۴-۳۲ و ۴-۳۳).

پس از بررسی‌های زمین‌شناسی برای تعیین حوضه آبگیر اولیه چشمه، به منظور تایید محدوده تعیین شده برای حوضه آبگیر یل‌چشمه سفلا، از روش بیلان هیدروژئولوژیکی استفاده شده است. برای این منظور، میزان حجم تخلیه سالیانه چشمه که۲/۱۴ میلیون متر مکعب می‌باشد که با حجم تغذیه بدست آمده از فرمول (۴-۳) که حدوداً ۲/۶۶ میلیون مترمکعب می‌باشد (با میزان بارندگی ۷۵۰ میلیمتر و درصد تغذیه ٪۳۹) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به میزان خطای نسبی بدست آمده که حدوداً ۱۱ درصد است و با عنایت به اختلاف کم حجم تخلیه سالیلانه چشمه و حجم تغذیه بدست آمده حوضه آبگیر اصلاح شده حدوده ۹/۱ کیلومتر مربع تعیین شد که با حوضه اولیه اختلاف ناچیزی دارد.



شکل ۴-۳۲: موقعیت حوضه آبگیر چشمه یل‌چشمه در Google earth



شکل۴-۳۳: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبگیر یل چشمه

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این فصل ابتدا نتایج بدست آمده از 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 ارزیابی خصوصیات هیدروژیولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی، تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای برآورد میانگین تغذیه‌ی سالانه منطقه با استفاده از GIS، تعیین حوضه‌آبگیر چشمه کارستی منطقه به طور مختصر ارائه شده است.

۵-۱-۱- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدرژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی

به منظور ارزیابی جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی مورد نظر، اقدام به بررسی خوصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی زاو، آق‌سو و یل‌چشمه گردید. نتایجی که حاصل شد به طور مختصر برای هر چشمه ذکر خواهد شد.

الف- چشمه زاو

تغییرات دبی این چشمه بسیار بالا می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات دبی برای سال آبی ۹۵-۹۴ برابر با ۱۱۸ درصد است که بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و وجود عارضه‌های کارستی گسترده در نواحی مرتفع حوضه آبگیر چشمه و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبگیر می‌باشد. همچنین تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه زاو نشان می‌دهد که منحنی فروکش این چشمه دارای سه شیب α_1، α_2 و α_3 بوده که از یک بستر تکامل یافته‌ی کارستی تغذیه می‌شود.

ب- چشمه آق‌سو

ضریب تغییرات این چشمه متوسط می‌باشد بطوری که ضریب تغییرات دبی برای سال آبی ۹۵-۹۴ برابر با ۴۹ درصد می‌باشد. که در مقایسه با چشمه زاو کمتر می‌باشد که این امر بیانگر توسعه کمتر مجاری کارستی به دلیل پر شدن درز شکاف‌ها توسط مواد ریزدانه و یک لایه از لس‌ها بر روی سازند کارستی که به عنوان

لایه کنترل کننده در برابر نفوذ می‌باشد. منحنی فروکش این چشمه دارای یک شیب α_1 می‌باشد که بیانگر توسعه یافتگی کم‌آبخوان کارستی است.

ج- چشمه یل‌چشمه

ضریب تغییرات این چشمه کم می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات دبی برای سال آبی ۹۵-۹۴ برابر با ۱۵ درصد می‌باشد. که در مقایسه با چشمه زاو و آق‌سو خیلی کمتر می‌باشد که بیانگر توسعه خیلی اندک آبخوان کارستی حوضه آبگیر این چشمه است. منحنی فروکش این چشمه نیز دارای یک شیب α_1 می‌باشد که بیانگر افشان بودن نوع جریان در این چشمه است.

۵-۱-۲- برآورد تغذیه سالانه در حوضه کارستی کلاله

به منظور برآورد تغذیه سالانه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی موثر بر تغذیه آبخوان کارستی، جهت ورود ب نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. لایه‌های تهیه شده شامل عوارض کارستی مشاهده شده در منطقه، شیب توپوگرافی، جهت شیب دامنه‌ها، بارش، تراکم خطواره‌ها، لیتولوژی، تراکم آبراهه‌ها و پوشش گیاهی می‌شود. سرانجام با تحلیل‌های انجام شده، درصد تغذیه سالانه در آبخوان‌کارستی منطقه برآورد گردید. نتایج بدست آمده بیانگر این است که درصد تغذیه سالانه در آبخوان زاو، آق‌سو و یل‌چشمه به ترتیب برابر با ۴۴، ۴۱، ۳۹ درصد می‌باشد.

۵-۱-۳- تعیین حوضه آبگیر چشمه‌ها

حوضه آبگیر اولیه این چشمه‌ها ترسیم شد. سپس با بکارگیری روش بیلان هیدروژئولوژیکی دقت تعیین حوضه‌های

آبگیر چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج بدست آمده از بیلان هیدروژئولوژیکی در حوضه آبگیر چشمه-های کارستی فوق الذکر بیانگر این است که حوضه‌های آبگیر اولیه این چشمه‌ها با استفاده از روش زمین-شناسی ترسیم شده است از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است. در نهایت، بر اساس نتایج بدست آمده از

بیلان هیدروژئولوژیکی حوضه اولیه چشمه‌های کارستی مورد نظر اصلاح شده است. به این تتیب حوضه آبگیر چشمه‌های زاو، آق‌سو و یل‌چشمه به ترتیب برابر ۸۳/۵، ۳۱/۸ و ۹/۱ کیلومتر مربع بدست آمده است.

۵-۲- پیشنهادها

پیشنهادهای زیر جهت بررسی دقیق‌تر ویژگیهای کیفی و کمی منابع آب منطقه ارائه میگردد:

۱- نصب باران‌سنج‌های ذخیره‌ای در حوضه آبگیر هر سه چشمه و برآورد دقیق‌تر میانگین بارندگی در حوضه آبگیر هر سه چشمه

۲- بستر سازی جهت نصب اشل‌های مناسب در خروجی‌های مورد نظر و تهیه دقیق‌تر هیدروگراف چشمه‌ها

۳- استفاده از ردیاب‌های رنگی برای تعیین دقیق حوضه آبگیر و میزان توسعه‌یافتگی کارست در منطقه

منابع مورد استفاده

شبان م، (۱۳۹۰)، "تعیین حوضه آبریز و منابع تأمین آب چشمه سبزآب (شمال شرق مسجد سلیمان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شکری م، (۱۳۹۰)، "بررسی توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم دانشگاه شاهرود، ص۱۶۵

شمسی، ع.، "ارزیابی مناطق مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب کارست در شمال غرب اسلام‌آباد، کرمانشاه"، پایانامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کرمی، غ. (۱۳۷۲)، بررسی رابطه بین عوامل نفوذ آب و خصوصیات فیزیکی و شیمایی چشمه‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز . پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، بخش زمین‌شناسی.

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

Ahmadipoor, M,R, (1999), karst terraines in Iran, Examples from Lorestan, Acta carsologica.

Appelo CAJ, Postma D (2005) Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edn. A.A,Balkema, Rotterdam

Ashgari, J., (2007), “In Influences of anticlinal structure on regional flow, zagros, iran” (inEnglish), Phd Thesis, University of Shiraz, iran.

Ashjari, J., Raeisi, E., (2006), “Litological Control on Water chemistry in Karst Aquifers of The Zagros Range, Iran” Cave and karst Science, v.33, no.3, pp, 111-118.

Barberá, J.A., Andreo, B., (2015) “Chemical, Thermal And Isotopic Evidences Of Water Mixing In The Discharge Area Of Torrox Karst Spring (Southern Spain)” Department Of Geology And Centre Of Hydrogeology, University Of Málaga (Cehiuma), 29071

Bogli, A., (1980), “Karst Hydrology and Physical Speleology” Springer-Verlag, Berlin. pp, 284.

Bonacci, O., Magdenic, A,. (1993) “The Catchment Area Of The Spring Sv.Ivan Karst” Ground Water · August, Impact Factor: 2.31, Doi: 10.1111/J.1745-6584.1993.Tb00849.X.

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

Cook, P. G. (2003), Aguide to reginal groundwater flow in fractured aquifers, CSTRO land and water, Seavien press, Henley Beach, south Australia, 180p.

Ford D, Williams P. Karst geomorphology and hydrogeology. 2nd ed. England: John Wiley & Sons, Ltd; 2007.

Ford D.C. and Williams P.W., (1989) “Karst geomorphology and hydrology” London: Chapman and Hall, 601 p.

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.

Gilli, E., (2002), les Karsts littoraux des Alpes-Maritimes: inventaire des emergences sous-marines et catage expertal de cabbe Karstologia, 40(2), 1-12

Goldscheider N., Drew D., (2007), “Methods in karst Hydrogeology”, Taylor and Francis, pp. 264-273.
Grasso, D.A., Jeannin, D. Y., Zwahlen, F. (2003) “A deterministic Approach to the coupled analysis of karst springs hydrographs and chemographs”. Journal of Hydrology, 271:65-76.

Grasso, D.A., Jeannin, D. Y., Zwahlen, F. (2003) “A deterministic Approach to the coupled analysis of karst springs hydrographs and chemographs”. Journal of Hydrology, 271:65-76.

Gudmundsson, A. (2000) “Active fault zones and groundwater flow”,Geophysical Research Letter.Vol 27, pp.2993-2996.

Hem JD. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 1nd ed. NewYork: United State geological survey; 1970.

Karami G.H., (2002) “Assessment Of Heterogeneity And Flow System In Karstic Aquifers Using Pumping Test Data” Ph.D.Thesis, School Of Civil Engineering And Geosciences University Of Newcastle Upon Type, P 180.

Karimi H. Hydrogeological investigation of Mogermoon and Sar-Asiab karstic springs. Proceeding of 9th symposium of geology society of Iran. 2005;149-157; Tehran.[Persian].

Kasting E.H., (1977), “Faults and positive and negative influences on ground water flow and conduit enlargement in: R.R. Dilamarter and S.C. Scallany (eds.) Hydrologic problems in karst regions”, West Kentucky Univ.

Lakey, B.L., Kroth, N.C., (1996).”Stable isotopic variation of starm discharge frome a perennial karst spring”, Indiand, Water Resources Recharge, Vol.32, pp. 721-731.

Lamban L.J. Joder J. Custodio E. Soler A. Sapriza G and Soto R., (2015),“Isotopic and hydrogeochemical characterization of high-altitude karst aquifersin complex geological

settings". The Ordesa and Monte Perdido National Park(Northern Spain) case study, Science of the Total Environment 506 -507 , p.466-479.

Málaga, Spain Bonacci, O., Magdenic, A,. (1993) "The Catchment Area Of The Spring Sv.Ivan Karst" Ground Water · August, Impact Factor: 2.31, Doi: 10.1111/J.1745-6584.1993.Tb00849.X.

Malik P, Vojtkova S. Use of recession-curve analysis for estimation of karstification degree and its application in assessing overflow/underflow condition in closely spaced karstic springs. Environmental earth sciences. 2012;65(8):2245-2257.

Milanovic P., (1981) "Karst Hydrogeology" Water Resources Pubns, P 434.

Raeisi E, Karami GH. The governing factors of the physicochemical characteristics of Sheshpeer karst spring, Iran. Carbonate and evaporates. 1996;11(2):162-169.

Raeisi, E., (2002), *Carbonate Karst Caves In Iran. In: Kranjc A (Ed) Evolution Of Karst: From Prekarst To Cessation, Ljubljana-Postojna. 339–344*

Raeisi, E., Karami,G.H., (1997) "Evaluation Of Moisture Factors Of The Physic-Chemical Characteristics Of Sheshpir Karst Spring" Carbonates And Evaporates 11,Pp.162-169.

Reisch, C.H., Toran, L., (2013) "Characterizing Snowmelt Anomalies In Hydrochemographs Of A Karst Spring, Cumberland Valley, Pennsylvania (Usa) Evidence For Multiple Recharge Pathways" Environ Earth Sci, Doi 10.1007/S12665-013-2935-5

Stocklin J, Setudehnia A. Stratigraphic lexicon of Iran. 1nd ed. Iran: Geological survey of Iran; 1977.

Todd DK, Mays LW. Groundwater hydrology. 3nd ed. New York: John Wiley; 2005.

White W.B., (2002), Karst hydrology: recent developments and open questions, Engineering Geology, 65: 85-105.

White W.B., and White E.L., (2001), "Conduit fragmentation, cave patterns, and the localization of karst groundwater basins", the Appalachians as a test case, Speleogenesis and Evolution of karst Aquifers 1 (2), p.2. Re-published by permission from, Theoretical and Applied Karstology

White W.D., (1988), "Geomorphology And Hydrology Of Karst Terrainns" Oxford University Press, Oxford, P 464

White W.D., (1988), "Geomorphology And Hydrology Of Karst Terrainns" Oxford University Press, Oxford, P 464.

White WB. Groundwater flow in karstic aquifers. In: Delleur JW, editor. The handbook of groundwater engineering. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 1998.p.1-47.

White, W, B., and Schmidt, V. A., (1971), "Hedrology of a Karst area in east-central Wast Virginia", Water Resources Recharge, Vol.2, pp.549-560.

Abstract

Kelale mountainous region is located in the east of the Golestan province. There are several karstic springs such as Zav, Aghsoo, Yal-cheshme in the region due to the existing karstic limestone and relatively high average precipitation value. In this research, development of the karstic formations and also catchment area of the four major karstic springs has been investigated based on the geology, hydrogeology and hydrochemical factors. The springs are mainly discharged from Lar, Tirgan, and Mozduran karstic formations and Sarcheshmeh formation. The two adjacent Lar and Tirgan karstic formations have the potential to form the catchment area of Zav spring. Different karst features such as closed depression, sinkhole, joint and fractures were observed in the Lar formation during field investigation which led us to conclude that Zav spring is recharged form Lar karstic formation. The regimes of flow in all springs are mainly conduit and diffuse flow. The three segments of recession curves in the Zav and upper Yal-cheshme indicate that these springs are recharging from a developed karstic aquifer; while the recession curve of the Aghsoo and lower Yal-cheshme have one recession coefficient, that can be attributed to the less development of karstic formation in the catchments area. All the springs have the same origin and mainly have Ca-HCO_3 water type. Cation exchange process also affects the hadrochemical characteristic of the springs. All springs are super-saturated with calcite and dolomite and under-saturated with gypsum and halite. The most important factors that influence the annual recharge to the catchments area were evaluated. Afterwards, the information layers were prepared in the GIS software. These parameters include lithology, slope, dip direction, fracture density, karstic features, precipitation, drainage density and vegetation covers. After preparing the information layers, a value is given to each of these layers, being proportional to their effect on the amount of annual recharge. The different prepared layers were overlapped using GIS software, and finally, the mean annual recharge to the catchment area of Zav, Agsou and Yel-Cheshmeh karstic springs was determined as 44%, 41% and 39%, respectively. In another part of the study, the determined primary catchment area by geological method was reconfirmed with hydrogeological budged method, and the results were acceptable .

Keywords: Karstic springs, Recession curve, Karst development, Catchment area, Golestan Province

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

Evaluating the hydrogeological karstic springs kalaleh area, province Golestan

By:

Ghmaradin Mirhassani

Supervisor:

Rahim Bagheri

January 2018