

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بررسی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور در

منطقه کوه دوقرال، شمال کرمانشاه

نگارنده:

مازیار ترابی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

تیر ۱۳۹۶

شماره: ۱۲۷۶۴  
تاریخ: ۹۶/۱۲/۱۲

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 مازیار ترابی با شماره دانشجویی ۹۳۰۴۹۰۴ رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان بررسی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبخوان های آبرفتی مجاور در منطقه کوه دوقرال، شمال کرمانشاه که در تاریخ ۹۶/۴/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ۱۹ درجه عالی)	<input type="checkbox"/> مردود
نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/>	

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

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز لیسری

تاریخ و امضاء مهر دانشکده:

۹۶/۱۲

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

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است.

به پاس محبت های بی درنشان که هرگز فروکش نمی کند.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که هرچه بگویم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را پاس توانم بگویم.

بوسه بردستان پر مهرتان

## تقدیر و تشکر

از استاد با کمالت و شایسته؛ جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمات را به نایب این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه اساتید ارجمند دوره تحصیل از جمله آقایان دکتر کاظمی، دکتر جعفری، دکتر باقری و همچنین کارمندان محترم دانشکده خانم‌ها فارسی و سعیدی قدردانی و تشکر می‌نمایم.

از پدر و مادر دلسوز و مهربانم، خواهران و برادران عزیزم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت‌های همه‌جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیر پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم؛ سپاسگزار می‌نمایم.

و در نهایت از کلیه کسانی که به نوعی من را در انجام این مهم یاری رسانند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مازیار ترابی

تیر ۱۳۹۶

## تعهدنامه

اینجانب **مازیار ترابی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه " بررسی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور در منطقه کوه دوقرال، شمال کرمانشاه " تحت راهنمایی جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات این پایان نامه توسط اینجانب صورت گرفته و از صحت و اصالت برخوردار می‌باشد.
- 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 به چاپ خواهد رسید.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی، رعایت شده است.

## تاریخ:

## امضاء دانشجو:

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

یکی از موضوعات مهم در هیدروژئولوژی بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی با آبخوان‌های آبرفتی مجاور آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق، سعی شده است که این موضوع در منطقه کوه دوقرال مورد بررسی قرار بگیرد. منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه و در ۳۰ کیلومتری شمال شهر کرمانشاه واقع شده است. دشت بیلوار در شمال شرق و دشت میان‌دربند در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه به وسیله ارتفاعات آهکی موجود (کوه دوقرال) از یکدیگر تفکیک شده است. محدوده مورد نظر در مرز دو زون مهم ساختمانی ایران، یعنی زون زاگرس رورانده و سنندج - سیرجان واقع شده و دارای روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی است. گسل اصلی زاگرس در مرز جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته که تأثیر بسیار زیادی بر وضعیت زمین ساختاری منطقه داشته است. عمده واحدهای سنگی منطقه آهک‌های توده‌ای سازند بیستون هستند که ارتفاعات کوه دوقرال را تشکیل می‌دهند. بررسی ژئومورفولوژیکی کوه دوقرال نشان می‌دهد که در منطقه عوارض سطحی کارست مانند کارن‌ها، فروچاله‌ها، دره‌های خشک، چاه‌های کارستی، فضا‌های انحلالی، گودی‌های مسدود و غارها وجود دارند که نشان‌دهنده توسعه نسبتاً بالای کارست در منطقه است. علاوه بر این، ضرایب بده در چشمه‌های کارستی مهم منطقه در حدود ۰/۰۲ الی ۰/۰۵ می‌باشند که این مقادیر نسبتاً بالا تأیید کننده توسعه کارست در منطقه می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل، هیدروگراف واحد دشت و بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی، مشاهده می‌شود که در دشت بیلوار گرادیان هیدرولیکی به سمت مرز آبخوان آبرفتی با آهک‌ها می‌باشد و مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی به سمت مرز فوق افزایش پیدا می‌کنند و در نتیجه آبخوان کارستی کوه دوقرال آبخوان آبرفتی دشت بیلوار را تغذیه نمی‌کند و بین آن‌ها ارتباط هیدرولیکی وجود ندارد. برعکس، در دشت میان‌دربند گرادیان هیدرولیکی از مرز آبرفت و آهک به سمت داخل دشت می‌باشد و در این جهت مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی افزایش می‌یابد که به وضوح نشان می‌دهد که آبخوان کارستی کوه دوقرال آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند را تغذیه می‌کند.

**کلمات کلیدی:** کارست، ارتباط هیدرولیکی، کوه دوقرال، دشت میان‌دربند، دشت بیلوار



## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

"بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی مجاور کوه دوقرال، شمال کرمانشاه"، سی و پنجمین

گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، اسفند ۱۳۹۵

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ بیان مساله و هدف از انجام تحقیق	۱
۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱ آب و هوای منطقه	۲
۴-۱ زمین‌شناسی منطقه	۷
۵-۱ نیمرخ عرضی منطقه مورد مطالعه	۱۰
۶-۱ چینه‌شناسی منطقه	۱۲
۱-۶-۱ واحدهای سنگی مزوزوئیک	۱۲
۱-۶-۱-۱ آهک بیستون ( $TRK^b_2$ )	۱۲
۲-۱-۶-۱ رادیولاریت کرمانشاه ( $TRK^r_1$ )	۱۳
۳-۱-۶-۱ دولومیت و سنگ آهک دولومیتی ( $K^1_1$ )	۱۴
۴-۱-۶-۱ واحد آهکی (K)	۱۴
۵-۱-۶-۱ واحد مارن و آهک مارنی ( $K^m_2$ )	۱۵
۶-۱-۶-۱ رسوبات آهکی مارنی سنومانیین - کامپانیین ( $K^1_2$ )	۱۵
۷-۱-۶-۱ سازند شیلی تاربور	۱۶
۲-۶-۱ واحد سنگی سنوزوئیک	۱۷
۱-۲-۶-۱ ردیف‌های چینه‌ای کوه کرگان	۱۷
۲-۲-۶-۱ واحد فلیشی ( $M^m$ )	۱۸
۳-۲-۶-۱ سازند آهکی قم ( $M^1_Q$ )	۱۸
۴-۲-۶-۱ نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی کهن کواترنری ( $Qt_1$ )	۱۸
۵-۲-۶-۱ نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان کواترنری ( $Qt_2$ )	۱۹

۱۹	..... ۳-۶-۱ افولیت‌ها
۱۹	.....(ub) ۱-۳-۶-۱ واحد
۲۰	.....(sr) ۲-۳-۶-۱ واحد
۲۰	.....(an) ۳-۳-۶-۱ واحد
۲۱	.....(pd) ۴-۳-۶-۱ واحد
۲۱	.....(gb) ۵-۳-۶-۱ واحد
۲۱	.....(db) ۶-۳-۶-۱ واحد
۲۲	..... ۴-۶-۱ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه
۲۵	..... ۷-۱ هیدرولوژی منطقه
۲۶	..... ۸-۱ هیدروژئولوژی منطقه
۲۷	..... ۱-۸-۱ هیدروژئولوژی آبخوان کارستی
۲۷	..... ۲-۸-۱ هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی
۲۸	..... ۹-۱ ژئومورفولوژی
۳۱	<b>فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین درباره ارتباط هیدرولیکی</b>
۳۱	..... ۲-۱ تعریف و اهمیت کارست
۳۴	..... ۲-۲ جریان آب زیرزمینی در کارست
۳۴	..... ۳-۲ روش‌های تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی
۳۵	..... ۱-۳-۲ استفاده از ردیاب
۳۶	..... ۲-۳-۲ استفاده از داده‌های سنجش‌از‌دور
۳۷	..... ۳-۳-۲ روش زمین‌شناسی
۳۷	..... ۱-۳-۳-۲ ساختارهای زمین‌شناسی
۴۳	..... ۲-۳-۳-۲ چینه‌شناسی
۴۴	..... ۳-۳-۳-۲ ژئومورفولوژی

۴۵	۴-۲ بررسی تغذیه دشت‌های آبرفتی به وسیله سازندهای کارستی مجاور
۴۶	۱-۴-۲ استفاده از نقشه‌های کیفی
۴۹	۲-۴-۲ استفاده از نقشه‌های کمی
۵۲	۳-۴-۲ استفاده از شاخص اشباع
۵۵	<b>فصل سوم: روش انجام تحقیق</b>
۵۵	۱-۳ جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی
۵۶	۲-۳ ترسیم نقشه زمین‌شناسی و مطالعات پایه منطقه مورد نظر
۵۶	۳-۳ بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه
۵۸	۱-۳-۳ نمونه‌برداری
۵۹	۲-۳-۳ مطالعات ژئومورفولوژیکی
۵۹	۴-۳ بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی
۶۰	۱-۴-۳ تهیه هیدروگراف آبخوان‌های آبرفتی
۶۰	۲-۴-۳ تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان‌ها
۶۱	۳-۴-۳ بررسی بیلان در آبخوان کارستی کوه دوقرال
۶۱	۵-۳ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی
۶۲	۱-۵-۳ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته
۶۳	۲-۵-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه
۶۳	۳-۵-۳ محاسبه درصد خطای آزمایش
۶۴	۴-۵-۳ پارامترهای کیفی محاسبه شده
۶۵	۵-۵-۳ ترسیم نقشه‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه
۶۵	۶-۵-۳ رسم نمودارهای کیفی
۶۵	۷-۵-۳ نمودارهای ترکیبی
۶۵	۸-۵-۳ شاخص‌های اشباع

فصل چهارم: ارزیابی ارتباط بین آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور.....۶۷

۱-۴ هیدروژئولوژی آبخوان‌های آبرفتی مجاور آبخوان کارستی کوه دوقرال.....۶۷

۱-۱-۴ بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه.....۶۷

۲-۴ ارزیابی تغییرات بارندگی و نقش آن در تغییرات سطح آب.....۷۳

۳-۴ ارزیابی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی مهم در کوه دوقرال.....۷۵

۱-۳-۴ ارزیابی تغییرات زمانی آبدهی.....۷۶

۱-۱-۳-۴ سراب ورمنجه.....۷۶

۲-۱-۳-۴ سراب شاه‌حسین.....۸۲

۳-۱-۳-۴ سراب برنجان.....۸۷

۲-۳-۴ تعیین حجم خروجی سالیانه و حوضه آبرگیر چشمه‌ها.....۹۳

۴-۴ ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه.....۹۷

۱-۴-۴ جمع‌آوری داده‌های هیدروشیمیایی.....۹۸

۲-۴-۴ بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی.....۱۰۳

۳-۴-۴ بررسی تغییرات مکانی یون کلر.....۱۰۴

۴-۴-۴ بررسی تغییرات مکانی یون سولفات.....۱۰۶

۵-۴-۴ بررسی تغییرات مکانی یون سدیم.....۱۰۷

۶-۴-۴ بررسی تغییرات هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....۱۰۸

۷-۴-۴ شاخص اشباع.....۱۱۳

۸-۴-۴ نمودارهای ترکیبی.....۱۱۵

۵-۴ ارزیابی خصوصیات ژئومورفولوژیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال.....۱۲۱

۱-۵-۴ سنگ‌های برهنه.....۱۲۳

۲-۵-۴ فضاهای انحلالی.....۱۲۳

۳-۵-۴ کارنها.....۱۲۴

۱۲۵	..... ۴-۵-۴ آبروچاله
۱۲۶	..... ۴-۵-۵ دره‌های خشک کارستی
۱۲۸	..... ۴-۵-۶ غارهای کارستی
۱۲۹	..... ۴-۵-۷ چاه‌های کارستی
۱۳۰	..... ۴-۵-۸ چشمه‌های کارستی
۱۳۱	..... <b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها</b>
۱۳۱	..... ۵-۱ نتیجه‌گیری
۱۳۱	..... ۵-۱-۱ توسعه بالای کارست در منطقه مورد مطالعه
۱۳۲	..... ۵-۱-۲ عدم ارتباط آبخوان آبرفتی دشت بیلوار با کوه دوقرال
۱۳۲	..... ۵-۱-۳ وجود ارتباط بین آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند با کوه دوقرال
۱۳۳	..... ۵-۱-۴ هیدروژئوشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه
۱۳۵	..... ۵-۲ پیشنهادها
۱۳۶	..... <b>منابع</b>

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- شکل ۲-۱: نمودار امپروترمیک ایستگاه کرمانشاه ..... ۴
- شکل ۳-۱: نمودار امپروترمیک ایستگاه روانسر ..... ۴
- شکل ۴-۱: نمودار ارتفاع - بارش ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- شکل ۵-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۹
- شکل ۶-۱: نیمرخ شماتیک منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱
- شکل ۷-۱: رخنمون آهکی سازند بیستون در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۳
- شکل ۸-۱: رخنمون سازند رادیولاریت کرمانشاه و مرز گسلی آن با سازند بیستون ..... ۱۵
- شکل ۹-۱: تقسیم‌بندی زون‌های رسوبی - ساختاری ایران ..... ۲۵
- شکل ۱۰-۱: حوضه آبگیر رودخانه رازآور ..... ۲۶
- شکل ۱۱-۱: تصویر برجسته توپوگرافی منطقه ..... ۲۸
- شکل ۱۲-۱: نمودار هیپسومتری منطقه مورد مطالعه ..... ۳۰
- شکل ۱-۳: اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی و اسیدیت ..... ۵۷
- شکل ۲-۳: نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه ..... ۵۷
- شکل ۳-۳: اندازه‌گیری کاتیون و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه ..... ۶۲
- شکل ۴-۳: دستگاه فلیم فتومتر (الف) و دستگاه اندازه‌گیری یون سولفات (ب) ..... ۶۳
- شکل ۱-۴: موقعیت پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه ..... ۷۰
- شکل ۲-۴: نقشه هم‌پتانسیل دشت‌های مجاور کوه دوقرال در اسفند ماه ۱۳۸۴ ..... ۷۱
- شکل ۳-۴: نقشه هم‌پتانسیل دشت‌های مجاور کوه دوقرال در اسفند ماه ۱۳۹۴ ..... ۷۲
- شکل ۴-۴: هیدروگراف واحد دشت بیلوار از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ ..... ۷۴
- شکل ۵-۴: هیدروگراف واحد دشت میان‌دریند از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ ..... ۷۵
- شکل ۶-۴: هیدروگراف سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۷۷
- شکل ۷-۴: هیدروگراف سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۷۸

- شکل ۴-۸: هیدروگراف سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۷۸
- شکل ۴-۹: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۰: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۱: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۲: هیدروگراف سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۳: هیدروگراف سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۴: هیدروگراف سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۵: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۶: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۷: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۸: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۹: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۰: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۱: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲ ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۲: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳ ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۳: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۴: حوضه آبخیز چشمه‌های کارستی موجود در اطراف کوه دوقرال ..... ۹۶
- شکل ۴-۲۵: موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه ..... ۹۹
- شکل ۴-۲۶: نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۷: نقشه تغییرات مکانی یون کلر در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۸: نقشه تغییرات مکانی یون سولفات در محدوده مورد مطالعه ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۹: نقشه تغییرات مکانی یون سدیم در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۰: نمودارهای استیف رسم شده برای نمونه‌های برداشت شده ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۱: نمودارهای پایپر رسم شده برای نمونه‌های برداشت شده ..... ۱۱۱



- شکل ۴-۳۲: نمودارهای شولر رسم شده برای نمونه‌های برداشت شده..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۳: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آبخوان کارستی کوه دوقرال..... ۱۱۴
- شکل ۴-۳۴: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آبخوان آبرفتی دشت بیلوار..... ۱۱۴
- شکل ۴-۳۵: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند..... ۱۱۵
- شکل ۴-۳۶: نمودار تغییرات مکانی کاتیون‌های اصلی..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۷: نمودار تغییرات مکانی آنیون‌های اصلی..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۸: نمودار دو متغیره TDS در مقابل Na/Cl..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۹: نمودار دو متغیره  $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$  در مقابل  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۰: نمودار دو متغیره  $[\text{SO}_4^{2-}] / [\text{HCO}_3^-]$  در مقابل  $[\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}] / [\text{HCO}_3^-]$ ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۱: نمودار دو متغیره میانگین  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$  برای هر یک از آبخوان‌ها..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۲: نمودار دو متغیره EC در مقابل افزایش فاصله از ارتفاعات کوه دوقرال..... ۱۲۱
- شکل ۴-۴۳: سنگ‌های برهنه موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۴: آثار انحلال در آهک‌های موجود در منطقه مطالعاتی..... ۱۲۴
- شکل ۴-۴۵: کارن‌های تشکیل شده در آهک‌های کوه دوقرال..... ۱۲۵
- شکل ۴-۴۶: دره‌های خشک موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال..... ۱۲۷
- شکل ۴-۴۷: غارهای کارستی موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال..... ۱۲۸
- شکل ۴-۴۸: چاه کارستی موجود در ارتفاعات کوه دوقرال..... ۱۲۹
- شکل ۴-۴۹: نمایی از چشمه کارستی در دامنه شمالی کوه دوقرال..... ۱۳۰

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: میانگین دما و بارش ماهانه ایستگاه‌های روانسر و کرمانشاه ..... ۳
- جدول ۱-۲: میانگین سالیانه بارش در ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه ..... ۵
- جدول ۱-۳: طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن ..... ۷
- جدول ۴-۱: تراز سطح آب در پیژومترهای دشت میان‌در بند برای اسفند ماه ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ ..... ۶۸
- جدول ۴-۲: تراز سطح آب در پیژومترهای دشت بیلوار برای اسفند ماه ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ ..... ۶۹
- جدول ۴-۳: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب ورمنجه ..... ۷۷
- جدول ۴-۴: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب شاه‌حسین ..... ۸۳
- جدول ۴-۵: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب برنجان ..... ۸۸
- جدول ۴-۶: مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌های اطراف کوه دوقرال به کمک معادله بیلان ..... ۹۴
- جدول ۴-۷: مقایسه مساحت حوضه آبرگیر به روش بیلان با روش هیدروژئولوژیکی - مورفولوژیکی ..... ۹۵
- جدول ۴-۸: پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری در خرداد ماه ۱۳۹۵ ..... ۹۹
- جدول ۴-۹: پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های برداشت شده بر حسب (epm) ..... ۱۰۰
- جدول ۴-۱۰: پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های برداشت شده بر حسب (ppm) ..... ۱۰۱
- جدول ۴-۱۱: پارامترهای محاسبه شده برای نمونه‌های برداشت شده در خرداد ماه ..... ۱۰۲
- جدول ۴-۱۲: مقادیر نمایه‌های اشباع در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۳

## فصل اول: مقدمه

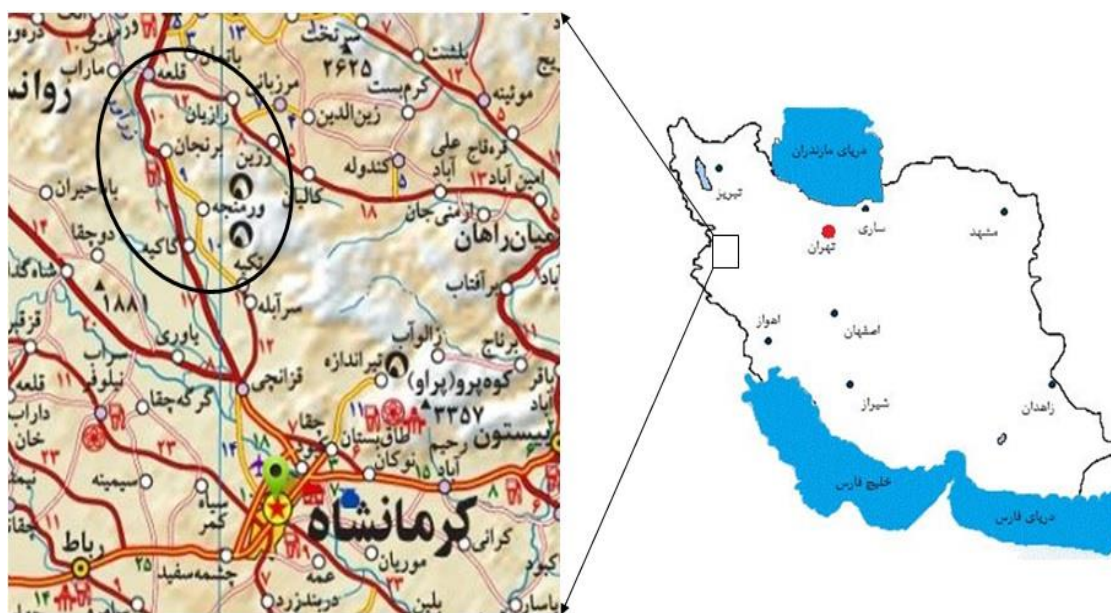
### ۱-۱ بیان مساله و هدف از انجام تحقیق

بدون شک یکی اساسی‌ترین جنبه‌ها در توسعه جوامع مختلف جهان، آب است. کمبود آب و محدودیت‌های استفاده از آن در مناطق مختلف دنیا موجب گردیده که روزبه‌روز توجه بیشتری به آن معطوف گردد. در این راستا آب موجود در سازندهای سخت مانند سازندهای آهکی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب می‌باشند. به همین علت در دهه‌های اخیر حفاظت و مدیریت صحیح منابع آب موجود در آبخوان‌های کارستی، بسیار مورد توجه بوده است. با توجه به ارتباط جدا نشدنی منابع آبی مختلف (برای مثال آبخوان‌های کارستی و آبرفتی) درک درست و منطقی از ارتباط این منابع جهت مدیریت صحیح و جلوگیری از آلودگی آن‌ها از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق بررسی ارتباط بین آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور و دلایلی است که سبب وجود یا عدم وجود این ارتباط شده است.

ذخایر آب محدود در آبخوان‌های آبرفتی و برداشت بی‌رویه از این منابع در طی سال‌های گذشته باعث شده است که این آبخوان‌ها جوابگوی نیاز مصرفی نباشند، از این رو منابع آب موجود در سازندهای سخت مورد توجه قرار گرفته‌اند. در غرب کشور بخش اعظمی از سازندهای زمین‌شناسی را سازندهای کربناته تشکیل می‌دهند. در سال‌های اخیر به علت بیش از حد سطح ایستابی در آبخوان‌ها آبرفتی، احتمال افزایش تخلیه آبخوان‌های کارستی به داخل آبخوان‌های آبرفتی مجاور را افزایش داده است. در این تحقیق، ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی در محدوده کوه دوقرال در شمال شهر کرمانشاه با آبخوان‌های آبرفتی مجاور مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تعیین وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی از نقشه‌های مختلفی از قبیل نقشه‌های هم‌پتانسیل، هدایت الکتریکی، هم‌افت، هم‌عمق آب زیرزمینی، عمق حفاری چاه‌ها، زمین‌شناسی منطقه و بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی استفاده می‌شود.

## ۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه و در ۳۰ کیلومتری شمال شهر کرمانشاه واقع شده است. منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۱۶۰ کیلومتر مربع، بین مختصات جغرافیایی ۴۶° ۵۴' تا ۴۷° ۰۶' طول شرقی و ۳۴° ۳۵' تا ۳۴° ۴۲' عرض شمالی قرار گرفته است. دشت بیلوار در شرق و دشت میان‌دربند در غرب محدوده مورد مطالعه به وسیله ارتفاعات آهکی موجود (کوه دوقرال) از یکدیگر تفکیک شده است. محدوده مورد نظر در محل برخورد دو زون مهم ساختمانی ایران، یعنی زون زاگرس روورنده و سنندج - سیرجان واقع شده است. جاده دسترسی به محدوده از طریق جاده آسفالتی درجه یک کرمانشاه - کامیاران میسر است. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

## ۳-۱ آب و هوای منطقه

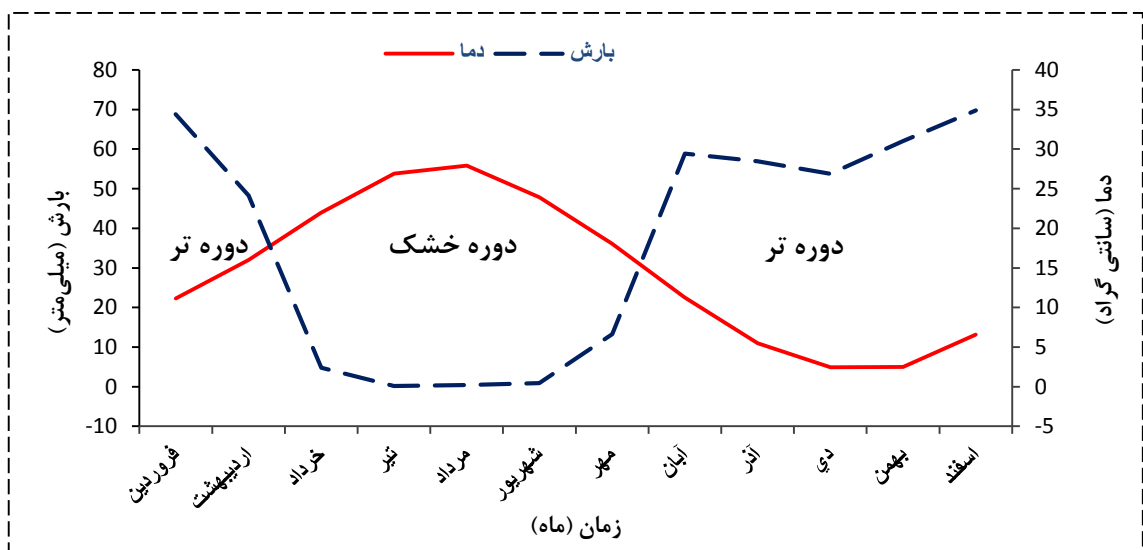
نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های کرمانشاه و روانسر می‌باشند. اطلاعات مربوط به بارندگی و درجه حرارت ماهانه هر یک از این ایستگاه از سازمان هواشناسی استان کرمانشاه تهیه شد، که داده‌های مربوط به آن در جدول (۱-۱) ارائه شده است.

جدول ۱-۱: میانگین دما و بارش ماهانه ایستگاه‌های روانسر و کرمانشاه طی سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۴

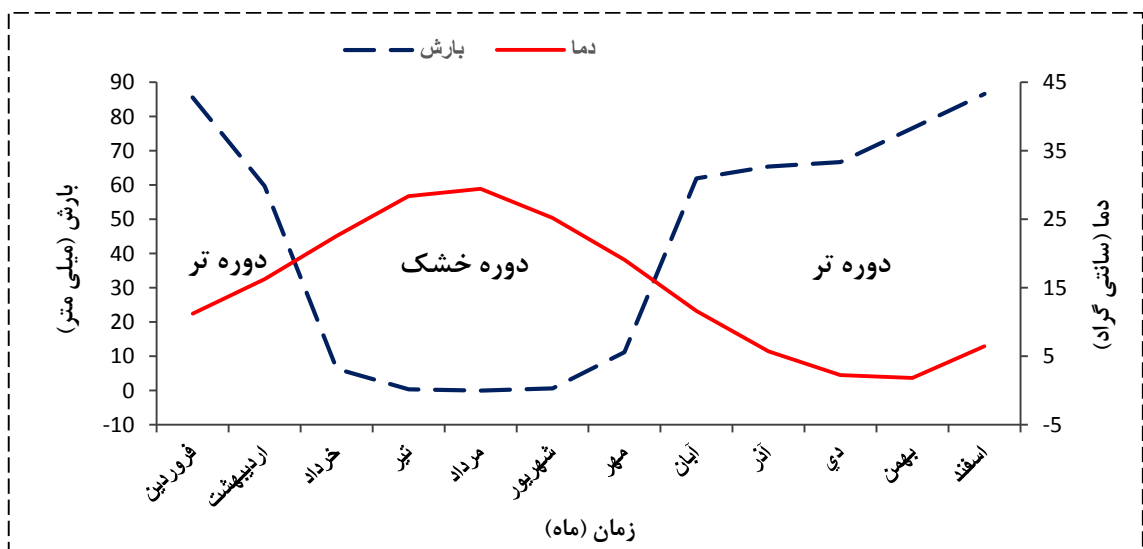
زمان (ماه)	ایستگاه کرمانشاه		ایستگاه روانسر	
	بارش (mm)	دما (°C)	بارش (mm)	دما (°C)
فروردین	68.8	11.2	85.6	11.2
اردیبهشت	48.3	16.0	59.7	16.3
خرداد	4.8	22.0	6.3	22.6
تیر	0.2	26.9	0.3	28.4
مرداد	0.4	27.9	0.0	29.5
شهریور	0.9	23.9	0.6	25.2
مهر	13.3	18.1	11.2	19.1
آبان	58.9	11.3	61.9	11.6
آذر	56.9	5.5	65.4	5.7
دی	53.8	2.4	66.7	2.3
بهمن	62.0	2.5	76.6	1.8
اسفند	69.8	6.6	86.6	6.4
میانگین	36.5	14.5	43.4	15.0
حداکثر	69.8	27.9	86.6	29.5
حداقل	0.2	2.4	0.0	1.8

بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی کرمانشاه، میزان بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه حدوداً ۴۳۸ میلی‌متر است. با توجه به جدول (۱-۱) ملاحظه می‌شود که بیشترین میزان بارندگی ماهانه مربوط به اسفند ماه برابر با ۶۹/۸ میلی‌متر و کمترین بارش مربوط به تیر ماه برابر با ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که متوسط درجه حرارت سالانه در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه مربوط به مرداد ماه، با متوسط ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن مربوط به دی ماه با ۲/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی روانسر، میزان بارندگی سالیانه در محدوده مورد مطالعه حدود ۵۲۱ میلی‌متر است. بیشترین مقدار بارش مربوط به اسفند ماه و کمترین بارش مربوط به مرداد ماه است. همچنین متوسط درجه حرارت هوا در منطقه مورد مطالعه ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. حداقل درجه حرارت با ۱/۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به بهمن ماه و حداکثر درجه حرارت هوا با ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد مربوط به مرداد ماه می‌باشد. شکل‌های (۱-۲) و (۱-۳) به ترتیب نمودارهای امبروترمیک (Embrotthermic) مربوط به ایستگاه‌های کرمانشاه و روانسر را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۲: نمودار امبروترمیک ایستگاه کرمانشاه بر پایه میانگین ۶۰ ساله دما و بارش (۱۳۳۰ تا ۱۳۹۴)



شکل ۱-۳: نمودار امبروترمیک ایستگاه روانسر بر پایه میانگین ۶۰ ساله دما و بارش (۱۳۳۰ تا ۱۳۹۴)

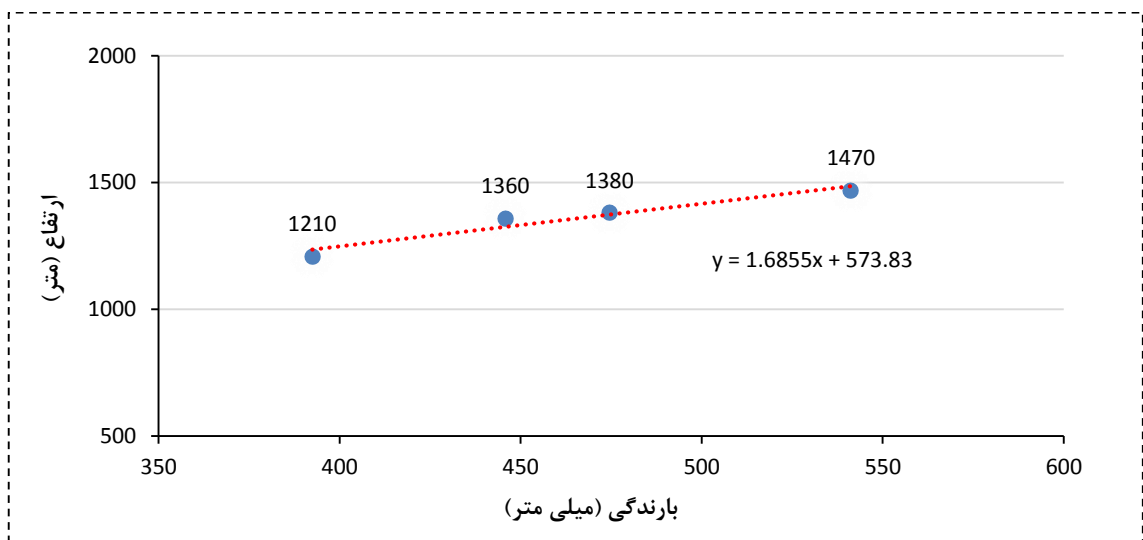
در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. لذا نقطه تلاقی منحنی میانگین بارندگی با منحنی میانگین دما، جداکننده فصل خشک و تر از یکدیگر می‌باشد. بر طبق نمودار امپروترمیک ایستگاه هواشناسی کرمانشاه، فصل تر منطقه تقریباً از اواسط مهر ماه تا اواسط اردیبهشت ماه بوده و بقیه سال، فصل خشک می‌باشد. همچنین با توجه به ایستگاه روانسر، فصل خشک منطقه از خرداد تا مهر ماه ادامه دارد و بقیه ماه‌های سال فصل خشک است.

برای به دست آوردن میزان متوسط بارندگی در منطقه، رابطه بارش با ارتفاع به کمک ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی مجاور منطقه مطالعاتی ترسیم شده است. انتخاب ایستگاه‌های مورد استفاده به‌گونه‌ای بوده که ضمن نزدیکی به منطقه دارای شباهت با وضعیت آب و هوایی منطقه باشند. مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول (۱-۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که به دلیل فاصله زیاد بین ایستگاه هواشناسی کرمانشاه و محدوده مطالعاتی از داده‌های این ایستگاه در رسم نمودار ارتفاع - بارش استفاده نشده است.

جدول ۱-۲: میانگین سالیانه بارش در ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه

میانگین بارش سالیانه (mm)	نوع ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			نام ایستگاه
		ارتفاع	UTM (Y)	UTM (X)	
371.0	سینوپتیک	1319	3803058	667747	کرمانشاه
474.5	سینوپتیک	1380	3842862	651089	روانسر
541.2	باران‌سنجی	1470	3826658	675828	ورله
392.4	باران‌سنجی	1210	3824898	680451	گوهر چغا
445.7	باران‌سنجی	1360	3837243	646599	حسن آباد

نمودار ارتفاع - بارش نشان‌دهنده رابطه بین ارتفاع و بارندگی در منطقه است (شکل ۱-۴). بر اساس رابطه ارتفاع - بارش و نیز ارتفاع متوسط منطقه که از نمودار هیپسومتری به دست آمده است متوسط بارش منطقه مورد مطالعه حدود ۷۴۵ میلی‌متر در سال است.



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

برای تعیین اقلیم منطقه مورد مطالعه، از طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (De Martonne) استفاده شده است. دمارتن جهت تعیین اقلیم فرمول زیر را پیشنهاد نموده است:

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

که در آن  $P$  متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و  $T$  متوسط دمای سالانه برحسب درجه سانتی‌گراد است. نماد  $I$  ضریب خشکی دمارتن نامیده می‌شود که مقدار آن نوع اقلیم منطقه را مشخص می‌کند. گرچه در معادله دمارتن (معادله ۱-۱) عامل تبخیر حذف شده است، اما تبخیر نیز خود در ارتباط با دمای هوا بوده و افزایش آن باعث افزایش تبخیر می‌گردد. بنابراین زیاد بودن  $I$  ممکن است یا به دلیل پایین بودن دما یا بالا بودن بارندگی باشد. مقادیر  $I$  محاسبه‌شده از فرمول بالا برای داده‌های ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در حدود ۱۷/۹ است که با توجه به جدول (۱-۲)، نشان‌دهنده



اقلیم نیمه‌خشک منطقه می‌باشد. همچنین بر اساس ایستگاه هواشناسی روانسر مقدار ضریب خشکی دمارتن تقریباً ۲۰/۸۶ به دست آمد که نشان‌دهنده اقلیم مدیترانه‌ای منطقه است.

جدول ۱-۳: طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۶)

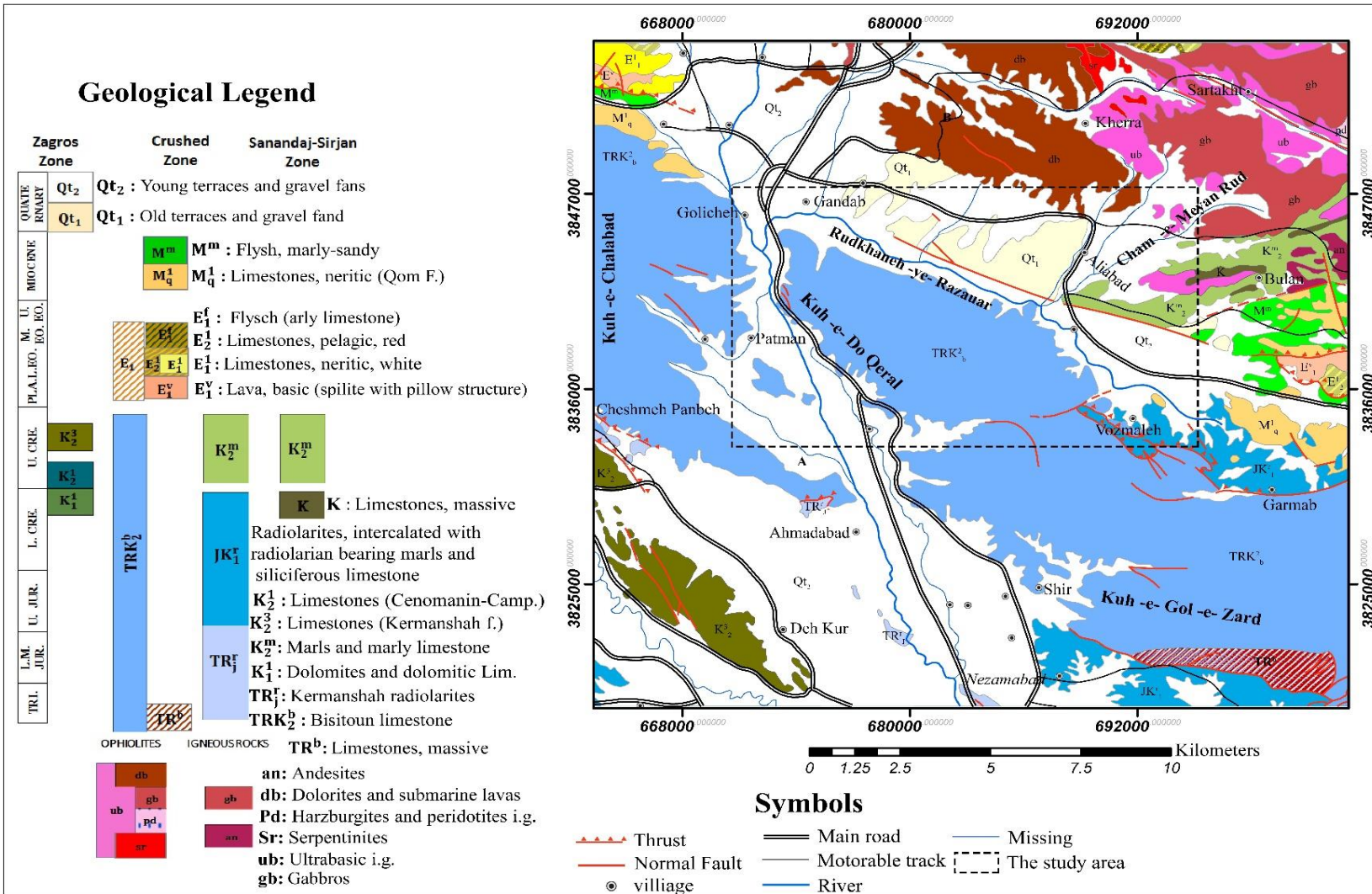
نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچک‌تر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگ‌تر از ۳۵

#### ۴-۱ زمین‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در بخشی از زون ساختاری سنندج - سیرجان و زاگرس رورانده قرار دارد و در ورقه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه واقع شده است. گسل اصلی زاگرس در مرز جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته که تأثیر بسیار زیادی بر وضعیت زمین ساختاری منطقه داشته است. این گسل که گاهی به نام راندگی اصلی زاگرس نیز خوانده می‌شود، منطقه‌ای گسلیده و خرد شده است که گاهی پهنای آن تا چند کیلومتر نیز می‌رسد. مرز بین زون‌های ساختاری سنندج - سیرجان و زاگرس را زون تدریجی (Transitional zone) می‌نامند که در این حالت می‌توان واحدهای سنگ چینه‌ای هر دو زون را در کنار یکدیگر مشاهده نمود.

به دلیل نیروهای فشارشی شدیدی که به ناحیه‌ی برخورد اعمال گردیده، غالباً واحدهای سنگ چینه‌ای به شدت خورد و گسلیده شده‌اند. در این ناحیه گاهی واحدهای سنگ چینه‌ای دو زون زاگرس مرتفع و سنندج - سیرجان با یکدیگر ادغام گردیده‌اند. معمولاً بررسی‌های چینه‌شناسی در چنین

مطالعاتی مهم و ضروری است. این بررسی شامل بررسی سازندها و واحدهایی زمین‌شناسی می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه وجود مطالعه تأثیرگذار هستند. شکل (۱-۵) نقشه زمین‌شناسی و شکل (۱-۶) راهنمای نقشه محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

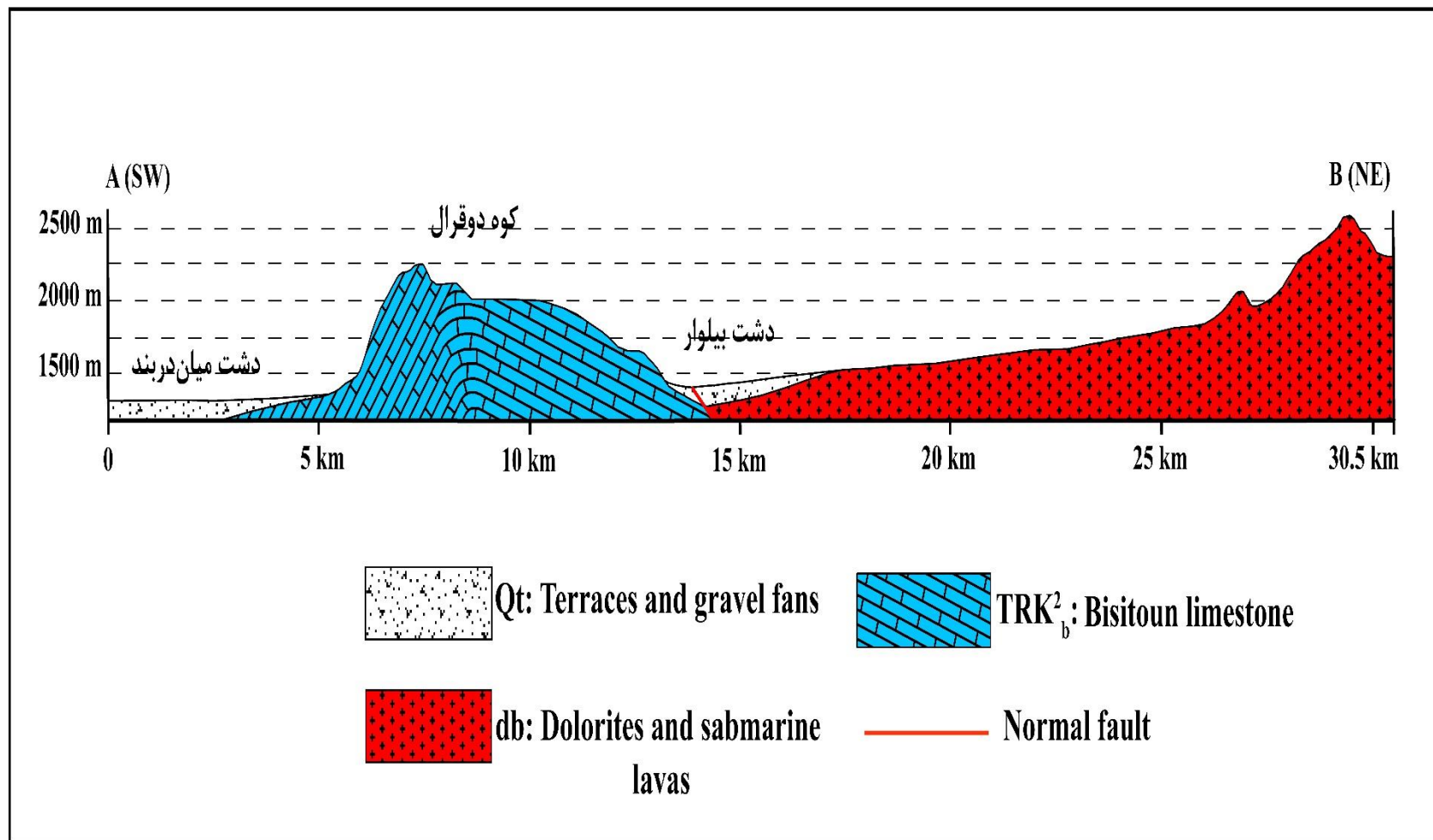
## ۱-۵ نیمرخ عرضی منطقه مورد مطالعه

پستی و بلندی‌های سطح زمین، شیب و جهت شیب لایه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده جهت حرکت آب زیرزمینی هستند و به عبارتی جهت حرکت آب زیرزمینی از توپوگرافی سطحی تبعیت می‌کند. بر این اساس برای پی بردن به مسیر حرکت آب زیرزمینی و وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال با آبخوان‌های آبرفتی مجاور آن نیمرخ عرضی منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید.

به منظور تهیه مقطع عرضی منطقه ابتدا یکسری بازدیدهای صحرایی در منطقه مورد مطالعه به عمل آمد و شیب و جهت شیب لایه‌ها با استفاده از کمپاس برداشت شد. و در ادامه به وسیله نرم‌افزار ژئورینت (Georient) میانگین شیب و جهت شیب لایه‌ها برای یال شمالی و جنوبی ارتفاعات آهکی کوه دوقرال به دست آمد. و در انتها به وسیله نرم‌افزارهای Arc GIS و Global Mapper و نیز استفاده از داده‌های به دست آمده از بازدیدهای صحرایی نیمرخ عرضی منطقه تهیه گردید (شکل ۱-۷).

با توجه به شکل ترسیم شده مشاهده می‌شود که شیب لایه‌ها در یال جنوبی کوه دوقرال نسبت به یال شمالی آن بیشتر بوده و جهت شیب این لایه‌ها نیز به سمت دشت میان‌دریوند است و همین امر باعث تغذیه آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند و وجود ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان کارستی کوه دوقرال شده است.

شیب لایه‌ها در یال شمالی کوه دوقرال نسبت به یال جنوبی آن کمتر بوده و که این موضوع یکی از دلایل عدم ارتباط آبخوان آبرفتی دشت بیلوار با آبخوان کارستی کوه دوقرال می‌باشد. عامل دیگری که در عدم ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان آبرفتی دشت بیلوار با آبخوان کارستی کوه دوقرال مؤثر است می‌توان به یکسری ارتفاعات مربوط به زون ساختاری سنندج - سیرجان اشاره کرد که در شمال دشت بیلوار واقع شده‌اند و ارتفاع آن‌ها نسبت به کوه دوقرال بیشتر بوده و به همین دلیل با ایجاد گرادیان هیدرولیکی بیشتر نسبت به ارتفاعات کوه دوقرال مانع حرکت آب زیرزمینی از این آبخوان به سمت دشت بیلوار شده است.



شکل ۱-۶: نیمرخ شماتیک منطقه مورد مطالعه

## ۱-۶ چینه‌شناسی منطقه

سن واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه از تریاس تا عهد حاضر می‌رسد. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه آهک‌های توده‌ای سازند بیستون هستند که ارتفاعات موجود در منطقه را تشکیل داده‌اند. جوان‌ترین واحدهای رسوبی نیز پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان، آبرفت‌های عهد حاضر، رسوبات منفصل بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و واریزه‌ها می‌باشد که پهنه دشت‌های بیلوار و میان‌در بند و سطح اغلب دره‌ها و دامنه‌ها را پوشش می‌دهد.

عمده واحدهای سنگی منطقه شامل آهک ضخیم لایه سازند بیستون، آهک ضخیم لایه سازند تله‌زنگ، رادیولاریت کرمانشاه، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای گروه فارس، آهک‌های رسی دانه‌ریز پلاژیک خاکستری رنگ با لایه‌بندی منظم و میان لایه‌های نازک شیل سازند ایلام، آهک‌های رسی ضخیم لایه، ریزدانه و خاکستری رنگ به همراه مارن‌های متراکم خاکستری سازند کرمانشاه، کنگلومرای سخت نشده و سست با میان لایه‌های رسی - ماسه‌ای و سیلتی آبرفت‌های کهن و جوان کواترنری و خرده سنگ‌ها و بلوک‌های کربناتی می‌باشد. ویژگی واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است:

### ۱-۶-۱ واحدهای سنگی مزوزوئیک

#### ۱-۱-۶-۱ آهک بیستون (TRKb2)

این واحد سنگی تنها شامل آهک است که به شکل نواری در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی قرار گرفته و یک ردیف برجستگی‌ها مانند کوه پراو را تشکیل داده است. این سری آهکی همه دوران دوم، از تریاس بالا تا کرتاسه پایینی را شامل می‌شود.

این آهک‌ها بخش اعظمی از ارتفاعات منطقه مورد مطالعه را دربر می‌گیرد. آهک‌های سازند بیستون بدون لایه‌بندی و یا دارای لایه‌بندی نسبتاً ضخیم بوده و از ویژگی بارز آن‌ها درز و شکاف‌های فراوان در امتداد لایه‌بندی می‌باشد. شکل (۱-۸) برونزد این واحد لیتولوژیکی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

• واحد تریاس بالایی (TR<sup>b</sup>)

این واحد شامل ۳۰۰ متر آهک ضخیم لایه در زیر و آهک‌های توده‌ای در بالا است. و جزء قدیمی‌ترین واحد سنگ چینه‌ای در محدوده نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه می‌باشد.

• واحد آهک پلاژیک (K<sup>b2</sup>)

این بخش بالاترین بخش آهکی بیستون به شمار می‌آید که شامل یک مجموعه آهکی با ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر آهک پلاژیک بوده و با دگرشیبی به طور کاملاً آشکاری به وسیله آهک‌های اولیگومیوسن که در همه جا به صورت پیش‌رونده بر روی سفره‌های کرتاسه قرار دارند، پوشیده شده است.



شکل ۱-۷: رخنمون آهکی سازند بیستون در منطقه مورد مطالعه

۱-۶-۲ رادیولاریت کرمانشاه (TRK<sup>f1</sup>)

این واحد سنگی عمدتاً از رادیولاریت با میان لایه‌های مارنی و آهک سیلیسی به رنگ قرمز متمایل به بنفش با لایه‌بندی خوب، تشکیل شده است. رادیولاریت‌های کرمانشاه به صورت نواری کم و بیش منظم با پهنای حدوداً ۱۵ کیلومتر از شمال غربی کرمانشاه تا بروجرد و با گذر از شهر کرمانشاه و با

روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی در قسمت شمالی ناحیه چین خورده زاگرس گسترده و بر روی زاگرس چین خورده رانده شده است. به علت تحمل فشارهای تکتونیکی، چین خوردگی‌های زیادی در آن ایجاد شده است.

فسیل‌های رادیولر در این بخش به وفور یافت می‌شود. رخساره‌ی قرمز و تپه‌ماهوری بودن آن و همچنین خصوصیات لیتولوژیکی و وجود فسیل‌های رادیولر فراوان برای تشخیص آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. سن این سازند ژوراسیک بالایی تا کرتاسه پایینی می‌باشد. قسمت عمده‌ای از سنگ کف دشت کرمانشاه - میان‌دریوند و سنجابی از این سازند تشکیل شده است. شکل (۱-۹) رخنمون این سازند و مرز گسله آن را با سازند آهکی بیستون نمایش می‌دهد.

#### • واحد تریاس - ژوراسیک ( $TR^r_j$ )

این واحد در قسمت زیرین، شامل یکسری آهک‌های میکروبرشی و آهکی زیست‌آوری با لایه‌بندی تا اندازه‌ای منظم همراه با میان لایه‌هایی از افق‌های رادیولاریتی می‌باشد.

#### • واحد ژوراسیک - کرتاسه زیرین ( $JK^r_1$ )

این واحد شامل توده عظیمی از ژاسب با لایه‌بندی خیلی ظریف و با رنگ قرمز - قهوه‌ای و گاهی سبز است. لایه‌های ژاسب را میان لایه‌های نازک مارنی قرمز رنگ از یکدیگر جدا می‌سازد (مارن‌های رادیولاردار). این واحد افزون بر مارن دارای لایه‌های زیادی از آهک‌های پلاژیک سیلیسی نیز می‌باشد.

#### ۳-۱-۶-۱ دولومیت و سنگ آهک دولومیتی ( $K^1_1$ )

در محدوده نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه و در حوضه‌های آبخیز مرگ و گاماسیاب واحدهایی با عنوان ( $K^1_1$ ) شامل دولومیت و سنگ آهک دولومیتی رخنمون دارد که سن آن‌ها آلبین - سنومانین است.

#### ۴-۱-۶-۱ واحد آهکی (K)

این واحد شامل آهک‌های توده‌ای است و سن آن را اواخر کرتاسه پایین تخمین زده‌اند.





شکل ۱-۸: رخنمون سازند رادیولاریت کرمانشاه و مرز گسلی آن با سازند بیستون

#### ۵-۱-۶-۱ واحد مارن و آهک مارنی ( $K^m_2$ )

در طی کرتاسه پسین، شرایط دریای کم عمق نوع سکو، جانشین حوضه‌های عمیق فروبوم شده است. رسوبات این دریای کم عمق، حدود ۷۰۰ تا ۶۰۰۰ متر مارن و آهک مارنی دارای گلوبوترونکا است که عدسی‌هایی از سنگ آهک‌های ریفی با فسیل رودیست، اینوسراموس و آمونیت دارد. مارن‌ها و آهک‌های گلوبوترونکادار نیز خود با دگرشیبی مهم زیر توالی پالئوژن قرار می‌گیرد.

#### ۶-۱-۶-۱ رسوبات آهکی مارنی سنومانین - کامپانین ( $K^1_2$ )

این واحد شامل سنگ‌های آهکی خاکستری روشن تا تیره، ریزدانه، رسی، با لایه‌بندی منظم (نازک تا متوسط لایه)، با آثار بایوتوربیشن (Bioturbation)، دارای گرهک‌های از اکسید آهن قرمز تا قهوه‌ای رنگ و همراه با درون لایه‌های نازکی از شیل‌های تیره رنگ است. در کوه سفید، این واحد با یک کنگلومرای پیش‌رونده بر روی واحد ( $K^1_{sv}$ ) قرار گرفته است. این کنگلومرا دارای عناصر سنگ آهکی بوده و حدود ۲۰ متر ضخامت دارد. رخساره چیره در این واحد بایومیکرات و پلانگتون‌های فراوان

است. با توجه به فسیل‌های همراه، سن این واحد سنومانین تا کامپانین است. همانندی رخساره سبب شده که آن را هم‌ارز سازند ایلام در نظر بگیرند. واحد یاد شده به طور تدریجی و هم‌شیب در زیر سنگ‌های آهکی رسی، مارن‌ها و شیل‌های واحد ( $K^{m}_{gu}$ ) (سازند گورپی) و یا مستقیماً در زیر سنگ‌های آهکی سازند کرمانشاه قرار گرفته است.

#### ۷-۱-۶-۱ سازند شیلی تاربور

برش الگو این سازند در تنگ پابده در شمال مسجدسلیمان (میدان نفتی لالی) ۳۲۰ متر ضخامت دارد، ولی پیش از معرفی این برش، به این واحد سنگی «مارن دزدک» یا «مارن‌های گلوبیژرینا» گفته می‌شد که شامل سازند گورپی و پابده بود. در بیشتر نواحی زاگرس، سازند گورپی شامل مارن، شیل‌های خاکستری مایل به آبی است که میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک‌های نازک رسی دارد و به دلیل زود فرسا بودن، سیمای آن فرسوده‌ای دارد. در فارس داخلی، رخساره آهکی سازند تاربور، به طور بین‌انگشتی‌جانشین سازند گورپی می‌شود. اگر چه مرز زیرین گورپی با سازند ایلام (در زیر) تدریجی دانسته شده، ولی سطح هوازده در این مرز می‌تواند نشانگر دگرشیبی خفیف باشد. در نقاطی که ایلام وجود ندارد، گورپی روی سروک بوده و در این حالت، ناپیوستگی رسوبی پیش از سازند گورپی آشکارتر است. مرز بالایی سازند گورپی با سازندهای مختلف است. در لرستان مرز بالایی گورپی با شیل‌های ارغوانی سازند پابده با شواهدی از دگرشیبی فرسایشی است. سازند گورپی در همه جا هم‌زمان نیست برای مثال در نواحی فارس و خوزستان مرز زیرین گورپی، سانتونین و مرز بالایی آن ماستریشتین است. در لرستان، لایه‌های زیرین به سن کامپانین و لایه‌های بالایی تا پالئوسن ادامه دارد. سازند گورپی دارای دو عضو آهکی رسمی (امام حسن و سیمره) و یک عضو غیررسمی (آهک منصوری) است (مطیعی، ۱۳۷۲).

#### • سازند کرمانشاه ( $K^3_2$ )

از نظر سنگ‌شناسی این سازند شامل ۱۱۴ متر آهک‌های رسی ضخیم لایه، ریزدانه و خاکستری رنگ به همراه مارن‌های متراکم خاکستری به صورت بین‌لایه‌ای است. این بخش تحت نام سازند

کرمانشاه ( $K^3_2$ ) یا بخش آهکی امام حسن در نقشه چهارگوش کرمانشاه معرفی شده است. سن این سازند ماستریشتین بوده است.

## ۱-۶-۲ واحد سنگی سنوزوئیک

### ۱-۶-۲-۱ ردیف‌های چین‌های کوه کرگان

در کرمانشاه و در شرق و شمال شهر کرمانشاه، رسوبات پالئوسن - ائوسن در حوضه گسترده گاو رود، برونزد داشته و تا بخش وسیعی از نواحی غربی سنندج ادامه دارند. در این حوضه (گاو رود) مجموعه‌های رسوبی به نام میان کوه، کوه کرگان و غیره تشخیص داده شده است. ردیف‌های اصلی کوه کرگان، به ۴ واحد اصلی زیر قابل تقسیم است.

#### • واحد سنگ چین‌های ( $E^v_1$ )

این واحد شامل نهشته‌های آتشفشانی قاعده‌ای در تناوب با سنگ آهک پالئوسن و همچنین گدازه‌های دریایی از نوع بازالت اسپلیتی هستند که در اطراف شهرهای صحنه و هرسین، راه ارتباطی سنندج به کرمانشاه، جنوب شرقی سنقر و همچنین در شمال جاده سنقر به کامیاران دیده می‌شود.

#### • واحد آهکی روشن ( $E^1_1$ )

سنگ آهک‌هایی به رنگ روشن که بالاترین لایه‌های آن حاوی فسفیل آلئولینا (*Alveolina*) است. این واحد به سن پالئوسن (ایلردین زیرین) است.

#### • واحد آهکی سرخ ( $E^1_2$ )

این واحد شامل سنگ آهک سرخ رنگ میکرایتی حاوی قلوه‌های سیلیسی می‌باشد. رنگ این واحد متمایل به قهوه‌ای است.

#### • واحد فلیشی ( $E^f_1$ )

جنس این واحد سنگی از فلیش تشکیل شده و سن آن به ائوسن برمی‌گردد.

#### ۱-۶-۲-۲ واحد فلیشی (M<sup>m</sup>)

وسعت بیرون‌زدگی این واحد در منطقه مورد مطالعه محدود بوده است. این واحد شامل مارن‌های خاکستری ژئوپس‌دار با درون لایه‌های از سنگ آهک خاکستری متمایل به قهوه‌ای و رسی است. این افق‌های آواری به طور نسبی ریزدانه‌اند، اما سیمای رسوب‌گذاری توربیدیتی معمولی را نشان می‌دهد و ضخامت آن ۲۰۰ تا ۶۰۰ متر است. این واحد رسوبی دارای شکم‌پایان و دوکفه‌ای‌های فراوان (از جمله استرا) است.

این نهشته‌ها هم‌زمان با کوهزایی پدید آمده و از تناوب چرخه‌هایی از کنگلومرا، مارن و ماسه‌سنگ‌های نازک تا ضخیم لایه تشکیل شده‌اند. با توجه به فسیل‌های همراه، همانندی رخساره و موقعیت چینه‌شناسی، سن این واحد را میوسن پیشین تا میانی و آن را هم‌ارز سازند میشان در نظر گرفته‌اند. واحد فلیشی ذکر شده، سازند شهبازان را با ناپیوستگی فرسایشی می‌پوشاند و به طور هم‌شیب و تدریجی توسط سازند آقاجاری (واحد Ma) پوشیده می‌شود.

#### ۱-۶-۲-۳ سازند آهکی قم (M<sup>1q</sup>)

این رسوبات آهکی بر روی افق‌های آواری و یا به طور مستقیم در نتیجه پیشروی بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند و شامل مجموعه آهک‌های پایابی با ضخامت میانگین ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر است که لایه‌بندی به نسبت منظمی دارند اما در برخی مکان‌ها با داشتن رخساره ریفی به آهک‌های توده‌ای تبدیل می‌شوند. این آهک‌ها همواره دارای سنگواره فراوان بوده و به صورت بیواسپاریت خودنمایی می‌کند. سن این واحد آهکی به اواسط میوسن (آکیتانین) می‌رسد.

#### ۱-۶-۲-۴ نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی کهن کواترنری (Qt<sub>1</sub>)

این واحد دربرگیرنده پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های کهن کواترنری است که از قطعات زاویه‌دار سست تا نیمه سخت شده با میان لایه‌های ماسه‌ای و سیلتی تشکیل شده است. بارزترین رخنمون این واحد در نزدیک کامیاران انباشته‌های کنگلومرایی مجموعه‌ای از قطعات سنگی هارزبورژیت سرپانتینی شده، متاگابرو، گابرو، بازالت، سنگ آهک، شیل و غیره را در بر می‌گیرند. این رسوبات سخت نشده و دارای

شیب کم (تقریباً افقی) یا به طور محلی به تبعیت از توپوگرافی بستر خود شیب ملایمی دارند. برون‌زدهای این واحد در منطقه محدود است.

#### ۱-۶-۲-۵ نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان کواترنری (Qt<sub>2</sub>)

این واحد دربرگیرنده پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی و رسی - سیلتی جوان کواترنر است که از کنگلومرای سخت نشده و سست با میان لایه‌های رسی - ماسه‌ای و سیلتی تشکیل شده است. این لایه‌ها بیشتر افقی هستند، یا به طور محلی به تبعیت از توپوگرافی بستر خود شیب ملایمی دارند و سطح مناطق دشت را می‌پوشانند. این واحد گسترده‌ترین واحد سنگ چینه‌ای منطقه می‌باشد و سطح غالب دشت‌های بیلوار و میان‌دربند را پوشش می‌دهد. از لحاظ دانه‌بندی این واحد در دامنه ارتفاعات درشت دانه و با دور شدن از آن از اندازه ذرات کاسته می‌گردد. با توجه به گستردگی این واحد و حاصلخیزی رسوبات آن، بخش اعظم این واحد برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۱-۶-۳ افیولیت‌ها

##### ۱-۶-۳-۱ واحد (ub)

در مجموعه آمیزه افیولیتی در نیمه شمالی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه سنگ‌های اولترابازیکی مانند هارزبورژیت و سرپانتینیت تفکیک شده‌اند. رنگ این سنگ‌ها سبز تیره و دارای خردشدگی شدید می‌باشند. به علت هوازدگی شدید و اکسید شدن در نمونه‌های دستی به رنگ سبز تیره دیده می‌شوند. گاهی ساخت‌های شیستوز در این واحد قابل مشاهده است.

ترکیب اصلی سنگ‌های این واحد از لرزولیت و کریزوتیل تشکیل شده است. گسترش این واحد در مجموعه افیولیتی متغیر است و در محل شکستگی‌ها به صورت عدسی‌های سرپانتینیتی و هارزبورژیتی دیده می‌شود. همبری این واحد با سنگ‌های مجموعه افیولیتی به گونه گسلی است. سیستم درز و شکستگی در این سنگ‌ها از نوع غیر سیستماتیک است و به دلیل عدم ارتباط درزه‌ها از نفوذپذیری متوسط تا کم برخوردار بوده و به همین دلیل به هنگام بارش نزولات جوی، جریان‌های آبی به آبراهه‌ها

منتقل می‌شود. از نظر سنی قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل داده و متعلق به پرکامبرین فوقانی می‌باشند.

#### ۱-۶-۳-۲ واحد (sr)

این واحد در ارتفاعات شمالی منطقه گسترش دارد و در نتیجه دگرسانی واحد هارزبورژیته حاصل شده است. روند این واحد تقریباً شمال شرقی - جنوب غربی و هم امتداد با روند شکستگی‌های اصلی می‌باشد و به عنوان عضو اصلی مجموعه اولترابازیک‌ها به شمار می‌آید. به علت هوازدگی شدید و اکسید شدن به رنگ‌های سبز تیره در نمونه‌های دستی دیده می‌شود. گاهی ساخت‌های شیبستوز در این واحد مشاهده می‌شود.

ترکیب اصلی سنگ‌های این واحد از لرزولیت و کریزوتیل تشکیل شده است. گسترش این واحد در مجموعه افیولیتی متغیر است و در محل شکستگی‌ها به صورت عدسی‌های سرپانتینیتی دیده می‌شود. همبری این واحد با سنگ‌های مجموعه افیولیتی به گونه گسلی است. از نظر سنی متعلق به پرکامبرین فوقانی می‌باشد.

#### ۱-۶-۳-۳ واحد (an)

آندزیت نوعی سنگ آتشفشانی است که وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاه الیوین در خمیره‌ای از پلاژیوکلاز از مشخصات آن است. آندزیت‌ها پس از بازالت‌ها فراوان‌ترین سنگ‌های آتشفشانی محسوب می‌شوند. در شرق محدوده مورد مطالعه توده‌های از سنگ‌های آندزیتی مربوط به زون ساختاری سنندج - سیرجان رخمون دارند که سن این واحد سنگی مربوط به پرمین است. دو نوع آندزیت جوان در منطقه مشاهده می‌شود که عبارتند از:

الف: آندزیت‌های پیروکسن‌دار با بافت پورفیریتیک و فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز

ب: آندزیت‌های هورنبلند و بیوتیت‌دار با بافت پورفیری و زمینه کریپتوکریستالین که فنوکریست‌های آن عبارتند از هورنبلند که بسیار فراوان است و بیوتیت که نسبتاً کم دیده می‌شود.

بر اساس فراوانی سنگ‌های آتشفشانی قلیایی پرمین در زون سنندج - سیرجان این باور وجود دارد که فازهای دیررس هرسینین موجب تجدید فعالیت کافت‌های درون قاره‌ای در سنندج - سیرجان شده که خود مقدمه‌ای برای نازک شدگی پوسته و جدایش صفحه ایران از عربستان بوده است.

#### ۱-۶-۳-۴ واحد (pd)

بروزد این واحد در شمال شرقی کرمانشاه قرار دارد که متشکل از سنگ‌های اولترابازیک دانه‌ای (کومولیت)، پریدوتیت، هارزبورژیت و پیروکسنیت است که ابتدا با سنگ‌های گابرویی و سپس با گدازه پوشیده می‌شوند. این مجموعه اثری از آمیختگی ندارد.

#### ۱-۶-۳-۵ واحد (gb)

این واحد به صورت رخنمون‌هایی درون اولترابازیک‌ها مشاهده می‌شود و به لحاظ لیتولوژی شامل گابرو می‌باشد. گابروها از سنگ‌های ماگمایی پلوتونیک و سنگ درونی معدل بازالت می‌باشند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌دانه، رنگ سبز متمایل به سیاه همراه با لکه‌های سفید رنگ از پلاژیوکلاز می‌باشند. در برخی مناطق دارای لایه‌بندی بوده و امتداد لایه‌ها در جهت شمال شرقی - جنوب غربی و شیب آن‌ها در حدود ۳۰ درجه به سمت شمال غرب می‌باشد. از نظر سنی متعلق به پرکامبرین فوقانی می‌باشند. همبری آن با سنگ‌های مجموعه‌ی افیولیتی به طور معمول گسلی است.

#### ۱-۶-۳-۶ واحد (db)

این واحد در قسمت شمالی منطقه و درون مجموعه افیولیتی با رنگ خاکستری متمایل به سبز تیره بروزد دارند. شکستگی‌های نسبتاً زیاد در این واحد سنگی باعث پیشرفت دگرسانی در آن‌ها شده به طوری که کانی‌های اپیدوت و کلریت موجب سبز شدن میکرو گابروها (دولریت) شده است. از دیدگاه سنگ‌شناختی دارای بافت پورفیریتیک - اینترسرتال بوده که پورفیرهای آن شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن (کلینوپیروکسن) است. پلاژیوکلازها شکل دار تا نیمه شکل دار و عمدتاً در اثر فشارهای وارده دچار خمیدگی شده‌اند. در این سنگ‌ها رگچه‌هایی متشکل از بلورهای درشت کوارتز که به همراه

بلورهای آلبیت رشد کرده‌اند وجود دارد. از نظر سنی متعلق به پرکامبرین فوقانی می‌باشد. همبری آن با سنگ‌های مجموعه افیولیتی به طور معمول گسلی است.

#### ۱-۶-۴ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

گذشته پهنه زاگرس و منطقه مورد مطالعه را می‌توان چنین خلاصه کرد که در طی اینفراکامبرین و پالئوزوئیک، حالت سکویی (Platform) توأم با حرکات خشکی‌زایی در آن حاکم بوده است. با جدایش هند و ایران از گندوانا در طی پرموکرئونیفرا، سکوی عربستان هنوز بخشی از گندوانا بوده و در حدفاصل این دو پهنه دریای نتوتتیس تشکیل گردیده و در طی ژوراسیک تا کرتاسه آغازی به سبب اینکه حاشیه قاره‌ای غیرفعال بوده است نهشته‌گذاری به طور مستمر ادامه داشته است تا اینکه در اوایل سنوزوئیک با ایجاد ریف‌تینگ (Rifting) در محل دریای سرخ و گسترش آن، پلاتفرم عربستان از گندوانا جدا می‌شود و به سمت شمال شرق فرورانش می‌یابد و بر اثر آن، نهشته‌های افیولیتی و رادیولاریت‌ها دچار راندگی بر روی پوسته قاره‌ای می‌شوند. با برخورد صفحه عربی به ایران (برخورد قاره به قاره) در پلیوسن زاگرس از آب خارج می‌شود و با چین‌خوردگی دچار کوتاه‌شدگی می‌شود. زلزله‌های مهمی که در غرب و جنوب غربی ایران رخ می‌دهد نشانه تداوم این حرکت و فشارهای وارده می‌باشد (درویش‌زاده ۱۳۷۵).

نقشه زمین‌شناسی کرمانشاه بخشی از دو واحد زمین‌ساختی سنندج - سیرجان (بخش رسوبی دگرگون نشده) و زاگرس (چین‌خورده - روانده) را دربر می‌گیرد (شکل ۱-۵). با نظری اجمالی به وضعیت زمین‌شناسی استان مشخص می‌گردد که زمین‌شناسی استان کرمانشاه چندان دارای تنوع نبوده و بخش‌های کوهستانی آن به طور عمده از لایه‌های آهکی همراه با مارن دوران دوم زمین‌شناسی تشکیل شده، که به دلیل قرار گرفتن در محیط فعال تکتونیک به شدت خرد شده و دارای درز و شکاف فراوان می‌باشد.

فعالیت‌های راندگی در این منطقه به تناوب صورت گرفته است. افزایش ضخامت میانگین لیتوسفر در محدوده‌ی سنندج - سیرجان به میزان ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر، می‌تواند ناشی از راندگی‌های متعدد در این محدوده باشد و این فعالیت‌های کوهزایی تاکنون نیز ادامه داشته است. در واقع لرزه‌خیزی این ناحیه



بیانگر فعال بودن تکتونیک آن است. گستره استان کرمانشاه را می‌توان به دو زیر پهنه سنندج - سیرجان و زاگرس تقسیم کرد، که مرز بین آن‌ها با گسل‌های جوان و لرزه‌زای مروارید و صحنه مشخص می‌شود. بخش زیادی از مساحت استان کرمانشاه که در جنوب گسل مروارید - صحنه قرار دارد، دارای خصوصیات رسوبی و ساختاری پایانه شمال غربی زاگرس می‌باشد. مرز این دو پهنه چندان آشکار نیست و به نظر می‌رسد که گذر از زاگرس مرتفع (اطراف شهر کرمانشاه) به زاگرس چین‌خورده تدریجی است، ولی الگوی ساختاری این دو زیر پهنه دارای تفاوت‌های آشکاری باهم می‌باشد.

سنگ‌های آهکی سازند بیستون و رادیولاریت‌های کرمانشاه که در شمال و مرکز محدوده گسترش دارند، بخشی از واحد زمین‌ساختی زاگرس (چین‌خورده - رورانده) هستند که توسط راندگی کوه سفید از واحد زمین‌ساختی سنندج - سیرجان تفکیک می‌شوند. این گسل، مجموعه رادیولاریتی را بر روی فلیش‌های سازند امیران رانده است. ضخامت برش (Breccia) گسلی در این محل تا ۱۰۰ متر می‌رسد. برش یاد شده از عناصر رادیولاریتی همراه با قطعاتی از سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگ‌های سازندهای کرتاسه پسین تشکیل شده است.

ساختار زمین‌شناسی ناحیه کرمانشاه از ورقه‌های نازک رانده‌شده‌ای تشکیل شده است که به صورت ساختمان‌های دوپلکس (Duplex) و سفره‌های رانده (Nappes) پدیدار شده‌اند. این ساخت‌های انقباضی از کوه‌های بیستون - پراو در شمال نقشه تا کوه‌های سفید - چرمی و سبز عمو در جنوب آن گسترش دارند. جهت حرکت این گسل‌های راندگی از شمال - شمال شرقی به سمت جنوب - جنوب غربی است. به نظر می‌رسد که کوه بیستون خود دارای یک ساخت تاقدیس‌گون (Antiform) است، به نحوی که هورست‌های (Horst) رانده‌شده، بر روی هم قرار گرفته‌اند و یک ساخت دوپلکس را به وجود آورده‌اند.

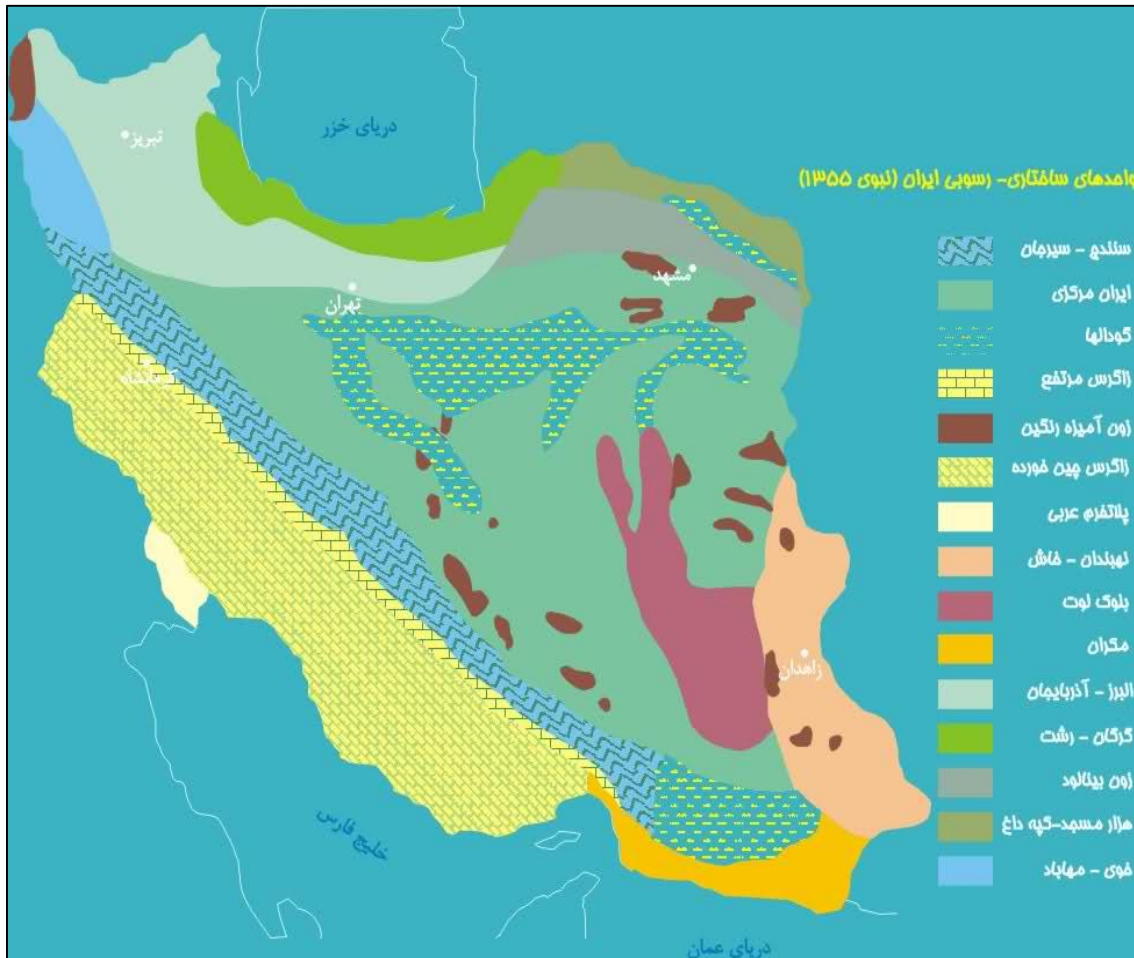
شواهدی که گسلش وسیع در داخل مجموعه دوپلکس‌های ناحیه را نشان می‌دهد شامل: برش‌های گسلی، زون‌های برشی (Shear Zone)، خردشدگی عمومی سازندها همراه با گسترش شبکه درزه‌های طولی، قطع‌شدگی ناگهانی طبقات و تغییر سن و جنس آن‌ها در فاصله کوتاه است.

از دیگر ساختمان‌های ناحیه می‌توان به کلیپ‌ها و پنجره‌های تکتونیکی اشاره کرد. در درازکوه و کوه زردکمر و به طور کلی در دشت بین کرمانشاه و هرسین، کلیپ‌های متعددی از سنگ‌های آهکی ژوراسیک پسین که بر روی رادیولاریت‌ها و افیولیت‌ها رانده شده‌اند، به زیبایی و آشکارا خودنمایی می‌کنند. شیب گسل‌ها در این کلیپ‌ها از صفر تا حداکثر ۱۰ درجه متغیر است و به خوبی وجود سفره‌های رانده شده را نشان می‌دهد. پنجره‌های تکتونیکی متعددی از رادیولاریت و افیولیت‌ها در کوه‌های بیستون - پراو از لابلای سازندهای آهکی بیستون نمایان شده‌اند، رادیولاریت‌های تنگ کنشت و افیولیت‌های نثری‌واران از این جمله‌اند.

شیب راندگی‌ها در منطقه عموماً کمتر از ۴۵ درجه است ولی شیب‌های بیشتر نیز دیده می‌شوند که این امر در دوپلکس‌های نوع شیب‌کرانه‌ای (Hinterland dip Duplex) امری طبیعی به شمار می‌رود. بررسی‌های آماری انجام شده بر روی درزه‌های ناحیه به وسیله نظری (۱۳۷۶) نشان داد که جهت بزرگ‌ترین محور تنش عمدتاً از سمت شمال - شمال شرقی به سمت جنوب - جنوب غربی است. حرکت فرادیواره گسل‌های متوالی نسبت به یکدیگر باعث تشکیل درزه‌ها و گسل‌های مزدوج (Conjugate) بسیاری شده است.

در مجموعه رادیولاریتی کرمانشاه، شواهدی دال بر گسلش متعدد وجود دارد ولی سطح این گسل‌ها در سطح زمین قابل شناسایی نیست (گسل‌های کور "Blind Fault"، بربریان ۱۹۹۵). در تعدادی از راندگی‌های ناحیه، حرکت راستا لغز چپ‌گرد نیز به وضوح قابل شناسایی است، گسل‌های دره قره‌سو، کوه سفید و مرگ از این جمله‌اند.

چین‌هایی در داخل مجموعه رادیولاریتی و در جنوب گسل کوه سفید (محدوده واحد زمین‌ساختی زاگرس چین‌خورده - رورانده) دیده می‌شوند. در مجموعه رادیولاریتی، چین‌خوردگی‌های بسیار شدیدی دیده می‌شود که روند این چین‌ها بسیار متغیر است ولی چین‌های متعددی با روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی دیده می‌شوند که بسیاری از این چین‌ها در اثر گسلش شدید ایجاد شده‌اند. شکل (۱-۱۰) تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی - ساختاری ایران را نمایش می‌دهد (نبوی ۱۳۵۵).

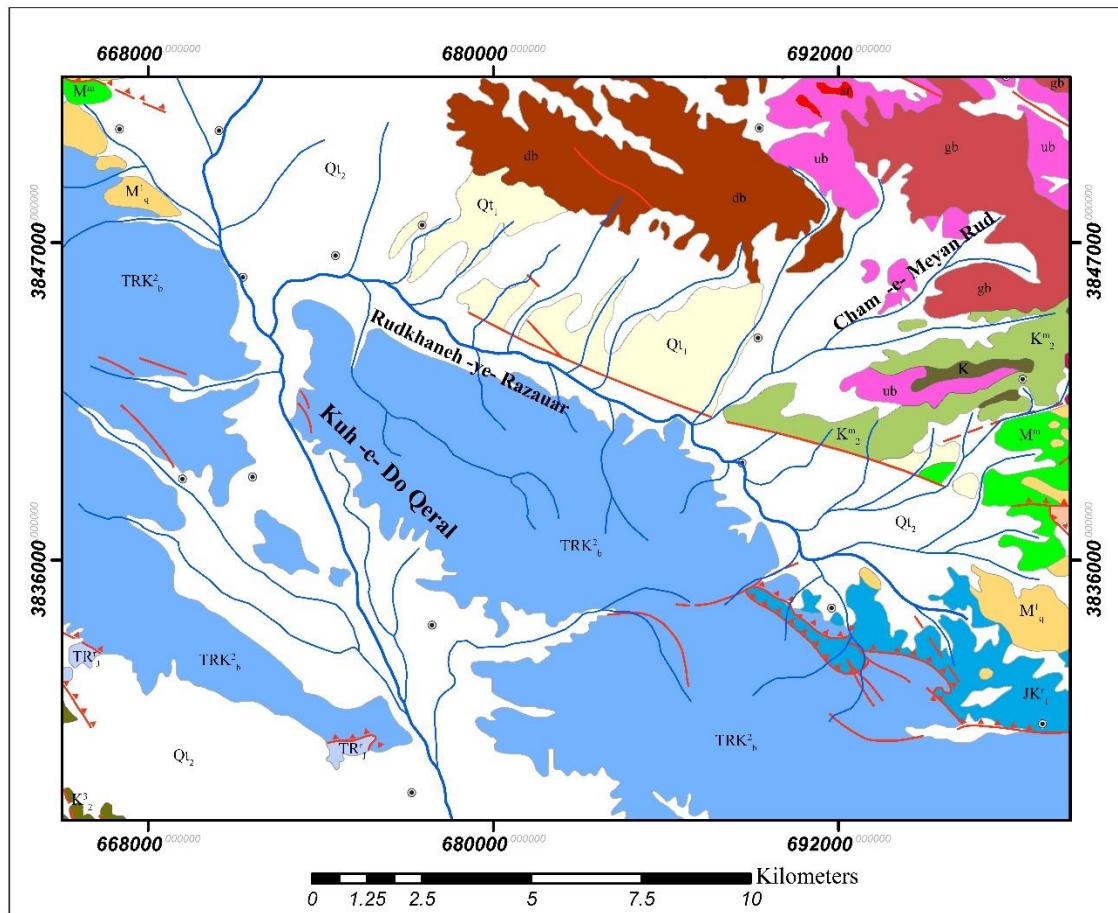


شکل ۱-۹: تقسیم‌بندی زون‌های رسوبی - ساختاری ایران

## ۷-۱ هیدرولوژی منطقه

محدوده مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز رودخانه رازآور می‌باشد. رودخانه رازآور خود یکی از زیرحوضه‌های اصلی رودخانه قره‌سو محسوب می‌شود. شکل (۱-۱۱) موقعیت حوضه مذکور و رودخانه و آبراهه‌های موجود در این منطقه را نشان می‌دهد. حوضه مورد مطالعه از نظر تقسیمات سیاسی کشور در محدوده‌ی استان کرمانشاه و کردستان قرار گرفته است. این حوضه بخش‌هایی از دشت میان‌دریند کرمانشاه و بیلوار کردستان را دربر گرفته است. رودخانه رازآور رودخانه دائمی و مهم منطقه مورد مطالعه می‌باشد که از کوه‌های کندوله و کامیاران سرچشمه گرفته و پس از عبور از کوه‌های جنوب شرقی کامیاران، در پای کوه دوقرال به مسیرش ادامه داده و در جنوب قزاقچی به رودخانه

قره‌سو می‌ریزد. رودخانه رازآور تنها جریان آب سطحی در محدوده مورد نظر بوده و زهکشی منطقه را برعهده داشته است.



شکل ۱-۱: حوضه آبریز رودخانه رازآور

## ۸-۱ هیدروژئولوژی منطقه

هیدروژئولوژی هر آبخوان همواره تابعی از زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. در واقع زمین‌شناسی در پیدایش و توسعه سفره آب زیرزمینی در هر ناحیه تأثیر بسزایی دارد. با توجه به توپوگرافی منطقه در منطقه مورد مطالعه دو نوع آبخوان کارستی و آبرفتی با ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی متفاوت وجود دارد. که هدف از این مطالعه بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی و نیز بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی منابع آب موجود در این آبخوان‌ها می‌باشد. در ادامه به صورت جداگانه به بررسی هیدروژئولوژی این آبخوان‌ها پرداخته می‌شود.

## ۱-۸-۱ هیدروژئولوژی آبخوان کارستی

سازند آهکی بیستون عمده‌ترین سازند تشکیل‌دهنده ارتفاعات منطقه می‌باشد. این آهک‌ها در نتیجه حرکات تکتونیکی و فرسایش فیزیکی و شیمیایی دارای شکستگی و درز و شکاف‌های فراوانی شده‌اند. در نتیجه آب به راحتی به داخل آن‌ها نفوذ کرده و سبب تشکیل آبخوان‌های آهکی بزرگی شده است، که مقادیر قابل توجهی از ذخایر آبی این آبخوان‌ها توسط چشمه‌های کارستی موجود در منطقه تخلیه می‌گردد. همچنین مقادیری از آب این آبخوان‌های آهکی به صورت زیرسطحی سفره‌های آبرفتی مجاور را تغذیه می‌کند.

به دلیل سنگ مخزن مناسب و درز و شکاف‌دار (سازند آهکی بیستون) و بارندگی نسبتاً بالا، در این کوه‌ها منابع آب زیرزمینی به صورت کارست توسعه خوبی پیدا کرده‌اند. در این کارست چشمه‌های متعددی به وجود آمده‌اند که حجم فراوانی از آب را در طول سال تأمین می‌کند. کیفیت این چشمه‌ها نیز بسیار مطلوب بوده و هدایت الکتریکی (EC) کم و غلظت پایین آنیون‌های کلر و سولفات آب این چشمه‌ها نیز بر این موضوع دلالت دارد. آبدهی این چشمه‌ها از چند لیتر تا چند صد لیتر بر ثانیه است و از آب این چشمه‌ها برای مصارف کشاورزی و آشامیدن استفاده می‌شود.

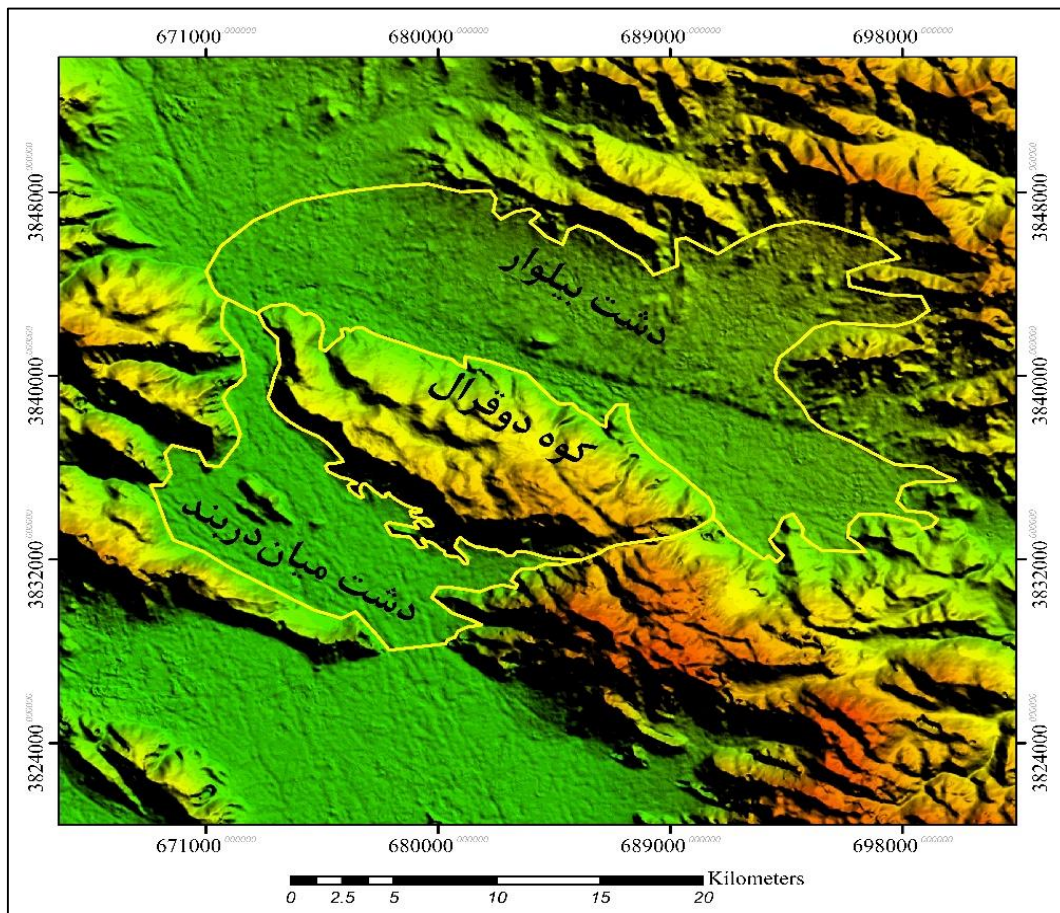
## ۱-۸-۲ هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی

علاوه بر گسترش سازندهای سخت و کربناته در منطقه مورد مطالعه، مخازن آبرفتی وسیع و نسبتاً خوبی در دشت‌های میان‌دریند و بیلوار واقع گردیده است که غالباً از آبرفت‌های عهد حاضر، در غالب مخروط افکنه‌ها و دشت‌های سیلابی پوشیده شده است. سیستم بهره‌برداری از این دشت‌ها توسط چاه، چشمه و قنات می‌باشد و برداشت از این دشت‌ها بیشتر برای مصارف کشاورزی صورت می‌گیرد. این دشت‌ها دارای شیب حدود ۰/۳ (در دشت میان‌دریند) تا حدود ۴ درصد (در دشت بیلوار) می‌باشند. امتداد این دشت‌ها شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد و غالباً در فواصل بین تاقدیس‌ها و شکستگی‌ها ایجاد شده‌اند. آبخوان‌های موجود در سازندهای سخت منطقه یکی از منابع عمده تغذیه‌کننده این دشت‌ها هستند. همچنین رودخانه بیلوار یکی از منابع طبیعی تخلیه‌کننده آب زیرزمینی در دشت‌های مذکور است.



## ۹-۱ ژئومورفولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی بوده که طول آن ۲۵ و عرض آن ۱۵ کیلومتر است. این منطقه از نظر ژئومورفولوژی به دو واحد کاملاً مجزا تقسیم می‌شود. یکی ناحیه کوهستانی واقع در مرکز منطقه و دیگری قسمت هموار یا دشت که بخش عمده منطقه را دربر می‌گیرد و عمدتاً از آبرفت‌های عهد حاضر در قالب مخروط افکنه‌ها و دشت‌های سیلابی پوشیده شده است. راستای عمومی واحدهای ژئومورفولوژیکی به موازات محور چین‌خوردگی‌ها یعنی شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد (شکل ۱-۱۲).



شکل ۱-۱۱: تصویر برجسته توپوگرافی منطقه

در منطقه مورد مطالعه ارتفاع کوه دوقرال به سمت شمال غرب کاهش می‌یابد. بلندترین ارتفاعات منطقه ۲۹۹۰ متر و مربوط به کوه دوقرال است و کمترین ارتفاع منطقه ۱۲۹۰ متر و مربوط به

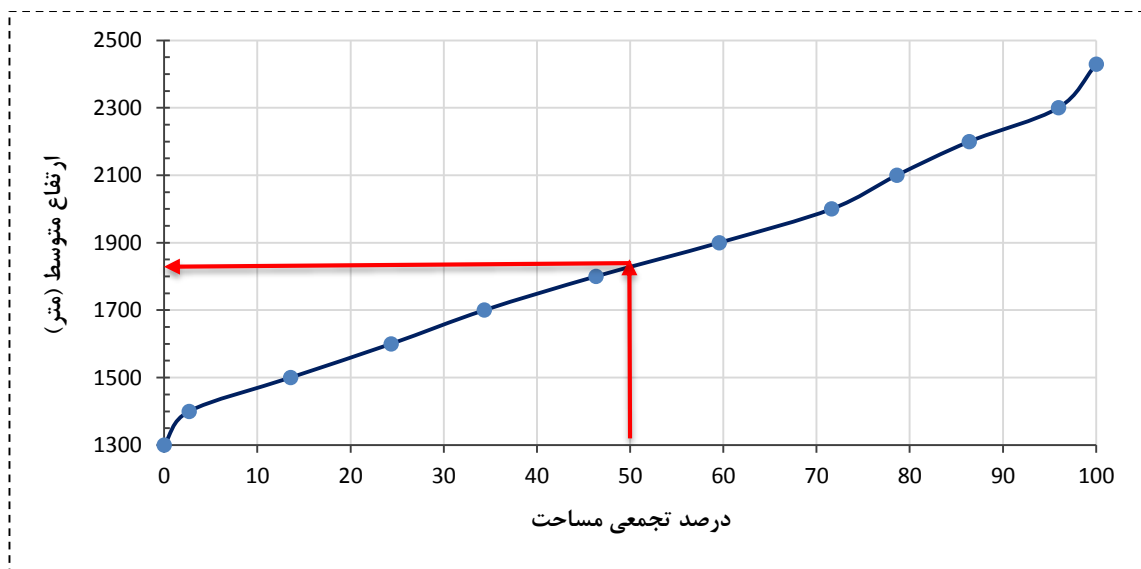
آبرفت‌های کواترنر دشت میان‌دریمن است. این تفاوت ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه را به طور عمده می‌توان به زمین‌ساخت ویژه منطقه و عملکرد گسل‌ها موجود نسبت داد. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه چهار نوع مورفولوژی مشاهده می‌شود که در ادامه به اختصار به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

- بخش کوهستانی که در قسمت میانی منطقه قرار دارد و ارتفاعات شمالی شهر کرمانشاه و حاشیه دشت‌های میان‌دریمن و بیلوار را به وجود آورده است. این بخش عمدتاً از آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای سازند بیستون تشکیل شده است. به علت تحمل فشارهای تکتونیکی و راندگی‌های ایجاد شده در آن، دارای قله‌های مرتفع صخره‌ای و دیوار مانند می‌باشد و همچنین به طور قابل ملاحظه‌ای کارستی شده‌اند. از اشکال کارستی مهم مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌توان به چاه‌های کارستی (Shaft) و فروچاله (Sinkhole) اشاره کرد. در کوه دوقرال به دلیل خردشدگی شدید آهک‌ها، کارن‌ها به خوبی شکل گرفته‌اند و چنین به نظر می‌رسد که آهک‌های این منطقه به خوبی توسعه یافته‌اند و توسعه کارست در این منطقه از مناطق اطراف آن بیشتر بوده است. از دیگر پدیده‌های کارستی مشاهده شده دره‌های دارای عرض کم و دیواره‌های پرشیب هستند که این دره‌ها حاصل انحلال و فرسایش خطی آهک‌ها و بیانگر گسترش کارست بر اثر عوامل تکتونیکی می‌باشند. همچنین در این ارتفاعات آهکی فضاهای انحلالی نسبتاً بزرگی (غار) مشاهده می‌شوند. در فصل چهارم به طور مفصل به بررسی ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه و اشکال کارستی مشاهده شده پرداخته می‌شود.
- بخش تپه‌ماهوری که بیشتر از رادیولاریت‌ها، توده‌های جریان‌ی آذرین و رسوبات فلیشی تشکیل شده است. از خصوصیات مورفولوژیکی این بخش می‌توان به وجود دامنه‌های ملایم با دره‌های شیاری اشاره کرد. وجود میان‌لایه‌های آهکی و یا توده‌های نفوذی آذرین، باعث ایجاد برجستگی‌های صخره مانند در این تپه‌ماهورها شده است.
- در مجاورت واحد مورفولوژیکی تپه و ماهور واحد مورفولوژیکی دشت قرار دارد که از رسوبات منفصل تشکیل شده است. این رسوبات کف غالب دره‌ها و آبراه‌ها را می‌پوشانند و در بستر رودخانه‌ها تشکیل پادگانه‌های آبرفتی را می‌دهند. این واحد در منطقه گسترش نسبتاً زیادی داشته و قسمت‌های مسطح و کم ارتفاع منطقه را به وجود آورده است. این بخش در منطقه

شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، مخروط افکنه‌ها، آبرفت‌های جوان میان دشتی، واریزه‌ها و تراس‌های رودخانه‌ای می‌باشد.

- واحد مورفولوژیکی دیگری که در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود رودخانه‌ها هستند. در منطقه مورد مطالعه رودخانه رازآور تنها رودخانه دائمی است. رودخانه رازآور از کوه‌های اطراف کندوله و کامیاران سرچشمه گرفته و پس از عبور از کوه‌های جنوب شرقی کامیاران، در پای کوه دوقرال و دشت میان‌دربند به مسیرش ادامه داده و در جنوب قزانچی به رودخانه قره‌سو می‌ریزد.

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نمودار هیپسومتری برای ارتفاعات آهکی کوه دوقرال ترسیم گردید (شکل ۱-۱۳). با توجه به این نمودار حداقل ارتفاع در منطقه ۱۳۲۷ متر و حداکثر ارتفاع ۲۴۲۹ متر است. با توجه به دسته‌بندی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه در دسته‌های ۱۰۰ متری مشاهده شد که مناطق با ارتفاع بین ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰ متر بیش‌ترین فراوانی را دارند. بر اساس منحنی هیپسومتری ترسیم شده، ارتفاع متوسط منطقه برابر با ۱۸۳۰ متر است.



شکل ۱-۱۲: نمودار هیپسومتری منطقه مورد مطالعه



## فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین درباره ارتباط هیدرولیکی

### آبخوان‌های کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور

در دهه‌های اخیر حفاظت و مدیریت صحیح منابع آب موجود در آبخوان‌های کارستی، به دلیل اهمیت ویژه آن‌ها در تأمین آب شرب، بسیار مورد توجه بوده است. با توجه به ارتباط جدایی‌ناپذیر آبخوان‌های مختلف، درک درست و منطقی از ارتباط این منابع در جهت مدیریت صحیح و جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. معمولاً آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی و آبرفتی که در مجاورت هم قرار دارند، باهم در ارتباط هستند. در این ارتباط ممکن است آبخوان کارستی آبخوان آبرفتی را تغذیه یا تخلیه کند. فهم این موضوع که کدام آبخوان دیگری را تغذیه و یا تخلیه می‌کند، برای بحث مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است. برای مثال اگر آبخوان کارستی آبخوان آبرفتی را تغذیه کند و میزان تغذیه آبخوان کارستی به آبخوان آبرفتی نیز مشخص باشد در این صورت می‌توان با استفاده از این اطلاعات برای میزان تخلیه آب زیرزمینی از آبرفت برنامه‌ریزی مناسبی کرده تا از افت آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی جلوگیری شود. برای تعیین وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور آن‌ها از روش‌های مختلفی از قبیل بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل، بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی، بررسی‌های ایزوتوپی و روش‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌شود.

### ۱-۲ تعریف و اهمیت کارست

کارست گستره‌ای با هیدرولوژی و مورفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ است که از انحلال سنگ‌های با قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی، مانند سنگ‌های کربناته و ژئوپس به وجود می‌آید. اشکال ژئومورفولوژیکی مانند مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و غارها از ویژگی‌های خاص نواحی کارستی می‌باشند (Jenning 1985, White 1988, Karami 2002).

در برخی نواحی کشورهایی مانند چین، ترکیه، ایران و ایالات متحده آمریکا آب‌های کارستی مهم‌ترین منبع تأمین کننده‌ی آب مورد نیاز در مصارف گوناگون می‌باشند. سازندهای کربناته کارستی حدود یازده درصد از مساحت کل ایران (۱۸۵۰۰۰ کیلومترمربع) را به خود اختصاص داده‌اند که این نسبت در رشته کوه‌های زاگرس به حدود پنجاه و پنج درصد می‌رسد (Raeisi 2004). آب‌های زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی در حال حاضر آب مورد نیاز یک چهارم از کل جمعیت جهان را تأمین می‌کنند (Ford and Williams 2007).

علاوه بر آبخوان‌های آبرفتی که از نظر میزان ذخیره آب زیرزمینی از پتانسیل بالایی برخوردار هستند، سازندهای سختی نظیر سازندهای آهکی و کنگلومرایی نیز توانایی تشکیل آبخوان‌های بارزشی را دارند و از مهم‌ترین منابع تأمین کننده آب شیرین هستند که بررسی و اکتشاف آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (Hunt et al. 1988). آب‌های زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی از مهم‌ترین منابع آب شرب در برخی از نقاط جهان از جمله ایران محسوب می‌شود. با توجه به میزان توسعه اشکال کارستی در محدوده آبخوان، چینه‌شناسی و وجود ساختارهای زمین‌شناسی (مانند گسل و چین) سیستم‌های کارستی می‌توانند ساده و یا پیچیده باشند (Hughes et al. 1994). معمولاً آبخوان‌های کارستی بسیار ناهمگن می‌باشند که این ویژگی باعث تمایز آن‌ها از سایر آبخوان‌ها می‌شود (Romanov et al. 2003).

به دلیل گسترش وسیع سنگ‌های کربناته خرد شده و درز و شکافدار، آبخوان‌های کارستی در شمال غربی رشته کوه زاگرس به خوبی توسعه یافته است که وجود چشمه‌های کارستی بزرگ منعکس کننده این مطلب است. این سازندها و چشمه‌های کارستی منبع مهم آب آشامیدنی برای ساکنان این مناطق می‌باشد و همچنین ممکن است منبع تغذیه‌ای مناسبی برای آبخوان‌های مجاور خود فراهم کنند. به همین جهت شناخت مناطق تغذیه کننده این چشمه‌های کارستی و آبخوان‌ها و همچنین درک بهتر از حرکت آب زیرزمینی در این نواحی، اطلاعات مفیدی برای مدیریت بهتر منابع آبی و همچنین محافظت از آن‌ها فراهم می‌سازد (Mohammadzadeh and Aravena 2015).

چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان‌های کارستی می‌باشند که بهره‌برداری از آن‌ها در مقایسه با استحصال آب از طریق حفاری و پمپاژ به مراتب آسان‌تر و کم هزینه‌تر است. به لحاظ نقشی که چشمه‌ها از دیرباز در تأمین آب شرب و کشاورزی داشته‌اند، اهمیت بالایی را شامل می‌شوند. و در

حال حاضر نیز آب مورد نیاز برخی از مناطق کشور از طریق چشمه‌ها تأمین می‌گردد. از این رو مطالعه و شناخت سیستم‌های حاکم بر این چشمه‌ها و همچنین عوامل مؤثر بر کیفیت و کمیت آب آن‌ها نقش مهمی در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از این منابع طبیعی دارد (رضایی ۱۳۷۹).

به طور خلاصه، مطالعه‌ی کارست و منابع آب کارستی مخصوصاً در ایران به دلایل زیر حائز اهمیت می‌باشد (افراسیابیان ۱۳۷۷، کریمی وردنجانی ۱۳۸۸):

الف - در بسیاری از بخش‌های ایران منابع آب آبرفتی از لحاظ کمی و کیفی محدودیت‌هایی دارند. و معمولاً کیفیت آب کارستی بهتر از کیفیت آب‌های آبرفتی است. همچنین با توجه به سهولت حفر چاه در آبرفت، منابع آب آبرفتی معمولاً از دیرباز توسط بشر مورد برداشت قرار گرفته‌اند و در حال حاضر بیلان بسیاری از دشت‌های کشور منفی است.

ب - در بسیاری از مناطق منابع آب کارستی، آبخوان‌های آبرفتی را تغذیه می‌کنند.

ج - در حال حاضر اکثر فعالیت‌های انسانی و صنعتی در آبرفت‌ها متمرکز شده است و لذا منابع آبرفتی در معرض آلودگی می‌باشند، اما منابع آب کارستی چون در ارتفاعات و کوهستان‌ها قرار دارند از این لحاظ کمتر در معرض خطر می‌باشند.

د - استفاده از ذخایر آب کارست، عموماً از احداث سد و انتقال آب جهت مصارف آب شرب ارزان‌تر است. علاوه بر این، در روستاهای دور افتاده که امکان انتقال آب از لحاظ فنی و اقتصادی وجود ندارد، حفر چاه‌های کارستی تنها راه تأمین آب شرب می‌باشد.

و - با توجه به کم‌آبی ایران و لزوم احداث سد جهت تأمین آب و برق کشور و با توجه به فرارگیری محور و مخزن بسیاری از سدهای کشور در محیط‌های آهکی، اهمیت مطالعات کارست در کشور دو چندان می‌شود. این مسئله عموماً از لحاظ فرار آب دارای اهمیت است که مشکلات به وجود آمده در سدهای لار و مارون نشان‌دهنده این مسئله است.

ه - در مناطق کوهستانی کشور، به منظور انتقال آب و یا احداث جاده‌ها، در پاره‌ای اوقات سفره‌های کارستی قطع می‌گردند. بررسی خصوصیات این سفره‌ها به منظور طراحی دقیق‌تر چنین سازه‌هایی ضروری است. تونل سوم کوه‌رنگ که آب سرشاخه‌های کارون را به رودخانه زاینده‌رود منتقل می‌نماید، نمونه‌ای از این سازه‌هاست.

## ۲-۲ جریان آب زیرزمینی در کارست

جریان آب در آبخوان‌های کارستی در مسیرهای خاصی که غالباً از لحاظ تکتونیکی مستعد باشند حرکت می‌کنند (Kalantari *et al.* 2011). آبخوان‌های کارستی نواحی ناهمگن و ناهمسویی هستند که در آن‌ها ارزیابی پارامترهای هیدرولیکی دشوار است و جریان آب زیرزمینی اساساً به وسیله مسیرهای انتخابی که معمولاً با گسل‌های اصلی و زون‌های شکسته در ارتباط هستند انتقال پیدا می‌کنند (Reberski *et al.* 2009). حرکات تکتونیکی همراه با فرایندهای فیزیکی‌شیمیایی در سنگ‌های آهک و دولومیتی و دیگر سنگ‌هایی که قابلیت انحلال بالایی دارند، سیستم درزه و شکاف متنوعی را در توده کارستی ایجاد می‌کنند که باعث می‌شوند آب با سرعت بالایی از میان چنین سیستمی حرکت کند (Bonacci 1993).

داورز و همکاران (Davraz *et al.* 2009) با مطالعه خطواره‌ها و دیگر شکستگی‌ها در حوضه بیداگلاری (Beydaglari) واقع در جنوب غربی ترکیه، به این نتیجه رسیده‌اند که آب‌های زیرزمینی از دریاچه اگیردیر (Egirdir) به وسیله فروچاله‌های موجود در آهک‌ها تخلیه می‌شوند. اجزاء دیگری که حرکت جریان آب زیرزمینی را کنترل می‌کند، سیستم‌های شکستگی و گسل‌ها هستند. محل تقاطع خطوط شکستگی حرکت آب زیرزمینی را در امتداد شمالی - جنوبی ممکن ساخته است. بر طبق تحقیقات هیدروژئولوژیکی، بررسی خطواره‌ها و هدایت هیدرولیکی، جهت جریان در ناحیه تحقیقاتی به وسیله سیستم کربناته محلی به سمت دریای مدیترانه است. این نتیجه‌گیری به وسیله‌ی موقعیت خطواره‌ها و چشمه‌های ساحلی که آهک را تخلیه می‌کنند تأیید شده است. همچنین به دلیل بالا بودن سرعت حرکت آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی تعیین کردن جهت جریان برای مشاهده اثرات آلودگی‌ها بسیار اهمیت دارد و برای مناطق مسکونی اطراف آن نیز حائز اهمیت است.

## ۲-۳ روش‌های تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی

برای تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی از روش‌های مختلفی استفاده شده است. به طور کلی می‌توان این چنین اظهار نمود که مهم‌ترین روش‌های تعیین جهت جریان در آبخوان‌های کارستی شامل آزمایش ردیابی، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (Remote Sensing) و

سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System)، روش‌های زمین‌شناسی، بیلان، تغییرات سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با دبی چشمه‌های مجاور، تغییرات دبی چشمه‌ها و ارتباط آن با بارندگی، خصوصیات چشمه‌ها و تغییرات هیدروژئوشیمی آن‌ها، هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها، اندازه‌گیری دما و استفاده از لوگ‌های هیدروژئوشیمی و مدل‌های عددی می‌باشند. در ادامه به چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها شامل استفاده از ردیاب، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و روش زمین‌شناسی به طور مختصر اشاره خواهد شد.

### ۲-۳-۱ استفاده از ردیاب

لیباندگات (Leibundgut 1997) در کوه‌های آلپ در سوئیس به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی آزمون ردیابی انجام داد، وی با استفاده از نتایج ردیابی نشان داد که ساختارهای چین، اصلی‌ترین تأثیر را روی جریان آب زیرزمینی در سیستم کارستی منطقه دارد. خانلری و همکاران (۱۳۸۵) به منظور اطمینان از عدم فرار آب از مخزن کارستی سد گرین و همچنین تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه، آزمایش ردیابی در حوضه احداث سد انجام دادند. در این آزمایش اقدام به تزریق اورانین در چشمه‌های اطراف، از جمله چشمه امیر و گمانه‌های منطقه گردید. ارزیابی نتایج حاصل از ردیابی نشان داد که جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از ارتفاعات منطقه به طرف شمال و شمال غرب می‌باشد.

کلانتری و همکاران (Kalantari *et al.* 2011) با بررسی هیدرووشیمی و ردیاب‌های رنگی در آبخوان کارستی پشت‌ناز در رشته کوه البرز ایران به این نتیجه دست یافتند که در محدوده مطالعاتی ژئومورفولوژی به خوبی توسعه یافته است. آن‌ها با توجه به تنوع دبی چشمه‌ها و آنالیز هیدرووشیمی پی به وجود کانال‌های کارستی زیرزمینی بردند همچنین شباهت شیمی آب بین دو نقطه در منطقه احتمالاً نشان‌دهنده وجود ارتباط هیدرولیکی بین این دو نقطه می‌باشد. با توجه به بازیافت کم ردیاب احتمالاً مجرای خروجی دیگری در منطقه وجود داشته و جریان از نوع افشان بوده است.

ماسائی و همکاران (Massei *et al.* 2001) یکسری مطالعه جهت تعیین منشأ آب چشمه کارستی و چاه حفر شده در آبخوان آبرفتی مجاور سازند کالکی در منطقه هاتو - نرماندی

(Hatue – Normandie) فرانسه انجام دادند. در این تحقیق علاوه بر آزمایش‌های ردیابی و هیدروشیمیایی، از مطالعه ذرات معلق موجود در آب نیز استفاده کردند. در این منطقه آب سطحی توسط یک فروچاله به داخل آبخوان کارستی منتقل می‌شود. تیپ آب چشمه کارستی و چاه بیکربنات کلسیک بود که شاخص سازندهای کربناته می‌باشد. نتایجی که بر اساس آنالیز اندازه ذرات و همچنین عکس‌هایی که توسط SEM (Scanning Electron Micrograph) تهیه شده بودند، نشان داد که ذرات معلق موجود در چشمه و فروچاله تفاوتی با هم ندارند و آب از طریق مجراهای کارستی موجود در سازند کارستی از فروچاله به چشمه منتقل می‌شود. اما بین ذرات معلق موجود در چاه آبرفتی و چشمه تفاوت وجود دارد که از لحاظ اندازه ذرات موجود در چاه دارای جورشدگی قابل ملاحظه‌ای هستند و همچنین عکس‌های SEM نشان داد که نمونه‌های چاه دارای ذراتی هستند که در نمونه‌های آب مربوط به چشمه و فروچاله وجود ندارد و منشأ آن لایه فوقانی آبرفتی می‌باشد. این تفاوت در ذرات که از نمونه‌های آب چشمه و چاه خارج شده‌اند نشان داد که آبی که از چاه موجود در دشت آبرفتی پمپ می‌شود از آبخوان کارستی نشئت می‌گیرد. آب آبخوان کارستی توسط یک لایه با نفوذپذیری بالا که در مرز بین سازند کارستی و لایه آبرفتی فوقانی قرار دارد وارد چاه می‌شود.

## ۲-۳-۲ استفاده از داده‌های سنجش از دور

راینکر (Rinker 1973) از تجزیه و تحلیل برجسته‌بینی عکس‌های هوایی برای تعیین محل مجاری زیرزمینی کارستی استفاده کرد. این روش در مطالعه قسمتی از سیستم جریان زیرزمینی در رودخانه کاموی (Camuy) در پورتوریکو بکار گرفته شد. سرچشمه این رودخانه در سنگ‌های آهکی شدیداً کارستی شده، ضخیم لایه و تقریباً افقی می‌باشد. رودخانه مورد نظر به طرف شمال منطقه مورد مطالعه جریان دارد ولی در بخشی از مسیر خود آب این رودخانه به درون زمین نفوذ می‌کند و بعد از طی مسافتی حدوداً چند کیلومتر در زیر زمین مجدداً در سطح زمین ظاهر می‌شود. راینکر سعی نمود مسیر احتمالی رودخانه را در زیر سطح با استفاده از تجزیه و تحلیل عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مشخص نماید. وی برای اینکه مجاری کارستی و مسیر جریان زیرزمینی رودخانه را به طور اطمینان بخشی مشخص نماید. برای این منظور تمام عواملی که ممکن بود به تعیین محل این مجاری

کمک نماید را به طور مفصل مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. او خطواره‌ها، حفره‌های فروکش و غارهای شناخته شده در منطقه را با عکس‌های هوایی مقایسه و افقی را به‌عنوان محل تقریبی مسیر جریان زیرزمینی رودخانه کاموی مشخص کرد. وقتی نتایج مطالعات غارشناسی با این نتایج مقایسه گردید تشابه رضایت بخشی با موقعیت این افق و موقعیت واقعی مجاری زیرزمینی به دست آمد. داده‌های سنجش‌ازدور اگر همراه با تجزیه و تحلیل توپوگرافی، زمین‌شناسی ساختمانی و هیدروژئولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد، می‌تواند برای تعیین جهت جریان به کار رود. چنین تحقیقی در یک منطقه کارستی در شمال ویتنام انجام گرفت که با کشیدن نقشه تراکم خطواره‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها، جهت جریان آب زیرزمینی و مکان‌های مناسب جهت حفاری چاه در آبخوان کارستی مشخص شد (Tam and Batelaan 2010).

### ۲-۳-۳ روش زمین‌شناسی

این عامل به طور عمده شامل لیتولوژی، چینه‌شناسی و عوامل تکتونیکی است. عوامل زمین‌شناسی کنترل کننده نوع و گسترش سیستم کارستی است، به عبارت دیگر زمین‌شناسی منطقه تعیین کننده چارچوب سیستم کارستی هستند که در آن عوامل متعددی عمل می‌کنند (White 1988). با شناخت دقیق وضعیت زمین‌شناسی یک منطقه از قبیل: وضعیت گسل‌ها، چین‌ها، سازندهای مختلف زمین‌شناسی، لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها امکان بررسی جهت جریان آب زیرزمینی وجود دارد. شناخت زمین‌شناسی یک منطقه، با استفاده از نقشه‌ها و مقاطع زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی ضروری است. مهم‌ترین عوامل زمین‌شناسی که مسیرهای آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لیتولوژی و زمین‌شناسی ساختاری منطقه می‌باشد.

### ۲-۳-۳-۱ ساختارهای زمین‌شناسی

عوامل ساختاری نظیر چین‌ها، درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به شمار رفته و راهی برای عبور آب زیرزمینی می‌باشند. این عوامل همچنین به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تأثیر می‌گذارد، زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آغاز

می‌شود. این تأثیر به طور مستقیم در مسیر جریان آب زیرزمینی اعمال می‌شود که به توزیع منافذ بستگی دارد و خود به وسیله تکتونیک درون سنگ آهک به وجود آمده است. باید توجه داشت که نقش سیماهای ساختاری تنها محدود به کنترل ناهمواری‌های کارستی نمی‌شود، بلکه در اغلب موارد کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی نیز تحت تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم این سیماها قرار دارد. نقش شکستگی‌ها و گسل‌ها در کنترل رژیم آب در کارست‌ها بسیار پیچیده است. گسل‌ها ممکن است با افزایش شدت شکستگی در اطراف خود باعث افزایش نفوذپذیری سنگ بستر شوند و به این ترتیب نقش مثبتی را بر روی جریان آب زیرزمینی بگذارند.

#### ۱- نقش چین‌ها در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

چین‌ها یکی از مهم‌ترین عوارض کنترل‌کننده هندسه سفره آب زیرزمینی هستند و بر روی میزان ذخیره، الگوی زهکشی سطحی و جهت جریان آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند. بنابراین بسیار حائز اهمیت است که در انجام مطالعات هیدروژئولوژی کارست نقشه‌ای از وضعیت چین‌های منطقه با ذکر جزئیات آن‌ها تهیه گردد (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). اشجاری و رئیسی (Ashjari and Raeisi 2006) با بررسی تاقدیس‌های زاگرس به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که لایه‌های نفوذناپذیر در هسته تاقدیس و بالاتر از سطح ایستابی لایه کارستی قرار دارند ارتباط هیدرولیکی بین این دو یال وجود ندارد و آب تغذیه‌شده به هر یال به طرف پاشنه آن یال حرکت می‌کند و جهت‌گیری جریان در سیستم مجرای در پای هر یال تاقدیس به محل تخلیه بستگی دارد.

کریمی و همکاران (Karimi et al. 2007) با تهیه نقشه چین‌های زاگرس پی بردند که چین‌ها نقش مهمی در الگوی جریان آب زیرزمینی به ویژه در سفره‌های کارستی سطحی که کنترل‌چینه‌ای جریان در آن‌ها بالاست، دارند. در سفره‌های کارستی عمیق، نقش چین‌ها محدود می‌شود. در محدوده سطحی کارست، جایی که کف سفره‌ی کارستی بالاتر از سطح اساس هیدرولوژیکی است، آب زیرزمینی در نزدیکی کف سفره و بالای لایه نفوذناپذیر زیرین جریان می‌یابد. در نتیجه ناودیس‌های پلانچ شده مسیره‌های اصلی جریان زیرزمینی را تشکیل داده و تاقدیس‌ها به صورت مرز جداکننده‌ی آبخوان‌ها عمل می‌کنند. چین‌خوردگی شکل و گسترش آبخوان، ذخیره‌سازی و شبکه زهکشی زیرزمینی آبخوان



را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ساختمان چین بر روی سیستم زهکشی زیرزمینی به ویژه در آبخوان کم‌عمق که سیستم زهکشی تحت کنترل چینه‌شناسی است، اثر مهمی دارد در مقابل اثر چین خوردگی بر روی آبخوان عمیق کارستی کم‌تر است. همچنین در مناطق دارای کارست عمیق، ناودیس‌ها معمولاً از آب زیرزمینی اشباع هستند و ممکن است آب از طریق تاقدیس‌های مجاور به رسوبات یا ناودیس‌های اطراف سرریز کند به همین دلیل ممکن است در عرض چین خوردگی جریان زیرزمینی مشاهده شود (Goldscheide and Drew 2007).

در حوضه الوند در استان کرمانشاه، سازندهای پابده، گورپی و گچساران به عنوان سازندهای با نفوذپذیری کم، باعث عدم ارتباط یا ارتباط ضعیف بین آبخوان‌های مجاور با یکدیگر می‌شود. برای مثال سازند مارنی شیلی پابده - گورپی مانع از ارتباط هیدرولوژیکی بین سازند کارستی آسماری و ایلام شده است. همچنین سازند گچساران باعث عدم ارتباط آبخوان آبرفتی با سازند کربناته آسماری با یکدیگر شده است و در مناطقی که سازند غیرقابل نفوذ گچساران فرسایش یافته است، آبرفت در تماس مستقیم با سنگ کربناته قرار دارد و آب به راحتی به داخل آبرفت تخلیه می‌شود و جایی که تخلیه متمرکز است به صورت چشمه ظاهر شده است (Karimi 2003).

## ۲- نقش گسل‌ها در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی

از آنجایی که گسل‌ها نیز در تغییر جهت حرکت آب و برقراری ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های آبرفتی و کارستی مهم می‌باشند، لذا به عنوان یک فاکتور مهم در تعیین محل‌های تغذیه و تخلیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرند. گسل‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل ساختاری در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی هستند و باعث حرکت آسان و سریع جریان آب زیرزمینی می‌شوند. در مواردی هم تشکیل مواد غیرقابل نفوذ در سطح گسل‌ها، مانع عبور جریان آب شده و باعث انحراف آن به جهت دیگر می‌شود. این امر گاهی موجب ظهور آب در مناطق پایین‌دست می‌گردد، که به آن چشمه‌های گسلی اطلاق می‌گردد. گاهی نیز گسل‌ها با جابجایی واحدهای مختلف، سنگ‌هایی با درجه نفوذپذیری متفاوت را در کنار یکدیگر قرار داده و باعث تغییر و تعدیل جهت جریان آب زیرزمینی می‌شوند. در

برخی از موارد نیز پدیده گسلش هیچ‌گونه نقشی در جهت‌گیری و هدایت جریان‌های زیرزمینی ندارد (Kasting 1977).

به‌طور کلی تأثیرات ناشی از گسلش، در کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی ثابت نیست و بستگی به بافت و ساخت سطح گسل دارد. بافت و ساخت سطح گسل تحت تأثیر ترکیب سنگ، شرایط محلی فشار - دما در حین گسلش و یا فشارش نیروها دارد. در شرایط فشار - دمای بالا، در سطوح گسلی مواد ریزدانه‌ای تشکیل می‌شوند که می‌تواند مانع جریان آب شود، درحالی‌که در شرایط فشار - دمای پایین، برش‌های گسلی که نسبت به لایه‌های مجاور نفوذپذیری بیشتری دارند، گسترش می‌یابند (Wiseand et al. 1984).

آریامنش و همکاران (Aryamanesh et al. 2009) با مطالعه گسل‌های منطقه اصفهک طبس به وسیله تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، گسل‌های پویا، خطواره‌ها، زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شیب، هیدروژئولوژی، مورفولوژی و تلفیق داده‌ها و وزن‌دهی مناسب نشان دادند که بین منابع آب زیرزمینی و گسل‌های فعال و خردشده ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. هاموند و همکاران (Hammond et al. 2007) در مطالعه‌ای که با استفاده از مواد ردیاب رنگی انجام دادند، نشان دادند که جهت جریان آب زیرزمینی تا حدود زیادی توسط گسل‌های منطقه کنترل می‌شود.

نقش هیدرولیکی گسل‌ها به سه عامل: ۱- بازشدگی عرض صفحه گسل ۲- درصد و نفوذپذیری مواد پرکننده و ۳- جابجایی گسل‌ها بستگی دارد. مشخصات هیدرولیکی یک گسل می‌تواند از یک قسمت به قسمت دیگر آن متفاوت باشد. مثلاً گسل می‌تواند در یک قسمت از طول خود به صورت سد هیدرولیکی عمل کرده و در قسمت دیگر دو سفره را به هم متصل نماید (Glodscheider 2007). منطقه گسلی در شرایطی که نفوذپذیری آن بیشتر از سنگ میزبان باشد و یا جهت آن در جهت شیب هیدرولیکی باشد، می‌تواند به عنوان مسیر ترجیحی مهمی جهت انتقال آب باشد. مطالعات نشان داده که گسل‌های فعال به طور عمده جریان آب زیرزمینی در سنگ بستر را کنترل می‌کنند (Mayer and Sharp 1998).

لی و همکاران (Li et al. 2010) بیان کردند که تعیین نوع گسل در جهت جریان آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد. گسل‌هایی که دارای قابلیت کششی هستند، توانایی بیشتری در تعیین جهت جریان آب

زیرزمینی دارند و گسل‌های دارای سازوکار فشارشی مسیرهای مناسبی برای تشخیص جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند.

نیروهای تشکیل دهنده گسل‌ها معیار مهمی در تعیین وضعیت هیدروژئولوژیکی آن‌ها می‌باشد. به طور مثال گسل‌های معکوس که در اثر نیروهای فشارشی به وجود می‌آیند، معمولاً از دیدگاه هیدروژئولوژیکی در مقابل جریان آب‌های زیرزمینی نفوذناپذیر می‌باشند و باعث جدایش هیدرولیکی در بخش‌های مختلف آبخوان می‌شوند. اما در گسل‌های نرمال یا عادی که در اثر نیروهای کششی ایجاد می‌شوند آب‌های زیرزمینی با سرعت بیشتری نسبت به دیگر بخش‌های آبخوان در اطراف و امتداد آن‌ها جریان می‌یابند. برای مثال زو هایزن و همکاران (Xu Huizhen *et al.* 2006) با بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی حوضه آبگیر یک چشمه در استان شانگدانگ (Shangdong) چین به این نتیجه رسیدند که گسل‌های درون حوضه آبگیر چشمه نفوذپذیر می‌باشند، زیرا تیپ آب در بخش‌های مختلف حوضه آبگیر چشمه تفاوت چندانی نشان نمی‌دهد. اما به دلیل اینکه گسل‌های محصور کننده حوضه آبگیر چشمه نفوذناپذیر می‌باشند، تیپ آب در محدوده حوضه‌های آبگیر مجاور آن با یکدیگر تفاوت بسیار دارند.

مطالعات پیلی و همکاران (Pilli *et al.* 2012) بر روی منابع آب زیرزمینی دشت پرپلیس (Prealps) در شمال ایتالیا نشان داد که یک رابطه هیدرولیکی بین واحدهای کربناته فلات آلپین پیشین و دشت پرپلیس وجود دارد. مطالعات او نشان داد که گسل‌ها در ایجاد ارتباط بین آبخوان کربناته و آبخوان آبرفتی دشت نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. در حقیقت در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه حضور سازندهای ترشیری با هدایت هیدرولیکی پایین (عمدتاً سخت و جوش خورده) اجازه ارتباط مستقیم بین منابع آب زیرزمینی موجود در آبخوان‌ها مجاور را نمی‌دهد. بنابراین گسل‌های مرز جنوبی کوه‌زایی آلپین پیشین و فعالیت‌های تکتونیک که تا حد زیادی رسوبات ترشیری را تحت تأثیر قرار داده‌اند، نقش بسیار مهمی در ارتباط بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی مجاور در این منطقه ایفا می‌کنند. همچنین مدل زمین‌شناختی وجود یک جریان عمیق و فرار آب به آبخوان متخلخل دشت پرپلیس به وسیله سیستم‌های کارستی کوه‌زایی آلپین پیشین پیشنهاد کرده، که خود تأییدی بر تأثیر گسل‌ها در وجود ارتباط هیدرولیکی بین واحدهای کربناته فلات آلپین پیشین و دشت پرپلیس است.

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

سطوح جداکننده‌ی تکتونیکی نظیر سطوح لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها، در جریان آب زیرزمینی و توسعه کارست نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌نمایند. درزه‌ها، شکاف‌هایی هستند که دارای جابجایی قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشند، این ساختارها ناشی از فشارهای تکتونیکی بر روی سنگ است. همچنین سطوح لایه‌بندی، سطوحی هستند که لایه‌های مختلف چینه‌شناسی را از یکدیگر جدا می‌سازند (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

سنگ‌های آهکی و دولومیتی مخصوصاً اگر به صورت لایه‌های ضخیم، تخت و توده‌ای باشند بسیار شکننده هستند. فرایندهای تکتونیکی شدید باعث به وجود آمدن سیستم‌های درز و شکاف زیادی می‌شود که آب می‌تواند از این طریق به قسمت‌های عمیق توده سنگ ضخیم انتقال یابد. قطعه قطعه شدن توده سنگ‌ها در اثر فرایندهای تکتونیکی عامل مهمی در کارستی شدن است، که این عامل به طور افقی و عمودی عمل می‌نماید (Milanovic 1981).

مهم‌ترین سیستم‌های درزه و شکاف آن‌هایی هستند که به وسیله تنش‌های کششی به وجود می‌آیند و معمولاً منجر به جدا شدن بلوک‌های سنگ می‌گردد. این سیستم درزه و شکاف همیشه در تاقدیس‌ها و در قسمت‌های عمیق‌تر ناودیس‌ها تشکیل می‌شود. در طول فرآیند تشکیل چین و تحت تأثیر تنش‌های برشی شدید، صفحات لایه‌بندی نمی‌توانند در مقابل نیروهایی که می‌خواهند در طبقات تغییر شکل ایجاد کنند، مقاومت برشی کافی از خود نشان دهند. در نتیجه درزه‌ها و شکاف‌ها در صفحه لایه‌بندی به وجود می‌آیند که در فرایند کارستی شدن نقش عمده‌ای را ایفا می‌نمایند. این درزه‌ها معمولاً قسمتی از سیستم درزه‌هایی هستند که لایه‌های سنگ را قطع می‌کنند و مجموعه آن‌ها شبکه مشخص و مداوم بازشدگی‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند. این تخلخل ثانویه نیروی کنترل‌کننده در فرایند کارستی را نشان می‌دهد. مؤثرترین درزه‌ها در این شبکه تخلخل ثانویه آن‌ها هستند که بیشترین بازشدگی (سطح مقطع عرضی) و عمق را دارند یعنی آن‌هایی که سهولت عبور برای آب ثقیلی را فراهم می‌نمایند (Milanovic 1981).

سطوح جداکننده تکتونیکی نظیر سطوح لایه‌بندی و درزه‌ها و شکستگی‌ها در تعیین جهت حرکت جریان آب زیرزمینی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌نمایند. درزه‌ها که ناشی از فشارهای تکتونیکی بر

روی سنگ‌ها می‌باشند شکستگی‌هایی هستند که دارای جایجایی قابل ملاحظه‌ای نیستند. سطوح لایه‌بندی نیز سطوحی هستند که لایه‌های مختلف چینه‌شناسی را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحات لایه‌بندی نقش مسیرهایی برای نفوذ روبه پایین در ناحیه غیراشباع را دارند، اما بیشترین اهمیت را در ناحیه اشباع دارند و به دلیل تداوم جانبی بزرگ‌تر آن‌ها است. وقتی شیب تندتر می‌شود بخش‌های صفحات لایه‌بندی می‌تواند مسیره‌های تغذیه را به طور فزاینده‌ای فراهم کند (Ford and Williams 2007).

شناسایی درزه‌ها اهمیت ویژه‌ای در هیدروژئولوژی سازندهای آهکی دارند زیرا شکستگی‌های واحدهای سنگی، محل انتقال و تمرکز آب‌های زیرزمینی هستند. عوامل ساختاری از جمله درزه و شکستگی‌ها در تشکیل پدیده‌های کارستی و ایجاد مسیره‌های انحلالی زیرزمینی بسیار مؤثر هستند. فرناندس و رودولف (Fernandes and Rudolph 2001) بیان کردند که درزه‌های برشی که تحت فشار باقی می‌مانند چندان در انتقال آب مؤثر نیستند اما درزه‌های کششی برای تعیین جهت و توسعه آب زیرزمینی ارزشمند هستند.

هنریکس و براتن (Henriksen and Beathen 2006) بر اساس مطالعات محلی تنش و شکستگی‌های ناشی از آن، دو فرضیه برای جریان آب در سازندهای درز و شکاف‌دار کربناته ارائه دادند. اول اینکه در هسته گسل، آب زیرزمینی در طول درزه‌ها و موازی با جهت حداکثر تنش جریان دارد. شایان ذکر است که به علت وجود سنگ‌هایی مانند برش، گوز گسلی و پرشدگی‌های ثانویه آن‌ها، این منطقه دارای نفوذپذیری پایینی است. دوم اینکه زون مجاور هسته شکستگی‌های طویل دارای فرکانس بالایی بوده و در جهات مختلف قرار گرفته‌اند. این پدیده، خود مجموعه‌ای از شکستگی‌های به هم پیوسته را به وجود آورده که سبب تسریع جریان آب زیرزمینی در این ناحیه می‌شود.

## ۲-۳-۳-۲ چینه‌شناسی

خصوصیات مختلفی از قبیل میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات لیتولوژیکی سنگ‌های کارستی و ارتباط با لیتولوژی‌های دیگر در مقیاس ناحیه‌ای، کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی توسعه کارست و جهت جریان آب زیرزمینی هستند (Raesi and Kowsar 1997). عوامل چینه‌شناسی که آب

زیرزمینی را هدایت می‌کند شامل ضخامت کلی سنگ‌های کربناته، شیل‌های بین لایه‌بندی، ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های دیگر است که می‌تواند به عنوان موانع هیدروژئولوژیکی عمل کند و همگن بودن سنگ‌های کربناته را نیز در بر می‌گیرد (White and White 2001).

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

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

بسته به اینکه تا چه حد جریان آب زیرزمینی توسط چینه‌شناسی کنترل شود، تحت عنوان کنترل چینه‌ای جریان تعریف می‌گردد. میزان این کنترل به هدایت هیدرولیکی سفره و لایه‌های ناتراوی مجاور آن، ضخامت لایه‌های ناتراوا و درجه‌ی کارستی شدن وابسته است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

## ۲-۳-۳- ژئومورفولوژی

در حالت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها به طرف سطح اساس است و تمام آبخوان به سمت آن زهکشی می‌شود. اگرچه سنگ‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی و گسل‌ها عامل‌های مهمی در کنترل

جهت جریان آب زیرزمینی هستند اما اثر سطح اساس فرسایش در نهایت در کنترل جریان نقش اساسی و مهم‌تری را ایفا می‌کند (Ford and Williams 1989).

شیب توپوگرافی یا شیب سطح زمین از فاکتورهای مؤثری است که گرادیان هیدرولیکی و جهت جریان آب زیرزمینی را کنترل می‌کند. سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب سطح زمین می‌باشد. علاوه بر آن، میزان شیب هم در میزان رواناب حاصله از بارش و هم در میزان نفوذپذیری و انحلال آب باران نقش مؤثری دارد. کاظمی (Kazemi 2003) نشان داد که بین درصد شیب و درصد برونزد چشمه‌های کارستی رابطه تنگاتنگی وجود دارد، به این ترتیب که با افزایش شیب، برونزد چشمه‌های کارستی نیز کاهش می‌یابد.

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

دره‌های کارستی یکی از رایج‌ترین اشکال ژئومورفولوژیکی در مناطق کارستی هستند. میلانویچ (Milanovic 1988) بیان می‌کند که توسعه‌ی دره‌های کارستی می‌تواند در شناسایی جهت جریان آب زیرزمینی مفید باشد به طوری که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی با جهت این دره‌ها هم‌خوانی داشته و دره‌ها در این مناطق به عنوان زهکش عمل می‌کنند.

## ۲-۴ بررسی تغذیه دشت‌های آبرفتی به‌وسیله سازندهای کارستی مجاور

مطالعه آب‌های زیرزمینی و شناخت منابع تخلیه و تغذیه‌کننده آبخوان به منظور مدیریت مناسب و هدفمند ضروری است. اهمیت آب زیرزمینی به علت رشد روز افزون جمعیت و تغییرات اقلیمی روز به روز بیشتر می‌شود (Shanmugam and Ambujam 2011). تغذیه دشت‌های آبرفتی به وسیله سازندهای کارستی مجاور آن‌ها می‌تواند به وسیله مطالعات کیفی منابع آب این دو سفره و همچنین

بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت‌ها در مجاورت سازندهای کارستی مشخص می‌شود. در این بخش به بررسی این دو روش در شناسایی تغذیه دشت‌های آبرفتی به وسیله سازندهای کارستی پرداخته می‌شود.

## ۲-۴-۱ استفاده از نقشه‌های کیفی

آپلو و پوستما (Appelo and Postma 2005) با توجه به تحقیقاتی که انجام دادند بیان کردند که به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی به ترکیب آب تغذیه کننده، واکنش‌های بین آب و خاک، واکنش‌های بین آب و سنگ، زمان ماندگاری آب، واکنش‌هایی که در آبخوان اتفاق می‌افتد و واکنش بین آب موجود در آبخوان‌های مختلف باهم بستگی دارد. بنابراین از شیمی آب می‌توان برای بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آبی مختلف استفاده کرد.

شیمی آب زیرزمینی در طول مسیر جریان از مناطق تغذیه به سمت مناطق تخلیه تغییر می‌کند. پیچیدگی در سیستم جریان آب‌های زیرزمینی، تغییرات مکانی شیمی آب را در مقیاس محلی و منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنوع در انحلال یون‌ها به وسیله حرکت آب زیرزمینی در طول درزه‌ها و شکستگی‌ها، زون غیر اشباع و همچنین خلل و فرج موجود در آبخوان‌های کارستی و آبرفتی ایجاد می‌شود (Nur et al 2012, Shahbazi and Esmaili 2009).

کریمی و همکاران (۱۳۷۶) در بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی موگرمون سرآسیاب به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات هدایت الکتریکی در دو چشمه یکسان می‌باشد. این امر نشان‌دهنده این است که سیستم تغذیه کننده دو چشمه یکسان است و سازندهای پایده و گورپی با سازندهای سروک و آسماری که این دو چشمه از آن‌ها تغذیه می‌شوند دارای ارتباط هیدروژئولوژیکی می‌باشند. ریج و همکاران (Rige et al. 1993) با مطالعه ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبرفت در شمال شرقی سوئیتزلند (Switzerland) کانادا بیان کردند که تفاوت در هیدروشیمی می‌تواند اطلاعاتی در مورد برهم کنش بین کارست و آبرفت فراهم کند و در ضمن ممکن است مکانیزم نشت از مخزن کارستی را نیز روشن کند. همچنین ذکر کردند که آب آبخوان کارستی املاح کمتری نسبت به آبخوان آبرفتی فوقانی دارد و همچنین بیان کردند که غلظت دو یون کلر و سولفات در آب نهشته‌های آبرفتی



بیشتر از کارست است. کلر به خاطر استفاده در کودهای شیمیایی و در خاک‌های عمیق به علت تبخیر و یون سولفات به خاطر وجود کانی‌های سولفات (ژیپس و انیدریت) در نهشته‌های آبرفتی پوشاننده آبخوان کارستی، دارای غلظت بالاتری بودند.

دهقانی (۱۳۸۲) مطالعاتی را بر روی دشت پریشان انجام داد. وی ذکر کرد که در این منطقه دو سفره آبرفتی وجود دارد که توسط سازندهای کارستی احاطه‌کننده آن‌ها تغذیه می‌شوند. همچنین وی افزود که بر طبق منحنی‌های هم‌هدایت الکتریکی دشت پریشان، میزان هدایت الکتریکی از ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در تغییر است. در قسمت شمالی دشت میزان هدایت الکتریکی حدود ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است که علت آن تغذیه دشت از سازندهای کارستی آسماری و سروک - ایلام است که آب آن‌ها دارای کیفیت مطلوبی می‌باشد. همچنین ذکر کرد که در قسمت جنوب و جنوب غربی دشت میزان هدایت الکتریکی به علت اینکه سازند تغذیه‌کننده دشت سازند گچساران می‌باشد که آب این سازند کیفیت مطلوبی ندارد و نیز آبرفت‌ها دانه‌ریز می‌باشند، افزایش می‌یابد.

رضایی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه دشت داراب فارس و استفاده از تفاوت هیدرشیمی آب بیان کردند که آب آهک‌های کارستی شده سازند جهرم نقش مهمی در تغذیه این آبخوان دارند و واحد گچی و مارنی سازند آقاجاری موجب تخریب کیفیت آب این دشت شده است. دادستان و رئیسی (۱۳۸۴) یکسری مطالعات بر روی آبخوان محبوس موجود در نهشته‌های پلیوسن در نزدیکی سد مخزنی باباجان در نزدیکی شهرستان بیجار انجام دادند. آن‌ها با مقایسه تجزیه شیمیایی آب زیرزمینی آبخوان تحت فشار با آب چشمه‌های کارستی موجود در بالادست سفره و همچنین آب رودخانه قمچای، در نهایت به این نتیجه رسیدند که آبخوان تحت فشار موجود در منطقه، دارای ارتباط هیدرولیکی با کارست‌های منطقه بوده و از طریق آن‌ها تغذیه می‌شود.

کروز و همکاران (Cruz and Amaral 2004) با مطالعه هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی موجود در منطقه گرن ساسو (Gran Sasso) در مرکز ایتالیا بیان کردند که سفره‌های کارستی و آبرفتی این منطقه با هم دارای ارتباط هیدرولیکی می‌باشند. آن‌ها همچنین ذکر کردند که در مرز بین سفره

کارستی و آبرفت‌های مجاور کیفیت آب زیرزمینی به وسیله واکنش‌هایی که بین سنگ و آب رخ می‌دهد تغییر می‌کند.

لند و هاف (Land and Huff 2009) در منطقه نیومکزیکو آمریکا برای تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان کارستی نیمه محبوس که در زیر آبخوان آبرفتی و بین دو لایه گچ‌دار در بالا و سازند نمک‌دار در پایین قرار گرفته و مکانیزم نشست در آن اتفاق می‌افتاد، از داده‌های آنالیز شیمیایی آب چاه‌های کشاورزی که در منطقه حفرشده بودند استفاده کرده و بیان کردند علت رابطه مستقیم بین کلر و سدیم به انحلال نمک از سازند نمک‌داری که در زیر آبخوان کارستی قرار دارد، مربوط می‌شود. همچنین رابطه مستقیمی که بین سولفات و کلسیم وجود دارد، مربوط به انحلال ژیپس از سازند گچ‌دار در قسمت بالای آبخوان کارستی است. دینکا و همکاران (Dinka *et al.* 2015) ترکیب هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه متاهارا (Metahara) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی نشان داد که غلظت تمامی عناصر (بجز Ca و Mg) در منابع آبی موجود در این منطقه (دریاچه، آب زیرزمینی، چشمه‌های آب گرم و پساب کارخانه‌ها) زیاد است. فرایندهایی مانند غلظت یونی و دیگر پارمترهای هیدروشیمیایی، تنوع در منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان داده است. همچنین لازم به ذکر است که ترکیب شیمیایی آب دریاچه باساکا (Basaka) شامل ترکیب و ویژگی دیگر منابع آبی مانند بارش مستقیم روی سطح دریاچه، رواناب سطحی، تخلیه فاضلاب و پساب کارخانه‌ها، جریان آب زیرزمینی، طرح‌های آبیاری بالادست و مچنین چشمه‌های آب گرم می‌باشد. که این مطلب نشان دهنده ارتباط بین این دریاچه و دیگر منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

کرمی و همکاران (۱۳۹۰) با توجه به شواهد هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی این چنین اظهارنظر کردند که هیچ‌گونه ارتباط هیدرولیکی بین حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس (واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان بروجن) و چاه‌های آب شرب شهرضا وجود ندارد. تفاوت‌های فاحش هیدروژئوشیمیایی بین نمونه‌های آب چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا (مانند اختلاف در غلظت یون‌های اصلی، نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی و ضرایب اشباع)، عدم وجود

ارتباط هیدرولیکی بین حوضه آبرگیر این چشمه با چاه‌های آب شرب شهرضا را مورد تأیید قرار داده است.

سلیم و همکاران (۱۳۹۰) یکسری تحقیقات به منظور بررسی هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی و تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های آبرفتی و سازندهای کارستی زیرین در دشت‌های ذهاب و اسلام‌آباد غرب انجام دادند. نتایج آنالیز ۳۰ نمونه برداشت شده و ترسیم نمودارهای شیمی آب، نظیر پایپر و استیف نشان داد که در منطقه مطالعاتی تنها تیپ غالب آب زیرزمینی بیکربنات - کلسیک است. وجود این تیپ آب از سازندهای آسماری - شهبازان که در شرق منطقه رخنمون دارند و نیز بخشی از آن‌ها که توسط نهشته‌های آبرفتی دشت پوشیده شده، ناشی می‌شود. نتایج حاصل از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی منطقه نشان می‌دهد که بین سازندهای سخت و آبرفتی محدوده مورد مطالعه ارتباط هیدرولیکی وجود دارد و سازندهای آسماری - شهبازان که در منطقه مورد مطالعه گسترش دارند منبع اصلی تغذیه‌کننده دشت ذهاب هستند. زارعی و کلانتری (۱۳۸۲) با مطالعه بر روی دشت زیدون بیان کردند که با توجه به اینکه منبع اولیه آب زیرزمینی دارای مقدار کمی سدیم و کلر ولی میزان قابل توجهی کلسیم و سولفات بوده، احتمالاً منشأ آب زیرزمینی این دشت از سازندهای آقاجاری و بختیاری بوده است و این دو نوع آبخوان با هم ارتباط هیدرولیکی دارند.

## ۲-۴-۲ استفاده از نقشه‌های کمی

در بسیاری از مناطق منابع آبی مختلف (به عنوان مثال منابع آب سطحی و زیرزمینی) با هم ارتباط دارند و می‌توانند روی یکدیگر تأثیر بگذارند. روش‌های مختلفی برای بررسی وجود یا عدم وجود بین منابع آبی مختلف وجود دارد که انتخاب یک روش مناسب چالش بزرگی محسوب می‌شود.

آنان (Annan 2007) به منظور بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط بین منابع آب سطحی و زیرزمینی در طول رودخانه برانزویک (Brunswick river) از روش‌هایی مانند مطالعات هیدروژئولوژیکی، تجزیه و تحلیل هیدروگراف، بررسی نشت، بررسی دما و شوری، بیلان هیدروژئولوژیکی و مشاهدات صحرائی استفاده کرد. نتایج به دست آمده از این روش‌ها و همچنین جدایش جریان پایه، نشان داد که در منطقه مورد مطالعه رودخانه برانزویک و آب زیرزمینی با هم در ارتباط هستند به این ترتیب که

رودخانه مورد نظر در بخش زیادی از مسیر خود توسط آب زیرزمینی تغذیه می‌شود و در بخش‌هایی نیز رودخانه آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند.

میلانویچ و عقیلی (Milanovic and Aghili 1990) با مطالعه بر روی آبخوان کارستی سربیشه که جزء آبخوان کارستی کازرون است علل پایین افتادن سطح آب را خشک‌سالی و پمپاژ بیش از اندازه از آبخوان آبرفتی مجاور بیان کردند. همچنین ذکر کردند که آبخوان آبرفتی رودخانه دالکی با آبخوان کارستی دادین ارتباط هیدرولیکی دارد و آب این آبخوان کارستی را به چشمه دادین انتقال می‌دهد و نیز آب آبخوان کارستی ساسان از طریق نفوذ آب از کانال‌های مجرای و هم از طریق ارتباط مستقیم زیرزمینی وارد آبخوان آبرفتی شاپور می‌شود.

اکات و میلز (Aucott and Milers 2000) با مطالعاتی که در شمال امریکا انجام دادند بیان نمودند که در منطقه مورد مطالعه سفره آبرفتی از نوع آزاد بوده و ضخامت آن در مناطق مختلف دشت متغیر می‌باشد. این دشت آبرفتی به وسیله یکسری ارتفاعات آهکی که در مجاورت آن قرار دارند، تغذیه می‌شود. آن‌ها بعد از ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل برای این دشت ذکر کردند که الگوی کلی جهت جریان در محدوده مطالعاتی در ماه‌های مختلف تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد و ارتفاعات آهکی دشت را تغذیه می‌نماید. در سال‌های اخیر بر اثر برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و پمپاژ از آبرفت‌های این منطقه باعث شده است تا سطح آب زیرزمینی در این منطقه افت نماید. به تبع این افت، آب موجود در سازندهای آهکی که این دشت را تغذیه می‌کنند با سرعت بیشتری تخلیه می‌شود تا این افت را جبران نمایند، در نتیجه سطح آب زیرزمینی در سازندهای آهکی نیز افت پیدا می‌کند. افت سطح آب زیرزمینی باعث بروز مشکلاتی مانند خشک شدن قنات‌ها، چشمه‌ها، چاه‌ها، فرونشست زمین و شور شدن آب تعدادی از چاه‌های در حال بهره‌برداری و کاهش کیفیت آن‌ها شده است.

تولائی نژاد و همکاران (۱۳۸۴) با مطالعه دشت ایزه بیان کردند که هیدروشیمی آبخوان آبرفتی در مرز با سازند آهکی متأثر از آبخوان کارستی است. شیب هیدرولیکی از حاشیه دشت در کنار سازندهای آهکی به طرف مرکز دشت است. این نشان‌دهنده ارتباط هیدرولیکی این دو نوع آبخوان کارستی و آبرفتی در منطقه مورد مطالعه است. دسماریس و همکاران (Desmaris *et al.* 2009) با بررسی سازندهای کارستی موجود در شمال یونان ذکر کردند که سازندهای آهکی به سن الیگومیوسن که

دشت‌های آبرفتی را احاطه کرده‌اند دارای پتانسیل خوبی برای فرایند کارستی شدن در این منطقه می‌باشد. آن‌ها بعد از ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل ذکر کردند که وضعیت عمومی منطقه یعنی راستای عمومی تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها نقش مهمی در کنترل جهت عمومی جریان آب‌های زیرزمینی که از ارتفاعات آهکی به سمت دشت آبرفتی می‌باشد ایفا می‌نماید. کلانتری و همکاران (۱۳۸۸) مطالعاتی را بر روی دشت ایزه انجام دادند. آن‌ها بعد از ترسیم و بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل در منطقه ذکر کردند که جهت جریان آب زیرزمینی در این منطقه از ارتفاعات آهکی (آسماری، فهلیان، داریان و ایلام - سروک) به سمت دشت ایزه می‌باشد و در واقع این ارتفاعات آهکی تغذیه‌کننده دشت ایزه می‌باشند.

غزنوی و همکاران (۱۳۹۰) برای تعیین وجود ارتباط هیدرولیکی و مکان‌های زهکش و تغذیه‌کننده آبخوان آبرفتی دشت حسن‌آباد به وسیله آبخوان کارستی، از نقشه‌های مختلفی از قبیل نقشه‌های هم‌پتانسیل، هم‌افت، هم‌عمق آب زیرزمینی سال‌های ۸۱ تا ۸۷ و همچنین زمین‌شناسی منطقه استفاده کردند. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل ترسیم شده که به منظور تشخیص جهت عمومی جریان در دشت‌های ماهیدشت و میان‌دربند ترسیم گردید، می‌توان ذکر کرد که الگوی کلی جهت جریان آب زیرزمینی در این منطقه از آبخوان کارستی تغذیه‌کننده سراب نیلوفر به سمت دشت‌های آبرفتی مجاور بوده و این الگو در ماه‌های مختلف سال چندان تغییری نمی‌کند.

رئیزی (۱۳۷۶) یکسری مطالعات را در محدوده دشت گزطویله در جنوب شرقی شهرستان داراب در استان فارس انجام داد. وی با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل در محدوده مورد نظر ذکر کرد که قسمتی از آب زیرزمینی از گنبد‌های نمکی به درون دشت‌های آبرفتی مجاور تغذیه شده است. در یال جنوبی، تاقدیس کولاک با آبرفت در تماس بوده و آب زیرزمینی از تاقدیس وارد آبرفت می‌شود و در واقع باعث تخریب کیفیت آب دشت آبرفتی گزطویله می‌شود. کاظمی و همکاران (۱۳۷۴) با مطالعه بر روی دشت درگز در شمال غرب شهرستان مشهد، در مورد تبادل هیدرولیکی رودخانه و آبخوان آبرفتی دشت با استفاده از منحنی‌های تراز این دشت بیان کردند که قسمت شمالی و جنوبی این دشت، باهم ارتباط هیدرولیکی ندارند. همچنین جبهه‌های ورودی آب زیرزمینی به قسمت جنوبی این دشت از طریق سازندهای آهکی تیرگان صورت گرفته و آن را تغذیه می‌کند.

## ۲-۴-۳ استفاده از شاخص اشباع

یکی دیگر از پارامترهایی که با بررسی آن می‌توان به وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی مجاور هم پی برد، استفاده و مقایسه شاخص اشباع (Saturation Index) نمونه‌های آب برداشت‌شده از این آبخوان‌ها نسبت به کانی‌هایی نظیر هالیت، ژپس، کلسیت، دولومیت و انیدریت می‌باشد. میزان اشباع‌شدگی آب نسبت به یک کانی خاص را به وسیله‌ی شاخص اشباع آن کانی بیان می‌کنند. شاخص اشباع استاندارد کانی‌های مختلف به صورت لگاریتم نسبت اکتیویته یونی محصولات (Ion Activity Product) ناشی از انحلال کانی در محلول به اکتیویته یونی همان محصولات در شرایط تعادل بیان می‌شود (Langmuir 1971):

$$SI = \text{Log} (IAP / K_{eq})$$

معادله (۲-۱)

در معادله (۲-۱) SI شاخص اشباع، IAP اکتیویته یونی محصول ناشی از انحلال کانی در محلول و  $K_{eq}$  اکتیویته یونی محصولات ناشی از انحلال کانی موردنظر، زمانی که شرایط تعادلی در محلول وجود دارد، می‌باشد. منظور از اکتیویته یونی در واقع غلظت مؤثر آن یون بوده که در واکنش شرکت می‌نماید.

المیدا و سیلوا (Almeida and Silva 1987) با مطالعه و تحقیق بر روی منطقه کامپیناده فارو (Campinade Faro) در شمال پرتقال که آبخوان آهکی زیر آبخوان آبرفتی واقع شده بود و چاه‌های حفاری شده در این منطقه به هر دو آبخوان نفوذ کرده بودند، برای شناسایی آب آبرفت از آب آهک، از اندیس اشباع استفاده کردند و بیان نمودند که اندیس اشباع کلسیت آب آبخوان آبرفتی نسبت به آبخوان آهکی زیرین خیلی کمتر و آب آبخوان آهکی نسبت به کلسیت فوق اشباع است.

غزنوی و همکاران (۱۳۸۹) از اندیس شاخص اشباع کانی‌های دولومیت، کلسیت، هالیت و ژپس به منظور پی بردن به علل کاهش آبدهی سراب نیلوفر و نیز جود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین سراب و دشت‌ها مجاور آن در استان کرمانشاه استفاده کردند. نتایج حاصل از اندیس شاخص اشباع نمونه‌های برداشت شده از چشمه و دشت‌های مجاور نشان داد که شاخص اشباع برای هالیت و ژپس

هم در کارست و هم در دشت‌های آبرفتی مجاور آن منفی می‌باشد. میانگین شاخص اشباع هالیت و ژپس در سراب نیلوفر به ترتیب حدود  $8/5$  - و  $2/2$  - و در دشت‌های آبرفتی مجاور آن حدود  $7/8$  - و  $2/5$  - می‌باشد، که نشان‌دهنده این است که آب زیرزمینی موجود در کارست و دشت‌های مجاور آن نسبت به هالیت و ژپس به طور قابل توجهی حالت غیراشباع دارد. شاخص‌های اشباع دولومیت و کلسیت نیز در دشت‌های آبرفتی مجاور سراب نیلوفر و کارست‌های تغذیه‌کننده آن دارای مقادیر مشابهی می‌باشند (میانگین مقدار شاخص اشباع کلسیت و دولومیت در سراب نیلوفر به ترتیب حدود  $13/0$  و  $5/0$  و در دشت‌های مجاور آن حدود  $3/0$  و  $8/0$  می‌باشد)، که نشان می‌دهند که آب زیرزمینی موجود در دشت‌های آبرفتی و کارست تغذیه‌کننده این سراب دارای ارتباط هیدرولیکی می‌باشند.

وَنگ و همکاران (Wang *et al.* 2001) برای بررسی نشت آب‌های سطحی به آبخوان کارستی لیولین (Liolin) در شمال غربی چین از شاخص اشباع استفاده کردند. نتایج مدل ژئوشیمی آن‌ها نشان داد که آب این آبخوان کارستی نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و انیدریت فوق اشباع است. در حالی که آب‌های سطحی نفوذ کرده به آبخوان کارستی نسبت به این کانی‌های غیراشباع هستند که به علت زمان ماندگاری کم آب سطحی است. در نتیجه نفوذ آب سطحی با مقادیر اندک این کانی‌ها باعث رقیق شدن آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها شده است.





## فصل سوم: روش انجام تحقیق

روش‌های مختلفی برای بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی که در مجاورت هم قرار دارند وجود دارد. در این فصل روند مطالعات انجام شده جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ارتباط هیدرولیکی در آبخوان‌های آبرفتی دشت بیلوار و میان‌دربند و آبخوان کارستی کوه دوقرال ارائه می‌گردد. فعالیت‌هایی که به طور کلی جهت انجام این تحقیق صورت گرفته را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

- (۱) جمع‌آوری اطلاعات لازم و داده‌های خام در رابطه با کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه
- (۲) مطالعات دفتری و تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه
- (۳) انجام بازدیدهای صحرائی به منظور بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی و نمونه‌برداری از چاه‌ها و چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه
- (۴) بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه
- (۵) بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۱ جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه و پی‌بردن به وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آن‌ها، آمار و اطلاعات کمی و کیفی پیزومترها و چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه گردید. گزارش‌هایی نیز در رابطه با دشت‌های موردنظر موجود بود که در این

تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین به منظور تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه که شامل درجه حرارت و میزان بارش سالیانه می‌باشد از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه که به وسیله‌ی اداره هواشناسی استان کرمانشاه اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید.

### ۳-۲ ترسیم نقشه زمین‌شناسی و مطالعات پایه منطقه موردنظر

در این مرحله از مطالعات سعی شد تا با بررسی مطالعات قبلی انجام گرفته بر روی منطقه و همچنین بررسی نقشه‌های هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و توپوگرافی آن، شناختی کلی از منطقه حاصل آید به نحوی که امکان برنامه‌ریزی برای بازدیدهای صحرائی نیز فراهم شود. همچنین در این مرحله وضعیت زمین‌شناسی عمومی منطقه، موقعیت جغرافیایی آن و راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

لازم به ذکر است که تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه بر مبنای نقشه ۱:۲۵۰۰۰ کرمانشاه که به وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده بود، صورت پذیرفته است. منطقه موردنظر در مرکز نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه قرار گرفته است. در محیط نرم‌افزار Arc Gis 10.3 واحدهای لیتولوژیکی و ساختاری موجود در محدوده مطالعاتی تعیین و نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه تهیه گردید.

### ۳-۳ بازدید صحرائی و نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه یکسری بازدید صحرائی و نیز نمونه‌برداری از چاه‌ها و چشمه‌های موجود در منطقه صورت گرفته است (شکل ۳-۱). در بازدیدهای صحرائی صورت گرفته مختصات جغرافیایی چاه‌ها و چشمه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS تعیین شد. همچنین برخی دیگر از خصوصیات آب زیرزمینی از جمله هدایت الکتریکی و pH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۲).



شکل ۱-۳: نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲-۳: اندازه گیری پارامترهای هدایت الکتریکی و pH در صحرا

### ۳-۳-۱ نمونه برداری

از آنجا که هدف اصلی از این تحقیق بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت‌های بیلوار و میان‌دریوند بوده و نگرش عمده آن تغییرات مکانی یون‌های اصلی است نمونه‌برداری و اندازه‌گیری یون‌های اصلی در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ صورت پذیرفت. برای این منظور تعداد ۱۷ نمونه از آب زیرزمینی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه برداشت و جهت اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی به آزمایشگاه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال داده شد. در عملیات نمونه‌برداری سعی شد که از منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری به عمل آید، نمونه‌های برداشتی از این منابع را می‌توان از نظر هیدروژئولوژیکی به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱) نمونه‌های آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند: نمونه‌های W1، W2، W3، W4، W5 و W6

۲) نمونه‌های آبخوان کارستی کوه دوقرال: نمونه‌های S1، S2، S3، S4 و S5

۳) نمونه‌های آبخوان آبرفتی کوه دوقرال: نمونه‌های W7، W8، W9، W10، W11 و W12

نمونه‌برداری از آب فرایندی بسیار مهمی بوده و به منظور دستیابی به نتایج بایستی به شکل صحیح انجام شود. در نمونه‌برداری رعایت برخی نکات ضروری می‌باشد. مواردی مانند ظرف نمونه، محل نمونه‌برداری، زمان نمونه‌برداری و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق مربوط به هر یک از نمونه‌ها در به دست آوردن نتایج صحیح نقش بسزایی دارد. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.

جهت نمونه‌برداری از منابع آب منطقه مورد مطالعه از ظروف پلی‌اتیلنی ۲۵۰ میلی‌لیتری استفاده و درب نمونه‌ها در زیر آب به صورت محکم بسته شد. با توجه به اینکه آلودگی احتمالی بطری‌ها و ظروف نمونه‌برداری می‌تواند در نتایج حاصله تأثیرگذار باشد جهت جلوگیری از هرگونه آلودگی، بطری نمونه‌برداری چندین بار با آب محل شسته شد و سپس نمونه‌برداری انجام شد. لازم به ذکر است که در زمان نمونه‌برداری از چاه‌های منطقه مطالعاتی سعی شد نمونه‌برداری حداقل ۳۰ دقیقه بعد از

شروع پمپاژ چاه و زمانی صورت گیرد که مقادیر اسیدیته (pH)، دما و هدایت الکتریکی (EC) آب تقریباً ثابت شده باشد.

### ۲-۳-۳ مطالعات ژئومورفولوژیکی

شناخت پدیده‌های ژئومورفولوژیکی که در اثر انحلال ایجاد شده‌اند، می‌تواند کمک قابل توجهی به شناخت سیستم‌های کارستی و جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه نماید. جهت شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) با دقت مکانی ۳۰ متر در نرم‌افزار گلوبال مپ (Global Mapper) به همراه تصاویر ماهواره‌ای موجود در نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth) مورد بررسی قرار گرفته و با ترکیب این اطلاعات با نقشه‌های زمین‌شناسی محل‌های مناسب و احتمالی برای تشکیل فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود، پلیه‌های کارستی، دره‌های خشک و ... شناسایی شد و سپس از محل‌های مشخص شده، طی چند مرحله بازدید صحرایی صورت گرفت.

بازدید صحرایی به‌عنوان بهترین روش جهت شناسایی و ارزیابی عوارض مختلف زمین‌شناسی می‌باشد. با بازدیدهای صحرایی در منطقه مورد مطالعه، عوارض مهم کارستی (آب‌فروچاله، کارن، حفرات انحلالی، دره‌های خشک، غار و چاه کارستی) مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفت که در فصل چهارم به تفصیل بیان خواهد شد. همچنین در بازدید از منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگ چینه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید که سازند آهکی بیستون در منطقه بدنه اصلی آبخوان کارستی را تشکیل می‌دهد.

### ۴-۳ بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی

به منظور بررسی‌های هیدروژئولوژی آبخوان‌های آبرفتی دشت میان‌در بند و دشت بیلوار از داده‌های ۱۱ ساله (۱۳۹۵ تا ۱۳۸۴) سطح آب زیرزمینی مربوط به ۵۹ پیزومتر که دارای بهترین پراکندگی در دشت‌های مورد مطالعه بودند، استفاده گردید. اندازه‌گیری سطح آب در این پیزومترها به‌صورت ماهیانه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه صورت گرفته است. موقعیت این پیزومترها در شکل

(۴-۱) نشان داده شده است. خصوصیات هیدروژئولوژیکی دشت‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های تهیه‌شده از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های سطح آب پیزومترها و همچنین گزارش‌های موجود درباره منطقه مورد مطالعه، عمده اطلاعات پایه هیدروژئولوژیکی منطقه را تشکیل می‌دهند.

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال (نوع جریان، ارزیابی میزان تخلیه و تغذیه به آبخوان کارستی) نیز از یکسری داده‌های دبی خروجی از سه چشمه (سراب شاه‌حسین، سراب ورمنجه و سراب برنجان) استفاده شد. برای این منظور از داده‌های ماهیانه دبی خروجی از این چشمه‌ها (طی سه سال آبی ۹۱-۹۲، ۹۲-۹۳ و ۹۳-۹۴) که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه برداشت شده بود، استفاده شده است.

### ۳-۴-۱ تهیه هیدروگراف آبخوان‌های آبرفتی

به منظور بررسی تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی دشت‌های بیلوار و میان‌دربند، هیدروگراف مربوط به هر یک از پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه با توجه به داده‌های ماهیانه سطح آب زیرزمینی طی یک بازه زمانی ۱۲ ساله (۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵) ترسیم گردید. سپس هیدروگراف واحد مربوط به هر یک از این دشت‌ها به طور جداگانه ترسیم و همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی با تغییرات میزان بارش در منطقه مورد مطالعه، مقدار بارندگی بر روی هیدروگراف واحد نمایش داده شد.

### ۳-۴-۲ تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان‌ها

نقشه هم‌پتانسیل به منظور تعیین مناطق تغذیه و تخلیه و همچنین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی تهیه گردید. جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از داده‌های سطح آب پیزومترهای موجود در دشت‌های بیلوار و میان‌دربند در اسفند ماه ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ استفاده شده است. نقشه هم‌پتانسیل ابتدا به صورت دستی ترسیم شد، سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 به صورت رقومی درآمد است.

### ۳-۴-۳ بررسی بیلان در آبخوان کارستی کوه دوقرال

چشمه‌ها محل تخلیه طبیعی آب زیرزمینی به سطح است که نشان‌دهنده مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زیرزمین بوده و نهایتاً به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند. بنابراین با بررسی پراکنش چشمه‌ها و تغییرات آبدهی آن‌ها می‌توان اطلاعات سودمندی در رابطه با آبخوان‌های کارستی به دست آورد. برای شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال از یکسری آمار و اطلاعات چشمه‌های موجود که به وسیله‌ی شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه شده بود، استفاده شده است. مطالعات بر اساس تغییرات آبدهی چشمه‌های موجود در اطراف کوه دوقرال در سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲، ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و ۱۳۹۳-۱۳۹۴ انجام شده است.

بر اساس این داده‌ها هیدروگراف و منحنی فرود به طور جداگانه برای هر یک از چشمه‌ها برای سه سال آبی مورد نظر ترسیم شد. بر اساس نمودارهای ترسیم شده نوع سیستم جریان در هر یک از چشمه‌ها، حوضه آبرگیر چشمه‌ها و میزان توسعه کارست در کوه دوقرال مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین حجم خروجی سالیانه هر چشمه برای سه سال آبی مورد نظر اندازه‌گیری و میانگین حجم خروجی سالیانه به دست آمد و با مقایسه میزان بارش سالیانه و میزان خروجی از چشمه‌ها میزان تغذیه و تخلیه آبخوان کارستی کوه دوقرال محاسبه و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

### ۳-۵ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی

علاوه بر نتایج به دست آمده از مطالعات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه و در تأیید این نتایج و به منظور بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه از اندازه‌گیری‌های هیدروژئوشیمیایی و نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. بخش مهمی از مطالعات آبخوان‌های موجود در منطقه تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی می‌باشد. این داده‌ها از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان‌های آبرفتی دشت بیلوار و دشت میان‌دربند و آبخوان کارستی کوه دوقرال به دست آمده‌اند (شکل ۳-۳). به منظور تحلیل داده‌ها مراحل زیر انجام شده است:



شکل ۳-۳: اندازه‌گیری کاتیون و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه

### ۳-۵-۱ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH

هدایت الکتریکی نشان‌دهنده توانایی آب برای عبور جریان الکتریکی است که به میزان غلظت یون‌های مختلف موجود در آب بستگی داشته و با کل جامدات محلول در آب (TDS) رابطه مستقیم دارد. آب خالص دارای هدایت الکتریکی پایینی بوده و با افزایش میزان املاح محلول هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد (Hounslow 1995). بنابراین، می‌توان به عنوان پارامتر مهمی جهت ارزیابی تغییرات میزان املاح حل شده در آب مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور اندازه‌گیری مقادیر هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت سنج مدل (HANNA HI 8633) با دقت یک میکروزیمنس بر سانتیمتر استفاده شده است. لازم به ذکر است به دلیل در دسترس نبودن هدایت الکتریکی چاه‌های حفرشده در منطقه مورد مطالعه از مقادیر هدایت الکتریکی ۱۷ نمونه برداشت شده از چاه‌ها و چشمه‌ها، جهت ترسیم نقشه هدایت الکتریکی منطقه استفاده شد. لازم به ذکر است که نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 ترسیم شده است. علاوه بر هدایت الکتریکی مقدار pH نیز یکی از پارامترهای مهمی است که در صحرا و در محل



نمونه‌برداری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اندازه‌گیری pH توسط دستگاه پی اچ متر مدل (AZ 8601) صورت گرفت.

### ۲-۵-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

نمونه‌های برداشت شده از چاه‌ها و چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه پس از آماده‌سازی جهت آنالیز به آزمایشگاه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند و مقادیر کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های اصلی (سولفات، بیکربنات و کلر) اندازه‌گیری شد شکل (۳-۳). آنالیز یون‌های بی‌کربنات، منیزیم، کلسیم و کلر از طریق تیتراسیون و آنالیز یون‌های سولفات، پتاسیم و سدیم به ترتیب توسط دستگاه‌های Hanna (HI 93751) و فلیم فتومتر صورت گرفت (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: دستگاه فلیم فتومتر (الف) و دستگاه اندازه‌گیری یون سولفات (ب)

### ۳-۵-۳ محاسبه درصد خطای آزمایش

به منظور تعیین درصد خطای آزمایش در هر یک از نمونه‌های برداشت شده، از معادله‌ی زیر (معادله ۳-۱) استفاده شد. در این معادله‌ی، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب واحد epm یا میلی‌اکی‌والان می‌باشد.

$$\text{Error \%} = \frac{\sum \text{Cation} - \sum \text{Anion}}{(\sum \text{Cation} + \sum \text{Anion})/2} \times 100 \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

### ۴-۵-۳ پارامترهای کیفی محاسبه شده

#### سختی (Total Hardness)

سختی به صورت مجموع غلظت یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  برحسب ppm یا میلی‌گرم در لیتر بیان می‌شود. محاسبه سختی از روی مقدار میلی‌گرم بر لیتر یون‌های کلسیم و منیزیم طبق معادله (۲-۳) می‌باشد.

$$H_T = 2.5 \text{ Ca} + 4.1 \text{ Mg} \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

#### قلیائیت (Alkalinity)

برای محاسبه قلیائیت از معادله زیر (معادله ۵-۳) استفاده شده است:

$$A = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{معادله (۵-۳)}$$

که در آن A قلیائیت و غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات برحسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌گردد.

#### کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solids)

TDS بیانگر کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی است که معادل مجموع غلظت همه یون‌های محلول در آب می‌باشد (Hayashi, 2004). در این معادله (معادله ۶-۳) غلظت همه یون‌ها برحسب ppm یا میلی‌گرم بر لیتر است.

$$\text{TDS} = (\sum \text{Anion} + \sum \text{Cation}) \quad \text{معادله (۶-۳)}$$

### ۳-۵-۵ ترسیم نقشه‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی روند تغییرات یون‌های اصلی و وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی در منابع آب زیرزمینی در محدوده‌ی مورد مطالعه از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی استفاده شده است که برای این منظور ابتدا نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از آنالیز شیمیایی و روشن شدن مقادیر هر یک از یون‌های اصلی در نمونه‌های آب زیرزمینی از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 برای ترسیم این نقشه‌های کیفی استفاده شد. نقشه‌های کیفی ترسیم‌شده عبارت‌اند از نقشه‌ی تغییرات یون‌های کلر، سولفات و سدیم که با استفاده از این نقشه‌ها به بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی در منابع آب زیرزمینی موجود پرداخته شد.

### ۳-۵-۶ رسم نمودارهای کیفی

در این تحقیق جهت تفسیر سریع و آسان کیفیت آب‌های زیرزمینی و همچنین تعیین نوع آب، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل هیدروشیمیایی، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی و ... در منطقه‌ی مورد مطالعه از نمودارهای کیفی نظیر استیف، پایپر و شولر استفاده شده است.

### ۳-۵-۷ نمودارهای ترکیبی

از نمودارهای ترکیبی به منظور تغییرات یون‌ها نسبت به هم، تعیین وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی و همچنین فرایندهای تأثیرگذار بر روی شیمی آب زیرزمینی استفاده شده است. از جمله این نمودارها می‌توان به نمودارهای مانند Na/Cl در برابر TDS و تغییرات مجموع کاتیون و آنیون‌ها در هر یک از نمونه‌ها و غیره اشاره کرد.

### ۳-۵-۸ شاخص‌های اشباع

به منظور تعیین ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت نمونه‌های برداشت‌شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت میان‌دریند و دشت بیلوار از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شده است.



## فصل چهارم: ارزیابی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و

### آبخوان‌های آبرفتی مجاور در منطقه کوه دوقرال، شمال کرمانشاه

آبخوان‌های آبرفتی دارای ذخایر آب محدود هستند و برداشت بی‌رویه از این منابع در طی سال‌های گذشته باعث شده است که این آبخوان‌ها جواب‌گوی نیاز مصرفی نباشند، از اینرو منابع آب موجود در سازندهای سخت مورد توجه قرار گرفته‌اند. در غرب کشور بخش اعظمی از سازندهای زمین‌شناسی را سازندهای کربناته تشکیل می‌دهند و در سال‌های اخیر به علت افت بیش از حد سطح ایستابی در آبخوان‌ها آبرفتی، احتمال افزایش تخلیه آبخوان‌های کارستی به داخل آبخوان‌های آبرفتی مجاور را افزایش داده است. به همین منظور در این تحقیق، ارتباط هیدرولیکی و میزان تبادلات آبی بین آبخوان‌های آبرفتی و کارستی در محدوده کوه دوقرال در شمال شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. برای تعیین وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی و آبرفتی از نقشه‌های مختلفی از قبیل نقشه‌های هم‌پتانسیل، هدایت الکتریکی، هیدروگراف پیزومترهای مختلف، هیدروگراف واحد هر یک از دشت‌های مجاور آبخوان کارستی و نیز زمین‌شناسی منطقه و به طور کلی بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی استفاده می‌شود.

#### ۴-۱ هیدروژئولوژی آبخوان‌های آبرفتی مجاور آبخوان کارستی کوه دوقرال

در این بخش با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل و همچنین ترسیم هیدروگراف واحد دشت‌ها به بررسی و ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت‌های موجود در منطقه پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱-۱ بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه

نقشه هم‌پتانسیل سطح ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی، مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و نیز وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب

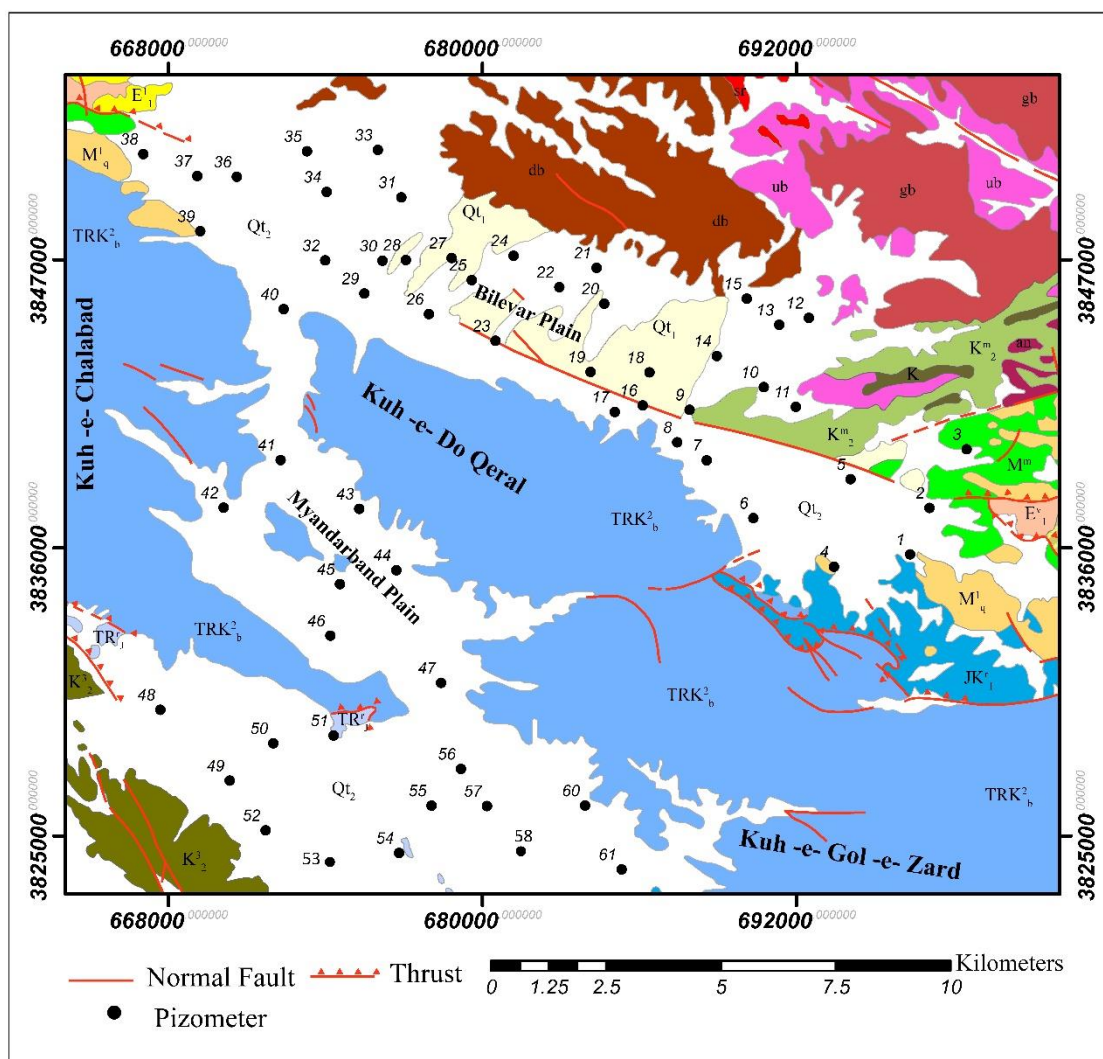
سطحی و تشکیلات زمین‌شناسی پیرامون دشت ترسیم می‌گردد. امکان تشخیص گسل‌ها و تغییرات تراوایی سفره آب زیرزمینی نیز از دیگر کاربردهای این‌گونه نقشه‌ها می‌باشد. این نقشه‌ها همچنین جهت بررسی وضعیت تغییرات کمی آبخوان از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور ارزیابی تغییرات سطح آب پیژومترهای موجود در دشت‌های آبرفتی مجاور کوه دوقرال ابتدا داده‌های تغییرات سطح آب پیژومترهای موجود در محدوده مطالعاتی برای یک دوره ۱۱ ساله (از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴) از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه گردید. موقعیت پیژومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 و همچنین قضاوت‌های کارشناسی که بر روی آن‌ها انجام گرفت، نقشه هم‌پتانسیل دشت‌های بیلوار و میان‌در بند برای اسفند ماه ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ ترسیم گردید. داده‌های مورد استفاده برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه در جدول (۱-۴) و (۲-۴) ارائه شده است.

جدول ۱-۴: مختصات و تراز سطح آب در پیژومترهای دشت میان‌در بند برای اسفند ماه ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ برحسب متر

مقدار افت ۱۰ ساله	تراز سطح آب (اسفند ماه)		موقعیت مکانی		نام پیژومتر	علامت اختصاری
	۱۳۸۴	۱۳۹۴	UTM X	UTM Y		
1.5	1332.7	1331.2	673070	3837237	پیرمزد	41
-0.8	1338.3	1339.2	670829	3835230	چقماران بی ابر	42
-0.7	1328.1	1328.8	675854	3835485	ورله	43
-0.8	1320.6	1321.4	677271	3833102	ده باغ	44
-1.4	1323.5	1324.8	675188	3832563	بکتاش آباد	45
0.3	1320.1	1319.8	674874	3830553	سروران	46
-2.9	1313.5	1316.4	679213	3828962	محمود آباد	47
-1.1	1311.8	1312.8	668409	3827578	جلوگیره پائین	48
-0.3	1310.8	1311.1	670934	3824936	کلاه کبود	49
2.7	1310.3	1307.6	672660	3826753	هشیلان	50
-5.7	1301.4	1307.1	675151	3826891	لعل آباد بالا	51
-0.1	1307.1	1307.2	672739	3823470	خوشینان	52
-6.6	1302.5	1309.1	674230	3820226	ده کور	53
-5.0	1294.2	1299.2	677626	3822372	تاسوله جان	54
-8.6	1300.2	1308.8	678058	3826183	احمدآباد بالا	55
-10.1	1299.9	1310.0	680316	3825413	گوهرچقا	56
-2.1	1303.9	1306.0	681100	3824050	سرجاده تپه افشار	57
-6.3	1297.2	1303.5	679294	3820422	سلطان کوه	58
-4.8	1300.9	1305.6	682536	3820641	ولی آباد	59
-4.2	1305.7	1310.0	684583	3824147	تکیه	60
-5.0	1310.5	1315.5	686495	3821972	سیاه چقا	61

جدول ۴-۲: مختصات و تراز سطح آب در پیزومترهای دشت بیلوار برای اسفند ماه ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ برحسب متر

مقدار افت ۱۰ ساله	تراز سطح آب (اسفند ماه)		موقعیت مکانی		نام پیزومتر	علامت اختصاری
	۱۳۸۴	۱۳۹۴	UTM X	UTM Y		
	-2.4	1479.2	1481.6	697165		
3.8	1517.1	1513.3	697720	3835972	گنداب - گندم آباد	2
-4.7	1675.0	1679.7	699150	3838206	کمال آباد	3
-4.2	1451.9	1456.1	694226	3833749	کالیان بالا	4
-21.3	1434.1	1455.4	694746	3836996	پیرکاشان	5
-1.7	1436.3	1438.1	691150	3835359	گالیان پائین	6
-2.3	1428.4	1430.6	689301	3837717	رزین	7
-4.0	1423.2	1427.2	688181	3838451	گروران علیا	8
-4.6	1426.8	1431.4	688493	3839376	موچه خانی	9
-0.4	1521.7	1522.1	690786	3839820	رزلانسر	10
-0.9	1542.8	1543.7	692483	3839756	شمال کمال آباد زین الدین	11
-1.9	1617.8	1619.6	693056	3843078	شرق کولان	12
1.5	1590.9	1589.4	692059	3842719	غرب کولان	13
-3.7	1533.8	1537.5	689746	3841625	علی آباد خرابه	14
-3.1	1592.9	1596.0	690691	3843610	مرزبانی	15
1.7	1421.2	1419.5	686763	3839626	سلطانقلی	16
-15.2	1399.8	1415.0	685801	3839507	جنوب بهرام آباد	17
-0.9	1481.0	1481.9	686960	3840707	شمال بهرام آباد	18
1.7	1442.0	1440.2	684901	3840797	سورنی علیا	19
-3.2	1482.5	1485.7	685337	3843321	قلوز - کهریز	20
-5.1	1519.8	1524.9	684849	3844649	شمال کهریز	21
-1.5	1469.3	1470.8	683367	3843928	دولتیار	22
1.7	1405.9	1404.2	681225	3842045	رازیان	23
-3.3	1455.6	1458.9	681672	3845104	جنوب ده خزان	24
2.0	1427.1	1425.1	680241	3844112	شمال چشمه کبود	25
0.9	1373.5	1372.6	678496	3842980	سالارآباد	26
3.6	1417.4	1413.8	679298	3845007	چوب تاشان	27
2.0	1383.5	1381.4	677619	3845010	گنداب - داخل روستا	28
1.0	1364.0	1363.0	676217	3843792	کمره گره	29
1.6	1370.8	1369.2	676665	3844954	گنداب - گنداب پائین	30
1.7	1406.5	1404.8	677492	3847260	باتمان ۲	31
1.2	1367.8	1366.7	674406	3844856	قلعه شاه خانی	32
-0.3	1403.7	1404.0	676443	3849794	نیروگاه	33
-2.9	1371.5	1374.3	674577	3847282	بالتر از قلعه حسن خان	34
1.9	1397.7	1395.9	674588	3849471	پلان	35
0.0	1370.1	1370.1	671052	3847952	سرچم	36
0.5	1373.9	1373.3	669710	3847972	ماراب سرچم	37
-0.5	1392.2	1392.7	667462	3848573	ماراب	38
1.1	1364.9	1363.9	669775	3845889	عبدالملکی	39
-0.1	1344.9	1345.0	672945	3842982	رازآور	40

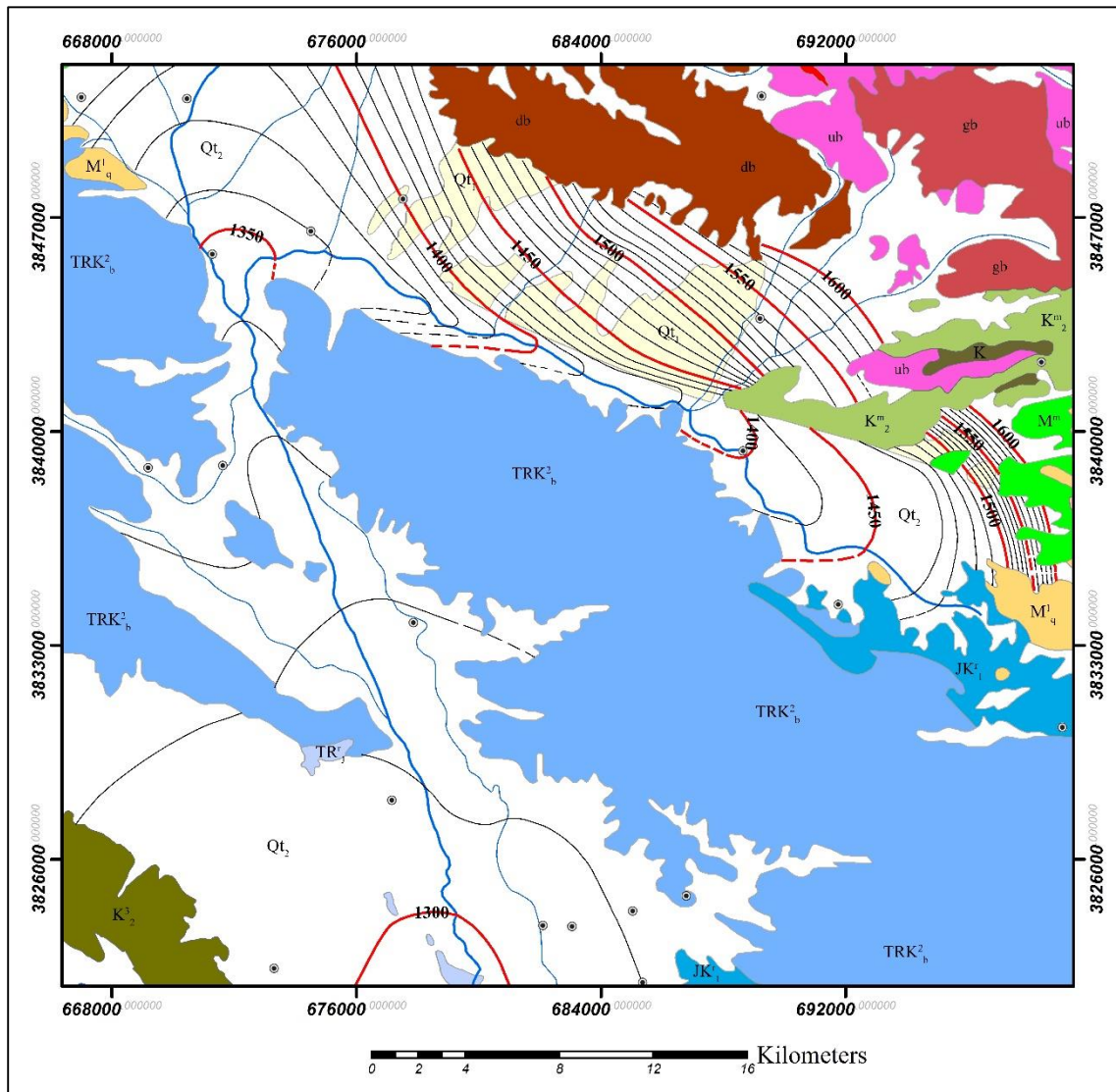


شکل ۴-۱: موقعیت پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه

با استفاده از نقشه ترسیم شده جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشتهای مجاور کوه دوقرال تشخیص داده شد. همان گونه که از شکل های (۲-۴) و (۳-۴) مشاهده می شود الگوی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی دشت بیلوار (دشت واقع در بخش شمالی کوه دوقرال) از شمال و شمال شرقی این دشت به سمت دشت میان دربند و خروجی دشت می باشد. همچنین مشاهده می شود که آب زیرزمینی در این دشت رودخانه رازآور را تغذیه می کند که تقعر خطوط هم پتانسیل ترسیم شده خود گویای این مطلب است. همچنین با توجه به نقشه ترسیم شده مشاهده می شود که ارتباطی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار وجود ندارد. از دلایل عمده این عدم ارتباط می توان به جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت بیلوار اشاره کرد که از شمال و شمال



شرقی به سمت آهک‌ها می‌باشد. به عبارت ساده‌تر، مرز بین آهک‌ها و آبخوان آبرفتی کمترین بار هیدرولیکی وجود دارد و این مرز از هر دو سو جریان آب زیرزمینی را دریافت می‌کند. به احتمال زیاد آبخوان آبرفتی دشت بیلوار توسط سازندهای زون ساختاری سنندج - سیرجان که در بخش شمالی این دشت واقع شده‌اند، تغذیه می‌شوند.

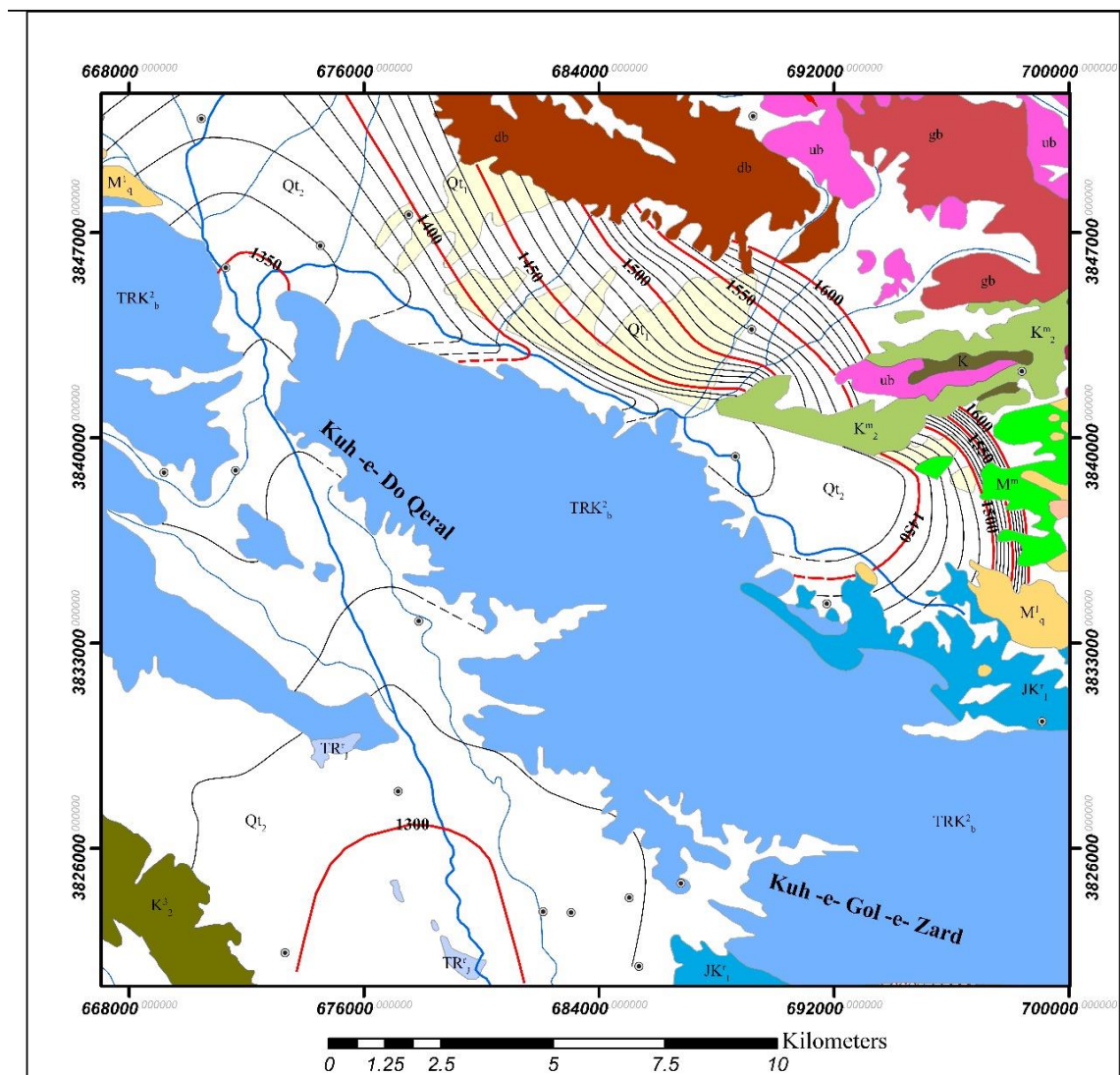


شکل ۴-۲: نقشه همپتانسیل دشت‌های مجاور کوه دوقرال در اسفند ماه ۱۳۸۴

همچنین با توجه به نقشه همپتانسیل ترسیم‌شده مشاهده می‌گردد که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت میان‌در بند (دشت واقع در بخش جنوبی کوه دوقرال) از شمال و شرق به سمت

جنوب و جنوب غربی و خروجی دشت است. در این بخش آبخوان آبرفتی رودخانه رازآور را تغذیه می‌کند و به عبارتی در محدوده مورد مطالعه رودخانه از نوع تغذیه شونده است.

لازم به ذکر است که با توجه به نقشه هم‌پتانسیل ترسیم شده آبخوان کارستی کوه دوقرال با آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند دارای ارتباط هیدرولیکی است. دلیل اصلی وجود ارتباط بین این آبخوان‌ها جهت جریان آب زیرزمینی در این منطقه است که از ارتفاعات آهکی کوه دوقرال به سمت دشت میان‌دربند است. به عبارت ساده‌تر مهم‌ترین منبع تغذیه کننده آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند مرز این آبخوان با آهک‌های کوه دوقرال است.



شکل ۳-۴: نقشه هم‌پتانسیل دشت‌های مجاور کوه دوقرال در اسفند ماه ۱۳۹۴

با توجه به نقشه‌های ترسیم‌شده مشاهده می‌گردد که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۱ ساله که مورد بررسی قرار گرفته تغییر چندانی نداشته است. ولی در سال ۱۳۹۴ در دشت‌های مجاور کوه دوقرال شیب خطوط هم‌پتانسیل به دلیل برداشت بیشتر و افت سطح آب زیرزمینی بیشتر شده و آب زیرزمینی با سرعت بیشتری از آبخوان کارستی تخلیه شده است.

#### ۲-۴ ارزیابی تغییرات بارندگی و نقش آن در تغییرات سطح آب

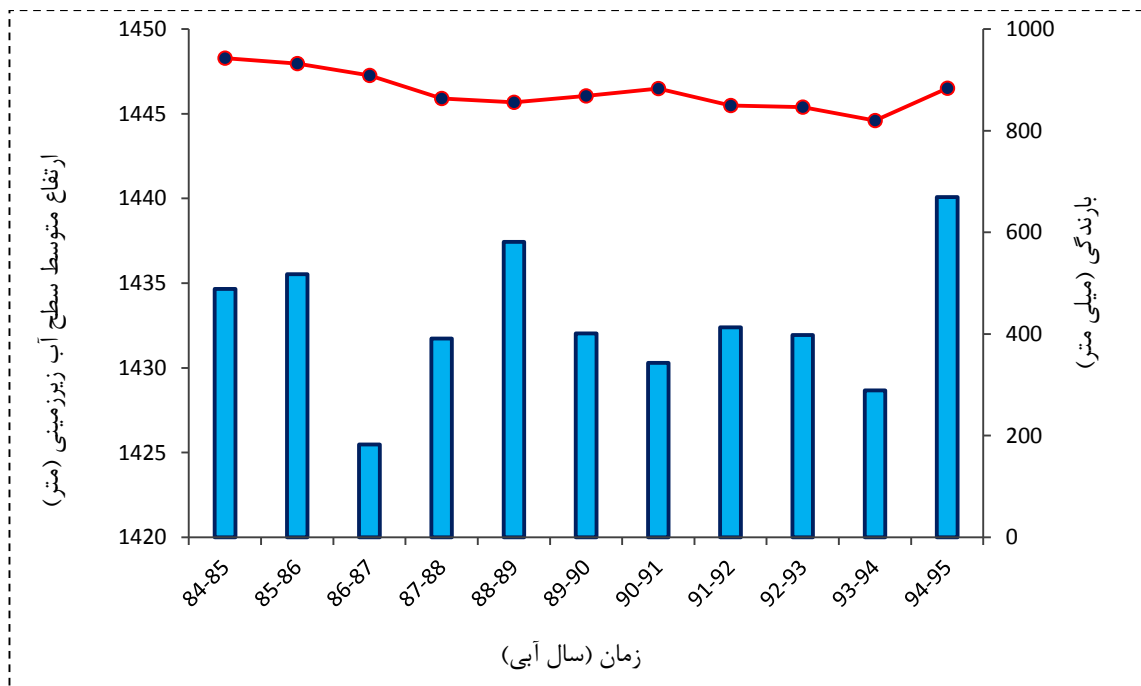
با توجه به تغذیه و برداشت از سفره در زمان‌های خاص، سطح آب زیرزمینی می‌تواند تغییراتی داشته باشد. رایج‌ترین روش ارزیابی تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها استفاده از هیدروگراف واحد می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت میانگینی از سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت می‌باشد. اگر میانگین سطح آب درون پیژومترها حالت نزولی داشته باشد بیانگر بیلان منفی و اگر حالت صعودی داشته باشد بیانگر بیلان مثبت در دشت مورد نظر است.

نوسانات سطح آب زیرزمینی از عوامل مختلفی تبعیت می‌کنند که این عوامل هم می‌توانند در کوتاه مدت و هم در بلند مدت بر سطح آب زیرزمینی تأثیرگذار باشند. از این عوامل می‌توان به مواردی مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تبخیر اشاره کرد. به طور کلی میزان بارندگی و تغییرات آن یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشند. با افزایش میزان بارندگی حجم آب بیشتری وارد آبخوان‌ها شده در نتیجه تغذیه افزایش می‌یابد، که این عامل در واقع اثر خود را به صورت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش آبدهی چشمه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه نشان می‌دهد. و برعکس با کاهش میزان بارندگی حجم کمتری از نزولات جوی به درون آبخوان تغذیه شده و باعث پایین افتادن سطح آب زیرزمینی درون آبخوان و در نتیجه کاهش آبدهی چشمه‌ها و قنات‌ها و بالاخره خشک شدن آن‌ها می‌شود.

به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت‌های مجاور کوه دوقرال با بارندگی از داده‌های طولانی مدت (یک دوره ۱۱ ساله از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴) سطح آب پیژومترهای موجود در دشت‌های میان‌در بند و بیلوار استفاده شد و هیدروگراف‌های واحد این دشت‌ها به صورت جداگانه

ترسیم گردید. شکل‌های (۴-۴) و (۵-۴) به ترتیب هیدروگراف واحد دشت‌های بیلوار و میاندر بند را در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد.

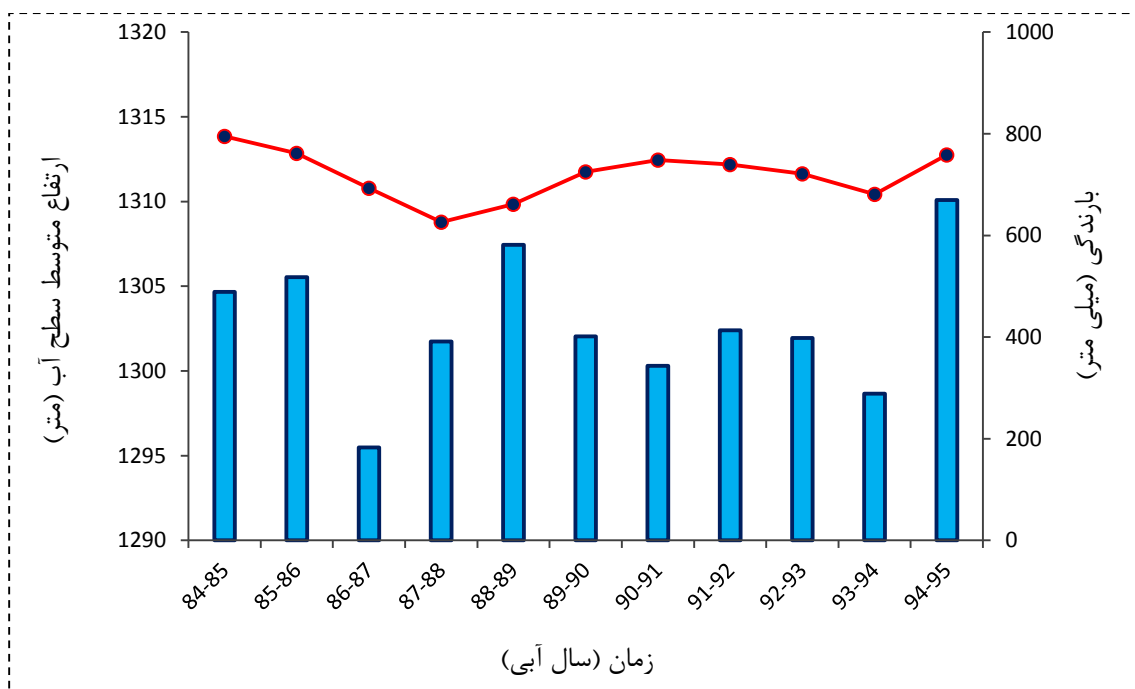
همان‌گونه که در شکل (۴-۴) مشاهده می‌شود تغییرات سطح آب پیزومترها در دشت بیلوار طی این دوره نسبتاً کم می‌باشد و کم و بیش با روند تغییرات مقدار بارندگی هم‌خوانی نشان می‌دهد. دلیل اصلی این موضوع تغذیه آبخوان آبرفتی به وسیله سازندهای سخت زون سنندج - سیرجان است و به احتمال زیاد به دلیل جریان افشان در این سازندها، تغذیه به این آبخوان آبرفتی به وسیله آب‌های نفوذی ناشی از بارش و ذوب برف در دوره‌های مختلف می‌باشد. بنابراین کم و زیاد شدن بارش در یک سال تأثیر نسبتاً کمی روی سطح آب زیرزمینی می‌گذارد. علاوه بر این، عامل دیگری که ممکن است روی نوسانات اندک سطح آب زیرزمینی نقش داشته باشد عدم برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت بیلوار است.



شکل ۴-۴: هیدروگراف واحد دشت بیلوار از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴

شکل (۵-۴) هیدروگراف واحد دشت میاندر بند را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییرات سطح آب زیرزمینی در این دشت با تغییرات میزان نزولات جوی نوسانات نسبتاً بیشتری را

شامل می‌شود و روند تقریباً یکسانی را نشان می‌دهد. یکی از دلایل عمده این موضوع وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند و آبخوان کارستی کوه دوقرال است. در سال‌هایی که میزان بارش نزولات جوی (باران یا برف) افزایش یافته میزان نفوذ به آبخوان کارستی نیز بیشتر شده و در نتیجه تغذیه از آبخوان کارستی به آبخوان آبرفتی نیز افزایش یافته و باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در دشت میان‌دربند شده است. همچنین در سال‌هایی که مقادیر بارش کاهش یافته است به دلیل اینکه تغذیه به آبخوان آبرفتی به وسیله آبخوان کارستی کاهش یافته، سطح آب زیرزمینی در دشت میان‌دربند نیز روند نزولی را نشان می‌دهد. همچنین لازم به ذکر است که در طی دوره ۱۱ ساله مطالعه شده سطح آب زیرزمینی در این دشت کاهش آنچنانی را نشان نمی‌دهد.



شکل ۴-۵: هیدروگراف واحد دشت میان‌دربند از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴

### ۳-۴ ارزیابی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی مهم در کوه دوقرال

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

آبخوان‌ها ارائه دهند (Ford and Williams 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. این تغییرات همواره به عنوان مهم‌ترین معیار برای بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی، تعیین حوضه آبرگیر چشمه، ارزیابی توسعه کارست و نرخ نفوذ و تغذیه در آبخوان کارستی می‌باشد. بر اساس دبی خروجی تعدادی از چشمه‌های مهم منطقه از مهرماه ۱۳۹۱ تا شهریورماه ۱۳۹۴ و ترسیم هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌ها به بررسی پارامترهایی نظیر ارزیابی توسعه کارست، حوضه آبرگیر چشمه‌ها و نرخ تغذیه آبخوان کارستی کوه دوقرال پرداخته شده است. مهم‌ترین چشمه‌های کارستی منطقه شامل سراب ورمنجه، شاه‌حسین و برنجان می‌باشند.

#### ۴-۳-۱ ارزیابی تغییرات زمانی آبدهی

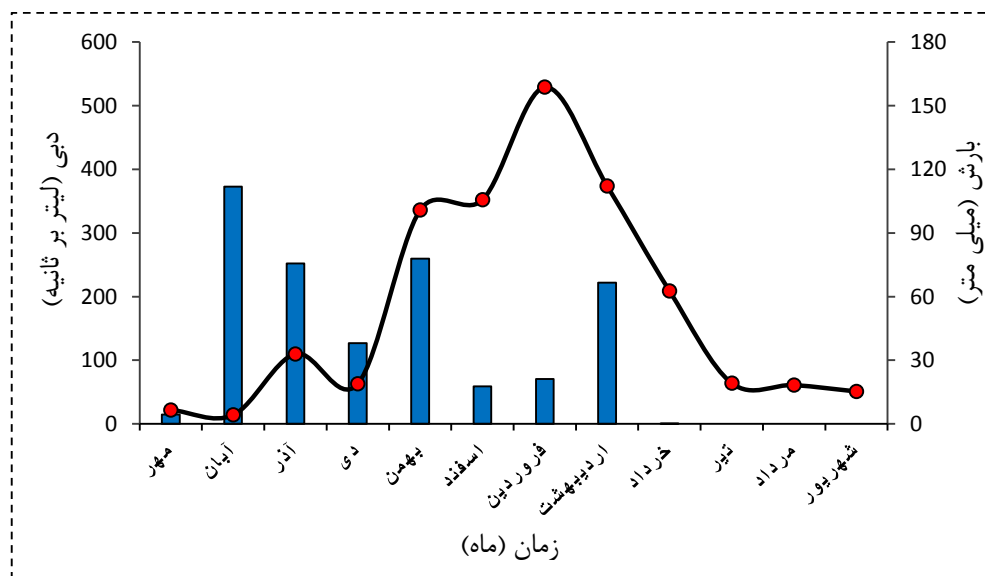
تغییرات زمانی آبدهی چشمه به عنوان پارامتری مهم در ارزیابی نوع جریان در آبخوان کارستی می‌باشد. تغییرات زمانی آبدهی چشمه‌های کارستی پاسخی به عوامل مؤثر بر تغذیه، خصوصیات هندسی حوضه آبرگیر چشمه و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان کارستی در محدوده حوضه آبرگیر آن است. در آبخوان کارستی توسعه‌یافته تغییرات آبدهی زیاد و در مدت کوتاهی رخ می‌دهد اما در آبخوان کارستی با توسعه کم، تغییرات آبدهی اندک و به صورت تدریجی اتفاق می‌افتد.

#### ۴-۳-۱-۱ سراب ورمنجه

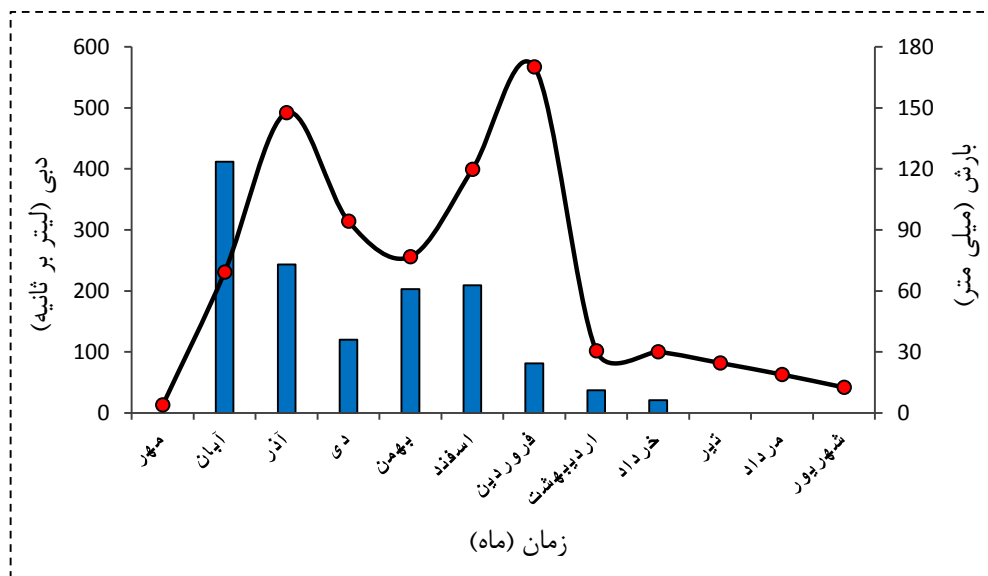
این چشمه در نزدیکی روستای ورمنجه و در ۲۰ کیلومتری شمال شهر کرمانشاه، در جنوب منطقه مورد مطالعه و در یال جنوبی کوه دوقرال واقع شده است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه از سنگ‌آهک سازند بیستون تشکیل شده است. جدول (۴-۳) داده‌های مربوط به سراب ورمنجه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول میزان متوسط آبدهی این چشمه برای سال آبی (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴) برابر  $183/4$  لیتر بر ثانیه و ارتفاع آن از سطح دریا برابر با ۱۳۳۰ متر می‌باشد. شکل‌های (۴-۶)، (۴-۷) و (۴-۸) هیدروگراف سراب ورمنجه را برای سال‌های آبی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب ورمنجه از سال مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

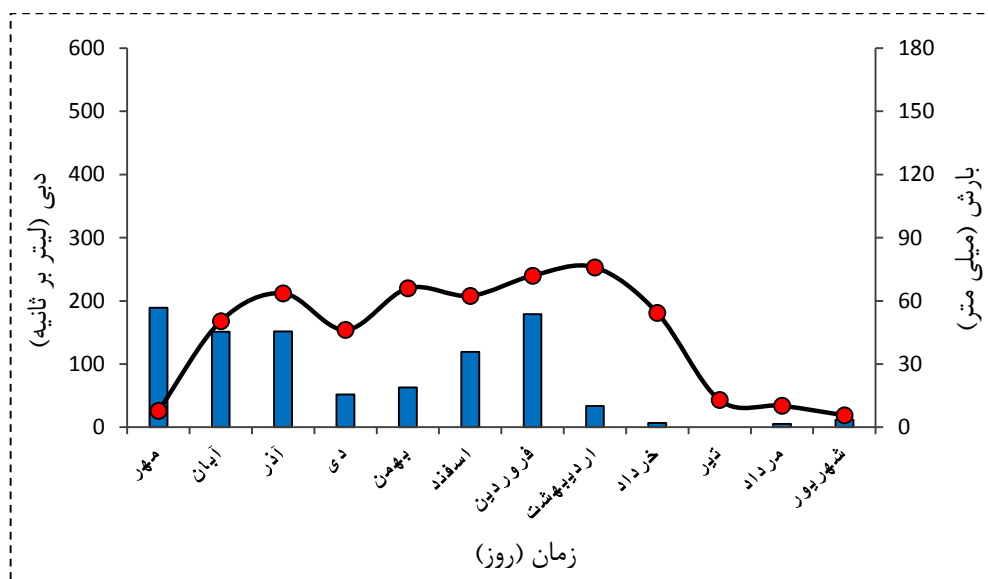
سال آبی ۹۳-۹۴		سال آبی ۹۲-۹۳		سال آبی ۹۱-۹۲		ردیف
آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	
26	57	13	0	22	4	مهر
168	45	231	123	14	112	آبان
212	45	492	73	110	76	آذر
154	16	314	36	63	38	دی
220	19	256	61	336	78	بهمن
208	36	399	63	352	18	اسفند
240	54	567	24	529	21	فروردین
253	10	102	11	374	67	اردیبهشت
181	2	100	6	209	0	خرداد
43	0	82	0	64	0	تیر
34	2	63	0	61	0	مرداد
19	4	42	0	51	0	شهریور
146.5	24.1	221.8	33.2	182.1	34.4	میانگین
90.2	21.9	186.6	39.4	173.1	39	انحراف معیار
61.5	91.1	84.2	118.8	95.1	113.2	درصد ضریب تغییرات



شکل ۴-۶: هیدروگراف سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۷: هیدروگراف سراب و رمنجه از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳



شکل ۴-۸: هیدروگراف سراب و رمنجه از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

هیدروگراف‌های رسم شده نشان می‌دهند که بیشینه دبی با حدود ۴۵۰ لیتر بر ثانیه مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت است. در ماه‌های شهریور، مهر و آبان دبی چشمه به کمترین مقدار خود می‌رسد که حدود ۱۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. متوسط ضریب تغییرات آبدهی سراب و رمنجه با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۸۰ درصد است، که بر اساس تقسیم‌بندی کرمی (۱۳۸۵) و جاکبسن و لانگمیر (Jacobsen and Langmuire 1974) در رژیم جریان مجرای قرار دارد. همچنین ضریب



تغییرات بالای چشمه مورد نظر بیان کننده توسعه بالای کارست، وجود عوارض ژئومورفولوژیکی زیاد و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبرگیر چشمه است. با توجه به بازدیدهای صحرایی انجام شده ملاحظه شد که ارتفاعات کارستی در محل حوضه آبرگیر این چشمه به شدت توسعه یافته است و عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته به وفور در منطقه یافت می‌شود. مساحت تقریبی حوضه آبرگیر این چشمه ۲۴/۲ کیلومتر مربع می‌باشد.

با توجه به هیدروگراف سراب ورمنجه مشاهده می‌شود که تغییرات آبدهی سراب ورمنجه بسیار زیاد بوده و افزایش و کاهش آن به صورت ناگهانی رخ داده است. هیدروگراف این چشمه نشان دهنده این مطلب است که تغییرات زمانی دبی به طور قابل توجهی تحت تأثیر بارندگی‌های مؤثر منطقه بوده است. و همچنین در این چشمه با افزایش میزان بارندگی دبی افزایش و با کاهش بارندگی دبی نیز کاهش می‌یابد. از آنجایی که نزولات جوی در طول زمستان بیشتر به صورت برف بوده لذا با وجود افزایش تدریجی دبی چشمه، دبی اوج مشخصی در هیدروگراف چشمه ظاهر نشده است.

در اواخر فروردین ماه و اوایل اردیبهشت ماه با گرم شدن نسبی هوا و آب شدن سریع برف‌ها و همچنین وقوع باران‌های متعدد، علاوه بر سهم آن‌ها در نفوذ، این باران‌ها با ظرفیت گرمایی بالایی که دارند باعث ذوب شدن برف‌های انباشته شده در ارتفاعات حوضه آبرگیر چشمه می‌شوند. در نتیجه میزان نفوذ آب به داخل آبخوان کارستی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. لذا می‌توان گفت که با توجه به توسعه زیاد کارست در حوضه آبرگیر چشمه مذکور، مدت زمان کوتاهی پس از بارش آب به درون آبخوان کارستی نفوذ کرده و باعث تغییر در میزان آبدهی چشمه می‌شود.

همچنین به دلیل اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد سیستم ورودی و خروجی این آبخوان و نیز کوتاه بودن فاصله، شیب هیدرولیکی جریان بالا می‌باشد. بنابراین با توجه به شیب هیدرولیکی بالا و وسعت نسبتاً کم حوضه آبرگیر، نفوذ چشم‌گیر آب در ماه‌های فروردین و اردیبهشت هر سال باعث شده تا در مدت زمان کوتاهی یعنی اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت ماه یک نقطه اوج بسیار مشخص در هیدروگراف چشمه ظاهر شود که بیشترین دبی چشمه را در طول دوره مورد مطالعه شامل می‌شود. ویژگی‌های هیدرولیکی حوضه آبرگیر سراب ورمنجه (شیب هیدرولیکی زیاد و وسعت نسبتاً کم حوضه آبرگیر) باعث شده است که دبی چشمه در مدت زمان نسبتاً کوتاهی کاهش پیدا کند.

همان‌گونه که از منحنی‌های فروکش سراب ورمنجه مشخص است، منحنی فروکش برای سال آبی ۹۱-۹۲ (شکل ۴-۹) دارای سه شیب  $\alpha_1$  (۰/۰۱۶۹)،  $\alpha_2$  (۰/۰۴۰۸) و  $\alpha_3$  (۰/۰۰۳۶) و برای سال آبی ۹۳-۹۴ (شکل ۴-۱۱) نیز دارای سه شیب  $\alpha_1$  (۰/۰۱۰۸)،  $\alpha_2$  (۰/۰۴۴۹) و  $\alpha_3$  (۰/۰۱۲۸) است. سراب ورمنجه در سال آبی ۹۳-۹۲ (شکل ۴-۱۰) دارای دو شیب  $\alpha_2$  (۰/۰۴۹۰)،  $\alpha_3$  (۰/۰۰۶۰) می‌باشد. به احتمال زیاد این تغییرات در شیب و نیز تعداد شیب‌های موجود در منحنی فروکش به دلیل نوسانات در میزان بارش (برف و باران) طی سال‌های مختلف بوده است. برای مثال در سال‌های آبی ۹۲-۹۱ و ۹۴-۹۳ که طی ماه‌های فروردین و اردیبهشت بارش نسبتاً خوبی در منطقه رخ داده است به دلیل اینکه هنوز تغذیه به آبخوان ادامه دارد، از افزایش شیب منحنی فروکش جلوگیری می‌کند و به همین دلیل یک شیب به شیب‌های موجود در منحنی فروکش سراب ورمنجه افزوده شده است. برای برآورد ضرایب بده فرود از معادله (۴-۱) زیر 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.

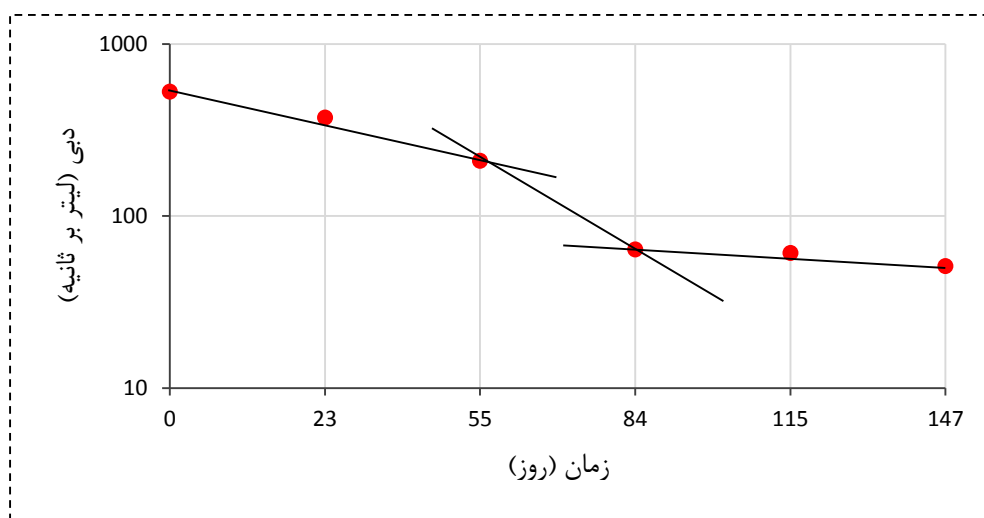
$$\alpha = \frac{\text{Log } Q_0 - \text{Log } Q_t}{0.4343 \times (t - t_0)} \quad \text{معادله (۴-۱)}$$

در طی رژیم  $\alpha_1$  که حدوداً دو ماه طول می‌کشد هنوز تغذیه به آبخوان ادامه دارد که این تغذیه ناشی از بارش‌های فروردین و اردیبهشت ماه و همچنین ذوب برف‌های موجود در ارتفاعات منطقه می‌باشد، که باعث شده شیب منحنی فروکش چشمه کاهش پیدا کند و تغییرات آبدهی چشمه زیاد نباشد. در طول این دوره حجم آب خروجی از چشمه از طریق مجراها و کانال‌های بزرگ و توسعه‌یافته کارستی تخلیه می‌شود.

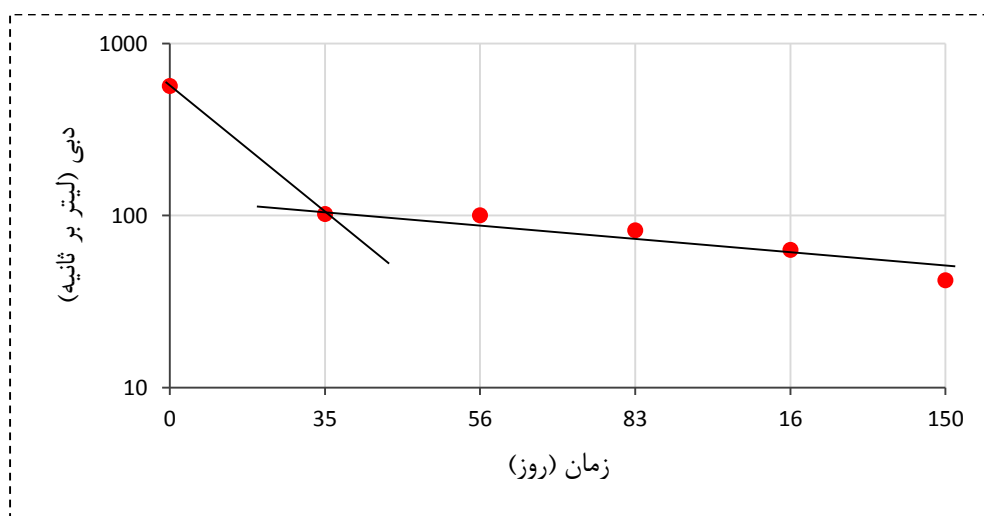
رژیم  $\alpha_2$  حدود یک ماه به طول می‌انجامد و در این دوره شیب منحنی فروکش سراب ورمنجه و تغییرات دبی زیاد است. در این مدت حجم زیاد آب خروجی از چشمه به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تأمین می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با فروچاله‌ها و عوارض کارستی مهم دیگر که در ارتفاعات آهکی منطقه

وجود دارند، در ارتباط هستند. با توجه به توان ذخیره‌سازی پایین این مجاری آب به سرعت تخلیه شده و دبی چشمه در مدت زمان کوتاهی کاهش پیدا می‌کند.

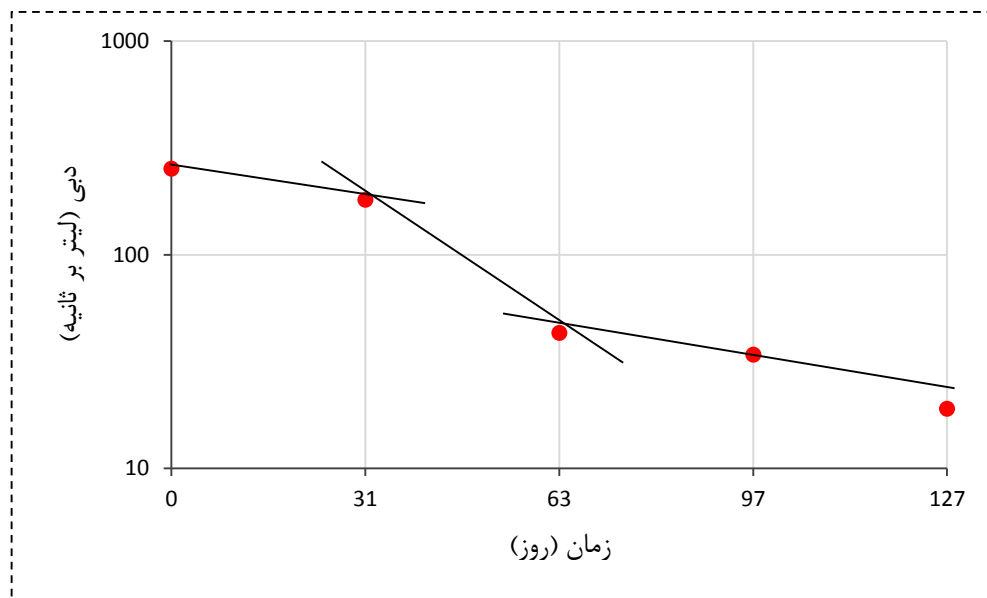
رژیم  $\alpha_3$  طولانی‌ترین رژیم در منحنی فروکش سراب ورمنجه است. این رژیم حدود دو تا سه ماه طول می‌کشد و آب خروجی از چشمه به طور عمده از طریق شکستگی کوچک و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود. با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدهی چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم  $\alpha_2$  کمتر است.



شکل ۴-۹: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۱۰: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳



شکل ۴-۱۱: منحنی فروکش سراب ورمنجه از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

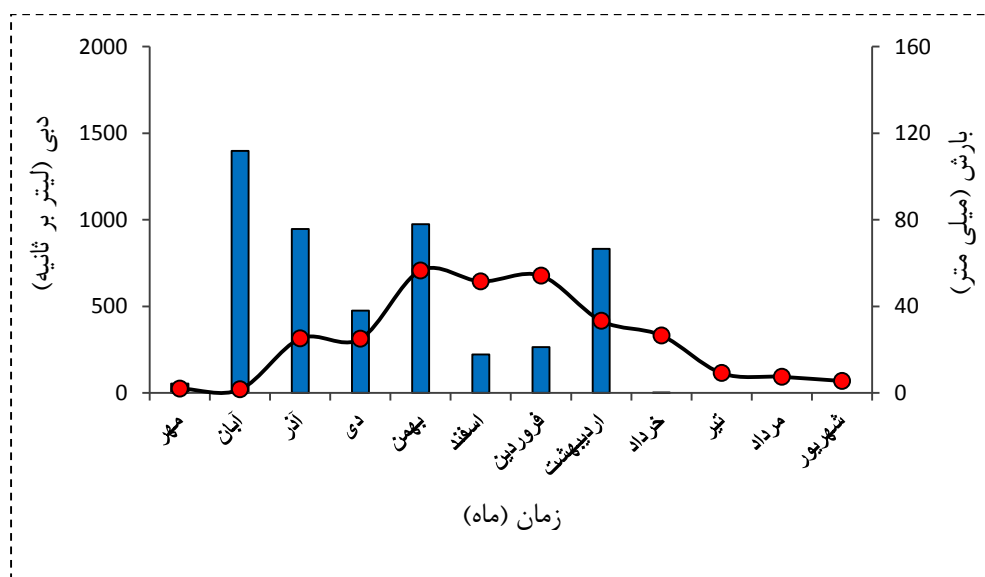
#### ۴-۳-۱-۲ سراب شاه حسین

این چشمه در غرب روستای شاه حسین، در ۲۷ کیلومتری شمال شهر کرمانشاه و یال شمالی کوه دوقرال واقع شده است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه نیز از سنگ آهک سازند بیستون تشکیل شده است. جدول (۴-۴) داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب شاه حسین را در طی سه سال آبی ۹۱-۹۲، ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ نشان می‌دهد. با توجه به جدول میزان متوسط آبدهی این چشمه برای سال‌های (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۱) برابر  $352/3$  لیتر بر ثانیه و ارتفاع آن از سطح دریا برابر با ۱۴۴۸ متر می‌باشد. شکل‌های (۴-۱۲)، (۴-۱۳) و (۴-۱۴) هیدروگراف سراب شاه حسین را برای سال‌های آبی نشان می‌دهد.

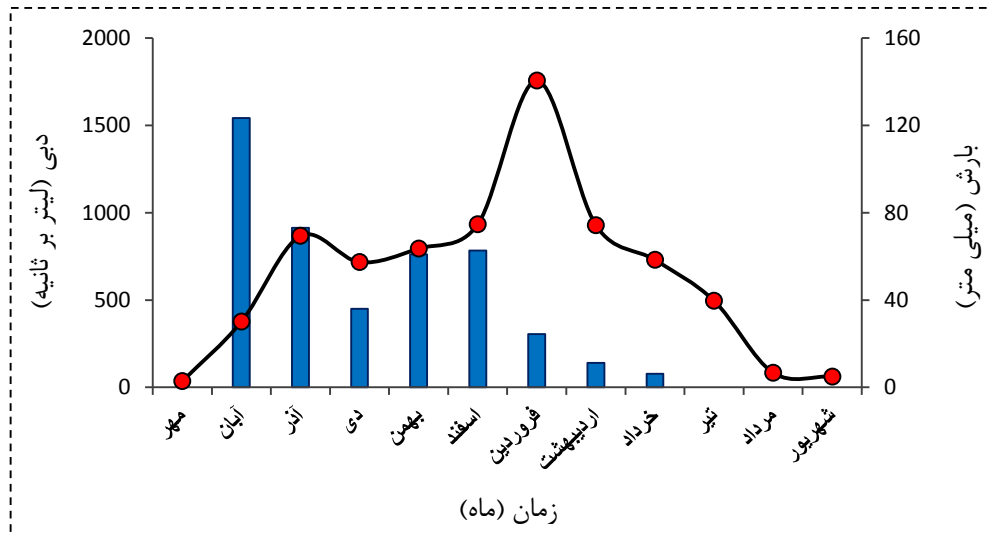
با توجه به هیدروگراف‌های رسم شده بیشینه دبی با حدود ۸۸۴ لیتر بر ثانیه مربوط به اواخر اسفند ماه و نیز فروردین و اردیبهشت ماه است. در ماه‌های مهر و آبان دبی چشمه به کمترین مقدار خود (حدود ۲۸ لیتر بر ثانیه) می‌رسد. متوسط درصد ضریب تغییرات آبدهی سراب شاه حسین با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۷۲ درصد است، که بر اساس تقسیم‌بندی کرمی و جاکبسن و لانگمیر در رژیم جریان مجرای قرار دارد.

جدول ۴-۴: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب شاه‌حسین از سال مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

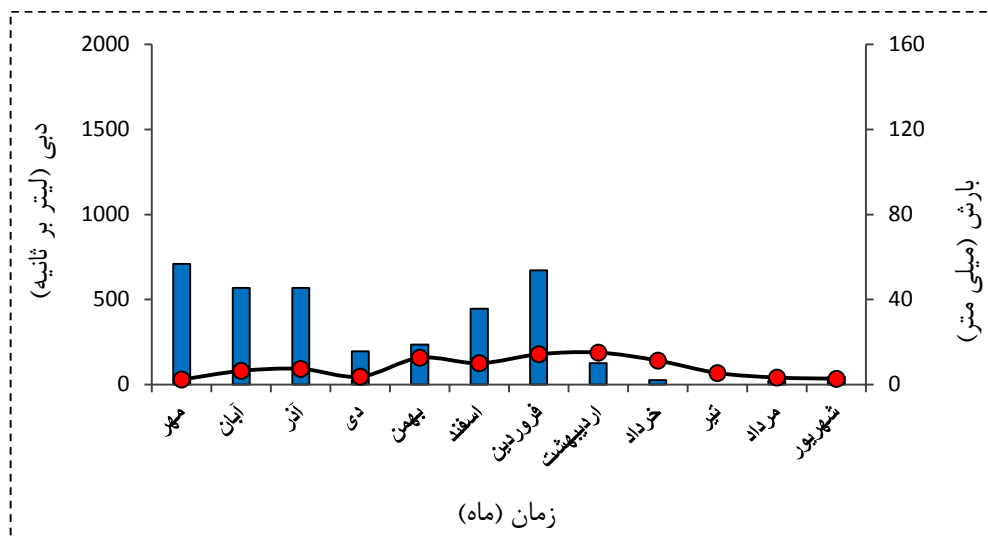
سال آبی ۹۳-۹۴		سال آبی ۹۲-۹۳		سال آبی ۹۱-۹۲		ردیف
آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	
29	57	35	0	25	4	مهر
80	45	376	123	20	112	آبان
92	45	867	73	314	76	آذر
46	16	717	36	312	38	دی
157	19	795	61	707	78	بهمن
125	36	933	63	644	18	اسفند
178	54	1757	24	677	21	فروردین
188	10	929	11	416	67	اردیبهشت
141	2	730	6	332	0	خرداد
68	0	496	0	114	0	تیر
41	2	84	0	93	0	مرداد
34	4	62	0	69	0	شهریور
98.3	24.1	648.4	33.2	310.3	34.4	میانگین
57.7	21.9	486.7	39.4	256.6	39	انحراف معیار
58.7	91.1	75.1	118.8	82.7	113.2	درصد ضریب تغییرات



شکل ۴-۱۲: هیدروگراف سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۱۳: هیدروگراف سراب شاه حسین از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳



شکل ۴-۱۴: هیدروگراف سراب شاه حسین از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

همچنین ضریب تغییرات بالای چشمه مورد نظر بیان کننده توسعه بالای کارست و وجود عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبرگیر چشمه است. با توجه به بازدهی‌های صحرایی انجام شده صحت گفته فوق ثابت شد و ملاحظه گردید که کارست کوه دو قرال در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه به شدت توسعه یافته است و عوارض ژئومورفولوژیکی متعدد و متنوعی از قبیل فروچاله، گودی مسدود، غار، شفت، کارن و فضاهای انحلالی در آن یافت می‌شود. مساحت تقریبی حوضه آبرگیر چشمه مذکور ۴۷/۷ کیلومتر مربع می‌باشد.

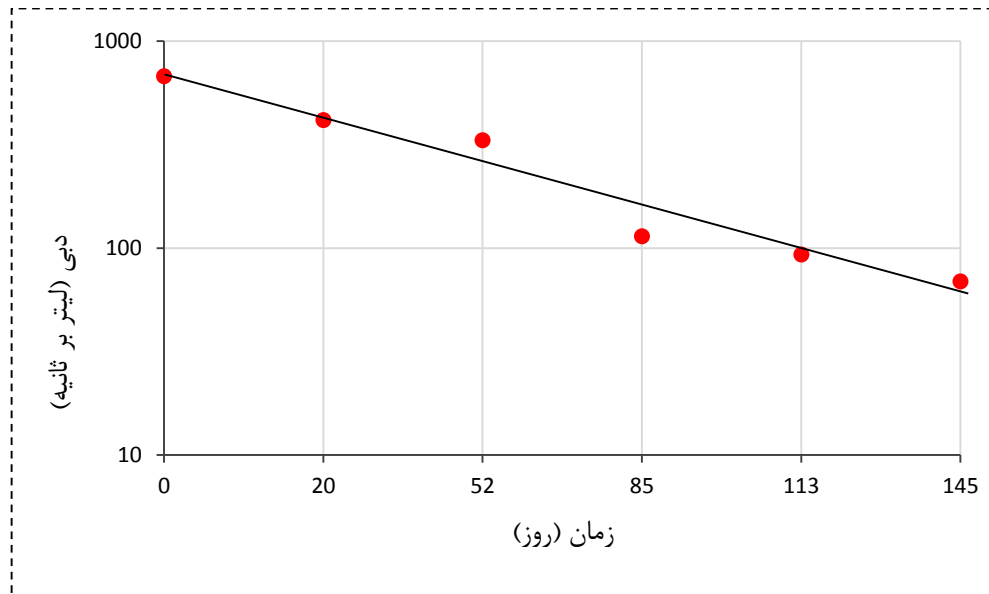
هیدروگراف سراب شاه‌حسین نشان می‌دهد که تغییرات زیادی در آبدهی این چشمه رخ داده و افزایش و کاهش مقادیر آبدهی آن به سرعت صورت گرفته و به طور قابل توجهی تحت تأثیر بارندگی‌های مؤثر منطقه بوده است و نوسانات بارشی به سرعت بر روی آبدهی این چشمه تأثیرگذار بوده به طوری که آبدهی این چشمه با افزایش میزان بارندگی افزایش و با کاهش بارندگی آبدهی نیز کاهش می‌یابد که این مطلب خود نشان‌دهنده توسعه بالای کارست و نرخ نفوذ بالا در محدوده حوضه آبرگیر سراب شاه‌حسین است.

لازم به ذکر است که در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه بارش نزولات جوی در زمستان بیشتر به صورت برف بوده لذا با وجود افزایش تدریجی دبی چشمه، دبی اوج مشخصی در هیدروگراف چشمه ظاهر نشده است. در اواخر فروردین ماه و اوایل اردیبهشت ماه با گرم شدن نسبی هوا و آب شدن سریع برف‌ها و همچنین وقوع باران‌های متعدد میزان نفوذ آب به داخل آبخوان کارستی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

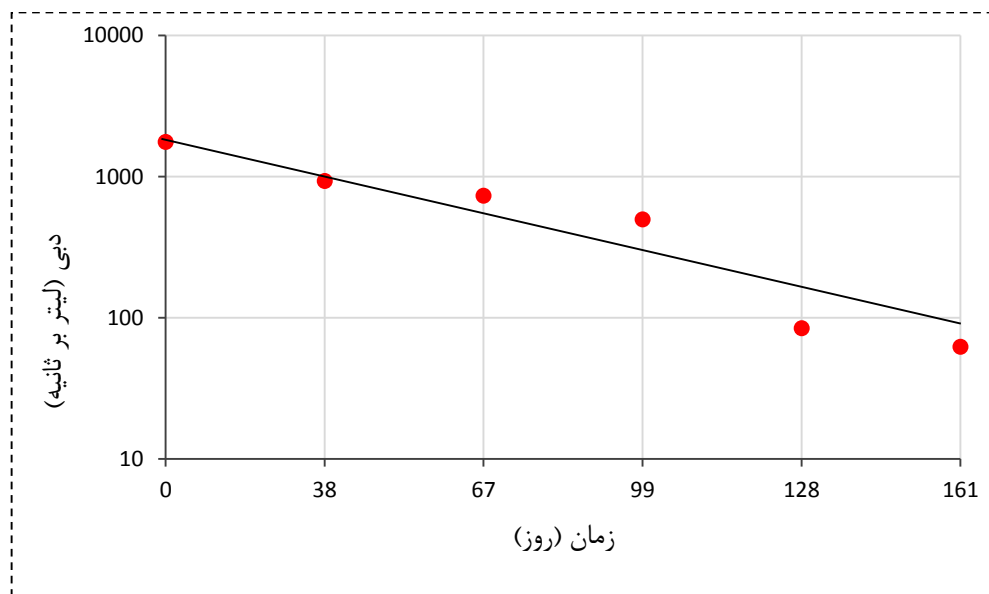
توسعه زیاد کارست در حوضه آبرگیر این چشمه باعث شده که مدت زمان کوتاهی پس از بارش آب به درون آبخوان نفوذ کرده و موجب تغییر در میزان آبدهی چشمه می‌شود. تغییرات سریع در دبی این چشمه نیز می‌تواند به دلیل اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد سیستم ورودی و خروجی آبخوان، کوتاه بودن فاصله و در نتیجه شیب هیدرولیکی زیاد باشد. توسعه بالای کارست در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه باعث نفوذ میزان قابل توجهی آب به درون آبخوان کارستی شده و در زمان نسبتاً کوتاهی یعنی در فروردین و اردیبهشت ماه هر سال یک نقطه اوج مشخص در هیدروگراف چشمه ظاهر می‌شود. همان‌گونه که از منحنی‌های فروکش سراب شاه‌حسین مشخص است منحنی فروکش ترسیم شده برای سه سال آبی مختلف دارای یک شیب  $\alpha_1$  است. شکل‌های (۴-۱۵، ۴-۱۶ و ۴-۱۷) منحنی فروکش چشمه مذکور را برای سال آبی ۹۲-۹۱، ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ را نشان می‌دهد که به ترتیب دارای شیب ۰/۰۰۴۷، ۰/۰۱۶۸ و ۰/۰۱۵۷ است.

در طی رژیم  $\alpha_1$  که تنها شیب موجود در منحنی فروکش سراب شاه‌حسین است و حدوداً پنج ماه نیز به طول می‌انجامد شیب منحنی و نیز تغییرات آبدهی زیاد است. ضریب  $\alpha_1$  جریان خروجی از سیستم‌های مجرای و غارها را مشخص می‌کند که در آن‌ها جریان متلاطم غالب است. در این دوره

حجم زیاد آب خروجی از چشمه به طور عمده از طریق کانال‌ها و شکستگی‌های بزرگ موجود در آبخوان تأمین می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با عوارض کارستی مهم در ارتفاعات آهکی موجود در ارتباط هستند. با توجه به توان ذخیره‌سازی پایین این مجاری دبی به سرعت کاهش پیدا می‌کند و تغییرات زیادی در میزان آبدهی چشمه دیده می‌شود.

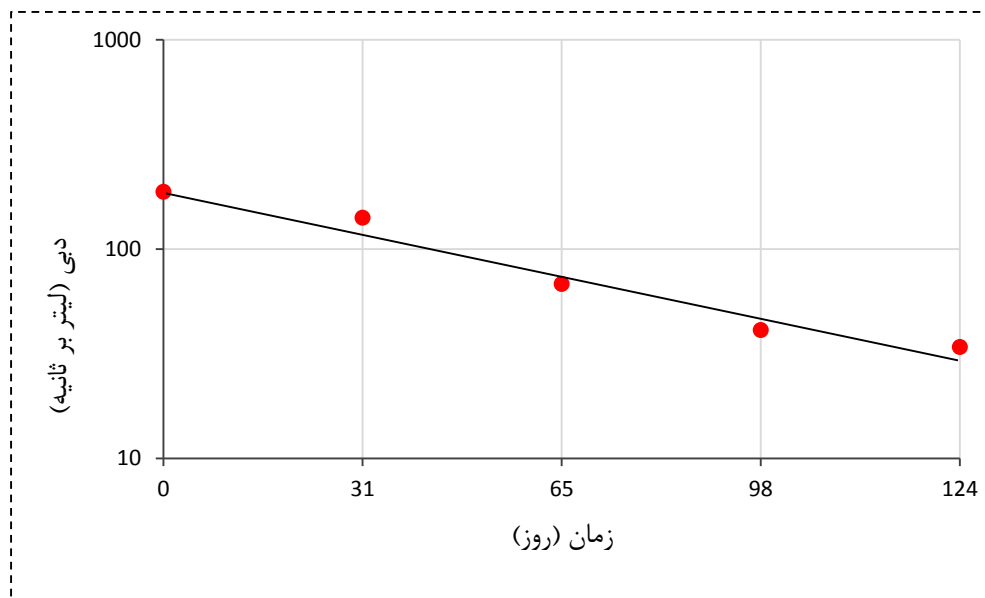


شکل ۴-۱۵: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۱۶: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳





شکل ۴-۱۷: منحنی فروکش سراب شاه‌حسین از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

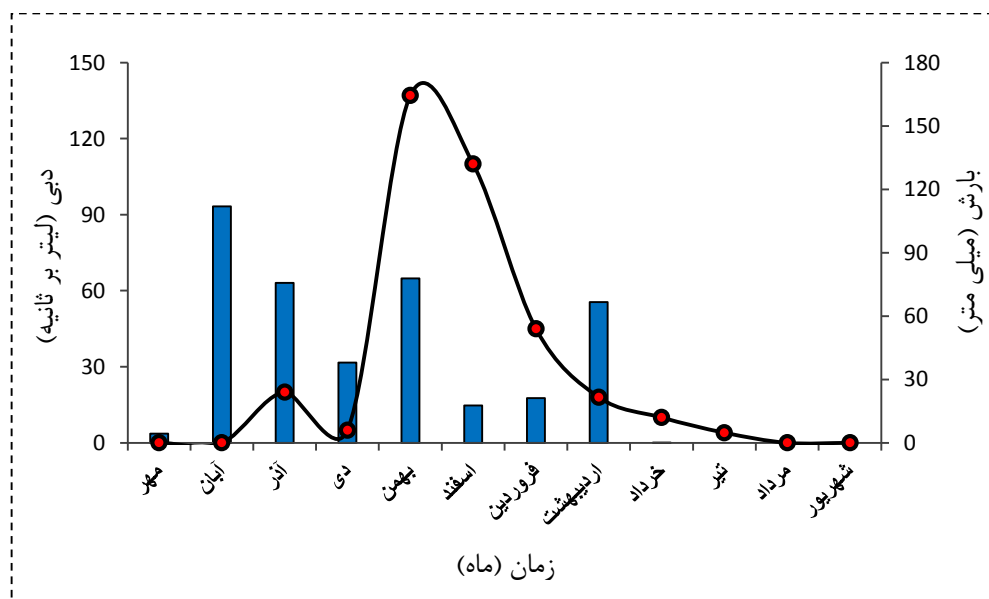
#### ۳-۱-۳-۴ سراب برنجان

این چشمه در نزدیکی روستای برنجان و در ۳۴ کیلومتری شمال شهر کرمانشاه و در شمال منطقه مورد مطالعه واقع شده است. لیتولوژی حوضه آبرگیر این چشمه همانند دو چشمه دیگر از سنگ آهک سازند بیستون تشکیل شده است. جدول (۴-۵) داده‌های مربوط به سراب و رمنجه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ارتفاع این چشمه از سطح دریا برابر با ۱۳۴۶ متر و میزان متوسط آبدهی آن برای سال آبی (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۱) برابر ۲۰ لیتر بر ثانیه است. شکل‌های (۴-۱۸)، (۴-۱۹) و (۴-۲۰) هیدروگراف سراب برنجان را برای سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد.

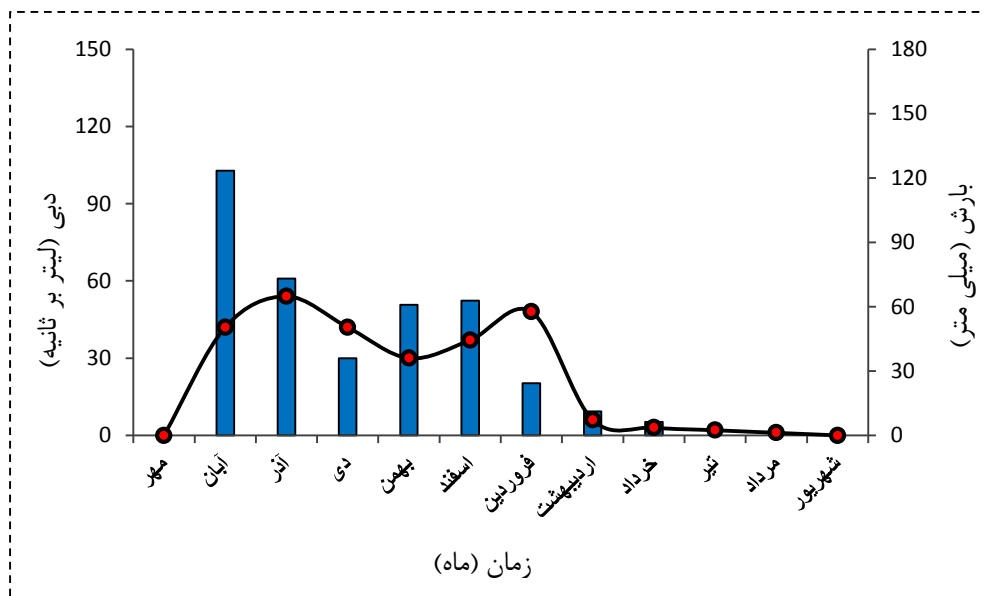
با توجه به هیدروگراف‌های ترسیم شده بیشینه آبدهی با حدود ۶۵ لیتر بر ثانیه مربوط به اواخر آذر تا اواخر فروردین ماه است. در ماه‌های مهر، آبان، مرداد و شهریور دبی چشمه به کمترین مقدار خود با حدود صفر لیتر می‌رسد. بر اساس این هیدروگراف‌ها مشاهده می‌شود که سراب برنجان یک چشمه فصلی است که در اواخر تابستان و اوایل پاییز خشک می‌شود و با شروع بارش در منطقه دوباره آبدهی خود را از سر می‌گیرد. متوسط ضریب تغییرات آبدهی سراب برنجان با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده حدود ۱۲۰ درصد است، که بر طبق تقسیم‌بندی کرمی و جاکبسن و لانگمیر در رژیم جریان مجرای قرار دارد.

جدول ۴-۵: داده‌های مربوط به بارش و آبدهی سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

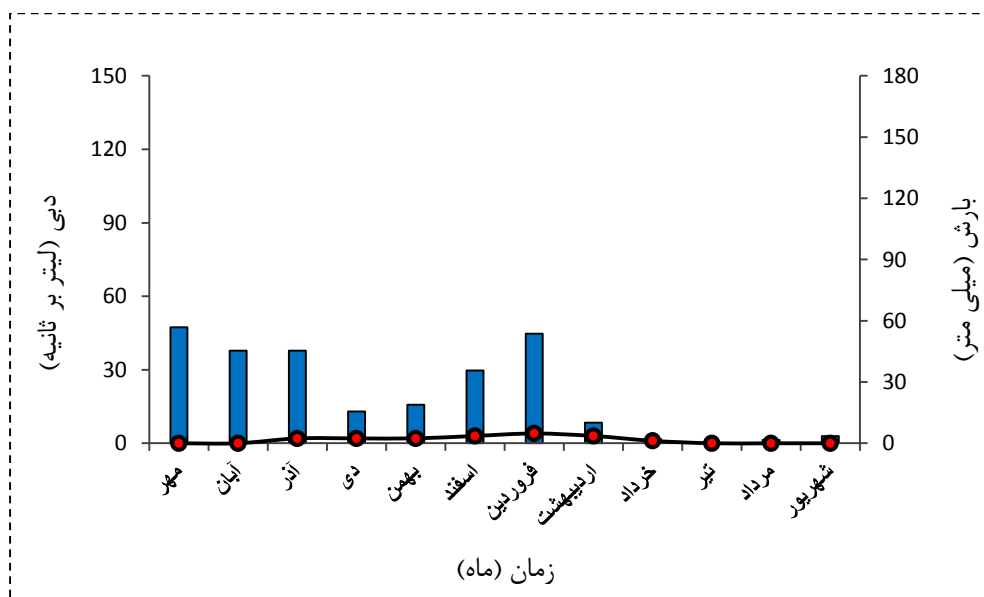
ردیف	سال آبی ۹۱-۹۲		سال آبی ۹۲-۹۳		سال آبی ۹۳-۹۴	
	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)	آبدهی (Lit/s)	بارندگی (mm)
مهر	0	4	0	0	0	57
آبان	0	112	42	123	0	45
آذر	20	76	54	73	2	45
دی	5	38	42	36	2	16
بهمن	137	78	30	61	2	19
اسفند	110	18	37	63	3	36
فروردین	45	21	48	24	4	54
اردیبهشت	18	67	6	11	3	10
خرداد	10	0	3	6	1	2
تیر	4	0	2	0	0	0
مرداد	0	0	1	0	0	2
شهریور	0	0	0	0	0	4
میانگین	29.1	34.4	22.1	33.2	1.4	24.1
انحراف معیار	46.3	39	21.8	39.4	1.4	21.9
درصد ضریب تغییرات	159.3	113.2	98.6	118.8	101.9	91.1



شکل ۴-۱۸: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۱۹: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳



شکل ۴-۲۰: هیدروگراف سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

همچنین ضریب تغییرات بالای چشمه مورد نظر نشان‌دهنده این مطلب است که آهک سازند بیستون در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه به شدت توسعه یافته است و شیب هیدرولیکی نیز در حوضه آبرگیر چشمه بالا است. بازدیدهای صحرایی انجام شده در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه نشان می‌دهد که عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته به وفور در منطقه یافت می‌شود که خود

تأییدی بر توسعه بالای کارست در حوضه آبخیز این چشمه می‌باشد. مساحت تقریبی حوضه آبخیز چشمه مذکور ۲/۴ کیلومتر مربع می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود حوضه آبخیز این چشمه در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است.

با توجه به هیدروگراف‌های ترسیم شده برای سراب برنجان مشاهده می‌شود که تغییرات آبدهی این چشمه زیاد است. همچنین ملاحظه می‌شود که تغییرات زمانی دبی آن به طور قابل توجهی مانند دو چشمه دیگر (سراب ورمنجه و سراب شاه‌حسین) تحت تأثیر بارش‌های مؤثر منطقه بوده است و نیز در این چشمه با افزایش میزان بارش دبی افزایش و با کاهش بارش دبی نیز کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در بهمن تا اواسط فروردین ماه یک دبی اوج مشخص در هیدروگراف چشمه ظاهر می‌شود که به احتمال زیاد به دلیل بارش باران و نیز آب شدن برف‌های موجود در ارتفاعات منطقه (ارتفاعات آهکی کوه دوقرال) بوده است. از آنجایی که بارش نزولات جوی در زمستان بیشتر به صورت برف بوده لذا با وجود افزایش تدریجی دبی چشمه، دبی اوج مشخصی در هیدروگراف چشمه ظاهر نشده است.

در اواخر اسفند و اوایل فروردین ماه با گرم شدن نسبی هوا برف‌های موجود در ارتفاعات منطقه ذوب شده و همچنین وقوع باران‌های متعدد (با توجه به ظرفیت گرمایی بالایی)، علاوه بر سهم آن‌ها در نفوذ باعث ذوب شدن برف‌های انباشته شده در ارتفاعات حوضه آبخیز چشمه می‌شوند و در نتیجه میزان نفوذ آب به داخل آبخوان کارستی کوه دوقرال به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. لذا می‌توان گفت که با توجه به تحول زیاد کارست در حوضه آبخیز سراب برنجان، مدت زمان کوتاهی پس از بارش آب به درون آبخوان کارستی نفوذ کرده و باعث تغییر در میزان آبدهی چشمه می‌شود.

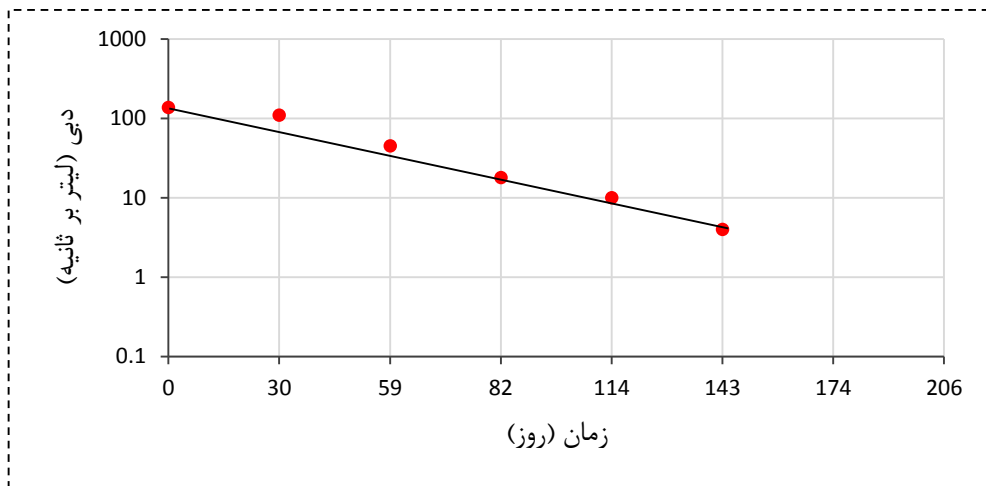
همچنین لازم به ذکر است که در به دلیل اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد سیستم ورودی و خروجی در حوضه آبخیز این چشمه و کوتاه بودن فاصله، شیب هیدرولیکی جریان در حوضه آبخیز سراب برنجان بالا است. توسعه بالای کارست در حوضه آبخیز سراب برنجان باعث نفوذ قابل توجه آب در ماه‌های فروردین و اردیبهشت هرسال شده و در مدت کوتاهی یعنی اوایل اسفند و اواخر فروردین ماه یک نقطه اوج بسیار مشخص در هیدروگراف چشمه ظاهر، و بیشترین دبی چشمه در طول دوره مطالعه در همین بازه زمانی خارج می‌شود.

بر اساس ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان کارستی (شیب هیدرولیکی زیاد و وسعت نسبتاً کم حوضه آبخیز) دبی سراب برنجان در مدت زمان نسبتاً کوتاهی کاهش پیدا می‌کند که این مطلب خود گویای وسعت نسبتاً کم حوضه آبخیز این چشمه است.

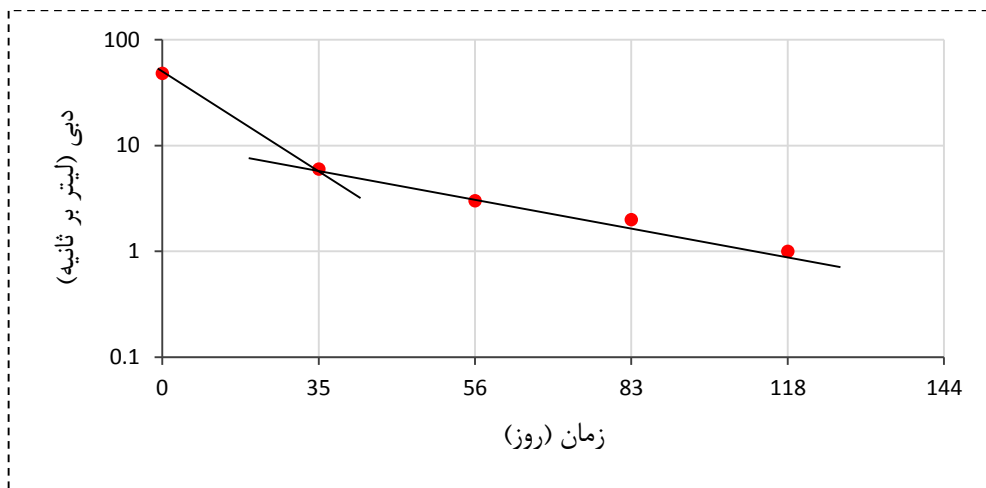
شکل‌های (۴-۲۱)، (۴-۲۲) و (۴-۲۳) منحنی‌های فروکش سراب برنجان را نشان می‌دهد. منحنی فروکش سراب برنجان برای سال آبی ۹۲-۹۳ (شکل ۴-۲۲) دارای دو شیب  $\alpha_1$  (۰/۰۵۹۵) و  $\alpha_2$  (۰/۰۲۱۶) و برای سال‌های آبی ۹۱-۹۲ و ۹۳-۹۴ (شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۳) دارای یک شیب  $\alpha_2$  است که به ترتیب ۰/۰۲۳۰ و ۰/۰۰۶۱ می‌باشد. به احتمال زیاد این تغییرات در شیب و نیز تعداد شیب‌های موجود در منحنی فروکش به دلیل نوسانات در میزان بارش (برف و باران) طی سال‌های مختلف بوده است. برای مثال در سال‌هایی آبی ۹۲-۹۳ که خشک‌سالی بوده یک شیب  $\alpha_2$  به منحنی فروکش این چشمه افزوده شده است. با توجه به بالا بودن میزان شیب آن می‌توان نتیجه گرفت که پایین افتادن سطح آب زیرزمینی و کاهش تغذیه به دلیل خشک‌سالی می‌تواند دلیل اصلی این افزایش شیب در منحنی فروکش سراب برنجان باشد.

در طی رژیم  $\alpha_1$  که حدوداً یک ماه به طول می‌انجامد شیب منحنی فروکش سراب برنجان روند افزایشی را نشان می‌دهد. که این افزایش شیب می‌تواند به دلیل خشک‌سالی که در آن سال رخ داده است، باشد. که کاهش نزولات جوی باعث پایین افتادن سطح آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش شیب گرادیان هیدرولیکی و شیب در منحنی فروکش شده است. از دلایل عدم وجود رژیم  $\alpha_1$  در سال‌های آبی ۹۱-۹۲ و ۹۳-۹۴ می‌توان به بارش‌های فروردین و اردیبهشت ماه سال آبی ۹۱-۹۲ و ۹۳-۹۴ اشاره کرد که مانع از پایین افتادن سطح آب زیرزمینی و همچنین تغییرات زیاد در آبدهی و وجود رژیم  $\alpha_1$  در منحنی فروکش سراب برنجان شده است.

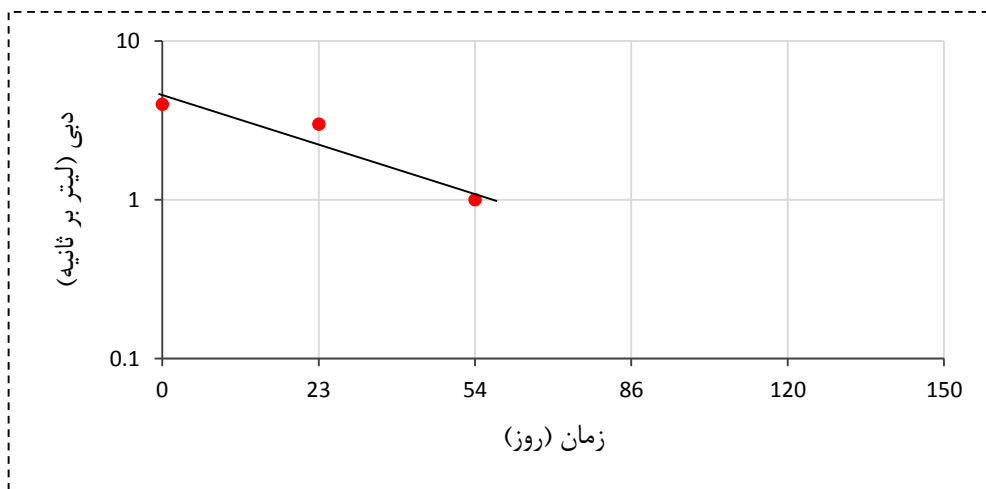
رژیم  $\alpha_2$  حدود پنج ماه به طول می‌انجامد و طولانی‌ترین رژیم در منحنی فروکش سراب برنجان است. در این دوره شیب منحنی فروکش کاهش می‌یابد و تغییرات زیادی در آبدهی چشمه مشاهده نمی‌شود. در این دوره حجم آب خروجی از چشمه به طور عمده از طریق شکستگی و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود و با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌ها در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدهی چشمه در طول این رژیم نسبت به رژیم  $\alpha_2$  کمتر است.



شکل ۴-۲۱: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ماه ۱۳۹۲



شکل ۴-۲۲: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۳



شکل ۴-۲۳: منحنی فروکش سراب برنجان از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴

## ۲-۳-۴ تعیین حجم خروجی سالیانه و حوضه آبرگیر چشمه‌ها

مساحت و وضع هندسی آبخوان‌های کارستی و حوضه آبرگیر چشمه‌ها بسته به شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در زمان و مکان تغییر می‌کنند، بنابراین تعیین دقیق حوضه آبرگیر و مرزهای هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها، از دشوارترین بخش‌های مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی می‌باشد. تعیین تقریبی حوضه آبرگیر چشمه‌ها با توجه به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی می‌تواند راهگشای بسیاری از مسائل مطرح در مدیریت منابع آب و تعیین حریم و حوضه آبرگیر چشمه‌ها باشد. در این قسمت مساحت و مرزهای هیدروژئولوژیکی حوضه آبرگیر چشمه‌های مهم کوه دوقرال به صورت تقریبی با استفاده از روش‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی تعیین و ترسیم شده است و در نهایت با توجه به مقدار بارش در منطقه، حجم تخلیه چشمه‌ها و ارزیابی بیلان در حوضه آبرگیر چشمه‌ها اصلاحات لازمه بر روی این حوضه‌ها و درصد تغذیه سالانه آن‌ها انجام شده است.

جهت تعیین محدوده احتمالی حوضه آبرگیر چشمه‌ها از وضعیت مورفولوژیکی مانند توپوگرافی و سطح اساس فرسایش چشمه، وضعیت زمین‌شناسی مانند توالی چینه‌شناسی و گسل‌ها، پراکندگی عوارض مهم کارستی استفاده شد و به کمک نرم‌افزارهای Google Earth، Global Mapper و Arc GIS محدوده‌ای که پتانسیل انتقال آب به چشمه مورد نظر را دارد تعیین شده است.

زمانی که آب ورودی به یک سیستم کارستی تنها از چشمه خارج شود و همه‌ی خروجی چشمه ناشی از بارندگی‌های سال آبی بیلان باشد می‌توان رابطه زیر را برای تعیین مساحت حوضه آبرگیر نوشت:

$$Q_d = I.A.P$$

معادله (۲-۴)

در این معادله  $Q_d$  حجم تخلیه سالانه،  $A$  مساحت حوضه آبرگیر،  $P$  متوسط بارندگی منطقه و  $I$  درصد تغذیه بارندگی است.

حجم متوسط تخلیه سالانه برای هر یک از چشمه‌ها به کمک اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سال‌های آبی ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۱ محاسبه شده است با توجه به اینکه دبی اکثر چشمه‌ها در پایان سال

آبی به مقدار اولیه خود برگشته می‌توان نتیجه گرفت که میزان ذخیره دینامیک در ابتدا و انتهای سال تغییر چندانی نداشته است. متوسط بارندگی در حوضه‌های آبخیز چشمه‌ها با استفاده از نمودار ارتفاع - بارش به دست آمده است.

درصد تغذیه به عوامل متعددی از قبیل شدت، میزان و نوع بارش‌ها، سیستم درزه‌ها، درصد پوشش خاک، شیب و جهت شیب توپوگرافی و به‌ویژه توسعه عوارض کارستی مانند فروچاله، کارن، پولزّه، غار، شفت و .... بستگی دارد. برای تعیین درصد تغذیه با کمک مقایسه منطقه مورد مطالعه با مناطق مشابه که در آن‌ها درصد تغذیه با دقت بیشتری محاسبه شده است و همچنین نظر کارشناسی تقریباً بین ۶۰ تا ۸۰ درصد تخمین زده شده که به طور میانگین ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. با کمک اطلاعات فوق مساحت حوضه آبخیز مربوط به هر یک از چشمه‌ها از معادله (۴-۲) محاسبه شده و در جدول (۴-۶) آمده است.

جدول ۴-۶: مساحت حوضه آبخیز چشمه‌های اطراف کوه دوقرال به کمک معادله بیلان

منابع آبی	حجم تخلیه سالانه (سال آبی ۹۱-۹۲ تا ۹۳-۹۴)	میانگین بارش (سال آبی ۹۱-۹۲ تا ۹۳-۹۴)	مساحت حوضه آبخیز (Km <sup>2</sup> )
	(Mm <sup>3</sup> /year)	(mm)	
سراب ورمنجه	5.72	367	24.2
شاه حسین سراب	11.26	367	47.7
سراب برنجان	0.56	367	2.4
سراب یوان	—————	367	—————

بر اساس نزدیکی مساحت‌های به دست آمده از دو روش فوق (جدول ۴-۷)، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های تعیین شده از دقت تقریباً خوبی برخوردار هستند. اختلاف بین مساحت‌های به دست آمده از دو روش هیدروژئولوژیکی و مورفولوژیکی را می‌توان به تقریبی در نظر گرفتن پارامترهای درصد نفوذ،



میزان بارش و همچنین عدم اطلاع دقیق از میزان تخلیه در اثر بارش مربوط به سال‌های بیلان و نیز تقریب در مرزهای هیدروژئولوژیکی نسبت داد. تعیین دقیق تر حوضه آبخیز نیازمند تعیین و توجه ویژه به پارامترهای فوق به ویژه تعیین و توزیع درصد نفوذ است.

جدول ۴-۷: مقایسه مساحت حوضه آبخیز به روش بیلان با روش هیدروژئولوژیکی - مورفولوژیکی

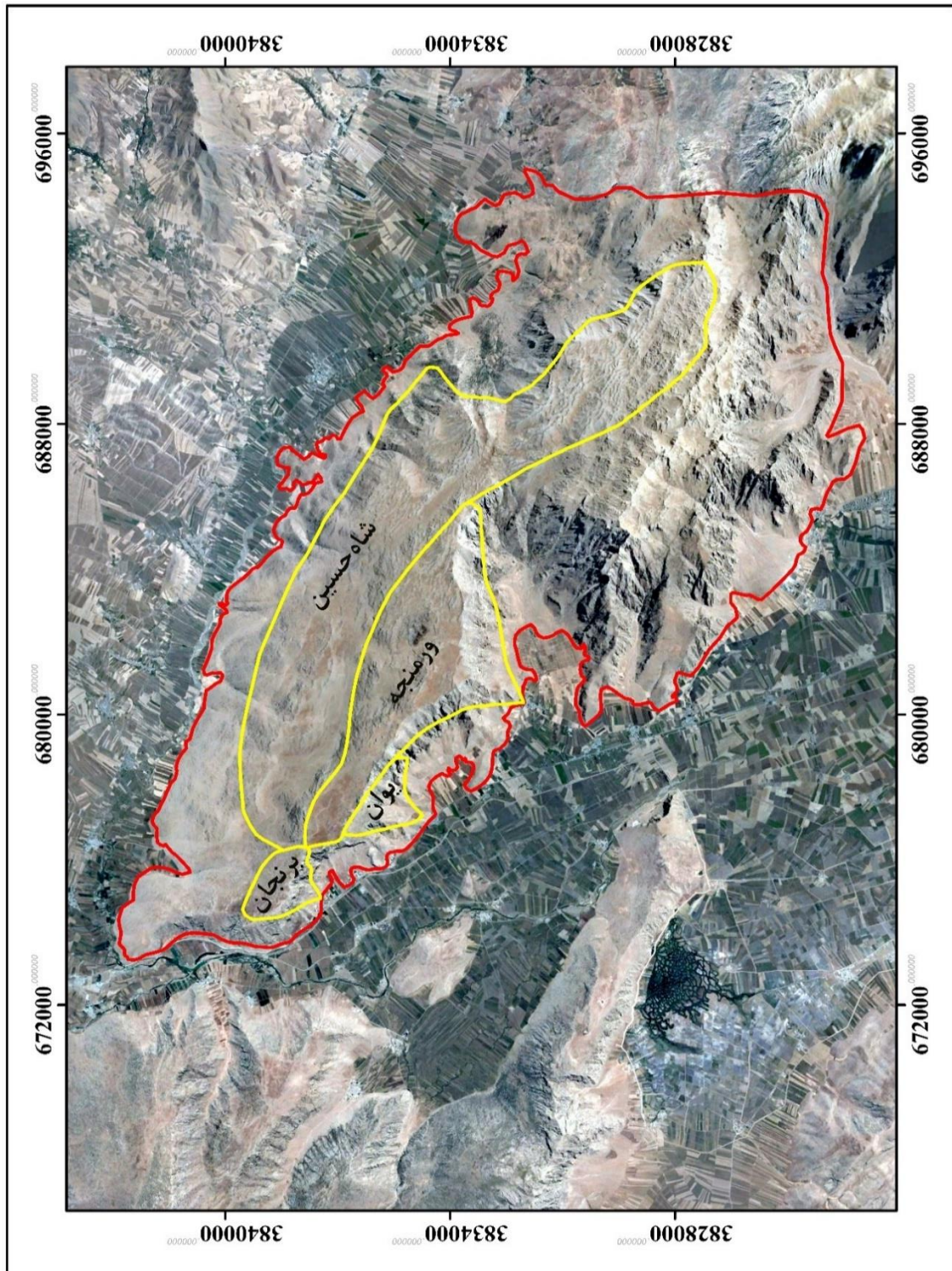
منابع آبی	مساحت حوضه آبخیز* (Km <sup>2</sup> )	مساحت حوضه آبخیز** (Km <sup>2</sup> )
سرآب ورمنجه	24.2	20.5
سرآب شاه حسین	47.7	51.3
سرآب برنجان	2.4	2.6
سرآب یوان		

\* این مساحت با استفاده از معادله بیلان محاسبه شده است.

\*\* این مساحت با استفاده از روش هیدروژئولوژیکی - مورفولوژیکی تعیین شده است.

شکل (۴-۱۴) حوضه‌های آبخیز چشمه‌های کارستی موجود در اطراف کوه دوقرال را نشان می‌دهد. این حوضه‌های ترسیم شده با استفاده از مشاهدات صحرایی، هیدروژئولوژی، ژئومورفولوژی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه، ترسیم شده‌اند. استفاده از روش هیدروژئولوژیکی - مورفولوژیکی یکی از متداول‌ترین روش برای ترسیم حوضه آبخیز چشمه‌ها است که از دقت خوبی نیز برخوردار است ولی برای پیدا کردن مرز دقیق حوضه‌های آبخیز باید از آزمون ردیابی و حفر چاه‌های تزریق و مشاهده‌ای استفاده کرد که بسیار پرهزینه و وقت گیر است. لازم به ذکر است که به کمک این حوضه‌های ترسیم شده می‌توان خصوصیات هندسی حوضه آبخیز را تعیین کرد. خصوصیات هندسی حوضه آبخیز نشان‌دهنده وضع ظاهری حوضه است. از جمله این خصوصیات می‌توان مساحت، محیط، طول، عرض،

شکل، ارتفاع و شیب حوضه را نام برد. خصوصیات هندسی حوضه آبگیر چشمه‌ها از جهت ارتباط با وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دارای اهمیت هستند.



شکل ۴-۲۴: حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی موجود در اطراف کوه دوقرال

#### ۴-۴ ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی و پایش چگونگی تغییرات آن طی گذر زمان چه از لحاظ آلودگی و چه از نظر تغییراتی که به طور طبیعی در آب در حال جریان در محیط آبخوان ایجاد می‌شود، یکی از جنبه‌های مهم مطالعه آب‌های زیرزمینی است که امکان مدیریت صحیح، بهره‌برداری پایدار و حفظ این منابع حیاتی ارزشمند را فراهم می‌آورد.

همچنین بررسی کیفی منابع آب علاوه بر موارد فوق می‌تواند اطلاعات مفیدی نیز جهت شناخت پویایی، تکامل و آلودگی آب‌های زیرزمینی فراهم سازد. کیفیت آب‌های زیرزمینی همواره تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و فعالیتهای انسانی از قبیل لیتولوژی، واکنش‌های اکسایش و احیاء در محیط آبخوان، میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی، اختلاط آب‌ها، توپوگرافی منطقه، فرایندهای بیولوژیکی، مقدار و ترکیب آب‌های تغذیه شونده، پارامترهای اقلیمی و خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی قرار داشته است.

بنابراین با بررسی تغییرات مقادیر و نوع مواد محلول موجود در آب‌های زیرزمینی، طی مسیر جریان می‌توان به بسیاری از خصوصیات آبخوان و تأثیرات عواملی که به نوعی با آبخوان در ارتباط هستند پی برد. با توجه به مطالب ذکر شده یکی از روش‌های تعیین ارتباط بین آب‌های زیرزمینی استفاده از خصوصیات هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی می‌باشد. شیمی سیستم جریان آب زیرزمینی را می‌توان برای تعیین موارد زیر استفاده کرد:

- مناسب بودن آب برای یک هدف خاص.
- تأثیر سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه.
- مطالعه اختلاط آب‌ها از منابع مختلف.
- شناسایی محل‌های تغذیه و تخلیه آبخوان و منشأ املاح محلول آب.
- مطالعه تغییرات کیفیت آب در طول مسیر جریان و با گذشت زمان.
- تأثیر بهره‌برداری از آب زیرزمینی بر روی کیفیت آن (خویباری ۱۳۸۹).

به منظور بررسی خصوصیات کیفی و بحث ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌ها پارامترهایی همچون pH و هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری و مقدار یون‌های اصلی در آزمایشگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

همچنین با استفاده از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نقشه‌ها و نمودارهای هیدروشیمیایی شامل نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، بررسی تغییرات مکانی یون‌های اصلی (مانند کلر، سولفات و سدیم)، نمودار پایپر، استیف و شولر، نقشه شاخص‌های اشباع (مانند هالیت، ژپس، دولومیت و کلسیت) و نمودارهای ترکیبی ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

#### ۴-۴-۱ جمع‌آوری داده‌های هیدروشیمیایی

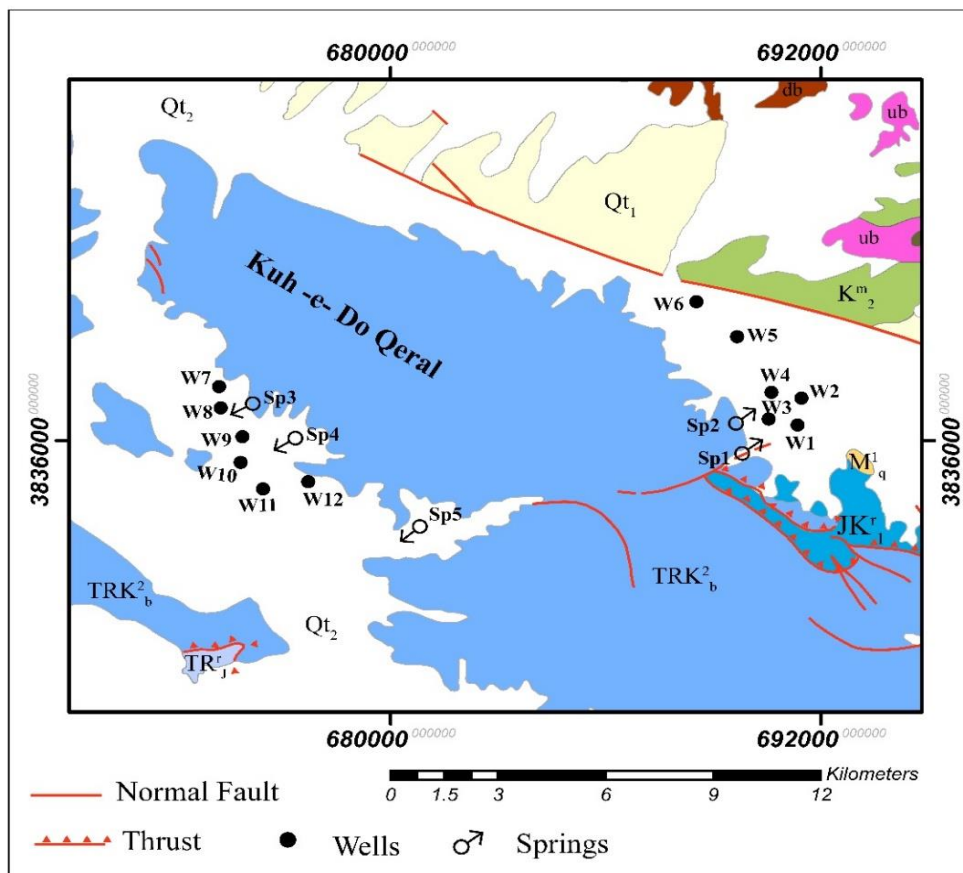
مهم‌ترین مرحله در مطالعات هیدروشیمی، جمع‌آوری داده‌های هیدروشیمیایی می‌باشد که از طریق نمونه‌برداری از منابع آب می‌توان این داده‌ها را جمع‌آوری نمود. به منظور ارزیابی هیدروشیمیایی آبخوان‌های آبرفتی و کارستی در خرداد ماه ۱۳۹۵ از ۱۷ نقطه نمونه‌برداری صورت پذیرفت که از این تعداد ۵ نمونه مربوط به چشمه‌های کارستی کوه دوقرال، ۶ نمونه مربوط به چاه‌های آب حفرشده در آبخوان آبرفتی دشت بیلوار و ۶ نمونه باقی‌مانده نیز مربوط به چاه‌های آب حفرشده در آبخوان آبرفتی دشت میان‌در بند می‌باشند.

پارامترهای EC و pH هم‌زمان و در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند (جدول ۴-۸) و برای آنالیز غلظت یون‌های اصلی ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) نمونه‌های آب توسط بطری‌های پلی‌اتیلنی ۲۵۰ میلی‌لیتری برداشت شد و پس از حمل در شرایط استاندارد به آزمایشگاه گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محاسبه شد.

شکل (۴-۱۵) محل نقاط نمونه‌برداری و جداول (۴-۹)، (۴-۱۰) و (۴-۱۱) به ترتیب نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس میلی‌اکی‌والان و میلی‌گرم و پارامترهای اندازه‌گیری شده را برای هر یک از نمونه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۴-۸: پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری در خرداد ماه ۱۳۹۵

اسیدیته	موقعیت جغرافیایی		نمونه‌ها	
	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	UTM (X)		UTM (Y)
7.6	290	690271	3834711	Sp1
7.6	247	689589	3835461	Sp2
7.6	340	675776	3836042	Sp3
7.5	325	676910	3834686	Sp4
7.6	292	680360	3832110	Sp5
7.5	420	691489	3835170	W1
7.5	368	691469	3836338	W2
7.3	416	690497	3835523	W3
7.5	377	690332	3836518	W4
7.4	423	688845	3838315	W5
7.5	483	687423	3839428	W6
7.4	484	674559	3836564	W7
7.3	552	674974	3835505	W8
7.2	668	675284	3834674	W9
7.1	943	675487	3833021	W10
7.3	764	676452	3832512	W11
7.5	390	677774	3833103	W12



شکل ۴-۲۵: موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه

جدول ۴-۹: پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های برداشت شده در خرداد ماه ۱۳۹۵ (بر حسب epm)

خطای آزمایش (%)	مجموع آنیون‌ها	آنیون‌ها			مجموع کاتیون‌ها	کاتیون‌ها				نمونه‌ها
		HCO3-	Cl	So42+		Ca2+	Mg2+	Na+	K+	
2.3	4.5	3.1	1.0	0.4	4.605	2.5	1.1	1.0	0.005	Sp1
2.8	3.8	2.8	0.7	0.3	3.907	2.2	1	0.7	0.007	Sp2
2.0	5.2	3.6	1.1	0.5	5.307	2.8	1.3	1.2	0.007	Sp3
4.1	4.9	3.5	0.9	0.5	5.107	2.7	1.4	1.0	0.007	Sp4
7.1	4.2	3.0	0.8	0.4	4.507	2.5	1.2	0.8	0.007	Sp5
3.1	6.2	4.5	1.1	0.6	6.011	3.2	1.6	1.2	0.011	W1
3.4	5.7	4.1	1.1	0.5	5.509	3.0	1.2	1.3	0.009	W2
6.3	6.4	4.5	1.3	0.6	6.012	3.2	1.4	1.4	0.012	W3
3.2	6.0	4.2	1.3	0.5	5.809	3.0	1.5	1.3	0.009	W4
3.1	6.2	4.4	1.2	0.6	6.011	3.1	1.6	1.3	0.011	W5
1.4	6.3	4.4	1.3	0.6	6.212	3.2	1.6	1.4	0.012	W6
1.4	6.6	4.9	1.1	0.6	6.511	3.2	2.1	1.2	0.011	W7
6.8	7.4	5.3	1.4	0.7	6.914	3.3	2.1	1.5	0.014	W8
5.5	9.0	6.3	2.0	0.7	8.516	4.1	2.3	2.1	0.016	W9
6.8	11.8	7.5	2.8	1.5	11.022	5.1	2.8	3.1	0.022	W10
8.6	9.5	6.5	1.9	1.1	8.717	4.3	2.3	2.1	0.017	W11
7.0	5.6	3.8	1.2	0.6	6.009	3.1	1.6	1.3	0.009	W12
4.4	6.4	4.5	1.3	0.6	6.3	3.2	1.7	1.4	0.0	میانگین
2.3	2.0	1.3	0.5	0.3	1.7	0.7	0.5	0.6	0.0	انحراف معیار
52.1	31.8	28.7	39	44.9	27.9	22.2	30.2	40.6	39.9	ضریب تغییرات (%)

جدول ۴-۱۰: پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های برداشت شده در خرداد ماه ۱۳۹۵ (بر حسب ppm)

آنیون‌ها			کاتیون‌ها				نمونه‌ها
HCO3-	Cl	So42+	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	
19.2	35.5	189.1	50.3	0.196	23.0	13.3	Sp1
14.4	24.9	170.8	44.2	0.274	16.1	12.1	Sp2
24.1	39.1	219.6	56.3	0.274	27.6	15.7	Sp3
24.1	32.0	213.5	54.3	0.274	23.0	16.9	Sp4
19.2	28.4	183.0	50.3	0.274	18.4	14.5	Sp5
28.9	39.1	274.5	64.3	0.430	27.6	19.4	W1
24.1	39.1	250.1	60.3	0.352	29.9	14.5	W2
28.9	46.2	274.5	64.3	0.469	32.2	16.9	W3
24.1	46.2	256.2	60.3	0.352	29.9	18.2	W4
28.9	42.6	268.4	62.3	0.430	29.9	19.4	W5
28.9	46.2	268.4	64.3	0.469	32.2	19.4	W6
28.9	39.1	298.9	64.3	0.430	27.6	25.4	W7
33.7	49.7	323.4	66.3	0.547	34.5	25.4	W8
33.7	71.0	384.4	82.4	0.626	48.3	27.8	W9
72.2	99.4	457.6	102.5	0.860	71.3	33.9	W10
52.9	67.5	396.6	86.4	0.665	48.3	27.8	W11
28.9	42.6	231.8	62.3	0.352	29.9	19.4	W12
30.3	46.4	274.2	64.4	0.4	32.3	20.0	میانگین
13.6	18.1	78.8	14.3	0.2	13.1	6.0	انحراف معیار
44.9	39.0	28.7	22.2	39.9	40.6	30.2	ضریب تغییرات (%)

جدول ۴-۱: پارامترهای محاسبه شده برای نمونه‌های برداشت شده در خرداد ماه ۱۳۹۵

$\frac{Cl}{HCO_3}$	$\frac{SO_4}{HCO_3}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{(Ca + Mg)}{HCO_3}$	HCO <sub>3</sub> +SO <sub>4</sub> (epm)	Ca + Mg (epm)	$\frac{Na}{Cl}$	SAR	%Na	TDS (ppm)	TH (ppm)	Alk. (ppm)	نمونه‌ها
0.32	0.13	2.27	1.16	3.5	3.6	1.00	0.745	21.824	234	180.20	3.1	<b>Sp1</b>
0.25	0.11	2.20	1.14	3.1	3.2	1.00	0.553	18.096	196	160.16	2.8	<b>Sp2</b>
0.31	0.14	2.15	1.14	4.1	4.1	1.09	0.838	22.744	271	205.19	3.6	<b>Sp3</b>
0.26	0.14	1.93	1.17	4.0	4.1	1.11	0.698	19.718	255	205.13	3.5	<b>Sp4</b>
0.27	0.13	2.08	1.23	3.4	3.7	1.00	0.588	17.905	221	185.16	3.0	<b>Sp5</b>
0.24	0.13	2.00	1.07	5.1	4.8	1.09	0.775	20.146	314	240.18	4.5	<b>W1</b>
0.27	0.12	2.50	1.02	4.6	4.2	1.18	0.897	23.761	291	210.28	4.1	<b>W2</b>
0.29	0.13	2.29	1.02	5.1	4.6	1.08	0.923	23.486	323	230.25	4.5	<b>W3</b>
0.31	0.12	2.00	1.07	4.7	4.5	1.00	0.867	22.534	304	225.17	4.2	<b>W4</b>
0.27	0.14	1.94	1.07	5.0	4.7	1.08	0.848	21.810	315	235.15	4.4	<b>W5</b>
0.30	0.14	2.00	1.09	5.0	4.8	1.08	0.904	22.730	323	240.18	4.4	<b>W6</b>
0.22	0.12	1.52	1.08	5.5	5.3	1.09	0.737	18.599	332	264.98	4.9	<b>W7</b>
0.26	0.13	1.57	1.02	6.0	5.4	1.07	0.913	21.898	369	270.01	5.3	<b>W8</b>
0.32	0.11	1.78	1.02	7.0	6.4	1.05	1.174	24.847	452	320.13	6.3	<b>W9</b>
0.37	0.20	1.82	1.05	9.0	7.9	1.11	1.560	28.325	604	395.18	7.5	<b>W10</b>
0.29	0.17	1.87	1.02	7.6	6.6	1.11	1.156	24.286	478	330.18	6.5	<b>W11</b>
0.32	0.16	1.94	1.24	4.4	4.7	1.08	0.848	21.784	297	235.15	3.8	<b>W12</b>



## ۲-۴-۴ بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی

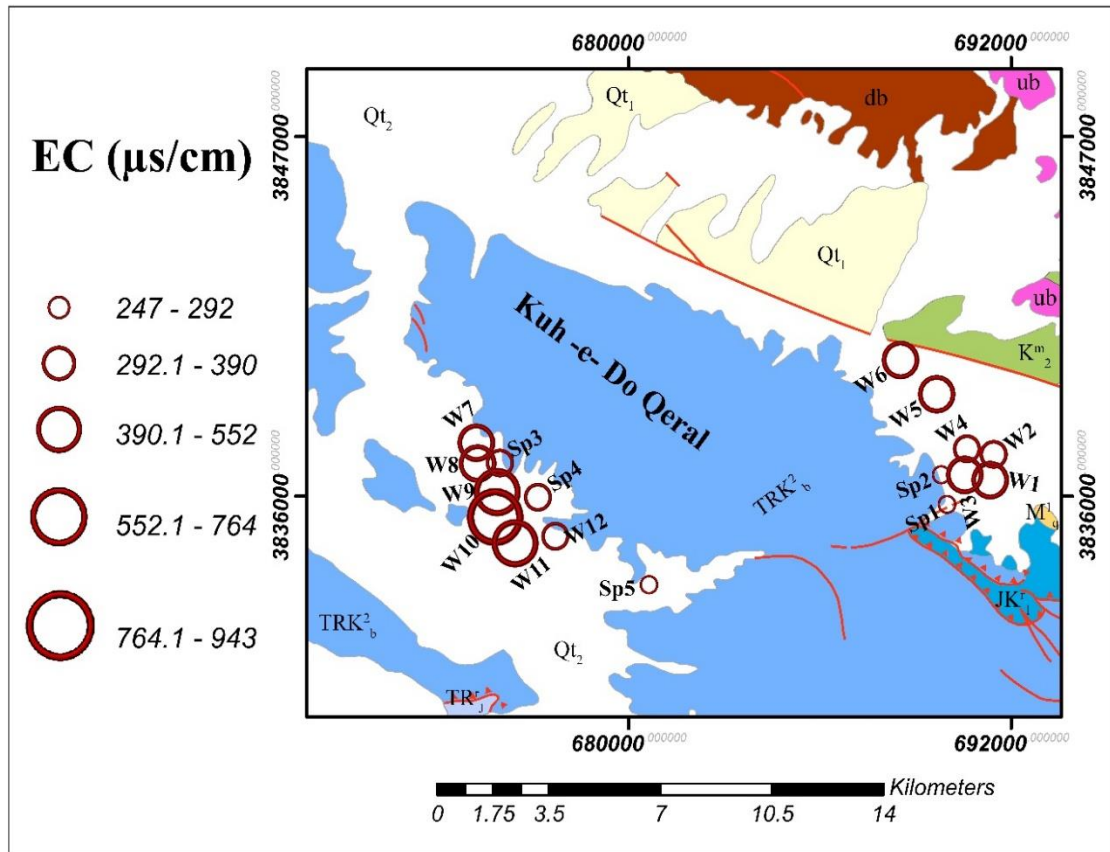
هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی است که به سادگی قابل اندازه‌گیری است. این پارامتر نشان‌دهنده مقدار املاح موجود در آب است به طوری که با افزایش میزان املاح موجود در آب، میزان هدایت الکتریکی (EC) آن نیز افزایش می‌یابد.

عوامل بسیاری بر روی قابلیت هدایت الکتریکی تأثیرگذار می‌باشند که از آن جمله می‌توان به لیتولوژی آبخوان و سازندهای مجاور، زمان اقامت آب در آبخوان، سرعت حرکت آب زیرزمینی، مقادیر نزولات جوی، میزان و نوع تغذیه به آبخوان، میزان بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی، آلودگی‌ها به آبخوان و نفوذ آب‌های شور به درون سفره آب زیرزمینی را نام برد. شکل (۴-۲۶) مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشاهده می‌شود در دشت بیلوار با نزدیک شدن به مرز بین آبخوان کارستی و آبرفتی مقادیر هدایت الکتریکی افزایش یافته است. که می‌تواند نشان‌دهنده یک خط تقسیم آب در نزدیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال با آبخوان آبرفتی دشت بیلوار باشد که یکی از شواهد عدم ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار می‌باشد.

همچنین در دشت میان‌دربند با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی مقادیر هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد که از دلایل آن می‌توان به طولانی شدن مسیر جریان که با افزایش میزان انحلال همراه است و نیز تداخل با آب زیرزمینی که از سمت دشت بیلوار به این دشت وارد می‌شود، اشاره کرد. لازم به ذکر است با توجه به تداخل آب زیرزمینی در دشت میان‌دربند هدایت الکتریکی به میزان زیادی افزایش پیدا نمی‌کند که این مطلب گویای یک منبع تغذیه‌کننده با هدایت الکتریکی پایین و نیز دلیلی بر وجود ارتباط بین آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند و آبخوان کارستی کوه دوقرال باشد.

لازم به ذکر است که نقشه EC، نقشه هم‌پتانسیل را تأیید می‌کند به این ترتیب که در دشت بیلوار جهت جریان آب زیرزمینی از هر دو سو به سمت مرز بین آبخوان کارستی و آبرفتی است و دشت بیلوار با آبخوان کارستی کوه دوقرال ارتباط هیدرولیکی ندارد. افزایش مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌ها به سمت این مرز مهر تأییدی بر این مسئله است. همچنین در دشت میان‌دربند جهت جریان از آبخوان کارستی کوه دوقرال به سمت آبخوان آبرفتی می‌باشد و این دشت با آبخوان کارستی در ارتباط

است. افزایش مقادیر هدایت الکتریکی با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی تأییدی بر وجود ارتباط این آبخوان با آبخوان کارستی دشت بیلوار است.

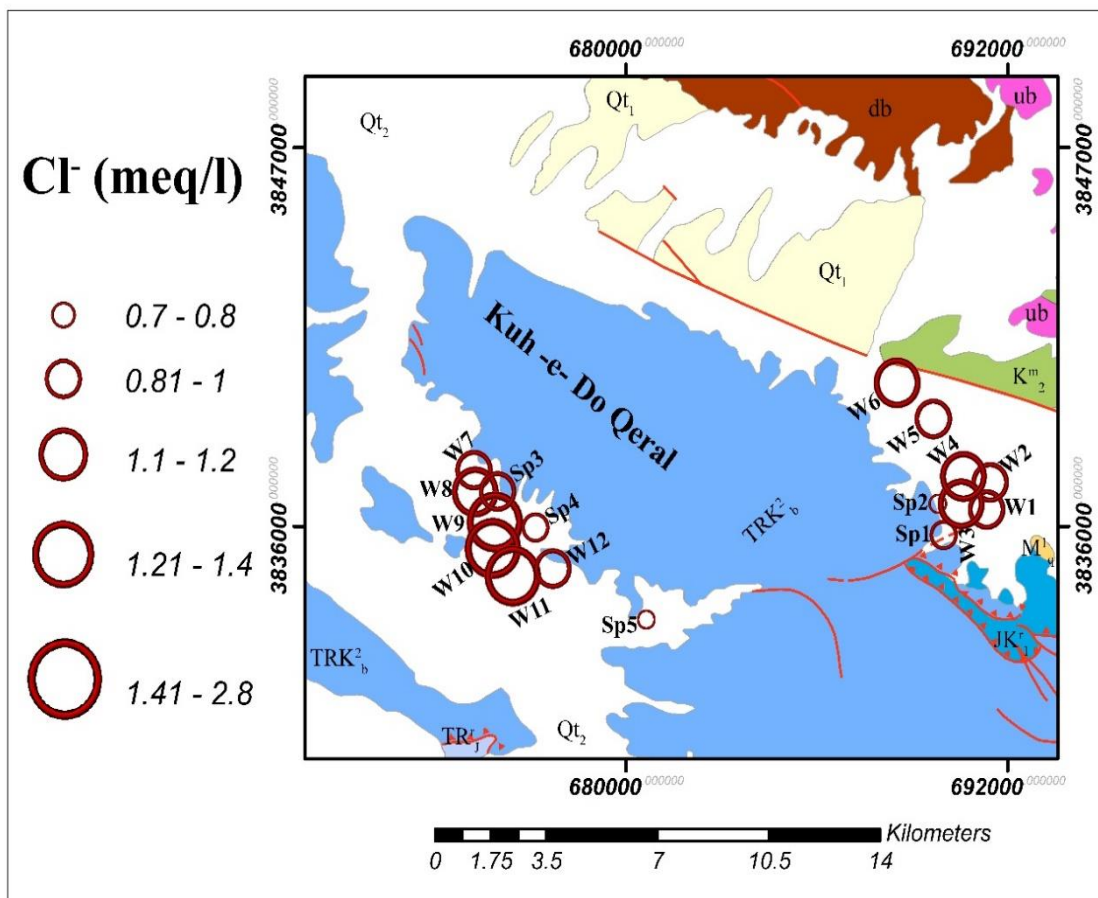


شکل ۴-۲۶: نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۴-۳ بررسی تغییرات مکانی یون کلر

کیفیت آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه متفاوت است. از این رو برای بررسی کیفیت، میزان املاح محلول و نیز وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نقشه تغییرات مکانی یون کلر (شکل‌های ۴-۲۷) ترسیم و مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت ترسیم این نقشه ابتدا یکسری نمونه از چاه‌ها و چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برداشت و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. مقادیر یون کلر در هر یک از نمونه‌ها محاسبه شد و با استفاده از این مقادیر نقشه تغییرات مکانی یون کلر ترسیم گردید.

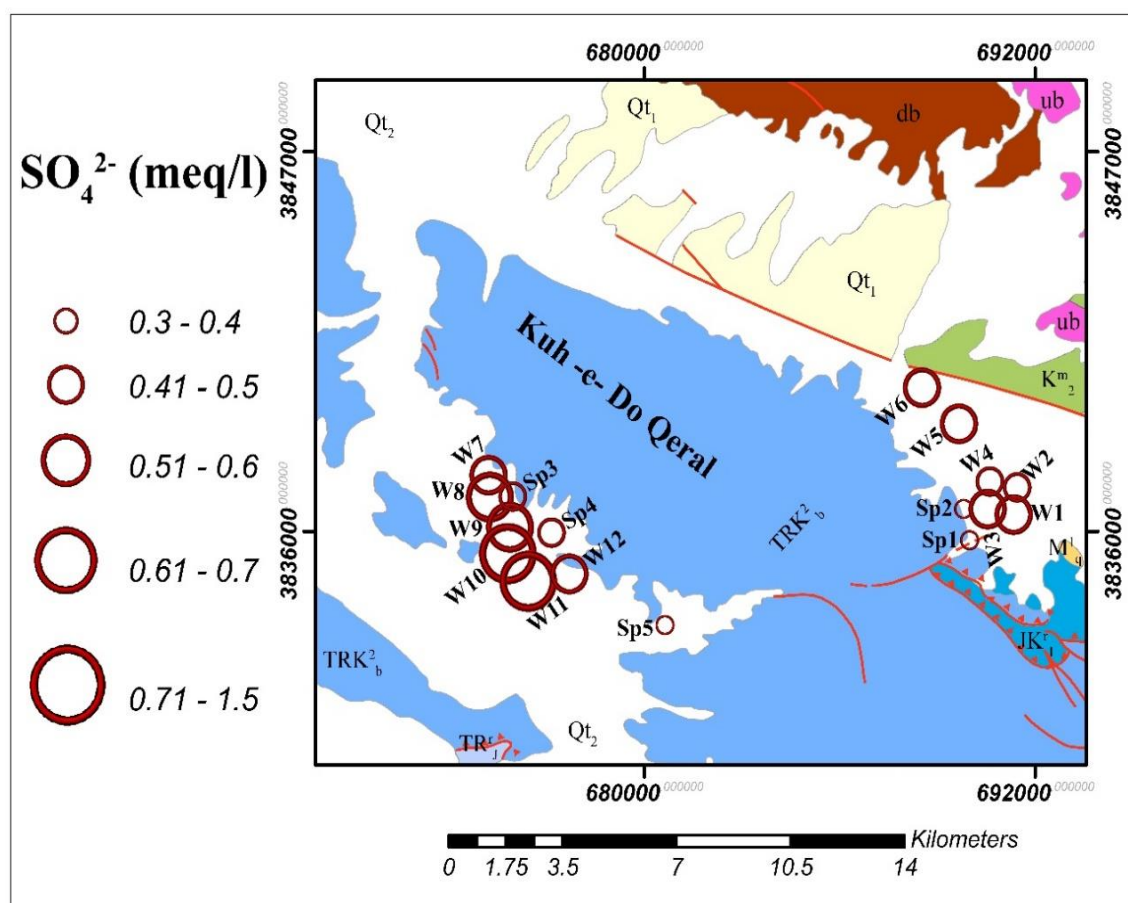
بر اساس نقشه تغییرات یون کلر مشاهده می‌شود که تشابه زیادی بین این نقشه و نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی وجود دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود از آبخوان کارستی کوه دوقرال و نیز آبخوان آبرفتی دشت بیلوار به سمت مرز بین این دو آبخوان مقدار یون کلر افزایش می‌یابد که این مطلب می‌تواند گویای یک مرز تقسیم آب بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار باشد. همچنین در آبخوان آبرفتی دشت میان‌در بند نیز با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی مقادیر یون کلر افزایش می‌یابد که از دلایل این امر نیز می‌توان به افزایش طول مسیر جریان و زمان ماندگاری و نیز تداخل با آب‌های زیرزمینی که از دشت بیلوار منشأ گرفته و از دشت میان‌در بند عبور می‌کنند، دانست. با توجه به اینکه در آبخوان آبرفتی دشت میان‌در بند در جاهایی که در فواصل نزدیک به آبخوان کارستی کوه دوقرال قرار دارند میزان یون کلر کمتر از مناطق دیگر این دشت است می‌توان به اثرات تغذیه آبخوان آبرفتی به وسیله آبخوان کارستی کوه دوقرال اشاره کرد.



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

#### ۴-۴-۴ 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 و رطوبت اکسید شده و به سولفات تبدیل می‌شوند که در اثر انحلال در آب جاری، به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند. (Fersenius *et al.* 1998). غلظت این یون اگر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر شود باعث تلخی مزه آب می‌شود. شکل (۴-۲۸) نقشه تغییرات مکانی یون سولفات را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۸: نقشه تغییرات مکانی یون سولفات در محدوده مورد مطالعه

با توجه به این نقشه مقادیر یون سولفات نیز از روند کلی یون کلر و هدایت الکتریکی پیروی می‌کند. با توجه به مقادیر این یون در آبخوان آبرفتی دشت بیلوار و آبخوان کارستی کوه دوقرال (بخش شمالی

منطقه مورد مطالعه) مشاهده می‌شود که با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی و آبرفتی و نزدیک شدن به مرز بین این آبخوان‌ها مقادیر یون سولفات افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند نشان دهنده وجود یک مرز تقسیم آب بین آن‌ها باشد.

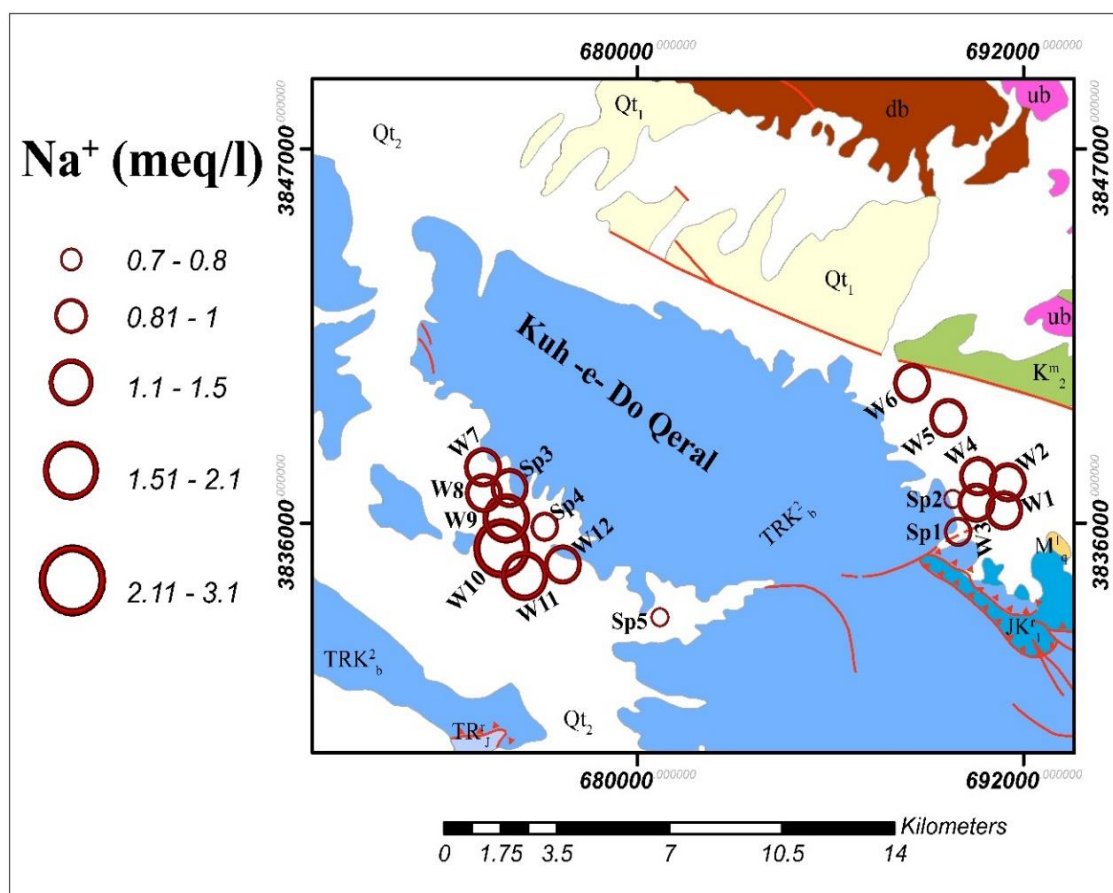
لازم به ذکر است که با افزایش زمان ماندگاری و طولانی شدن طول مسیر جریان آب زیرزمینی میزان غلظت یون سولفات در نمونه‌های برداشت شده از دشت بیلوار افزایش می‌یابد. همچنین در دشت میان‌دریوند (بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه) نیز با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی کوه دوقرال مقادیر یون سولفات افزایش می‌یابد که این افزایش می‌تواند به دلیل طولانی‌تر شدن مسیر جریان و زمان ماندگاری آب در آبخوان و نیز اختلاط آب زیرزمینی که از دشت بیلوار سرچشمه گرفته و از دشت میان‌دریوند عبور می‌کند دانست.

همچنین با توجه به اینکه در دشت میان‌دریوند نمونه‌هایی که در فواصل نزدیک به آبخوان کارستی برداشت شده‌اند مقادیر یون سولفات کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند می‌توان به این نتیجه رسید که جهت جریان از آبخوان کارستی کوه دوقرال به سمت آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند است.

#### ۴-۴-۵ بررسی تغییرات مکانی یون سدیم

یون سدیم یکی از فراوان‌ترین فلزات قلیایی موجود در آب زیرزمینی می‌باشد که رابطه مستقیمی با درجه شوری آب دارد. به طور کلی رابطه مستقیمی بین تغییرات یون کلر و سدیم وجود دارد به این ترتیب که با افزایش مقادیر یون کلر در آب زیرزمینی مقدار یون سدیم نیز افزایش می‌یابد و همچنین با کاهش این یون مقدار یون سدیم نیز کاهش می‌یابد. شکل (۴-۲۹) تغییرات مکانی یون سدیم در نمونه‌های برداشتی از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که از تغییرات مکانی یون سدیم در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود مقادیر غلظت این یون در نمونه‌های برداشت شده از آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند بیشتر از نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار است. دلیل این امر را می‌توان به افزایش طول مسیر جریان، زمان ماندگاری آب و نیز ورود آب منشأ گرفته از دشت بیلوار به درون آبخوان دشت میان‌دریوند اشاره کرد.



شکل ۴-۲۹: نقشه تغییرات مکانی یون سدیم در منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۴-۶ بررسی تغییرات هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه

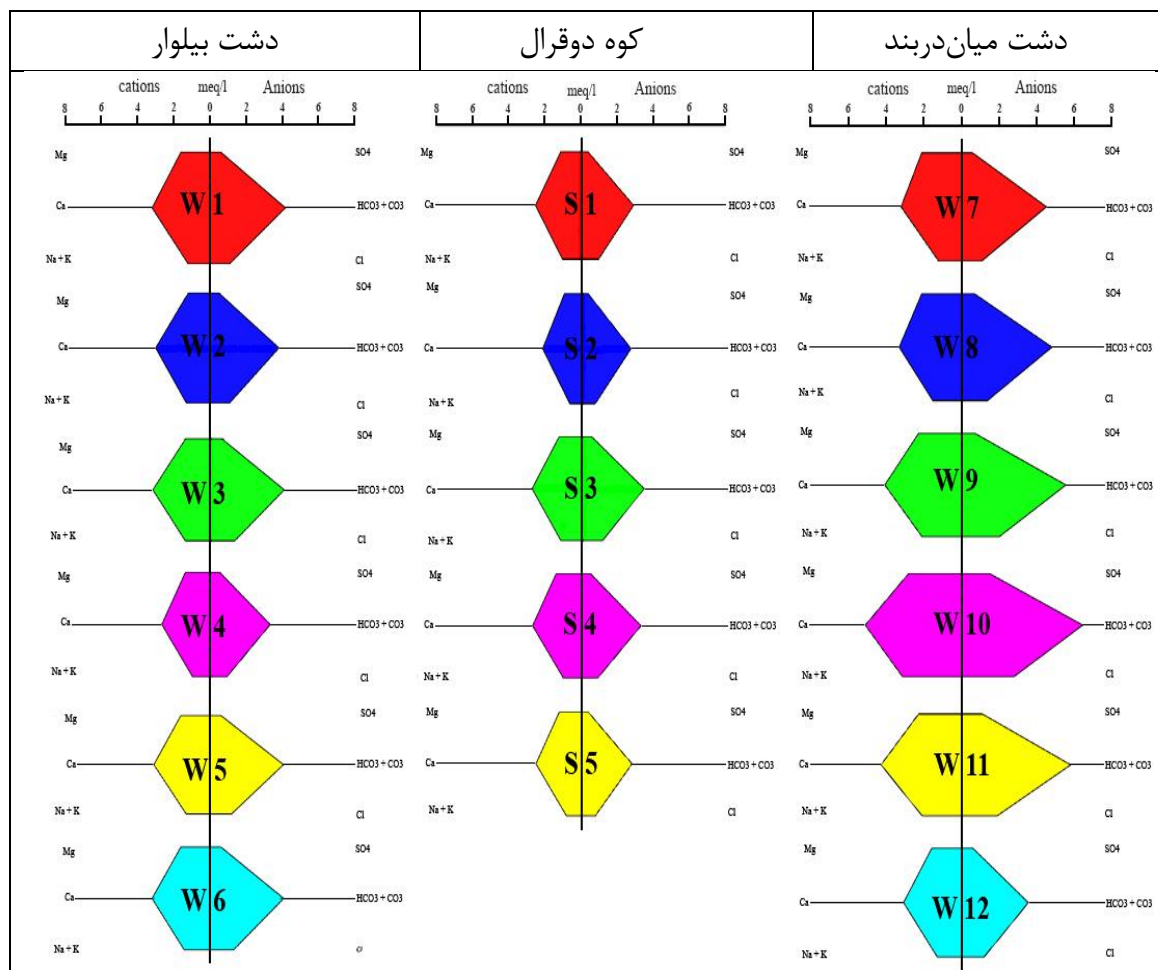
کاتیون و آنیون‌های اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند و روش‌های متعددی نیز جهت تفسیر داده‌های حاصل از آنالیز آن‌ها وجود دارد. به علاوه با استفاده از تفسیر این داده‌ها می‌توان به تیپ غالب آب‌های زیرزمینی، مسیرهای تکاملی و نیز پدیده اختلاط بین منابع آبی مختلف پی برد.

بنابراین بررسی مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در مطالعات هیدروژئوشیمیایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Robins 2002). جهت تفسیر داده‌های هیدروشیمیایی آبخوان‌های آبرفتی و کارستی موجود در منطقه مورد مطالعه 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.

## الف - 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 برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب در سمت چپ و راست محور قائم قرار می‌گیرند. شکل (۴-۳۰) نمودار استیف نمونه‌های آب برداشت شده از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی مجاور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۰: نمودارهای استیف رسم شده برای نمونه‌های آب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه



بر اساس نمودار استیف رسم شده برای نمونه‌ها می‌توان مشاهده کرد که برای تمام نمونه‌ها آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم است. بنابراین تیپ آب در تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه یکسان و بی‌کربنات - کلسیک می‌باشد.

لازم به ذکر است که در دشت بیلوار به دلیل وسعت کم و شیب نسبتاً زیاد آبخوان، زمان ماندگاری آب زیرزمینی کم و در نتیجه فرصت کافی برای واکنش‌های بین آب و سنگ و پدیده انحلال وجود ندارد و در نتیجه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از این آبخوان کم است.

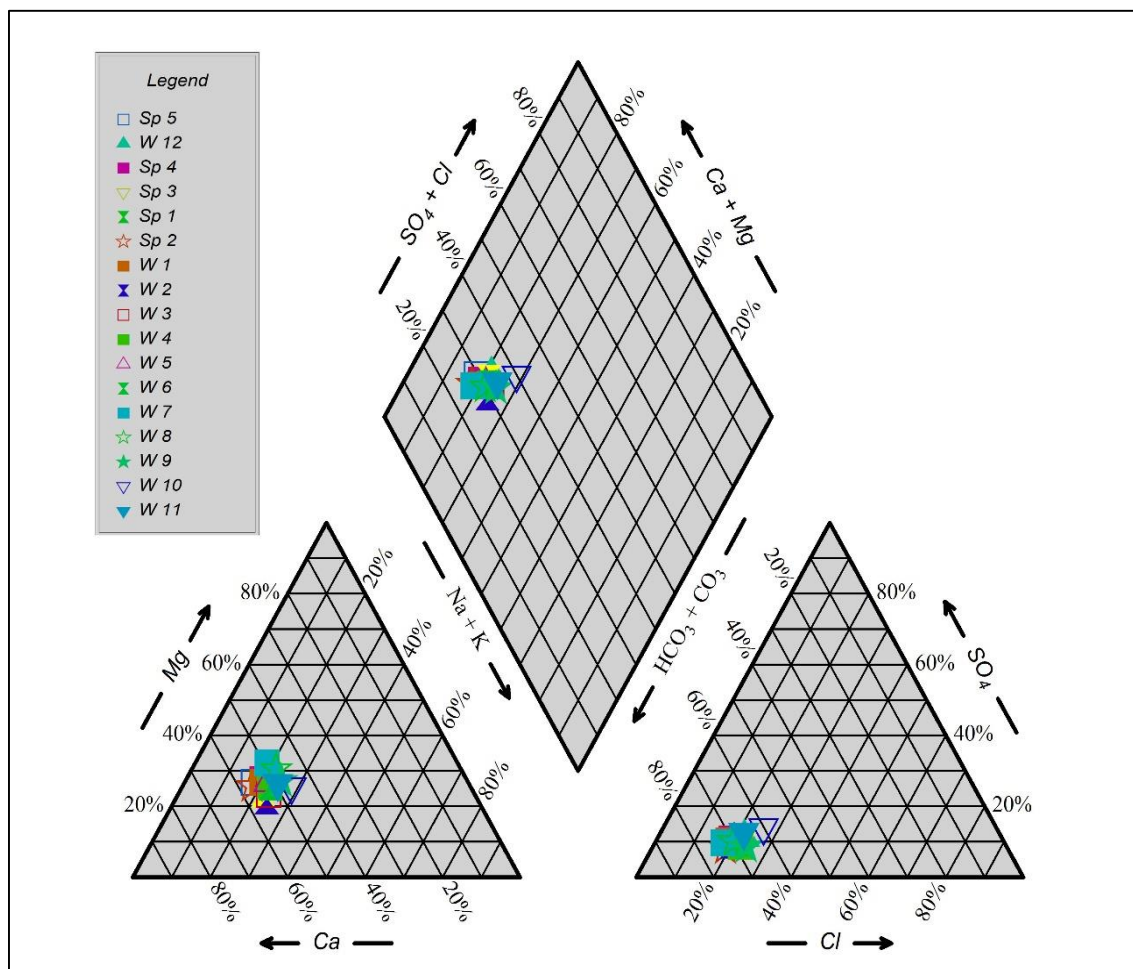
درحالی‌که در دشت میان‌دربند به دلیل طولانی شدن مسیر حرکت آب زیرزمینی و زمان ماندگاری طولانی‌تر و نیز بحث اختلاط با آب‌هایی که از دشت بیلوار، آبخوان کارستی کوه دوقرال و نیز آب زیرزمینی که از سمت کامیارن وارد این دشت می‌شود، میزان غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از این دشت افزایش یافته است و نمودار استیف نمونه‌های این دشت حالت کشیده‌تری دارند.

### ب - 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 برحسب درصدی از کل کاتیون‌ها برحسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده و سپس به صورت یک نقطه بر روی مثلث سمت چپ مشخص می‌گردند، به طور مشابهی آنیون‌ها نیز به صورت یک نقطه بر روی مثلث سمت راست مشخص می‌گردند. سپس از این دو نقطه، دو خط به موازات دو ضلع لوزی رسم می‌گردند که تیپ آب را مشخص می‌نماید.

نمودارهای پایپر عمدتاً جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی، مسیرهای تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها، اختلاط بین آب‌ها و همچنین تبادل یونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۴-۳۱) نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی را نشان می‌دهد.





شکل ۴-۳۱: نمودارهای پایپر رسم شده برای نمونه‌های آب برداشت شده از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی

همان طور که از نمودار پایپر ترسیم شده ملاحظه می‌شود جایگاه نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مثلث مربوط به کاتیون‌ها در قسمت پایین و گوشه سمت چپ قرار دارند که نشان‌دهنده مقادیر بالای کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و مقادیر اندک سدیم و پتاسیم در نمونه‌های است و نیز جایگاه نمونه‌ها در مثلث مربوط به آنیون‌ها در قسمت پایین و گوشه سمت چپ قرار دارند که نشان‌دهنده مقادیر بالای بی‌کربنات و مقادیر کم یون‌های سولفات و کلر می‌باشد.

بر اساس محل قرارگیری نمونه‌ها در لوزی مربوط به تیپ آب، نمونه‌ها دارای تیپ بی‌کربناته و رخساره کلسیک هستند. همچنین بالا بودن غلظت قلیایی‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم نشانه سخت بودن آب‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به کوچک بودن، شیب زیاد و

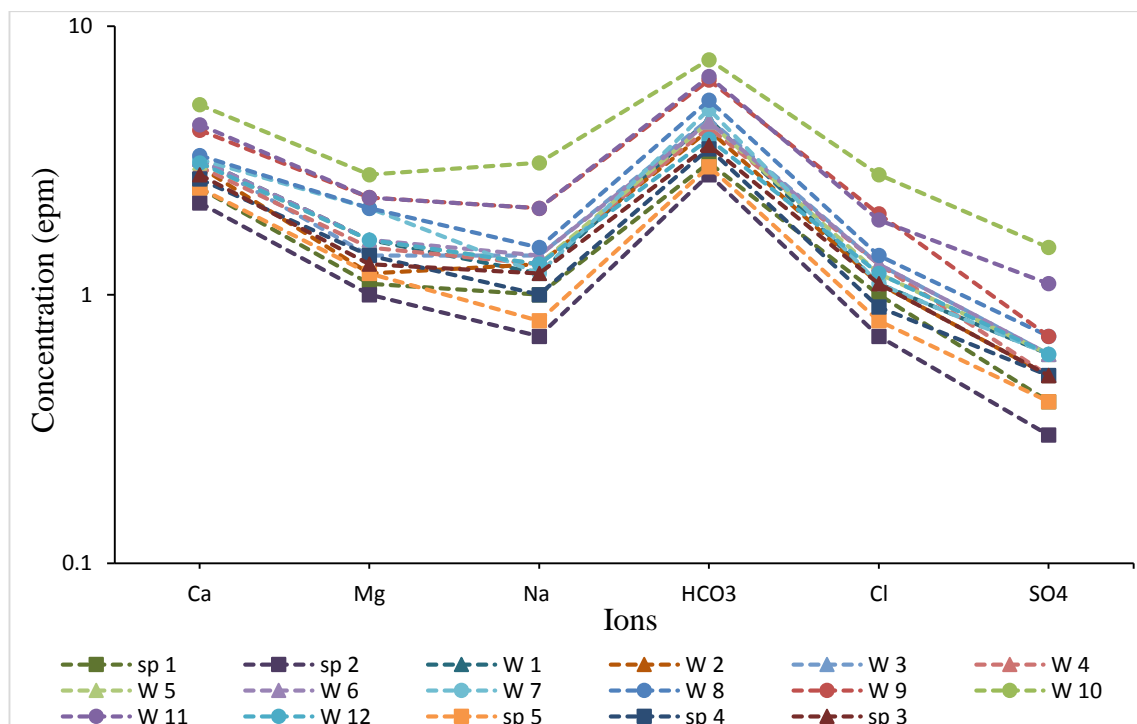
زمان ماندگاری کم آب در دشت بیلوار و نیز اختلاط آب دشت میان دربند با آب زیرزمینی آبخوان کارستی کوه دوقرال که کیفیت مناسبی دارد، نمونه‌ها در نمودار پایپر در یک نقطه قرار گرفته‌اند.

### ج - نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها، بررسی روند تغییرات مقادیر یون‌های اصلی موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی و نیز مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنیون‌ها (سولفات، 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 (۴-۳۲) نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را

نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۲: نمودارهای شولر رسم شده برای نمونه‌های آب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

بر اساس نمودار شولر ترسیم شده مشاهده می شود که تغییرات یون های اصلی در نمونه های برداشت شده از آبخوان کارستی و آبخوان های آبرفتی روند مشابهی را نشان می دهد، که این روند تقریباً یکسان می تواند ناشی از منشأ یکسان نمونه ها، وسعت کم آبخوان های موجود در منطقه ی مورد مطالعه و یا تداخل در نمونه های برداشت شده از آب زیرزمینی باشد. کاتیون های کلسیم و منیزیم و آنیون بیکربنات یون های غالب موجود در نمونه های آب زیرزمینی برداشت شده است.

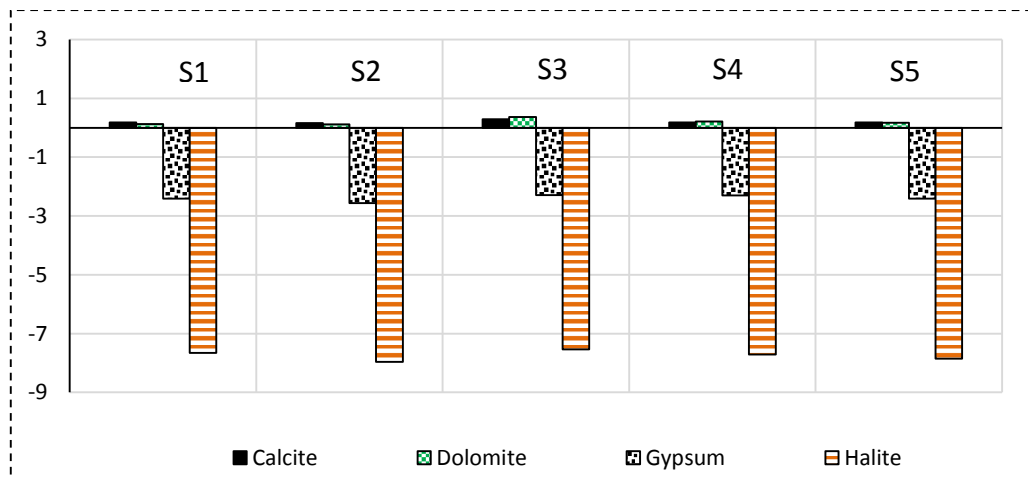
#### ۷-۴-۴ شاخص اشباع

به منظور محاسبه شاخص های اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت در نمونه های آب زیرزمینی آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان های آبرفتی دشت میان دربند و بیلوار از نرم افزار (PHREEQC) استفاده شده و نتایج آن در جدول (۴-۱۲) ارائه شده است.

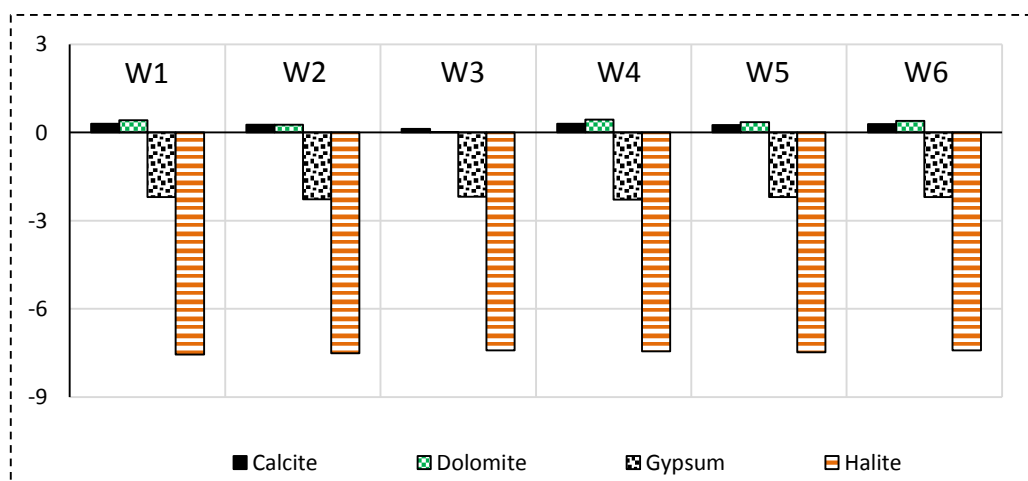
جدول ۴-۱۲: مقادیر نمایه های اشباع در نمونه های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

نمونه ها	کلسیت	دولومیت	ژپس	هالیت
S1	0.18	0.13	-2.41	-7.66
S2	0.16	0.12	-2.56	-7.96
S3	0.29	0.37	-2.29	-7.54
S4	0.18	0.21	-2.3	-7.71
S5	0.18	0.17	-2.41	-7.85
W1	0.3	0.42	-2.19	-7.55
W2	0.27	0.27	-2.27	-7.51
W3	0.12	0.01	-2.18	-7.41
W4	0.3	0.44	-2.28	-7.44
W5	0.25	0.35	-2.2	-7.47
W6	0.29	0.4	-2.19	-7.41
W7	0.29	0.54	-2.21	-7.55
W8	0.25	0.44	-2.14	-7.35
W9	0.26	0.41	-2.08	-7.06
W10	0.28	0.42	-1.72	-6.75
W11	0.34	0.53	-1.88	-7.08
W12	0.25	0.33	-2.19	-7.47

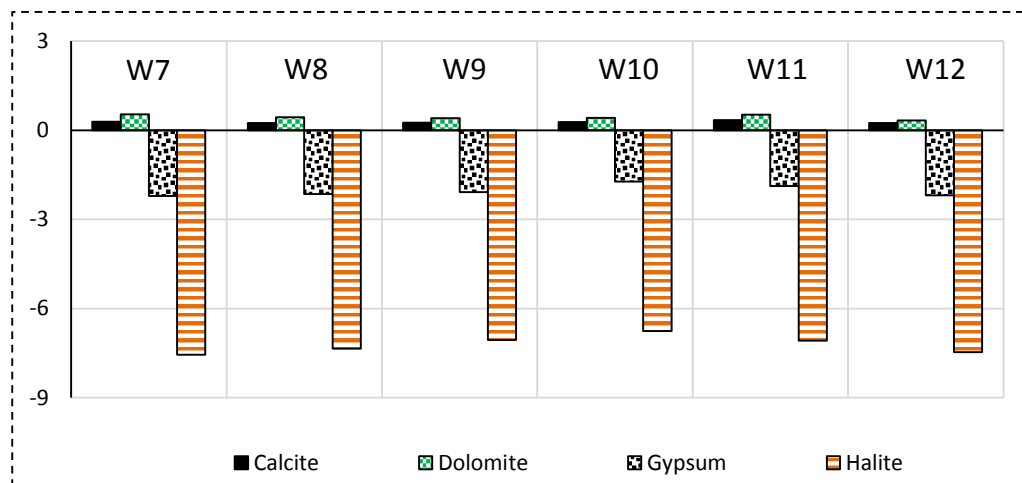
شکل‌های (۳۳-۴)، (۳۴-۴) و (۳۵-۴) به ترتیب تغییرات مکانی شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت را برای آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت بیلوار و میان‌دربند را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقه مورد مطالعه تغییرات مکانی شاخص‌های اشباع بسیار کم است. ضرایب اشباع برای کانی‌های هالیت و ژپس منفی هستند که نشانگر این است که آب زیرزمینی در این منطقه نسبت به این کانی‌ها به طور قابل توجهی تحت اشباع است و سنگ‌های حاوی این عناصر در منطقه وجود ندارند، در حالی که ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت و دولومیت فوق اشباع است که نشان‌دهنده وجود سنگ‌های حاوی این کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه است که تحت تأثیر پدیده انحلال وارد آب زیرزمینی شده‌اند.



شکل ۳۳-۴: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان کارستی کوه دوقرال



شکل ۳۴-۴: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت بیلوار



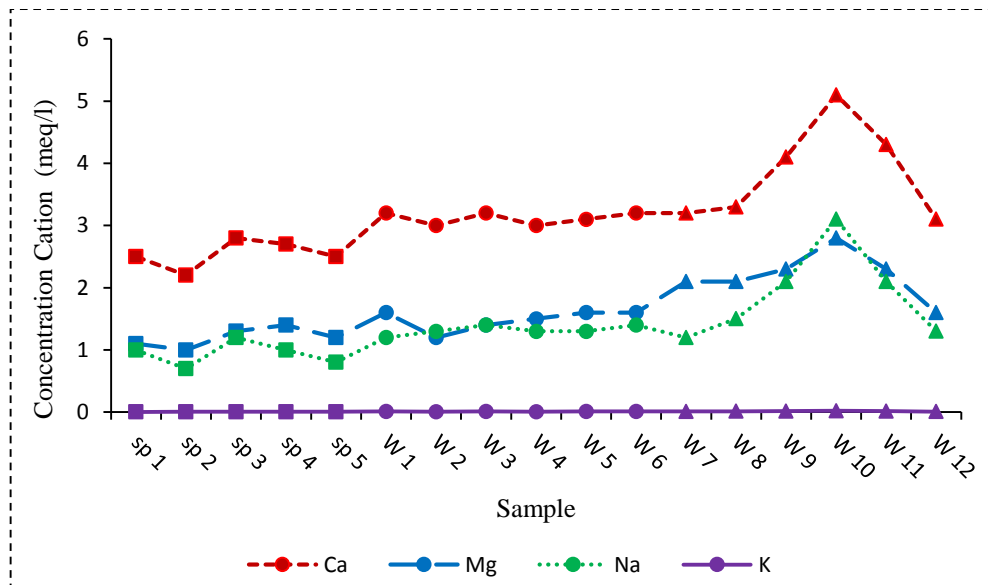
شکل ۴-۳۵: نمودار شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریند

#### ۴-۴-۸ نمودارهای ترکیبی

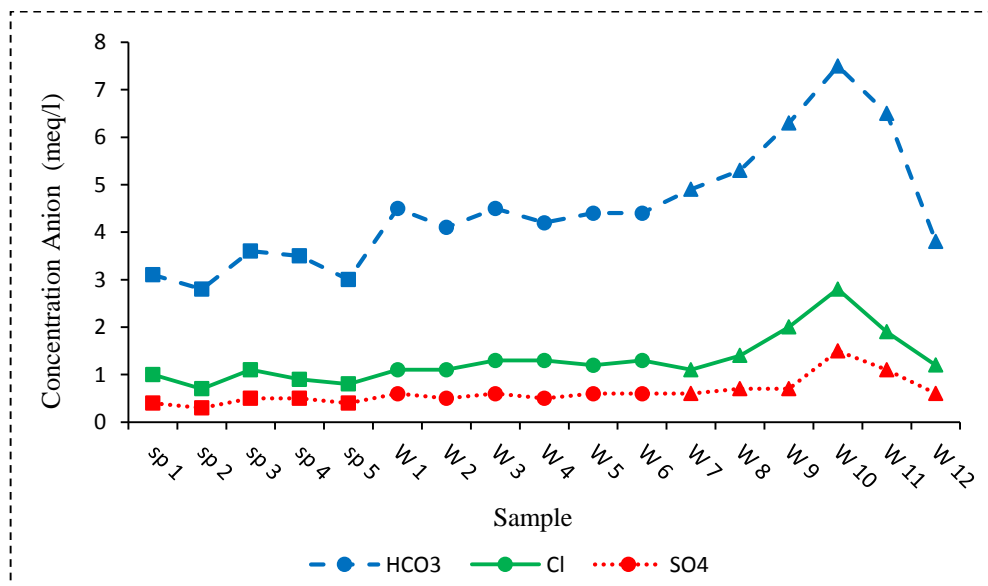
برای بررسی تأثیر فرایندهای ژئوشیمیایی بر کیفیت منابع آبی، منشأ یابی منابع آب زیرزمینی و وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی از نمودارهای ترکیبی بهره گرفته می‌شود. نسبت‌های یونی معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند. استفاده از این نسبت‌ها روش مناسبی برای تعیین منشأ 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 اهمیت قرار دارد (Hunselow 1995). بر این اساس، فرآیندهایی مانند خروج کلسیم، تبادل یونی، رسوب کلسیت و ... شیمی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده است. در جدول (۴-۱۱) نتایج حاصل از تحلیل نسبت‌های یونی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. به منظور بررسی غلظت یون‌های اصلی و تغییرات مکانی آن‌ها غلظت کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های اصلی (کلر، سولفات و بی‌کربنات) برای هر یک از نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری و نتایج آن در جدول (۴-۹) و (۴-۱۰) ارائه شده است.

همان‌طور که از شکل‌های (۴-۳۶) و (۴-۳۷) ملاحظه می‌شود میزان غلظت کاتیون و آنیون‌های اصلی در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار کم است که از دلایل اصلی آن می‌توان به وسعت کم، شیب نسبتاً زیاد، زمان ماندگاری کم آب زیرزمینی و در نتیجه کیفیت بالای آب در دشت بیلوار و همچنین توسعه بالای کارست، توسعه درز و

شکاف‌ها، کوتاه بودن مسیر جریان و زمان ماندگاری کم آب در آبخوان کارستی کوه دوقرال اشاره کرد. همچنین لازم به ذکر است که غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی در آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند نسبت به آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار بیشتر است که از دلایل عمده این موضوع می‌توان به افزایش طول مسیر جریان، افزایش زمان ماندگاری و از همه مهم‌تر پدیده اختلاط آب‌های زیرزمینی در محدوده این دشت دانست.



شکل ۴-۳۶: نمودار تغییرات مکانی کاتیون‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

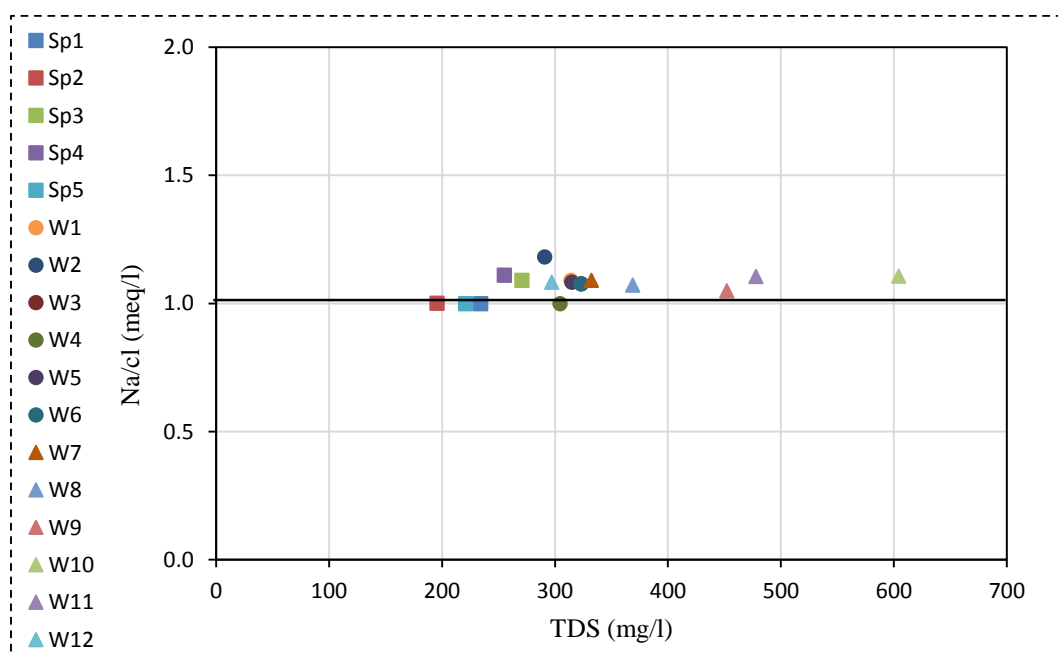


شکل ۴-۳۷: نمودار تغییرات مکانی آنیون‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

در شکل (۴-۳۸) نمودار دو متغیره TDS در مقابل Na/Cl برای نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت‌های بیلوار و میان‌دربند ارائه گردیده است. از این نمودار جهت تعیین وضعیت تبادل یونی در نمونه‌های آب برداشت شده از آبخوان‌های کارستی و آبرفتی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

طبق این نمودار در اکثر نمونه‌های مربوط به چشمه‌ها و چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه تبادل یونی وجود دارد و در هیچ یک از نمونه‌ها تبادل یونی معکوس دیده نشده است. دلیل این امر وجود برخی کانی‌های رسی (کانی مونت‌موریلونیت) است. در این حالت، Ca و Mg از آب خارج می‌شوند و Na جای آن‌ها را می‌گیرد و آنیون‌ها نیز بدون تغییر باقی می‌مانند. این مسئله، معمولاً با افزایش فراوان یون Na نسبت به یون Cl قابل تشخیص است.

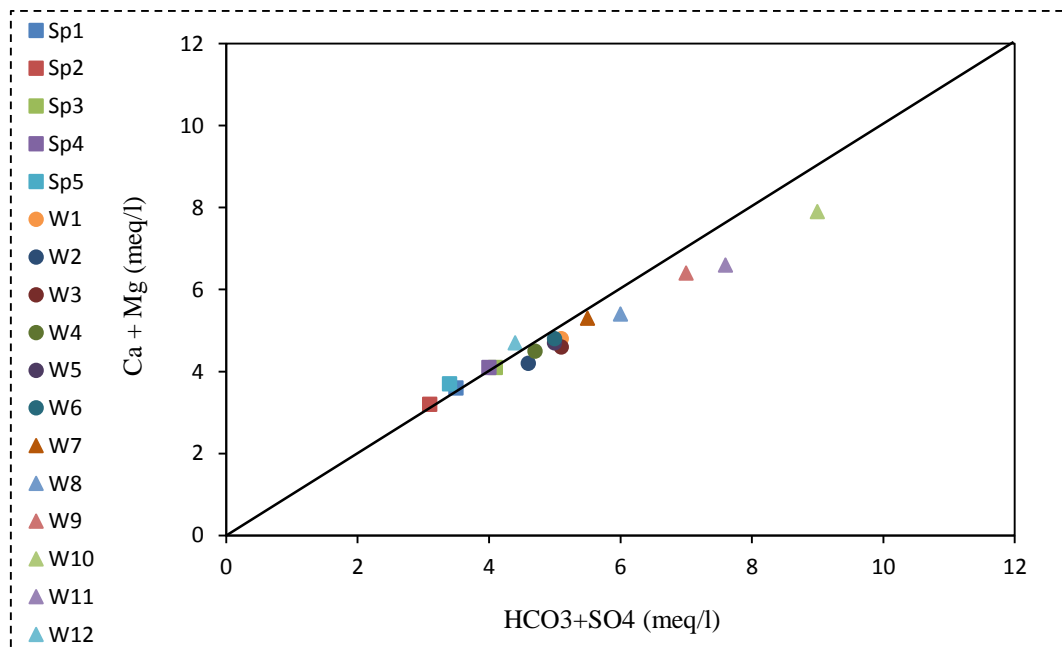
در نمونه‌های آب زیرزمینی مقدار کلر تابعی از یون سدیم می‌باشد. انحلال‌هالیت در آب غلظت مساوی از سدیم و کلر آزاد می‌کند (Margarita et al. 2001). با توجه به شکل نسبت یک به یک بین غلظت کلر و سدیم مهر تأییدی بر این موضوع است که انحلال‌هالیت منشأ اصلی این دو یون در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۴-۳۸: نمودار دو متغیره TDS در مقابل Na/Cl

در شکل (۴-۳۹) نمودار دو متغیره ( $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) در مقابل ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ) نشان داده شده است. خط ۱:۱ نشان‌دهنده فرایندهای انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس می‌باشد. اگر غلظت ( $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) در نمونه‌هایی که روی خط راست قرار می‌گیرند کمتر از ۱۰ (meq/l) باشد انحلال کلسیت و دولومیت و در صورتی که این غلظت بیشتر از ۱۰ (meq/l) باشد انحلال ژپس غالب می‌باشد. با توجه به مقادیر پایین ( $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که انحلال کلسیت و دولومیت غالب است.

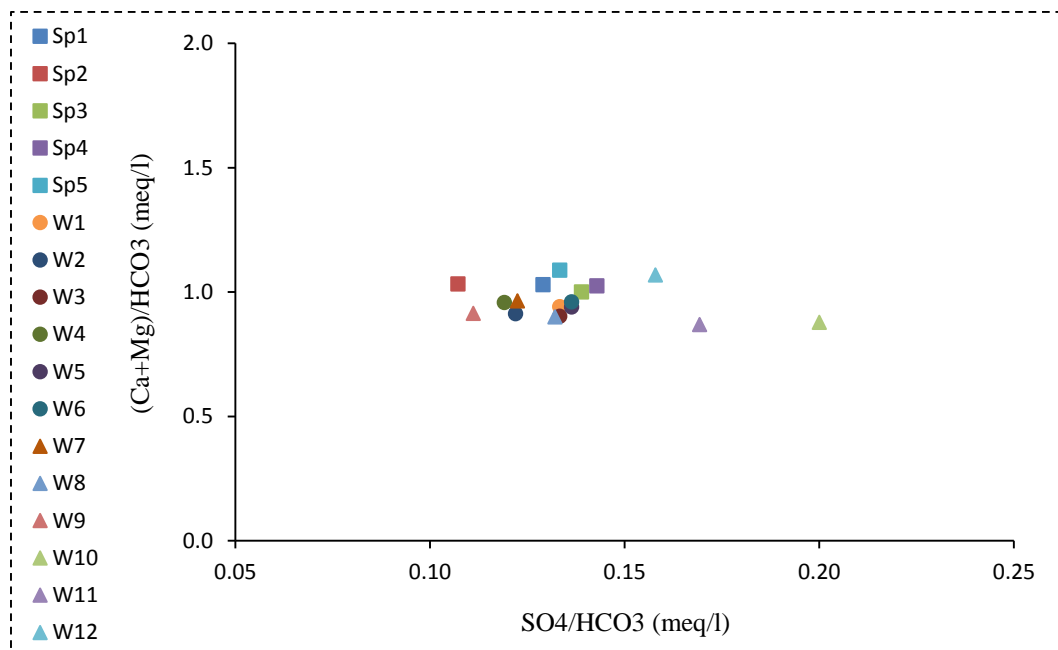
در نمونه‌هایی که در پایین و بالای خط ۱:۱ قرار می‌گیرند به ترتیب فرایند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس غالب می‌باشد (Mazor 2004). با توجه به محل قرارگیری نمونه‌ها در این نمودار مشاهده می‌شود که فرایند تبادل یونی اصلی‌ترین فرایند در نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی در این منطقه است.



شکل ۴-۳۹: نمودار دو متغیره ( $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) در مقابل ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ )

یکی از نسبت‌های مهم که از آن برای بررسی ارتباط و یا عدم ارتباط هیدرولیکی بین نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور آن‌ها استفاده می‌شود نسبت  $[\text{SO}_4^{2-}] / [\text{HCO}_3^-]$  به  $[\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}] / [\text{HCO}_3^-]$  می‌باشد (شکل ۴-۴۰).





شکل ۴-۴۰: نمودار دو متغیره  $[SO_4^{2-}] / [HCO_3^-]$  در مقابل  $[Ca^{+2} + Mg^{+2}] / [HCO_3^-]$

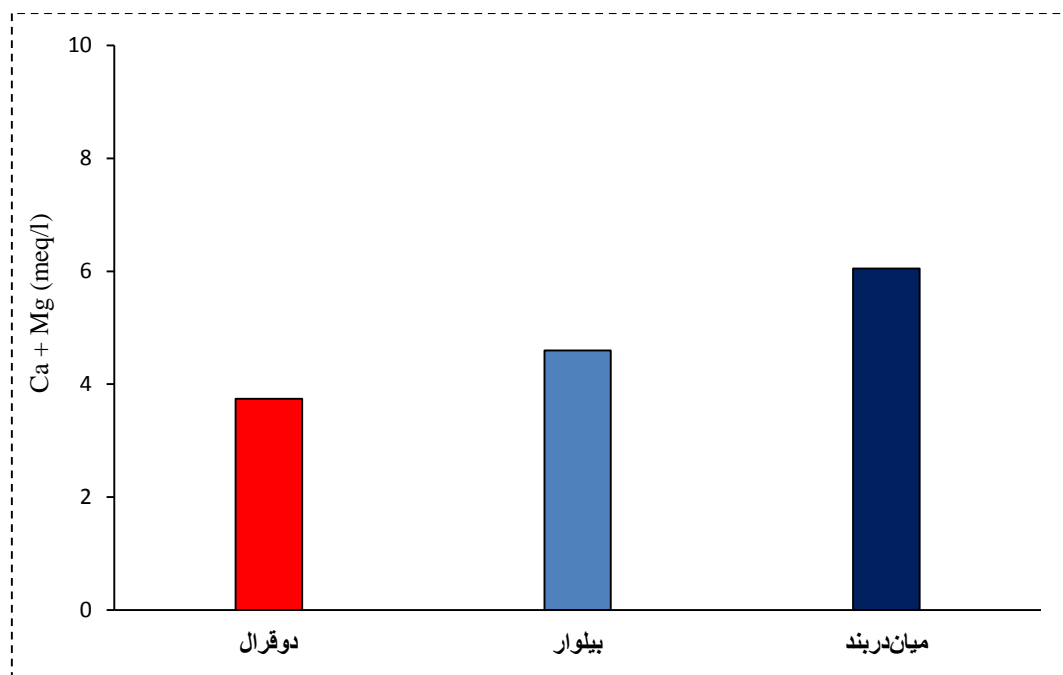
اگر آب زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی و آبرفتی با هم ارتباط هیدرولیکی نداشته باشند، روی این نمودار به طور مشخصی از هم تفکیک خواهند شد. و در صورتی که دارای ارتباط هیدرولیکی باشند محل قرار گیری نمونه‌های برداشت شده از این آبخوان‌ها روی این نمودار از یکدیگر تفکیک نخواهند شد.

بدین منظور این نمودار برای نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت بیلوار و دشت میان‌دریوند ترسیم شده است. با توجه به عدم ارتباط بین دشت بیلوار و آبخوان کارستی کوه دوقرال نمونه‌های برداشت شده از آن‌ها روی نمودار در نزدیکی هم قرار دارند و تفکیکی بین آن‌ها دیده نمی‌شود که دلیل عمده آن کیفیت بالای آب زیرزمینی در دشت بیلوار است. کیفیت بالای آب زیرزمینی در این دشت می‌تواند به دلیل کوچک بودن، شیب توپوگرافی زیاد، سرعت حرکت بالای آب زیرزمینی و در نتیجه زمان ماندگاری کم آب زیرزمینی در این دشت باشد.

با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که بین نمونه‌های W7، W8 و W12 که از آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند و در نزدیکی آبخوان کارستی برداشت شده‌اند و نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال تفکیکی دیده نمی‌شود و نشان دهنده ارتباط هیدرولیکی بین این دو آبخوان است. در حالی که نمونه‌های W9، W10 و W11 که از این آبخوان و با فاصله بیشتر از آبخوان کارستی برداشت

شده است، به طور مشخص تفکیک شده‌اند. دلیل اصلی این امر اختلاط آب‌های زیرزمینی وارده از سمت کامیاران، دشت بیلوار و کوه دوقرال در محدوده دشت میان‌دربند است که باعث افزایش املاح و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در محدوده این دشت شده است. همچنین با توجه به این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که تا حدی منشأ یون‌های  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  از ترکیبات کربناته مانند کلسیت و دولومیت است و آب‌های نامناسب و سولفات‌ها در منطقه وجود ندارد.

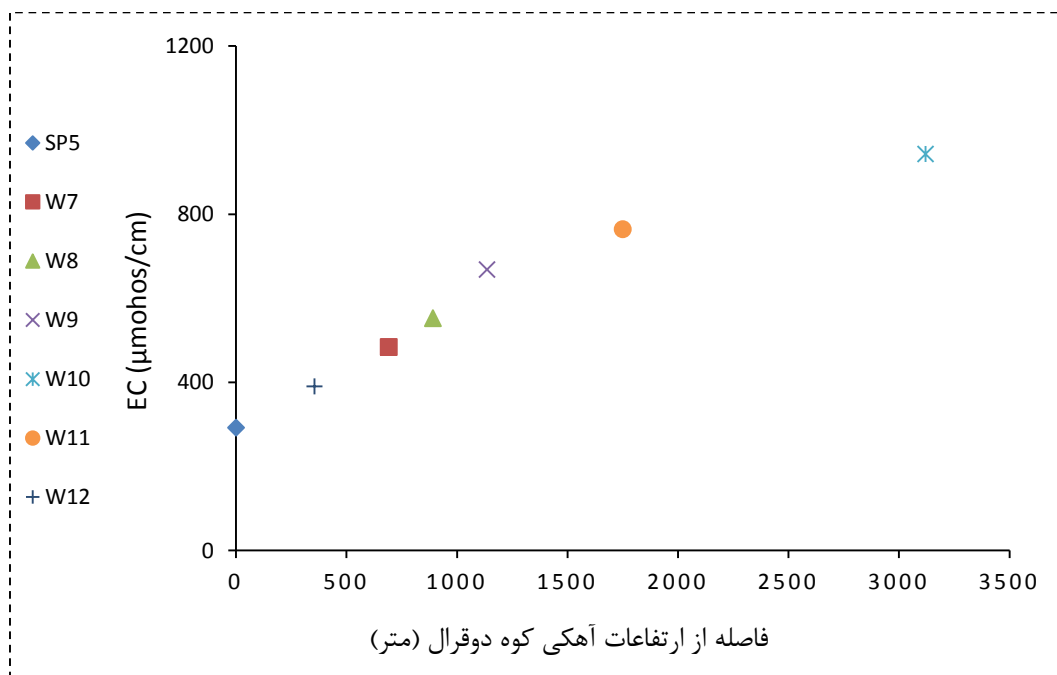
شکل (۴-۴۲) مجموع کلسیم و منیزیم ( $Mg^{+2} + Ca^{+2}$ ) را برای نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی دشت‌های بیلوار و میان‌دربند که در مجاورت آن قرار دارند را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۱: نمودار دو متغیره میانگین  $Ca^{+2} + Mg^{+2}$  برای هر یک از آبخوان‌ها

اختلاف زیاد این مقدار در نمونه‌های برداشت شده از هر آبخوان نشان‌دهنده عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی برداشت شده از این آبخوان‌ها می‌باشد و برعکس هرچه مقادیر این نسب به هم نزدیک باشد نشان‌دهنده وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های مختلف است. با وجود اینکه آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند با آبخوان کارستی کوه دوقرال ارتباط هیدرولیکی دارد،

شاید در نگاه اول میزان بالای مجموع  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  در دشت میان‌دریوند نسبت به آبخوان کارستی کوه دوقرال نشانه عدم ارتباط هیدرولیکی آن‌ها باشد. در حالی که دلیل اصلی افزایش مجموع  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  در آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریوند تأثیر پذیری از دو جریان است یکی آب‌های کارستی که از ارتفاعات دوقرال سرچشمه گرفته و دیگری آب‌های زیرزمینی وارده از سمت کامیاران و دشت بیلوار است که باعث افزایش املاح و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در محدوده این دشت شده است. برای تأیید این موضوع نمودار هدایت الکتریکی (EC) نسبت به فاصله گرفتن از ارتفاعات دوقرال برای دشت میان‌دریوند ترسیم شده است (شکل ۴-۴۳). این نمودار نشان می‌دهد که هرچه از ارتفاعات فاصله می‌گیریم میزان هدایت الکتریکی و املاح محلول افزایش پیدا کرده است که خود مهر تأییدی بر پدیده اختلاط آب زیرزمینی در محدوده این دشت است.



شکل ۴-۴۳: نمودار دومتغیره EC در مقابل افزایش فاصله از ارتفاعات کوه دوقرال برای دشت میان‌دریوند

#### ۵-۴ ارزیابی خصوصیات ژئومورفولوژیکی آبخوان کارستی کوه دوقرال

ژئومورفولوژی آبخوان کارستی طیف وسیعی از لندفرم‌ها (Landform) را شامل می‌شود که از ساده‌ترین و سطحی‌ترین آن‌ها مانند کارن تا تحول‌یافته‌ترین آن‌ها که غارها و پولیه‌ها هستند را دربر

می‌گیرد (Coper *et al.* 2011). با توجه به اهمیت بسیار بالای منابع آب کارستی در کشور، شناخت پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست به منظور تشخیص میزان توسعه کارست بسیار ضروری می‌باشد. مطالعه پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مناطق کارستی، در شناخت وضعیت هیدروژئولوژیکی سنگ‌های کربناته و تبخیری و نیز نقش آن‌ها در ارتباط با تغذیه و تخلیه حوضه‌های کارستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). بارزترین نتیجه پدیده کارستی شدن مورفولوژی خاصی است که مناطق کارستی را از نواحی دیگر کاملاً متمایز می‌سازد. از آنجایی که اشکال کارستی و تکامل تدریجی آن‌ها نتیجه مستقیم عمل انحلال آب در محیط‌های کربناته انحلال پذیر می‌باشد لذا درک کامل مورفولوژی این مناطق پیش‌نیازی برای حل یکسری از مسائل هیدروژئولوژیکی است (Milanovic 1981).

انحلال سنگ‌ها، پدیده‌های مورفولوژیکی خاصی را با ابعاد کمتر از یک میلی‌متر (میکرو کارن‌های کوچک) تا بیش از چندین کیلومتر (پولیه‌ها) ایجاد می‌نماید. به طور کلی انحلال در سطح، با سرعت و شدت بیشتری رخ می‌دهد، اما این پدیده‌ها می‌توانند از طریق توسعه درز و شکاف‌ها به زیر سطح نیز انتقال یافته و باعث تشکیل کارست زیرسطحی نیز شوند (Ford and Williams 2007).

توسعه کارست به معنی تمرکز فضاهای انحلالی در مناطق یا مسیرهای خاصی از سازندهای کارستی است. از مهم‌ترین شواهد توسعه کارست می‌توان به عوارض مورفولوژیکی از قبیل کارن‌های عمیق، فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود، پلینه‌ها، پانرها، غارها، چاه‌های کارستی (Shaft) و دره‌های خشک اشاره کرد. وجود تعدادی از این عوارض می‌تواند دلیل محکمی بر توسعه یافتگی کارست، در مناطقی که این عوارض وجود دارند، باشد. لازم به ذکر است که عدم حضور چنین عوارضی در یک منطقه، دلیلی بر عدم توسعه کارست در آن منطقه نیست (کریمی ۱۳۹۴).

به منظور ارزیابی دقیق‌تر توسعه کارست در ارتفاعات کارستی موجود در منطقه مورد مطالعه ابتدا با بررسی دقیق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی محدوده‌های با توسعه یافتگی مختلف مورد شناسایی قرار گرفتند. سپس با انجام بازدیدهای صحرایی نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به طور دقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ادامه به بررسی پدیده‌ها و عوارض مورفولوژیکی کارست موجود در منطقه پرداخته شده است.

#### ۴-۵-۱ سنگ‌های برهنه

با توجه به شیب توپوگرافی زیاد در یال جنوبی ارتفاعات آهکی کوه دوقرال پوشش خاک بر روی این سطوح سنگی وجود ندارد و یا در صورت حضور ضخامت اندکی را شامل می‌شود. به همین دلیل پوشش گیاهی در این بخش‌ها بسیار اندک و ناچیز بوده و یا اصلاً وجود ندارد و سنگ‌های برهنه عمده رخنمون را در این بخش شامل می‌شوند. شکل (۴-۴۷) نمایی از سنگ‌های برهنه در دامنه‌ی جنوبی کوه دوقرال را نشان می‌دهد. بر روی سنگ‌های برهنه منطقه می‌توان آثار انحلالی نظیر کارنها، گرایک‌ها و فضاهای انحلالی را مشاهده نمود که باعث افزایش تراوایی و تغذیه به توده کارستی گردیده است.



شکل ۴-۴۳: سنگ‌های برهنه موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال

#### ۴-۵-۲ فضاهای انحلالی

فرایند انحلال آثار فراوانی را بر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر ایجاد می‌کند. از فضاهای انحلالی که بر روی توده سنگ ایجاد می‌شوند می‌توان به حفرات چاله مانند (Pit and Tunnle) اشاره کرد که در اثر انحلال ترجیحی و توسعه آن بر روی سنگ‌های آهکی منطقه ایجاد شده است (۴-۴۸).



شکل ۴-۴: آثار انحلال در آهک‌های موجود در منطقه مطالعاتی

#### ۴-۵-۳ کارن‌ها

کارن‌ها (Karren) زهکش‌های کوچک سطحی و شکل‌های ویژه مناطق کارستی هستند که در نتیجه عوامل متعددی مانند عوامل هیدرولیکی، ساختمانی و انحلالی به وجود می‌آیند. اهمیت کارن‌ها از دیدگاه هیدرولوژی، در تولید یک الگوی زهکش سطحی با شاخه‌های بی‌نهایت کوچک، نقاط جذب آب متعدد و تعیین نرخ فرسایش می‌باشد (Ford and Williams 2007).

کارن‌ها در نتیجه عمل شیمیایی آب بر سنگ‌های آهکی تشکیل می‌شوند و در سنگ‌های دولومیتی ندرتاً و یا در ابعاد بسیار کوچک رؤیت می‌گردند. کارن‌های تشکیل شده در سنگ‌های آهکی می‌توانند دارای عمق ۲ تا ۳ متر و عرض یک متر باشند و حتی در بعضی موارد به عمق ۵ متر یا بیشتر نیز می‌رسند. وقتی کارن‌ها در امتداد شکاف‌ها تشکیل می‌شوند به آن‌ها کارن‌های شکافی می‌گویند. آن‌ها غالباً شبکه کارن با طرح متقاطع را به وجود می‌آورند و به کارن‌های شبکه مانند معروف هستند.

کارن‌ها شکل‌های ویژه کارست هستند که بهترین نشانه فرایند کارستی شدن را در عهد حاضر در سطح یک پهنه به نمایش می‌گذارند (Milanovic 1981). شکل (۴-۴) (۴۹-۴) نمایی از کارن‌های موجود در آهک‌های کوه دوقرال را نشان می‌دهد.





شکل ۴-۴۵: کارن‌های تشکیل شده در آهک‌های کوه دوقرال

مهم‌ترین عواملی که بر روی شکل کارن تأثیرگذار هستند عبارت‌اند از (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹):

- شیب زمین
- نوع پوشش: که می‌تواند شامل برف، خاک، سنگ لخت، پوشش‌های گیاهی مختلف و ... باشد.
- مقدار، توزیع و نوع بارش (باران، برف)
- آب و هوای منطقه: افزایش یا کاهش دمای آب، ناشی از اقلیم منطقه می‌تواند بر پتانسیل انحلال آب تأثیرگذار باشد.
- لیتولوژی: شامل نوع سنگ، میزان و نوع ناخالصی‌های موجود، ضخامت لایه‌ها، تخلخل سنگ، اندازه‌ی دانه‌ی ذرات، بافت (هموزن یا غیر هموزن)، میزان درزه‌ها و ...

#### ۴-۵-۴ آب‌فروچاله

واژه‌ی آب‌فروچاله (Sinkhole) از فرایندی که باعث ایجاد آن می‌شود، اقتباس شده است. آب از طریق یک گودال به درون زمین فرو می‌رود و رسوباتی که توسط آب شسته شده‌اند وارد این گودال

می‌شوند و از طریق آن می‌توانند وارد سیستم کارستی گردند. در این حالت سطح زمین در اثر انحلال سنگ‌های انحلال‌پذیر اطراف، پایین می‌افتد و ممکن است به صورت کامل ریزش نماید (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

فروچاله‌ها بعد از کارن‌ها شاخص‌ترین شکل‌های مورفولوژی کارست است. فروچاله‌ها در اکثر موارد نتیجه تأثیر شیمیایی آب بر سنگ‌های آهکی می‌باشد. این اثر مهم‌ترین عامل بوده ولی تنها عامل مؤثر در تشکیل حفره‌های فروکش تلقی نمی‌گردد. مکان‌هایی که دو یا چند گسل یکدیگر را قطع نموده است مناسب‌ترین نقطه شروع را برای فرایندهای کارستی شدن را فراهم می‌نمایند. روش دیگری برای تشکیل حفره‌های فروکش درون‌ریزی سقف مغارها و مجاری زیرزمینی کارست واقع در اعماق کم زیر سطح زمین است (Milanovic 1981).

فروچاله‌ها عوارض ژئومورفولوژیکی گودال‌مانندی هستند که ممکن است به اشکال متنوعی در مناطق کارستی دیده شوند. این اشکال کارستی، همانند کارن‌ها، چاه‌های کارستی و گودی‌های مسدود، از ویژگی کارست‌های توسعه‌یافته می‌باشند و همچنین این اشکال کارستی در زیر زمین دارای مجاری زیرسطحی قابل توجهی هستند. به‌ویژه در مواردی که فروچاله‌ها به‌صورت خطی و در یک راستا قرار گرفته باشند (کریمی ۱۳۹۴).

#### ۴-۵-۵ دره‌های خشک کارستی

دره‌هایی که فاقد آب دائمی باشند را دره‌های خشک (Dry Valleys) می‌نامند. این دره‌ها معمولاً در سنگ‌های کربناته با نفوذپذیری اولیه خوب و یا سایر سنگ‌های نفوذپذیر، نظیر ماسه‌سنگ ایجاد می‌شوند. دره‌های خشک زاگرس را که گاهی به‌عنوان "تنگ" شناخته می‌شوند را می‌توان در این دسته طبقه‌بندی نمود (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). شکل (۴-۵) نمایی از دره‌های خشک موجود در دامنه‌ی جنوبی کوه دوقرال را نشان می‌دهد.

این دره‌ها دارای رودخانه یا جریان‌های سطحی دائم یا موقت نیستند. منشأ آن‌ها مستقیماً با تکامل فرایندهای کارستی شدن مرتبط است بدین شکل که فرایندهای کارستی شدن به مراتب سریع‌تر از فرسایش جریان سطحی که دره را تشکیل می‌دهد عمل می‌کند. لازم به ذکر است که ترکیب



لیتولوژیکی و فعالیت‌های تکتونیکی نقش قابل توجهی در تشکیل دره‌های خشک کارستی دارند. در مکان‌هایی که سنگ‌های کربناته در معرض نیروی برخاست تکتونیکی هستند دره‌های فعال می‌توانند به دره‌های خشک تبدیل شوند (Milanovic 1981).

یکی از پدیده‌های مهم ژئومورفولوژیکی نواحی کارستی دره خشک است که عمدتاً در مناطق آهکی تشکیل می‌شود. این دره‌ها به طور معمول فاقد هرگونه جریان دائمی یا فصلی هستند. منشأ این دره‌ها به تشکیل و تکامل فرایند کارستی شدن مربوط می‌شود. در مسیر این دره‌ها نرخ فرایند کارستی شدن بیشتر از نرخ فرسایش است، بنابراین آب ترجیح می‌دهد از مسیرهای زیرسطحی که در اثر توسعه کارست ایجاد شده عبور کند. دره‌های خشک کارستی طویل و عمیق، به‌ویژه دره‌های خشک همگرا، مهم‌ترین مسیرهای جریان‌های آب زیرسطحی را در گستره‌های کارستی تشکیل می‌دهند (کریمی ۱۳۹۴).



شکل ۴-۴۶: دره‌های خشک موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال

#### ۴-۵-۶ غارهای کارستی

از نظر غار شناسان، هنگامی به یک فضای طبیعی روی زمین غار می‌گویند که انسان بتواند وارد آن شود (Weaver and Johnson 1980). با این حال تعریف غار از نظر هیدروژئولوژی متفاوت است و بر اساس این تعریف، غارها عبارت‌اند از بازشدگی‌های انحلالی که قطر یا پهنای آن‌ها بزرگ‌تر از ۱۵-۵ میلی‌متر باشد. این ابعاد، کمترین ابعادی است که در آن جریان از حالت خطی به آشفته تبدیل می‌شود (Dreybrodt and Siemers 2000).

شکل (۴-۵۱) نمایی از دهانه بیرونی یک غار کارستی در جنوب منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. شاید غارها را بتوان به دلیل معروفیت آن‌ها در نزد عموم و پراکنش زیاد آن‌ها شناخته‌ترین اشکال کارستی دانست که در عین حال تماشایی‌ترین آن‌ها نیز می‌باشند. غارها مجاری افقی ثانویه هستند که توسط چند مدخل به فضای بیرون مرتبط می‌شوند (کرمی ۱۳۹۴). در منطقه مورد مطالعه غار بزرگی مشاهده نشده ولی غارهای کوچک متعددی در دامنه شمالی و جنوبی ارتفاعات آهکی کوه دوقرال وجود دارند.



شکل ۴-۴۷: غارهای کارستی موجود در دامنه جنوبی کوه دوقرال

#### ۷-۵-۴ چاه‌های کارستی

چاه‌های کارستی (Shaft) مجاری قائم یا نزدیک به قائمی هستند که به سطح زمین باز می‌شوند. آن‌ها در افق‌های دارای درزه‌های قائم یا سیستم درزه‌هایی که توسط فرایند کارست عریض شده‌اند قرار دارند. شفت‌ها معمولاً در امتداد گسل‌ها و در فصل مشترک بین لایه‌های سنگ آهک و دولومیت یافت می‌شوند. وجود شفت یکی از نشانه‌های توسعه بالای کارست است (Milanovic 1981). شکل (۴-۵۲) دهانه بیرونی یک چاه کارستی در ارتفاعات منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

از اشکال مورفولوژیکی گود می‌توان به چاه‌های کارستی اشاره کرد. این اشکال که به‌صورت عمودی تشکیل می‌شوند و عمق آن‌ها تا ۵۰۰ متر و حتی بیشتر هم می‌رسد. جریان هیدرولیکی آب در تشکیل این اشکال نقش اصلی را ایفا می‌کنند. بدین جهت شفت‌ها معمولاً دارای سطح مقطع منظم‌تر به‌صورت دایره یا شبه دایره می‌باشند (کریمی ورنجانی ۱۳۸۹). چاه کارستی نیز از عوارض مهم مناطق توسعه‌یافته کارستی می‌باشند. چاه‌های کارستی را می‌توان مجاری یا کانال‌های کارستی عمودی یا نیمه عمودی در نظر گرفت که به سطح زمین راه پیدا کرده‌اند (کریمی ۱۳۹۴).



شکل ۴-۴۸: چاه کارستی موجود در ارتفاعات کوه دوقرال



#### ۸-۵-۴ چشمه‌های کارستی

چشمه‌های کارستی شامل مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زیر زمین بوده که نهایتاً به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند. چشمه‌های کارستی یا محل‌های ظهور آب در مناطق کارستی خیلی پراکنده هستند. اکثر چشمه‌های مهم در امتداد سطح اساس فرسایش یعنی در مرز محیطی پولزه‌های کارست، دره‌های رودخانه و ساحل دریا واقع شده‌اند. مشخصه مشترک این چشمه‌های کارستی اعم از دائم یا موقت وابستگی مستقیم بین بارش نزولات جوی (برف و باران) و جریان خروجی آن‌ها می‌باشد.

به‌طور کلی ظرفیت و مشخصه هیدرولوژیکی چشمه‌های کارست به تعدادی عوامل از قبیل: سطح حوضه آبرگیر، ظرفیت تأخیری آبخوان، تخلخل مؤثر، ترکیب زمین‌شناسی و عوامل مشابه دیگر بستگی دارد (Milanovic 1981). در منطقه مورد مطالعه تعدادی چشمه کارستی از قبیل سراب ورمنجه، سراب شاه‌حسین، سراب برنجان و سراب یوان وجود دارند. شکل (۴-۵۳) نمایی از چشمه کارستی را در دامنه کوه دوقرال را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۹: نمایی از چشمه کارستی در دامنه شمالی کوه دوقرال

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل نتایج حاصل از کلیه مراحل تحقیق انجام شده در مورد ارزیابی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان‌های کارستی کوه دوقرال و آبخوان‌های آبرفتی مجاور (آبخوان‌های آبرفتی دشت بیلوار و دشت میان‌دریند) در شمال کرمانشاه به صورت خلاصه ارائه خواهد گردید. همچنین سعی شده است تا پیشنهادهایی جهت انجام مطالعات بعدی ارائه شود.

### ۵-۱ نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق شامل بررسی توسعه کارست در ارتفاعات آهکی موجود در منطقه مورد مطالعه، وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریند، عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار و بررسی و مقایسه کیفیت و هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه است.

### ۵-۱-۱ توسعه بالای کارست در منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه تعدادی چشمه با آبدهی نسبتاً زیاد و تغییرات آبدهی بالا وجود دارند. تغییرات آبدهی زیاد این چشمه‌ها خود می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که کارست موجود در منطقه مورد مطالعه (ارتفاعات آهکی کوه دوقرال) به شدت توسعه یافته است. همچنین در این ارتفاعات آهکی عوارض ژئومورفولوژیکی فراوانی نظیر کارن، فروچاله، دره‌های خشک، چاه کارستی، فضاهای انحلالی، گودی‌های مسدود و غار وجود دارند که یکی دیگر از دلایل و نشانه‌های مهم توسعه بالای کارست و نرخ نفوذ بالا در آهک‌های این منطقه است.

### ۵-۱-۲ عدم ارتباط آبخوان آبرفتی دشت بیلوار با کوه دوقرال

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل ترسیم شده برای منطقه مشاهده می‌شود که آبخوان کارستی کوه دوقرال آبخوان آبرفتی دشت بیلوار را تغذیه نمی‌کند و بین آن‌ها ارتباط هیدرولیکی وجود ندارد. از دلایل این عدم ارتباط می‌توان به جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی بیلوار اشاره کرد که از شمال شرق به سمت آهک‌ها می‌باشد. به عبارت ساده‌تر، مرز بین آهک‌ها و آبخوان آبرفتی کمترین بار هیدرولیکی وجود دارد. به این ترتیب که مرز بین آبخوان کارستی و آبخوان آبرفتی پایین‌ترین بار هیدرولیکی را شامل می‌شود و این مرز از هر دو سو جریان‌های آب زیرزمینی را دریافت می‌کند. نقشه‌های هیدروشمی ترسیم شده برای نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار نیز مهر تأییدی بر عدم ارتباط هیدرولیکی بین این دو آبخوان است. با توجه به نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و نقشه‌های تغییرات مکانی یون‌های کلر، سولفات و سدیم مشاهده می‌شود که از آبخوان کارستی کوه دوقرال و نیز آبخوان آبرفتی دشت بیلوار به سمت مرز بین این دو آبخوان مقادیر هدایت الکتریکی و این یون‌ها افزایش می‌یابد که این مطلب می‌تواند گویای عدم ارتباط بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار باشد. زیرا در صورت وجود ارتباط هیدرولیکی بین این دو آبخوان با توجه به کیفیت بسیار بالای آب در آبخوان کارستی با نزدیک شدن به مرز بین دو آبخوان، می‌بایست مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های کلر، سولفات و سدیم کاهش پیدا کند.

### ۵-۱-۳ وجود ارتباط بین آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند با کوه دوقرال

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل ترسیم شده به وضوح ملاحظه می‌شود که آبخوان کارستی کوه دوقرال آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند را تغذیه می‌کند. به این ترتیب که یکی از مهم‌ترین مناطق تغذیه کننده آبخوان دشت میان‌دربند مرز این آبخوان با آهک‌های کوه دوقرال می‌باشد. نقشه‌های هیدروشمی ترسیم‌شده برای نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند تأیید کننده وجود ارتباط هیدرولیکی بین این دو آبخوان هستند. به این ترتیب که در آبخوان آبرفتی دشت میان‌دربند با فاصله گرفتن از آبخوان کارستی مقادیر هدایت

الکتریکی و یون‌های کلر، سولفات و سدیم افزایش می‌یابد که از دلایل این امر می‌توان به افزایش طول مسیر جریان و زمان ماندگاری و نیز تداخل با آب‌های زیرزمینی مربوط به دشت بیلوار و مناطق دوردست که از دشت میان‌دریاب عبور می‌کنند، دانست. با توجه به اینکه در آبخوان آبرفتی دشت میان‌دریاب نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های که در فواصل نزدیک به آبخوان کارستی حفر شده‌اند میزان هدایت الکتریکی و املاح کمتری نسبت به نمونه‌های برداشت شده از چاه‌هایی که در فواصل دورتری از آبخوان کارستی کوه دوقرال حفر شده‌اند، دارند. می‌توان به یک منبع تغذیه‌کننده با کیفیت بالا و در نتیجه وجود ارتباط هیدرولیکی بین این دشت و آبخوان کارستی کوه دوقرال پی برد.

#### ۴-۱-۵ هیدروژئوشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه

برای ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی در آبخوان‌های مورد مطالعه از نمودارهای نظیر استیف، پایپر و شولر استفاده شده است. بر اساس نمودار استیف رسم شده برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه می‌توان مشاهده کرد که برای تمام نمونه‌ها آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم است. بنابراین تیپ آب در تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی یکسان و بی‌کربنات - کلسیک می‌باشد.

لازم به ذکر است که در دشت بیلوار به دلیل وسعت کم و شیب زیاد آبخوان، زمان ماندگاری آب زیرزمینی کم و در نتیجه فرصت کافی برای واکنش‌های بین آب و سنگ و پدیده انحلال وجود ندارد و در نتیجه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از این آبخوان نسبتاً کم است. بنابراین، نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از این دشت شباهت زیادتری را با نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی نشان می‌دهند. در حالی که در دشت میان‌دریاب نمونه‌های مجاور آهک‌ها بسیار شبیه به آهک‌ها هستند در حالی که سایر نمونه‌ها که در معرض تغذیه از مناطق دوردست هستند، این‌گونه نیستند.

همان‌طور که از نمودار پایپر ترسیم‌شده ملاحظه می‌شود جایگاه نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مثلث مربوط به کاتیون‌ها در قسمت پایین و گوشه سمت چپ قرار دارند که نشان‌دهنده مقادیر بالای کاتیون‌های بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم است و نیز جایگاه نمونه‌ها در مثلث مربوط به آنیون‌ها

در قسمت پایین و گوشه سمت چپ قرار دارند که نشان‌دهنده مقادیر بالای بیکربنات و مقادیر اندک یون‌های سولفات، کلر و سدیم می‌باشد.

بر اساس محل قرارگیری نمونه‌ها در لوزی مربوط به تیپ آب نمونه‌ها دارای تیپ بی‌کربناته و رخساره کلسیک است. همچنین بالا بودن غلظت قلیایی‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم نشانه سخت بودن آب‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به کوچک بودن، شیب زیاد و زمان ماندگاری کم آب در دشت بیلوار و نیز اختلاط آب دشت میان‌در بند با آب زیرزمینی آبخوان کارستی کوه دوقرال که کیفیت مناسبی دارد، باعث شده است که نمونه‌ها در نمودار پایپر در نزدیکی هم قرار بگیرند.

با توجه به نمودار شولر ترسیم‌شده مشاهده می‌شود که تغییرات یون‌های اصلی در نمونه‌های برداشت شده از آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی روند مشابهی را نشان می‌دهد، که این روند تقریباً یکسان می‌تواند ناشی از منشأ یکسان نمونه‌ها، وسعت کم آبخوان‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه و یا تداخل در نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی باشد. کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و آنیون بیکربنات یون‌های غالب موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده است.



## ۵-۲ پیشنهادها

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

- پیشنهاد می شود که مطالعات ایزوتوپی به منظور تأیید وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال با آبخوان آبرفتی دشت میان دربند و نیز عدم ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی کوه دوقرال و آبخوان آبرفتی دشت بیلوار صورت پذیرد.
- پیشنهاد می شود که با بسترسازی مناسب و نصب اشلها، اندازه گیری دبی سرابهای ورمنجه، شاه حسین، برنجان و یوان با دقت بیشتری انجام شود.
- با توجه به این که آبخوان آبرفتی دشت بیلوار عمدتاً توسط سازندهای موجود در زون ساختاری سنندج - سیرجان تغذیه می شود، پیشنهاد می شود که فلزات سنگین و سایر عناصر فرعی در نمونه های آب این دشت اندازه گیری شود.

## منابع

- افراسیابیان ا.، (۱۳۷۷)، "اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران"، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.
- تولائی نژاد م.، رنگزن ک.، چرچی ع.، هاتف م.، (۱۳۸۴)، "بررسی بیلان دشت ایذه و نقش تکتونیک در ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های بین حوضه‌ای" نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، کرج، ص ۱۲۲-۱۱۱.
- جوکار ک.، کلانتری ن.، رحیمی م. ح.، (۱۳۹۱)، "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه کارستی ابوالفارس" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- خانلری غ.، حیدری م.، موسیوند م.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی هیدروژئولوژیکی سد گرین نهاوند با استفاده از ردیاب‌های رنگی"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- خسروی سوادجانی ر.، کرمی غ.، طاهری ع.، (۱۳۹۰)، "بررسی هیدروژئوشیمیایی منطقه کارستی تنگ آهن، سمیرم" چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
- خویباری ع.، (۱۳۸۹)، "بررسی هیدروژئولوژیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه لالی و اندیکا" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- دادستان ا.، رئیسی گهرویی د.، (۱۳۸۴)، "جنبه‌های ژئوتکنیکی وهیدروژئولوژیکی آبخوان محبوس در نهشته‌های پلیوسن در محدوده محور و دریاچه سد مخزنی باباخان (شمال خاوری بیجار)" انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۲۲-۱۱۱.
- درویش‌زاده ع.، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر.
- دهقانی ح.، (۱۳۸۲)، "بررسی تغییر رفتار کمی و کیفی آبخوان زیرزمینی دشت پریشان" مجموعه مقالات همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، ص ۲۱۲-۲۰۱.

- رضایی ل.، کرمی غ.، بهروز س.، (۱۳۸۸)، "بررسی منابع آلاینده آب زیرزمینی در دشت داراب" سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران.
- رضایی، م. ت.، (۱۳۷۹)، "پیش‌بینی آبدهی چشمه‌های کارستی در دوره خشک‌سالی" اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان، ص ۸۸۰.
- زارعی ح.، کلانتری ن.، (۱۳۸۲)، "بررسی ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه زهره آبخوان دشت زیدون با استفاده از داده‌های هیدروشیمی" بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- سلیم ق.، کرمی غ.، و غزنوی ک.، (۱۳۹۰)، "بررسی هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آبخوان‌های محدوده دشت ذهاب" هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شمسی ع.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی مناطق مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب کارست در شمال غرب اسلام‌آباد، کرمانشاه" پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ص ۱۰۷.
- علیزاده ا.، (۱۳۸۷)، "اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس" دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و هشتم، صفحه ۲۶۶
- غزنوی ک.، کرمی غ. و سلیم ق.، (۱۳۹۰)، "بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آب دشت‌های آبرفتی مجاور سراب نیلوفر در استان کرمانشاه" هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- غزنوی ک.، کرمی غ.، (۱۳۸۹)، "بررسی علل کاهش آبدهی سراب نیلوفر در استان کرمانشاه" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۹۵-۹۸.
- کاظمی، غ.، مهدی‌زاده، ح.، (۱۳۷۴)، "کاربرد ایزوتوپ‌های هیدروژن، اکسیژن و استرانسیم در مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز باکینباه (Bachinbah) در شرق استرالیا" چهارمین انجمن زمین‌شناسی ایران.
- کرمی غ. ح.، (۱۳۸۵)، "انتخاب روش مناسب برای تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ در آبخوان-های کارستی" نشریه علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۹، ص ۵۵-۵۰.

- کرمی غ. ح.، (۱۳۹۴)، "جزوه درس ژئومورفولوژی کارست" گروه آب‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کرمی، غ. ح.، (۱۳۹۴)، "مکان‌یابی محل‌های مناسب و روش‌های مناسب استخراج آب‌های زیرزمینی از سازندهای سخت شمال شرق استان خراسان شمالی" شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ص ۶۰-۵۳.
- کریمی ح.، رئیسی ع.، زارع م.، (۱۳۷۶)، "خصوصیات سفره کارستی پودنو با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های روستای آتشکده" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش علوم زمین دانشگاه شیراز، ص ۱۳۲-۱۲۱.
- کریمی وردنجانی ح.، (۱۳۸۸)، "بررسی نحوه توسعه کارست در تاق‌دیس‌های آهکی زاگرس، مطالعه موردی تاق‌دیس‌های پیون و کمستان" کنفرانس بین‌المللی منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کریمی وردنجانی ح.، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)" انتشارات ارم شیراز.
- مطیعی ه.، (۱۳۷۴)، "زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس" وزارت صنایع و معدن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال ۱۳۸۵.
- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال ۱۳۷۹.

- Almeida C., and Silva M.L., (1987), “Incidence of Agriculture on water quality at Campinade Faro (South Portugal)”, *Hidrogeologia y Recursos Hidráulicos*, t. XII, p. 249-257.
- A. Nur, J. M. Ishaku and A. Tayib, (2012) “Spatial Distribution of Chemical Facies Using Geographical Information System (GIS) in Michika, Northeastern Nigeria,” *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, Vol. 1, No. 2, pp. 102-109.
- Appelo CAJ, Postma D (2005) *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd edn. A.A, Balkema, Rotterdam.
- Aryamanesh M., Zare M., and Timothy M.K., (2009), “The effect of active tectonics on aquifer creation, A case study: Isfahak district, Eastern Iran” *World Applied Journal* 6(11): pp. 1441-1446.
- A, Shahbazi and A. Esmaeili-Sari, (2009) “Groundwater Quality Assessment in North of Iran: A case Study of the Mazandaran Province,” *World Applied Sciences Journal*, Vol. 5, 92-97.
- Ashjari j., and Raeisi E., (2006), “Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran” (in English), Phd Thesis, University of Shiraz, Iran.
- Aucott W. R., and Myers, N.C., (2000), “Change in groundwater levels and storage Wichita well area, south-central Kansas, USA”, *Water-resources investigations report*, pp.98-113.
- Aysen Davraz, Remzi Karaguzel, Iskender Soyaslan, Erhan Sener, Fatma Seyman, Sehnaz Sener (2009) “Hydrogeology of karst aquifer systems in SW Turkey and an assessment of water quality and contamination problems” *Environ Geol.* 58: 973–988
- BONACCIO O., (1993), “Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers” *Hydrologies! Sciences -Journal- des Sciences Hydrologiques*,38,1.2/1993
- 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.
- Cruz J., Catarina S., Amaral (2004), “Major ion chemistry of groundwater from perched-water bodies of the Azores (Portugal) volcanic archipelago” *Applied Geochemistry* 19: 445-459
- Dreybrodt W., Siemers J., (2000), Cave evolution on two dimensional networks of primary fractures in limestone.In: Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A., Dreybrodt, W. (Eds.), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*.National Speleological Society, Huntsville, pp. 201-211.

- Eftimi R., (2005), “Hydrochemical characteristics of some lithologically different karst massifs of Albania”, Water Resources & Environmental Problems in Karst, CVIJIC 2005, Belgrade, pp. 499-504.
- Fernandes A., and Rudolph D., (2001), “The influence of Cenozoic tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil”, Hydrogeology Journal, Vol.9, pp.151-167.
- Ford D.C. and Williams P.W. (2007) “Karst hydrogeology and geomorphology”. Chichester. John Wiley; Second edition, pp 553-576.
- Ford D.C. and Williams P.W., (1989) “Karst geomorphology and hydrology” London: Chapman and Hall, 601 p.
- Gabriela G. M., del V., Hidalgo M., Blesa M.A., (2001), “Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman province, Argentina. Hydrogeology Journal 9: 597-610.
- Goldscheider N., Drew D., (2007), “Methods in karst Hydrogeology”, Taylor and Francis, pp. 264-273.
- Hammond W., Murray KE., and Straud Dr., (2007), “Characterizing groundwater flow in a faulted karst system using optical brighteners from septic systems as tracers”, Environmental Geology, Vol.53, pp.769-776.
- Henriksen H., Braathen A., (2006), Effects of fracture lineament and in-situ rock stresses in groundwater flow in hard rocks: a case study from Sunnfjord, Western Norway, Hydrogeology Journal, pp.444-461.
- Hounslow A., (1995), “Water quality data: analysis and interpretation”, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Hunt C.D., Ewart C. J., Voss C.I., (1988), Region 27, Hawaiian Islands. In: Back, W., Roseneshein, J.S. Seaber, P.R. (Eds), “Hydrogeology, the geology of north America”, Geol. Soc.America boulder, 0-2, 225-262.
- Jacobson R.L. and Langmuir D., (1974), “Controls on the quality variations of some carbonate spring waters”, J. of Hydrol. NO. 23, P. 247-265.
- Jenning J.N., (1985), “Karst Geomorphology”, Basil Blackwell.
- Kalantari N., Alizadeh B., Mohammadi A. R., Keshavarzi. M.R., (2011), “A hydrochemical and Dye- tracing Investigation in the Posht-e-Naz Karstic Aquifer, Alburz Mountain, Northern Iran” J. Mt. Sci. 8: 37–45

- Karami G.h., (2002), “Assessing the heterogeneity and flow system types in Karstic aquifers using pumping test data, ph.D. Thesis, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, 180 pp.
- Karimi H., (2003), “Hydrogeological behavior of Alvand karst aquifer Kermakshah (in English)”, PhD Thesis, University of Shiraz, Iran.
- Karimi Vardanjani H., Keshavarz T., Mohammadi Z., Raeisi E., (2007), “Potential leakage at the Khersan 3 Dam Site”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.66, pp.269-278.
- Kasting E.H., (1977), “Faults and positive and negative influences on ground water flow and conduit enlargement in: R.R. Dilamarter and S.C. Scallany (eds.) *Hydrologic problems in karst regions*”, West Kentucky Univ.
- Katrina Annan, “A comparison of techniques for investigating groundwater - surface water interactions along the Brunswick River, Western Australia” *Environmental Engineering and Geographical Sciences Student School of Environmental Systems Engineering The University of Western Australia.*
- Kazemi M., (2003), “Reconnaissance of Karst Hydrology in the Lar catchments, Iran using RS and GIS”, M.Sc. thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, the Netherland.
- Land L., Huff G.F., (2009), “Multi-tracer investigation of groundwater residence time in a karstic aquifer: Bitter National Refuge, New Mexico, USA”, *Hydrogeology Journal*, Vol. 18(2).
- Langmuir D., (1971), “The geochemistry of some carbonate groundwater of Central Pennsylvania”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 35, Issue 10, pp. 1023-1045.
- Leibundgut C., (1997), “Vulnerability of karst aquifers”, *IAHS Publication*, Vol.61, pp.45-60.
- Li Sh., Zhang Q., Su M., Wang Z., and Wang S., (2010), “Predicting geological hazards during tunnel construction”, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol.2, No.3, pp.232-242.
- Mayer J.R., and Sharp J.M., (1998), “Fracture control of regional ground water flow in a carbonate aquifer in a semi-arid region”, *Geol.Soc.Am.Bull.*Vol.110, PP.269-283.
- Mazor E., (2004), “Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology”, Third Edition, John Wiley, New York, pp.247.

- Megersa Olumana Dinka, Willibald Loiskandl, Julius Musyoka Ndambuki, (2015), “Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region” *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3, p.p 444 – 456.
- Milanovic’ P. and Agili, (1990), “Hydrogeological and groundwater mismanagement of Kazeun karst aquifer, Zagros, Iran”, *Hydrogeological processes in Karst Terrenes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990)*, IAHS Kib1. No. 207.
- Milanovic’ P., (1981), “*Karst Hydrogeology*”, Fort Collins, Water Resources Publications, pp.434.
- Packialakshmi Shanmugam and Ambujam N. K., (2012), “A hydrochemical and geological investigation on the Mambakkam mini watershed, Kancheepuram District, Tamil Nadu” ,*Environ Monit Assess* Vol. 184:3293 - 3306.
- Mohammadzadeha H., Aravena R., (2015), “Investigating the Origin and Interaction between Karstic and Alluvial Aquifers in NW of Zagros Mountain Range, Iran, Using Isotopic and Geochemical Tools” *Procedia Earth and Planetary Science* 13: 256 – 260
- Pilli A., Sapigni G.M., Zupp (2012), “Karstic and alluvial aquifers: a conceptual model for the plain – Prealps system (northeastern Italy)” *Journal of Hydrology* 464–465 (2012) 94–106.
- Raeisi E. and Kowsar N., (1997), “Development of Shahpour Cave, Southern Iran”. *Cave and Karst Science*, Vol. 24(1), pp.27-34.
- Raeisi E., (2004), “Iran cave and karst”, in Gunn, J., ed., *Encyclopedia of Cave and karst*. New York, Fitzroy Dearborn, p. 460-461
- Reberski J. L., Kapelj S., and Terzić J., (2009), “An estimation of groundwater type and origin of the complex karst catchment using hydrological and hydrogeochemical parameters: A case study of the Gacka river springs” *Geologia Croatica* 62/3 157–178 16 Figs. 2 Tabs. doi: 10.4154/gc.2009.15
- Rieg A., Leibundgut Ch., Brand M., Ries Th., (1993), “Interaction between karst and porous groundwater investigation by tracer experiments” *Tracers in Hydrology*, proceeding of the Yokohama Symposium, IAHS Pub1.No. 215:253 262.
- Robins, N.S., 2002, *Groundwater quality in Scotland: major ion chemistry of the key groundwater bodies*, *The Science of the Total Environment* 294:41–56.



- Romanov D., Gabrovsek F., Dreybrodt D., (2003), “The impact of hydrochemical boundary conditions on the evolution of limestone karst aquifers” *Journal of Hydrology* 276: 240–253
- Tam V.T., Smedt F. De., Batelaan O., and Dassargues A., (2010), “Study on the relationship between lineaments and borehole specific capacity in a fractured and karstified limestone area in Vitnam”, *Hydrogeology Journal*, Vol.12(6), pp.662-673.
- Todd D. K., and Mays L. W., (2005), “Groundwater Hydrology”, Johan Wiley and sons, Inc, New York, pp.636.
- Travis H., Bashir H., Memon A., and Philip E., Lamoreaux (1994), “Landfills in Karst Terrains” *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* Vol. XXXI, No. 2, 1994 pp.203-208
- Wang Y., Ma T., Lou Z., (2001), “Geostatistical and geochemical analysis of surface water quality leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Linlin karst system, northwestern China”, *Journal of hydrology* 246:223-234.
- White W.B., and White E.L., (2001), “Conduit fragmentation, cave patterns, and the localization of karst groundwater basins”, the Appalachians as a test case, *Speleogenesis and Evolution of karst Aquifers* 1 (2), p.2. Re-published by permission from, *Theoretical and Applied Karstology*, Vol. 13-14, pp.9-24.
- White W.D., (1988), “Geomorphology and hydrology of karst Terrains” Oxford University Press, Oxford, p 464.
- Wise D.U., Dunn D.E., Engelder J.T., Geiser P.A., (1984), “Fault related karst: Suggestion for terminology”, *Geology*, 12.

## **Abstract**

One of the important issues in hydrogeology is the investigation of the existence or absence of a hydraulic connection between karstic aquifers and adjacent aquifers. In this research, tried to investigate the aforementioned issue in the Do-Qeral Mountain area. The study area is located in Kermanshah Province and 30 km north of Kermanshah city. The Bilevar Plain in the northeast and the Mian-Darband Plain in the southwest of the study area are separated by the limestone hights (Do-Qeral Mountain). The study area is located on the border of two important structural zones of Iran, namely the Zagros and Sanandaj - Sirjan Zones, with the general trend of northwest - southeast. The Main Zagros Fault located in the southern boundary of the study area has a great influence on the structural status of the region. Most of the rock units in the area are limestone rocks of Bisitoun Formation, which forming the hights of Do-Qeral Mountain. Geomorphologic study of the Do-Qeral Mountain shows that there are some karstic features such as karrens, sinkhole, dry valleys, shafts, dissolution spaces, closed depression and caves in this karstic terrain relatively developed karst in the region. In addition, the discharge coefficients of the important karst springs of the region are about 0.02 to 0.05, which confirm karst development in the region. According to the isopotential map, unit hydrograph of the plain and hydrochemical studies, it is observed that the karstic aquifer of Do-Qeral Mountain does not feed alluvial aquifer of Bilevar Plain and there is no hydraulic connection between them. In the Bilevar Plain, the hydraulic gradient is directed to the boundary of alluvial aquifer with limestone, and the values of electrical conductivity and concentrations of main ions are increased toward the boundary. On the contrary, it is obvious that the karstic aquifer reservoir of the Do-Qeral Mountain feeds alluvial aquifers. In the Mian-Darband Plain the hydraulic gradient is from the boundary of alluvium and limestone toward the inside of the plain, in this direction, the values of electrical conductivity and the major ions increase.

**Keywords:** Karst, hydraulic connection, Do-Qeral Mountain, Myandarband plain, Bilevar Plain



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

**Evaluating the hydraulic connection between karstic aquifer  
and adjacent alluvial aquifers in Kuhe Do-Qeral, North Kermanshah**

**By:**  
**Mazyar Torabi**

**Supervisor:**  
**Gholam Hossein Karami**

**July 2017**