

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

عنوان پایان نامه:

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی

در کارست‌های گچی منطقه بلده، مازندران

نگارنده:

احمد کاظمی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

بهمن ۹۶

ت

شماره: ۱۲۸۶۴
تاریخ: ۹۷/۱۵/۲

باسمه تعالی



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 احمد کاظمی با شماره دانشجویی ۹۴۱۴۳۴۴ رشته زمین شناسی گرایش هیدروژئولوژی تحت عنوان بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ژئومورفولوژیکی در کارست های گچی بلده، مازندران که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: عالی.....)
<input checked="" type="checkbox"/> عملی	<input type="checkbox"/> نظری

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر غلامحسین کرمی	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر مریم شبلی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر هادی جعفری	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر رحیم باقری	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: پروفسور امیری
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:
۹۶/۱۵/۲

تیسره: 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).

تقدیم به :

دست‌های زحمکش پدرم

و

محبت‌های بی‌دین مادرم

تشکر و قدردانی

اکنون که با لطف و عنایت الهی، کار نگارش و تدوین این تحقیق به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم در ابتدا از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تحصیلاتم فراهم نمودند، سپاس‌گزاری نمایم و از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگووارم، جناب آقای دکتر کرمی که در تهیه و تکمیل این پژوهش همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره برده‌ام کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از زحمات اساتید دلسوز و محترم گروه آب‌شناسی دانشکده علوم زمین، جناب آقایان دکتر باقری و دکتر جعفری که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان بهره برده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان نیز از همه دوستان و همکلاسی‌های گرامی‌ام به ویژه آقای عزیز سوده‌گی و مصطفی رضاپور که در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه و نیز در طی مدت تحصیلاتم با ایشان، نهایت کمک و همیاری را در حق اینجانب نمودند، کمال تشکر و سپاس‌گزاری را می‌نمایم.

احمد کاظمی

دی ماه ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب **احمد کاظمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در کارست‌های گچی منطقه بلده، مازندران** تحت راهنمایی آقای دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه 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 Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه 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 بلده در جنوب غربی شهرستان آمل، در استان مازندران واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۵۰۰ میلی‌متر است. از رودخانه‌های مهم منطقه می‌توان رودخانه بلده، یالرود، اوز و بردون را نام برد. مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه، سازند شمشک و واحد سنگی کند (سازند گچی ائوسن) می‌باشند. با توجه به وجود سنگ‌های گچی در منطقه بلده و احتمال تأثیر گذاری بر کیفیت منابع آب موجود در منطقه، ضروری است که ضمن مطالعه ژئومورفولوژی کارست گچی، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منابع آب حوضه مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده از مطالعات انجام شده، بیانگر این است که کارست گچی در منطقه یالرود نسبت به سایر مناطق، به طور قابل توجهی توسعه یافته‌تر می‌باشد. دلیل این امر وجود عوارض مهم ژئومورفولوژیکی کارست (آب‌فروچاله، گودی مسدود، حفرات انحلالی و پلیه) در منطقه مذکور می‌باشد. علاوه بر این چشمه‌های مهم گچی نیز در محدوده‌ی یالرود واقع شده‌اند. تمام چشمه‌های گچی منطقه دارای دو ضریب بده می‌باشند که مقادیر آن‌ها نزدیک به یکدیگر و نسبتاً کوچک می‌باشند. دلیل این مطلب از این قرار است که در سازندهای گچی (برخلاف سازندهای کربناته) به علت سست بودن گچ و انحلال‌پذیری بالای آن‌ها مجاری ایجاد شده به سرعت منهدم می‌شوند و در نتیجه از کانالیزه شدن جریان ممانعت به عمل می‌آید. با توجه به نقشه‌های تغییرات مکانی و زمانی رسم شده‌ی یون‌ها، برای نمونه‌های برداشت شده، منشاء آب‌های موجود در منطقه یکسان نبوده و آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها از بخش‌های مختلف سرچشمه می‌گیرند؛ همچنین بر اساس نمودارهای استیف، پایپر و شولر می‌توان به این نتایج دست یافت که کیفیت آب چشمه‌ها نامناسب (تیپ آب سولفات کلسیک) و کیفیت آب رودخانه‌ها مناسب (بی‌کربناته کلسیک) می‌باشند. به دلیل اختلاط آب رودخانه‌ها و چشمه‌ها، کیفیت آب در پایین‌دست (بعد از اختلاط آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها) کاهش می‌یابد اما به علت ناچیز بودن دبی چشمه‌ها در مقایسه با دبی رودخانه‌ها اثر کاهش کیفیت آب در پایین‌دست (رودخانه بلده) از بین رفته و کیفیت آب مجدداً بهبود می‌یابد.

کلمات کلیدی: سازند گچی، منحنی فرود، هیدروگراف چشمه، ژئومورفولوژی، بلده

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

تأثیر سازند گچی بر روی کیفیت منابع آب پایین دست در منطقه بلده، پنجمین کنگره سالانه بین

المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۶

فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱-۱- بیان مسئله	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۳
۱-۳-۱- نمودار امپروترمیک	۵
۲-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن	۵
۴-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه	۶
۵-۱- چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه	۶
۱-۵-۱- واحدهای پالئوزوئیک	۷
۲-۵-۱- واحدهای مزوزوئیک	۷
۳-۵-۱- واحدهای سنوزوئیک	۱۰
۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه‌ی مورد مطالعه	۱۲
۷-۱- ژئومورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه	۱۳
۸-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه	۱۴
۹-۱- هیدروژئولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه	۱۵
فصل دوم	۱۷
۱-۲- انحلال پذیری و کارستی شدن در سنگ‌های کربناته	۱۹
۲-۲- انحلال پذیری در کارست‌های تبخیری	۲۰
۱-۲-۲- کارست گچی	۲۰
۲-۲-۲- کارست نمکی	۲۰
۳-۲- مطالعات انجام شده در ارتباط با هیدروشیمی کارست‌های تبخیری	۲۱
۴-۲- مطالعات انجام شده در ارتباط با ژئومورفولوژی کارست‌های تبخیری	۲۴
۵-۲- مطالعات انجام شده در ارتباط با هیدروژئولوژی کارست‌های تبخیری	۲۶
فصل سوم	۲۹
۱-۳- جمع‌آوری اطلاعات و مروری بر مطالعات پیشین	۳۰

۳۱	۲-۳- باز دیده‌های صحرایی و زمین‌شناسی منطقه
۳۲	۳-۳- نمونه‌برداری ماهیانه از منطقه
۳۲	۳-۳-۱- نمونه‌برداری هیدروشیمیایی از منابع آب
۳۳	۳-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل
۳۳	۳-۴-۱- اندازه‌گیری دبی
۳۴	۳-۴-۲- اندازه‌گیری دما
۳۴	۳-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی
۳۵	۳-۴-۴- اندازه‌گیری pH
۳۵	۳-۵- اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی
۳۵	۳-۵-۱- اندازه‌گیری آنیون‌ها
۳۷	۳-۵-۲- اندازه‌گیری کاتیون‌ها
۳۸	۳-۶- محاسبه درصد خطای آزمایش
۳۹	۳-۷- سختی کل
۴۰	۳-۸- کل مواد محلول
۴۰	۳-۹- نسبت جذب سدیم
۴۰	۳-۹-۱- درصد سدیم
۴۰	۳-۱۰- محاسبه‌ی ضرایب اشباع
۴۱	۳-۱۱- محاسبه‌ی ضرایب آماری
۴۱	۳-۱۲- نمودارهای ترکیبی
۴۱	۳-۱۳- نرم‌افزارهای مورد استفاده
۴۳	فصل چهارم
۴۵	۴-۱- ارزیابی توسعه کارست و عوارض مورفولوژیکی
۴۵	۴-۱-۱- پلیه‌های کارستی
۴۶	۴-۱-۲- گودی‌های مسدود
۴۷	۴-۱-۳- آب‌روچاله‌ها
۴۷	۴-۱-۴- دره‌های خشک
۴۸	۴-۱-۵- حفرات انحلالی
۵۰	۴-۱-۶- چشمه‌های کارستی

۵۲.....	۴-۱-۷- کارن‌ها
۵۲.....	۴-۱-۸- اپی کارست
۵۲.....	۴-۲- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی کارست‌های گچی
۵۳.....	۴-۲-۱- ارزیابی تغییرات زمانی دبی، هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارست گچی
۶۵.....	۴-۳- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیائی کارست‌های گچی
۶۶.....	۴-۴- بررسی تغییرات هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه
۶۸.....	۴-۴-۱- نمودار استیف
۷۰.....	۴-۴-۲- نمودار پایپر
۷۱.....	۴-۴-۳- نمودار شولر
۷۳.....	۴-۵- ترسیم نقشه‌های کیفی نمونه‌های آب سطحی و چشمه‌های گچی
۷۳.....	۴-۵-۱- بررسی تغییرات مکانی کلر
۷۴.....	۴-۵-۲- بررسی تغییرات مکانی یون سولفات
۷۵.....	۴-۵-۳- بررسی تغییرات مکانی یون کلسیم
۷۶.....	۴-۵-۴- بررسی تغییرات مکانی یون سدیم
۷۷.....	۴-۵-۵- تغییرات هدایت الکتریکی آب‌های سطحی
۷۸.....	۴-۵-۶- تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های گچی
۷۹.....	۴-۶- شاخص اشباع
۸۳.....	۴-۷- نمودارهای ترکیبی
۸۶.....	۴-۸- ارزیابی تأثیر سازند گچی بر کیفیت آب رودخانه‌ها
۸۹.....	فصل پنجم
۹۰.....	۵-۱- نتیجه‌گیری
۹۰.....	۵-۱-۱- بررسی توسعه کارست در منطقه
۹۱.....	۵-۱-۲- مقایسه کلی کیفیت آب رودخانه‌ها و چشمه‌های گچی
۹۲.....	۵-۲- پیشنهادها
۹۳.....	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه ۲
- شکل ۱-۲ نمودار امپروترمیک منطقه مورد مطالعه ۴
- شکل ۱-۳ نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه ۸
- شکل ۱-۳-۱ موقعیت محل‌های نمونه‌برداری ۲۹
- شکل ۲-۳-۲ نمونه‌برداری از چشمه‌های منطقه مورد مطالعه ۲۹
- شکل ۳-۳-۳ اندازه‌گیری سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های کدورت‌سنج ۳۰
- شکل ۳-۳-۴ آنالیز نمونه‌ها با روش تیتراسیون ۳۲
- شکل ۳-۳-۵ دستگاه اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم ۳۴
- شکل ۱-۴-۱ نمایی از پولیه در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال) ۳۸
- شکل ۲-۴-۲ نمایی از گودی مسدود در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی) ۳۹
- شکل ۳-۴-۳ نمایی از آبروچاله در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی) ۴۰
- شکل ۴-۴-۴ نمایی از دره خشک در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی) ۴۱
- شکل ۴-۴-۵ نمایی از حفرات انحلالی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال غربی) ۴۱
- شکل ۴-۴-۶ نمایی از حفرات انحلالی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال غربی) ۴۲
- شکل ۴-۴-۷ نمایی از چشمه گچی در منطقه مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۴-۴-۸ نمایی از چشمه گچی در منطقه مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۴-۴-۹ نمایی از اپی‌کارست در منطقه مورد مطالعه ۴۵
- شکل ۴-۴-۱۰ هیدروگراف چشمه چهل دختر از فروردین ۹۶ تا آبان ۹۶ ۴۷
- شکل ۴-۴-۱۱ منحنی فرود چشمه چهل دختر از فروردین ۹۶ تا آبان ۹۶ ۴۹
- شکل ۴-۴-۱۲ هیدروگراف چشمه غسلخانه از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۱
- شکل ۴-۴-۱۳ منحنی فرود چشمه چهل دختر از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۲
- شکل ۴-۴-۱۴ هیدروگراف چشمه سراسب از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۳
- شکل ۴-۴-۱۵ منحنی فرود چشمه چهل دختر از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۴
- شکل ۴-۴-۱۶ هیدروگراف چشمه لارو از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۷
- شکل ۴-۴-۱۷ منحنی فرود چشمه چهل دختر از فروردین ۹۶ تا آبان ۵۷
- شکل ۴-۴-۱۸ محل نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه ۶۱
- شکل ۴-۴-۱۹ نمودار استیف نمونه‌های آب سطحی منطقه مورد مطالعه (بیکربنات کلسیم و منیزیم‌دار) ۶۲

- شکل ۴-۲۰- نمودار استیف نمونه‌های آب چشمه‌ها منطقه مورد مطالعه (سولفات کلسیم‌دار)..... ۶۳
- شکل ۴-۲۱- نمودار پایپر برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۲۲- نمودار شولر برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه ۶۵
- شکل ۴-۲۳- نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه..... ۶۷
- شکل ۴-۲۴- نقشه تغییرات مکانی یون کلر در منطقه مورد مطالعه..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵- نقشه تغییرات مکانی یون سولفات در منطقه مورد مطالعه..... ۶۹
- شکل ۴-۲۶- نقشه تغییرات مکانی یون کلسیم در منطقه مورد مطالعه..... ۷۰
- شکل ۴-۲۷- نقشه تغییرات مکانی یون سدیم در منطقه مورد مطالعه..... ۷۱
- شکل ۴-۲۸- تغییرات زمانی EC در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در آب‌های سطحی..... ۷۷
- شکل ۴-۲۹- تغییرات زمانی EC در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در چشمه‌ها..... ۷۲
- شکل ۴-۳۰- نمودار شاخص اشباع برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۴
- شکل ۴-۳۱- نمودار شاخص اشباع برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۴
- شکل ۴-۳۲- نمودار شاخص اشباع برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۵
- شکل ۴-۳۳- نمودار شاخص اشباع برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۵
- شکل ۴-۳۴- نمودار شاخص اشباع ژپیس در مقابل سولفات ۷۶
- شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات مکانی کاتیون‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۷
- شکل ۴-۳۶- نمودار تغییرات مکانی آنیون‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۷۸
- شکل ۴-۳۷- رابطه بین یون‌های اصلی و هدایت الکتریکی..... ۷۸
- شکل ۴-۳۸- نمودار کلسیم در مقابل یون سولفات ۷۹
- شکل ۴-۳۹- نمودار دو متغیره (SO_4+HCO_3) در مقابل ($CA+MG$)..... ۸۰
- شکل ۴-۴۰- نمودار شاخص اشباع ژپیس در مقابل کلسیت..... ۸۰
- شکل ۴-۴۱- نمودار یون کلسیم در مقابل یون بی‌کربنات..... ۸۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در اطراف محدوده مورد مطالعه..... ۳
- جدول ۲-۱- داده‌های بارش ایستگاه هواشناسی بلده و ایستگاه‌های مجاور ۳
- جدول ۳-۱- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۹)..... ۵
- جدول ۴-۱- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه چهل دختر ۴۷
- جدول ۴-۲- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه غسالخانه..... ۵۰
- جدول ۴-۳- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه سراسب..... ۵۳
- جدول ۴-۴- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه لارو..... ۵۶
- جدول ۴-۵- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها ۶۰
- جدول ۴-۶- مقادیر نمایه اشباع برای نمونه‌های برداشت شده ۷۳

فصل اول

مقدمه

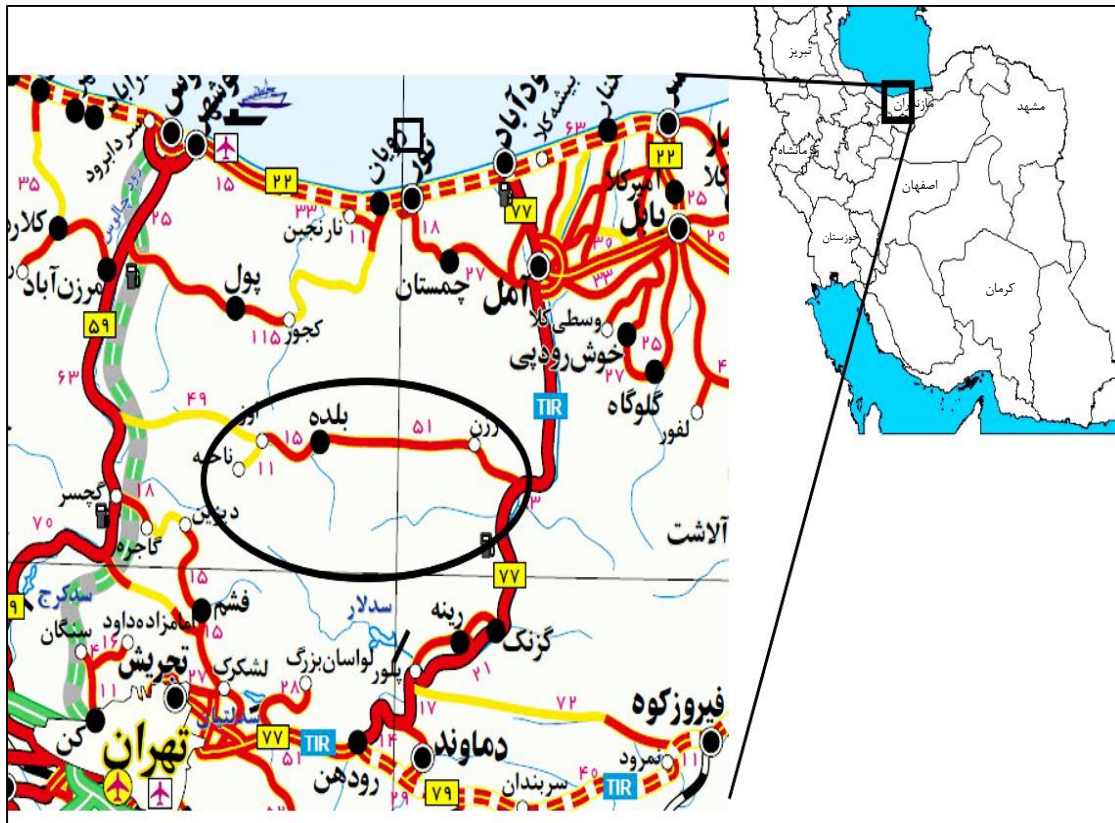
۱-۱- بیان مسئله

بدون شک یکی از پایه‌های اصلی در توسعه جوامع مختلف جهان، آب است. کمبود شدید آب و محدودیت‌های استفاده از آن در مناطق مختلف دنیا موجب گردیده که روز به روز توجه بیشتری به آن معطوف گردد. آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به حساب می‌آید. زمین‌شناسی و سازندهای مختلف در آب‌های زیرزمینی از اهمیت فراوانی برخوردار است. به این صورت که در اثر واکنش متقابل آب زیرزمینی و سازندهای مختلف می‌تواند باعث تغییر کیفیت آب در مدت زمان ماندگاری آن درون سازند شود. در این بین، سازندهای سخت مانند سنگ آهک دارای آب با کیفیت بالا بوده و بالعکس سازندهای تبخیری مانند گچ و نمک تأثیر منفی بر کیفیت آب می‌گذارند. منطقه بلده که در جنوب غربی شهر آمل واقع شده است دارای رودخانه‌هایی با دبی بالا و همچنین چشمه‌هایی است که از داخل سازندهای گچی خارج می‌شوند. آلودگی آب‌های زیرزمینی عموماً حاصل فعالیت بشری است که شامل فعالیت‌های مختلفی از جمله، استفاده بیش از حد منابع طبیعی، توسعه فعالیت‌های کشاورزی، دامداری، مصرف کودهای شیمیایی است. سازندهای زمین‌شناسی نیز بر کیفیت آب‌ها تأثیر گذاشته و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شوند که در این میان تأثیر سازندهای گچی و چشمه‌های خروجی از این سازند، که حلالیت زیادی در آب دارند، می‌تواند کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی را کاهش دهد و برای استفاده از آن‌ها محدودیت ایجاد کند. با توجه به نبود مطالعات قبلی در این منطقه و اهمیت بررسی تأثیر منفی سازندها و چشمه‌های گچی بر کیفیت آب رودخانه‌ها، از این رو مطالعه هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ژئومورفولوژی این سازندها می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۳۰۰ کیلومتر مربع که وسیع‌ترین حوضه‌ی رودخانه هراز به حساب می‌آید به لحاظ موقعیت جغرافیایی در "۵۱° ۴۰" تا "۵۲° ۰۰" طول جغرافیایی و "۳۶° ۰۰" تا "۳۶° ۳۰" عرض جغرافیایی در استان مازندران واقع شده است. به لحاظ تقسیمات سیاسی این حوضه در استان

مازندران، محدوده‌ی شهرستان نور، بخش بلده و جنوب غربی آمل قرار گرفته است. شکل (۱-۱) نقشه راه‌های دسترسی به منطقه را نشان می‌دهد.



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

حوضه‌ی نور رود دارای ارتفاع متوسط ۱۴۵۰ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه‌ی ۵۰۰ میلی‌متر است. مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه نهشته‌های سخت نشده کواترنری، توف کرج، سنگ‌های آتشفشانی و واحد سنگی کند (سازند گچی ائوسن) می‌باشد (رستگار و همکاران ۱۳۹۰).

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

آب و هوای یک منطقه نقش بسزایی در کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد، لذا تعیین نوع آب و هوای منطقه مورد مطالعه برای مشخص کردن نحوه تأثیر آن بر روی کیفیت و کمیت آب‌های

سطحی و زیرزمینی امری ضروری می باشد. جدول ۱-۱ مشخصات ایستگاه هواشناسی بلده و ایستگاه-های مجاور و جدول ۲-۱ مقدار بارندگی در ماه‌های مختلف در این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

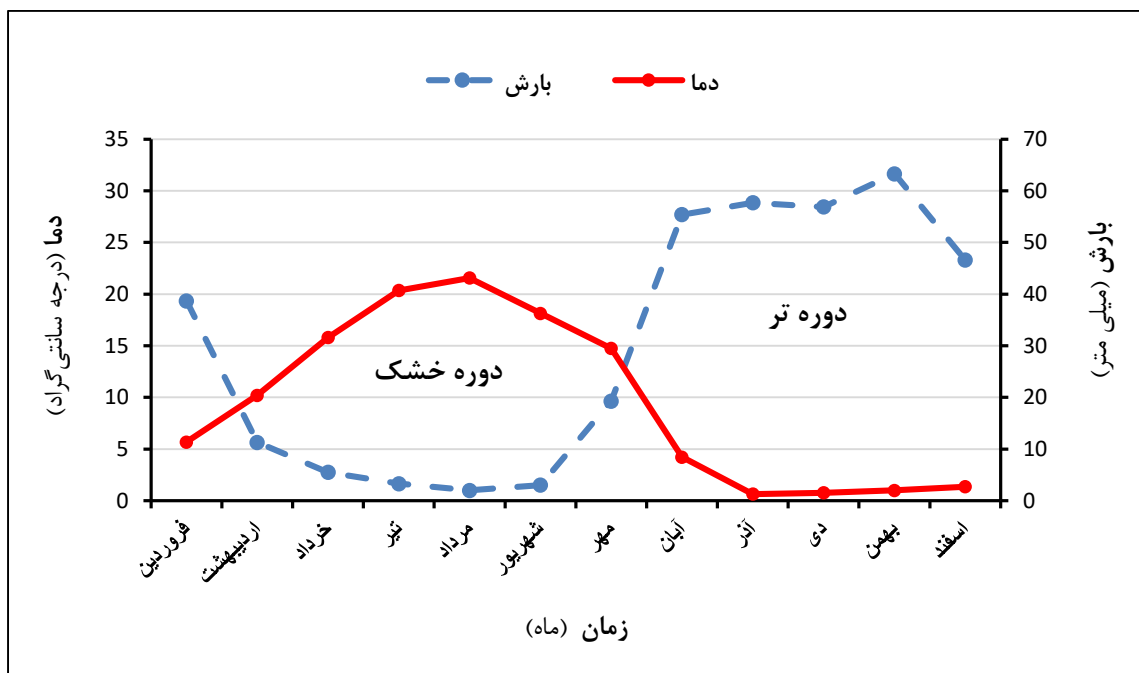
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	حوضه آبرگیر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
۱	بلده	باران سنجی	بلده	۵۲-۰۳	۳۵-۵۲	۲۰۴۳
۲	کجور	باران سنجی	بلده	۵۲-۴۳	۳۶-۲۲	۱۴۹۰
۳	سیاه‌بیشه	باران سنجی	بلده	۵۱-۲۲	۳۶-۱۰	۲۱۱۳

جدول ۲-۱- داده‌های بارش ایستگاه هواشناسی بلده و ایستگاه‌های مجاور

زمان (ماه)	سیاه‌بیشه		کجور		بلده	
	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶
مهر	۳۵/۲	۷/۴	۲۷/۳	۲۶/۸	۹/۲	۰/۷
آبان	۸۶/۱	۴۰/۶	۳۹/۷	۲۲/۸	۲۴/۵	۲۱/۳
آذر	۴۲/۴	۸۳/۵	۲۲/۵	۳۹/۸	۲۲/۱	۳۷/۳
دی	۴۰/۹	۴۸/۸	۳/۹	۵/۰	۱۸/۹	۳۶/۶
بهمن	۳۲/۴	۹۳/۷	۲۹/۹	۲۴/۱	۱۴/۱	۳۲/۹
اسفند	۶۸	۶۵/۵	۵۹/۹	۱۵/۶	۳۲/۴	۵/۹
فروردین	۱۲۵/۳	۹۷/۵	۶۳/۳	۱۲/۰	۵۴/۲	۲۱
اردیبهشت	۵۲/۲	۷۴/۱	۲۳/۱	۴۹/۰	۴۴/۲	۵۸/۴
خرداد	۱۲/۸	۱/۴	۳۵/۰	۰/۰	۱۸/۳	۰/۰
تیر	۱۳/۶	۴۰/۵	۱۸/۳	۳/۸	۶/۵	۴۷/۵
مرداد	۱۲/۳	۴/۶	۵/۳	۰/۰	۰/۳	۰/۲
شهریور	۹/۰	۰/۱	۳/۳	۰/۴	۱۸/۴	۰/۰

۱-۳-۱- نمودار امپروترمیک

در این نمودار تغییرات ماهانه دمای هوا نسبت به تغییرات ماهانه بارندگی در طول یک سال مورد مقایسه قرار می‌گیرد (علیزاده ۱۳۸۴). نمودار امپروترمیک منطقه برای سال آبی ۹۶-۹۵ بر اساس داده‌های ایستگاه بلده ترسیم و در شکل (۱-۲) ارائه شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که از اردیبهشت ماه تا مهرماه منحنی دما بر منحنی بارندگی فزونی دارد و این بازه زمانی دوره خشک محسوب می‌شود و بقیه ماه‌های سال جزو دوره تر قلمداد می‌شوند.



شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه مورد مطالعه

۱-۳-۲- ضریب اقلیمی دمارتن

این ضریب با توجه به عنصر اقلیمی به کار رفته در آن (متوسط دما و بارش سالانه) و تعیین یک مقدار عددی برای یک منطقه، می‌تواند نوع آب‌وهوای آن منطقه را مشخص نماید. دمارتن (De Martonne) با استفاده از متوسط بارندگی (P) و دمای سالانه (T) معادله (۱-۱) را برای ضریب اقلیمی ارائه نمود است. (علیزاده ۱۳۸۴).

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

معادله ۱-۱

در این رابطه P متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در جدول (۱-۳)، طبقه‌بندی دمارتن برای شش نوع آب و هوای غالب ارائه شده است. برای منطقه مورد مطالعه ضریب اقلیمی برابر با ۱۳/۴۳ محاسبه شد و بر اساس طبقه‌بندی دمارتن جدول (۱-۳)، اقلیم منطقه در رده نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. ارتفاع یکی از عوامل مؤثری است که باعث افزایش ضریب اقلیمی دمارتن در منطقه می‌شود به طور کلی با افزایش ارتفاع دما کاهش و بارش افزایش می‌یابد.

جدول ۱-۳- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۹)

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 عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه

زمین‌شناسی یک منطقه تأثیر بسزایی بر محیط‌زیست و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی آن منطقه دارد. لذا با شناخت سازندهای اصلی و تشکیل‌دهنده هر منطقه، مطالعات دقیق‌تر و بهتری نسبت به آن انجام خواهد شد. بررسی‌های صحرایی و زمین‌شناسی یکی از مبانی مطالعه‌ی آب‌های زیرزمینی هر منطقه بوده که به‌وسیله‌ی آن می‌توان نوع آبخوان‌ها، منابع تغذیه و تخلیه و نحوه‌ی ارتباط آب‌های زیرزمینی با سطحی را تا حد زیادی مشخص نمود. منطقه مورد مطالعه در شمال بخش میانی زیرحوضه البرز واقع شده که راستای عمومی این زیرحوضه باختر-شمال باختری است. در همین راستا تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی به‌آرامی شکل گرفته‌اند.

۱-۵- چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

هدف از این بخش شناسایی واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی و بررسی نقش آن‌ها بر روی

سیستم‌های هیدروژئولوژیکی در محدوده می‌باشد. سازندهای منطقه بلده از نظر سنی مربوط به هر سه دوران می‌باشند که سازندهای دوران دوم و سوم بیشتر از دوران اول است. از سازندهای دوره‌ی پرمین می‌توان به سازندهای روته و نسن اشاره کرد. سازند شمشک که در منطقه رخنمون فراوانی دارد از نظر سنی به دوره‌ی ژوراسیک برمی‌گردد. همچنین سازندهای ائوسن که جنس آن‌ها متنوع بوده که از این میان می‌توان به سازند گچی کند و سازندهای زیارت و کرج اشاره کرد. در ادامه سازندهای مذکور به طور مختصر معرفی می‌شوند. شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱-۵-۱- واحدهای پالئوزوئیک

بخش اعظم سازندهای این دوران از ماسه‌سنگ، شیل و سیلستون تشکیل شده که هیچ یک استعداد ایجاد آبخوان را ندارند. بخشی از سازندهای این دوران نیز از آهک‌های نازک لایه تا متوسط لایه تشکیل شده که به دلیل متراکم بودن این آهک‌ها، خردشدگی کم و محدود بودن قابلیت انحلال آن‌ها، تجمع آب در آن‌ها ناچیز بوده و در نتیجه تشکیل آبخوان را نداده‌اند.

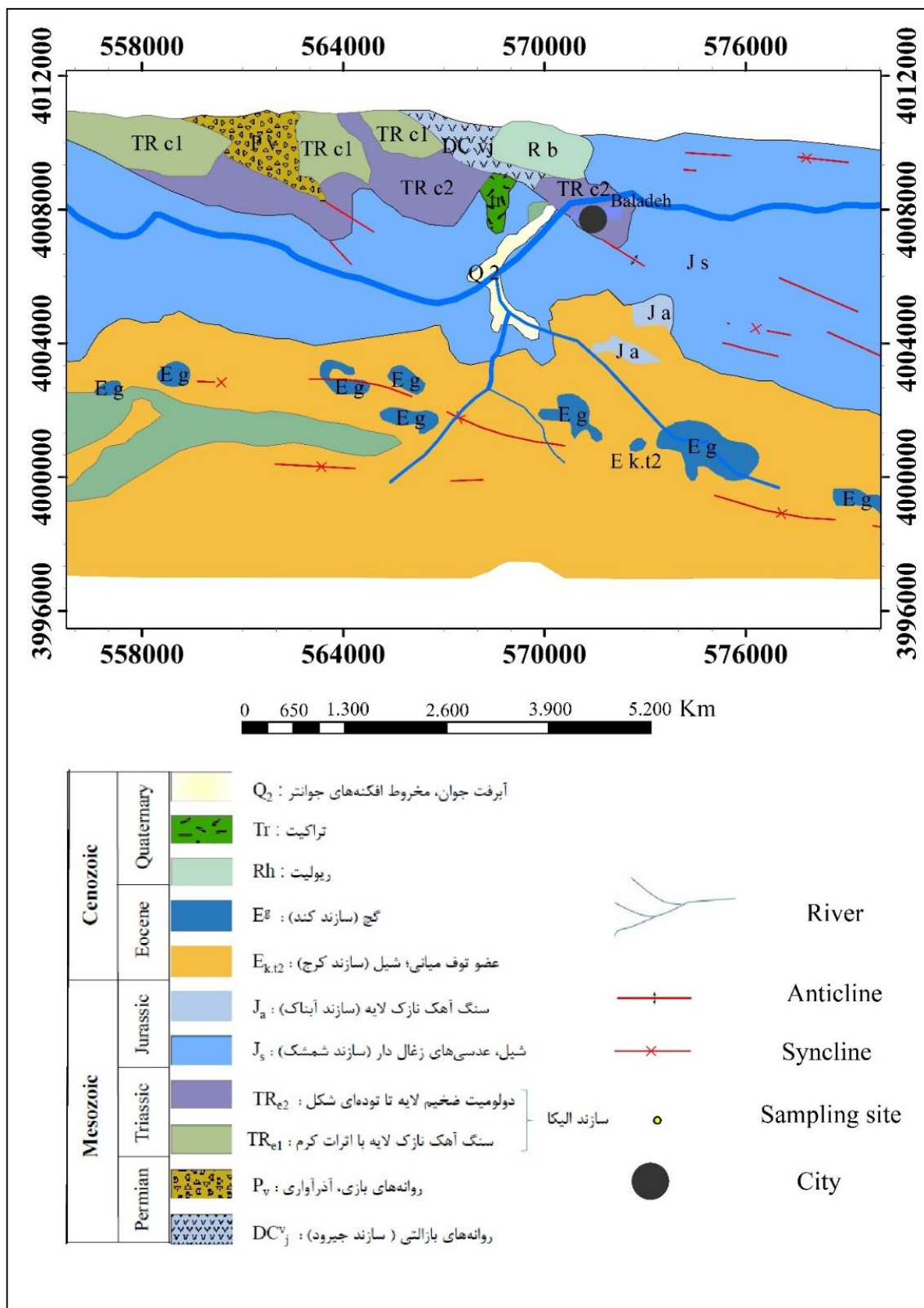
۱-۵-۲- واحدهای مزوزوئیک

سازند جیروود

این سازند دارای سن دونین بالایی بوده و آن را معادل سازند خوش ییلاق می‌دانند. این سازند بر روی سازند میلا قرار داشته و خود به وسیله روانه‌های بازالتی پوشیده می‌شود. این سازند در بخش زیرین شامل رسوبات آواری ماسه‌سنگی، شیلی، سنگ‌آهک ماسه‌ای همراه با یک افق فسفات‌ه و در بخش بالایی شامل سنگ‌آهک‌های سیاه همراه با شیل‌های مارنی می‌باشد (درویش‌زاده ۱۳۷۰).

سازند الیکا

لیتولوژی غالب آن سنگ‌آهک ورمیکولی و دولومیت بوده و سن آن تریاس زیرین تا میانی می‌باشد. علاوه بر بخش‌های آهکی و دولومیتی به ترتی در زیر و در وسط، بخش سومی نیز برای سازند الیکا تعریف شده است که در فوقانی‌ترین قسمت سازند قرار دارد و به آن بخش آهکی ورسک گویند. الیکا را می‌توان با سازندهای سرخ شیل و شتری در ایران مرکزی و سازند خانه‌کت در زاگرس مقایسه کرد. (آقابیاتی ۱۳۸۳).



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه

سازند مبارک

لیتولوژی این سازند بیشتر از سنگ آهک‌های سیاه‌رنگ دارای براکیوپودهای فراوان با تناوبی از شیل در بخش میانی و بالایی و مارن‌های سیاه‌رنگ در بخش قاعده‌ای تشکیل شده است.

سازند شمشک

سازند شمشک یکی از گسترده‌ترین رسوباتی است که در ایران و در شمال راندگی زاگرس ته‌نشین شده است و قسمت اعظم لیتولوژی آن از رس - ماسه‌ای می‌باشد. این سازند شامل ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و کلیستون است. ضخامت کل این سازند ۱۰۲۷ متر و از نظر جغرافیایی سازند شمشک وسعت بزرگی از شمال و مرکز و شرق ایران را می‌پوشاند. حد فوقانی سازند شمشک، بدون مرز واضحی به سازند دلیچای ختم می‌شود و حد زیرین سازند شمشک در مقطع نمونه، روی بخش D سازند جیروود قرار گرفته است و در همه مقاطع سطح تماس زیرین آن با دگرشیبی فرسایشی مشخص می‌شود. سازندهای متعلق به ژوراسیک در البرز میانی از رخساره‌های مردابی، قاره‌ای و دریاچه‌ای حاوی آثار گیاهی فراوان تشکیل شده‌اند و نشان می‌دهند که در این زمان در سراسر این مناطق جنگل‌های انبوه وجود داشته است. به طور کلی رخساره لیاس در البرز تناوبی از لایه‌های ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌های رسی است که در بین آن‌ها لایه‌های زغال‌دار با ضخامت متفاوت قرار دارند (درویش‌زاده ۱۳۷۰).

سازند آهکی لار

از لحاظ لیتولوژی، شامل آهک‌های نازک لایه میکربیتی تا توده‌ای، ولی متراکم به رنگ خاکستری روشن است و حاوی قلوه‌های و یا لایه‌های چرتی به رنگ سفید تا بنفش کم‌رنگ است. ضخامت آن بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر گزارش شده است. حد زیرین سازند آهکی لار به تدریج به سازند دلیچای به رنگ خاکستری ختم می‌شود. حد بالایی آهک‌های لار با یک دگرشیبی زاویه‌دار و سطح فرسایشی قابل توجه، در زیر آهک‌های اربیتولین‌دار سازند تیزکوه، یا آهک کرتاسه فوقانی و حتی ترسیری قرار می‌گیرد. از لحاظ گسترش جغرافیایی، آهک لار از البرز شرقی در شاهرود - سمنان شروع و تا فیروزکوه و البرز مرکزی ادامه پیدا می‌کند. ضخامت آن در البرز شرقی حدود ۱۰۰۰ متر، ولی همان طوری که در بالا ذکر شده

است، در دره لار به ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر کاهش می‌یابد. به‌علاوه، از شمال البرز به سمت جنوب نیز افزایش ضخامت در آن محسوس است. به سمت مغرب از ضخامت آن به تدریج کاسته می‌شود و در دره منجیل به‌کلی از بین می‌رود (درویش‌زاده ۱۳۷۰). بررسی‌های پتروگرافی سازند لار در ارتفاعات جنوبی بهشهر در دره هزار استان تهران نشان می‌دهند که فرایند دولومیتی شدن به‌طور گسترده این سازند را تحت تأثیر قرار داده است (اصغری و همکاران ۱۳۹۳، غضنفری ۱۳۹۵). این لایه آهکی دولومیتی بر روی سازند دلیچای قرار دارد و از شیب آن تبعیت می‌کند و همچنین رخنمون این سازند همانند سازند دلیچای در دامنه جنوبی قابل مشاهده می‌باشد. اگرچه سازند لار و دلیچای از نظر برخی خصوصیات چینه‌شناسی از هم تفکیک می‌شوند ولی از آنجا که در بین این دو لایه، هیچ مانع هیدرولیکی وجود ندارد از نظر علم هیدروژئولوژی می‌توان آن‌ها را به‌عنوان یک آبخوان یا واحد هیدرواستراتیگرافی نیز معرفی نمود..

۱-۵-۳- واحدهای سنوزوئیک

سازند آبناک

لیتولوژی غالب آن سنگ‌آهک و دولومیت می‌باشد و معادل جانبی دو سازند دلیچای و لار است. آهک آن قیری و دولومیت‌های ضخیم لایه است. این سازند نوعی نهشته‌های ریفی محیط دریایی سازند لار است و به‌صورت دگرشیبی به نهشته‌های کرتاسه (سازند تیزکوه) می‌رسد. (آقانباتی ۱۳۸۳).

سازند کرج

مقطع نمونه سازند کرج در دره کرج کنار جاده چالوس، در دو مقطع انتخاب و مطالعه شده است. به نظر واتان و یاسینی (Vatan and Yasini 1969)، این سازند کاملاً استثنایی تقریباً در تمام حجم خود از مواد آذرآواری زیردریایی تشکیل شده که همراه آن از طرفی مواد آتشفشانی و نفوذی نظیر گدازه، دایک، سیل، آگلومرا و غیره و از طرفی دیگر مواد رسوبی واقعی نظیر شیل و آهک دیده می‌شود. آنچه در این سازند اهمیت دارد توف‌های سبزرنگی است که در نتیجه ته نشین شدن موارد حاصل از انفجار

آتش فشانی در نزدیکی سطح دریا به وجود آمده است. ضخامت کل مقطع نمونه ۳۳۰۰ متر می باشد. به طور کلی سن سازند کرج از اواسط تا اواخر ائوسن میانی و در برخی نقاط ممکن است تا اواخر ائوسن تخمین زده شود. مرز زیرین سازند کرج با سازند زیارت هم شیب، ولی مرز فوقانی آن در دهکده کند با دگرشیبی فرسایشی همراه است (درویش زاده ۱۳۷۰).

سازند زیارت

این سازند که از کنگلومرا و سنگ آهک (پالئوسن-ائوسن) تشکیل شده است. آهک آن ضخیم لایه تا توده ای با فسیل نومولیت و دیسکوسیکلینا و آلئولینیده بوده و زیر آن لایه های از ژئوپس وجود دارد.

سازند کند

توده های گچ که هم ارز گچ منطقه کندوان و گچسر می باشد. از نکات شایان توجه درباره پیدایش گچ ها، جای گرفتن آن ها در یک راستای خاوری-باختری که در میان سنگ های ولکانیک و نهشته های آذرآواری ائوسن واقع شده است. بیشترین گسترش و حجم گچ ها در جنوب بلده است که می تواند منابع بزرگی جهت استخراج و بهره برداری به شمار آید.

توده های نفوذی و سنگ های آذرآواری

کهن ترین گدازه های کواترنری دماوند از نوع بازالت قلیایی است. سنگ های آواری و اپیکلاستیک دماوند بیشتر حدواسط تا اسیدی هستند. حجم اصلی کوه را سنگ هایی تشکیل می دهند که حد واسط هستند و مقدار سنگ های بازیک بسیار کمتر است، در نتیجه فراوان ترین گدازه های دماوند از نوع تراکیت است. سنگ های دماوند آکالی و سدیم آنها بیشتر از پتاسیم است و از قدیم به جدید شامل بازالت، آندزیت و تراکیت است.

رسوبات آبرفتی کواترنری

طی دوره نئوژن، حرکات مهم تکتونیکی ناشی از کوهزایی‌های آلپی، شکل و وضع حوضه‌های رسوبی را تغییر داد و سبب شد تا برخی از پادگان‌های آبرفتی نسبت به سطح اساس فرسایش محلی تا ۲۰۰ متر بالاتر قرار گیرند (نبوی ۱۳۵۵). در واقع موقعیت قرارگیری این آبرفت‌ها، خود معرف اهمیت فرسایش رودخانه‌ای و حرکات قائم به‌ویژه در البرز می‌باشد در عین حال می‌تواند شاهدی بر حرکات شدید تکتونیکی و تغییرات آب و هوایی در پهنه کشور به حساب آید (درویش‌زاده ۱۳۷۰).

پادگان‌های آبرفتی یا تراس‌ها

در اطراف تهران پادگان‌های آبرفتی متعدد دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به پادگان‌های کنار رودخانه جاجرود، دره لار، مشرق پارچین، کند بالا و لشکرک اشاره نمود. ضخامت برخی از تراس‌های اطراف تهران به ۴۰ الی ۲۰۰ متر می‌رسد. از عوامل پیدایش تراس‌های آبرفتی تهران می‌توان، اثر جنبش‌های کوهزایی مداوم در ایران و وجود باران‌های شدید در ارتباط با مراحل یخچالی را نام برد (درویش‌زاده ۱۳۷۰).

۱-۶- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه‌ی مورد مطالعه

ورقه بلده در شمال بخش میانی کوهزایی البرز جای گرفته است. راستای همگانی ساختارهای ناحیه باختر- شمال باختری است و سیمای عمومی آن از گسلش‌های راندگی و چین‌خوردگی پدید آمده است. یکنواختی کلی الگوی دگرریختی در واحدهای سنگی با سن‌های گوناگون نشان می‌دهد یک مرحله اصلی دگرریختی در ناحیه رخ داده است که همانند بسیاری از جاهای دیگر البرز از الیگوسن آغاز شده است و تاکنون ادامه دارد. مهم‌ترین چین‌های ناحیه از جنوب به شمال عبارت‌اند از ناودیس رستم چال، ناودیس سو در، شکرلقاز و سنگ‌نو که روند محور همه‌ی این چین‌ها خاوری- باختری تا باختر-شمال باختری است. گسل‌های مهم ناحیه از جنوب به شمال عبارت‌اند از راندگی سیاه‌چال،

راندگی جنوب کوه قبله، راندگی کوه قبله، راندگی میش چالک، راندگی رستم چال، راندگی بردون و راندگی تاشر. راستای گسل‌های ناحیه نیز به‌طور عمومی، خاوری-باختری است. در این میان گسل‌های راندگی با شیب به‌سوی جنوب از اهمیت بیشتری برخوردارند؛ اما گسل‌های راستا لغز و عادی نیز به‌طور فرعی در کنار گسل‌های راندگی به چشم می‌خورد.

۷-۱- ژئومورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه

با توجه به ارتباط نزدیک اشکال ژئومورفولوژیکی مناطق کارستی و تکامل آبخوان کارستی، بررسی‌های ژئومورفولوژی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند. گسترش سازندهای آهکی با ضخامت زیاد، آب و هوای مساعد توسعه کارست و تکتونیک فعال، شرایط نسبتاً مناسبی برای ایجاد و گسترش سیستم هیدژئولوژیکی در محدوده مورد مطالعه فراهم آورده است. فرآیند کارستی شدن در سازندهای تبخیری مانند ژیبس و نمک نیز اتفاق می‌افتد. در صورتی که نمک در تماس با آب قرار گیرد انحلال یافته و پدیده‌های کارستی در آن شکل می‌گیرد اما به علت انحلال‌پذیری بالای نمک (۳۳۰ گرم بر لیتر)، کارست پایدار در جایی ایجاد می‌شود که عوامل هوازدگی به‌کندی بر روی آن تأثیرگذار باشند؛ بنابراین، از مهم‌ترین فرآیندهای انحلال نمک و در نتیجه ایجاد کارست، Suberosion انحلال عمقی می‌باشد. معمولاً به دلیل کمتر بودن مقاومت مکانیکی گچ نسبت به آهک، توسعه کارست و ظهور پدیده‌های کارستی در گچ نسبت به آهک سریع‌تر رخ می‌دهد. با توجه به بازدیدهای صورت گرفته در منطقه می‌توان به عوارض کارستی مانند کارن (Karren)، دولین (Doline)، دره خشک (Dry valley)، آبروچاله (Sinkhole)، چشمه‌های کارستی (Karst springs) و پولیه (Polje) اشاره کرد.

ژئومورفولوژی هر منطقه را می‌توان با توجه به تقسیم‌بندی زیر به بخش‌های مختلف تقسیم کرد.

(۱) کوهستانی (M): اگر منطقه مورد مطالعه از اطراف خود ۵۰۰ متر بالاتر واقع شده باشد مورفولوژی کوهستانی قرار می‌گیرد.

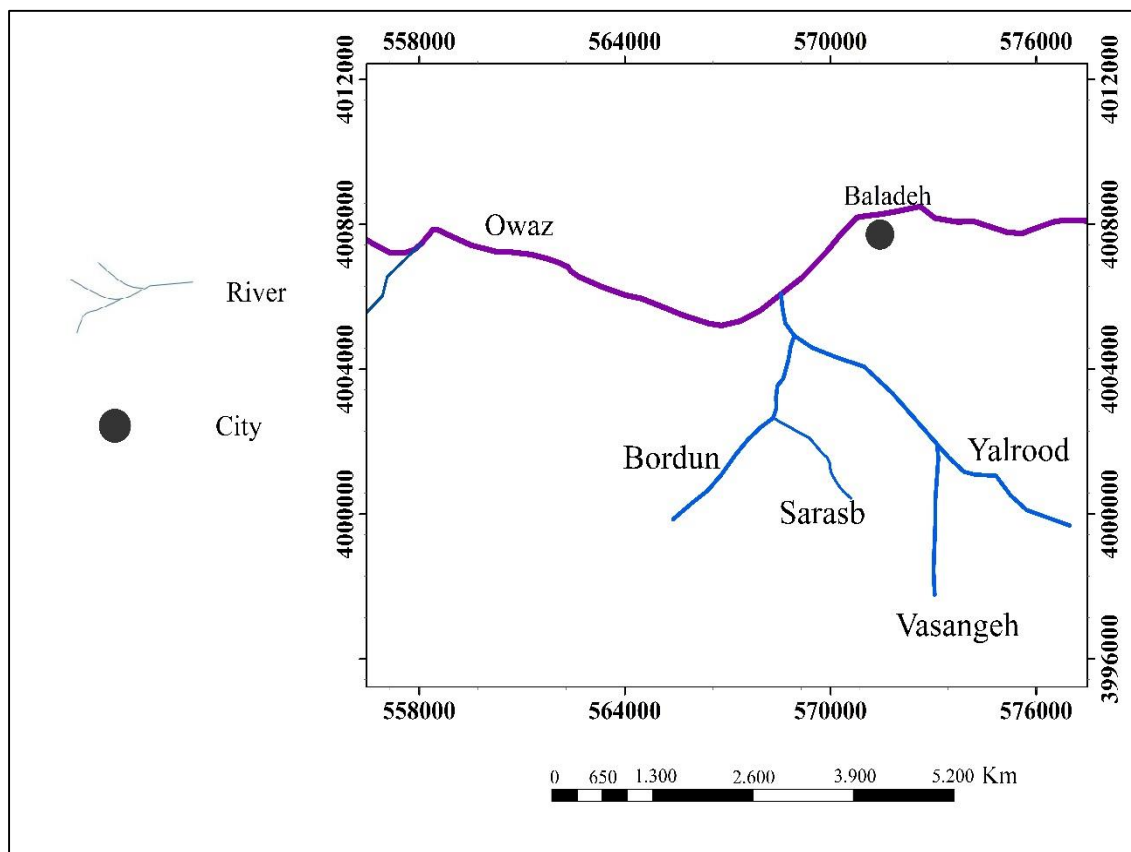
(۲) تپه‌ماهور (H): اگر منطقه مورد مطالعه از اطراف خود اختلاف ارتفاعی بین ۵۰-۵۰۰ متر را داشته باشد جزو مورفولوژی تپه‌ماهور قرار می‌گیرد.

۳) دشت (P): اختلاف ارتفاع منطقه‌ای اگر کمتر از ۵۰ متر از اطراف خود باشد، از لحاظ تقسیم‌بندی مورفولوژی جزو دشت قرار می‌گیرد.

۴) رودخانه (R): رودخانه نیز خود یک مورفولوژی در تقسیم‌بندی مورد اشاره محسوب می‌شود. با توجه به تقسیم‌بندی فوق منطقه‌ی مورد مطالعه را می‌توان از نظر ژئومورفولوژی، کوهستانی نامید.

۱-۸- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

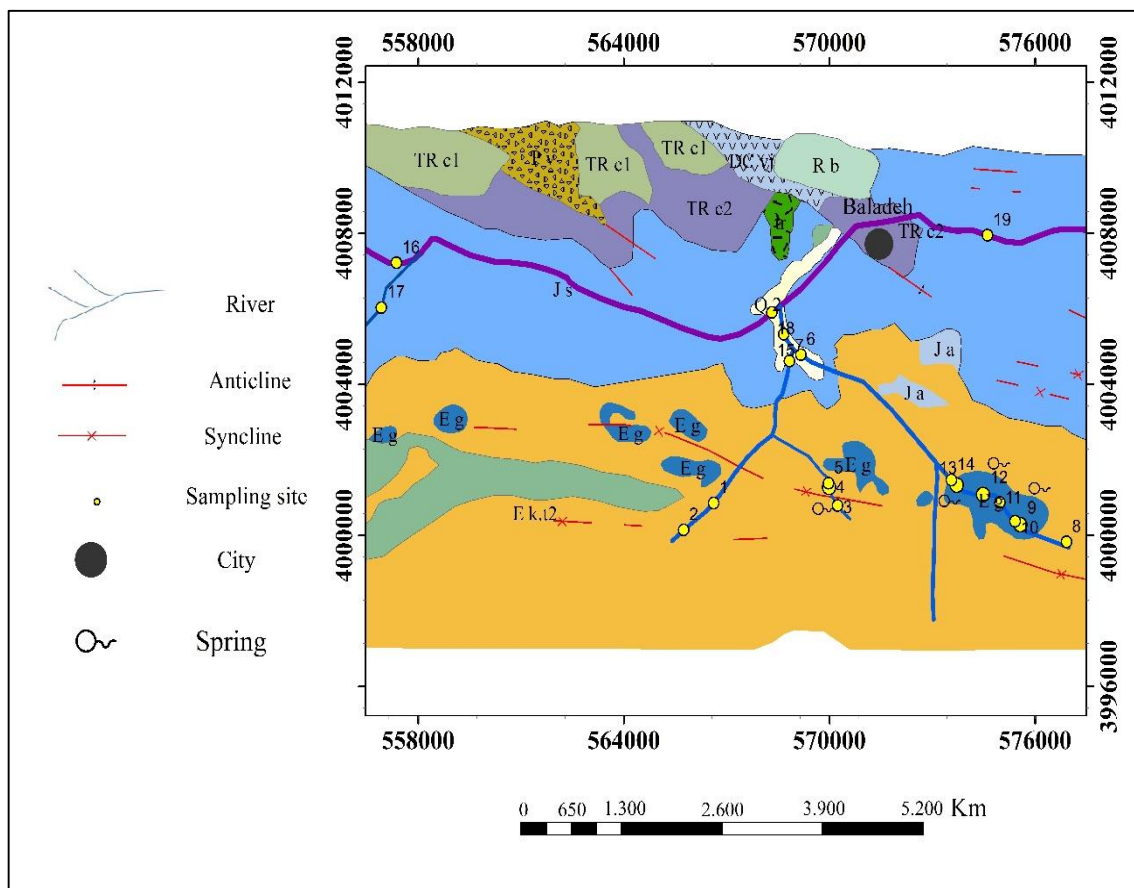
منابع آب سطحی در شهرستان بلده شامل رودخانه می‌باشد که آب آن از کوه‌های منطقه سرچشمه گرفته و پس از طی مسیر خود در رودخانه بلده (نوررود) ریخته می‌شوند و این رودخانه نیز خود به رودخانه هراز تخلیه می‌شود. رودخانه نوررود، رودخانه دائمی است که از دامنه‌های غربی ارتفاعات منطقه سرچشمه می‌گیرد. جهت اصلی جریان آب رودخانه بلده از سمت غرب به سمت شرق بوده که در نهایت به داخل رودخانه هراز تخلیه می‌شود، همچنین جهت جریان در برخی از سرشاخه‌های رودخانه بلده به صورت جنوبی غربی و جنوب شرقی بوده که به داخل رودخانه بلده تخلیه می‌شوند. خط تقسیم آب در جنوب منطقه قرار گرفت است، این خط تقسیم افزون بر ویژگی‌های آبشناختی، مرزی است میان زمین‌ریخت‌های ناهمسان شمال و جنوب منطقه که در شمال آن بارندگی قابل توجه باعث فرسایش تندتر این بخش نسبت به بخش جنوبی منطقه شده است. شکل ۱-۴ رودخانه‌های اصلی و فرعی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- نمایی از رودخانه‌های مهم در منطقه مورد مطالعه

۹-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم‌ترین منابع آبی پایدار سازندهای سخت می‌باشند که آبخوان‌های کربناته نیز در این سیستم قرار می‌گیرند که با نام سیستم کارستی نیز شناخته می‌شوند. آبخوان منطقه مورد مطالعه نیز جزو آبخوان‌های کارستی است که لیتولوژی غالب آن را سازند گچی کند تشکیل می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه به غیر از مناطق محدود که با وسعت اندکی در مجاورت رودخانه‌ها شکل گرفته است، آبخوان‌های آبرفتی وجود ندارند. شکل (۱-۵) نقشه زمین‌شناسی و موقعیت محل نمونه‌برداری و نیز موقعیت چشمه‌های گچی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت چشمه‌ها و محل نمونه‌برداری آب سطحی

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

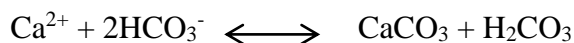
آب مایه حیات است، این جامع‌ترین جمله‌ای است که معنای وسیع و اهمیت حیاتی آب را هم برای انسان و هم برای سایر موجودات زنده بیان می‌دارد. افزایش روزافزون جمعیت و نیاز بیشتر به آب با کاهش این منبع و به تبع آن رویکردهای جدید برای مدیریت آب را به همراه دارد. در قرن اخیر، آب را طلای آبی می‌توان نامید و شاید اهمیت آن را بتوان از طلای سیاه (نفت) نیز بالاتر دانست. این واقعیتی انکارناپذیر است که انسان بدون آب دوام نمی‌یابد و توسعه با تنگنای آبی راه را به بن‌بست خواهد کشید. بر این مبنا است که باید تلاش‌های آینده به توسعه ابزارهای عملی برای مدیریت منابع آب و حفاظت از آن (چه از منظر آلودگی و چه از نظر کاهش مخازن آبی) معطوف شود. در این راستا توجه به منابع آب زیرزمینی و همچنین منابع آب کارستی که حدود یک چهارم آب شرب جهان از منابع کارستی تأمین می‌شود مورد اهمیت واقع می‌شود (Ford and Williams 2007). کارست عبارت است از گستره‌ای با مورفولوژی مشخص و یک سیستم زهکش زیرزمینی که از حلالیت بالای برخی از سنگ‌ها در آب‌های طبیعی حاصل می‌شود. نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به‌ویژه سنگ‌آهک) توسعه پیدا می‌کند و علاوه بر این در روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند (مانند سنگ گچ) نیز ایجاد می‌شوند (Karami 2002). فرآیند کارستی شدن با عمل شیمیایی انحلال توده‌سنگ در امتداد بازشدگی‌های ثانویه سنگ‌ها و انتقال کلسیت قابل حل، به‌وسیله فرآیندهای خوردگی که در مراحل اولیه فرآیند، ابعاد کوچکی دارند شروع می‌شود. مجاری کارستی با عریض شدن این بازشدگی‌های ثانویه در سنگ‌ها تشکیل می‌شوند؛ بنابراین مهم‌ترین مجاری آب در فرآیند کارستی شدن تشکیل و شرایط برای ایجاد جریان متلاطم فراهم می‌شود (Millanovich 1981). واژه کارست رابطه مستقیمی با سنگ‌های کربناته، به‌ویژه سنگ‌های آهکی و دولومیتی دارد، هر چند که فرآیند کارستی شدن در سازندهای تبخیری مانند ژیپس و نمک نیز اتفاق می‌افتد. با وجود این، کارست واژه مترادفی برای سنگ‌های کربناته، سنگ‌های آهکی، دولومیتی و انواع دیگر سنگ‌هاست؛ اما سنگ‌آهک مهم‌ترین سنگی است که در فرآیند کارستی شدن کارساز است. در صورتی که نمک در تماس با آب قرار گیرد انحلال یافته و پدیده‌های کارستی در آن شکل می‌گیرد اما به علت انحلال‌پذیری بالای نمک (۳۳۰ گرم بر

لیتر)، کارست پایدار در جایی ایجاد می‌شود که عوامل هوازدگی به کندی بر روی آن تأثیرگذار باشند؛ بنابراین از مهم‌ترین فرآیندهای انحلال نمک و در نتیجه ایجاد کارست، Suberosion یا انحلال عمقی است. میزان انحلال گچ ۳۰-۱۰ برابر بیشتر از آهک است (Bogli 1980). معمولاً به دلیل کمتر بودن مقاومت مکانیکی گچ نسبت به آهک، توسعه کارست و ظهور پدیده‌های کارستی در گچ نسبت به آهک سریع‌تر رخ می‌دهد (وایت ۱۹۸۸). اگرچه تمرکز اصلی در تحقیقات کارست بر روی سنگ‌های کربناته و آهکی می‌باشد ولی مطالعه در مورد کارست‌های تبخیری مانند گچ و نمک نیز به تدریج افزایش یافته است (Guterrezand and cooper 2013).

۲-۱- انحلال‌پذیری و کارستی شدن در سنگ‌های کربناته

سنگ‌های آهکی بهترین نمونه از تمام سنگ‌های کربناته هستند. این سنگ‌ها بیشتر از کانی کلسیت تشکیل می‌شوند، ولی سنگ‌های آهکی که تنها از کلسیت خالص تشکیل شده باشند به ندرت یافت می‌شوند. در فرآیند کارستی شدن انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی با درجه خلوص آن‌ها افزایش می‌یابد.

عامل اصلی انحلال‌پذیری کربنات کلسیم در آب اسید کربنیک است:



این واکنش دوطرفه است و انحلال‌پذیری سنگ‌آهک به غلظت H_2CO_3 بستگی دارد که خود نیز به غلظت CO_2 در آب وابسته است. بخشی از اسید کربنیک که مستقیماً در انحلال سنگ‌های کربناته دخالت دارد به اسید کربنیک تهاجمی معروف است. علاوه بر افزایش سرعت، جریان متلاطم سطح تماس آب با سنگ و مدت زمان تماس (زمان ماندگاری) نیز باعث افزایش و تسریع فرآیند انحلال می‌شود (Millanovich 1981).

۲-۲- انحلال پذیری در کارست‌های تبخیری

۲-۲-۱- کارست گچی

میزان انحلال گچ ۱۰-۳۰ برابر بیشتر از آهک است (Bogli 1980). معمولاً به دلیل کمتر بودن مقاومت مکانیکی گچ به نسبت آهک، توسعه کارست و ظهور پدیده‌های کارستی در گچ نسبت به آهک سریع‌تر رخ می‌دهد (White 1988). از مهم‌ترین مناطق دارای توسعه کارست گچی در ایران می‌توان به محدوده زاگرس اشاره نمود. کارست‌های کربناته ۲۳ درصد از محدوده زاگرس را شامل می‌شوند، اما در بخش‌های از منطقه زاگرس نیز گستره‌هایی از کارست‌های تبخیری رخنمون دارند (Ashjari and Raeisi 2006). از مهم‌ترین مناطقی که در اروپا دارای رخنمون کارست گچی می‌باشند می‌توان به سورباس (Sorbas) در اسپانیا، بولونیا (Bologna) در ایتالیا، منطقه سانتانیفا (Santa Nifa) در ایتالیا و غیره اشاره کرد. توسعه همه این کارست‌ها مربوط به دوره نئوژن می‌باشد، اگرچه توسعه کارست‌های گچی به صورت غیرمعمول در دوره تریاس نیز وجود دارد (Calaforra et al. 2002).

۲-۲-۲- کارست نمکی

در صورتی که نمک در تماس با آب قرار گیرد انحلال یافته و پدیده‌های کارستی در آن شکل می‌گیرد اما به علت انحلال‌پذیری بالای نمک (۳۳۰ گرم بر لیتر)، کارست پایدار در جایی ایجاد می‌شود که عوامل هوازدگی به کندی بر روی آن تأثیرگذار باشند؛ بنابراین از مهم‌ترین فرآیندهای انحلال نمک و در نتیجه ایجاد کارست، Suberosion یا انحلال عمقی می‌باشد. به‌طور کلی پارامترهایی که منجر به ایجاد کارست نمکی می‌شوند شامل موارد زیر است:

انحلال عمقی (Suberosion): از مهم‌ترین فرآیندهای انحلال نمک می‌باشد. این فرآیند که در عمق صورت می‌گیرد منجر به ایجاد انواع پدیده‌های کارستی می‌شود.

بارش: علاوه بر ایجاد حجم زیادی آب به‌عنوان حلال، با ایجاد چرخش‌های عمیق در گنبد‌های نمکی فرآیند انحلال را سرعت می‌بخشد و گاه‌ها مجراهایی برای عبور آب را ایجاد می‌کند.

چشمه‌ها: چشمه‌ها عموماً به‌عنوان خروجی در تسریع فرآیند انحلال نقش مؤثری ایفا می‌کنند. در صورتی که چشمه‌ها از نوع گرمابی باشند، می‌توانند به‌عنوان عاملی تسریع‌کننده در توسعه کارست عمل کنند.

۲-۳- مطالعات انجام‌شده در ارتباط با هیدروژنوشیمی کارست‌های تبخیری

اکبری و باقری (۱۳۹۵) با ارزیابی هیدروژنولوژی و هیدروژنوشیمی تالاب برم‌شور (خوزستان -ایده) به‌عنوان یک عارضه‌ی کارستی و بر اساس تحلیل نمودار گیبس در سه دوره آماری به این نتیجه دست یافتند که مهم‌ترین فرآیند مؤثر در ترکیب شیمیایی آب تالاب در اکثر نمونه‌ها، هوازگی و انحلال سازندها (واکنش متقابل آب و سنگ) است. آب تالاب در مقایسه با استاندارد آب شرب، کیفیت لازم را برای مصرف شرب دارا نمی‌باشد درحالی‌که کیفیت مناسبی برای آبیاری اراضی کشاورزی دارا می‌باشد. نمونه‌های که آب تالاب برم‌شور بر اساس استاندارد WHO نسبت به عناصر AS، Zn، Pb آلوده می‌باشند، در حالی‌که نسبت به استاندارد FAO زیر حد مجاز استاندارد قرار دارند.

استواری و بیگی (۱۳۹۱) با بررسی تأثیر سازند گچساران بر روی آب زیرزمینی دشت لردگان و کیفیت آب منطقه به این نتایج دست یافتند که کاتیون غالب منیزیم و بی کربنات آنیون غالب آبخوان می‌باشد. سازند گچساران به دلیل داشتن کانی‌های ژپس و هالیت تأثیر زیادی بر روی کیفیت آب زیرزمینی داشته و باعث افزایش مواد محلول شده‌اند؛ بنابراین مهم‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه واکنش بین آب و سازندهای زمین‌شناسی است.

رقیمی (۱۳۸۹) کاربرد هیدروژنوشیمی در شناسایی کانی‌های تبخیری دریاچه شور اینچه در بخش شمالی آق‌قلا در استان گلستان را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار EC به ترتیب برابر با ۴۴۶۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در بخش شرقی دریاچه و ۲۵۰۰۰ در بخش حاشیه جنوبی می‌باشد. با توجه به محدوده تغییرات هدایت الکتریکی و همچنین مقدار کل مواد جامد محلول بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آب دریاچه اینچه در رده آب‌های بسیار شور قرار می‌گیرد.

علت این موضوع را می‌توان ناشی از تبخیر به‌عنوان مهم‌ترین عامل و همچنین وجود کانی‌های هالیت‌دار، ژیپس، کلسیت و سیلویت در حاشیه دریاچه عنوان کرد.

زارعی و اژدری (۱۳۸۵) گسترش سازند گچساران و رسوبات حاوی نمک‌های انحلال‌پذیر این سازند در حوضه سد ابوالفارس واقع در شهرستان رامهرمز، استان خوزستان را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که علیرغم وجود چند چشمه کارستی با دبی بالا و کیفیت عالی در سرشاخه‌های رودخانه ابوالفارس، آب این رودخانه برای مصرف شرب نامناسب بوده و ساکنین منطقه با کمبود آب شرب مواجه هستند. تمام منابع آب سطحی حوضه سد ابوالفارس دارای الگویی هستند که در آن آنیون غالب سولفات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشد که نشان‌دهنده انحلال ژیپس در منطقه است.

رئیزی و همکاران (Raeisi *et al.* 2013) با بررسی انحلال لایه‌های نمکی - ژیپسی سازند گچساران در محدوده سد گتوند علیا، مشاهده کردند که تماس آب رودخانه با لایه‌های نمک و ژیپس سازند تبخیری مجاور کیفیت آب رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

پو و همکاران (Pu *et al.* 2013) ضمن مطالعه کیفیت و شیمی آب یک آبخوان کارستی در کشور چین و بررسی منشأ سولفات موجود در آن، مشاهده کردند که علاوه بر عوامل انسان‌زاد مانند تخلیه فاضلاب و مصرف کودهای شیمیایی، یکی از عوامل اصلی کنترل مقدار سولفات منابع آب، انحلال ژیپس و کانی‌های سولفیدی می‌باشد.

ا قدم و همکاران (Aghdam *et al.* 2012) با بررسی تأثیر سازندهای تبخیری بر کیفیت آب رودخانه کارون در مسیر دره عنبل (به طول ۴ کیلومتر)، دریافتند که با ورود آب کارون به دره عنبل به دلیل تماس آب با واحدهای گچ و نمک سازند گچساران تیپ آب از بیکربنات کلسیک و مقدار کل مواد جامد محلول از ۰/۴ گرم بر لیتر به سولفات کلسیم دار با مقدار کل مواد جامد محلول تغییر می‌کند. این محققین علت این موضوع را در دو فرضیه، انحلال واحدهای گچ و نمک در منطقه و شور شدن آب زیرزمینی ورودی به رودخانه، و نفوذ آب رودخانه کارون از طریق شکستگی‌ها به سازند تبخیری مجاور و سپس ورود آب از طریق چندین چشمه به رودخانه بیان کردند.

دوقان و اوزل (Dogan and Ozell 2005) کارست گچی و ژئومورفولوژی منطقه هفیک در کشور ترکیه را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که در شرق منطقه هفیک تعداد زیادی از پدیده‌های کارستی مانند دولین، کارن، چشمه‌های کارستی، غار و غیره قابل مشاهده می‌باشد که نشانگر انحلال و توسعه بالای کارست در منطقه است. وجود کارست‌های جوان و بالغ و همچنین ۷ دولین کارستی با ضخامت و عمق‌های متفاوت، گواه بر توسعه بالای کارست گچی در منطقه هفیک می‌باشد.

کوچی و زینی (Cucchi and zini 2002) با بررسی مورفولوژی کارست ژپسی محدوده رودخانه کرخه در استان خوزستان، مشاهده نمودند که در محور ناودیس سازند گچساران رخنمون‌هایی از غار، فروچاله، دولین و غیره دیده می‌شود. همچنین وجود یک‌لایه ضخیم گچ در تماس با سازند آسماری باعث ایجاد غارها و گودال‌هایی بزرگ و در نتیجه توسعه کارست گچی در منطقه شده است.

گونای (Gunay 2002) با مطالعه کارست گچی منطقه سیواس در کشور ترکیه و تأثیر آن بر روی کیفیت منابع آبی اطراف، به این نتیجه رسید که کیفیت آب چشمه‌های موجود منطقه سیواس به دلیل تماس با کارست‌های گچی اطراف نامناسب بوده و هدایت الکتریکی آن حدود ۱۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. همچنین کیفیت آب دریاچه‌های لوتای شرقی، لوتای غربی، هفیک، تودورق و رودخانه کیزیلیماک که در مسیر انحلال گچ قرار گرفته‌اند نامناسب بوده و کیفیت لازم را جهت مصارف شرب و کشاورزی ندارند.

طبق مطالب بالا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انحلال کارست‌های تبخیری مانند گچ و نمک می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در شوری منابع آب سطحی و زیرزمینی باشد. سازند گچساران، سازند ساچون، قرمز بالایی و پایینی و سازند کند به دلیل لیتولوژی خاص (نمک، گچ و میان لایه‌های از انیدریت)، از مهم‌ترین کارست‌های تبخیری در منطقه زاگرس و البرز می‌باشند، که به دلیل تماس و انحلال لایه‌های ضخیم گچ و نمک، بسیاری از منابع آبی را تحت تأثیر قرار داده و باعث از بین رفتن کیفیت آب شده و همچنین قابلیت استفاده آن‌ها جهت مصارف شرب، آبیاری و نیز کاهش داده است.

۲-۴- مطالعات انجام شده در ارتباط با ژئومورفولوژی کارست‌های تبخیری

سیمای کارستی اکثراً در سنگ‌های کربناته توسعه‌یافته دیده می‌شود ولی می‌تواند در سایر سنگ‌ها مانند نمک یا گچ نیز دیده شود. مورفولوژی کارست‌های گچی که معمولاً به همراه کارست‌های نمکی دیده می‌شوند به علت داشتن قابلیت انحلال بالا و همچنین حالت خمیری و انعطاف‌پذیری، متمایز از کارست آهکی است که به طور معمول در عمق تشکیل می‌شوند. گچ و نمک موجود در سازندها پدیده‌های کارستی را کنترل می‌کنند و در تشکیل بعضی از اشکال کارستی در مناطقی که توسعه دارند، نقش ایفا می‌کنند. اگرچه کارست‌های گچی بسیاری از ویژگی‌های کارست کربناته را داراست ولی بیشتر به دلایل ذکرشده در ذیل دارای اهمیت می‌شوند.

(۱) میزان بیشتر انحلال گچ نسبت به کلسیت و دولومیت

(۲) پایین بودن مقاومت گچ نسبت به سنگ‌های کربناته

(۳) انعطاف‌پذیر بودن گچ نسبت به سنگ‌های کربناته

(۴) توالی گچی معمولاً شامل دیگر مواد نمکی انحلال‌پذیر (سیلویت، هالیت، گلابوریت) می‌باشد

محمدیان و همکاران (۱۳۹۰)، بر اساس تحقیقی که بر روی تخریل، لیتولوژی، مقاومت تراکمی، مقاومت کششی و دوام آهک و ژئوپس صورت گرفته است به این نتایج دست یافتند که، ژئوپس‌های گچساران قابلیت بیشتری نسبت به آهک آسماری جهت گسترش کارست دارند. همچنین یک طبقه‌بندی جدید بر اساس لیتولوژی با عنوان کارست پایدار و کارست ناپایدار ارائه گردید که بر اساس آن کارست در آهک، پایدار و کارست در ژئوپس، ناپایدار است.

کوپر و همکاران (Copeer et al. 2012) با بررسی بر روی مورفولوژی و کارست‌های گچی در مناطق مختلف و همچنین در مقایسه با کارست سنگ‌های کربناته به این نتایج دست یافتند که وجود میان‌لایه‌های گچی در سازندهای مختلف در کنترل ایجاد اشکال کارستی نقش مهمی داشته و باعث بوجود آمدن پدیده‌های کارستی توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته مانند کارن‌ها، فروچاله‌ها، پولیه‌ها و سایر پدیده‌ها می‌شود که هم در مقیاس کوچک و هم در مقیاس وسیع در حال رخداد هستند و همچنین

سرعت تغییرات در گچ بسیار سریع تر از کارست‌های کربناته است که باعث می‌شود کارست‌های گچی ناپایدارتر از کارست‌های کربناته باشند.

دوقان و اوزل (Dogan and Ozell 2005) با بررسی ناحیه‌ی سیواس و محیط اطراف که مهم‌ترین کارست گچی در ترکیه است به نتایج زیر دست یافتند. فروچاله‌های انحلالی و ریزشی، دره‌های خشک، چشمه‌ها، غارها و همچنین و پلیه‌ها از عوارض مهم کارستی در این ناحیه می‌باشد. وجود چندین فاکتور کنترل‌کننده باعث افزایش و توسعه‌ی کارست در منطقه شده است که از جمله‌ی این عوامل می‌توان به شرایط بارشی و همچنین توده‌ای بودن سازندهای ناحیه اشاره کرد.

گونای (Gunay 2002) با بررسی کارست گچی در ناحیه‌ی سیواس ترکیه به این نتایج دست یافتند. ناحیه سیواس به لحاظ ژئومورفولوژیکی و عوارض کارستی (فروچاله‌های انحلالی، چشمه‌هایی با دبی بالا و همچنین دریاچه‌های خشک و دارای آب که در اثر انحلال و فرونشست به وجود آمده‌اند) که در لایه‌های گچ و نمک ایجاد شده‌اند باعث شده این مکان به ویژه در جهان شناخته شده باشد. وجود عوارض نامبرده باعث کاهش کیفیت آب شرب و کشاورزی شده و همچنین نشان‌دهنده‌ی توسعه‌یافتگی کارست در این ناحیه می‌باشد که یکی از دلایل مهم آن نرخ بالای انحلال در این نوع از سازندها می‌باشد.

کالافورا و بوش (Calaforra and Bosch 2002) بر اساس تحقیق صورت گرفته بر روی سازند گچی در ناحیه سورباس (Sorbas) ترکیه، به این نتایج دست یافتند که این ناحیه در ابتدا، به یک صورت آبخوان چندلایه نیمه محبوس بوده که بعد از افت سطح پیرومتریک به غارهایی تبدیل شده است که در اصطلاح زمین‌شناسی، کارست لایه‌لایه گفته می‌شود. این غارها در هر سطح به لایه‌های مارنی و رسی ختم می‌شوند. نحوه تشکیل و تکامل این غارها در دو مرحله رخ داده است. در ابتدا مجاری کوچک در لایه‌ی ژئوسپی ایجاد و در مرحله دوم بعد از افت سطح پیرومتریک فرسایش عامل تکامل این غارها بوده است. دریک و همکاران (Drake et al. 1972) با مطالعه‌ی مورفولوژی کارست گچی منطقه‌ی کانال فلت کلمبیا به این نتایج دست یافتند که در این ناحیه به دلیل وجود سازند گچی، عوارض کارستی توسعه‌یافته‌ای مانند آبفروچاله‌های ریزشی، چشمه، پانر و غار وجود دارد. در این بین آبفروچاله‌های

ریزشی بیشترین تعداد را دارا می‌باشند. نوع زمین‌شناسی خاص و وجود سازند گچی در این منطقه عامل تشکیل چنین عوارض توسعه یافته‌ای شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان به این نتایج رسید که کارست‌ها گچی بر اساس معیارهای مختلف مانند استحکام و پایداری، همچنین میزان انحلال به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای ویژگی خاص و شرایط تشکیل متفاوت است. سرعت انحلال در کارست گچی نسبت به آهک‌ها بالا بوده بنابراین عوارض ایجاد شده از پایداری و دوام زیادی برخوردار نبوده و این عوارض به سرعت از مرحله توسعه نیافته به مرحله توسعه یافته رسیده و در آخر نیز از بین می‌روند.

۲-۵- مطالعات انجام شده در ارتباط با هیدروژئولوژی کارست‌های تبخیری

با توجه به گسترش کمتر سازندهای تبخیری نسبت به سازندهای آهکی و دولومیتی، تحقیقات انجام شده در رابطه با این بخش از کارست‌های گچی نیز کمتر به چشم می‌خورد. از جمله تفاوت‌های عمده بین کارست‌های تبخیری و کارست‌های آهکی در این بخش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

(۱) هدایت الکتریکی: در چشمه‌های بوجود آمده در سازندهای تبخیری هدایت الکتریکی متغیر و بالاتری نسبت به چشمه‌های آهکی دارا می‌باشند.

(۲) تیپ و رخساره آب: تیپ و رخساره‌ی اکثر آب‌های خروجی از سازندهای گچی به دلیل انحلال ژپس سولفات می‌باشد ولی تیپ و رخساره‌ی اکثر آب‌های خروجی از سازندهای آهکی بیکربناته می‌باشد.

اقدام و همکاران (Aghdam *et al.* 2012) با مطالعه بر روی سازند گچساران، بخش غیر نمکی آن در تنگه سرخ به نتایج زیر دست یافتند. آبخوان‌های فرعی به چهار واحد آهکی، پنج واحد گچی، و یک واحد گیج-نمکی محدود می‌شوند. آب این آبخوان‌ها یا از طریق چشمه ظهور خارج می‌شود و یا اینکه به داخل رودخانه تنگه سرخ می‌ریزد. دبی چشمه‌های خروجی از واحدهای گچی بین $0/5 - 0/75$ لیتر بر ثانیه و دبی چشمه‌های خروجی از واحدهای آهکی بین $0/3 - 8/4$ می‌باشد. به دلیل کم بودن دبی

و همچنین ضخامت کم واحدهای گچی، آبروچاله یا غاری در این واحد تشکیل نشده است. همچنین چشمه‌های منطقه بر اساس لیتولوژی، هدایت الکتریکی، تیپ آب و غلظت یون‌ها به چهار گروه تقسیم می‌شوند؛ که تیپ آب اکثر چشمه‌ها سولفات کلسیک بوده و هیدروشیمی آن‌ها بستگی به مقدار تغذیه از رودخانه تنگه سرخ، لیتولوژی آبخوان فرعی و واحدهای مجاور خود دارد. همچنین هدایت الکتریکی پارامتر مهمی در تمایز هیدروژئوشیمیایی گروه‌ها محسوب می‌شود.

رئیزی و همکاران (Raеisi *et al.* 2013) با مطالعه بر روی هیدروژئولوژی سازندهای گچساران، ساچون و قرمز بالایی در سه ناحیه‌ی تنگه سرخ، آمبال و سالبیز به این نتایج دست یافتند که هدایت الکتریکی در بخش‌های غیر نمکی این سازندها، کمتر از ۳۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در بخش‌های نمکی بین ۲۴۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. تماس رودخانه کارون با پشته در ناحیه آمبال باعث تغییر شیمی آب از بیکربناته به کلروره در طول مسیر شده و نیز باعث تشکیل شبکه‌ای از مجاری کارستی و آبروچاله در این ناحیه شده است. در ناحیه تنگه سرخ، کارست به صورت توسعه‌نیافته مشاهده می‌شود. در ناحیه سالبیز به دلیل ناخالص بودن مارن و گچ، هیچ‌گونه آبروچاله یا انحلالی صورت نگرفته است و جهت جریان آب به دلیل وجود لایه‌های مارنی در امتداد لایه‌بندی می‌باشد.

فصل سوم

مواد و روش ها

مطالعات انجام شده در این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی و ژئومورفولوژی کارست گچی بلده به شرح زیر صورت گرفته است.

۱- جمع آوری 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 ماهیانه (۷ ماه) از چشمه‌های کارست گچی و رودخانه‌های اطراف چشمه‌ها از فروردین ماه ۱۳۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶ و انتقال نمونه به آزمایشگاه و همچنین ثبت برخی خصوصیات فیزیکی در محل نمونه‌برداری

۴- آنالیز عناصر اصلی مانند کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آزمایشگاه صنعتی شاهرود

۵- تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی

در ادامه مراحل مطرح شده در بالا به طور مختصر توضیح داده می‌شود.

۳-۱- جمع آوری اطلاعات و مروری بر مطالعات پیشین

به منظور بررسی دقیق و جامع هر تحقیق، جمع‌آوری و کسب اطلاعات از محدوده مطالعاتی امری ضروری می‌باشد. همان‌طور که در بخش قبل مطرح گردید سعی بر این شد تا با جمع‌آوری داده و بررسی مطالعات انجام گرفته 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.

با انجام نمونه‌برداری و آماده‌سازی، نمونه‌ها برای تعیین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در این فصل مراحل و روش‌های انجام نمونه‌برداری، آنالیز نمونه‌های آب به روش‌های

دستگاهی و آزمایشگاهی و همچنین روش‌های تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۲- بازدیدهای صحرایی و زمین‌شناسی منطقه

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه چندین سری بازدید زمین‌شناسی و نیز نمونه از چشمه‌ها و آب رودخانه‌ها صورت گرفت. بازدیدهای صحرایی به منظور بررسی ژئومورفولوژی کارست، زمین‌شناسی، تعیین توالی چینه‌شناسی 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 به مقدار توسعه کارست در منطقه پی برده شود. لیتولوژی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده شیمی آب در یک منطقه است و عمده‌ی عناصر و مواد محلول موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی، از انحلال سنگ‌ها و رسوبات منشاء می‌گیرد. سنگ‌های رسوبی خیلی بیشتر از سنگ‌های آذرین انحلال‌پذیرند و از سوی دیگر نیز گسترش بیشتری در سطح زمین دارند. تماس آب با این نوع سنگ‌ها باعث افزودن یون‌هایی نظیر Na^+ ، Ca^{2+} ، HCO_3^- ، Fe^{2+} و SO_4^{2-} به منابع آب خواهد شد. با این وصف ماسه‌سنگ‌ها، کنگلومراها، سنگ‌های آهکی و سایر سازندهای سخت غالباً حاوی آب‌هایی با کیفیت مناسب هستند. سنگ‌های تبخیری مانند سنگ نمک و سنگ گچ قابلیت انحلال‌پذیری زیادی داشته و موجب افزایش شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند (حسینی ۱۳۹۳). در این بخش، کیفیت شیمیایی منابع آب مورد مطالعه به منظور تشخیص منشاء آب منطقه، کیفیت آب از لحاظ کشاورزی، شرب و در نهایت تأثیر عملکرد عوامل زمین‌شناسی (مانند لیتولوژی منطقه)، بر کیفیت هیدروشیمیایی آب محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با استفاده از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از چشمه‌ها و آب رودخانه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه نقشه‌ها و نمودارهای هیدروشیمیایی شامل نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، بررسی تغییرات مکانی یون‌های اصلی، نمودار پایپر، استیف و شولر، نقشه شاخص

اشباع (هالیت، ژیپس، دولومیت و کلسیت) و نمودارهای ترکیبی ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳-۳- نمونه برداری ماهیانه از منطقه

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی به صورت ماهانه از چشمه‌ها و رودخانه‌ها از فرودین ماه ۱۳۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶ به مدت ۷ ماه نمونه برداری به عمل آمده است. برخی پارامترها در مظهر چشمه و برخی دیگر پس از انتقال در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. جمع‌آوری داده‌های هیدرووشیمیایی مهم‌ترین مرحله در مطالعات هیدرووشیمی است که از طریق نمونه برداری از منابع آب می‌توان این داده‌ها را جمع‌آوری نمود. به منظور ارزیابی هیدرووشیمیایی آبخوان کارستی در مدت هفت ماه متوالی (از فروردین ماه تا آبان ماه ۱۳۹۶) از ۱۹ نقطه، نمونه برداری صورت پذیرفت که تعداد ۴ نمونه مربوط به چشمه‌های کارست گچی و ۱۵ نمونه مربوط به آب‌های سطحی در منطقه می‌باشند. نتایج آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود در جدول (۴-۵) آورده شده است. شکل (۴-۱۸) نیز محل نمونه برداری از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از چشمه‌ها و رودخانه‌های منطقه برداشت شده‌اند.

۳-۳-۱- نمونه برداری هیدرووشیمیایی از منابع آب

به منظور ارزیابی کمی و کیفی از منابع آب زیرزمینی از آن نمونه برداری می‌کنند. فرایند نمونه برداری از آب شامل مراحل نمونه‌گیری آب، ثبت و انتقال به آزمایشگاه است. برخی پارامترها مانند دما، pH، هدایت الکتریکی، اسیدیته در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شدند زیرا این پارامترها پس از نمونه برداری پایداری خود را از دست می‌دهند. جهت نمونه برداری از منابع آبی مذکور از ظروف پلی‌اتیلنی ۵۰۰ سی‌سی استفاده شد. در طول دوره نمونه برداری سعی گردید از روش‌های استاندارد نمونه برداری استفاده شود به صورتی که قبل از نمونه برداری نیز ظروف پلی‌اتیلنی چندین بار با آب چشمه شستشو داده شد. درنهایت، نمونه‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن برای آنالیز کیفی به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل گردیدند و آزمایش‌ها حداکثر تا ۴۸ ساعت پس از نمونه برداری انجام شده‌اند.

۳-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل

۳-۴-۱- 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. شکل ۳-۱ محل نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این تحقیق برای اندازه‌گیری دبی چشمه‌ها و رودخانه‌ها از روش اندازه‌گیری حجم با جسم شناور استفاده شده است. دبی محاسبه شده در این روش در یک ضریبی، ضرب می‌شود که به آن ضریب تصحیح سرعت می‌گویند. مقدار این ضریب (α) بین $0.7-0.8$ متغیر است. شکل ۳-۲ نمونه‌برداری از چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

$$Q = A \cdot v \cdot \alpha$$

معادله (۳-۱)



شکل ۳-۱- موقعیت محل‌های نمونه‌برداری



شکل ۳-۲- نمونه برداری از چشمه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۴-۲- اندازه‌گیری دما

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

۳-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

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

۳-۴-۴- اندازه‌گیری pH

از دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری اسیدپتته (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. اندازه‌گیری مقدار اسیدپتته به وسیله pH متر صورت می‌گیرد. مقادیر اندازه‌گیری شده برای اسیدپتته در تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه اندیس اشباع کلسیت و دولومیت و غیره بسیار مؤثر می‌باشد. به همین علت اسیدپتته آب چشمه در محل به وسیله دستگاه pH متر سانتکس (Suntex) مدل Sp-701 اندازه‌گیری شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با یک صدم واحد می‌باشد.

۳-۵- اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی

نمونه‌های برداشت‌شده از چشمه‌ها و رودخانه‌ها به صورت ماهیانه جهت آنالیز عناصر اصلی (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) به آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود، منتقل شدند. آنالیز نمونه‌های کربنات، بی‌کربنات، منیزیم، کلسیم و کلر از طریق تیتراسیون (Titration) و آنالیز یون‌های سدیم، پتاسیم و سولفات توسط دستگاه‌های نورسنج شعله‌ای (Flame photometer) و نور سنج شعله‌ای (Hanna) صورت گرفت.

۳-۵-۱- اندازه‌گیری آنیون‌ها

۳-۵-۱-۱- اندازه‌گیری یون کربنات (CO_3^{2-})

نمونه‌هایی که pH آن‌ها از ۸/۲ کمتر است، فاقد یون کربنات می‌باشند. با توجه به اینکه pH نمونه‌های آنالیز شده در هرماه از ۸/۲ کمتر می‌باشد، بنابراین یون کربنات در نمونه‌های برداشت‌شده وجود ندارد. برای اطمینان از عدم وجود یون کربنات، دو نمونه به روش تیتراسیون مورد آنالیز قرار گرفت. با توجه به عدم تغییر رنگ در نمونه‌ها، مشاهده گردید که نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه فاقد یون کربنات می‌باشند.



شکل ۳-۳- اندازه‌گیری سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های کدورت سنج

۳-۱-۵-۳- اندازه‌گیری یون بی‌کربنات (HCO_3^-)

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

۳-۱-۵-۳- اندازه‌گیری یون سولفات (SO_4^{2-})

جهت اندازه‌گیری یون سولفات از دستگاه Hanna مدل HI 93751 استفاده شد. بدین صورت که پس از آماده‌سازی نمونه‌ها اقدام به اضافه نمودن پودر باریت ($0/143$ گرم) شد. پس از به هم زدن محلول و صفر کردن دستگاه، نمونه در محفظه مخصوص قرار داده شد. در نهایت پس از گذشت مدت زمان ۵ دقیقه مقدار سولفات نمونه قرائت گردید. همچنین برای نمونه‌هایی که مقدار سولفات آن‌ها بالاتر از حد استاندارد تعریف شده برای دستگاه سولفات سنج هانا بود، از دستگاه سولفات سنج دیگری به نام توربیدی‌متر استفاده شد؛ به این صورت که با رقیق کردن نمونه و گذاشتن آن در دستگاه می‌توان مقدار سولفات را محاسبه کرد. شکل ۳-۳ دستگاه‌های آنالیز یون سولفات را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- آنالیز نمونه‌ها با روش تیتراسیون

۳-۵-۲- اندازه‌گیری کاتیون‌ها

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

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

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

از آنجائی که روش تیتراسیون مستقیمی جهت اندازه‌گیری یون منیزیم وجود ندارد، ابتدا مجموع یون های کلسیم و منیزیم نمونه با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شده و سپس از مقدار کلسیم به دست آمده کم شد و نهایتاً میزان یون منیزیم محاسبه گردید. بنابراین جهت اندازه‌گیری مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون از اریوبلکتی (EBT) به عنوان معرف، pH_{10} (بافر آمونیاکی) جهت افزایش pH و محلول EDTA به عنوان تیترانت استفاده شد.

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

جهت اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم از دستگاه نورسنج شعله‌ای استفاده شد لازم به ذکر است که قبل از اندازه‌گیری غلظت یون‌های مذکور دستگاه مربوطه با محلول‌های استاندارد کالیبره شده است. نکته: مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های به دست آمده یا محاسبه شده با استفاده از روش تیتراسیون بر حسب واحد epm و مقادیر محاسبه شده با استفاده از دستگاه‌های فلیم‌فومتر و Hanna بر حسب میلی‌گرم می‌باشد. شکل ۳-۵ دستگاه آنالیز یون سدیم و پتاسیم را نشان می‌دهد.

۳-۶- 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.



شکل ۳-۵- دستگاه اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم (نورسنج شعله‌ای)

$$Error\% = \frac{\sum cation - \sum anion}{\frac{\sum cation + \sum anion}{2}} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۲)}$$

در رابطه فوق $\sum Cation$ و $\sum Anion$ به ترتیب مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر و $Error\%$ درصد خطای آزمایش می‌باشد.

۳-۷- سختی کل (Total Hardness)

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

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

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

۳-۸- کل مواد محلول (TDS)

جهت محاسبه کل جامدات محلول در آب زیرزمینی از رابطه (۳-۴) استفاده می‌شود.

$$TDS = \sum Ions \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

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

۳-۹- نسبت جذب سدیم

زمانی که سدیم به مقدار زیاد در محلول خاک وجود داشته باشد، به جای جذب کلسیم و منیزیم از خاک توسط ریشه‌ها، سدیم جذب می‌شود و نسبت جذب سدیم بالا موجب کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود. نسبت جذب سدیم با استفاده از معادله‌ی (۳-۵) محاسبه شده است که در این معادله غلظت کلیه یون‌ها بر حسب epm یا میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{معادله (۳-۵)}$$

۳-۹-۱- درصد سدیم (Sodium percentage)

درصد سدیم با استفاده از معادله (۳-۶) محاسبه شده است، در این معادله نیز غلظت کلیه یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

$$Na\% = \frac{(Na+k)}{Ca+Mg+Na+k} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۶)}$$

۳-۱۰- محاسبه‌ی ضرایب اشباع

اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، هالیت و ژیپس چهار پارامتر مهم در تفسیر شرایط هیدروشیمیایی

آب‌های چشمه‌ای کارستی و دیگر منابع آبی می‌باشند. اندازه‌گیری این پارامترها توسط نرم‌افزار PhreeQc صورت گرفته است. مقادیر بالای صفر در اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت نشان دهنده حالت فوق اشباع و مقادیر صفر و زیر صفر بیانگر حالت تحت اشباع می‌باشد.

۳-۱۱- محاسبه‌ی ضرایب آماری

به طور کلی در این مطالعه جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها و رودخانه‌ها از جامعه آماری (تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه) استفاده شده است. از آن جهت که توان بررسی کل جامعه آماری (تغییرات در هر لحظه) میسر نبود از جامعه آماری به صورت تصادفی نمونه‌گیری به عمل آمد و همچنین جهت تجزیه و تحلیل جامعه‌های آماری از یکسری پارامترهای آماری میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و ضریب همبستگی استفاده شده است.

۳-۱۲- نمودارهای ترکیبی

از نمودارهای ترکیبی به منظور تغییرات یون‌ها نسبت به هم و همچنین فرایندهای تأثیرگذار بر روی شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله‌ی این نمودارها می‌توان به نمودارهای مانند Na/Cl در برابر TDS و تغییرات مجموع کاتیون و آنیون‌ها و نمودارهای دومتغیره در هر یک از نمونه‌ها و غیره اشاره کرد.

۳-۱۳- نرم‌افزارهای مورداستفاده

نرم‌افزار Arc GIS 10.2، برای تهیه نقشه‌های مورد نظر
نرم‌افزار AQQA، برای ترسیم نمودار پایپر، استیف و تعیین تیپ و رخساره نمونه‌های آب مورد مطالعه.
نرم‌افزار Diagram، برای ترسیم نمودار ویلکاکس.
نرم‌افزار PhreeQc، برای به دست آوردن شاخص اشباع.
نرم‌افزار Global Mapper، برای ژئورفرنس کردن نقشه‌ها
نرم‌افزار Excel 2013، برای ترسیم نمودارهای توزیع عناصر و پارامترهای کیفی و غیره.

فصل چہارم

بررسی خصوصیات ژئومورفوشیکی، ہیدروژئولوژیکی و

ہیدروژئوشیمیائی کارست ہامی کچی

ژئومورفولوژی کارست طیف وسیعی از اشکال سطحی را شامل می‌شود که از ساده‌ترین و سطحی‌ترین آن‌ها مانند کارن تا تحول یافته‌ترین که غارها و پولیه‌ها است را در بر می‌گیرد (Coper *et al.* 2011). با توجه به اهمیت منابع آب کارستی در کشور، شناخت پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست به منظور تشخیص میزان توسعه کارست ضروری می‌باشد. مطالعه پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مناطق کارستی، در شناخت وضعیت هیدروژئولوژیکی سنگ‌های کربناته و تبخیری و نقش آن‌ها در ارتباط با تغذیه و تخلیه حوضه‌های کارستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). کارست‌های تبخیری به دلیل گستردگی کم و کیفیت نامناسب منابع آب در آن‌ها، نسبت به کارست‌های آهکی که منبع مهمی برای تامین منابع آب می‌باشند، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (کریمی ۱۳۹۴). با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در مجاورت سازند تبخیری کند و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب پایین‌دست، مطالعه کارست‌های تبخیری (به ویژه گچ) و شناسایی ژئومورفولوژی عوارض تشکیل شده در لایه‌های گچ و نمک مجاور، امری مهم و ضروری می‌باشد. در این بخش با استفاده از مطالعات انجام شده و بازدیدهای صحرائی متعدد به بررسی ژئومورفولوژی کارست گچی در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

از دیدگاه ژئومورفولوژی و طبق تقسیم‌بندی Civijic، کارست، به سه گروه کارست کامل (هولوکارست)، کارست ناقص (مروکارست) و کارست انتقالی تقسیم می‌شود، که هر کدام دارای ویژگی‌ها و شرایط تشکیل خاصی می‌باشند. به طور کلی در مناطقی که کارست توسعه‌یافتگی کامل دارد، اشکال سطحی کارست مانند دولین‌ها و اشکال زیرسطحی مثل غارها گسترش دارند. در مقابل مناطقی که کارست توسعه‌یافتگی ناقص دارد، اشکال توسعه یافته ناشی از انحلال مانند فروچاله، پولیه و غیره مشاهده نمی‌شود (Heidari *et al.* 2011). در کارست‌های تبخیری (ژپیس و نمک) به دلیل انحلال بالا نسبت به آهک، احتمال تشکیل این عوارض و توسعه کارست بیشتر است. بنابراین منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط مورفولوژیکی خاص و تشکیل عوارض کارستی متفاوت و متعدد، در گروه کارست‌های کامل یا هولوکارست قرار می‌گیرد و دارای توسعه کارست بالایی می‌باشد. در ادامه این بخش به بررسی و بیان مفصل عوارض کارستی تشکیل شده در محدوده مطالعاتی پرداخته می‌شود.

از دیدگاه ژئومورفولوژی و طبق دسته‌بندی محمدیان و قبادی (۱۳۹۰) کارست به دو گروه پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شود. که هر کدام از ویژگی‌ها و شرایط تشکیل متفاوت می‌باشند. با توجه به تخلخل، لیتولوژی، مقاومت تراکمی، مقاومت کششی و دوام آهک و ژئوپس این گروه‌بندی انجام گرفته که آهک در گروه کارست پایدار و ژئوپس در گروه کارست ناپایدار به دلیل ویژگی‌های خاص خود، قرار می‌گیرد. همانطور که قبلاً نیز بیان شد از مهم‌ترین رخنمون‌های سنگی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به سازند گچی کند اشاره نمود که بخشی از لیتولوژی منطقه را تا شعاع چندین کیلومتری شامل می‌شود. بنابراین با توجه به ترکیب خاص سازند کند (گچ و نمک) و مستعد بودن منطقه مورد مطالعه به انحلال شدید و ایجاد عوارض کارستی گسترده، اقدام به بررسی کارست گچی در منطقه شد. پس از بازدیدهای صحرایی، عوارض مهمی از جمله، سینک‌هول‌هایی با ابعاد و اشکال متفاوت، دره خشک، کارن، حفرات انحلالی، آثار باران، پولیه، گودی مسدود و غیره مشاهده گردید.

۴-۱-۱- ارزیابی توسعه کارست و عوارض مورفولوژیکی

بین ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن ارتباط نزدیکی وجود دارد. به این معنا که فراوانی و گسترش پدیده‌های مورفولوژیکی، از توسعه کارست در منطقه حکایت دارند.

۴-۱-۱-۱- پلیه‌های کارستی

پلیه کارستی در تعریف، یک فروافتادگی بزرگ در درون سازندهای کارستی است که به صورت یک دشت کشیده در آمده است که کشیدگی آن با راستای تکتونیکی انطباق دارد. معمولاً یک طرف پلیه چشمه و در طرف دیگر آن آبروچاله وجود دارد و دارای یک شیب ملایم از چشمه به آبروچاله می‌باشد و حداقل از یک قسمت به دیواره‌های پرشیب محدود می‌گردد (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). پلیه‌ها تقسیم‌بندی‌های متفاوتی دارند. یکی از مهم‌ترین تقسیم‌بندی پلیه‌ها بر اساس رژیم آبی می‌باشد که پلیه‌ها را به سه گروه پولیه‌های خشک، فصلی و غرقابی تقسیم می‌کند. با توجه به بازدیدهای صورت گرفته، منطقه‌ی مورد مطالعه را می‌توان جزو پلیه‌های خشک دسته‌بندی کرد. شکل (۴-۱) نمایی از یک پولیه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- نمایی از پولیه در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت شمال)

۴-۱-۲- گودی‌های مسدود

گودی مسدود منطقه‌ای است که از لحاظ ارتفاعی از تمام قسمت‌های اطراف پایین‌تر باشد. به عبارتی دیگر گودی مسدود را می‌توان یک عارضه کارستی در نظر گرفت که از اطراف گودتر باشد و در اثر پدیده انحلال در طی سالیان متمادی تشکیل شده باشد. در سیستم گودی‌های مسدود، آبی که وارد محدوده می‌شود راه خروجی ندارد و معمولاً توسط یک یا چند پانر و آبفروچاله عمل زهکشی زیرزمینی صورت می‌گیرد (کرمی ۱۳۹۴). با توجه به تشکیل گودی مسدود در تصویر زیر به صورت یک گودی فروافتاده در بین تپه‌های سازند کند می‌توان محدوده مطالعاتی را یک گودی مسدود توسعه‌یافته در نظر گرفت. در ژئومورفولوژی کارست یک عارضه می‌تواند عوارض دیگری را نیز به همراه داشته باشد. شکل (۴-۲) نمایی از یک گودی مسدود را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲- نمایی از گودی مسدود در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی)

۴-۱-۳- آبروچاله‌ها

آبروچاله‌ها یکی از مهم‌ترین اشکال پیکرشناسی زمین در نواحی کارستی می‌باشند. شکل فروچاله‌ها و نحوه تشکیل آن‌ها در بیشتر موارد به وسیله زمین‌ساخت مشخص می‌شود. از این رو آبروچاله‌ها معمولاً در طول گسل‌های شناخته شده وجود دارند. با توجه به اینکه آبروچاله‌ها اغلب در نزدیکی گسل‌ها تشکیل می‌شوند، بنابراین محور طولی آن‌ها به طور معمول در جهت شکستگی‌های اصلی زمین‌ساختی منطقه می‌باشد (Millanovich 1981). تشکیل سینک‌هول‌هایی با ابعاد و اشکال متفاوت در لایه‌های گچ و نمک سازند کند سبب ایجاد سیمای مورفولوژیکی خاصی در منطقه شده است (شکل ۴-۳). آبروچاله‌ها به همراه حفرات انحلالی بیشترین عارضه‌های کارستی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. علت گسترش زیاد آبروچاله‌ها در منطقه را می‌توان ناشی از انحلال بالا در سازند تبخیری بیان نمود.

۴-۱-۴- دره‌های خشک

دره‌های خشک از پدیده‌های مهم نواحی کارستی هستند که عمدتاً در مناطق آهکی تشکیل می‌شوند، اما در کارست‌های تبخیری به دلیل انحلال بالا، شرایط برای تشکیل دره‌های خشک توسعه یافته فراهم



شکل ۴-۳- نمایی از یک آبروچاله در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی)

نیست و معمولاً به صورت نامشخص و توسعه نیافته قابل شناسایی می‌باشند. دره‌های خشک معمولاً فاقد جریان دائمی یا فصلی هستند. منشاء این دره‌ها به طور مستقیم به تشکیل و تکامل کارست مربوط می‌شود. بدین صورت که، در مسیر این دره‌ها نرخ فرسایش در مقابل با نرخ کارستی شدن کمتر است، بنابراین آب ترجیح می‌دهد از مسیرهای زیرسطحی که در اثر توسعه کارست ایجاد شده عبور کند (کرمی ۱۳۹۴). پس از بررسی‌ها و بازدیدهای صحرایی صورت گرفته از منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که، دره خشک نیز همانند کارن، گسترش زیادی نداشته و تنها در بخش‌هایی از محدوده مطالعاتی به صورت پراکنده قابل شناسایی است. شکل (۴-۴) نمایی از یک دره خشک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

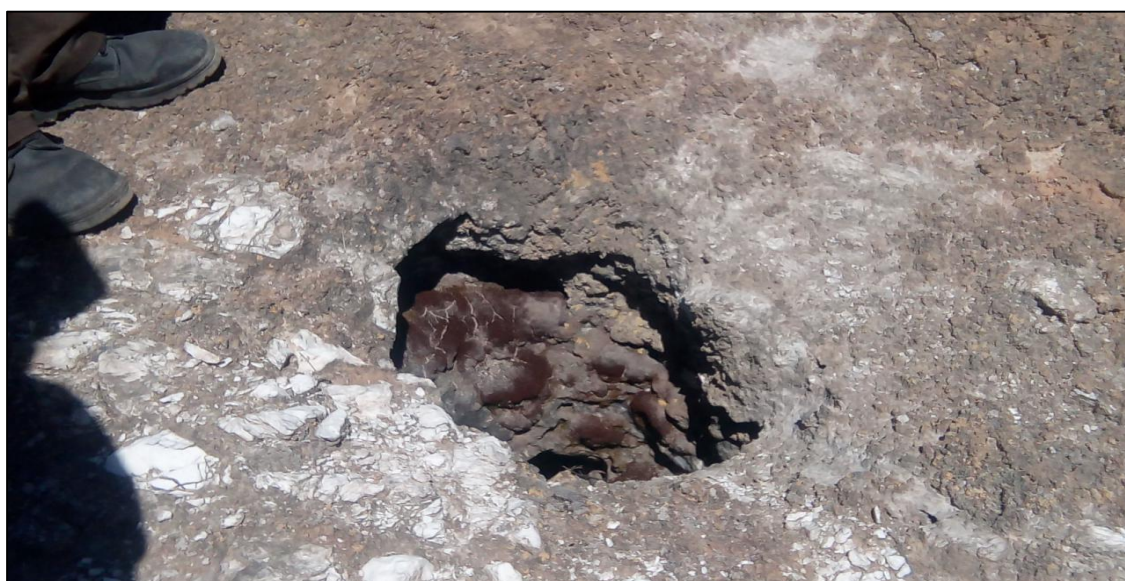
۴-۱-۵- حفرات انحلالی

از مهم‌ترین عارضه‌هایی که در مناطق کارستی ایجاد می‌شوند حفرات و شکاف‌های انحلالی هستند. این عارضه‌های کارستی در سازندهای تبخیری به دلیل انحلال بالا نسبت به سنگ‌های کربناته گسترش بیشتری دارند (قبادی ۱۳۹۲). بازدیدهای صحرایی از منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که حفرات انحلالی



شکل ۴-۴- نمایی از یک دره خشک در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی)

متعددی، در شکل و اندازه‌های متفاوت در منطقه توسعه پیدا کرده است (شکل ۴-۵ و ۴-۶). حفرات انحلالی به همراه سینک‌هول‌ها بیشترین گسترش را در محدوده مطالعاتی دارند که علت آن را می‌توان ناشی از انحلال بالا در لایه‌های گچ و نمک منطقه در نظر گرفت. حفرات ناشی از توسعه کارست، شامل حفراتی هستند که عمدتاً در نقاط ضعیف توده سنگ تشکیل شده‌اند. ابعاد این حفرات انحلالی از ۲۰ سانتی‌متر تا یک متر نیز تغییر می‌کند.



شکل ۴-۵- نمایی از یک حفره انحلالی در گچ در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت شمال غربی)



شکل ۴-۶- نمایی از یک حفره انحلالی در گچ در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت شمال)

۴-۱-۶- چشمه‌های کارستی

با توجه به توسعه کارست گچی و وجود عوارض مورفولوژیکی گسترده در منطقه، انتظار می‌رود که این پدیده‌های کارستی در تغذیه آب چشمه‌های کارستی تأثیرگذار باشند. ضمن بررسی گسترده کارست گچی و ژئومورفولوژی اطراف منطقه مشاهده شد، که در بخش جنوب شرقی و در مجاورت عوارض مورفولوژیکی چشمه‌های کارستی کوچکی وجود دارد. چشمه‌های مذکور که در سازند گچی کند قرار گرفته‌اند که آبدهی آن‌ها از ۱۰ تا ۲۶۰ لیتر بر ثانیه متغیر می‌باشد. این چشمه‌ها به دلیل این که آبخوان تغذیه کننده‌ی آن‌ها سازند گچی می‌باشد از کیفیت نامطلوبی برخوردار هستند. بنابراین با توجه به لیتولوژی خاص منطقه و انحلال بالا در لایه‌های گچ و نمک می‌توان چنین بیان نمود که به احتمال فراوان آب از فواصل دور و نزدیک از طریق آبروچاله‌ها، کانال‌ها، مجاری انحلالی و غیره جمع‌آوری و به واسطه این چشمه‌ها وارد رودخانه‌های منطقه می‌شود. در شکل (۴-۷) و (۴-۸) چشمه‌های کارستی که در سازند گچی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- نمایی از چشمه گچی چهل دختر در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت جنوب شرقی)



شکل ۴-۸- نمایی از چشمه گچی غسالخانه در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال غربی)

۴-۱-۷- کارن‌ها

کارن‌ها شیارهای کوچک سطحی هستند که در نتیجه عوامل متعددی مانند عوامل هیدرولیکی، ساختمانی و انحلالی به وجود می‌آیند. اهمیت کارن‌ها از دیدگاه هیدرولوژی می‌باشند به این صورت که در تولید یک الگوی زهکش سطحی با شاخه‌های بی‌نهایت کوچک، نقاط جذب آب متعدد و تعیین نرخ فرسایش نقش اساسی ایفا می‌کنند (Ford and Williams 2007). کارن‌ها معمولاً در کارست‌های تبخیری به دلیل بالا بودن نرخ انحلال، رخنمون‌های شاخص و قابل وضوحی ندارند و عمدتاً به صورت توسعه نیافته و ابتدایی قابل شناسایی هستند. در منطقه مورد مطالعه نیز به دلیل رخنمون گسترده کارست گچی، کارن‌های توسعه یافته و مشخصی قابل رویت نمی‌باشد و تنها در بخش‌هایی از منطقه، به صورت پراکنده این عارضه مورفولوژیکی قابل شناسایی می‌باشد.

۴-۱-۸- اپی کارست

اپی کارست (Epikarst) عبارت از قشر بیرونی کارست است که رسوبات و سنگ‌های خرد شده تشکیل شده است. سنگ‌های برهنه و بدون پوشش گیاهی یکی از پدیده‌های مهم نواحی کارستی هستند که سیمای این مناطق را از سایر مناطق تفکیک می‌کند. از عوامل موثر بر آن می‌توان به اقلیم و شیب توپوگرافی اشاره نمود. بازدیدهای صحرایی از منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که سنگ برهنه، با توجه به ارتفاع و جنس لایه‌ها آهکی و گچی در منطقه توسعه پیدا کرده است به این صورت که در شیب‌های توپوگرافی زیاد و ارتفاع چند صد متری به بالا اپی کارست (Epikarst) بر روی سطوح سنگی مشاهده نمی‌شود ولی در ارتفاعات کمتر اپی کارست با ضخامت کم بر روی سطوح مشاهده می‌شود (شکل ۴-۹). بر روی سنگ‌های برهنه منطقه می‌توان آثار انحلالی نظیر کارن‌ها، فضا‌های انحلالی را مشاهده نمود که باعث افزایش تغذیه از سطح توده کارستی گردیده است.

۴-۲- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی کارست‌های گچی

آبخوان‌های کارستی جریان آب زیرزمینی را غالباً به یک یا چند کوچک و چشمه بزرگ تخلیه می‌کنند. در نتیجه بررسی رفتار چشمه‌های موجود در این آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار سودمندی از فرآیند-های تغذیه‌ای، نوع جریان و ظرفیت ذخیره‌سازی و نیز سایر خصوصیات هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها



شکل ۴-۹- نمایی از اپی کارست در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غربی)

ارائه دهند (Ford and Willuams 2007). چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان کارستی هستند؛ در نتیجه به منظور درک بیشتر از خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی از تغییرات زمانی آبدهی چشمه‌های موجود استفاده می‌شود. بر اساس دبی خروجی تعدادی از چشمه‌های مهم در منطقه از فروردین ماه تا آبان ماه ۱۳۹۶ و ترسیم هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های گچی به بررسی توسعه کارست در منطقه پرداخته شده است. مهم‌ترین چشمه‌های گچی منطقه شامل چشمه‌های چهل دختر، غسالخانه، لارو و سراسب می‌باشند.

۴-۲-۱- ارزیابی تغییرات زمانی دبی، هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌های کارست گچی آبدهی چشمه یکی از مهمترین پارامترهای مورد سنجش در مظهر چشمه می‌باشد که می‌توان نرخ تغییرات آن را به عنوان اولویت نخست جهت تحلیل و ارزیابی رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوانی که چشمه از آن تخلیه می‌شود در نظر گرفت. به طور کلی هیدروگراف چشمه نتیجه نهایی تحولات بارش و انتقال دیگر ورودی‌ها از مناطق زهکشی، به صورت یک خروجی واحد از طریق چشمه می‌باشد. این تغییرات

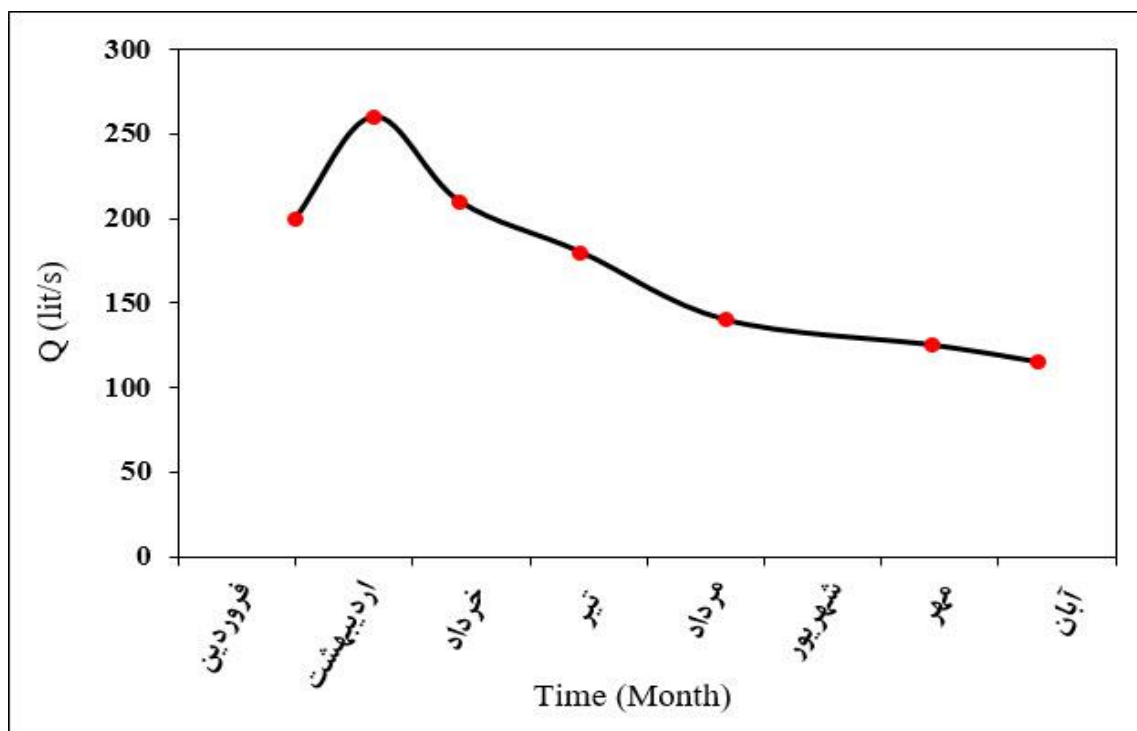
همواره به عنوان مهم‌ترین معیار برای بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی، تعیین حوضه‌ی آبخیز چشمه، ارزیابی توسعه کارست و نرخ نفوذ و تغذیه در آبخوان کارستی می‌باشد. به طور کلی در آبخوان-های کارستی اگر تغییرات آبدهی زیاد باشد که این تغییرات در مدت زمان کوتاهی انجام گیرد می‌توان به این نتیجه رسید که کارست توسعه یافته در منطقه وجود دارد و اگر تغییرات آبدهی کم و به صورت تدریجی باشد می‌توان گفت کارست توسعه یافتگی کمتری دارد. از بخش فروکش هیدروگراف که فاقد آشفتگی‌های ناشی از ورود جریان‌های سریع به درون آبخوان است برای بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دربردارنده چشمه‌های کارست گچی و همچنین ارزیابی خصوصیات ساختاری آبخوان و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان استفاده شده است. بر اساس هیدروگراف چشمه‌ها و با شناسایی ابتدا و انتهای دوره فروکش (Recession)، منحنی فرود یا منحنی تقلیل (Recession curve or depletion curve) چشمه ترسیم گردیده است. عموماً جریان متلاطم تنها قسمت‌های اولیه منحنی فروکش را تحت تاثیر قرار می‌دهند و تاثیرات آنها با تخلیه چشمه کاهش می‌یابد. آب قسمت‌های بعدی منحنی فرود چشمه، عمدتاً تحت تاثیر خلل و فرج کوچکتر از یک میلی‌متر با جریان آرام که دارای قابلیت انتقال اندک ولی ذخیره‌سازی نسبتاً بالا می‌باشد تامین می‌شود. از عوامل موثر بر منحنی فرود چشمه می‌توان به باقی ماندن برف در انتهای حوضه تا زمان طولانی، وجود سازندهایی با تراوایی اندک و همچنین به هندسه‌ی حوضه آبخیز چشمه اشاره نمود.

۴-۲-۱-۱- چشمه چهل دختر

این چشمه در نزدیکی روستای یالرود و در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر بلده قرار گرفته است. حوضه‌ی آبخیز این چشمه که لیتولوژی آن گچ بوده تشکیل شده است. میزان متوسط آبدهی چشمه چهل دختر در سال ۹۶-۹۵ برای بازه نمونه‌برداری ۱۷۵ لیتر در ثانیه است. جدول (۴-۱) و شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱)، به ترتیب داده‌ها و منحنی فرود و منحنی فروکش برای چشمه چهل دختر را در سال ۹۶-۹۵ در بازه زمانی نمونه‌برداری نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی مربوط به چشمه چهل دختر در زمان‌های مختلف

سال آبی ۹۵-۹۶		
تاریخ نمونه برداری	آبدهی (lit/s)	هدایت الکتریکی (μs/cm)
۱۳۹۶/۱/۳۰	۲۰۰	۶۸۶
۱۳۹۶/۲/۲۰	۲۶۰	۷۲۱
۱۳۹۶/۳/۱۲	۲۱۰	۸۷۷
۱۳۹۶/۴/۱۴	۱۸۰	۹۰۶
۱۳۹۶/۵/۲۰	۱۴۰	۹۴۳
۱۳۹۶/۷/۲۴	۱۲۵	۹۷۸
۱۳۹۶/۸/۲۸	۱۱۵	۱۰۲۴
میانگین	۱۷۵	۸۷۶
انحراف معیار	۴۸/۴	۱۱۹
درصد ضریب تغییرات	۲۷/۶	۱۳/۵



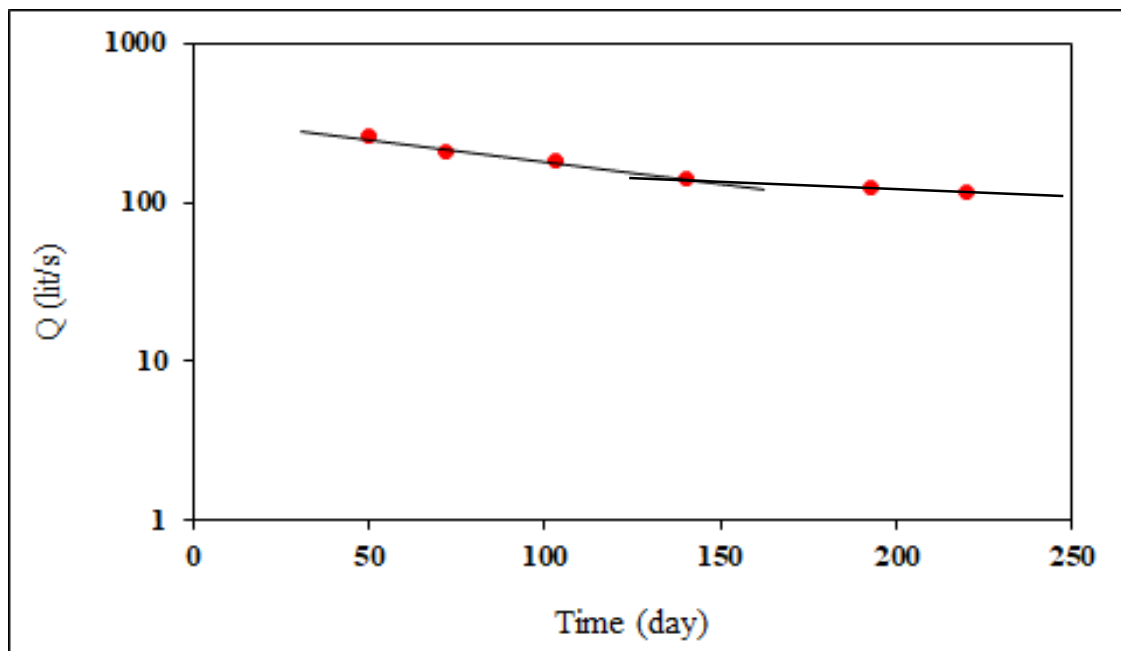
شکل ۴-۱۰- هیدروگراف چشمه چهل دختر از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۹۶

با توجه به هیدروگراف رسم شده، دبی اوج با مقدار ۲۶۰ لیتر بر ثانیه مربوط به اردیبهشت ماه است. در ماه آبان دبی به ۱۱۵ لیتر بر ثانیه رسیده که کمترین مقدار آبدهی در بازه زمانی اندازه‌گیری شده است. متوسط ضریب تغییرات آبدهی چشمه چهل دختر با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۲۷/۶ درصد است، که بر اساس تقسیم بندی کرمی (۱۳۸۵) و (Jacobsen and Langmuire 1974) در رژیم جریان افشان - مجرایبی قرار دارد. همچنین با توجه به ضریب تغییرات هدایت الکتریکی برای چشمه چهل دختر می‌توان این چشمه را بر اساس تقسیم‌بندی‌های ذکر شده در رژیم جریان افشان - مجرایبی قرار داد. همان طور که از منحنی‌های فروکش چشمه مذکور مشخص است، دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که به ترتیب مقدار آن‌ها ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۶ است. برای به دست آوردن ضرایب فرود چشمه‌ها از معادله (۱-۴) استفاده شده است که در آن Q_t آبدهی چشمه در زمان t ، Q_0 آبدهی در زمان صفر و t ، زمان بین Q_0 و Q_t می‌باشد. ضریب فروکش میزان توانایی آبخوان در ذخیره سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل موثر، قابلیت انتقال، شکل حوضه آبگیر، وضعیت سطح پتانسیومتری و تغذیه از آبخوان-های دیگر می‌باشد. براساس دیدگاه (Milanovic 1981) هنگامی که منحنی فروکش دارای شیب کم باشد، این حالت می‌تواند بر ذخیره دینامیکی زیاد آبخوان دلالت نماید که چشمه‌های این نوع آبخوان‌ها اکثراً دائمی هستند. برعکس وقتی که ضریب α زیاد باشد، منحنی فرود دارای شیب تند بوده و ذخایر دینامیکی در این حالت موقتی بوده و خیلی سریع تخلیه می‌شود به طور کلی، هنگامی که ضریب فروکش در مرتبه 10^{-2} قرار داشته باشد، نشان دهنده‌ی زهکشی سریع شکستگیها و مجاری کارستی می‌باشد و هنگامیکه این ضریب کوچکتر باشد (مرتبه 10^{-3}) نشان دهنده تخلیه حفرات و دزره و شکستگی‌های ریز می‌باشد. همچنین بهتر است برای تحلیل ضرایب فروکش شرایط فیزیوگرافی حوضه آبگیر (شکل و شیب حوضه آبگیر) و تراوایی لایه‌های مختلف آبخوان نیز بررسی شود چرا که زمان انتقال آب در حوضه‌های کشیده، لایه‌های کم تراوا و تغذیه از آبخوانهای مجاور می‌تواند ضرایب فروکشی با مرتبه کوچکتری و در حوضه‌های گرد و با تراوایی بالا عکس این حالت را ایجاد نماید.

$$\alpha = \frac{\text{Log } Q_0 - \text{Log } Q_t}{0.4343 \times (t - t_0)} \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

در طی رژیم α_1 که حدوداً ۹۰ روز طول کشیده می‌کشد، که در این مدت حجم آب خروجی از چشمه بالا بوده که این آب به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تامین

می‌شود. این کانال‌ها در امتداد شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند. این کانال‌ها و مجاری بزرگ با فروچاله‌ها و عوارض کارستی مهم که در ارتفاعات منطقه وجود دارند در ارتباط هستند. با توجه به توان ذخیره‌سازی پایین، آب این مجاری در مدت زمان کوتاه به سرعت تخلیه می‌یابد و دبی چشمه کاهش پیدا می‌کند. رژیم α_2 در بازه زمانی نمونه‌برداری، رژیم کوتاه تری نسبت به رژیم قبلی می‌باشد. این رژیم حدوداً ۸۰ روز طول می‌کشد و آب خروجی از این چشمه به طور عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های کوچک تامین می‌شود. با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک درمقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهشی آبدهی این چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم α_1 کمتر است.



شکل ۴-۱۱- منحنی فروکش چشمه چهل دختر از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶

۴-۲-۱-۲-۴ چشمه غسالخانه

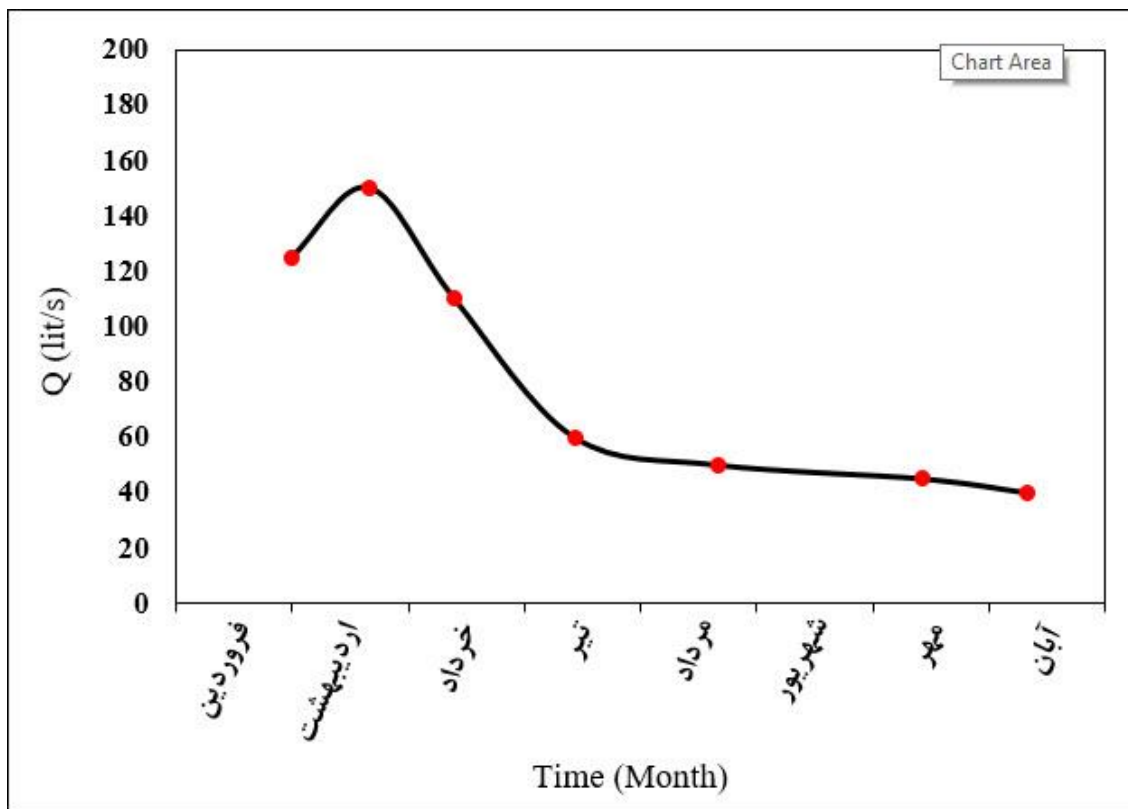
این چشمه در مرکز روستای یالرود قرار گرفته است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه نیز از سازند گچی کند تشکیل شده است. جدول (۴-۲) و شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) به ترتیب داده‌ها و هیدروگراف و منحنی فرود چشمه غسالخانه را در بازه زمانی نمونه‌برداری نشان می‌دهد. با توجه به جدول زیر میزان متوسط آبدهی این چشمه برای بازه زمانی نمونه‌برداری ۸۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به هیدروگراف رسم شده، دبی اوج با مقدار ۱۵۰ لیتر بر ثانیه مربوط به اردیبهشت ماه است. در

ماه آبان دبی به ۴۰ لیتر بر ثانیه رسیده که کمترین مقدار آبدهی در بازه زمانی اندازه‌گیری شده است. متوسط ضریب تغییرات آبدهی چشمه غالسالخانه با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۵۰/۲ درصد است، مانند چشمه چهل دختر در رژیم جریان افشان- مجرای قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی که مقدار آن ۱۲/۳ است می‌توان چشمه غسالخانه را در سیستم افشان- مجرای قرار داد.

همان طور که از منحنی‌های فروکش چشمه مذکور مشخص است، دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که به ترتیب مقدار آن‌ها ۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۳ است. برای به دست آوردن ضرایب فرود چشمه‌ها همانند چشمه چهل دختر از معادله (۴-۱) استفاده شده است. در طی رژیم α_1 که حدوداً ۹۰ روز طول می‌کشد، که در این مدت حجم آب خروجی از چشمه بالا بوده که این آب به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تامین می‌شود. این کانال‌ها در امتداد شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند.

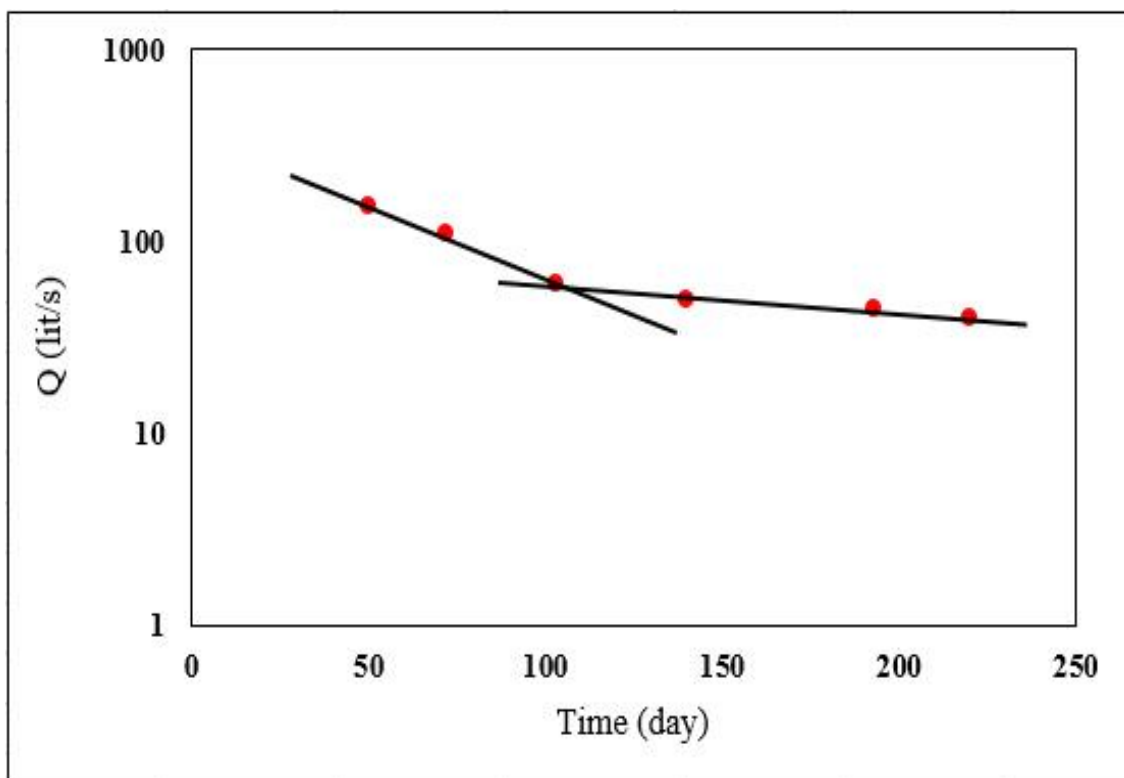
جدول ۴-۲- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی مربوط به چشمه غسالخانه در زمان‌های مختلف

سال آبی ۹۵-۹۶		
تاریخ نمونه برداری	آبدهی (lit/s)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{m/cm}$)
۱۳۹۶/۱/۳۰	۱۲۵	۱۰۵۰
۱۳۹۶/۲/۲۰	۱۵۰	۱۰۷۵
۱۳۹۶/۳/۱۲	۱۱۰	۱۲۳۶
۱۳۹۶/۴/۱۴	۶۰	۱۳۵۰
۱۳۹۶/۵/۲۰	۵۰	۱۳۷۰
۱۳۹۶/۷/۲۴	۴۵	۱۴۱۰
۱۳۹۶/۸/۲۸	۴۰	۱۵۰۰
میانگین	۸۲	۱۲۸۴
انحراف معیار	۴۱/۲	۱۵۸/۴
درصد ضریب تغییرات	۵۰/۲	۱۲/۳



شکل ۴-۱۲- هیدروگراف چشمه غسلخانه از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶

این کانال‌ها و مجاری بزرگ با فروچاله‌ها و عوارض کارستی مهم که در ارتفاعات منطقه وجود دارند در ارتباط هستند. با توجه توان ذخیره‌سازی پایین، آب این مجاری در مدت زمان کوتاه به سرعت تخلیه می‌یابد و دبی چشمه کاهش پیدا می‌کند. رژیم α_2 در بازه زمانی نمونه‌برداری، رژیم کوتاه تری نسبت به رژیم قبلی می‌باشد. این رژیم حدوداً ۸۰ روز طول می‌کشد و آب خروجی از این چشمه به طور عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های کوچک تامین می‌شود. با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک درمقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهشی آبدهی این چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم α_1 کمتر است. مشاهده می‌شود، که شاخه صعودی (Rising limb) نمودار آبدهی چشمه از اوایل اردیبهشت شروع شده و در اواخر اردیبهشت به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین در شکل مشاهده می‌شود که شاخه فروکش (Falling limb) نمودار آبدهی از اواخر خرداد تا اواخر اسفندماه ادامه می‌یابد. از دیگر کاربردهای ثبت تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی، تعیین ارتباط بین تخلیه (آبدهی) و تغذیه (بارش) می‌باشد.



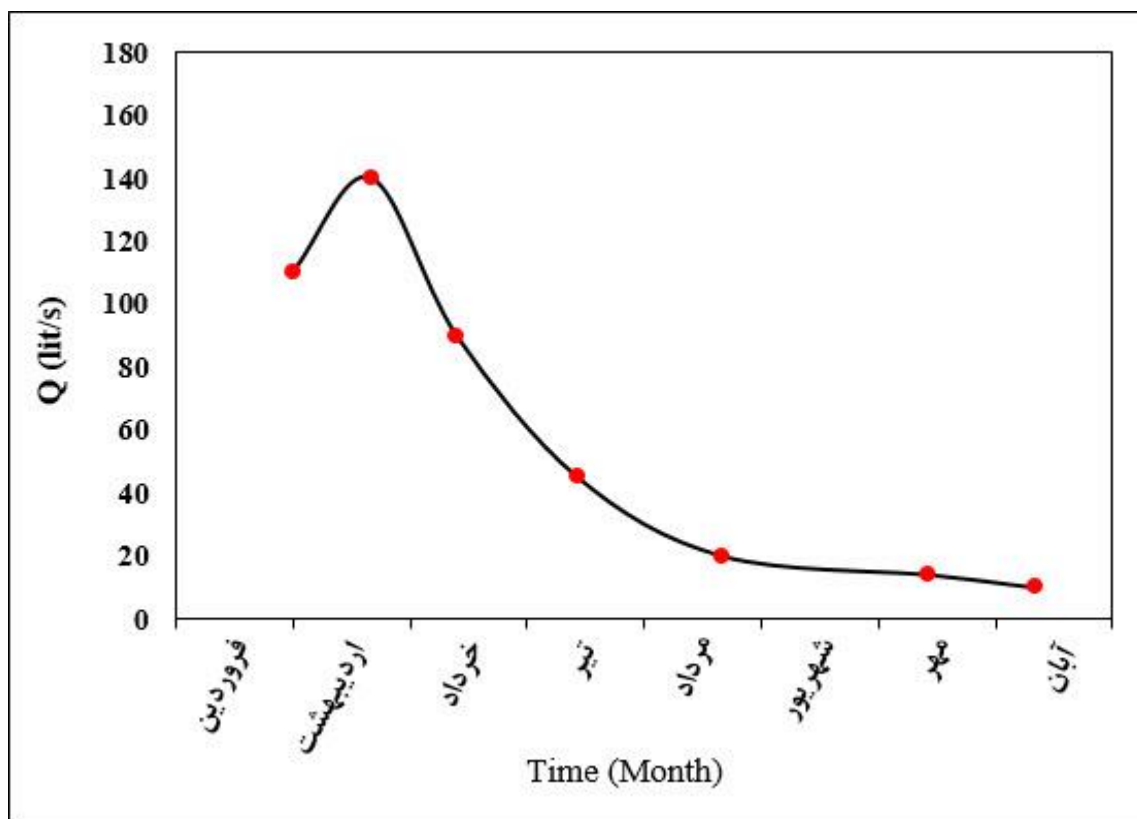
شکل ۴-۱۳- منحنی فروکش چشمه غسلخانه از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶

۴-۲-۱-۳- چشمه سراسب

چشمه سراسب در قسمت جنوبی روستای سراسب و ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهر بلده واقع شده است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه همانند دو چشمه قبل از سازند گچی تشکیل شده است. جدول (۳-۴) داده‌ها و شکل (۴-۱۴) و (۴-۱۵) هیدروگراف و منحنی فرود چشمه سراسب را نشان می‌دهد. با توجه به هیدروگراف ترسیم شده، آبدهی اوج برای این چشمه در بازه زمانی نمونه‌برداری برابر با ۱۴۰ لیتر بر ثانیه بوده که مربوط به اردیبهشت ماه است. در ماه آبان دبی به ۱۰ لیتر بر ثانیه رسیده که کم‌ترین مقدار آبدهی در بازه زمانی اندازه‌گیری شده است. متوسط ضریب تغییرات آبدهی چشمه سراسب با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۷۸/۷ درصد است، که بر اساس تقسیم بندی‌های ذکر شده در فوق مانند چشمه چهل دختر و غسلخانه در رژیم جریان افشان- مجرای قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی که مقدار آن ۲۴/۷ است می‌توان چشمه سراسب را در سیستم افشان- مجرای قرار داد.

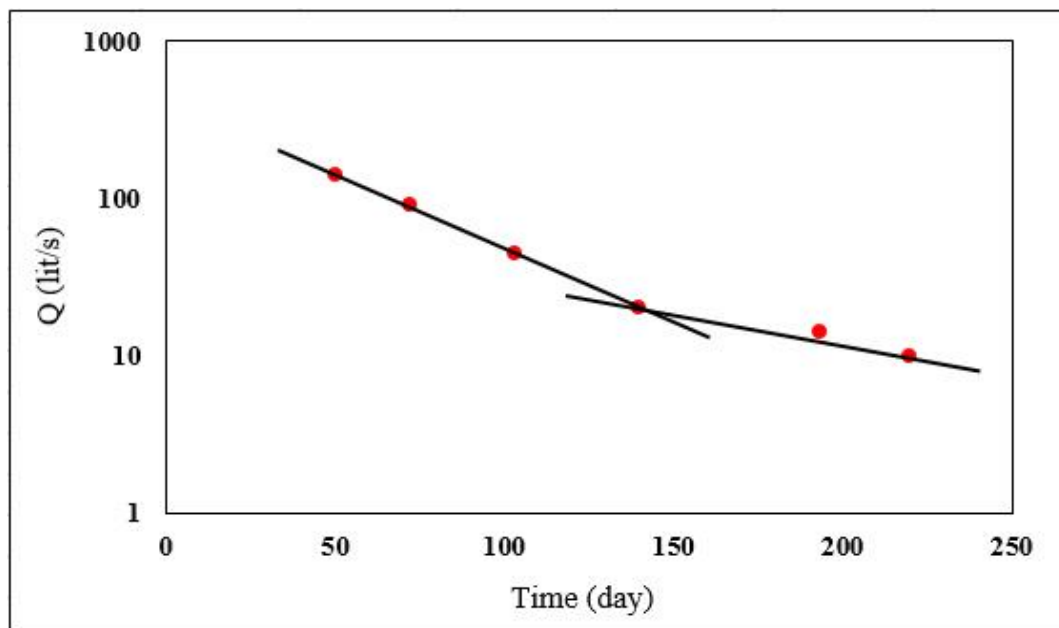
جدول ۳-۴- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی مربوط به چشمه سراسب در زمان‌های مختلف

سال آبی ۹۵-۹۶		
تاریخ نمونه برداری	آبدهی (lit/s)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{m/cm}$)
۱۳۹۶/۱/۳۰	۱۱۰	۱۰۹۵
۱۳۹۶/۲/۲۰	۱۴۰	۱۰۲۲
۱۳۹۶/۳/۱۲	۹۰	۱۱۸۶
۱۳۹۶/۴/۱۴	۴۵	۱۲۷۵
۱۳۹۶/۵/۲۰	۲۰	۱۶۳۲
۱۳۹۶/۷/۲۴	۱۴	۱۷۰۹
۱۳۹۶/۸/۲۸	۱۰	۲۰۱۵
میانگین	۶۱	۱۴۳۰
انحراف معیار	۴۸	۲۵۳
درصد ضریب تغییرات	۷۸/۷	۲۴/۷



شکل ۴-۱۴- هیدروگراف چشمه سراسب از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۹۶

همان طور که از منحنی‌های فروکش چشمه مذکور مشخص است، دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که به ترتیب مقدار آن‌ها $0/021$ و $0/008$ است. برای به دست آوردن ضرایب فرود چشمه‌ها همانند چشمه چهل دختر از معادله (۴-۱) استفاده شده است. در طی رژیم α_1 که حدوداً ۹۰ روز طول می‌کشد، که در این مدت حجم آب خروجی از چشمه بالا بوده که این آب به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تامین می‌شود. این کانال‌ها در امتداد شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند. این کانال‌ها و مجاری بزرگ با فروچاله‌ها و عوارض کارستی مهم که در ارتفاعات منطقه وجود دارند در ارتباط هستند. با توجه توان ذخیره‌سازی پایین، آب این مجاری در مدت زمان کوتاه به سرعت تخلیه می‌یابد و دبی چشمه کاهش پیدا می‌کند. رژیم α_2 در بازه زمانی نمونه‌برداری، رژیم کوتاه تری نسبت به رژیم قبلی می‌باشد. این رژیم حدوداً ۸۰ روز طول می‌کشد و آب خروجی از این چشمه به طور عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های کوچک تامین می‌شود. با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک درمقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهشی آبدهی این چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم α_1 کمتر است.



شکل ۴-۱۵- منحنی فروکش چشمه سراسب از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶

۴-۱-۲-۴- چشمه لارو

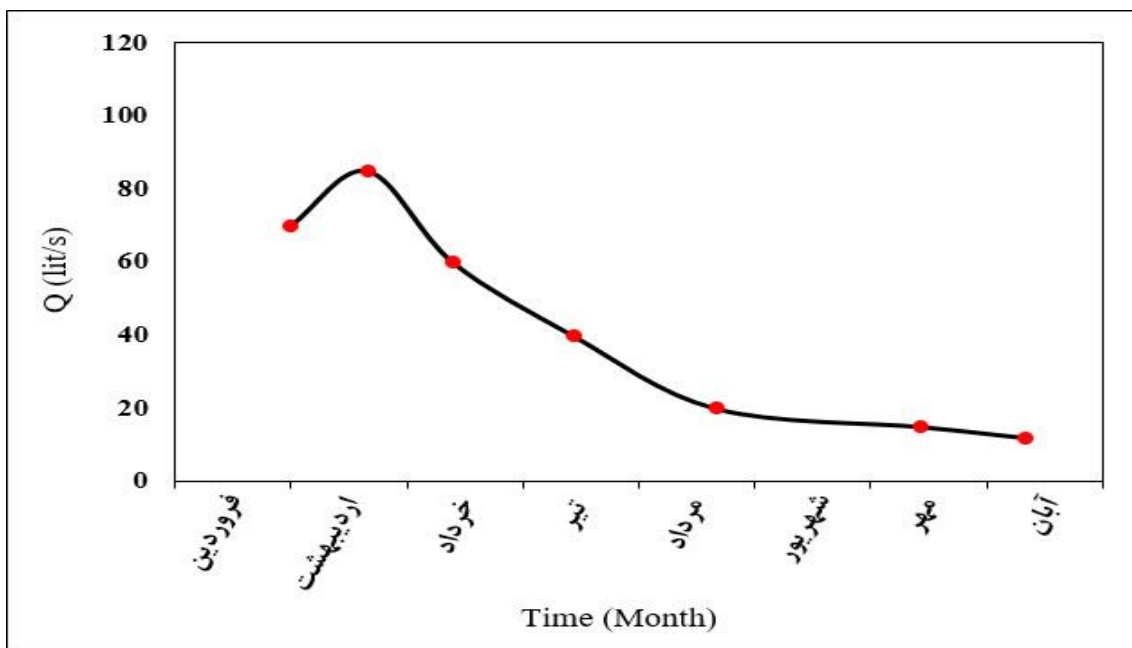
این چشمه در قسمت جنوبی روستای یالرود و ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر بلده واقع شده است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه همانند چشمه‌های قبلی ذکر شده از سازند گچی تشکیل شده است.

جدول (۴-۴) داده‌ها و شکل (۴-۱۶) و (۴-۱۷) هیدروگراف و منحنی فرود چشمه لارو را نشان می‌دهد. با توجه به هیدروگراف ترسیم شده، آبدهی اوج برای این چشمه در بازه زمانی نمونه‌برداری برابر با ۸۵ لیتر بر ثانیه بوده که مربوط به اردیبهشت ماه است. در ماه آبان دبی به ۱۲ لیتر بر ثانیه رسیده که کم‌ترین مقدار آبدهی در بازه زمانی اندازه‌گیری شده است. متوسط ضریب تغییرات آبدهی چشمه لارو با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۶۲/۳ درصد است، که بر اساس تقسیم بندی‌های ذکر شده در فوق مانند چشمه چهل دختر، غسالخانه و سراسب در رژیم جریان افشان- مجرای قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی که مقدار آن ۲۵/۷ است می‌توان چشمه سراسب را در سیستم افشان- مجرای قرار داد.

جدول ۴-۴- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و آبدهی مربوط به چشمه لارو در زمان‌های مختلف

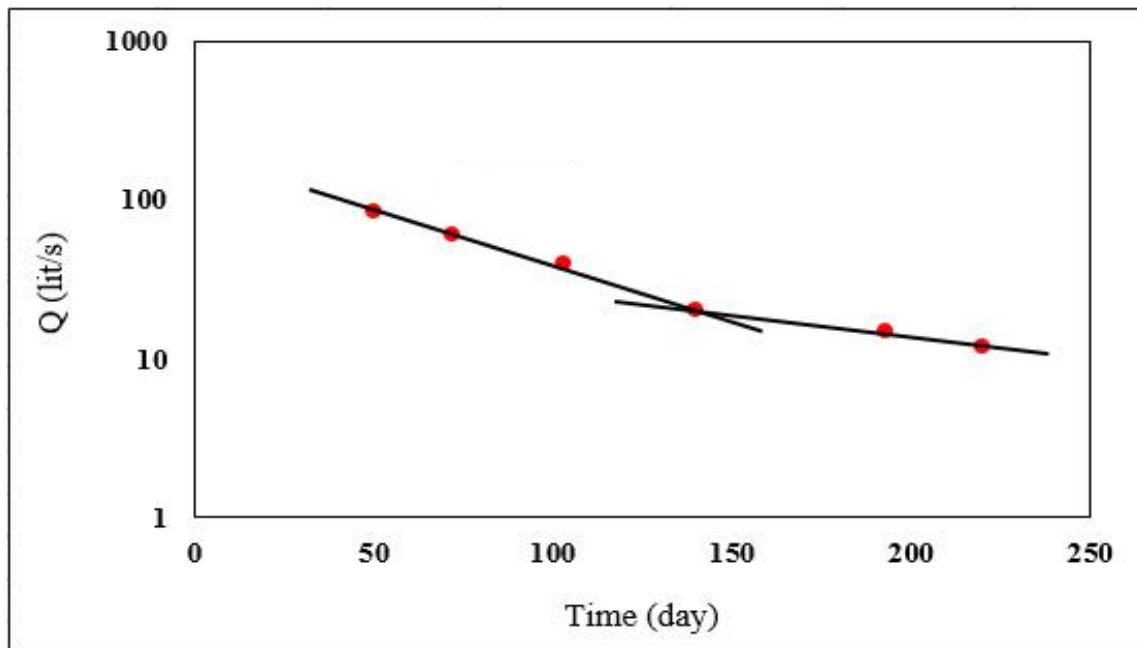
سال آبی ۹۵-۹۶		
تاریخ نمونه برداری	آبدهی (lit/s)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{m/cm}$)
۱۳۹۶/۱/۳۰	۷۰	۷۶۴
۱۳۹۶/۲/۲۰	۸۵	۶۱۰
۱۳۹۶/۳/۱۲	۶۰	۸۵۷
۱۳۹۶/۴/۱۴	۴۰	۹۸۱
۱۳۹۶/۵/۲۰	۲۰	۱۱۸۶
۱۳۹۶/۷/۲۴	۱۵	۱۳۰۱
۱۳۹۶/۸/۲۸	۱۲	۱۳۳۳
میانگین	۴۳	۱۰۰۴
انحراف معیار	۲۶/۸	۲۵۷/۷
درصد ضریب تغییرات	۶۲/۳	۲۵/۷

همان طور که از منحنی‌های فروکش چشمه مذکور مشخص است، دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد که به ترتیب مقدار آن‌ها ۰/۰۱۵ و ۰/۰۰۶ است. برای به دست آوردن ضرایب فرود چشمه‌ها همانند چشمه چهل دختر از معادله (۴-۱) استفاده شده است. در طی رژیم α_1 که حدوداً ۹۰ روز طول می‌کشد، که در این مدت حجم آب خروجی از چشمه بالا بوده که این آب به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تامین می‌شود. این کانال‌ها در امتداد شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند. این کانال‌ها و مجاری بزرگ با فروچاله‌ها و عوارض کارستی مهم که در ارتفاعات منطقه وجود دارند در ارتباط هستند. با توجه توان ذخیره‌سازی پایین، آب این مجاری در مدت زمان کوتاه به سرعت تخلیه می‌یابد و دبی چشمه کاهش پیدا می‌کند. رژیم α_2 در بازه زمانی نمونه‌برداری، رژیم کوتاه تری نسبت به رژیم قبلی می‌باشد.



شکل ۴-۱۶- هیدروگراف چشمه سراسب از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۹۶

این رژیم حدوداً ۸۰ روز طول می‌کشد و آب خروجی از این چشمه به طور عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های کوچک تامین می‌شود. با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک درمقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهشی آبدهی این چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم α_1 کمتر است.



شکل ۴-۱۷- منحنی فروکش چشمه سراسب از فروردین ماه ۹۶ تا آبان ماه ۱۳۹۶

۳-۴- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیائی کارست‌های گچی

علاوه بر نتایج به دست آمده از مطالعات ژئومورفولوژیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه‌ی مورد مطالعه و در تأیید این نتایج و به منظور بررسی تأثیر سازندگی و چشمه‌های خروجی از این سازند بر روی کیفیت منابع آب پایین‌دست، از آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. تقریباً همه آب‌های زیرزمینی از آب باران و برفی که به درون خاک نفوذ کرده است، به وجود می‌آیند و خاک توانایی بی‌نظیری برای تغییر دادن کیفیت شیمیایی آب دارد. هنگامی که آب در امتداد خطوط جریان از منطقه تغذیه به سمت منطقه تخلیه حرکت می‌کند، شیمی آن توسط انواع گوناگونی از فرآیندهای ژئوشیمیایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. هیدروشیمی منابع آب سطحی و زیرزمینی، اثرات حال و گذشته عواملی همچون اقلیم، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و بیولوژی را که بر روی شیمی آب‌ها مؤثر می‌باشند، مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این عوامل شامل شیمی آب نفوذی، تناوب، میزان و مدت بارش، لیتولوژی، پوشش گیاهی و خاک می‌باشد (Alley 1993).

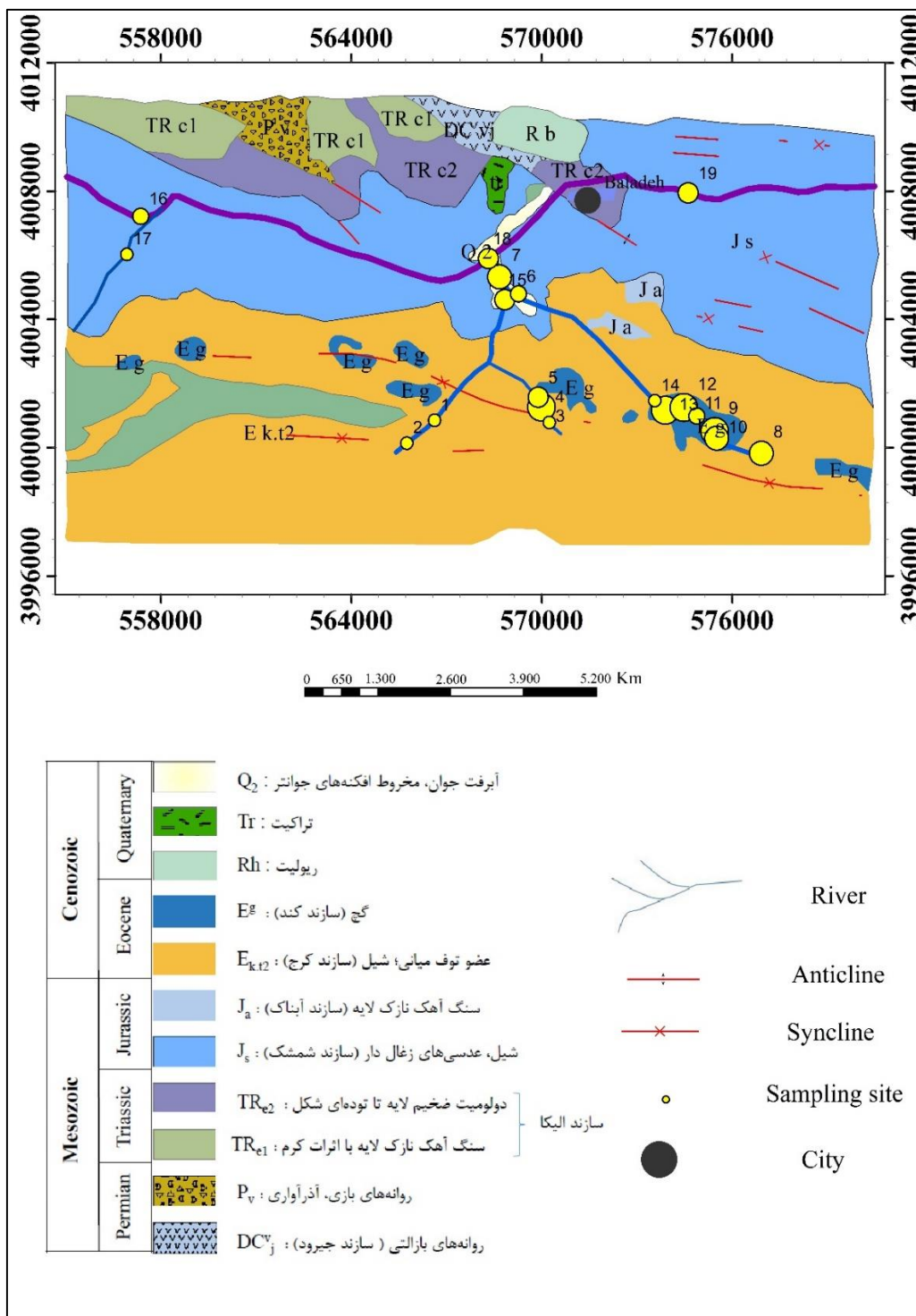
برای آنالیز غلظت یون‌های اصلی (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) نمونه‌های آب توسط بطری‌های پلی‌اتیلن ۲۵۰ میلی‌لیتری برداشت شد و پس از حمل در شرایط استاندارد به آزمایشگاه گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محاسبه شد.

۴-۴- بررسی تغییرات هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند و روش‌های متعددی نیز جهت تفسیر داده‌های حاصل از آنالیز آن‌ها وجود دارد. به علاوه با استفاده از تفسیر این داده‌ها می‌توان به تیپ غالب آب‌های زیرزمینی، مسیرهای تکاملی و نیز پدیده اختلاط بین منابع آبی مختلف پی برد. بنابراین بررسی مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در مطالعات هیدرووشیمیایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Robins 2002). جهت تفسیر داده‌های هیدرووشیمیایی آبخوان کارست گچی و تعیین رخساره و تیپ غالب آب زیرزمینی از نمودار پایپر و استیف استفاده شده و همچنین با استفاده از نمودار شولر به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است.

جدول ۴-۵- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

غلظت یون‌ها (epm)							هدایت الکتریکی (μs/cm)	pH	دبی (m ³ /s)	نمونه‌ها
HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺				
۱/۷	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۷	۱/۴	۱۸۰	۷/۴۱	۷	۱
۱/۹	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۷	۱/۵	۱۹۱	۷/۸	۰/۵	۲
۲/۱	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۰۴	۰/۲۷	۱/۱	۱/۳	۱۸۸	۷/۹۱	۰/۸	۳
۲/۵	۰/۴۰	۱۵	۰/۰۳	۰/۴۷	۶/۹	۱۳/۹	۱۱۸۶	۷/۷۹	۰/۱۱	۴
۱/۹	۰/۲۰	۱/۲۷	۰/۰۴	۰/۲۹	۱/۱	۲/۳	۳۲۵	۷/۹۷	۱	۵
۲/۲	۰/۳۰	۱/۴۰	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۳	۳/۳	۲۳۴	۷/۹۱	۷/۵	۶
۱/۷	۰/۳۰	۰/۸۱	۰/۰۴	۰/۳۱	۱	۱/۷	۴۱۷	۷/۸۲	۵	۷
۳	۰/۴۰	۱/۵۰	۰/۰۴	۰/۹۰	۱/۶	۲/۸	۴۱۱	۷/۵	۰/۰۷	۸
۳/۵	۰/۶۰	۹	۰/۰۵	۱/۰۶	۰/۱	۷/۴	۸۵۷	۷/۳۳	۰/۰۶	۹
۲/۸	۰/۷۰	۲	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۹	۴/۲	۵۳۸	۷/۷۶	۰/۲	۱۰
۲/۴	۰/۴۰	۰/۷۳	۰/۰۵	۰/۲۷	۱/۶	۱/۹	۲۶۳	۷/۸۱	۰/۹۵	۱۱
۲/۶	۰/۶۰	۱۰	۰/۰۶	۰/۷۰	۰/۴	۶/۶	۸۷۷	۷/۵۴	۰/۲۱	۱۲
۲/۷	۰/۹۰	۱۶	۰/۰۶	۰/۸۴	۰/۸	۱۲/۷	۱۲۳۶	۷/۰۲	۰/۱۲	۱۳
۲/۵	۰/۶۰	۰/۵۴	۰/۰۶	۰/۳۰	۲	۱/۶	۲۱۵	۷/۶۸	۱/۵	۱۴
۱/۵۵	۰/۴۵	۱/۱۳	۰/۰۶	۰/۴۰	۰/۶	۲/۴	۳۱۴	۷/۴۷	۱۳	۱۵
۲/۶	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۳۰	۲/۲	۱/۸	۲۸۵	۷/۱۹	۵	۱۶
۱/۵	۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۰۷	۰/۲۵	۲	۱/۵	۱۹۸	۷/۳۶	۲/۵	۱۷
۲/۸	۰/۴۰	۰/۷۷	۰/۰۷	۰/۳۴	۱/۴	۲/۴	۳۰۷	۷/۲۶	۷/۵	۱۸
۲/۲	۰/۴۰	۱/۰۲	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۹	۲/۶	۳۲۹	۷/۳۷	۲۲	۱۹

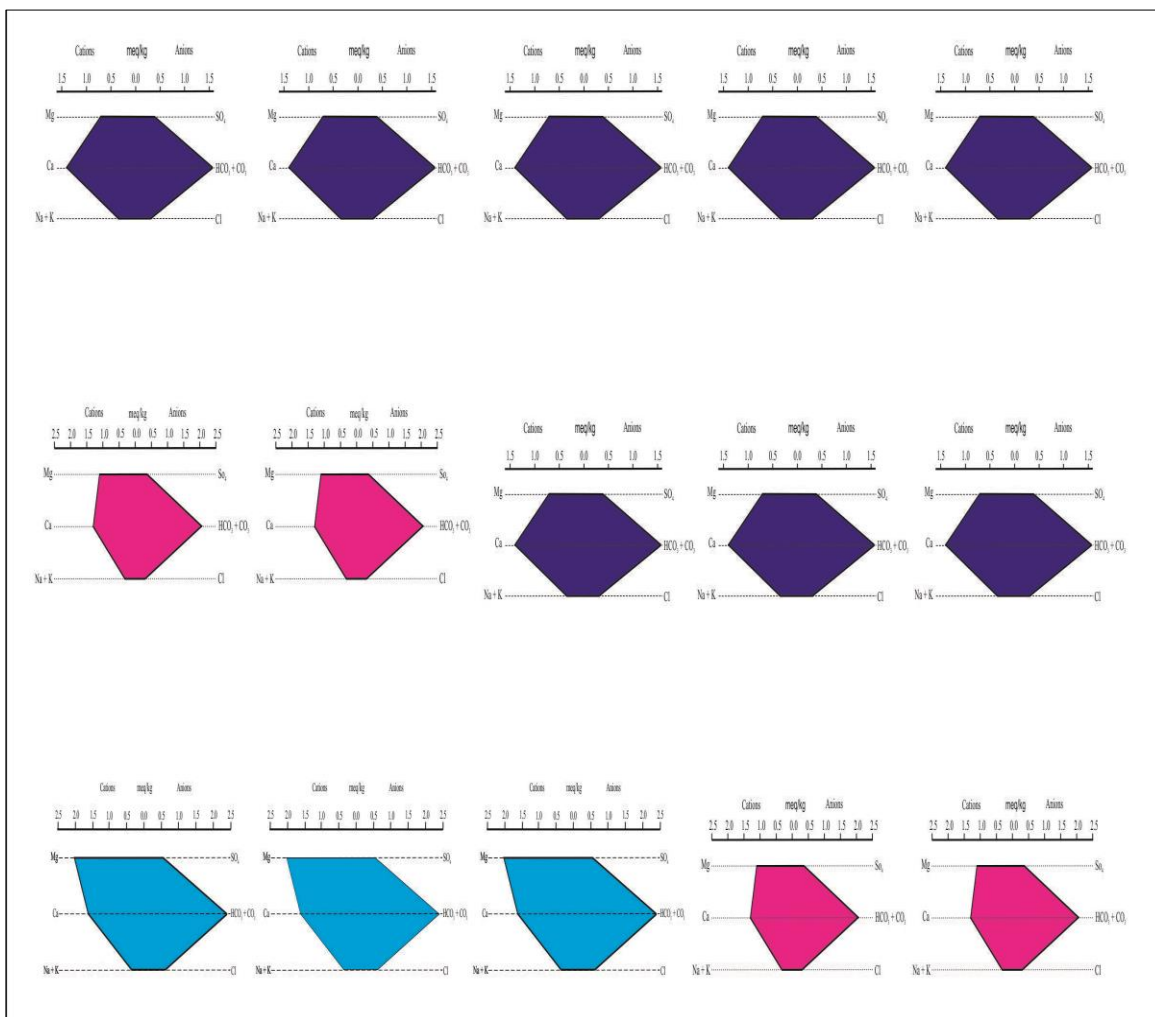


شکل ۴-۱۸- محل نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه

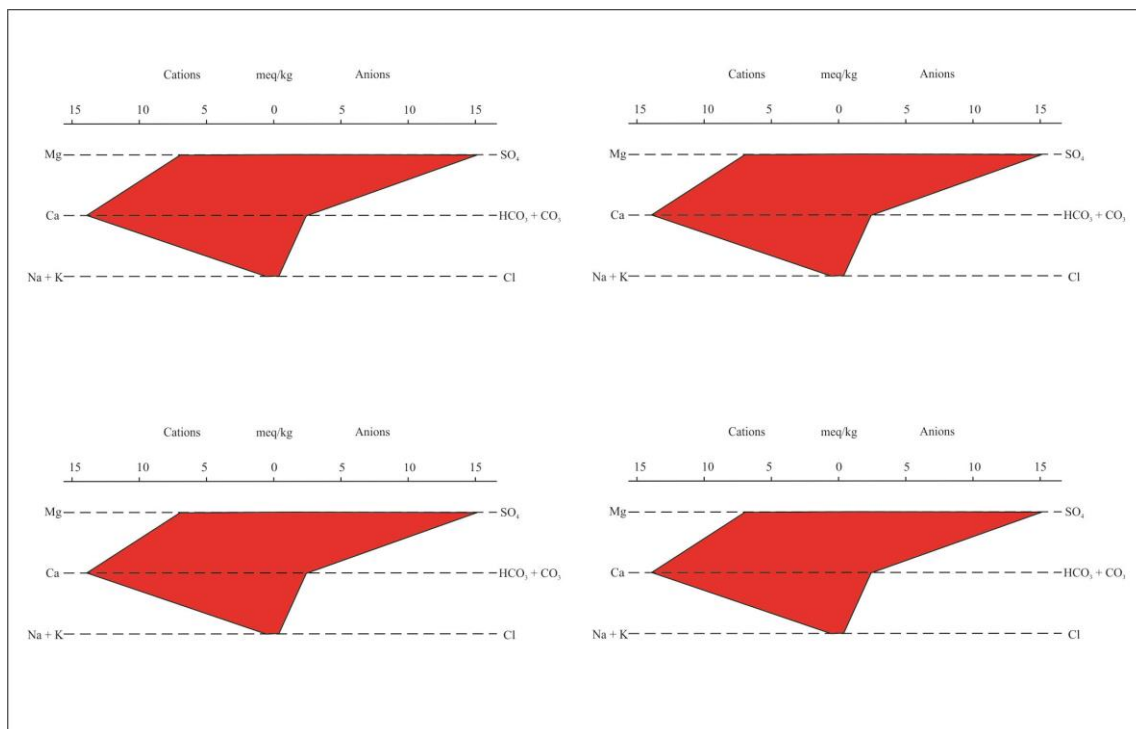
۴-۱- نمودار استیف

تیپ آب زیرزمینی یا فرمول یونی آب بیانگر آنیون و کاتیون غالب در آب زیرزمینی می‌باشد. به منظور ارزیابی تیپ آب‌ها و مقایسه سریع و آسان نمونه‌های آب زیرزمینی معمولاً از نمودار استیف (Stiff)

استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که نمودار استیف علاوه بر تعیین تیپ آب، یک بیان ترسیمی خوب از مقادیر یون‌های مختلف نسبت به هم ارائه می‌دهد که می‌توان برای تشابه یا عدم تشابه نمونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این روش آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب در سمت چپ و راست محور قائم قرار می‌گیرند. شکل (۴-۱۹) و (۴-۲۰) نمودار استیف نمونه‌های آب برداشت شده از آبخوان کارست گچی و آب‌های سطحی را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار استیف رسم شده برای نمونه‌ها می‌توان مشاهده کرد که آنیون غالب بی‌کربنات و سولفات بوده و کاتیون غالب کلسیم است. بنابراین تیپ آب در نمونه‌های برداشت از منطقه مورد مطالعه به دو گروه بی‌کربنات کلسیک و سولفات کلسیک تقسیم می‌شوند.



شکل ۴-۱۹- نمودار استیف نمونه‌های آب سطحی منطقه مورد مطالعه (تیپ بی‌کربنات کلسیم و منیزیم‌دار)

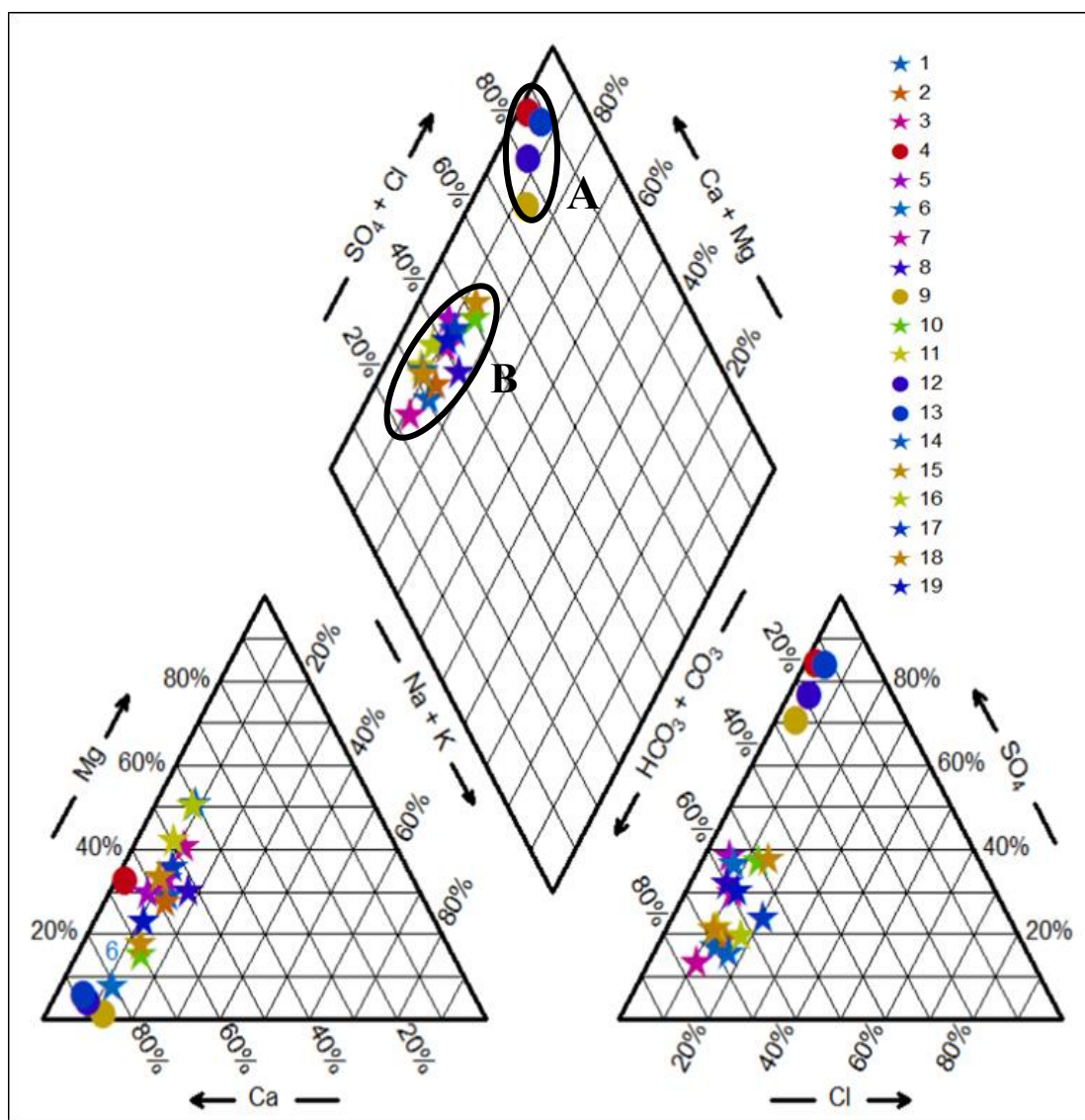


شکل ۴-۲۰- نمودار استیف نمونه‌های چشمه‌های گچی منطقه مورد مطالعه (تیپ سولفات کلسیم‌دار)

۴-۴-۲- نمودار پایپر

یکی از مهم‌ترین نمودارها برای نمایش و مقایسه کیفی آب، نمودارهای مثلثی می‌باشند، که برای اولین بار به وسیله (Piper 1944) ارائه گردیده است. در نمودار مثلثی یا نمودار پایپر کاتیون‌ها بر حسب درصدی از کل کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر تعیین شده و سپس بر روی مثلث سمت چپ مشخص می‌گردند، به طور مشابهی آنیون‌ها نیز بر روی مثلث سمت راست مشخص می‌گردند. نمودار-های پایپر عمدتاً جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی، مسیرهای تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها، اختلاط بین آب‌ها و همچنین تبادل یونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۴-۲۱) نمودار پایپر نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود می‌توان سختی دائم و موقت و همچنین انحلال ژپس را در شکل تشخیص داد، بر اساس تقسیم بندی (Deutsch 1977) و طبق نمودار پایپر، منابع آب حوضه‌ی مورد مطالعه در دو رخساره متفاوت در کل محدوده که در دو گروه A و B قرار گرفته‌اند قابل تشخیص می‌باشد. رخساره هیدروشیمیایی سولفات کلسیک (گروه A) متعلق به چشمه‌های سازند گچی (با کیفیت نامناسب مربوط

به سازند کند) می‌باشد که در اثر انحلال گچ در داخل آب به وجود آمده است که به علت دارا بودن مقادیر بالایی از Ca ، Mg ، SO_4 ، Cl ، در محدوده‌ی سختی دائم و رخساره بیکربنات کلسیک (گروه B) به آب‌های سطحی منطقه تعلق دارد که به علت دارا بودن مقادیر بالایی از Ca ، Mg ، HCO_3 در محدوده‌ی سختی موقت دارند. بر اساس این نمودار منابع آب موجود به تفکیک رخساره قابل تشخیص هستند.

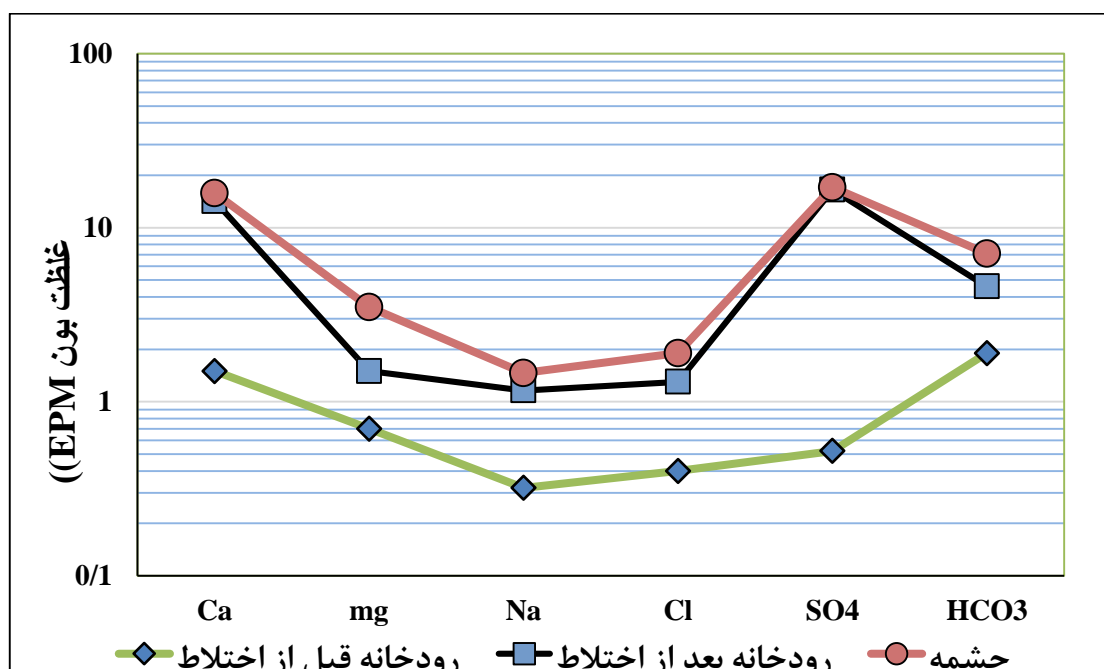


شکل ۴-۲۱- نمودار پایپر برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

۴-۳- نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشا نمونه‌ها، بررسی روند تغییرات مقادیر یون‌های اصلی موجود در نمونه‌های آب و نیز مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنیون‌ها

(بی‌کربنات، کلر و سولفات) و کاتیون‌های اصلی (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بر روی محور افقی نمودار قرار می‌گیرند. با توجه به نیمه لگاریتمی بودن محور عمودی نمودار شولر، خطوط موازی در این نمودار نمایانگر داشتن روند مشابه و در نتیجه یکسان بودن منشأ آب مربوط به نمونه‌های برداشت شده است (Todd and Mays 2005). شکل (۴-۲۲) نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای این کار از سه گروه چشمه، رودخانه قبل از اختلاط و رودخانه بعد از اختلاط نمونه‌برداری انجام شده است. بر اساس نمودار شولر ترسیم شده مشاهده می‌شود که تغییرات یون‌های اصلی در نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی روند مشابهی را نشان نمی‌دهد، که این روند تقریباً می‌تواند ناشی از عدم یکسان بودن منشأ نمونه‌ها، وسعت کم آبخوان در منطقه مورد مطالعه و یا تداخل در نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی باشد. کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و آنیون‌های سولفات و بی‌کربنات یون‌های غالب موجود در نمونه‌های برداشت شده می‌باشند.



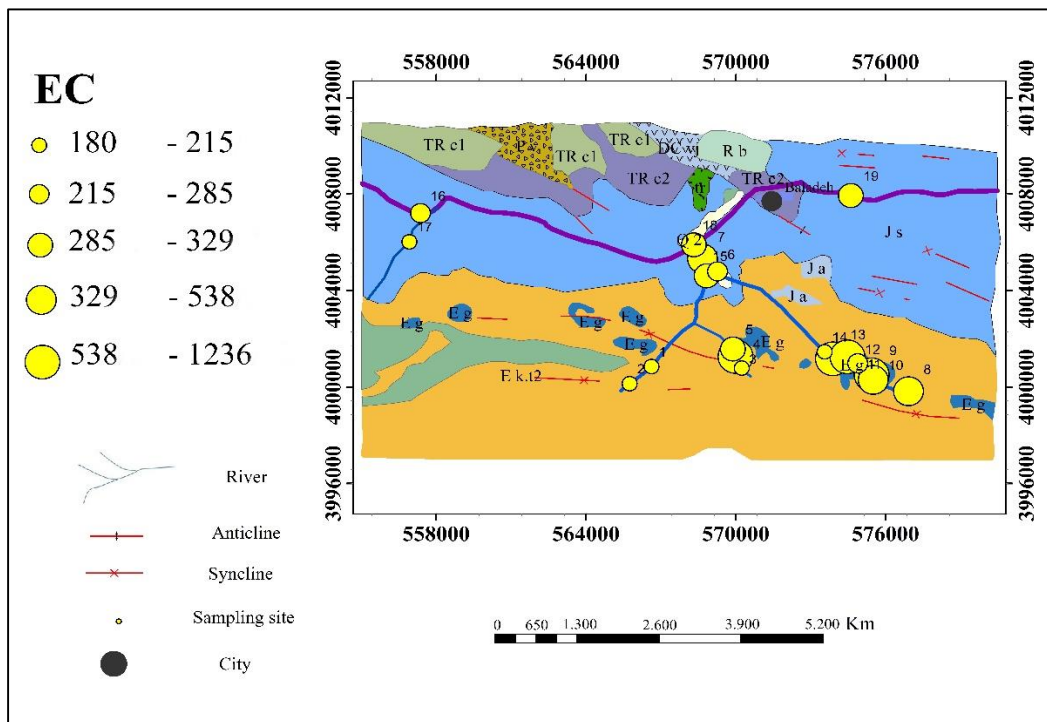
شکل ۴-۲۲- نمودار شولر برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

۴-۵- ترسیم نقشه‌های کیفی نمونه‌های آب سطحی و چشمه‌های گچی

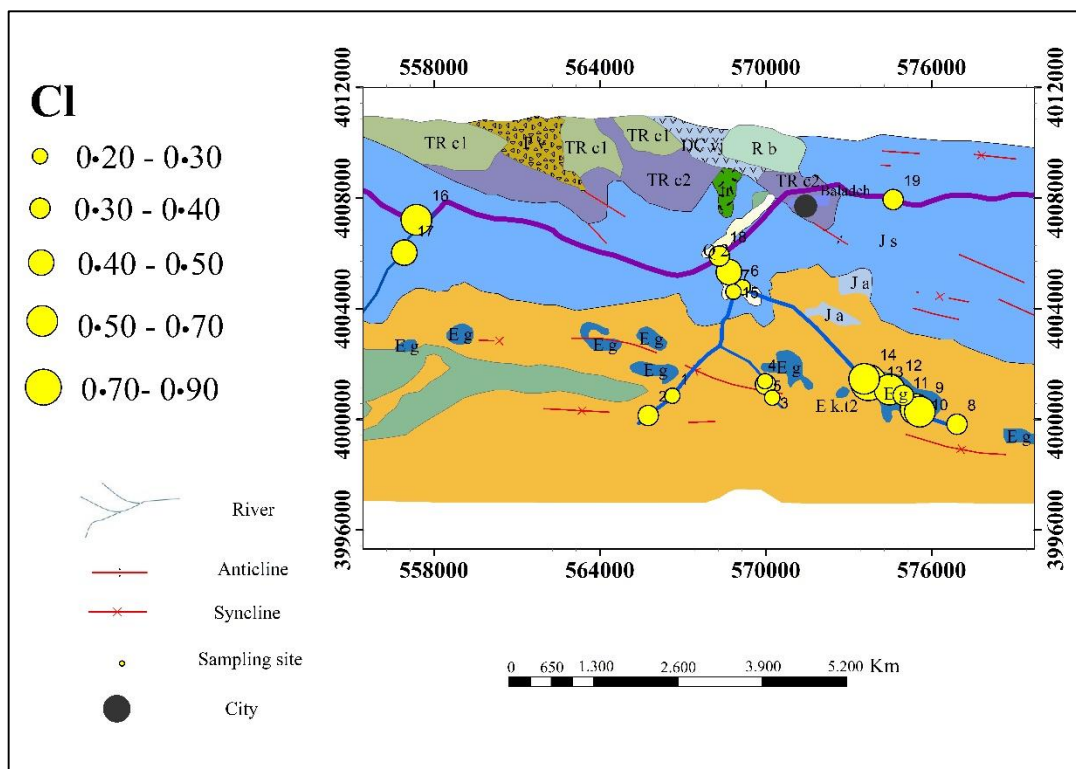
به منظور بررسی روند تغییرات یون‌های اصلی و تأثیر یا عدم تأثیر سازند گچی بر روی کیفیت منابع آب در محدوده‌ی مورد مطالعه از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از آب‌های سطحی و چشمه‌های گچی استفاده شده است. برای این منظور ابتدا نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از آنالیز شیمیایی و روشن شدن مقادیر هر یک از یون‌های اصلی، از نرم افزار Arc GIS 10.2 برای ترسیم این نقشه‌های کیفی استفاده شد.

۴-۵-۱- بررسی تغییرات مکانی کلر

کیفیت آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان موجود در منطقه مورد مطالعه متفاوت است. از این رو برای بررسی کیفیت میزان املاح محلول و نیز تأثیر یا عدم تأثیر چشمه‌های گچی بر روی کیفیت منابع آب پایین‌دست در منطقه مورد مطالعه نقشه تغییرات مکانی یون کلر (۴-۲۳) ترسیم و مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت ترسیم این نقشه‌ها از چشمه‌ها و رودخانه‌های موجود نمونه‌برداری صورت گرفت. مقادیر یون کلر در هر یک از نمونه‌ها محاسبه و با استفاده از این مقادیر نقشه تغییرات مکانی یون کلر ترسیم گردید.



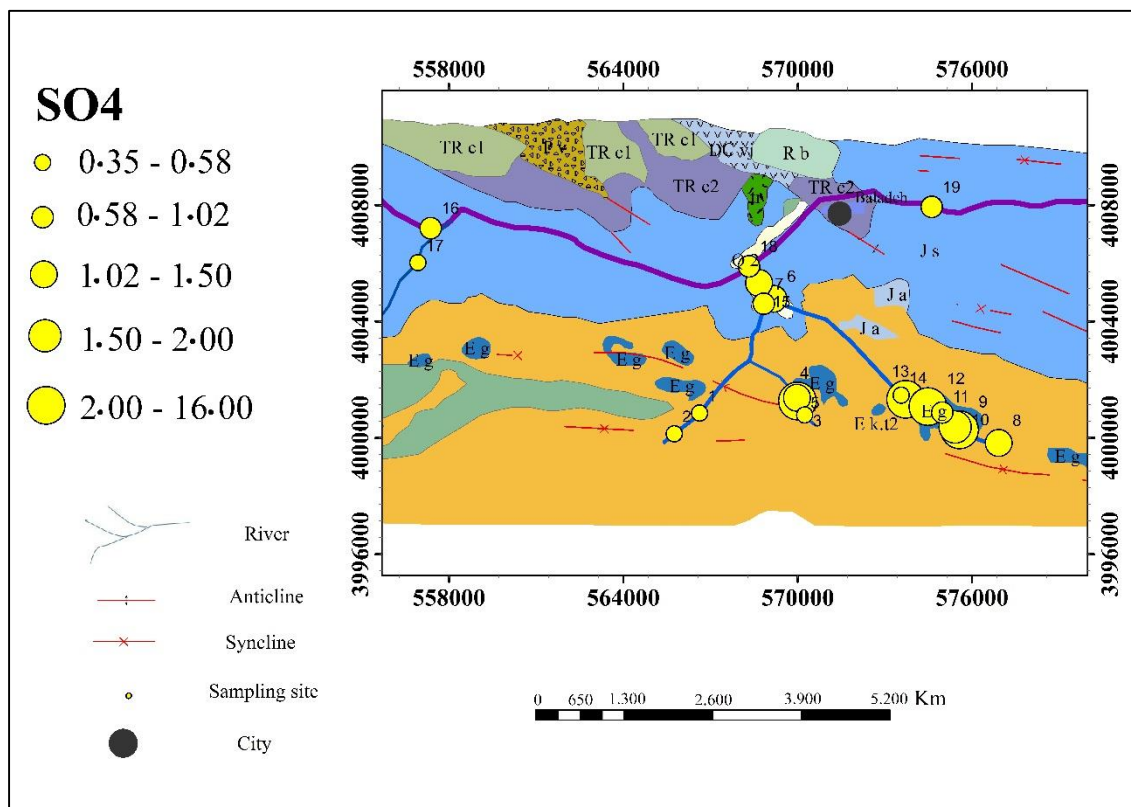
شکل ۴-۲۳- نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۲۴- نقشه تغییرات مکانی یون کلر در منطقه مورد مطالعه

۴-۵-۲- بررسی تغییرات مکانی یون سولفات

آنیون سولفات عمدتاً به صورت سولفات‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم یافت می‌شود. مهم‌ترین منبع این یون در آب‌های طبیعی سولفیدهای فلزی و تبخیری‌ها است. این سولفیدها در اثر شرایط جوی، به سولفات تبدیل می‌شوند که در اثر انحلال در آب جاری، به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند. ورود یون سولفات به داخل آب زیرزمینی باعث افزایش سختی آب می‌گردد (Fersenius *et al.* 1998). غلظت این یون اگر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر شود باعث تلخی مزه آب می‌شود. شکل (۴-۲۴) نقشه تغییرات مکانی یون سولفات را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه مقادیر یون سولفات نیز از روند کلی یون کلر و هدایت الکتریکی پیروی می‌کند.

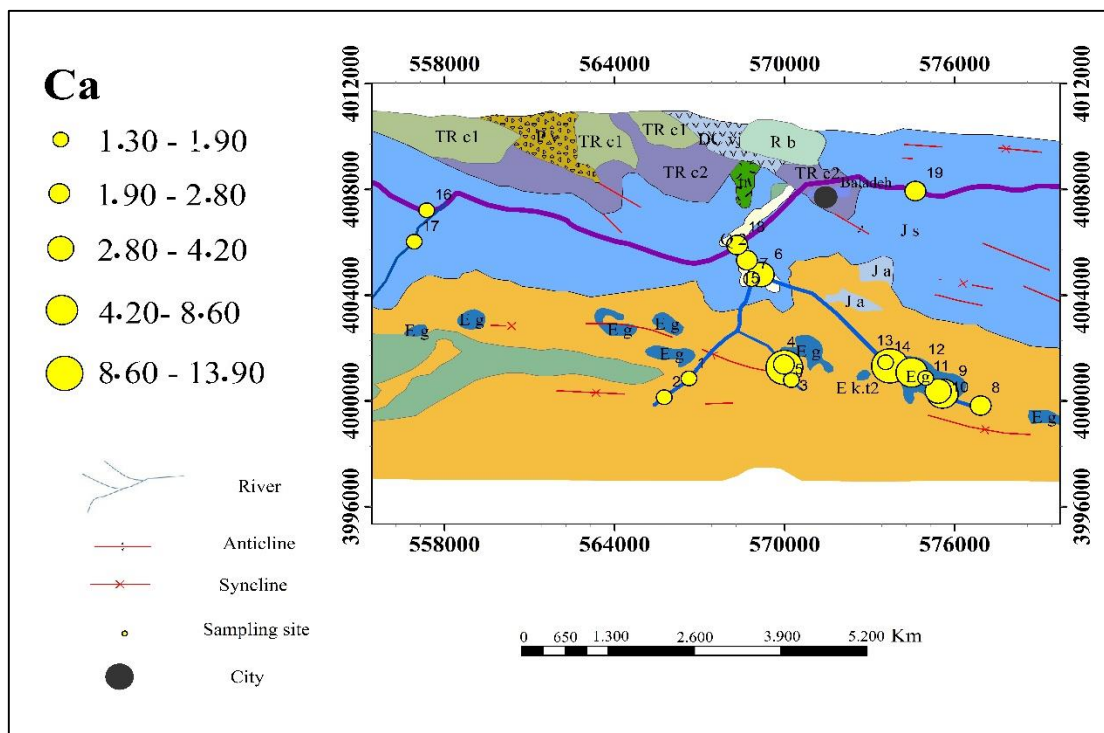


شکل ۴-۲۵- نقشه تغییرات مکانی یون سولفات در منطقه مورد مطالعه

با توجه به مقادیر این یون در آبخوان کارستی مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن به چشمه‌ها، مقادیر یون سولفات افزایش پیدا می‌کند. لازم به ذکر می‌باشد که با افزایش زمان ماندگاری و طولانی شدن طول مسیر جریان باید مقدار یون سولفات افزایش پیدا کند ولی به دلیل بالا بودن دبی رودخانه‌ها، این اثر کم شده و در پایین دست مشهود نمی‌باشد.

۴-۵-۳- بررسی تغییرات مکانی یون کلسیم

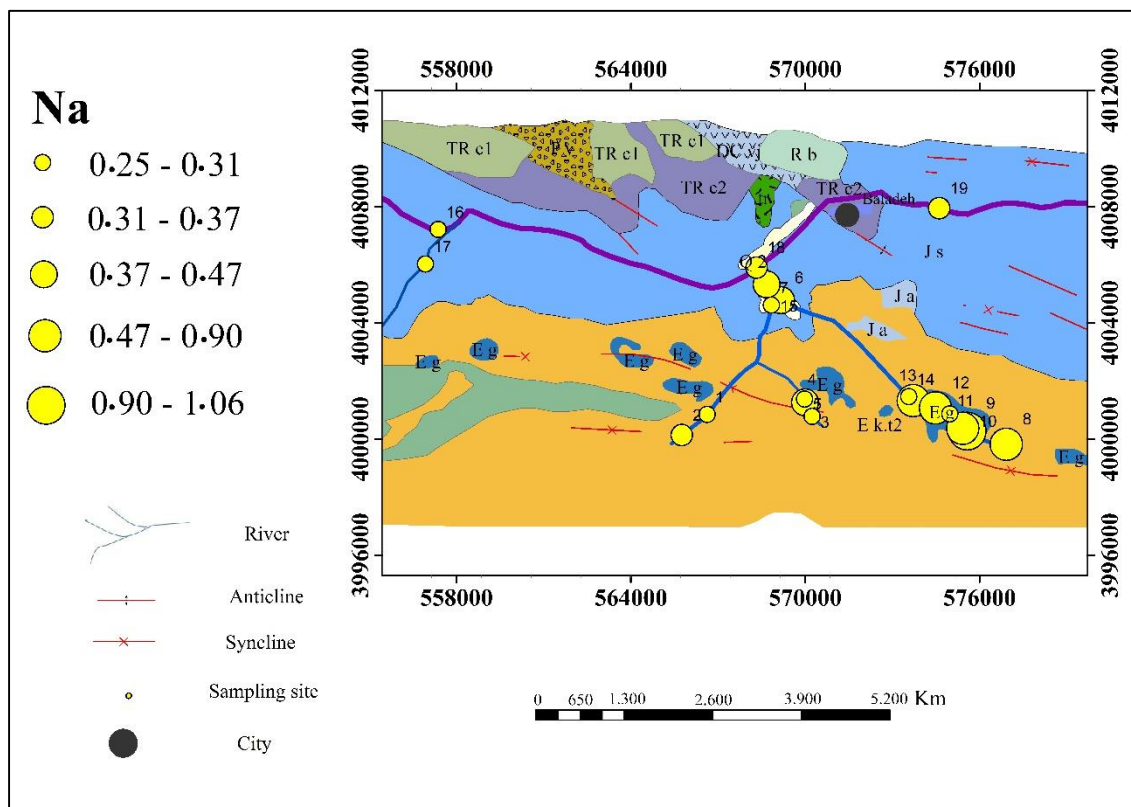
یون کلسیم که نیز فراوان‌ترین کاتیون‌های محلول در آب زیرزمینی است که خود در صورت وجود درون آب باعث سختی آب می‌شود. سختی آب در اثر کلسیم به دو نوع موقت و دائم تقسیم می‌شود. با توجه به شکل (۴-۲۵) مشاهده می‌شود که روند یون کلسیم مانند روند یون سولفات می‌باشد که می‌توان انحلال ژپس را برای آبخوان منطقه مورد مطالعه پیشنهاد داد.



شکل ۴-۲۶- نقشه تغییرات مکانی یون کلسیم در منطقه مورد مطالعه

۴-۵-۴- بررسی تغییرات مکانی یون سدیم

یون سدیم یکی از فراوان ترین فلزات قلیایی موجود در آب زیرزمینی می باشد که رابطه مستقیمی با درجه شوری آب دارد. به طور کلی رابطه مستقیمی بین تغییرات یون کلر و سدیم وجود دارد و با افزایش مقادیر یون کلر در آب زیرزمینی مقدار یون سدیم نیز افزایش می یابد و همچنین با کاهش کلر، مقدار یون سدیم افزایش می یابد. شکل (۴-۲۶) تغییرات مکانی یون سدیم را نشان می دهد. همان گونه که از تغییرات مکانی یون سدیم مشخص است که با تخلیه چشمه های گچی به داخل آب رودخانه یالرود و همچنین با افزایش مسیر جریان، مقدار سدیم در طول مسیر افزایش داشته است.



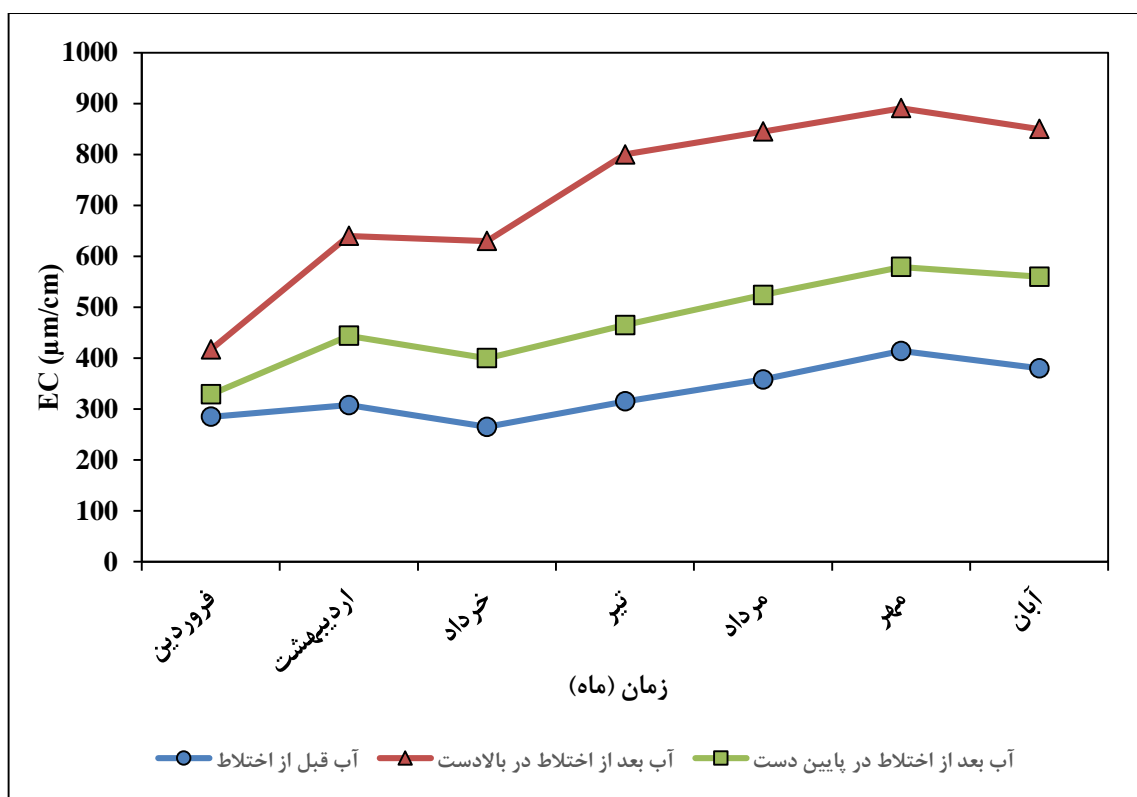
شکل ۴-۲۷- نقشه تغییرات مکانی یون سدیم در منطقه مورد مطالعه

۴-۵-۵- تغییرات هدایت الکتریکی آب‌های سطحی

لیتولوژی غالب سازند کند سنگ‌های تبخیری ژپسی ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و تا اندازه‌ای نمکی (NaCl) می‌باشد. سنگ‌های تبخیری دارای انحلال‌پذیری بالایی بوده و در طی تماس با آب حل شده و باعث افزایش مقدار املاح آب می‌شوند. با توجه به قرارگیری منطقه در محدوده سازند کند و همچنین ورود رواناب‌های فصلی از روی این سازند، انتظار می‌رود که نقش اصلی در شوری آب محدوده را وجود سازند تبخیری کند و انحلال ژپس ایفا کند.

شکل (۴-۲۷)، تغییرات زمانی EC برای آب‌های سطحی در محل‌های مختلف منطقه طی بازه زمانی هفت ماه را نشان می‌دهد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۱۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و متعلق به نقطه نمونه‌برداری قبل از اختلاط آب سطحی با آب چشمه‌های گچی و همچنین قبل از عبور از روی سازند گچی می‌باشد که در فروردین ۱۳۹۶ می‌باشد درحالی‌که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۸۹۱ میکروزیمنس مربوط به نقطه نمونه‌برداری شماره‌ی ۱۴ در آبان ماه ۱۳۹۶ است که، بعد از عبور از روی سازند گچی و همچنین بعد از اختلاط با آب چشمه‌های گچی برداشت شده است.

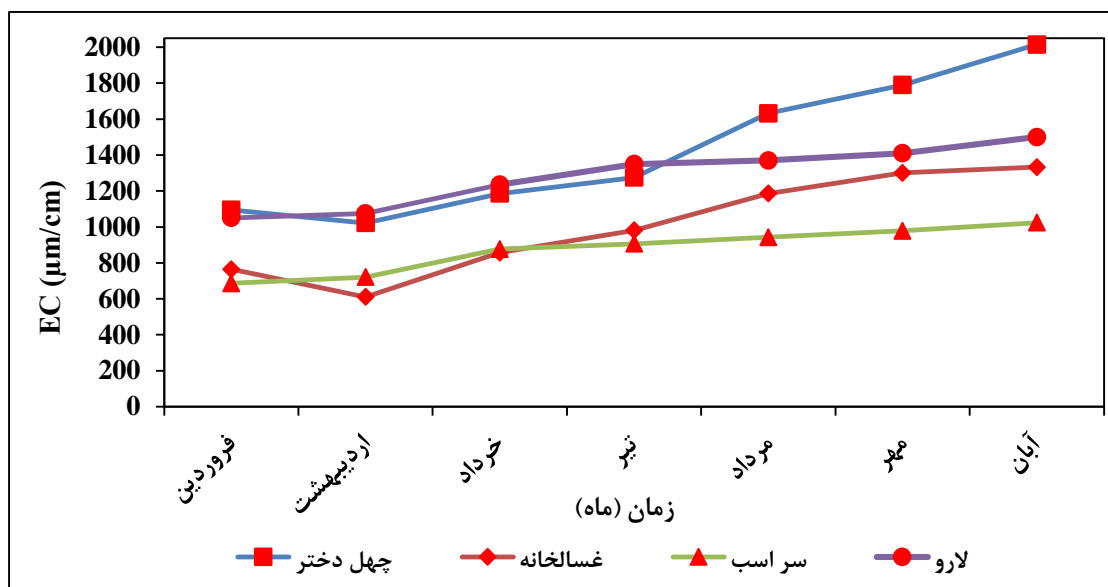
توجه به غالب بودن سازند تبخیری در محدوده‌ی مورد مطالعه، می‌توان مهم‌ترین عامل بی‌کیفیت شدن، آب در منطقه، را عملکرد عوامل زمین‌شناسی، بخصوص انحلال گچ و نمک در نظر گرفت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در خرداد ماه و آبان ماه مقدار هدایت الکتریکی کاهش پیدا کرده است که می‌توان بارش باران را علت این کار دانست. اما به صورت کلی با گذشت زمان و همچنین افزایش دما و تبخیر و کاهش مقدار دبی رودخانه‌ها، هدایت الکتریکی روند افزایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۸- تغییرات زمانی EC در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در آب‌های سطحی

۴-۵-۶- تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های گچی

روند تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌های گچی با توجه به شکل (۴-۲۸)، قابل مشاهده است که از فروردین ماه تا آبان ماه ۱۳۹۶، رسم شده است. به واسطه انحلال ژیپس به عنوان مهم‌ترین عامل و از طرفی دیگر به دلیل کاهش دبی چشمه‌ها، مقدار هدایت الکتریکی روندی افزایشی داشته است.



شکل ۴-۲۹- تغییرات زمانی EC در محل‌های مختلف نمونه برداری در چشمه‌های گچی

۴-۶- شاخص اشباع

برای محاسبه شاخص اشباع از مدل هیدروشیمیایی نرم افزار PHREEQC استفاده شده است. شاخص اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در نمونه آب‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه محاسبه و نتایج آن در جدول (۴-۷) ارائه شده است. شکل‌های (۴-۳۰)، (۴-۳۱)، (۴-۳۲) و (۴-۳۳) به ترتیب تغییرات مکانی شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت را برای منطقه مورد مطالعه که به چهار گروه تقسیم شده است را نشان می‌دهد. چهار گروهی که مطالعات بر روی آن‌ها صورت گرفته‌اند به ترتیب عبارت‌اند از گروه چشمه که شامل چشمه‌های گچی در منطقه است. گروه رودخانه قبل از اختلاط که نماینده بخش بدون گچ می‌باشد. گروه رودخانه بعد از اختلاط که نماینده آب اختلاط شده گروه چشمه با گروه بدون گچ است. گروه رودخانه بلده که نماینده همه آب‌های منطقه می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود در منطقه مورد مطالعه تغییرات مکانی شاخص‌های اشباع کم است. ضرایب اشباع برای کانی‌های دولومیت، کلسیت و ژیپس مثبت هستند که نشانگر این است که نمونه آب‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه نسبت به این کانی‌ها در حالت فوق اشباع است و سنگ‌های حاوی این عناصر در منطقه فراوان‌اند. ضرایب اشباع برای کانی هالیت تحت اشباع است، این کانی به علت بالا بودن ظرفیت اشباع همیشه به صورت تحت اشباع دیده می‌شود بنابراین این موضوع

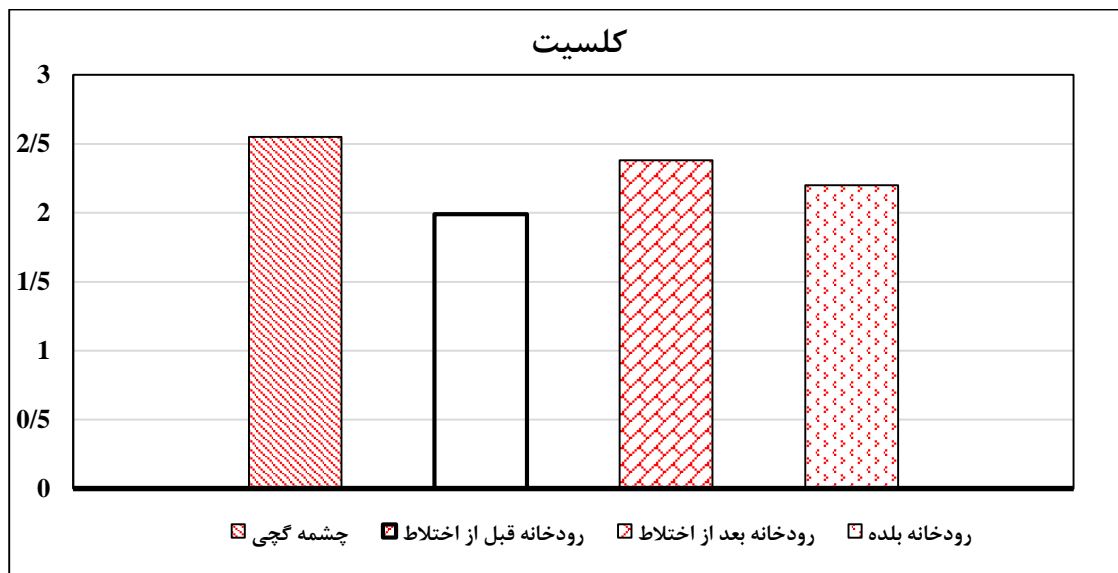
تأیید کننده نبود انحلال و همچنین کانی‌های مربوطه در منطقه می‌باشد. با توجه به وجود انحلال ژئوپس در این منطقه، انتظار می‌رود که شاخص اشباع برای کانی ژئوپس تحت اشباع باشد، ولی نتایج بدست آمده این موضوع را تأیید نمی‌کند در واقع دلیل این موضوع وابسته به غلظت سایر کانی‌ها و همچنین پایین بودن مقدار املاح در منطقه اشاره کرد.

جدول ۴-۶- مقادیر نمایه‌های اشباع برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

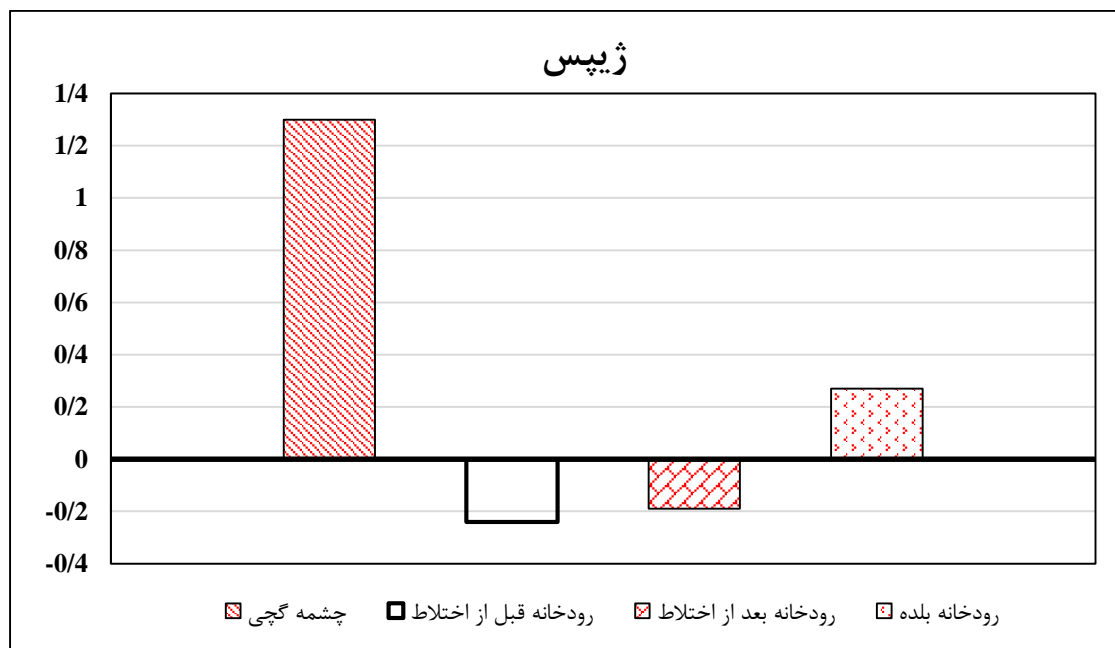
شاخص اشباع				
ژئوپس	کلسیت	دولومیت	هالیت	نمونه‌ها
-۰/۲۴	۱/۹۹	۳/۶۰	-۵/۹۵	۱
-۰/۱۱	۲/۴۰	۴/۳۹	-۵/۸۰	۲
-۰/۳۴	۲/۴۹	۴/۸۴	-۶/۰۰	۳
۱/۵۳	۲/۹۰	۵/۳۸	-5.78	۴
۰/۳۲	۲/۶۳	۴/۸۶	-۶/۱۷	۵
۰/۴۷	۲/۷۶	۴/۴۰	-۵/۸۲	۶
۰/۰۸	۲/۳۹	۴/۴۷	-۵/۹۴	۷
۰/۳۷	۲/۴۲	۴/۵۰	-۵/۴۰	۸
۱/۲۲	۲/۴۳	۴/۸۷	-۵/۲۴	۹
۰/۶۱	۲/۷۶	۴/۷۶	-۵/۲۱	۱۰
۰/۰۱	۲/۵۴	۴/۹۳	-۵/۸۹	۱۱
۱/۳	۲/۵۵	۳/۶۶	-۵/۴۳	۱۲
۱/۵۴	۲/۱۵	۲/۹۸	-۵/۱۹	۱۳
-۰/۱۹	۲/۳۸	۴/۷۷	-۵/۶۷	۱۴
۰/۳۲	۲/۱۳	۳/۵۷	-۵/۶۸	۱۵
-۰/۰۵	۱/۹۵	۳/۹۰	-۵/۶۴	۱۶
-۰/۰۷	۱/۸۹	۳/۵۱	-۵/۸۲	۱۷
۰/۱	۲/۱۶	۴/۰۰	-۵/۸۰	۱۸
۰/۲۷	۲/۲۰	۳/۸۵	-۵/۷۷	۱۹

با توجه به تعداد بالای نمونه‌ها و به دلیل نزدیک بودن مقادیر هدایت الکتریکی، غلظت یون‌ها و شاخص اشباع، منطقه مورد مطالعه به چهار گروه تقسیم شد که از هر گروه یک نمونه، به عنوان نماینده آن در نظر گرفته شده است. چهار نماینده گروه به ترتیب عبارت‌اند از چشمه، رودخانه قبل اختلاط، رودخانه

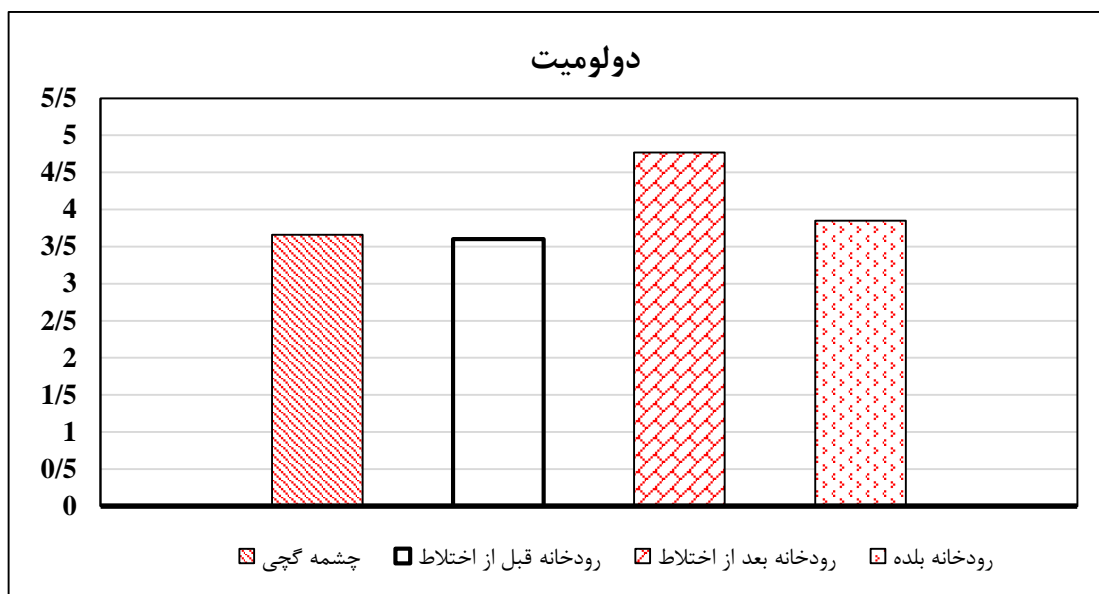
بعد از اختلاط و رودخانه اصلی بلده که هر کدام نماینده گروه های ذکر شده هستند. شاخص اشباع هر گروه برای کلسیت، دولومیت، هالیت و ژئوپس رسم گردید.



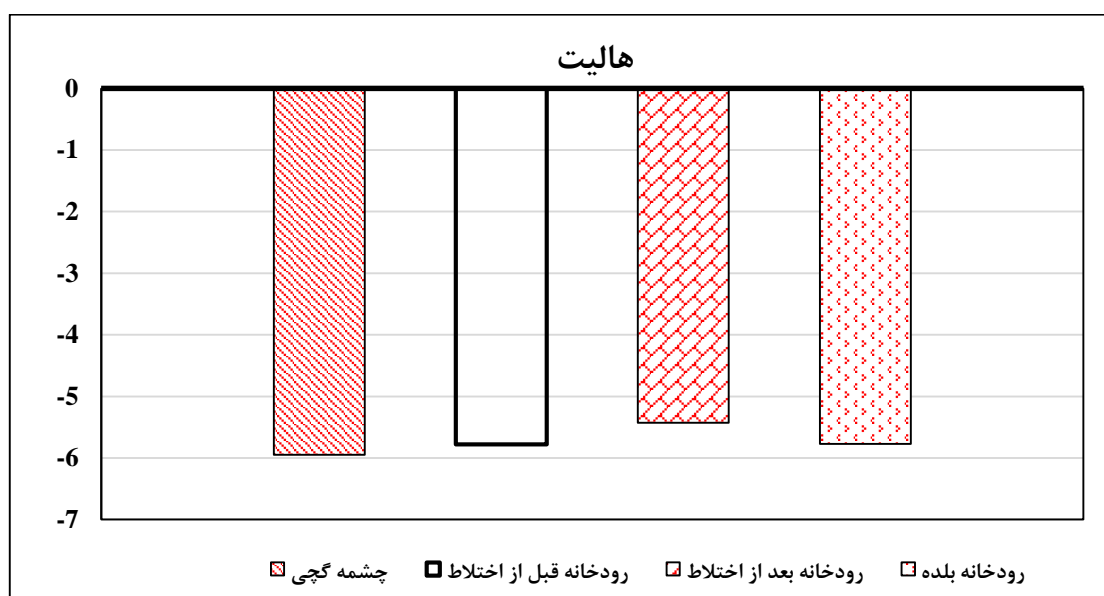
شکل ۴-۳۰- شاخص اشباع برای کانی کلسیت در هر چهار گروه



شکل ۴-۳۱- شاخص اشباع برای کانی ژئوپس در هر چهار گروه



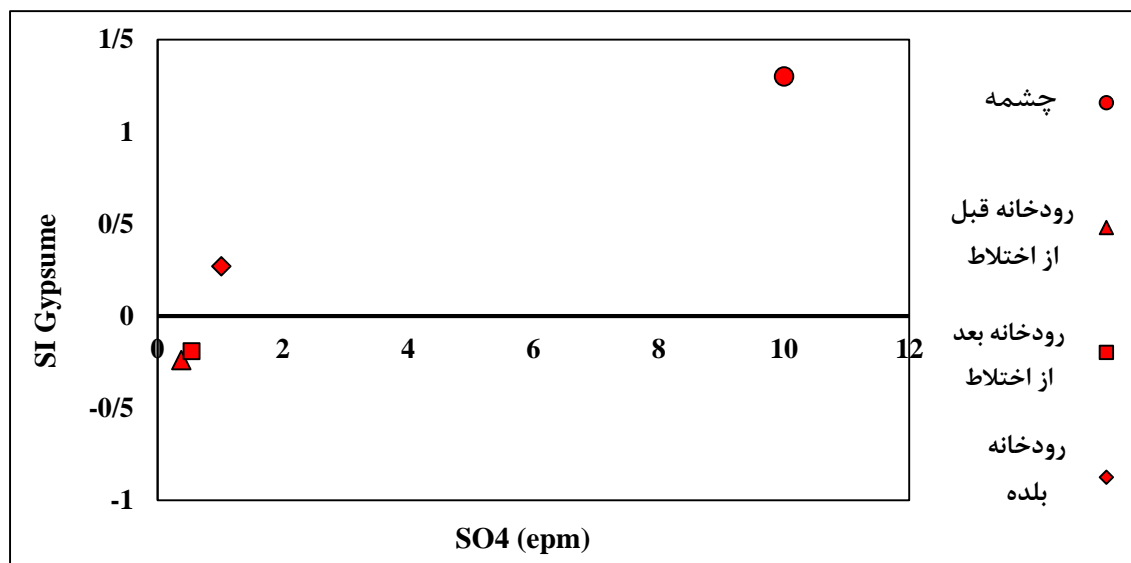
شکل ۴-۳۲- شاخص اشباع برای کانی دولومیت در هر چهار گروه



شکل ۴-۳۳- شاخص اشباع برای کانی هالیت در هر چهار گروه

شکل (۴-۳۴) یون سولفات در برابر شاخص اشباع ژپس (SI Gypsum) را نشان می‌دهد. با توجه به این که شاخص اشباع برای چهار گروه رسم شده است می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش طول مسیر، زمان ماندگاری، اختلاط آب چشمه‌ها با آب رودخانه‌ها و عبور آب از روی سازندهای گچی مقدار یون سولفات و شاخص اشباع ژپس روند افزایش پیدا می‌کند. همان طور که در شکل (۴-۳۴) مشاهده

می‌شود شاخص اشباع ژیپس در مقابل یون سولفات در گروه چشمه نسبت به سایر گروه‌ها بیشتر است که تأیید کننده انحلال ژیپس در این زیرحوضه می‌باشد. بنابراین طبق روند افزایشی شاخص اشباع و یون سولفات باید در رودخانه بلده، غلظت این دو بالاتر از گروه چشمه باشد اما به دلیل بالا بودن حجم آب رودخانه‌ها نسبت به آب چشمه‌ها و همچنین کم بودن انحلال عمقی ژیپس، در گروه رودخانه بلده، مقدار شاخص اشباع و یون سولفات افزایش زیادی نداشته است و مقدار آن از گروه چشمه کمتر است.

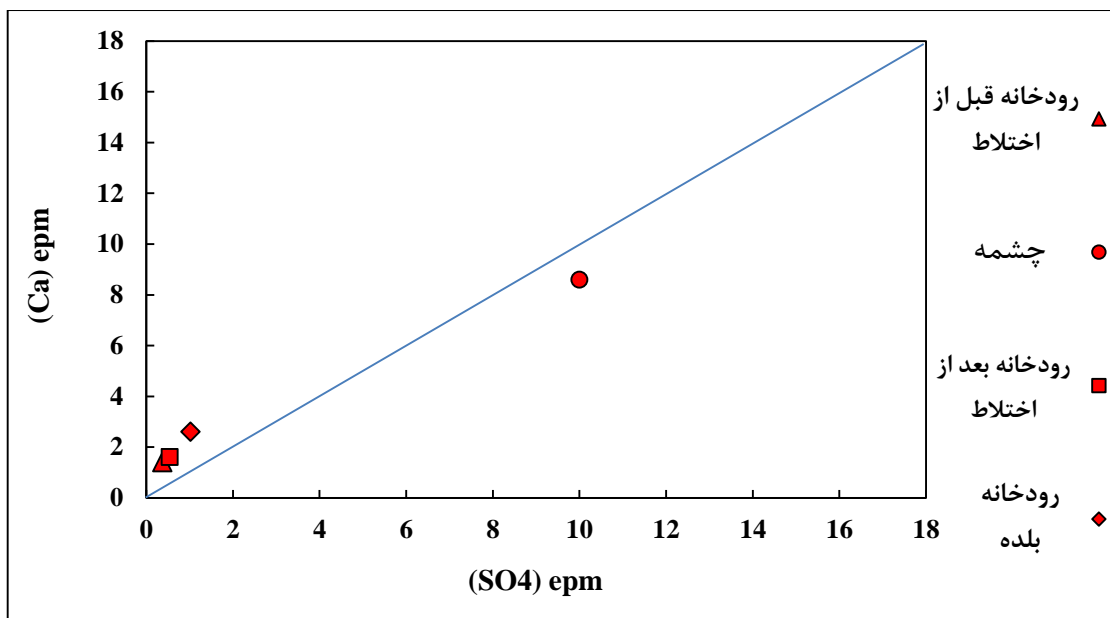


شکل ۴-۳۴- نمودار شاخص اشباع ژیپس در مقابل سولفات

۴-۷- نمودارهای ترکیبی

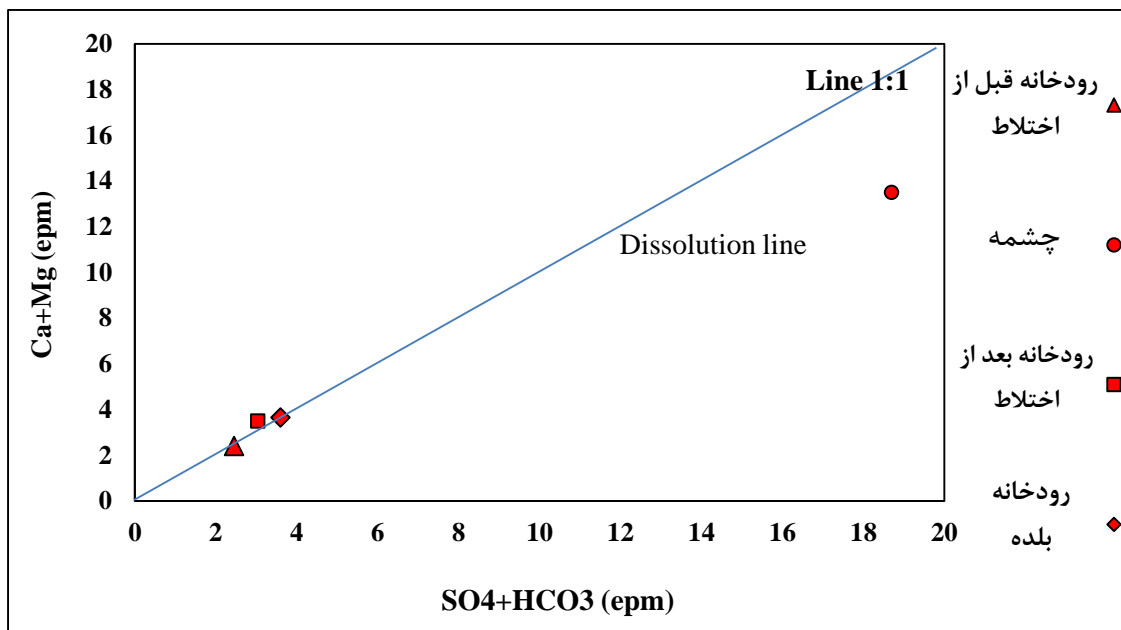
برای بررسی تأثیر فرایندهای ژئوشیمیایی بر کیفیت آبی، منشأ یابی منابع آب زیرزمینی و تأثیر یا عدم تأثیر سازندهای مخرب کیفیت آب مانند گچ و چشمه‌های خروجی از آن، بر روی منابع آب پایین دست از نمودارهای ترکیبی بهره گرفته می‌شود. نسبت‌های یونی معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند. استفاده از این نسبت‌ها روش مناسبی برای تعیین منشأ املاح موجود در آب زیرزمینی است. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی قرار دارد (Hunselow 1995). بر این اساس، فرآیندهایی مانند خروج کلسیم، تبادل یونی، رسوب کلسیت، انحلال ژیپس و ... شیمی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده است.

نمودار یون کلسیم در مقابل یون سولفات در شکل (۴-۳۵) ترسیم شده است همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش غلظت کلسیم در نمونه‌های آب برداشت شده، مقدار یون سولفات نیز روند افزایشی به خود می‌گیرد که تایید کننده انحلال کانی‌های تبخیری مانند ژپس در منطقه می‌باشد.



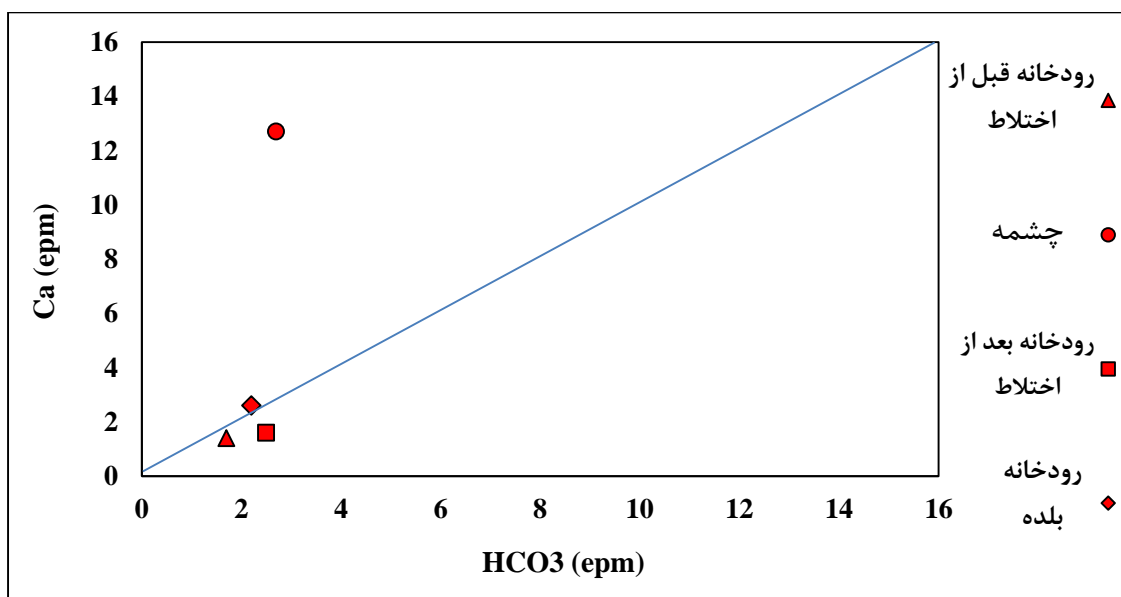
شکل ۴-۳۵- نمودار کلسیم در مقابل سولفات

در شکل (۴-۳۶) نمودار دو متغیره $(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$ در مقابل $(\text{Ca} + \text{Mg})$ نشان داده شده است. خط ۱:۱ نشان دهنده فرآیند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس می‌باشد. اگر غلظت نمونه‌هایی که روی خط ۱:۱ قرار می‌گیرند کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد انحلال کلسیت و دولومیت و در صورتی که این غلظت بیشتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد انحلال ژپس در منطقه رخ داده است. با توجه به مقادیر پایین $(\text{Ca} + \text{Mg})$ در نمونه‌های برداشت شده از منطقه، مشاهده می‌شود که انحلال ژپس صورت گرفته است. همچنین اگر نمونه‌ها در بالا یا پایین خط ۱:۱ قرار گیرند به ترتیب نشان دهنده فرآیند تبادل یونی معکوس و تبادل یونی هستند (Mazor 2004). در این نمودار زیرحوضه‌های رودخانه بلده، رودخانه قبل از اختلاط و بعد از اختلاط روی خط و زیرحوضه چشمه در زیر خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۳۶- نمودار دو متغیره (SO4+HCO3) در مقابل (Ca+Mg)

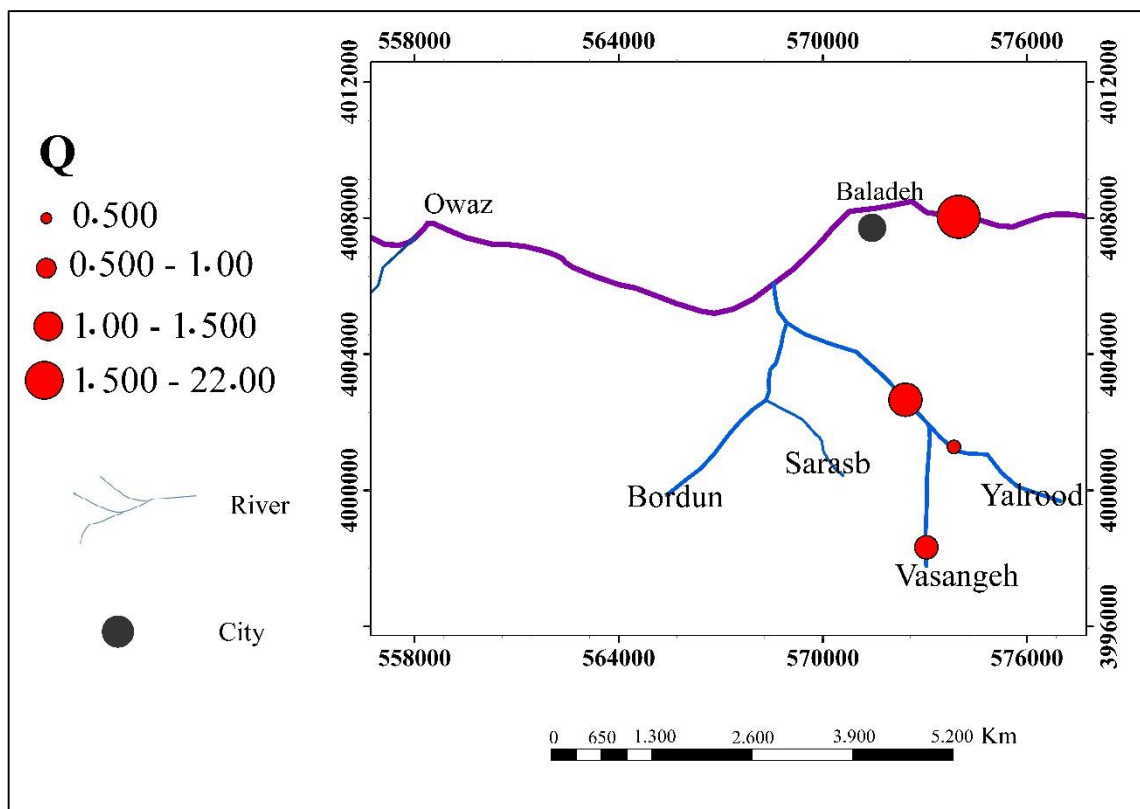
شکل (۴-۳۷) که یون بی کربنات در مقابل یون کلسیم رسم شده است را نشان می دهد. با توجه به این که نمونه های آب سطحی از خط ۱:۱ تقریباً پیروی می کنند می توان گفت انحلال بی کربنات در منطقه با مقدار کم صورت می گیرد ولی با توجه به نمونه های آب چشمه ها که بالای خط ۱:۱ قرار گرفته اند می توان انحلال ژپیس در منطقه را مشاهده نمود.



شکل ۴-۳۷- نمودار یون کلسیم در مقابل یون بی کربنات

۴-۸- ارزیابی تأثیر سازند گچی بر کیفیت آب رودخانه‌ها

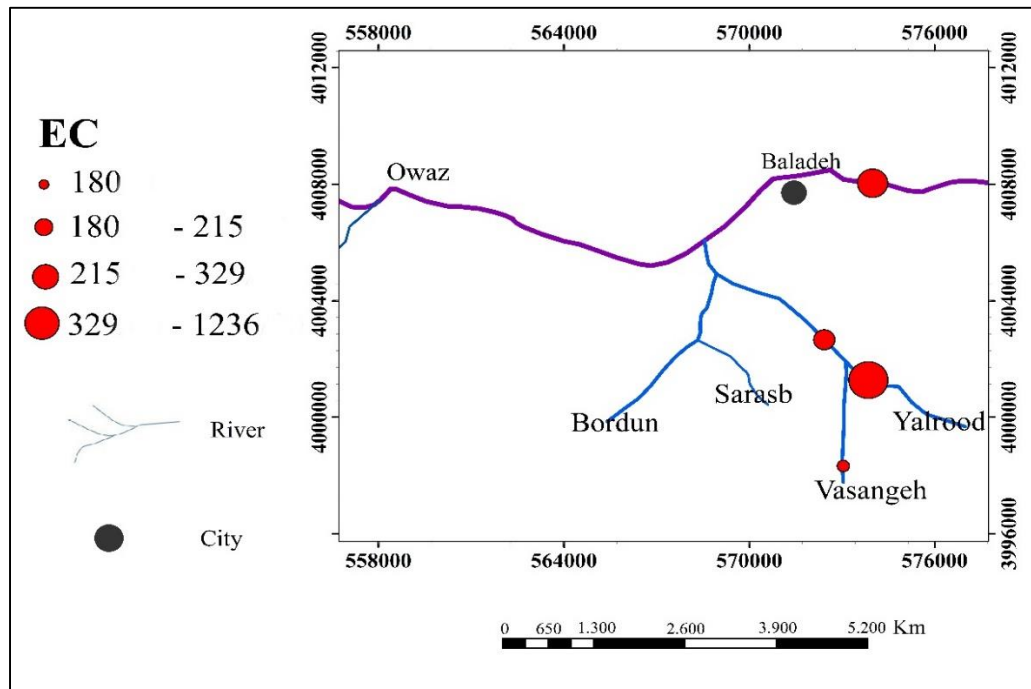
با تقسیم منطقه مورد مطالعه به چهار گروه چشمه، رودخانه قبل از اختلاط، رودخانه بعد از اختلاط و رودخانه بلده به مقایسه مقادیر دبی، هدایت الکتریکی، غلظت یون سولفات و کلسیم پرداخته شده است. همان طور که در شکل (۴-۳۷) ملاحظه می‌شود دبی چشمه‌ها در مقایسه با دبی رودخانه‌ها بسیار ناچیز است همین عامل باعث کاهش اثر منفی چشمه‌ها بر کیفیت آب بعد از اختلاط آب گروه‌های مختلف می‌شود.



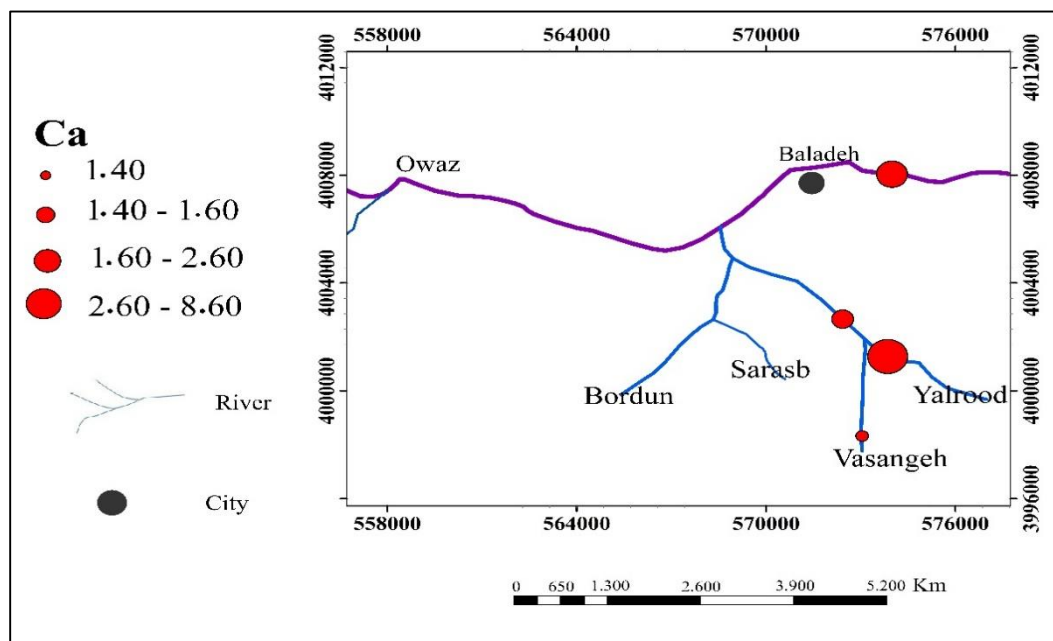
شکل ۴-۳۷- نقشه تغییرات دبی در هر چهار گروه

همان طور که در شکل‌های (۴-۳۸)، (۴-۳۹) و (۴-۴۰) ملاحظه می‌شود مقدار هدایت الکتریکی، یون کلسیم و یون سولفات در بخش‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. در گروه چشمه، دارای بیشترین مقدار بوده و در رودخانه قبل از اختلاط کمترین مقدار خود را دارا است. رودخانه بعد از اختلاط و رودخانه بلده بین این دو بازه بیشترین و کمترین قرار می‌گیرند که دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی، یون سولفات

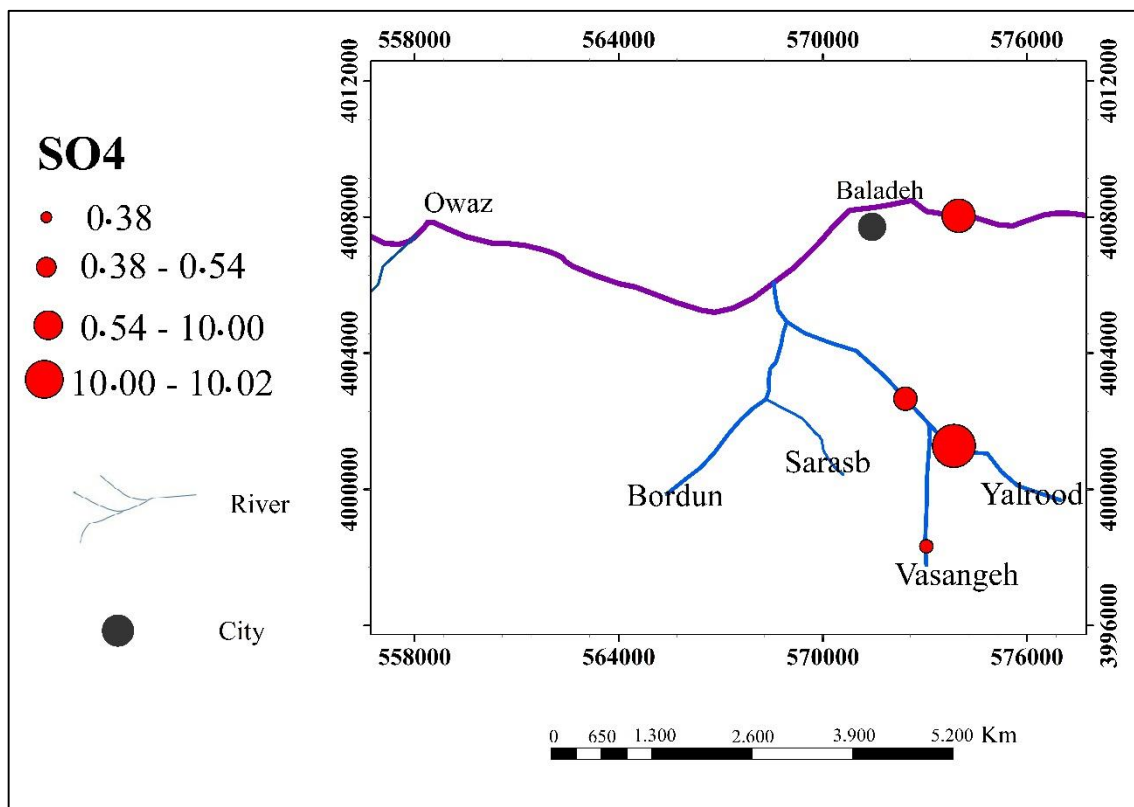
و کلسیم در رودخانه بلده، عبور آب از سازند گچی و انحلال آن در بخش زیرین بوده که بعد از اختلاط با آب چشمه‌ها افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۴-۳۸- نقشه تغییرات هدایت الکتریکی در هر چهار گروه



شکل ۴-۳۹- نقشه تغییرات یون کلسیم در هر چهار گروه



شکل ۴-۴- نقشه تغییرات یون سولفات در هر چهار گروه

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادہا

در این فصل نتایج حاصل از کلیه مراحل تحقیق انجام شده در مورد تأثیر سازندهای مخرب کیفیت منابع آبی مانند سازند گچی کند و چشمه‌های خروجی از آن بر روی منابع آب پایین‌دست در منطقه بلده به صورت مختصر ارائه گردیده است. همچنین سعی شده است تا پیشنهادهایی جهت انجام مطالعات بعدی و همچنین جهت رفع مشکلاتی احتمالی به وجود آمده ارائه شود.

۵-۱- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین و اصلی‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق شامل بررسی ژئومورفولوژیکی کارست‌های گچی، هیدروژئولوژی و همچنین هیدروژئوشیمی آن و میزان تأثیر بر روی منابع آب پایین‌دست در منطقه بلده است.

۵-۱-۱- بررسی توسعه کارست در منطقه

توسعه کارست در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه یکسان نبوده، به همین دلیل وضعیت توسعه یافتگی کارست گچی از دو دیدگاه مورد بررسی ارزیابی قرار گرفت.

الف- ارزیابی درجه توسعه کارست گچی در منطقه بر اساس عوارض مورفولوژیکی

وجود عوارض ژئومورفولوژیکی مانند آب‌فروچاله، گودی مسدود، پلیه و چشمه‌های گچی در منطقه، بیانگر این مطلب است که در بخش جنوب شرقی یالرود و بلده درجه توسعه یافتگی بیشتر بوده و در بخش‌های دیگر به علت ناخالصی‌های موجود در گچ و همچنین پوشش گچ توسط نهشته‌های غیر گچی نسبتاً ناچیز است و یا قابل مشاهده نیست.

ب- ارزیابی درجه توسعه کارست بر اساس هیدروژئولوژی

به منظور بررسی درجه توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه از دیدگاه هیدروژئولوژیکی، وجود چشمه‌های کارستی و همچنین ضرایب بده آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور کلی چهار چشمه کارستی نسبتاً بزرگ در سازند گچی کند ظاهر شده، که سه مورد آن در محدوده‌ی یالرود واقع شده‌اند. این چشمه‌ها شامل چهل‌دختر، غسالخانه و لارو می‌شوند که دو مورد اول بزرگ‌ترین چشمه‌های منطقه

محسوب می‌شوند. تمرکز چشمه‌های گچی در منطقه یالرود با خصوصیات ژئومورفولوژیکی کارست در این منطقه کاملاً همخوانی دارد. بررسی منحنی فرود چشمه‌های گچی در منطقه بیانگر این است که تمامی چشمه‌ها دارای دو ضریب بده به ترتیب با مقادیر حدود ۰,۰۲ و ۰,۰۰۶ می‌باشند. پایین بودن نسبی مقادیر ذکر شده، بیانگر تخلیه نسبتاً آرام آب در آبخوان کارست گچی است. این نتیجه تا اندازه‌ای با توسعه کارست در منطقه همخوانی ندارد. دلیل این مطلب از این قرار است که، سازندهای گچی بر خلاف سازندهای کربناته از استحکام لازم برخوردار نبوده و به علت سست بودن و همچنین انحلال پذیری بالاب گچ‌ها مجاری ایجاد شده به سرعت منهدم شده و در نتیجه از کانالیزه شدن جریان ممانعت به عمل می‌آید. با توجه به هیدروگراف‌های رسم شده، منحنی فرود و ضریب تغییرات محاسبه شده برای چشمه‌ها مشاهده می‌شود که سیستم غالب از نوع افشان-مجرای می‌باشد.

۵-۱-۲- مقایسه کلی کیفیت آب رودخانه‌ها و چشمه‌های گچی

با توجه به نقشه‌های تغییرات مکانی و زمانی رسم شده‌ی یون‌ها برای نمونه‌های برداشت شده، می‌توان گفت که منشاء آب‌های موجود در منطقه یکسان نبوده و آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها از بخش‌های مختلف سرچشمه می‌گیرند (رجوع شود به شکل‌های ۴-۲۳ الی ۴-۲۹). همچنین بر اساس نمودارهای استیف، پایپر و شولر می‌توان به این نتایج دست یافت که کیفیت آب چشمه‌ها نامناسب و کیفیت آب رودخانه‌ها خوب می‌باشند (رجوع شود به شکل‌های ۴-۲۰ الی ۴-۲۲). به دلیل اختلاط آب رودخانه‌ها و چشمه‌ها، کیفیت آب در پایین دست (بعد از اختلاط آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها) کاهش می‌یابد اما به علت ناچیز بودن دبی چشمه‌ها در مقایسه با دبی رودخانه‌ها اثر کاهش کیفیت آب در پایین دست (رودخانه بلده) از بین رفته و کیفیت آب مجدداً بهبود می‌یابد (رجوع شود به شکل‌های ۴-۳۰ الی ۴-۴۰).

۵-۲- پیشنهادها

به منظور انجام مطالعات بیشتر و کامل تر در منطقه مورد مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه می شود:

- بسترسازی مناسب و نصب اشل‌ها برای اندازه‌گیری دبی چشمه‌های کارستی با دقت بالا

- نصب اشل در خروجی زیر حوضه‌های مختلف

- نصب چند باران سنج ذخیره‌ای برای برآورد دقیق بارندگی در منطقه

- صغری، م.، کهنسال قدیم وند، ن.، ناصری، ح. (۱۳۹۳) "پتروگرافی و ژئوشیمی دولومیت‌های بخش زیرین سازند لار در البرز مرکزی، جنوب خاوری بهشهر"، فصلنامه زمین، سال نهم، شماره ۳۴.
 - استواری، ی.، بیگی، ح. (۱۳۹۱) "بررسی تأثیر سازند گچساران بر آب زیرزمینی دشت لردگان، استان چهارمحال و بختیاری" اولین کنفرانس ملی راهکارهای دسیابی به توسعه پایدار، دانشگاه شهرکرد.
 - درویش‌زاده، ع.، (۱۳۷۰)، "زمین‌شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر.
 - رقیمی، م.، (۱۳۸۹)، "کاربرد هیدروژئوشیمی در شناسایی کانی‌های تبخیری دریاچه شور اینچه در بخش شمالی آق‌قلا، استان گلستان" اولین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی.
 - رستگار، ش.، بارانی، ح.، دريجانی، ع.، بردی شیخ، و.، قربانی، ح.، قربانی، م. (۱۳۹۰) "مقایسه میزان هدر رفت خاک و رسوب در برخی سازندهای زمین‌شناسی در گرادیان‌های پوشش گیاهی با استفاده از شبیه سازی باران" نشریه مرتع و آبخیزداری، شماره ۱، بهار ۹۱
 - زارعی، ح.، اژدری، ع.، (۱۳۸۵)، "کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه آبریز سد ابولفارس و تأثیر سازند گچساران بر آن" دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
 - علیزاده، ا.، (۱۳۸۴)، "اصول هیدرولوژی کاربردی" انتشارات آستان قدس رضوی.
 - قبادی، م.، ح.، (۱۳۹۲)، "معرفی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست توده آهکی بیستون - پراو" هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.
 - کرمی، غ.، ح.، (۱۳۹۴)، "جزوه درس ژئومورفولوژی کارست" گروه آبشناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - کرمی، غ.، ح.، (۱۳۹۵) گفتگوی شفاهی، هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - کرمی وردجانی ح.، (۱۳۸۹) "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)" انتشارات ارم شیراز، ص ۳۳۹.
 - مقیمی، ه.، (۱۳۸۴)، "هیدروژئولوژی کارست" انتشارات دانشگاه پیام نور.
 - نقشه زمین‌شناسی شهرستان بلده، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Aghdam, J. A., Zare, M., Capaccioni, B., Raeisi, E., Forti, P., (2012), "The Karun River waters in the Ambal ridge region (Zagros mountain Range southwestern Iran)" mixing calculation and hydrogeological implications. Carbonates Evaporites (2012) 27, pp, 251–267.
 - Aghdam, J., 2012, Hydrogeology of gypsum formations in the south of Iran [Ph.D. thesis]: Shiraz, University of Shiraz, 120 p.

- Alley, w. m., (1993), "Regional Ground- Water quality" Van nostrand reinhold, New York.
- Ashjari, J., Raeisi, E., (2006), "Litolical Control on Water chemistry in Karst Aquifers of The Zagros Range, Iran" Cave and karst Science, v.33, no.3, pp, 111-118.
- Bogli, A., (1980), "Karst Hydrology and Physical Speleology" Springer-Verlag, Berlin. pp, 284.
- Bonacci, O., Andric, I., (2016) "Karst Spring Catchment: An Example From Dinaric Karst" Environ Earth Sci, Doi 10.1007/S12665-015-4644-8.
- Calaforra, J.M., Pulido-Bosch, A., and Lopez- Chicano, M., (2002), "Gypsum Karst in The Betic Cordillera (South Spain)" Carbonates and Evaporites, V. 17, no. 2, 2002, p, 134-141.
- Cooper, A.H., Farrant, A.R., Price, S.j., (2010), "The Use OF karst Geomorphology for Planning, Hazard avoidance and Development in Great Britain" Geomorphology, v134. (1-2), PP, 118-131.
- Damogh, N., Zarei, H., (2012), "Influence of gachsaran formation salt layers on reservoir quality of upper gotvand dam" International symposium on Dams for a Changing world, Kyoto, Japan.
- Dogan. U., Ozel, S., (2005), "Gypsum Karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey)" Journal of geomorphology 71, pp, 373-388.
- Ford, D., Williams, P., (2007), "Karst hydrogeology and geomorphology "john Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex Po19 8 SQ, England.
- Gunay, G., (2001), "Gypsum karst, sivas, Turkey" Enviromental Geology, 42, pp, 387-398.
- Heidari, M., Khanlari, G.R., Taleb Beydokhti , A.R., Momeni, A.A., (2011), "The Formation of cover collapse sinkholes in North of Hamadan, Iran" Geomorphology, Vol. 132 (3-4), PP, 76-86.
- Hounslow, A. W., (1995), "Water Quality Data: Analysis and Interpretation" CRC-Press, 1st edition, pp, 416.
- Journal of Cave and Karst Studies" v. 75, no. 1, pp, 68–80.
- 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.
- Karami, G.H., Mahmoodi, k., (2008), "Evaluation the Water Quality in Rivers Enterin to Golestan Lake, Iran" Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lack Conference , PP, 279-282.
- Langmuir, D., (1997), "Aqueous environmental geochemistry" Prentic hall, New Jersey.
- Mazor, E., (2004), "Applied chemical and Isotopic Ground water hydrology" Third Edition John Wiley, New York.
- Milanovic P., (1981) "Karst Hydrogeology" Water Resources Pubns, P 434.

- Millanovich, P., (1988). “Karst hydrology” WRP, Colorado, U.S.A.
- Pu, j., Yuan, D., Zhang, C., Zhao, H., (2013), “Hydrogeochemistry and possible sulfate sources in karst groundwater in chongqing, china. Environmental Earth Sciences, 68 (1), pp, 159-168.
- 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., Zare, M., Aghdam, J. A., (2013), “Hydrogeology of gypsum formations in Iran.
- White W.D., (1988), “Geomorphology And Hydrology Of Karst Terrainns” Oxford University Press, Oxford, P 464.

Abstract

Beldeh is located at the southwest of Amol city, Mazandaran province. The average annual precipitation is about 500 millimeters. The major rivers of the region are Baldeh, Yalrood, Oz and Bradon. The most important geological formations of the region are the Shemshak Formation and Kandak Stone Complex (Eocene Gypsum Formation). Due to the presence of gypsum stones in Baladeh region and the possibility of affecting the quality of water resources in the region, it is necessary to study the geomorphology of gypsum karsts, hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of basin water resources. The results from studies have shown that gypsum karsts in the Yalrood region are significantly more developed than other areas. The reason for this is the presence of important geomorphologic complications of karst (eutrophy, blocked nose, dissolving cavities and polyethylene) in the region. In addition, important gypsum springs are located in the Yarrow area. All gypsum springs of the region have two coefficients of discharge, which are close to each other and relatively small. The reason for this is that in gypsum formations (unlike carbonate formations) due to the lack of gypsum and their high solubility, the ducts formed are rapidly destroyed, resulting in the channeling of the flow of inhibition. It comes in handy. According to the maps of the spatial and temporal changes of the ions, for the samples taken, the origin of the waters in the region is not the same, and water springs and rivers come from different parts. Based on Styfe, Piper, and Schuler diagrams, we can conclude that the water quality of the springs is inappropriate (calcium sulfate water type) and the water quality of the rivers (biochemical calcicus). To be Due to the mixing of rivers and springs, the quality of water is lower (after the mixing of springs and rivers), but due to the insignificance of the springs, compared to the river bank. The effect of lowering the quality of water at the bottom (Baladeh River) is lost and water quality improves again.

Keywords: Gypsum formation, Recssion Curve, Spring Hydrograph, Geomorphology, Baladeh



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

**An investigation on Hydrogeological, Hydrochemical and
Geomorphological Properties of Gypsum Karst, Baladeh Region,
Mazandaran province**

By:
Ahmad Kazemi

Supervisor:
Dr. Gholam Hossein Karami

January 2018