

به نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه برنگذرد
 خداوند نام و خداوند جای خداوند روزی ده رهنمای
 خداوند کیوان و گردان سپهر فروزنده ماه و ناهید و مهر



پرستنده باشی و جوینده راه به ژرفی به فرمانش کردن نگاه
 توانا بود هر که دانا بود زدانش دل پیر برنا بود
 از این پرده برتر سخن گاه نیست ز هستی مراندیشه را راه نیست
 ((حکیم ابوالقاسم فردوسی))



دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی - گرایش آبشناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران،

شمال شرق بیرجند

سعید ازانی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

مشاور:

حسن ضیاء

تیر ماه ۱۳۹۵

شماره: ۱۲۳۴۵
تاریخ: ۹۵/۶/۱
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سعید ازانی به شماره دانشجویی ۹۲۰۱۹۲۴، رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال شرق بیرجند که در تاریخ ۱۳۹۵/۰۴/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار ممتاز) ۱۸/۴ دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)
۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر غلامحسین کرمی	۱- استاد راهنما
	—	حسن ضیاء	۲- استاد مشاور
	استادیار	دکتر فرج ا... فردوست	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر هادی جعفری	۴- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر رحیم باقری	۵- استاد ممتحن دوم

رئیس دانشکده:



تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

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

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است.

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

بوسه بردستان پر مهرتان

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

تقدیر و تشکر

خداوند بیش از همه از تو سپاسگزارم که آفریده‌ای جهان را، انسان را، عقل را، معرفت را، محبت را. بر خود لازم می‌دانم از تمام عزیزانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند، از صمیم قلب تشکر نمایم.

در ابتدا از زحمات بی دریغ و صبر و شکیبایی خانواده مهربانم و برادران و خواهرانم که در تمام مراحل زندگی‌ام یار و یاورم بودند سپاسگزاری میکنم. از اساتید بزرگواری که در طی دوره کارشناسی ارشد و این تحقیق از محضرشان آموختم به ویژه دکتر غلامحسین کرمی، دکتر غلامعباس کاظمی، دکتر هادی جعفری، دکتر رحیم باقری، مهندس حسن ضیاء بینهایت سپاسگزارم.

از همکاری و همراهی صمیمانه کلیه همکاران و عزیزان در شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی به ویژه جناب مهندس امامی، سرکار خانم مهندس شهابی فرد و جناب مهندس ابراهیمی، سازمان هواشناسی استان خراسان جنوبی، بنیاد ملی نخبگان خراسان جنوبی، استانداری خراسان جنوبی نهایت تشکر را دارم.

از دوستان و همکلاسی‌هایم آقایان مهدی کریمی، محمود ترشیزی، محمد عنابی، رضا رهبر، سامرند کرد لاجینی، مجتبی سنخواستی، علی پاشاپور، مجتبی قاسمی، آرش نصرتی و خانم‌ها یاراحمدی، روزبهانی، پروار، جهانشاهی، تفضلی، ظهراپی، انصاری، تکایی، خطیبی، زارع، و دانشجویان دکتری آبشناسی آقای عبدا... شمسی و خانم‌ها باقری، بوسلیک، نجفی و دیگران که در طی این پژوهش و دوران تحصیل مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

با تشکر از زحمات اهالی، دهیاران و شوراهای روستاهای آبیز، فندخت، اسفاد، اردکول، محمدآباد، همت‌آباد، گزخت و تجنود که همکاری شایسته و مهمان نوازی نمودند. با پوزش از تمامی کسانی که مجال ذکر نام آنان نشد.

((مهربانی‌هایتان برایم فراموش ناشدنی خواهد بود))

سعید ازانی (تیر ماه ۱۳۹۵)

تعهد نامه

اینجانب سعید ازانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال-شرق بیرجند تحت راهنمایی دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

هدف اساسی از این تحقیق ارزیابی توسعه کارست و بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آبی در کوه-های آهکی آهنگران است. محدوده مورد مطالعه در شهرستان زیرکوه در ۱۵۰ کیلومتری شمال خاور شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی قرار دارد. بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی، این منطقه در مرز شمال خاوری حوضه فلیش‌های شرق ایران قرار دارد و بخشی از بلوک افغان می‌باشد. در اثر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور به صورت بالآآمدگی (Uplift) در آمده است و بلوک بالآآمدگی آهنگران نامیده شده است. عمده واحدهای سنگی منطقه سنگ‌های آهکی کرتاسه زیرین و پالئوسن با وسعت تقریبی ۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که به لحاظ تشکیل آبخوان‌های کارستی دارای اهمیت است. با بررسی‌های ژئومورفولوژیکی در منطقه مورد مطالعه عوارض سطحی کارست شامل کارن، فضا‌های انحلالی، دره‌های خشک و تعداد محدودی غار در منطقه شناسایی شد، اما عوارض کارستی توسعه یافته‌تر از قبیل فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود و پلیه‌های کارستی مشاهده نمی‌شود که بیانگر توسعه‌یافتگی نسبتاً کم کارست می‌باشد. وجود تعداد زیاد چشمه فصلی با آبدهی کم در منطقه تأیید کننده توسعه‌یافتگی نسبتاً کم کارست در منطقه است. در بررسی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم منطقه از جمله آبیز، محمدآباد، تجنود، اردکول، همت‌آباد، اسفاد، فندخت در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ مشخص گردید که سیستم غالب جریان در این چشمه‌ها افشان است، زیرا ضریب تغییرات آبدهی کم‌تر از ۱۰ درصد و ضریب تغییرات هدایت الکتریکی کم‌تر از ۵ درصد است. ضرایب فرود آبدهی در این چشمه‌ها در محدوده 10^{-4} و 10^{-3} می‌باشد. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نشان-دهنده تیپ آب بی‌کربناته با رخساره غالب کلسیم منیزیم است. بر اساس وضعیت هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، شرایط زمین‌شناسی و مورفولوژی، حوضه آبرگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم مشخص گردیده و درصد تغذیه بین ۴۰ تا ۶۰ درصد برآورد شده است که نشان دهنده درصد نسبتاً بالای تغذیه در منطقه می‌باشد.

کلمات کلیدی: کارست، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، جریان افشان، آهنگران

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی	۲
۳-۱- ژئومورفولوژی	۳
۴-۱- آب و هوا	۷
۵-۱- زمین‌شناسی	۱۱
۱-۵-۱- چینه‌شناسی	۱۴
۱-۱-۵-۱- واحدهای سنگی قبل از ژوراسیک	۱۴
۲-۱-۵-۱- ژوراسیک	۱۴
۳-۱-۵-۱- کرتاسه پایینی	۱۵
۴-۱-۵-۱- کرتاسه فوقانی	۱۵
۵-۱-۵-۱- پالتوسن - ائوسن	۱۷
۶-۱-۵-۱- الیگوسن - میوسن	۱۸
۷-۱-۵-۱- نئوژن	۱۸
۸-۱-۵-۱- کواترنری	۱۸
۲-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی	۱۹
۶-۱-۵-۱- هیدرولوژی	۲۱
فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین در خصوص توسعه کارست	۲۵
۱-۲- مقدمه‌ای در مورد کارست	۲۶
۲-۲- عوامل مؤثر بر توسعه کارست	۲۷
۱-۲-۲- بارش	۲۹
۲-۲-۲- دما	۲۹
۳-۲-۲- فشار گاز دی‌اکسید کربن	۳۰
۴-۲-۲- لیتولوژی	۳۰
۵-۲-۲- چینه‌شناسی	۳۱
۶-۲-۲- عوامل تکتونیکی	۳۳
۷-۲-۲- توپوگرافی	۳۶
۸-۲-۲- پوشش خاک و پوشش گیاهی	۳۷
۹-۲-۲- آبراهه	۳۸

۳۹	۳-۲- شاخص‌های توسعه کارست
۳۹	۱-۳-۲- ژئومورفولوژی کارست
۴۰	۱-۱-۳-۲- توسعه‌یافتگی کارنها
۴۰	۲-۱-۳-۲- دره‌های کارستی
۴۱	۳-۱-۳-۲- فروچاله‌ها
۴۱	۴-۱-۳-۲- گودی‌های مسدود
۴۱	۵-۱-۳-۲- پلیه‌های کارستی
۴۲	۶-۱-۳-۲- عوارض زیرزمینی
۴۲	۲-۳-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی
۴۳	۱-۲-۳-۲- تغییرات آبدهی
۴۵	۲-۲-۳-۲- تغییرات هدایت الکتریکی
۴۶	۳-۲-۳-۲- تغییرات یون‌های اصلی
۴۹	فصل سوم: روش انجام تحقیق
۵۰	۱-۳- مقدمه
۵۰	۲-۳- مطالعات زمین‌شناسی
۵۱	۳-۳- مطالعات ژئومورفولوژی
۵۱	۴-۳- مطالعات هیدروژئولوژیکی
۵۱	۱-۴-۳- پراکنش چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی
۵۲	۲-۴-۳- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها
۵۳	۱-۲-۴-۳- اندازه‌گیری آبدهی
۵۳	۲-۲-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی
۵۴	۳-۲-۴-۳- نمونه‌برداری
۵۴	۴-۲-۴-۳- اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی
۵۷	فصل چهارم: ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال شرق بیرجند
۵۸	۱-۴- بررسی واحدهای هیدرواستراتیگرافی
۶۱	۲-۴- ارزیابی توسعه کارست بر اساس خصوصیات ژئومورفولوژیکی
۶۱	۱-۲-۴- سنگ برهنه
۶۲	۲-۲-۴- فضاهای انحلالی
۶۲	۳-۲-۴- کارن

۶۴	.....دره‌های خشک کارستی.....۴-۲-۴
۶۵	.....غار .....۵-۲-۴
۶۷	.....ارزیابی توسعه کارست بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی.....۳-۴
۶۷	.....پراکنش چشمه‌های کارستی.....۱-۳-۴
۷۱	.....ارزیابی هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مهم.....۲-۳-۴
۷۳	.....ارزیابی تغییرات زمانی آبدهی.....۱-۲-۳-۴
۷۳	.....چشمه-قنات آبیز.....۲-۲-۳-۴
۷۵	.....چشمه-قنات محمدآباد.....۳-۲-۳-۴
۷۶	.....چشمه تجنود (رودخانه).....۴-۲-۳-۴
۷۸	.....چشمه-قنات اردکول.....۵-۲-۳-۴
۸۰	.....چشمه-قنات همت‌آباد.....۶-۲-۳-۴
۸۲	.....چشمه-قنات اسفاد.....۷-۲-۳-۴
۸۳	.....چشمه-قنات فندخت.....۸-۲-۳-۴
۸۵	.....ارزیابی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مهم.....۳-۳-۴
۸۵	.....تغییرات هدایت الکتریکی.....۱-۳-۳-۴
۹۰	.....ارزیابی غلظت یون‌های اصلی.....۲-۳-۳-۴
۹۵	.....تعیین حوضه آبریز چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم.....۴-۳-۴
۱۰۱	.....فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
۱۰۲	.....۱-۵ نتیجه‌گیری.....
۱۰۵	.....۲-۵ پیشنهادها.....
۱۰۶	.....منابع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۴
- شکل ۲-۱- تصویر برجسته توپوگرافی منطقه..... ۶
- شکل ۳-۱- نمودار فراوانی مساحت و نمودار هیپسومتری منطقه..... ۷
- شکل ۴-۱- نمودار امپروترمیک ایستگاه افین..... ۸
- شکل ۵-۱- نمودار ارتفاع - بارش ایستگاه‌های موجود در مجاورت منطقه مورد مطالعه..... ۹
- شکل ۶-۱- نمودار ارتفاع-دما ایستگاه‌های موجود در مجاورت منطقه مورد مطالعه..... ۱۰
- شکل ۷-۱- پهنه‌های رسوبی-ساختاری منطقه مورد مطالعه..... ۱۲
- شکل ۸-۱- نقشه زمین‌شناسی و واحدهای سنگی منطقه..... ۱۳
- شکل ۹-۱- مقطع چینه‌شناسی کرتاسه پایینی در کوه آهنگران..... ۱۶
- شکل ۱۰-۱- واحدهای ساختاری منطقه مورد مطالعه..... ۲۰
- شکل ۱۱-۱- حوضه‌های آبریز اصلی و آبراهه‌های مهم منطقه..... ۲۳
- شکل ۱-۲- حالت‌های مختلف تأثیر گسل در جریان آب زیرزمینی..... ۳۶
- شکل ۱-۳- اندازه‌گیری آبدهی به کمک مولینه در چشمه-قنات محمدآباد..... ۵۴
- شکل ۱-۴- موقعیت رخنمون واحدهای هیدرواستراتیگرافی بر اساس تراوایی..... ۵۹
- شکل ۲-۴- نمایی از سنگ‌های برهنه و اپی کارست در جنوب روستای آبیز..... ۶۱
- شکل ۳-۴- نمایی از کارست‌های برهنه با تراوایی بالا در جنوب روستای آبیز..... ۶۲
- شکل ۴-۴- نمایی از فضا‌های انحلالی در کارست‌های جنوب روستای اردکول..... ۶۳
- شکل ۵-۴- حفره انحلالی چاله مانند، حفره باران..... ۶۳
- شکل ۶-۴- نمایی از کارن‌های موجود در سنگ‌های کارستی جنوب روستای آبیز..... ۶۴
- شکل ۷-۴- نمایی از کارن‌های پرشده با رسوبات..... ۶۴
- شکل ۸-۴- نمایی از یک دره خشک کارستی در جنوب خاور منطقه مورد مطالعه..... ۶۵
- شکل ۹-۴- نمایی از سطح اساس فرسایش محلی، چشمه سیاب در جنوب روستای گزخت..... ۶۶
- شکل ۱۰-۴- دهانه غار در جنوب روستای گزخت..... ۶۶
- شکل ۱۱-۴- محل خروجی چشمه گزخت و چشمه-قنات محمدآباد..... ۶۸
- شکل ۱۲-۴- نمودار درصد فراوانی و درصد تخلیه منطقه مورد مطالعه..... ۶۹
- شکل ۱۳-۴- موقعیت چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های منطقه مورد مطالعه..... ۷۰
- شکل ۱۴-۴- آبنمود چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۴

- شکل ۴-۱۵- منحنی فرود چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۴
- شکل ۴-۱۶- آبنمود چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۵
- شکل ۴-۱۷- منحنی فرود چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۶
- شکل ۴-۱۸- آبنمود چشمه کارستی تجنود در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۷
- شکل ۴-۱۹- منحنی فرود چشمه کارستی تجنود در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰- آبنمود چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱- منحنی فرود چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۰
- شکل ۴-۲۲- آبنمود چشمه-قنات همت آباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۱
- شکل ۴-۲۳- منحنی فرود چشمه-قنات همت آباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۱
- شکل ۴-۲۴- آبنمود چشمه-قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۲
- شکل ۴-۲۵- منحنی فرود چشمه-قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۳
- شکل ۴-۲۶- آبنمود چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۴
- شکل ۴-۲۷- منحنی فرود چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۴
- شکل ۴-۲۸- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۸
- شکل ۴-۲۹- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۸
- شکل ۴-۳۰- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه تجنود در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۸
- شکل ۴-۳۱- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۹
- شکل ۴-۳۲- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات همتآباد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۹
- شکل ۴-۳۳- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۹
- شکل ۴-۳۴- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۹۰
- شکل ۴-۳۵- شاخص اشباع نمونه-های آب چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه..... ۹۳
- شکل ۴-۳۶- نمودار پایپر نمونه آب‌های چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه..... ۹۴
- شکل ۴-۳۷- نمودار استیف نمونه آب‌های چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه..... ۹۵
- شکل ۴-۳۸- حوضه آبرگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه..... ۹۳

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین بارش و دمای ماهانه ایستگاه افین ۱۳۹۴-۱۳۵۴..... ۸
- جدول ۱-۲- میانگین سالانه دما و بارش ایستگاههای منتخب تا پایان سال آبی ۱۳۹۳..... ۹
- جدول ۱-۳- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن..... ۱۰
- جدول ۴-۱- طبقه‌بندی چشمه‌ها و چشمه-قناتهای منطقه مورد مطالعه بر اساس آبدهی..... ۶۹
- جدول ۴-۲- چشمه‌ها و چشمه-قناتهای مهم منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۷۱
- جدول ۴-۳- آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قناتهای مورد مطالعه..... ۷۲
- جدول ۴-۴- هدایت الکتریکی چشمه‌ها و چشمه-قناتهای مورد مطالعه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳..... ۸۶
- جدول ۴-۵- پارامترهای آماری هدایت الکتریکی چشمه و چشمه-قناتهای مورد مطالعه..... ۸۷
- جدول ۴-۶- داده‌های هیدروژئوشیمی چشمه و چشمه قناتهای مورد مطالعه در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴.. ۹۱
- جدول ۴-۷- پارامترهای هیدروژئوشیمیایی محاسبه شده برای چشمه و چشمه-قناتهای مورد مطالعه..... ۹۱
- جدول ۴-۸- شاخص اشباع نمونه‌های آب چشمه و چشمه-قناتهای مورد مطالعه..... ۹۳
- جدول ۴-۹- مساحت حوضه آبگیر به کمک معادله بیلان..... ۹۷
- جدول ۴-۱۰- مقایسه مساحت حوضه آبگیر، به روش بیلان با روش هیدروژئولوژیکی- مورفولوژیکی..... ۹۸
- جدول ۴-۱۱- پارامترهای هندسی حوضه آبگیر چشمه و چشمه-قناتهای مورد مطالعه..... ۹۹
- جدول ۵-۱- درصد ضریب تغییرات آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قناتهای مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۳).. ۱۰۳
- جدول ۵-۲- ضریب فرود چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۳)..... ۱۰۴

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مساله و هدف از انجام تحقیق

در سال‌های اخیر رشد جمعیت، خشکسالی و کاهش منابع آب موجود، موجب نیاز روزافزون به منابع آبی جدید شده است. منابع آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های آهکی کارستی دارای کیفیت بسیار مطلوب بوده و پس از آبخوان‌های آبرفتی در رده دوم میزان ذخایر منابع آب زیرزمینی قرار گرفته و یکی از بهترین و سالم‌ترین منابع آب شرب می‌باشند، همچنین این آبخوان‌ها منبع آبی برای چشمه‌ها و قنات‌ها بوده و آبرفت را تغذیه می‌نمایند. بنابراین، مطالعه بر روی منابع آب کارستی دارای اهمیت ویژه‌ای است.

با توجه به رخنمون گسترده سازندهای آهکی، تکتونیک فعال منطقه، مرتفع بودن منطقه که موجب ریزش بارش‌های جوی بیشتر و به صورت برف است، حجم زیادی از بارش وارد سنگ‌های آهکی شده و ذخیره قابل ملاحظه‌ای از آب‌های زیرزمینی را در سازندهای آهکی منطقه فراهم نموده است. همچنین وجود چشمه‌های متعدد با آبدهی قابل توجه و اشکال انحلالی سطحی گواهی بر گسترش و توسعه فرآیندهای کارستی در منطقه است. از طرف دیگر مطالعات صورت گرفته در منطقه، محدود به مطالعات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی بوده و تاکنون مطالعات آب‌شناسی در راستای مطالعه توسعه کارست در منطقه صورت نگرفته است. بنابراین مطالعه منابع آب کارستی و ارزیابی توسعه کارست در منطقه ضروری می‌باشد.

هدف اساسی از این تحقیق ارزیابی توسعه کارست در این منطقه است. درجه توسعه کارست بر اساس توزیع و توسعه حفرات در توده سنگ‌های کارستی بوده و در خصوصیات فیزیکی آبخوان کارستی مانند تخلخل موثر، هدایت هیدرولیکی، ذخیره ویژه و نوع رژیم جریان آب زیرزمینی نقش دارد. در این تحقیق، سعی می‌شود که به سوالات زیر پاسخ داده شود:

- درجه توسعه یافتگی کارست چقدر است؟
- وضعیت کمی و کیفی آب در کارست‌های منطقه چگونه است؟

۱-۲- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۵ دقیقه خاوری تا ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه خاوری، و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی تا ۳۴ درجه شمالی واقع شده است.

این محدوده در شهرستان زیرکوه در ۱۵۰ کیلومتری شمال خاور شهر بیرجند و ۸۰ کیلومتری خاور شهر قاین در استان خراسان جنوبی قرار دارد. این منطقه دارای سنگ‌های آهکی با وسعت تقریبی ۵۰۰ کیلومتر مربع با روند شمال‌باختر به جنوب‌خاور می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از دو بخش تشکیل شده است که یکی از آن‌ها در شمال‌باختری واقع شده است و شامل ارتفاعات شاسکوه، میلاکوه و کوه آبیز است و بخش دیگر در جنوب‌خاوری که شامل ارتفاعات کوه آهنگران، کوه اردکول، کوه سه‌پستان، کوه خواجه و کوه کازگون است. به طور کلی منطقه مورد مطالعه با نام کوه‌های آهنگران شناخته می‌شود.

نزدیک‌ترین شهر به منطقه مورد مطالعه شهر حاجی‌آباد است و مهم‌ترین روستاهای منطقه شامل روستاهای آبیز، اسفاد، فندخت، اردکول، آهنگران، محمدآباد، گزخت و تجنود می‌باشند. راه‌های دسترسی به منطقه شامل راه آسفالت اصلی بیرجند - قاین - حاجی‌آباد و راه بیرجند - قهستان - حاجی‌آباد می‌باشند (شکل ۱-۱).

۱-۳- ژئومورفولوژی

مهم‌ترین واحد ژئومورفولوژیکی منطقه تیپ کوهستانی مرتفع دارای سنگ‌های با روند شمال‌باختری به جنوب‌خاوری می‌باشد که از دو بخش کوهستانی در راستای هم تشکیل شده است (شکل ۱-۲). واحدهای مهم ژئومورفولوژیکی در منطقه عبارت است از:

- بخشی کوهستانی که در شمال‌باختری شهر حاجی‌آباد قرار گرفته و شامل کوه شاسکوه (۲۸۳۰ متر بلندترین ارتفاع خراسان جنوبی)، میلاکوه (۲۸۰۰ متر) و کوه آبیز (۲۱۴۷ متر) است، این بخش از شمال به دشت زوزن و از جنوب به دشت اسفدن ختم می‌شود.



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

- بخشی کوهستانی که در جنوب‌خاوری شهر حاجی‌آباد قرار گرفته و شامل ارتفاعات کوه آهنگران (۲۳۱۴ متر)، کوه اردکول (۲۰۱۳ متر) کوه سه‌پستان (۲۸۳۱ متر)، کوه خواجه (۱۱۲۳ متر) و کوه کازگون (۲۵۳۲ متر) می‌باشد. این بخش از شمال به دشت شاهرخت و از جنوب به مجموعه افیولیتی و در نهایت به دشت گزیگ و آواز ختم می‌شود.

- در مجاورت واحد ژئومورفولوژیکی کوهستان، واحد تپه و ماهور هم به طور محدودی در بعضی از مناطق مشاهده می‌شود. واحد ژئومورفولوژیکی تپه ماهور عمدتاً در مجاورت بخش کوهستانی جنوب‌خاوری واقع شده است.

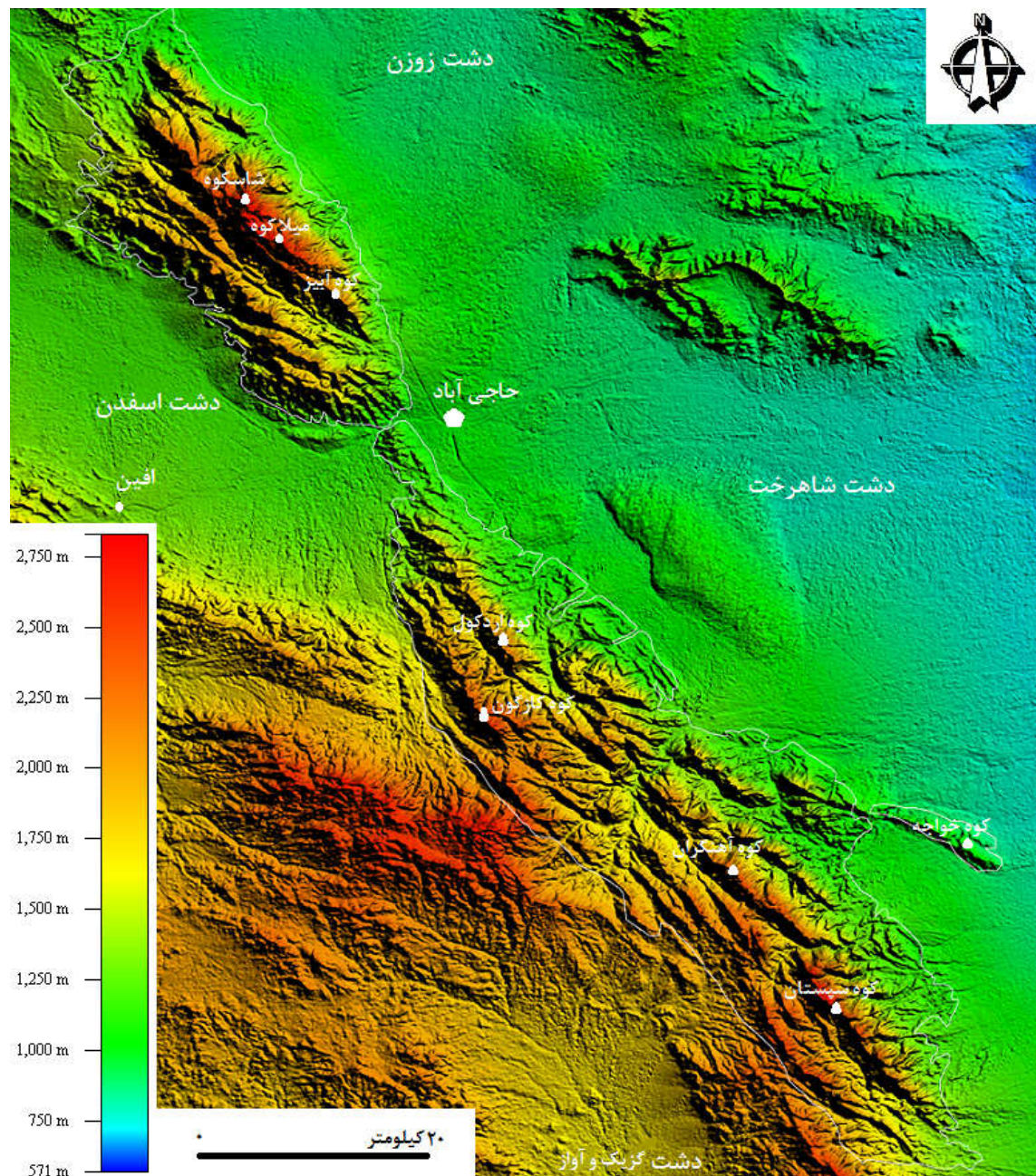
با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، حداقل ارتفاع در منطقه ۸۳۰ متر و حداکثر ارتفاع ۲۸۳۰ متر است. دسته‌بندی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه در دسته‌های ۲۰۰ متری تهیه شده است، بر این اساس مناطق با ارتفاع بین ۱۲۰۰ متر و ۱۴۰۰ متر بیش‌ترین فراوانی را دارند (شکل ۱-۳). بر اساس منحنی هیپسومتری منطقه، ارتفاع متوسط منطقه برابر با ۱۶۵۰ متر است (شکل ۱-۳).

بیشتر ارتفاع‌های منطقه از جنس سنگ‌های آهکی است. در اثر چین‌خوردگی‌های پی در پی و گسل‌های متعدد و متقاطع اختلاف ارتفاع نسبتاً زیادی در منطقه ایجاد شده است. مهم‌ترین عوارض ژئومورفولوژی ساختمانی ناشی از گسل‌های منطقه، پرتگاه‌های گسلی است، همچنین لایه‌ها شکسته شده و در جهات مختلف شیب پیدا کرده‌اند. واریزه‌های سنگی و آثار ریزش را می‌توان در پای دامنه‌ها مشاهده نمود.

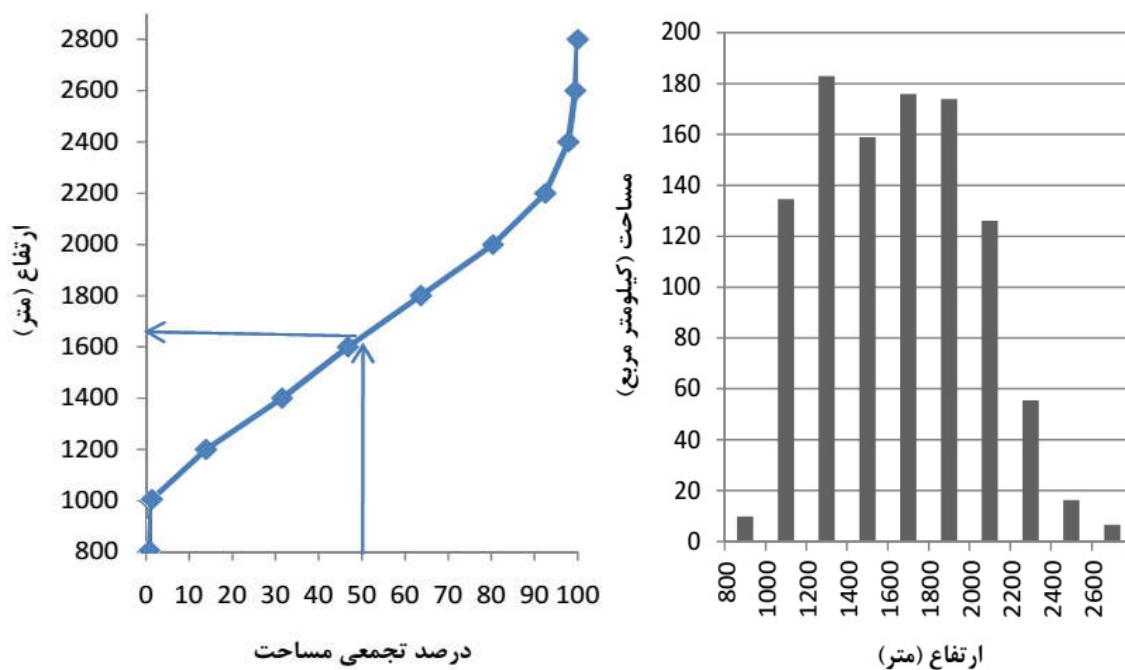
بخش عمده منطقه از سنگ آهک برهنه تشکیل شده و یا پوشش خاک اندکی بر روی آن تشکیل شده است. انحلال سنگ آهک سبب به وجود آمدن سیماهای کارستی از جمله کارن‌های با عمق و بازشدگی کوچک تا متوسط، گرایک، حفرات لانه کبوتری و فضا‌های انحلالی شده است. در فصل چهارم به طور کاملتری به بررسی سیماهای کارستی پرداخته خواهد شد.

علاوه بر انحلال، فرسایش مکانیکی به طور وسیع دیده می‌شود. اختلاف دمای زیاد در طی شبانه روز و فصل‌های مختلف سال موجب انجماد آب در ترک‌ها و افزایش حجم ترک‌ها شده، ذوب شدن و تکرار این عمل، سبب تخریب سنگ می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه رودخانه دائمی وجود ندارد، همچنین تراکم آبراهه‌ها بر سطح دامنه زیاد نیست به طوری که علت عدم وجود آبراهه را در دامنه بسیاری از ارتفاعات می‌توان بالا بودن درصد نفوذ بارش در منطقه در اثر وجود درز و شکاف‌های ساختاری و فرآیند کارستی شدن دانست.



شکل ۱-۲- تصویر برجسته توپوگرافی منطقه



شکل ۳-۱- نمودار فراوانی مساحت (راست) و نمودار هیپسومترى منطقه (چپ)

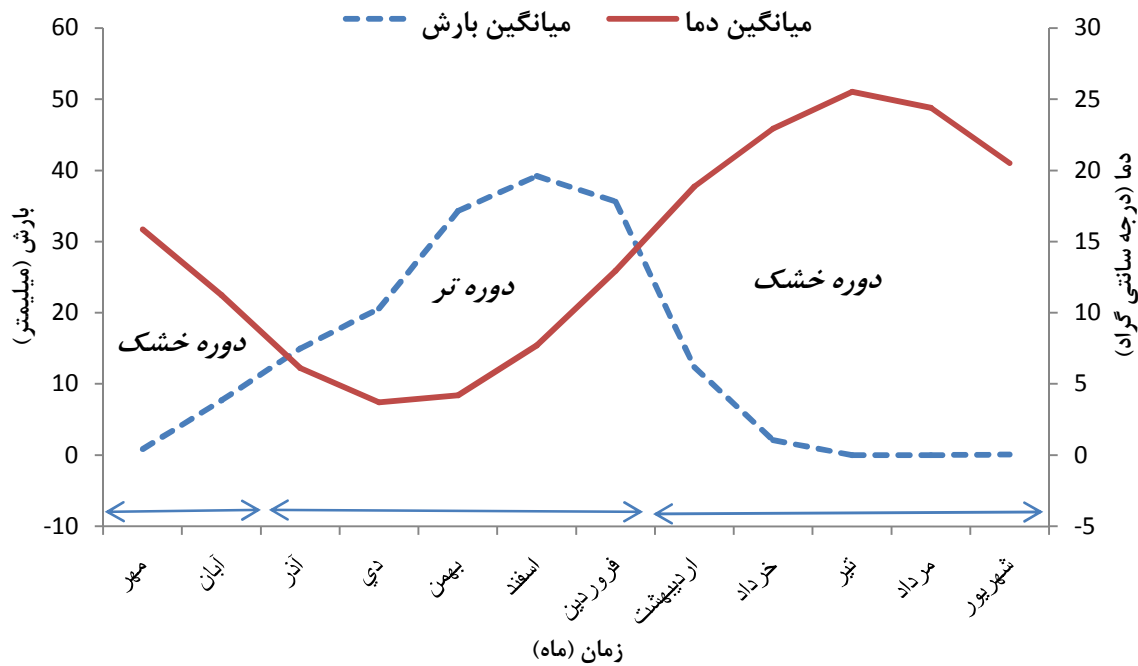
۴-۱- آب و هوا

جهت بررسی آب و هوای منطقه مورد مطالعه، ناحیه وسیع‌تری انتخاب شده و کلیه ایستگاه‌های هواشناسی تبخیرسنجی و باران‌سنجی شناسایی و بررسی گردیده است. بدیهی است که تمامی این ایستگاه‌ها، چه از نظر کم بودن طول دوره آماری و چه از نظر کیفیت، قابل استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها نخواهند بود.

ایستگاه تبخیرسنجی افین به دلیل داشتن آمار بلند مدت و نزدیکی به منطقه به عنوان ایستگاه معرف منطقه بررسی شده است. این ایستگاه در ارتفاع ۱۴۱۸ متری قرار گرفته و در طی دوره آماری ۴۰ ساله از سال ۱۳۵۴ تا سال ۱۳۹۴ دارای متوسط دمای ۱۴/۶ درجه سلسیوس در سال است، دی سردترین ماه سال و تیر ماه گرم‌ترین ماه سال می‌باشد. بر اساس داده‌های بارندگی این ایستگاه دارای میانگین بارش ۱۶۷ میلی‌متر در سال است (جدول ۱-۱). نمودار امپروترمیک رسم شده (شکل ۴-۱) برای این ایستگاه نشان می‌دهد که فصل‌تر از آذر ماه تا فروردین ماه بوده و بقیه ماه‌های سال فصل خشک است.

جدول ۱-۱- میانگین بارش و دمای ماهانه ایستگاه افین ۱۳۹۴-۱۳۵۴

سال	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ماه
بارش (mm)	۰	۰	۰	۲	۱۲	۳۶	۳۹	۳۴	۲۱	۱۵	۸	۱	۱۶۷
دما (°C)	۲۰/۵	۲۴/۴	۲۵/۵	۲۳/۰	۱۸/۹	۱۲/۹	۷/۷	۴/۲	۳/۷	۶/۱	۱۱/۲	۱۵/۸	۱۴/۶



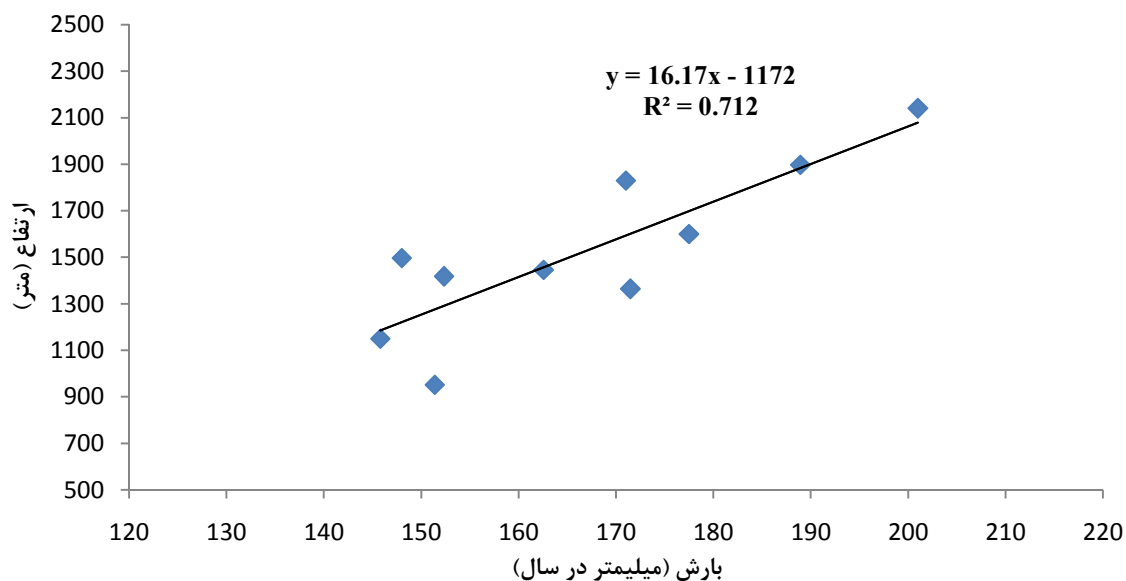
شکل ۱-۴- نمودار امپروترمیک ایستگاه افین

منطقه مورد مطالعه دارای وسعت و تغییرات ارتفاعی زیاد است، بنابراین برای محاسبه میزان متوسط بارش و متوسط دما در منطقه، رابطه بارش با ارتفاع و رابطه دما با ارتفاع به کمک ایستگاه‌های مجاور بدست آمده است. انتخاب ایستگاه‌های مورد استفاده به گونه‌ای بوده است که ضمن نزدیکی به منطقه دارای شباهت با وضعیت آب و هوایی در منطقه بوده و از آمار کافی و معتبر برخوردار باشند مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول ۱-۲ ارائه شده است. نمودار ارتفاع-بارش نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین

ارتفاع و بارش است (شکل ۱-۵). بر اساس رابطه ارتفاع-بارش، منطقه مورد مطالعه دارای متوسط بارش ۱۷۵ میلیمتر در سال است.

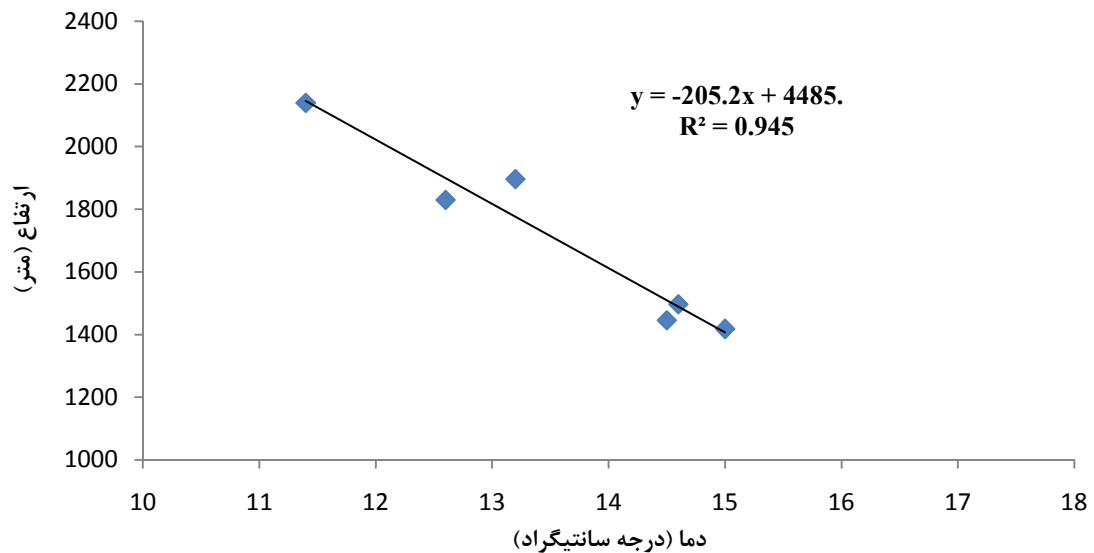
جدول ۱-۲- میانگین سالانه دما و بارش ایستگاه‌های منتخب دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۳)

میانگین دما (°C)	میانگین بارش (mm)	موقعیت جغرافیایی				نام ایستگاه
		ارتفاع (m)	عرض	طول	زون	
۱۵	۱۵۲	۱۴۱۸	۳۷۱۳۳۱۶	۷۵۵۶۰۸	۴۰	افین
-	۱۷۷	۱۶۰۰	۳۷۳۱۹۵۴	۷۷۳۶۵۵	۴۰	آبیز
-	۱۷۱	۱۳۶۴	۳۷۳۹۰۹۷	۷۱۷۰۹۹	۴۰	خونیک علیا
-	۱۴۶	۱۱۵۰	۳۷۴۶۲۰۴	۷۳۴۲۸۸	۴۰	فرخی
۱۴/۵	۱۶۳	۱۴۴۶	۳۷۳۴۷۱۳	۷۰۲۹۳۹	۴۰	قاین
۱۳/۲	۱۸۹	۱۸۹۷	۳۶۶۰۰۲۱	۷۴۷۲۰۰	۴۰	منصور آباد
-	۱۵۱	۹۵۲	۳۷۰۵۴۶۳	۲۴۴۳۹۲	۴۱	آهنگران
۱۴/۶	۱۴۸	۱۴۹۷	۳۶۴۶۶۸۸	۷۸۲۸۳۲	۴۰	اسدآباد
۱۲/۶	۱۷۱	۱۸۳۰	۳۶۰۸۶۱۳	۷۶۲۸۳۲	۴۰	سربیشه
۱۱/۴	۲۰۱	۲۱۴۰	۳۶۷۱۳۰۱	۷۳۰۹۷۸	۴۰	نقنچ



شکل ۱-۵- نمودار ارتفاع - بارش ایستگاه‌های موجود در مجاورت منطقه مورد مطالعه

شکل (۶-۱) نمودار ارتفاع-دما را نشان می‌دهد، بر اساس این نمودار منطقه مورد مطالعه دارای میانگین دمای ۱۳/۸ درجه سانتیگراد در سال است.



شکل ۶-۱- نمودار ارتفاع-دما ایستگاه‌های موجود در مجاورت منطقه مورد مطالعه

برای تعیین اقلیم از روش دمارتن (De Martonne نقل از علیزاده ۱۳۸۷) استفاده شده است. اساس این روش ضریب خشکی دمارتن (جدول ۳-۱) است که به وسیله معادله (۱-۱) محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه I شاخص دمارتن، P میانگین بارش سالیانه برحسب میلی‌متر و T متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد تعیین می‌شود (جدول ۳-۱). با توجه به مقادیر برآورد شده متوسط بارندگی سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه برای منطقه مورد مطالعه، مقدار شاخص دمارتن ۷/۳ بوده و در اقلیم خشک قرار می‌گیرد.

جدول ۳-۱- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۷)

نام اقلیم	خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
محدوده ضریب خشکی	کوچکتر از ۱۰/۰	تا ۱۰/۰	تا ۲۰/۰	تا ۲۴/۰	تا ۲۸/۰	بزرگتر از ۳۵/۰
	۱۹/۹	۲۳/۹	۲۷/۹	۳۴/۹		

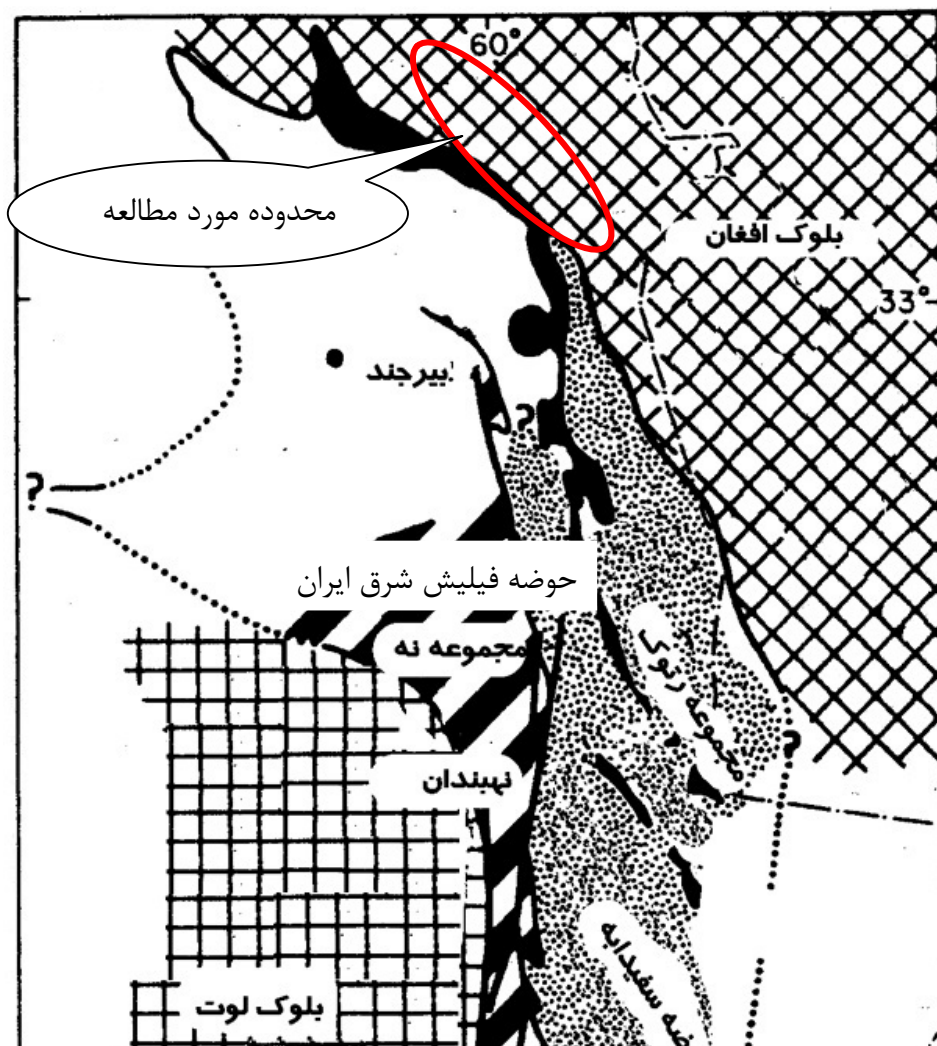
۱-۵- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند کوهستانی با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری می‌باشد طبق تقسیمات تکتونیکی و پهنه‌بندی رسوبی ساختاری اشتوکلین (Schtocklin 1968) منطقه آهنگران و ادامه آن به طرف شمال باختر و باختر بخشی از کوه‌های شرق ایران و دشتهای شرقی که تا مرز افغانستان گسترش دارد جزئی از بلوک کراتونی لوت می‌باشند. این منطقه در نقشه زمین‌شناسی ایران که به مقیاس ۱ به ۱,۰۰۰,۰۰۰ توسط شرکت ملی نفت ایران (۱۹۷۷) تهیه شده، تحت عنوان بلوک گسل فرح‌آباد معرفی شده است. تیروول و همکاران (Tirole et al. 1983) منطقه مورد مطالعه را در مرز شمال‌خاوری حوضه فلیش‌های شرق ایران (زمین درز سیستان) و بخشی از بلوک افغان دانسته‌اند (شکل ۱-۷).

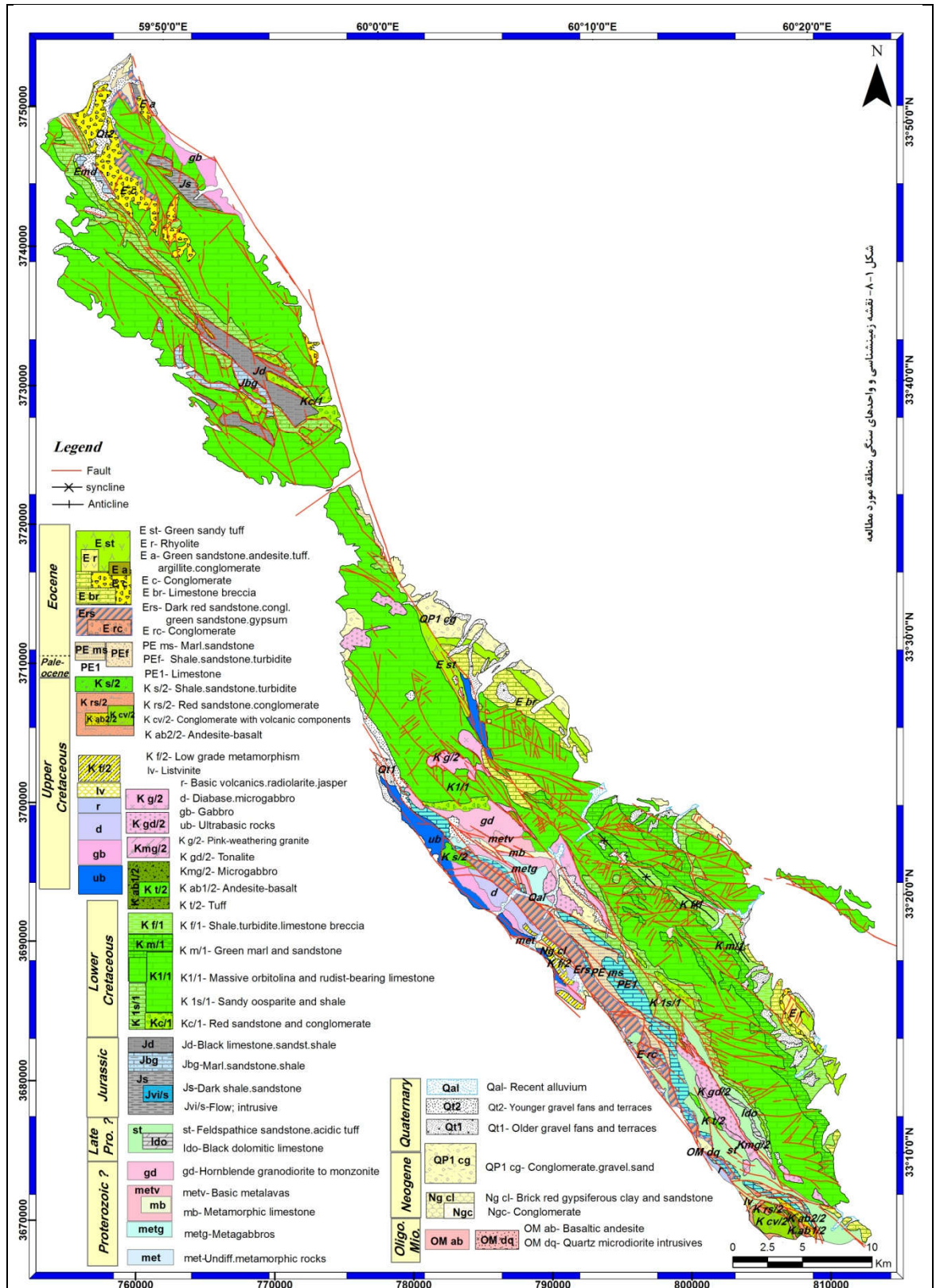
منطقه مورد مطالعه به وسیله گسل‌های با روند شمال‌باختر - جنوب‌خاوری از واحدهای افیولیتی مجاور خود در باختر و جنوب‌باختری جدا شده همچنین مرز آن‌ها با دشت سمت خاور و شمال-خاوری به وسیله گسل آبیژ- کریزان مشخص می‌شود. علاوه بر این منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر گسل خوردگی‌های عمدتاً تراستی و چین‌خوردگی‌های پی‌درپی به صورت بالاآمدگی (Uplift) در آمده است.

عمده واحدهای سنگی منطقه، واحدهای رسوبی مربوط به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی است و قدیمی‌ترین سنگ‌ها مربوط به پروتروزوئیک می‌باشد که به صورت محدود گسترش دارند. سنگ‌های کرتاسه تشکیل‌دهنده اصلی منطقه مورد مطالعه بوده و گسترش دارند. سنگ‌های کرتاسه و ژوراسیک با دگرشیبی روی پی‌سنگ دگرگون شده قدیمی قرار گرفته‌اند، سنگ‌های کرتاسه در قسمت پایین از مجموعه‌ای از کنگلومرا، شیل، ماسه‌سنگ و لایه‌های آهکی که با یکدیگر ارتباط بین‌انگشتی دارند تشکیل شده و روی آن‌ها آهک ضخیم لایه و توده‌ای اوربیتولین‌دار تشکیل شده که سن آن بارمین - وراکوئین (آلبین پسین) است. همچنین در قسمت شمال‌باختری منطقه ماسه‌سنگ‌ها و آهک‌های ژوراسیک میانی یا بالایی وجود دارند که با دگرشیبی روی پی‌سنگ قدیمی قرار گرفته و روی آن‌ها با ناپیوستگی توسط سنگ‌های کرتاسه پوشیده شده است. در قسمت جنوب‌خاوری منطقه بر روی

آهک توده‌ای و راکوئین مارن و شیل و ماسه‌سنگ‌های فلیشی دیده می‌شود که سن آن‌ها سنومانین است. واحدهای رسوبی مربوط به دوران سوم نیز به صورت محدود در منطقه رخنمون دارند از جمله می‌توان آهک پالتوسن را نام برد (Maurizot 1980, Berthiaux *et al.* 1982). سنگ‌های آهکی کرتاسه و پالتوسن به لحاظ ایجاد آبخوان‌های کارستی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. جهت شناسایی و حل مسایل لیتواستراتیگرافی و ساختمانی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های زمین-شناسی آهنگران و آبیز در مقیاس ۱ به ۱۰۰,۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی شاهرخت و قاین در مقیاس ۱ به ۲۵۰,۰۰۰ به همراه سایر نقشه‌ها و گزارش‌های موجود بررسی شده و نقشه واحدهای سنگی منطقه بر اساس این اطلاعات تهیه شد (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۷- پهنه‌های رسوبی-ساختاری منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Tirole *et al.* 1983)



شکل ۱-۸- نقشه زمینشناسی و واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه

شکل ۱-۸- نقشه زمین شناسی و واحدهای سنگی منطقه

۱-۵-۱- چینه‌شناسی

قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه با سن احتمالی پروتروزوئیک هستند که به صورت اندک در محدوده مورد مطالعه رخنمون داشته و با سنگ‌های کرتاسه و گاهی ژوراسیک پوشیده شده‌اند. به بررسی واحدهای چینه‌شناسی منطقه در این بخش پرداخته خواهد شد.

۱-۱-۵-۱- واحدهای سنگی قبل از ژوراسیک

پی سنگ منطقه از سنگ‌های آذرین و رسوبی دگرگون‌شده، که به صورت محدود رخنمون دارند، تشکیل شده است. این واحدها به صورت دقیق تعیین سن نشده‌اند ولی از روی شباهت آن‌ها به سایر نقاط ایران سن آن‌ها پروتروزوئیک بیان شده است (Maurizot 1980). در جنوب کوه کازگون رخنمونی از سنگ‌های دگرگونی قدیمی وجود دارد که دارای جهت‌یافتگی‌اند و امتداد تقریباً شرقی - غربی و دارای شیب به سمت شمال بوده و توسط توده‌های نفوذی منزوگرانیته (gd) قطع شده‌اند. و این سری از سه بخش، آمفیبولیت شیست (met) در بالا و آهک کریستالی در بخش میانی (mb) و پیروکسنیت آمفیبولیت (met) در بخش پایین تشکیل شده است. بخش آهک کریستالی یک افق ممتد به طول پنج کیلومتر و ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد که در قسمت‌هایی دگرگون شده و در نواحی اطراف اسکارنی شده است. در جنوب کوه سپستان یک سری رسوبی ولکانیکی را به ضخامت ۳۷۰ متر متشکل از شیل، ماسه‌سنگ فلدسپات‌دار، توف، و ولکانیک‌های اسیدی است که دگرگون شده‌اند. توسط یک افق دولومیتی تیره به دو بخش تقسیم شده‌است و شبیه به سری ریزو می‌باشد (Maurizot 1980, Berthiaux et al. 1982).

۱-۵-۱-۲- ژوراسیک

در حالی‌که در کوه آهنگران، سپستان و کازگون رخنمونی از سنگ‌های ژوراسیک وجود ندارد و واحدهای سنگی به سن کرتاسه پایینی به طور دگرشیب بر روی پی‌سنگ پروتروزوئیک قرار گرفته‌اند، در جنوب کوه آبیز و شاسکوه سنگ‌های ژوراسیک میانی و بالایی که معادل سازندهای بغمشاه (Jbg)

و قلعه دختر (gd) ایران مرکزی رخنمون دارند. جنس این سازندها شیل، مارن، ماسه سنگ و آهک- های تیره رنگ تشکیل شده است (Berthiaux *et al.* 1991, Akrami 2004).

۱-۵-۱-۳- کرتاسه پایینی

سنگ‌های کرتاسه پایینی واحدهای اصلی را در منطقه مورد مطالعه تشکیل داده است و در کوه‌های آهنگران، سپستان و کازگون به صورت ناپیوسته بر روی پی‌سنگ با سن احتمالی پروتروزوییک قرار دارند. بیش‌ترین ضخامت (۲۶۱۶ متر) و تنوع لیتولوژیکی در جهت‌های قائم و جانبی در کوه آهنگران نشان می‌دهد و عبارت است از (Maurizot 1980, Guillou *et al.* 1981, Berthiaux *et al.* 1982):

الف- رسوبات فلیش‌مانند، شیل، توربیدایت و آهک برشی (k_1^f)

ب- مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های سبز رنگ (k_1^m)

ج- آهک توده‌ای در قسمت بالا یک افق تدریجی (k_1^l)

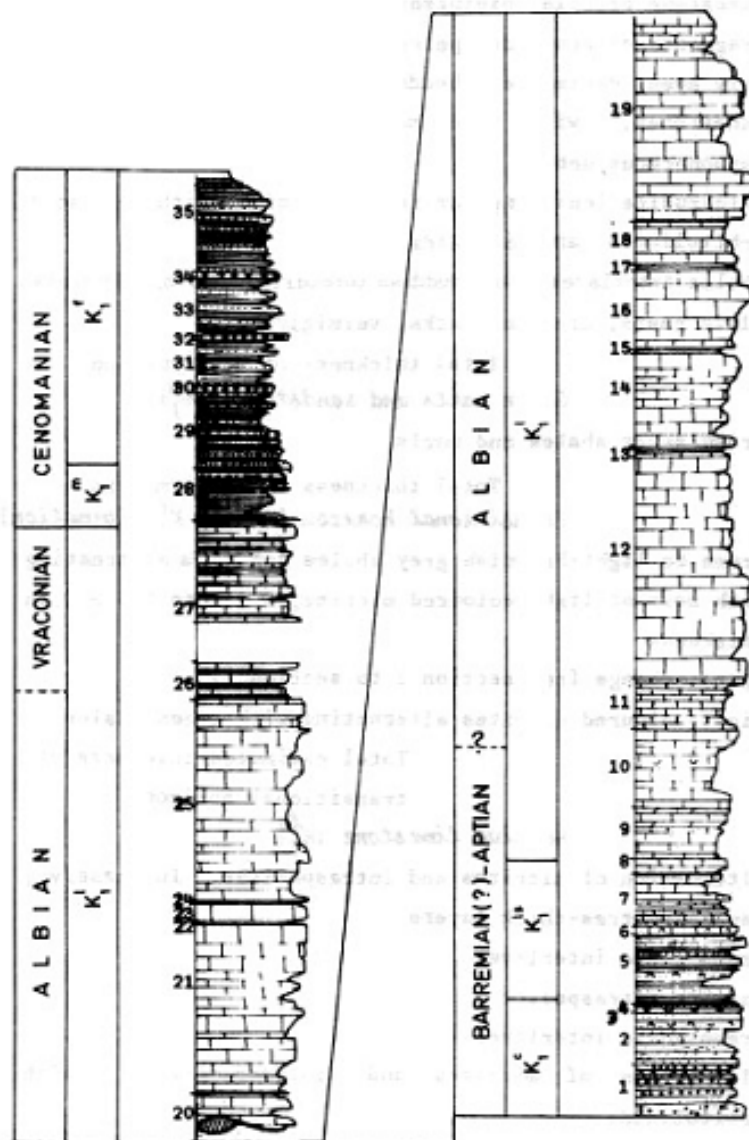
د- شیل و آهک‌ماسه‌ای دگرگون‌شده (k_1^{ls})

و- کنگلومرا و ماسه‌سنگ (k_1^c)

شکل (۱-۹) مقطع چینه‌شناسی واحدهای فوق را نشان می‌دهد.

۱-۵-۱-۴- کرتاسه فوقانی

بر اساس نقشه زمین‌شناسی شاهرخت با مقیاس ۱ به ۲۵۰,۰۰۰ (Berthiaux *et al.* 1982) و چهارگوش آهنگران با مقیاس ۱ به ۱۰۰,۰۰۰ (Guillou *et al.* 1981)، مجموعه ولکانیکی سبزکوه به صورت کمربند پیکان مانند که از جنوب کوه سرگی تا جنوب کوه سپستان به طول ۲۵ کیلومتر کشیده شده است. این مجموعه ولکانیکی از بازالت و آندزیت‌بازالت (k_2^{abl}) تشکیل شد و توده‌های نفوذی از جنس میکروگابرو (k_2^{mg}) و تونالیت (k_2^{gd}) در آن نفوذ کرده است. لایه‌های بازالتی و آندزیتی به صورت فوران‌های زیردریایی بوده و تحت دگرسانی رخساره شیست سبز قرار گرفته‌اند.



شکل ۹-۱- مقطع چین‌شناسی کرتاسه پایینی در کوه آهن‌گران (Maurizot 1980)

واحدهای ولکانوکلستی (k_2^1) از توفهای بازی تا اسیدی و گریوک و برش تشکیل شده‌اند. تحت دگرسانی استاتیک درجه پایین رخساره پره‌نیت و پمپلی‌ایت قرار گرفته‌اند. همچنین آهک‌های کرتاسه پایینی را واحدهای نفوذی تونالیت (k_2^{gd}) و گرانیت (k_2^g) قطع کرده‌اند.

واحدهای افیولیتی از مجموعه سنگ‌های اولترامافیک و مافیک با رسوبات فلیش تشکیل شده که به صورت تکتونیکی با یکدیگر مخلوط و آمیزه رنگین را ساخته‌اند. شامل سنگ‌های پریدوتیت (ub)، گابرو (gb)، دیاباز و میکروگابرو (d)، بازالت و رسوبات رادیولاریت (r) و رسوبات فلیشی است (k_2^f) نیز

دارای سن کرتاسه فوقانی اند و در اواخر کرتاسه فوقانی چین خورده و دگرگون شده‌اند. رسوبات فلیشی کرتاسه فوقانی (k_2^f) از سنگ های متنوع مانند ماسه‌سنگ، شیل، برش، آذرآواری، گهگاهی به صورت ناپیوسته بخش‌های آهکی و آذرین تشکیل شده‌اند. رسوبات به سن ماسترینشین پسین به صورت ناپیوسته بر روی واحد افیولیتی و فلیشی قرار گرفته‌اند که دگرگون نشده‌اند و شامل واحدهای کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آهک هیپوریتی است. بخشی از این رسوبات را در جنوب خاوری در نزدیکی کلاته بنی می‌توان مشاهده نمود (Maurizot 1980, Berthiaux et al. 1982).

۱-۵-۱- پالتوسن - ائوسن

واحدهای سنگی به سن پالتوسن - ائوسن را می‌توان در سه گروه جای داد (Maurizot 1980):
- واحدهای پایین رسوبی که از رسوبات دریایی عمیق تشکیل شده‌اند که مرز پالتوسن و ائوسن در آن‌ها مشخص نیست. این رسوبات نشان دهنده محیط فلات قاره است و از رخساره سنگ‌های کربناته پیش ریفی به همراه جلبک، رخساره مارن و ماسه‌سنگ (نشان دهنده دریای باز)، رخساره پشت ریفی شامل میکرایت دولومیتی و ماسه‌سنگ قرمز تشکیل شده‌اند.
- لایه‌های قرمز رنگ ائوسن متشکل از رسوبات کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز که محیط تشکیل قاره‌ای داشته و سن دقیقی نمی‌توان برای آن تعیین نمود ولی به طور احتمالی مربوط به ائوسن میانی است.
- گروهی از سنگ‌های ولکانیک و ولکانیک رسوبی مربوط به ائوسن بالایی در طرف شمال و شمال-خاوری منطقه گسترش دارند و دارای سن ائوسن بالایی می‌باشند. در منطقه محمدآباد و اردکول این مجموعه با کنگلومرا و برش تک منشاء با قطعات آهک اوربیتولین‌دار به ضخامت ۳۵۰ متر تشکیل شده‌است (E^{br}). بر روی آن ماسه‌سنگ توفی و ژئوپس‌دار (E^{st}) قرار گرفته است که دارای بین‌لایه‌هایی از آهک چرتی با لایه‌بندی نازک می‌باشد. در جنوب اردکول لایه‌ای از آندزیت به رنگ سبز تیره در واحد ماسه‌سنگی بالا به صورت بین‌لایه‌ای دیده می‌شود. در ناحیه لونک برش قاعده‌ای ضخامت و گسترش کم‌تری دارد و توسط کنگلومرای حاوی قطعات آندزیتی (E^c) پوشیده شده یا جایگزین شده است و بر روی آن روانه‌های ریولیتی (E^r) قرار گرفته است (Berthiaux et al. 1982).

۱-۵-۱-۶- الیگوسن - میوسن

در منطقه مورد مطالعه واحدهای به سن الیگوسن و میوسن رخنمون ندارند ولی در جنوب منطقه به همراه مجموعه‌های افیولیتی دیده شده‌اند و شامل مجموعه از سنگ‌های ولکانیکی بازالت و آندزیت-بازالت و همچنین مجموعه‌ای از نفوذی‌های میکرودیوریتی است (Berthiaux *et al.* 1982).

۱-۵-۱-۷- نئوژن

واحدهای جدیدتر از الیگوسن - میوسن و قدیمی‌تر از کواترنری در منطقه به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش پایینی متشکل از ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز و رس که سن میوسن بالایی تا پلیوسن پایینی دارد. بخش بالایی از کنگلومرای رودخانه‌ای که به صورت ناپیوسته بر روی بخش پایینی قرار گرفته و احتمالاً سن پلیوسن تا اوایل کواترنری دارد (Maurizot 1980, Berthiaux *et al.* 1982).

۱-۵-۱-۸- کواترنری

در مرز شمال و شمال‌خاوری، منطقه مورد مطالعه با دو دشت زوزن و شاه‌رخت به وسیله گسلش جدا شده‌اند، همچنین بخش شمال‌باختری منطقه از سمت جنوب و جنوب‌باختر به دشت اسفدن محدود می‌شود. در نزدیکی مرز کوه و دشت می‌توان رسوبات تراستی قدیمی را مشاهده کرد که بر روی آن مخروط افکنه و رسوبات رودخانه‌ای جدید قرار گرفته‌اند. ضخامت آبرفت در مرز کوه و دشت به علت عملکرد تراستی گسل‌ها زیاد می‌باشد و از رسوبات دانه درشت سخت نشده تشکیل شده است. بخش‌هایی از دشت‌های اطراف منطقه مورد مطالعه توسط تپه‌های ماسه بادی پوشانده است و کفه‌های رسی در مناطق پست وجود دارد، از جمله این کفه‌های رسی می‌توان دق پترگان را در مرز افغانستان نام برد. قطعات سنگی و رسوبات را می‌توان به صورت واریزه‌های ریزشی و لغزشی پای دامنه‌ها مشاهده کرد. (Maurizot 1980, Akrami 2004).

۱-۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

گسل‌های با روند شمال‌باختری به سمت جنوب‌خاوری، منطقه مورد مطالعه به دو بخش مجزا تقسیم کرده است (Maurizot 1980, Guillou *et al.* 1981, Berthiaux *et al.* 1982, Akrami 2004):

الف- بلوک کوه آهنگران که در خاور و شمال‌خاور این گسل‌ها قرار گرفته و یک بلوک کراتونی با پی-سنگ پروتروزوییک می‌باشد و از آن به نام بلوک گسل فرح‌آباد (Schreiber 1972) در غرب افغانستان نامبرده شده است.

ب- سازندهایی که در قسمت باختر و جنوب باختر این گسل‌ها جای گرفته و شامل واحد رسوبی و ساختاری به نام کوه‌های شرق ایران (Schocklin 1968) است. این واحد خود به دو زیر بخش تقسیم می‌شود:

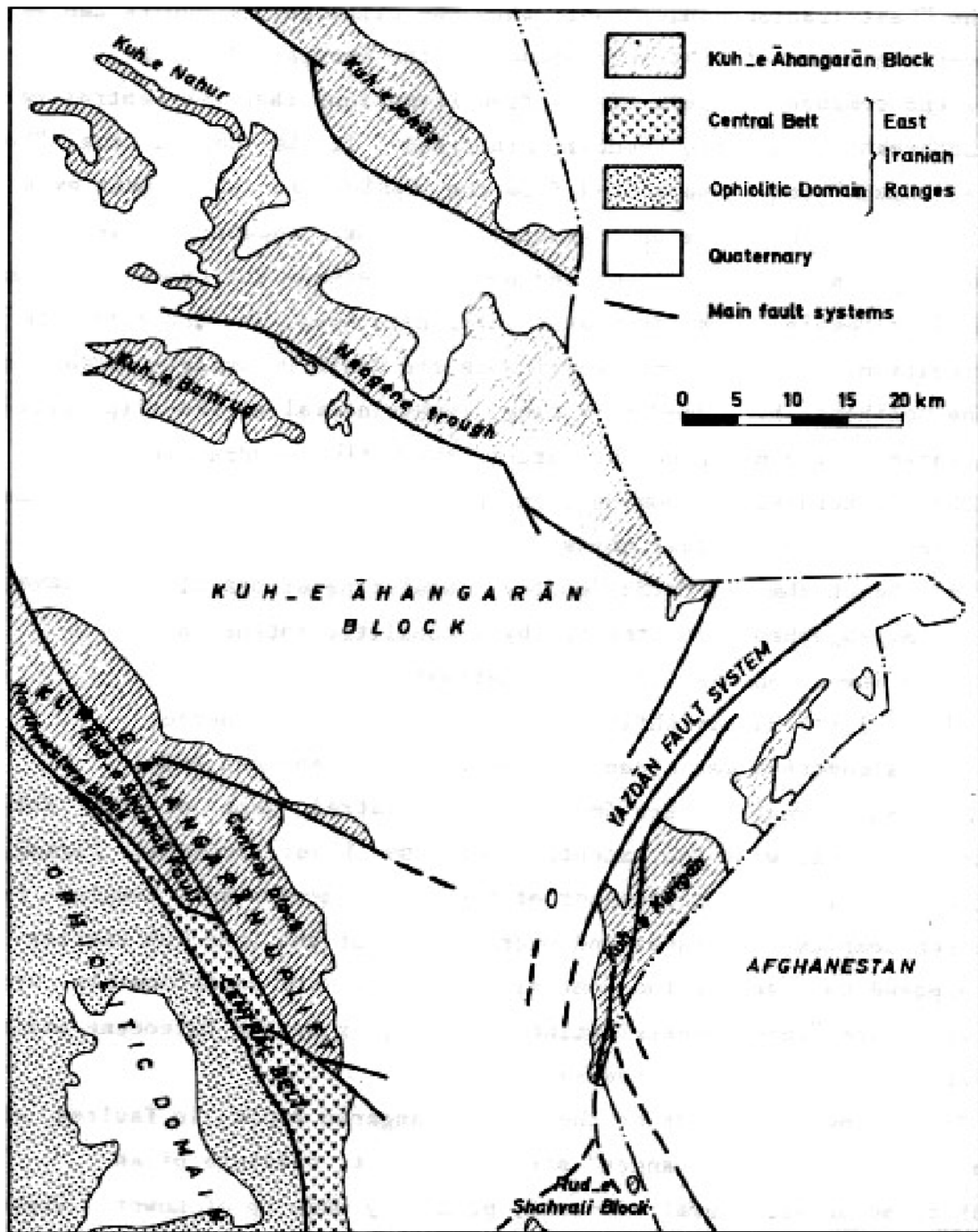
۱- کمر بند میانی که در مرز بلوک کوه آهنگران قرار گرفته و در جنوب کوه سرگی حذف می‌شود و بیشتر شامل سنگ‌های آذرین و رسوبی است

۲- مجموعه افیولیت ملانژ که به وسیله گسل‌هایی با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور از زیر واحد کمر بند میانی جدا شده و شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های فوق بازیک و بازیک و رسوبات فلیشی است که به صورت تکتونیکی با یکدیگر مخلوط شده‌اند.

بلوک کوه آهنگران در مرز با کوه‌های شرق ایران تحت تأثیر گسل‌خوردگی‌های تراستی و چین‌خوردگی‌های متداول بالا آمده و (بالا آمدگی کوه آهنگران) را به وجود آورده است. بالا آمدگی کوه آهنگران خود به وسیله گسل رود شوشک با روند N150 تا N160 به دو بخش شمال‌غرب و بخش مرکزی تقسیم می‌شود. شکل (۱-۱۰) واحدهای ساختاری بیان شده در بالا را نشان می‌دهد.

عوارض ساختاری در پی‌سنگ پروتروزوییک کوه کازگون دارای روند باختری - خاوری است و با روند چین‌خوردگی و گسل‌های آلپی متفاوت بوده و قطعا مربوط به قبل از ژوراسیک است از این رو به احتمال در اثر رخداد کوهزایی آسینتیک به وجود آمده‌اند. اما در کوه سپستان روند میل عوارض ساختاری پی‌سنگ به صورت شمال‌باختر به جنوب‌خاور بوده و مشابه روندهای ساختاری آلپی است و ممکن است در اثر فازهای تکتونیکی سیمیرین آغازین باشد. رخداد تکتونیکی سیمیرین پسین با ناپیوستگی در بارمین بالایی و ژوراسیک قابل شناسایی است. رسوبات فلات قاره از بارمین تا وراکونین

رسوب‌گذاری کرده‌اند در حالی که در سنومانین رسوبات با محیط دریایی عمیق به وجود آمده‌اند. واحدهای رسوبی کرتاسه زیرین و کرتاسه فوقانی قبل از رسوب‌گذاری برش و سری ولکانیک رسوبی ائوسن بالایی چین خورده‌اند (Maurizot 1980).



شکل ۱-۱- واحدهای ساختاری منطقه مورد مطالعه (Maurizot 1980)

روند عمومی چین خوردگی‌ها (همانند ناودیس اصلی در بخش مرکزی بالآمدگی کوه آهنگران) با آزیموت N120 تا N150 با رخنمون واحدهای مختلف نمایان است. فازهای دیگر چین خوردگی روند نامشخص داشته و قابل شناسایی نمی‌باشد (Maurizot 1980, Berthiaux et al 1982). مهم‌ترین گسل این ناحیه، گسل آبیز با ساز و کار راستالغز راست‌بر به همراه مولفه معکوس است، فعالیت این گسل موجب زمین‌لرزه‌های ۱۴ و ۲۷ نوامبر ۱۹۷۹ قاینات و ۱۰ مه ۱۹۹۷ اردکول شده است. گسل‌هایی که بالآمدگی کوه آهنگران را قطع کرده و یا در مرز آن وجود دارد از چند مجموعه شبکه گسلی تشکیل شده‌اند:

- گسل‌های راستالغز راست‌گرد با روند N150 تا N160 مانند سیستم گسلی رود شوشک علاوه بر جابجایی‌های جانبی منجر به جابجایی عمودی قابل توجهی شده که موجب بالآمدگی شده است.
- گسل‌های راستالغز راست‌گرد که روندهای عمده N140 و N120 دارند و مرز بخش شمال‌باختری بالآمدگی کوه آهنگران را در جنوب کوه سرگی و مرز کمربند میانی را در جنوب‌باختر کوه کازگون به وجود می‌آورند.
- گسل‌های با روند N110 تا N120 که جابجایی چپ‌گرد داشته و مرز شمال و جنوب بالآمدگی کوه خواجه را به وجود آورده‌اند و به سمت شرق در رسوبات کواترنری هم ادامه پیدا کرده است.
- گسل‌های فرعی با روند N35 تا N50 دارای ساز و کار راست‌گرد.

۱-۶- هیدرولوژی

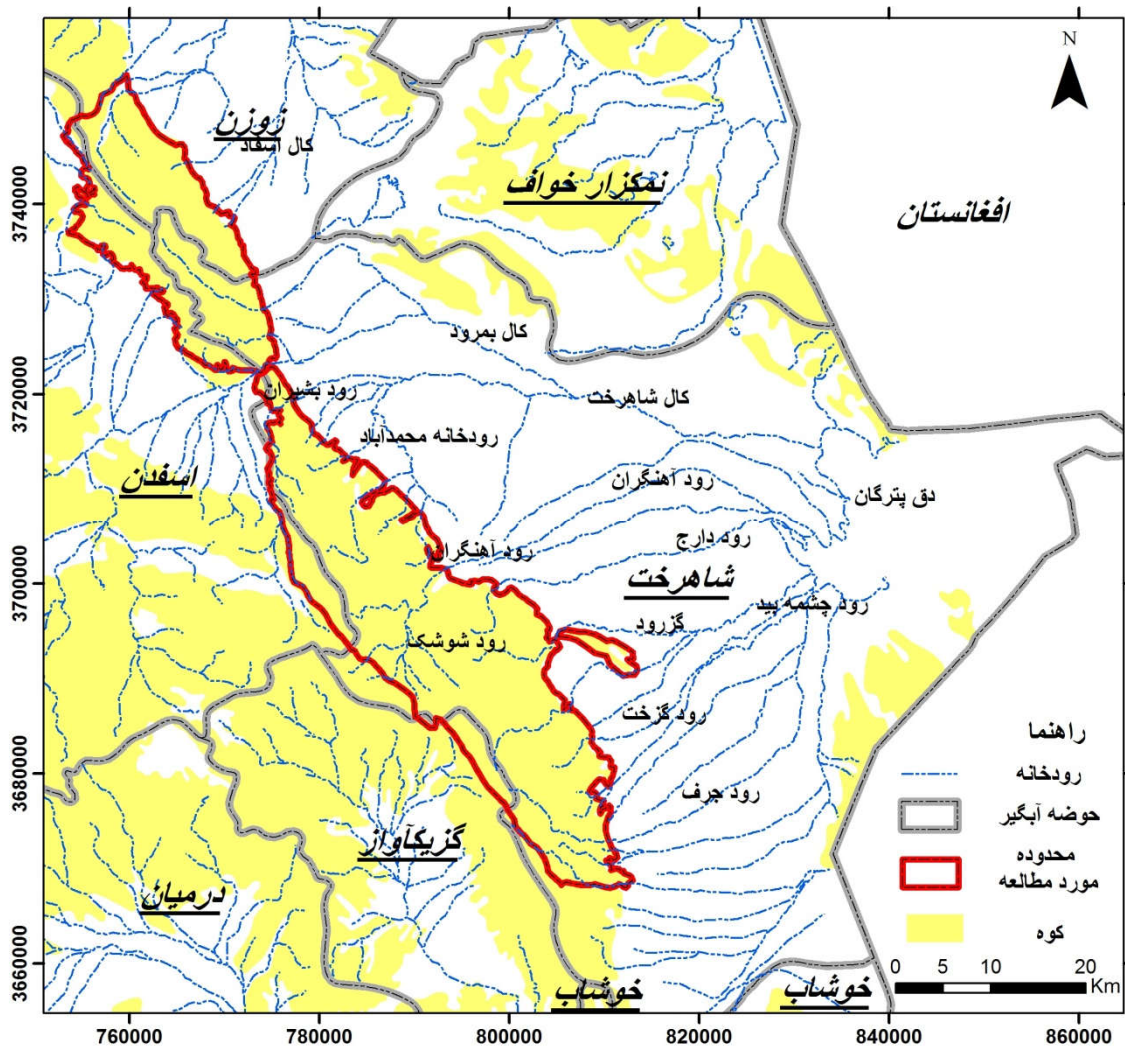
در مناطق کارستی بخش زیادی از نزولات جوی بسته به شرایط هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، زمین-ریخت‌شناسی و تکامل کارستی به درون زمین نفوذ می‌کند و رواناب کمتری نسبت به مناطق غیرکارستی تولید می‌شود. از طرف دیگر چشمه‌های کارستی بخشی از آب زیرزمینی را به سطح منتقل کرده و ایجاد آب‌های سطحی می‌نمایند. در شکل (۱-۱۱) حوضه‌های آبریز اصلی در محدوده مطالعاتی را به همراه رودخانه‌های مهم منطقه نشان داده شده است. در ادامه به بررسی رودخانه‌های مهم در منطقه پرداخته خواهد شد (آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۹۰):

رودخانه بشیران یکی از شاخه‌های تشکیل‌دهنده رودخانه شاهرخت است که از دامنه‌های باختری کوه اردکول سرچشمه می‌گیرد و از جنوب به شمال جریان می‌یابد. رودخانه بشیران پس از عبور از زمین‌های روستای بشیران به سمت خاور تغییر مسیر داده و با رودخانه محمدآباد تلاقی می‌کند و رودخانه شاهرخت را به وجود می‌آورد. طول این شاخه ۲۹ کیلومتر بوده و تنها در زمان بارندگی شدید دارای آب گردیده و در سایر مواقع، آبی در آن جریان نمی‌یابد.

رودخانه محمدآباد یکی دیگر از شاخه‌های تشکیل‌دهنده رودخانه شاهرخت می‌باشد که از دامنه‌های کوه اردکول سرچشمه می‌گیرد. شاخه‌های اولیه آن پس از عبور از روستاهای اردکول و محمدآباد به هم پیوسته و در جهت جنوبی- شمالی جریان می‌یابد. این رودخانه پس از اتصال به رودخانه بشیران، رودخانه شاهرخت را به وجود می‌آورد. طول این رودخانه ۳۵ کیلومتر بوده و وسعت حوضه آبرگیر آن ۲۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. این رودخانه نیز تنها در مواقع بارندگی شدید دارای آب شده و در سایر مواقع خشک می‌باشد.

رودخانه آهنگران، مساحت حوضه آبرگیر آن $708/63$ کیلومترمربع می‌باشد. از دامنه‌های باختری کوه آهنگران سرچشمه می‌گیرد و از روستاهای نظامند و دزگ گذشته و شاخه‌های متعددی را دریافت می‌نماید، سپس به سمت خاور روانه می‌گردد و پس از عبور از زمین‌های روستاهای آهنگران و معصوم‌آباد به دق پترگان در مرز افغانستان می‌ریزد. طول این رودخانه حدود ۶۰ کیلومتر بوده و از مجموع چند شاخه سیلابی تشکیل می‌یابد که فقط در ایام بارندگی مختصر آبی در آن‌ها جاری شده و سپس خشک می‌گردد.

رودخانه تجنود (گزرود) و رودخانه گزخت در قسمت جنوب‌خاوری منطقه مورد مطالعه قرار دارند و آب آن‌ها از چشمه‌های کارستی منطقه تأمین می‌شود. آبدهی متوسط رودخانه تجنود، ۴۶ لیتر بر ثانیه و آبدهی متوسط رودخانه گزخت، ۳۰ لیتر بر ثانیه است، آبدهی در فصل‌های پر باران افزایش می‌یابد و همچنین در هنگام بارش شدید سیلابی می‌شوند.



شکل ۱۱-۱- حوضه‌های آبریز اصلی و آبراهه‌های مهم منطقه

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین در خصوص توسعه کارست

۲-۱- مقدمه‌ای در مورد کارست

واژه کارست اولین بار در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی جهت توصیف مناطقی از یوگسلاوی سابق به کار برده شده و ریشه در لغت کارا (Kara/Gara) در زبان اسلاو دارد که به معنی زمین سنگی است (Ford and Williams 2007). این واژه هم اکنون به مناطقی عمدتاً آهکی اطلاق می‌شود که در آن عمل انحلال آب باعث توسعه فضاهای انحلالی گردیده، در نتیجه سیستم زهکشی زیرسطحی ایجاد نموده است. کارست گستره‌ای با عوارض سطحی مشخص و مورفولوژی خاص و همچنین سیستم زهکشی قوی آب زیرزمینی ناشی از انحلال سنگ‌های دارای قابلیت انحلال بالا از قبیل سنگ آهک، دولومیت، مارن و ژیپس (به ویژه سنگ آهک) در آب‌های طبیعی است (Ford and Williams 2007). سازندهای کارستی مساحت قابل توجهی دارند به طوری که حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از سطح خشکی‌ها را می‌پوشاند (Bonacci 1990) همچنین عده‌ای دیگر بیان داشته‌اند که حدود ۱۲ درصد از سطح خشکی‌ها را تشکیل می‌دهد (Ford and Williams 2007). مصرف آب حدود ۲۵ درصد جمعیت جهان از منابع کارستی می‌باشد و در مناطق خاورمیانه و جنوب شرقی آسیا از منابع عمده تأمین آب است (Dranault 2008). در ایران حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور را سازندهای کارستی می‌پوشاند که حدود ۵۲ درصد آن‌ها در رشته‌کوه‌های زاگرس قرار گرفته‌اند (Raeisi 2002). با توجه به آمار ذکر شده اهمیت منابع آب کارستی به‌عنوان یکی از با ارزش‌ترین منابع تأمین آب در جهان و ایران بیش از پیش آشکار می‌شود. به طور خلاصه مطالعه کارست و منابع آب کارستی به دلایل زیر حائز اهمیت است:

الف) سازند کارستی به دلیل نفوذپذیری زیاد و قابلیت ذخیره‌سازی، حجم آب قابل توجهی را در خود ذخیره کرده و تأمین‌کننده آب یک چهارم جمعیت جهان است.

ب) کیفیت آب‌های کارستی بهتر از کیفیت آب‌های آبرفتی است و اغلب در رده آب‌های بسیار مطلوب قرار می‌گیرند.

ج) استفاده از ذخایر آب کارست، عموماً از احداث سد و انتقال آب جهت مصارف شرب ارزان تر است.

د) منابع آب آبرفتی معمولاً از دیرباز توسط بشر مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در حال حاضر بیلان بسیاری از دشت‌های کشور منفی است. از طرفی وجود اراضی کشاورزی، باعث گردیده‌است که حفر چاه در مناطق آبرفتی با مشکلات اجتماعی عدیده‌ای روبرو گردد.

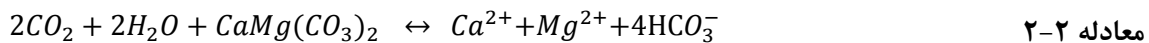
و) در حال حاضر اکثر فعالیت‌های انسانی و صنعتی در آبرفت متمرکز شده است و لذا منابع آبرفتی بیشتر در معرض آلودگی است. از سوی دیگر نفوذپذیری بالای کارست و فقدان خودپالایشی و پیچیدگی مسیرهای حرکت در آن، اهمیت مطالعه‌ی نحوه انتقال آلودگی در آن را بیشتر می‌نماید.

ه) با توجه به لزوم احداث سد جهت تأمین آب و برق و قرارگیری محور و مخزن سد در محیط‌های آهکی، اهمیت مطالعات کارست دو چندان می‌شود. مشکلات به وجود آمده در سدهای لار و مارون از لحاظ فرار آب نشان‌دهنده این مسأله است.

ی) بررسی خصوصیات آبخوان‌های کارستی به منظور طراحی سازه‌هایی مانند پل، جاده و تونل از نظر خطرات و طراحی سازه دارای اهمیت است.

۲-۲- عوامل مؤثر بر توسعه کارست

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



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

در یک تقسیم بندی ساده عوامل مؤثر بر توسعه کارست را می توان به سه دسته تقسیم نمود:

الف) عوامل اقلیمی: اولین و مهم ترین فاکتور تأثیرگذار در توسعه کارست آب و هوا و اقلیم می باشد. پارامترهای اقلیمی به طور عمده شامل بارش، دما و فشار گاز دی اکسیدکربن است. اقلیم با تأثیر مستقیم بر نوع بارش و مقدار آن، دما و مقدار گاز کربنیک موجود در خاک، هوا و ریزش های جوی در پدیده کارستی شدن و انحلال سنگ آهک و در نهایت توسعه حجم فضاهای متخلخل تأثیر می گذارد (White 1988).

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

ب) عوامل زمین شناسی: این عوامل به طور عمده شامل لیتولوژی، چینه شناسی و عوامل تکتونیکی است. عوامل زمین شناسی کنترل کننده نوع و گسترش سیستم کارست است، به عبارت دیگر عوامل زمین شناسی تعیین کننده چهارچوب سیستم کارستی هستند که در آن عوامل متعددی عمل می کنند (White 1988).

ج) عوامل ژئومورفولوژیکی: شامل پوشش خاک، پوشش گیاهی، شیب توپوگرافی و آبراهه ها می باشد. عوامل ژئومورفولوژیکی به طریق مستقیم و یا غیرمستقیم از طریق اثر بر سایر عوامل و کنترل آن ها در توسعه کارست و جهت داری توسعه نقش دارند. بررسی های ژئومورفولوژیکی شامل تعیین و نقشه برداری تمامی عوارض ژئومورفولوژیکی، توپوگرافی، و سیستم زهکشی منطقه، در تعیین مناطق تغذیه و مناطق مستعد جهت برداشت آب های زیرزمینی نقش دارند (Singhal and Gupta 2010).

گلدشیدر و درو (Goldsheider and Dreow 2007) بیان کرده اند که زمانی که یک منطقه کارستی از نظر هیدروژئولوژیکی بررسی می شود، مطالعات زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی بخش اجتناب ناپذیر و ضروری این مطالعه ها می باشد و بدون بررسی سنگ شناسی سازندهای مختلف زمین شناسی، چینه شناسی، سیستم شکستگی و گسل ها، چین خوردگی ها، توپوگرافی، شکل توده کارستی و تاریخچه نمی توان درک کامل و درستی از سیستم آبخوان کارستی منطقه داشت.

خصوصیات مختلفی از قبیل میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات لیتولوژیکی سنگ‌های کارستی و ارتباط با لیتولوژی‌های دیگر در مقیاس ناحیه‌ای، کنترل کننده‌های زمین‌شناسی توسعه کارست را تشکیل می‌دهند. تکتونیک با تعیین میزان بالا آمدگی، فرسایش و میزان پتانسیل هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مناطقی که از لحاظ تکنیکی فعال می‌باشند، به دلیل تلاش عوامل طبیعی جهت رسیدن به حالت تعادل، توسعه کارست دارای تداوم بیشتری است. ساختارهای زمین‌شناسی از قبیل تاقدیس، ناودیس، سطوح لایه‌بندی، شدت چین‌خوردگی، گسل‌ها و درزه‌های اصلی، بستری برای ارتباط عمودی و افقی را در ناحیه اشباع فراهم می‌کند (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

با توجه به گستردگی پارامترهای زمین‌شناسی، تأثیر زمین‌شناسی بر توسعه کارست نیز به همان اندازه گسترده و متنوع می‌باشد. نقش این عوامل را به صورت سه بخش مجزا لیتولوژی، چینه‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی در ادامه بررسی خواهد شد.

۲-۱-۲- بارش

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

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

۲-۲-۲- دما

با افزایش دما، ظرفیت انحلال گاز کربنیک (CO_2) در آب کاهش یافته و در نتیجه خوردگی آب کاهش می‌یابد. به طور کلی دما بسیار پایین باعث ایجاد یخ‌زدگی و کاهش جریان آب، کاهش پوشش

گیاهی و در نتیجه کاهش احتمال کارستی شدن می‌شود. از سوی دیگر مناطق گرم و خشک به دلیل افزایش تبخیر مانع از توسعه کارست می‌گردند. افزایش دما همچنین بر افزایش پوشش گیاهی منطقه تأثیر مثبت دارد اما این تأثیر مستقیم و خطی نیست، بلکه در حد خاصی از دما بیشترین پوشش گیاهی به وجود می‌آید (Milanovic 1981).

۲-۲-۳- فشار گاز دی‌اکسید کربن

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

۲-۲-۴- لیتولوژی

لیتولوژی سنگ‌های آهکی بر روی تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن اثر دارد. وجود سازندهای انحلال پذیر و انحلال در آنها از شروط اصلی تشکیل و توسعه کارست است که وابسته به ترکیب سنگ می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ‌های کربناته شامل کلسیت و آراگونیت با ترکیب شیمیایی کربنات کلسیم ($CaCO_3$) و نیز دولومیت با ترکیب کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم ($MgCa(CO_3)_2$) می‌باشند که معمولاً در ساختارهای بلورشناسی هندسی تریگونال و اورتورومبیک متبلور می‌شوند (موسوی حرمی ۱۳۸۵).

آپلو و پوستما (Appelo and postma 2005) انحلال پذیری دو کانی کلسیت و آراگونیت در آب‌های طبیعی با یکدیگر مقایسه کردند و با توجه به نتایج کارهای آنان انحلال پذیری کانی آراگونیت در آب‌های طبیعی بیشتر از کلسیت می‌باشد. دولومیت مربوط به سری محلول جامد میان دو کانی کلسیت ($CaCO_3$) و منیزیت ($MgCO_3$) است. پژوهش‌های انجام شده بر رابطه بین سرعت انحلال کربنات با درصد اکسید کلسیم (CaO) نشان می‌دهد هر چه نسبت اکسید کلسیم (CaO) به اکسید منیزیم

(MgO) بیشتر باشد قابلیت انحلال بیشتر است اما مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که بیشترین سرعت انحلال کربنات هنگامی صورت می‌گیرد که تا سه درصد اکسید منیزیم (MgO) در ترکیب آن موجود باشد، این مقدار اکسید منیزیم باعث تغییر وضعیت بلور کلسیت و افزایش سطح تماس و افزایش انحلال می‌شود (Raush and White 1970 cited in Ford and Williams 2007).

سنگ‌های غیرکربناته نظیر ژپس، انیدریت و نمک می‌توانند کارست کوچکی تشکیل دهند. این سنگ‌ها سرعت انحلال بالا داشته و رابطه مستقیم بین سرعت انحلال و خلوص سنگ وجود دارد (Ford and Williams 2007).

سنگ‌های کربناته توسط دو مکانیسم عمده شیمیایی و بیوشیمیایی تشکیل می‌شوند، سیمان تشکیل شده در بین ذرات از نظر میزان و جنس بسته به مکانیسم تشکیل متغیر است. میزان و جنس سیمان بر شدت انحلال و توسعه کارست اثر دارد.

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

۲-۲-۵- چینه‌شناسی

چینه‌شناسی مطالعه توالی سنگی بر طبق خواص مختلف سنگ مانند سن نسبی، محتوای فسیلی و یا واحدهای سنگ چینه‌ای می‌باشد. به کمک چینه‌شناسی می‌توان ضخامت و موقعیت سازند کربناته نسبت به لایه‌های زیرین و بالایی خود را تعیین نمود. در صورتی که سازندهای کربناته ضخامت و گسترش قابل توجهی داشته باشند، امکان تشکیل آبخوان‌های کارستی بیشتر می‌شود. فاکتورهای چینه‌شناسی که در توسعه کارست نقش دارند ذکر می‌گردد:

الف) لایه‌بندی و ضخامت لایه: بیشترین توسعه کارست در آهک‌های ضخیم لایه مشاهده می‌شود اما انحلال سنگ‌های نازک لایه در همان شرایط پراکنده است (Goldscheider and Drew 2007). لایه‌های ضخیم دارای شکستگی‌های طولانی هستند که مجاری مستقیم برای جریان سیال به وجود

می‌آورند ولایه‌های نازک دارای شکستگی‌های کوتاه و متقاطع هستند که در یک صفحه قرار نمی‌گیرند و مسیرهای پر پیچ و خم را به وجود می‌آورند که جریان سیال در آن آهسته است و نفوذپذیری سنگ کاهش پیدا می‌کند (Tsang 1984 cited in Cooke *et al.* 2006).

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

ب) توالی چینه‌شناسی: توالی چینه‌شناسی سازندها ممکن است به صورت‌های مختلفی در انحلال و توسعه کارست تأثیرگذار باشد. اختلاف در نفوذپذیری دو لایه هم‌جوار امکان اثرگذاری بر روی جهت‌گیری جریان و توسعه جهت‌دار کارست را فراهم می‌کند. در سنگ‌های کربناته برخی از ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی و چینه‌شناسی توسط فرآیند کارستی شدن رشد کرده و شبکه غارها و مجاری را تشکیل می‌دهند. 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، که در واقع ساندویچی شده باشد، سبب جریان ترجیحی آب در لایه با نفوذپذیری بالا و انحلال بیشتر و توسعه بیشتر آن می‌شود (شکری ۱۳۹۰).

همگن بودن توده سنگ کربناته و عدم حضور لایه‌های با نفوذپذیری متفاوت، باعث توسعه یکنواخت کارست در توده سنگ می‌گردد (White and White 2001).

۲-۲-۶- عوامل تکتونیکی

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

الف) چین خوردگی: چین خوردگی 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 کم عمق که سیستم زهکشی تحت کنترل چینه‌شناسی است، اثر مهمی دارد در مقابل اثر چین خوردگی بر روی آبخوان عمیق کارستی کم‌تر است (Goldscheider and Drew 2007).

به طور کلی فرض بر این است که کارستی شدن با افزایش عمق کاهش می‌یابد اما در مورد سنگ‌های چین‌خورده این‌گونه نیست. به طور کلی کارستی شدن در ناودیس‌ها با افزایش عمق زیاد می‌شود اما در تاقدیس‌ها با افزایش عمق کارستی شدن کاهش می‌یابد زیرا در نواحی بیرونی چین‌خوردگی، گسل‌های نرمال و درزه‌های باز تشکیل می‌شود و در نواحی داخلی چین‌خوردگی گسل‌های تراستی و درزه‌های بسته تشکیل می‌شوند (Estrella 2002 cited in Goldscheider and Drew 2007).

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 چین‌خوردگی جریان زیرزمینی مشاهده شود (Goldscheider and Drew 2007).

به طور کلی تاقدیس‌ها پتانسیل بالایی در تغذیه آبخوان‌های آب زیرزمینی دارند، ولی ناودیس‌ها در همگرایی و تجمع جریان نقش دارند (Ford and Williams 2007). ناودیس‌های پلانژدار اصلی‌ترین مجاری آبگذر زیرزمینی را به وجود می‌آورند و تاقدیس‌ها به عنوان مرز محلی تقسیم آب عمل می‌کنند (Goldscheider and Drew 2007).

ب) گسل: در مطالعات هیدروژئولوژی کارست گسل‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی هستند. کستنینگ (Kastning 1997) بر اساس تأثیر بر جریان آب زیرزمینی به سه دسته تقسیم کرده است:

- گسل‌هایی با تأثیر مثبت: این گسل‌ها با سیستم شکستگی باز می‌باشند، که در نتیجه نیروهای کششی ایجاد می‌شوند و در جریان آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند.

- گسل‌هایی با تأثیر منفی: در نواحی که توده آهک در صفحه گسلی تحت تأثیر فشار قرار گیرد و آهک تبلور مجدد یا میلونیتی می‌شود و باعث ممانعت از جریان یا مسدود شدن و انحراف جریان آب زیرزمینی می‌شود.

- گسل‌های بدون تأثیر: این گسل‌ها در جریان آب زیرزمینی نقش ندارند. تأثیر هیدرولوژیکی گسل‌ها وابسته به عرض بازشدگی صفحه گسل، وجود یا عدم وجود مواد پرکننده و مقدار جابجایی گسل است (Herold *et al.* 2000 cited in Goldscheider and Drew 2007). منطقه گسلی در شرایطی که نفوذپذیری آن بیشتر از سنگ میزبان باشد و یا جهت آن در جهت شیب هیدرولیکی باشد، می‌تواند به عنوان مسیر ترجیحی مهمی جهت انتقال آب باشد مطالعات نشان داده که گسل‌های فعال یا گسل‌های دارای پتانسیل فعال به طور عمده جریان آب زیرزمینی در سنگ بستر را کنترل می‌کنند (Mayer and Sharp 1998, Gudmundsson 2000).

سینگال و گوپتا (Singhal and Gupta 2010) حالات مختلف را برای تأثیر گسل بر جریان آب زیرزمینی بیان کرده‌اند:

۱- گسل باعث بریدن، جابجایی، تکرار و حذف لایه‌ها شود، در این حالت توزیع و رخداد سفره‌ها ممکن است، به صورت ناحیه‌ای تحت تأثیر گسل قرار گیرد و لایه‌های سفره ممکن است، جابجا، بریده و یا حذف شوند (شکل ۱-۲ الف).

۲- گسل سنگ نفوذناپذیر را در مقابل آبخوان آورده و در جریان و توزیع آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار باشد. (شکل ۱-۲ ب).

۳- گسل بریدن یک سفره توسط گسل ممکن است، منجر به تراوش و تشکیل چشمه‌ها به صورت خطی در طول گسل شود (شکل ۱-۲ ج).

۴- منجر به ایجاد شیب‌های تند یا بریدگی عمودی لایه‌ها شود، در این صورت فرسایش شدید بلوک کمر بالا و رسوب‌گذاری شدید واریزه‌ها در بلوک کمر پایین سبب نهشته‌شدن واریزه و تشکیل سفره‌های آبدار مناسب شود (شکل ۱-۲ د).

۵- لایه‌های سفره ممکن است، در اثر گسل‌های تراستی تکرار شود. در این صورت در معرض قرار گرفتن دوباره لایه در سطح زمین احتمال تغذیه بیشتر سفره موجود می‌باشد (شکل ۱-۲ ص).

۶- موانعی مانند دایک‌ها در جریان آب زیرزمینی عمل می‌کنند، ممکن است به وسیله گسل شکافته شده و باعث ایجاد مسیرهای کانالی شود (شکل ۱-۲ ض).

۷- گسل ممکن است، منجر به تغییر شدید در تراز سطح ایستابی و ایجاد حالت آبشاری سطح آب‌های زیرزمینی شود (شکل ۱-۲ ف).

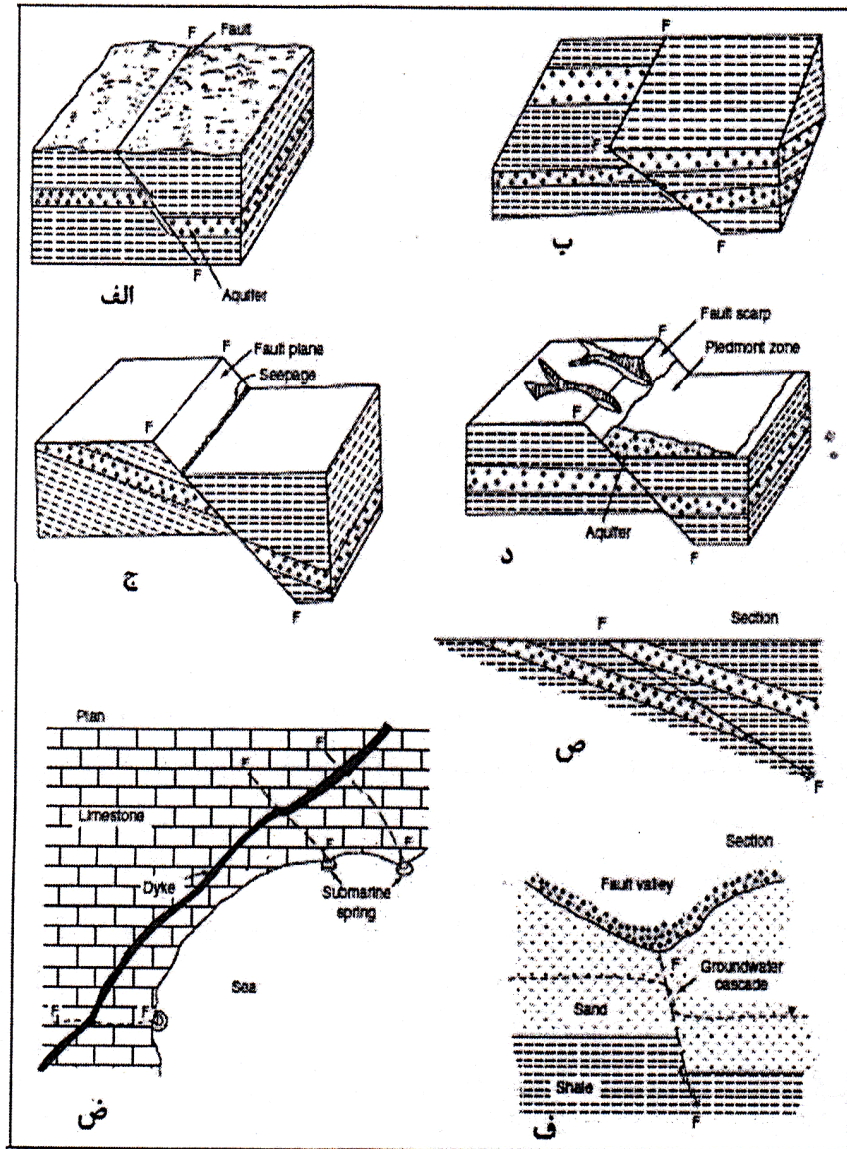
آریامنش و همکاران (Aryamanesh et al. 2009) با مطالعه گسل‌های منطقه اصفهک طبس به وسیله تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، گسل‌های پویا، خطواره‌ها، زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شیب، هیدروژئومورفولوژی و تلفیق داده‌ها و وزن‌دهی مناسب نشان دادند که بین منابع آب زیرزمینی و گسل‌های فعال و خردشده ارتباط تنگاتنگی وجود دارد.

چیت سازان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی میزان توسعه کارست با استفاده از ایزوتوپ پایدار در مناطق بیابانی مهم‌ترین عامل توسعه کارست را عوامل تکتونیکی، وجود درز و شکاف‌ها و گسل‌های فراوان معرفی کردند و تغییر در هیدروگراف چشمه‌ها را نتیجه مسیرهای ترجیحی جریان ناشی از درز و شکاف بزرگ دانستند.

ج) درزه: درزه شکستگی‌های بدون جابجایی قابل توجه هستند که در نتیجه تغییر شکل شکننده سنگ و به طور معمول توسط نیروهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند. درزه‌ها متداول‌ترین عنصر زمین‌شناسی ساختمانی هستند که در تمام سازندهای کارستی حضور دارند (Ford and Williams 2007). فراوانی درزه‌ها باعث افزایش نفوذ آب‌های سطحی به زیرزمین می‌گردد و با ضخامت لایه ارتباط مستقیم دارد سنگ آهک با لایه‌بندی ضخیم دارای چگالی شکستگی کم و بازشدگی خوب هستند اما سنگ آهک با لایه‌بندی نازک دارای درزه‌هایی با چگالی شکستگی بالا ولی بازشدگی کم هستند (Goldscheide and Drew 2007). فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007) معتقدند که زمانی که تعداد درزه‌ها کم و طول آن‌ها بیشتر است توسعه کارست بیشتر صورت می‌گیرد.

تعداد و فراوانی شکستگی‌های موازی در همسویی توده سنگ تأثیرگذار است به عبارت دیگر هر چه فراوانی و تعداد شکستگی‌های مرتبط با هم بیشتر باشد، توده سنگ به سوی کاهش ناهمسویی پیش می‌رود و توسعه کارست در آن یکنواخت و پراکنده خواهد بود. افزایش طول و فراوانی و مقدار بازشدگی باعث افزایش هدایت هیدرولیکی می‌شود. به طور خلاصه در مطالعات هیدروژئولوژیکی

مناطق کارستی پی بردن به ساختار توده سنگ، تعداد و فراوانی شکستگی‌ها و توصیف الگو و روند آن‌ها بسیار مهم است (Singhal and Gupta 2010).



شکل ۲-۱- حالت‌های مختلف تأثیر گسل در جریان آب زیرزمینی (Singhal and Gupta 2010)

۲-۲-۷- توپوگرافی

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

اساس توپوگرافی تعیین کننده محل تخلیه و جهت تخلیه می‌باشد. سطح اساس فرسایش در فهم انحلال و فرایند توسعه کارست مهم است و ممکن است که سطح دریا، یک رودخانه دائمی آبگیر و یا یک لایه نفوذناپذیر در زیر آبخوان کربناته باشد (Legrand 1983 cited in Ashjari 2007).

در حالت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها به طرف سطح اساس می‌باشد و تمام آبخوان به سمت آن زهکشی می‌شود. اگر چه سنگ‌شناسی، ساختارهای تکتونیکی و گسل‌ها عامل‌های مهمی در کنترل جهت جریان آب زیرزمینی هستند اما اثر سطح اساس فرسایش در نهایت در کنترل جریان نقش اساسی و مهم‌تر دارد (Ford and Williams 1989).

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

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

۲-۲-۸- پوشش خاک و پوشش گیاهی

در مناطق کارستی که سطح آهک توسط خاک پوشیده شده باشد، نرخ نفوذ آب به درون آهک توسط خاک کنترل می‌شود در غیر این صورت قابلیت انتقال آهک در جهت عمودی نرخ نفوذ را کنترل می‌کند (Williams 1983). نفوذپذیری خاک به عوامل زیادی از قبیل بافت، ساختمان، حفره‌های ایجاد شده و میزان هوموس بستگی دارد. ضخامت خاک‌های پوشاننده سنگ‌های کربناته از نظر نگهداشت رطوبت اهمیت بسزایی دارد. خاک دانه درشت نسبت به خاک دانه ریز در نفوذ آب مؤثرتر است و آب

کمتری را در خود ذخیره می‌کند چنانچه ذرات خاک دانه‌ریز بوده و ضخامت آن قابل توجه باشد از میزان آب نفوذی کاسته می‌گردد. علاوه بر آن خاک‌های رسی با پر کردن درز و شکاف‌ها سبب کاهش نفوذپذیری و انتقال آب به اعماق می‌شوند همچنین خاک در جهت فراهم آوردن محیطی جهت رویش گیاهان نیز دارای اهمیت است (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

گیاهان هم تأثیر مثبت و هم تأثیر منفی در توسعه کارست دارند. فشار ریشه گیاهان سبب تخریب و شکستگی سنگ‌ها و ایجاد فضای نفوذپذیر در کنار آن می‌شود. وجود برگ گیاهان هوموس خاک را افزایش می‌دهد و افزایش CO₂ حاصل از تنفس ریشه‌ها باعث افزایش اسیدیته و افزایش انحلال سنگ‌های کربناته می‌شود. ممانعت از فشرده‌شدن خاک و ایجاد رواناب‌های سطحی و در نتیجه افزایش نفوذ این جریان‌ها و همچنین ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کم شدن تبخیر از تأثیرات مثبت پوشش گیاهی در توسعه کارست می‌باشد. اما از سوی دیگر پوشش‌های گیاهی متراکم و انبوه به ویژه درختی از رسیدن آب‌های جوی به سطح زمین ممانعت می‌کند و این آب‌ها مستقیماً از سطح برگ‌ها و شاخه درختان تبخیر و مجدد به جو برمی‌گردد (شکری ۱۳۹۰).

۲-۲-۹- آبراهه

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

۲-۳- شاخص‌های توسعه کارست

برای ارزیابی درجه کارستی شدن در یک منطقه از عوارض کارستی منطقه، تغییرات آبدهی چشمه‌ها، تغییرات کیفی چشمه‌ها (تغییرات هدایت الکتریکی، یون‌های اصلی، دما)، ایزوتوپ‌های پایدار و آزمایش پمپاژ استفاده می‌شود.

۲-۳-۱- ژئومورفولوژی کارست

مهمترین عوارض سطحی مشخصه توسعه کارست در یک منطقه شامل توسعه‌یافتگی کارن‌ها، فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود و پلیه‌های کارستی می‌باشند.

ممکن است، در خیلی از جاها عوارض سطحی گسترش زیادی داشته باشند، اما کارست زیرزمینی توسعه یافته نباشد و یا هیچ‌گونه از عوارض سطحی از کارست دیده نشود، اما مقدار توسعه کارست در زیرزمین بالا باشد.

رهنمای و همکاران (۱۳۷۴) با مطالعه منطقه اطراف غار علیصدر به این نتیجه رسیدند، که این غار در سنگ‌های آهکی متبلور و شیب‌های ژوراسیک گسترش یافته است. در اطراف این منطقه هیچ پدیده کارست سطحی پیشرفته دیده نمی‌شود، ولی درون غار پدیده‌های زیرسطحی متعددی دیده می‌شود. ناصری و همکاران (۱۳۸۷) با تلفیق روش‌های استفاده از عوارض سطحی هیدروژئولوژی کارست و اکتشافات ژئوالکتریک با حفاری‌های اکتشافی در تاقدیس آسماری به بررسی ارتباط توسعه کارست سطحی و عمقی پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان از عدم همبستگی بین نماینده‌های سطحی و کارست‌شدگی عمق در تاقدیس مزبور می‌دهد. بر اساس شواهد سطحی تکامل کارست سطحی به صورت ناقص و تکامل کارست عمقی به صورت پیشرفته می‌باشد.

دریبرودت و گابرووسک (Dreybrodt and Gabrovsek 2010) با استفاده از مدل‌سازی، سیر تکامل کارست‌شدگی و سرعت فرآیند پیشرفت آن را بررسی کرده‌اند. آنها در این شبیه‌سازی از اختلاط جریان‌های سطحی با فشار جزئی دی اکسید کربن ۰/۰۵ اتمسفر و جریان‌های آب زیرزمینی با فشار جزئی دی اکسید کربن ۰/۰۰۱ اتمسفر استفاده کردند، نتایج این بررسی نشان‌دهنده تشکیل حفره‌ای کانال مانند به عمق ۱۰۰ متر در یک صد هزار سال می‌باشد.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت، که توسعه کارست در هر منطقه پیچیدگی زیادی دارد و تنها با عوارض سطحی و یا زیرزمینی نمی‌توان با قاطعیت در مورد میزان توسعه کارست اظهار نظر نمود.

۲-۳-۱-۱- توسعه یافتگی کارنها

کارنها از اشکال مناطق کارستی می‌باشند، که در اثر فعالیت شیمیایی آب ایجاد می‌شوند. کارنها را بر اساس منشاء به دو دسته، کارن‌هایی با منشاء هیدرولیکی و کارنها با منشاء ضربه‌ای تقسیم می‌شوند. کارن‌های با منشاء هیدرولیکی در اثر جریان ورقه‌ای آب و یا در اثر جریان کانالی ایجاد می‌شوند. کارن‌های با منشاء ضربه‌ای تعدادی از آنها در سنگ‌های توده‌ای و تعدادی در اثر ضعف ساختاری شکل می‌گیرند (White 1988).

اگر انحلال در امتداد گسستگی‌ها ساختاری ایجاد شود، به آن گرایک (grike) گفته می‌شود، که نقش مهمی در نفوذ رواناب در این مناطق دارند. معمولاً کارنها در سنگ‌های آهکی خالص و توده‌ای مشاهده می‌شوند (Milanovic 1981).

۲-۳-۱-۲- دره‌های کارستی

این دره‌ها دارای رودخانه‌ها با جریان‌های سطحی دائم یا موقت نیستند. منشاء آنها مستقیماً با تکامل فرآیندهای کارست مرتبط است (Milanovic 1981). این دره‌ها معمولاً در سنگ‌های کربناته با نفوذپذیری اولیه خوب و یا سایر سنگ‌های نفوذپذیر، نظیر ماسه‌سنگ ایجاد می‌شوند. دلایل متعددی برای تشکیل این دره‌ها مطرح شده است. ترکیب لیتولوژی و فعالیت تکتونیکی نقش قابل توجهی در تشکیل دره‌های خشک دارند. عامل اصلی در تشکیل این دره‌ها آب نبوده بلکه ترک‌ها و بازشدگی سنگها عامل اصلی می‌باشد (کریمی وردنجان ۱۳۸۹).

۲-۳-۱-۳- فروچاله‌ها

فروچاله از بیشترین و رایجترین اشکال سطحی مناطق کارستی می‌باشد. فراوانی و اندازه فروچاله‌ها نشان‌دهنده، درجه‌ای از انحلال‌های زیرزمینی می‌باشد. کل تعداد فروچاله‌ها تقسیم بر مساحت منطقه مورد مطالعه را تراکم فروچاله گویند. نسبت مساحت کل فروچاله‌ها به مساحت منطقه مورد مطالعه را نسبت مساحت فروچاله گویند. به دلیل سهولت شمارش فروچاله‌ها نسبت به اندازه‌گیری مساحت آن‌ها، تراکم فروچاله رایج‌تر است (Gregory and Shofner *et al.* 2001).

آهک‌های ریزدانه و متراکم با لایه‌های فشرده و با تعدادی درز و شکاف، ایده‌آل‌ترین نوع برای تشکیل فروچاله‌ها می‌باشند و در مقابل، این پدیده در آهک‌های با نفوذپذیری بالا مانند آهک‌های ریفی گسترش ندارد. حضور فروچاله‌ها در مناطق کارستی نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی کارست می‌باشد. وجود این پدیده‌ی کارستی باعث افزایش نفوذپذیری آهک می‌گردد (Bloom 1991).

۲-۳-۱-۴- گودی‌های مسدود

به مناطقی گفته می‌شود که از لحاظ ارتفاعی از زمین‌های مناطق خود گودتر بوده و به صورت بسته می‌باشد. معمولاً گودی‌های مسدود در دو مکانیزم انحلال و ریزش به وجود می‌آیند، که گاهی اوقات عامل ریزش هم انحلال می‌باشد. گودی مسدود نشانگر توسعه‌یافتگی کارست می‌باشد.

۲-۳-۱-۵- پلیه‌های کارستی

پلیه‌ها یک فرورفتگی بزرگ در درون سازندهای کارستی است، که به صورت دشت درآمدده است. معمولاً در یک طرف پلیه چشمه و در طرف دیگر فروچاله‌ها وجود دارد و دارای یک شیب ملایم از چشمه به فروچاله می‌باشد و حداقل از یک قسمت به دیواره‌های پرشیب محدود می‌گردد. کف پلیه معمولاً از رسوبات رودخانه‌ای و خاک پوشیده شده است و زیر این مجموعه می‌تواند، سازندهای آهکی یا غیر آهکی وجود داشته باشد. پلیه‌ها معمولاً در امتداد ساختارهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند. در این حالت همه رودخانه‌ها به داخل پلیه وارد شده و مجدداً توسط فروچاله‌ها موجود زهکشی می‌شوند (Milanovic 1981).

۲-۳-۱-۶- عوارض زیرزمینی

مهمترین عوارض زیرزمین کارست شافت‌ها و غارها می‌باشند. تئوری موجود در زمینه چگونگی توسعه

مجاری بزرگ و غار مانده‌های کارستی به سه صورت است (Flora and Vacher 2011, Ford 2003)

الف- تئوری توسعه کارست در زون غیر اشباع (vadose theory)

ب- تئوری توسعه کارست در مناطق عمیق اشباع (deep phreatic theory)

ج- تئوری توسعه کارست در زون سطح ایستابی (watertable cave theory).

در تئوری توسعه کارست در زون غیر اشباع، اعتقاد بر این است، که بیشتر توسعه مجاری بزرگ و غار

مانند در زون غیراشباع صورت می‌گیرد. در تئوری توسعه کارست در زون عمیق اشباع، مجاری بزرگ

و غار مانند در زیر سطح ایستابی و تئوری توسعه کارست در زون سطح ایستابی، مجاری بزرگ و غار

مانند در اثر نوسانات سالانه تراز آب زیرزمینی در نزدیک سطح تراز ایستابی تشکیل می‌شود.

۲-۳-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی

مهمترین خصوصیات آبخوان‌های کارستی ناهمگنی و نوع سیستم جریان آنها می‌باشد. در برخی از

موارد درجه ناهمگنی بسیار شدید می‌باشد و آب زیرزمینی از درون مجاری لوله مانند با قطر زیاد

(بزرگتر از ۱ سانتیمتر) حرکت می‌کند و نوع جریان از حالت خطی خارج می‌شود، در چنین حالاتی

آنالیزهای مرسوم (که بر اساس قانون دارسی استوار است) کاربرد ندارد، در موارد دیگر، درجه

ناهمگنی خیلی بالا نیست و آب زیرزمینی معمولاً از داخل خلل و فرج‌های به هم پیوسته، درزه‌ها و

شکستگی‌ها با بازشدگی کم عبور می‌کند، در چنین شرایطی آبخوان‌های کارستی کم و بیش شبیه

آبخوان‌های دانه‌ای می‌باشند و در چنین آبخوان‌هایی می‌توان روش‌های مرسوم (که اساس آنها معادله

دارسی است) را به کار گرفت (Karami 2002).

در یک سیستم کارستی دو نوع جریان وجود دارد. جریان افشان از طریق درز و شکاف‌های ریز و

معمولاً به صورت جریان آرام صورت می‌گیرد و جریان مجرای که جریان سریع و آشفته است و در

میان شکستگی‌ها و حفرات درشت کارستی صورت می‌گیرد (Bonacci 1993). قابلیت انتقال مجاری

کارستی بالا، ولی قابلیت ذخیره‌سازی آنها پایین می‌باشد. برعکس ماتریکس سنگ دارای قابلیت انتقال کم، ولی ذخیره‌سازی بالایی می‌باشد (Milanovic 1981, Karami 2002).

محققین مانند وایت (White 1998) جریان آب را در سیستم کارستی با مدل نفوذپذیری سه گانه توضیح دادند، که شامل سه جزء نفوذپذیری ماتریکس، نفوذپذیری شکستگی‌ها و نفوذپذیری مجاری بزرگ می‌باشد. هریک از اجزاء مستقل در مشارکت جریان آب زیرزمینی در یک سیستم کارستی هستند، اما جریان آب زیرزمینی ترکیبی از این سه جزء می‌باشد. یافتن سهم هریک از این اجزاء در مشارکت جریان آب زیرزمینی در یک سیستم کارستی راهی جهت پی بردن به میزان توسعه کارستی است.

در بیشتر آبخوان‌های توسعه یافته کارستی، تمرکز جریان آب زیرزمینی و انتقال از چند مسیر می‌باشد، در حالی که آبخوان‌های که تحت اثر عوامل زمین‌شناسی می‌باشند، تمرکز جریان به یک مجرای بزرگ (Conduit) می‌باشد. بزرگ شدن شکستگی‌ها موجب ایجاد غارهای پرپیچ و خم می‌شوند. در شرایطی که جریان آهسته و کم باشد، آب از تخلخل بین‌دانه‌ای (ماتریکس یا سنگ) وارد مجاری می‌گردد، اما در شرایط جریان سریع و آشفته آب از حفرات بزرگ وارد مجاری می‌گردد (White and White 2005).

۲-۳-۱- تغییرات آبدهی

تغییرات زمانی آبدهی چشمه به عنوان پارامتری مهم در ارزیابی نوع جریان در آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه می‌باشد. تغییرات زمانی آبدهی یک چشمه پاسخی به عوامل موثر بر تغذیه (از جمله نوع بارش، پوشش خاک و پوشش گیاهی، شیب و جهت شیب توپوگرافی و ...) و خصوصیات هندسی حوضه آبگیر (مساحت و شکل و سایر پارامترهای هندسی مانند شیب متوسط حوضه و طول دورترین مسیر جریان و ...) و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان کارستی (مانند تخلخل و توسعه کارست، گرا دیان هیدرولیکی و ...) در حوضه آبگیر آن می‌باشد (Raeisi and Karami 1996, 1997).

از طریق مطالعه هیدروگراف چشمه‌های کارستی سهم هر یک از انواع جریان برآورد می‌شود. شکل هیدروگراف یک چشمه نشان‌دهنده خصوصیات هیدرولیکی منطقه تغذیه کننده آن است و توسط آن

سهم هر یک از انواع جریان و خصوصیات هیدرودینامیکی منطقه تغذیه مشخص می‌شود (Martin and Screation 2001 نقل از کریمی ورنجانی ۱۳۸۹ و Karami 2002).

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

عوامل و فاکتورهای مختلف بیرونی و درونی بر توسعه توده کارستی مؤثر می‌باشد. بارندگی مهمترین عامل بیرونی توسعه کارست است (سایر عوامل از قبیل شیب و پوشش گیاهی و در زمان‌های زمین‌شناسی ممکن است، تغییر محسوسی داشته باشند). با آنالیز منحنی فرود چشمه‌های کارستی در دوره خشک می‌توان اثر عامل بارندگی را حذف و عوامل درونی مؤثر در توسعه کارست را بررسی کرد. با استفاده از منحنی فرود چشمه می‌توان به خصوصیات ساختاری، تراوایی و حجم ذخیره دینامیک کارستی پی برد. جهت ترسیم منحنی فرود چشمه، آبدهی چشمه را در یک دستگاه نیمه لگاریتمی رسم می‌گردد. چنین نموداری به صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط یا خطوط شکسته شده ضرایب تخلیه می‌باشد. ضریب تخلیه توانایی آبخوان برای آزاد کردن آب و خصوصیات هیدروژئولوژیکی یعنی تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال آبخوان چشمه را بیان می‌کند. اگر تغییرات مقدار آبدهی چشمه (هیدروگراف) در کنار تغییرات زمانی کیفیت آب (کموگراف) مورد بررسی قرار گیرد، اطلاعات مهمی از وضعیت درونی کارستی بدست می‌آید. فرمول‌های زیادی آنالیز منحنی فرود چشمه ارائه شده است (Ford and Williams 2007).

میلت (Maillet 1905) اولین کسی بود، که بیان کرد، تخلیه از یک چشمه تابعی از حجم آبی است، که در ذخیره وجود دارد (سامانی و زارعی ۱۳۸۵). مانزین (Mangin 1975) منحنی فرود چشمه‌های کارستی را متشکل از جریان سریع و جریان پایه می‌داند. وی اظهار داشت، که جریان سریع (غیر خطی) در محیط غیراشباع و جریان پایه (خطی) در محیط اشباع برقرار است و رابطه خطی بین بار هیدرولیکی و نرخ جریان فقط در جریان پایه مورد قبول است (سامانی و زارعی ۱۳۸۵).

ملیک (Malik 2007) جهت تعیین حساسیت آلودگی چشمه‌های کارستی منطقه (Velka Fatra) در اسلواکی با استفاده از آنالیز ۲۰۹ منحنی فرود ۲۰ چشمه کارستی که هر هفته به مدت ۳ الی ۳۱ سال اندازه‌گیری شده است، درجه کارستی شدن هر چشمه را تعیین کرده است. تعیین درجه کارستی شدن حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی با آنالیز منحنی فرود، اولین بار توسط کولمن (Kullman 2000) در ۱۰ درجه بر اساس ضرایب بدست آمده از منحنی فرود چشمه تعیین شده است، که بعداً مالک (Malik 2007) با بسط آن این درجه‌بندی را کامل و رژیم‌های جریان آب زیرزمینی ممکن برای هر درجه کارستی را بیان نموده است.

سامانی و زارعی (۱۳۸۵) با بررسی تغییرات دبی چشمه ششپیر و ساسان به این نتیجه رسیدند، که بده چشمه ششپیر ۹۶/۹٪ جریان پایه (افشان) و ۳/۱٪ جریان سریع می‌شود، در حالی که در چشمه ساسان ۹۳/۱٪ جریان پایه و ۶/۹٪ جریان مجرای است، بنابراین توسعه کارستی در آن بیشتر است.

۲-۲-۳-۲ - تغییرات هدایت الکتریکی

به خاطر در دسترس بودن اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و بده در چشمه‌های کارستی، این دو متغیر از طریق روش‌های متعددی برای بررسی سیستم‌های کارستی مورد توجه قرار گرفته‌اند، یکی از شناخته‌ترین روش‌ها تحلیل سری زمانی هدایت الکتریکی و بده است (Kovacs et al. 2005).

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

تغییرات غلظت شیمیایی خروجی سیستم کارستی را می‌توان با توان منفی دبی جریان توصیف کرد (Jeanning 1988 cited Grasso et al. 2003).

۲-۳-۲-۳- تغییرات یون‌های اصلی

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

کیفیت و کمیت مواد محلول در آب نتیجه تمام فرایندها و واکنش‌هایی است که تحت تأثیر عوامل بیرونی و درونی قرار دارند. فاکتورهای درونی شامل شکل، اندازه و ضخامت آبخوان آبدار، درصد و توزیع و نوع تخلخل، لیتولوژی و خصوصیات ناحیه‌ی اشباع می‌باشد. فاکتورهای خارجی نیز شامل فرم بارش، توزیع زمانی و مکانی نزولات جوی، نحوه‌ی تغذیه سیستم و درصد و عمق پوشش خاک، لیتولوژی سازنده‌های مجاور و کمیت آب ورودی به سیستم، پوشش گیاهی و مورفولوژی منطقه می‌باشد (Raeisi and Karami 1996, 1997).

اگر چه برخی از ویژگی‌های آبخوان‌های کارستی توسط هیدروگراف چشمه‌ها و گمانه‌ها به دست می‌آید، ولی بسیاری از اطلاعات از جمله محل تغذیه، نوع مخزن، زمان ماندگاری و ... را می‌توان با استفاده از خواص هیدروژئوشیمیایی با دقت بیشتری ارزیابی نمود.

لوپس و همکاران (Lopez *et al.* 2001) با نمونه‌برداری و ۱۹ ماهه از شش چشمه و اندازه‌گیری خواص فیزیکوشیمیایی آن در آبخوان کبرا-الکید (Cabra-Alcaide) در اسپانیا، تعیین نسبت یونی و آنالیز چند متغیره نمونه‌ها پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده جریان افشان با یک جریان پیستونی می‌باشد. که با بارش همبستگی نزدیکی داشت. کاتیون غالب در طول مسیر جریان از کلسیم به منیزیم تغییر نموده و آب از کانی‌های تبخیری غنی می‌شدند. با توجه به این که این موضوع در همه چشمه‌ها صادق نبود، لذا تنها با استفاده از درجه تغییرات شیمیایی نمی‌توان، برای ارزیابی درجه کارستی شدن استفاده نمود.

شاستر و وایت (Shuster and White 1971, 1972 cited Lopez *et al.* 2001) در آبخوان‌های کارستی (Nittany Valley) از ضریب تغییرات سختی آب در تفسیر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی استفاده نمودند.

لامبان و همکاران (Lamban *et al.* 2015) با آنالیز هیدروشیمیایی و ایزوتوپی از ۲۹ چشمه در فاصله زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ در پنومپ (PNOMP) در اسپانیا رخساره‌های شیمیایی آب منطقه را کلسیم-بی‌کربنات و کلسیم، منیزیم-بی‌کربنات معرفی نمودند و نتیجه‌گیری نمودند که اختلاف بین منطقه تغذیه و تخلیه نقش مهمی در تغییر رخساره دارد.

فصل سوم: روش انجام تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این مطالعه از طریق بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی و همچنین تجزیه و تحلیل خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه از جمله پراکنش چشمه‌های کارستی و تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه‌های کارستی به ارزیابی توسعه کارست در منطقه پرداخته شده است. در ادامه این فصل به شرح روش‌های مورد استفاده پرداخته خواهد شد.

به دلیل عدم وجود داده مورد نیاز در راستای بررسی توسعه کارست در منطقه، تحقیقات میدانی طولانی مدت و زیادی جهت جمع‌آوری داده‌ها و تصحیح اطلاعات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی محدوده مورد مطالعه انجام گردید. عدم وجود داده‌های مورد نیاز در مطالعه هیدروژئولوژیکی چشمه‌های منطقه موجب گردید، تعدادی از چشمه‌های منطقه انتخاب شده و از مهر ماه سال ۱۳۹۳ تا شهریور ماه سال ۱۳۹۴ به اندازه‌گیری آبدهی و هدایت الکتریکی آب پرداخته شده و جهت تعیین ویژگی‌ها هیدروشیمیایی از این چشمه‌ها در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ نمونه‌برداری و غلظت یون‌های اصلی اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است، مطالعات میدانی طولانی مدت و مکرر با توجه به وسعت قابل ملاحظه و فاصله منطقه مورد مطالعه، یکی از سخت‌ترین و در عین حال جذاب‌ترین بخش‌های این مطالعه بوده است.

۳-۲- مطالعات زمین‌شناسی

جهت شناسایی و حل مسایل لیتواستراتیگرافی و ساختمانی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های زمین‌شناسی آهنگران و آبیز در مقیاس ۱ به ۱۰۰,۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی شاهرخت و قاین در مقیاس ۱ به ۲۵۰,۰۰۰ به همراه سایر نقشه‌ها و گزارش‌های موجود بررسی شده و نقشه زمین‌شناسی منطقه بر اساس این اطلاعات و بازدیدهای صورت گرفته در نرم افزار Arc GIS 10.2 ترسیم و رقومی گردید. سپس به کمک اطلاعات سنگ‌چینه‌ای و ساختاری منطقه، واحدهای آب‌چینه‌ای منطقه مورد شناسایی قرار گرفته و از جهت کارستی شدن مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۳-۳- مطالعات ژئومورفولوژی

شناخت پدیده‌های ژئومورفولوژیکی که در اثر انحلال ایجاد شده‌اند، می‌تواند کمک قابل توجهی به شناخت سیستم‌های کارستی نماید. از این جهت شناخت پدیده‌های ژئومورفولوژیکی از اولین مراحل بررسی توسعه کارست در منطقه را به خود اختصاص داده است.

جهت شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در ابتدا مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) با دقت مکانی ۳۰ متر در نرم افزار گلوبال مپ (Global Mapper 11) به همراه تصاویر ماهواره ای موجود در نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth Pro 7) مورد بررسی قرار گرفته و با ترکیب این اطلاعات با نقشه‌های زمین‌شناسی در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS 10.2) محل‌های مناسب و احتمالی برای تشکیل فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود، پلیه‌های کارستی، دره‌های خشک شناسایی شد و سپس از محل‌های مشخص شده، طی چند مرحله بازدید صحرایی صورت گرفت. در بازدیدهای صحرایی تمامی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی ارزیابی و بررسی گردیده است که در فصل چهارم بیان خواهد شد.

۳-۴- مطالعات هیدروژئولوژیکی

برای بررسی نوع جریان و ارزیابی توسعه کارست همان طور که در فصل دوم ارائه گردید، روش‌های هیدروژئولوژیکی مختلفی از جمله بررسی تغییرات کمی و کیفی چشمه‌ها، مطالعات ایزوتوپی و همچنین آزمون پمپاژ و دیگر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در راستای ارزیابی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه به بررسی پراکنش چشمه‌های کارستی در منطقه با توجه به آمارهای سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸، ارزیابی تغییرات آبدی و هدایت الکتریکی آب، هفت چشمه مهم منطقه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ پرداخته شده است.

۳-۴-۱- پراکنش چشمه‌ها و چشمه‌قنات‌های کارستی

چشمه تخلیه طبیعی آب زیرزمینی به سطح است که مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زمین بوده و نهایتاً به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند. بنابراین با بررسی پراکنش چشمه‌ها می‌توان اطلاعات سودمندی در رابطه با توسعه کارست در منطقه به دست آورد. در سیستم‌های کارستی

توسعه یافته کل آب سیستم توسط چند چشمه محدود خارج می‌شود در نتیجه تعداد چشمه‌ها کم و آبدهی آن‌ها قابل توجه می‌باشد. در شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازندهای کارستی و توسعه کارست، به بررسی اطلاعات و آمار چشمه‌ها اعم از چشمه‌های دائم یا موقت پرداخته شده است. آماربرداری از منابع آبی در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ توسط آب منطقه‌ای خراسان جنوبی صورت گرفته است. بر اساس آماربرداری سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ در منطقه مورد مطالعه تعداد ۸۱ دهنه قنات و تعداد ۱۰۹ دهنه چشمه شناسایی شده است. در آمار برداری سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ تنها آمار ۸۱ دهنه چشمه مربوط به محدوده مطالعاتی شاهرخت که در محدوده مورد مطالعه قرار گرفته در دسترس است. آماربرداری‌های مذکور با یکدیگر تلفیق شده و با توجه به این که تعدادی از چشمه‌ها به منظور افزایش آبدهی به چشمه-قنات تبدیل شده است و در آماربرداری‌ها به عنوان قنات معرفی گردیده، می‌توان آن‌ها را در زمره چشمه‌ها به حساب آورد. پس از بررسی و اصلاح آمارها تعداد ۱۹۰ دهنه چشمه و چشمه-قنات در منطقه شناسایی و به کمک نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS 10.2)، نقشه موقعیت چشمه‌ها در محدوده مورد مطالعه ترسیم و پراکنش و آبدهی این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۴-۲- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها

جهت تشخیص نوع جریان در آبخوان کارستی و ارزیابی توسعه کارست، بررسی وضعیت و تغییرات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها دارای اهمیت فراوان و اساسی است. در این راستا تعداد هفت چشمه و چشمه-قنات کارستی (چشمه-قنات آبیز، چشمه-قنات محمدآباد، چشمه تجنود، چشمه-قنات اردکول، چشمه-قنات همت‌آباد، چشمه-قنات اسفاد و چشمه-قنات فندخت) که دارای بیشترین آبدهی بوده و در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند، انتخاب گردید و سپس پارامترهای فیزیکی و شیمیایی این چشمه‌ها اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به شرح نحوه اندازه‌گیری‌ها و روش‌های مورد استفاده خواهیم پرداخت. برخی از این اندازه‌گیری‌ها در محل چشمه و برخی دیگر در آزمایشگاه صورت گرفته است.

۳-۴-۲-۱- اندازه‌گیری آبدهی

یکی از پارامترهای مهم و اساسی مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی اندازه‌گیری آبدهی می‌باشد. منظور از آبدهی حجم آبی است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می‌کند. جهت اندازه‌گیری آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها در ابتدا مقطع مناسب جهت اندازه‌گیری در کانال خروجی چشمه یا چشمه-قنات شناسایی شد سپس اشل جهت اندازه‌گیری ارتفاع آب علامت‌گذاری گردید. جهت اندازه‌گیری آبدهی از روش سرعت-سطح مقطع استفاده گردید. در این روش سرعت آب به کمک دستگاه سرعت سنج (مولینه) اندازه‌گیری شده است. در طی سال اندازه‌گیری به فاصله زمانی هر ۴۰ روز به روش سرعت-سطح مقطع با مولینه اندازه‌گیری گردید و اشل مربوط نیز قرائت گردید. اشل مربوط در فاصله زمانی بین این اندازه‌گیری‌ها قرائت گردید. با به دست آوردن رابطه آبدهی-ارتفاع به کمک اندازه‌گیری‌های صورت گرفته با مولینه و اشل، آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها در طی سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ بدست آورده شد. لازم به ذکر است در فصل زمستان اندازه‌گیری‌ها با فاصله زمانی بیشتر (تقریباً ۴۰ روز) و در فصل بهار و اوایل تابستان اندازه‌گیری‌ها در فواصل زمانی کوتاه (تقریباً ۲۰ روز) انجام شده است.

۳-۴-۲-۲- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب ارتباط مستقیم با میزان املاح موجود در آب دارد، بنابراین می‌توان به عنوان پارامتری جهت ارزیابی تغییر میزان املاح در آب مورد استفاده قرار بگیرد. جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت سنج (HANNA HI 8000) با دقت یک میکروزیمنس بر سانتیمتر استفاده شده است. لازم به ذکر است در فصل زمستان اندازه‌گیری‌ها با فاصله زمانی بیشتر (تقریباً ۴۰ روز) و در فصل بهار و اوایل تابستان اندازه‌گیری‌ها در فواصل زمانی کوتاه (تقریباً ۲۰ روز) انجام شده است.



شکل ۳-۱- اندازه‌گیری آبدهی به کمک مولینه در چشمه-قنات محمدآباد

۳-۴-۲-۳- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از آب فرایندی بسیار اساسی 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، بازه زمانی صرف شده میان برداشت نمونه‌ها و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق مربوط به هر یک از نمونه‌ها، نحوه برداشت همه در نیل به بدست آوردن نتایج صحیح نقش دارد. به جهت بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه، از آن‌ها نمونه‌برداری هیدروژئوشیمیایی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ صورت گرفته است. در هر نمونه-برداری از بطری‌های پلاستیکی مخصوص با حجم ۹۰۰ میلی‌لیتر استفاده شده و دو نمونه از هر چشمه برداشت گردید. همچنین هنگام نمونه‌برداری از چشمه، ظرف پلاستیکی و درپوش آن با آب چشمه شستشو داده شده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی در عمق بیست سانتیمتری از آب پر شده است و فاقد حباب هوا بوده و درب آن بطور کامل بسته و پلمپ شد.

۳-۴-۲-۴- اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی

به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها به آزمایشگاه شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کاوش آب شرق منتقل و در این آزمایشگاه

یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، کلر و سولفات با روش‌های تیتراسیون و طیف جذبی اندازه‌گیری شد. با استفاده از نتایج بدست آمده پارامترهایی مانند مقدار کل مواد جامد محلول، سختی کل، ضرایب اشباع و نسبت‌های یونی محاسبه شده است. همچنین بر اساس غلظت یون‌های اصلی بدست آمده نمودارهای مهم آب‌شناسی مانند نمودار پایپر، نمودار استیف ترسیم و تفسیر شده است.

فصل چهارم: ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران،

شمال شرق بیرجند

۴-۱- بررسی واحدهای هیدرواستراتیگرافی

در این بخش چینه‌شناسی سازندها به منظور پی بردن به وضعیت آن‌ها به لحاظ تشکیل آبخوان کارستی و تراوایی بررسی شده است، با توجه به جنس واحدهای سنگی و دیگر خصوصیات چینه‌ای مانند لایه‌بندی، واحدهای ساختاری و وضعیت هیدروژئولوژی می‌توان واحدهای چینه‌شناسی و سنگ-شناسی منطقه را به واحدهای هیدرواستراتیگرافی مختلفی تقسیم نمود. در این تقسیم‌بندی گاهی یک یا چند سازند به عنوان یک واحد هیدرواستراتیگرافی در نظر گرفته شده و گاهی یک سازند به چند واحد هیدرواستراتیگرافی تقسیم شده است.

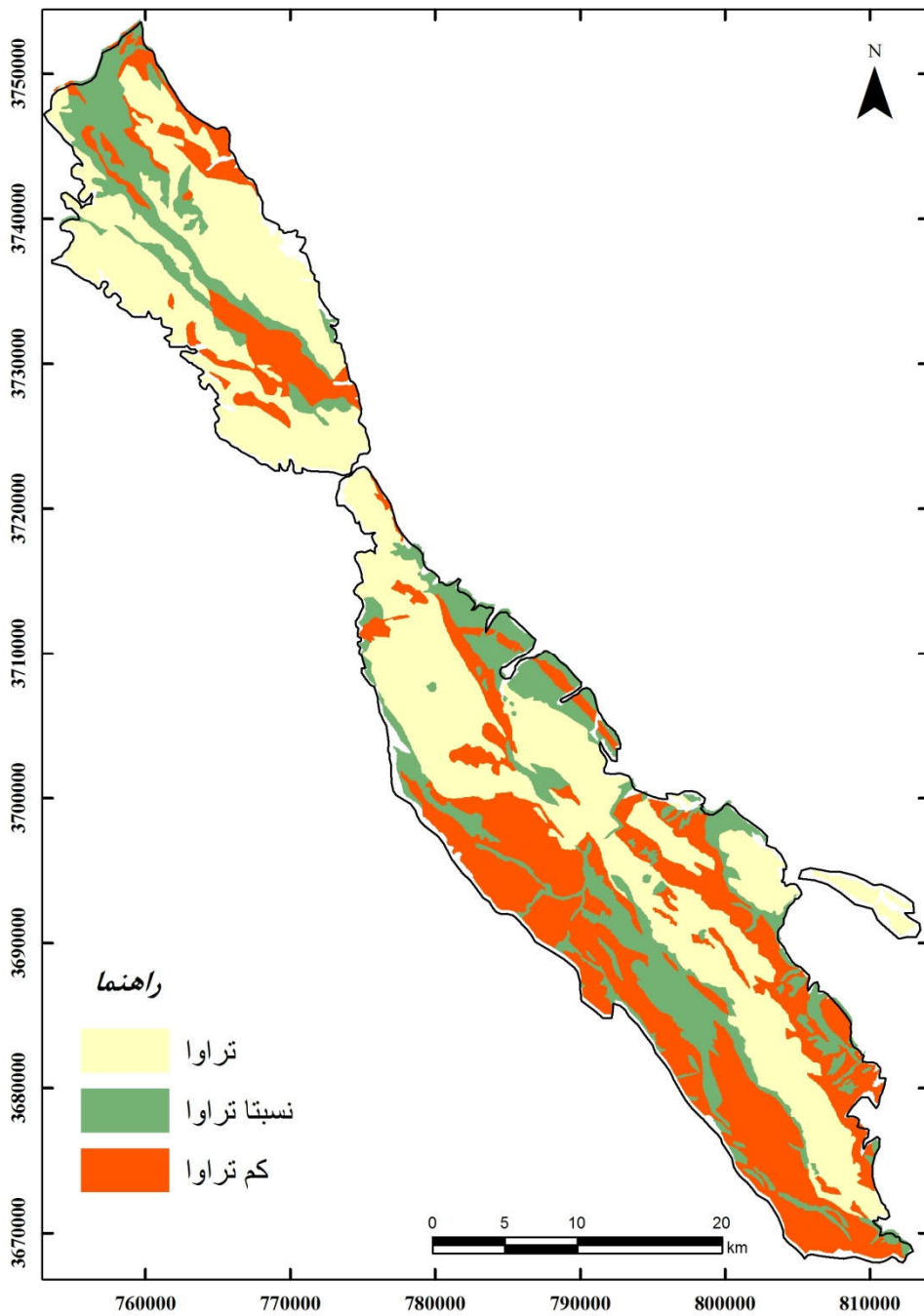
در جدول (۴-۱) واحدهای لیتواستراتیگرافی منطقه مورد مطالعه به واحدهای هیدرواستراتیگرافی تراوا، نسبتاً تراوا، تراوایی کم و ناچیز تقسیم شده‌اند. موقعیت این واحدها در شکل (۴-۱) نمایش داده شده است.

- واحدهای تراوا: عمدتاً سنگ‌های آهکی منطقه را تشکیل می‌دهند و شامل سنگ‌های آهکی توده‌ای و سنگ‌های آهکی ماسه‌ای با سن کرتاسه پایینی و همچنین پالئوسن هستند. این واحدهای سنگی پتانسیل نسبتاً خوبی برای کارستی شدن دارند و آبخوان‌های کارستی نسبتاً خوبی را تشکیل داده‌اند. این آبخوان‌های کارستی در ادامه به طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

- واحدهای نسبتاً تراوا: این گروه بیشتر واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی منطقه را تشکیل می‌دهند. این سازندها به علت تخلخل ذاتی و وجود گسل‌ها و خطواره‌های موجود در خود، توان داشتن منابع آب زیرزمینی به صورت موضعی دارند و نقش اکیتارد را در آبخوان کارستی دارا هستند.

- واحدهای کم تراوا: سازندهای این گروه بیشتر آهک‌های رسی، ماسه‌سنگ رسی، شیل، مارن، سنگ‌های آذرین و دگرگونی هستند که نفوذپذیری ناچیز دارند. این گروه قابلیت ذخیره سازی آب ندارند و به صورت محدود می‌توانند انتقال دهنده آب به کنده باشند، در نتیجه نقش محدود کننده جریان و مانع را دارا است. همچنین این واحدها سبب تخریب کیفیت آب نیز می‌باشند.

مساحت واحدهای تراوا، نسبتاً تراوا، کم تراوا به ترتیب ۴۶۱/۸۰، ۲۲۴/۵۴، ۳۰۰/۵۱ کیلومتر مربع است. گستردگی واحدهای تراوا و نسبتاً تراوا، شرایط مناسبی برای تغذیه بارش و تشکیل آبخوان کارستی به وجود آورده است.



شکل ۱-۴- موقعیت رخنمون واحدهای هیدرواستراتیگرافی بر اساس تراوایی

جدول ۴-۱- تقسیم بندی هیدرواستراتیگرافی واحدهای سنگ چینه‌ای

وسعت (هکتار)	تراوایی	فراوانی شکستگی‌ها	جنس لیتولوژی	واحدهای سنگ - چینه‌ای	واحدهای زمان - چینه‌ای
۵۰۴۹	نسبتاً تراوا	-	رسوبات آبرفتی جوان و قدیمی شامل گراول، ماسه و رس	Qt1, Qt2, Qal	Quaternary
۲۵۵۸	نسبتاً تراوا	-	کنگلومرا، گراول، ماسه	Ng c, QP cg	Mio-Pliocene
۱۵۵	کم تراوا	کم	رس آجری رنگ ژبسی، ماسه‌سنگ	Ngcl	
۲	کم تراوا	کم	کوارتز میکرو دوبریت، بازالت - آندزیت	OMab, OM dq	Oligo-Miocene
۲۲۵۱	کم تراوا	کم تا متوسط	آندزیت، توف، ریولیت، ماسه سنگ توفی، ماسه‌سنگ	Ea, Er, Est	Eocene
۴۷۷۸	نسبتاً تراوا	متوسط تا خوب	آهک برشی، کنگلومرا با قطعات آهک	Ebr, Ec	
۲۷۱۲	کم تراوا	متوسط	کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز رنگ	Erc, Ers	
۳۹۵۰	نسبتاً تراوا	متوسط تا خوب	آهک، ماسه‌سنگ	PEl, PEf	Paleocene
۱۴۲۱	کم تراوا	متوسط تا خوب	رسوبات فلیش کم دگرگون شده، ماسه‌سنگ کنگلومرا، شیل، آندزیت، بازالت	Kf/2, Krs/2, Kcv/2, Ks/2, Kab2/2,	Upper Cretaceous
۳۳۸۷	کم تراوا	متوسط تا خوب	آندزیت، بازالت، توف، میکرو گابرو، تونالیت، گرانیت	Kabl/2, Kt/2, Kg/2	
۳۳۰۸	کم تراوا	متوسط تا خوب	سنگ‌های اولترابازیک، گابرو، دیوریت، بازالت، رادیولزیت، لیستونیت	Kmg/2, Kgd/2,	
۵۹۱۱	کم تراوا	متوسط تا خوب	ماسه‌سنگ و مارن، شیل، توریدایت، آهک برشی	Ub, gb, d, r, lv	
۴۶۱۸۰	تراوا	خوب	آهک نوده‌ای حاوی فسیل اریتولین و رودیست	Km/1, Kf/1	Lower Cretaceous
۶۱۱۹	نسبتاً تراوا	خوب	آهک ماسه‌ای، ماسه‌سنگ آهکی، شیل	Kl/1	
۱۵۷۴	کم تراوا	متوسط تا خوب	کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز	Kc/1	
۳۳۲۷	کم تراوا	متوسط تا خوب	ماسه‌سنگ، آهک اسپارایتی، شیل، مارن، سنگ‌های آذرین	Jvi/s, Js, Jbg, gd	Jurassic
۶۰۱۲	کم تراوا	کم تا متوسط	سنگ‌های دگرگونی، گابرو، مرمر، گدازه‌های فلیایی، گرانو دوبریت، مونزونیت، ماسه‌سنگ، توف‌اسیدی دولومیت	Met, metg, mb, metv, gd, st, ldo	Pre-Jurassic

۲-۴-۲- ارزیابی توسعه کارست بر اساس خصوصیات ژئومورفولوژیکی

فرآیند انحلال در سطح و درون توده کارستی سبب ایجاد عوارض مهمی می‌شود. نوع و گسترش این عوارض بیانگر میزان توسعه کارست است، هر چند عدم وجود و گسترش عوارض ژئومورفولوژی کارستی در سطح دلیلی بر عدم توسعه در زیر سطح نمی‌باشد. در منطقه مورد مطالعه بخش‌های وسیعی از کارست‌های منطقه از سنگ‌های برهنه تشکیل شده‌اند. این مناطق یا فاقد اپی کارست هستند یا اپی کارست کم ضخامت و درشت دانه دارند. همچنین عوارض کارستی شامل کارن، فضا‌های انحلالی، دره‌های خشک و غار در منطقه مشاهده می‌شود. در عین حال عوارض کارستی توسعه یافته‌تر از قبیل فروچاله‌ها، گودی‌های مسدود و پلیه‌های کارستی مشاهده نمی‌شوند که بیانگر توسعه اندک کارست در سطح است. در ادامه به بررسی پدیده‌های مورفولوژی کارستی مشاهده شده در منطقه پرداخته شده است.

۲-۴-۱- سنگ برهنه

با توجه به اقلیم منطقه و شیب توپوگرافی زیاد در منطقه پوشش خاک بر روی سطوح سنگی وجود ندارد و یا در صورت حضور ضخامت اندکی را شامل می‌شود. به همین دلیل سنگ‌های برهنه به صورت گسترده در منطقه رخنمون دارند (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- نمایشی از سنگ‌های برهنه و اپی کارست در جنوب روستای آبیژ

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 ۴-۳).



شکل ۴-۳- نمایشی از کارست‌های برهنه با تراوایی بالا در جنوب روستای آبیژ

۴-۲-۲- فضا‌های انحلالی

فرایند انحلال آثار فراوان و متفاوتی را بر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر ایجاد می‌کند (شکل ۴-۴). از فضا‌های انحلالی که بر روی توده سنگ ایجاد می‌شوند، می‌توان به چاله‌های باران (Rain pit) و حفرات چاله مانند (Pit and Tunnel) اشاره کرد که در اثر انحلال ترجیحی و توسعه آن بر روی سنگ‌های آهکی منطقه ایجاد شده است (شکل ۴-۵).

۴-۲-۳- کارن

کارن شامل شیارهای انحلالی است که در سطح کارست ایجاد شوند. عرض کارن‌ها و همچنین عمق آن‌ها از چند سانتیمتر تا چند متر متغیر است (شکل ۴-۶). کارن‌ها مهم‌ترین عارضه هدایت‌کننده آب

به داخل گستره کارستی می‌باشند. برخی از کارنها با خاک پوشیده و پر شده‌اند که تا اندازه‌ای سبب کاهش میزان نفوذپذیری آنها شده است (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۴- نمایی از فضاهاى انحلالی در کارست‌های جنوب روستای اردکول



شکل ۴-۵- حفره انحلالی چاله مانند(راست)، حفره باران (چپ)



شکل ۴-۶- نمایی از کارن‌های موجود در سنگ‌های کارستی جنوب روستای آبیز



شکل ۴-۷- نمایی از کارن‌های پرشده با رسوبات

۴-۲-۴- دره‌های خشک کارستی

دره‌های خشک یکی دیگر از عوارض ژئومورفولوژیکی گستره‌های کارستی هستند. در این دره‌ها جریان آب سطحی وجود ندارد ولیکن اغلب آن‌ها مسیر عبور جریان‌های زیر سطحی هستند. دره‌های خشک

کارستی طویل و عمیق، به ویژه دره‌های خشک همگرا، مهم‌ترین مسیرهای جریان‌های آب زیرسطحی را در گستره‌های کارستی تشکیل می‌دهند (کرمی ۱۳۹۴). در منطقه مورد مطالعه دره‌های خشک کارستی متعددی وجود دارد. شکل (۴-۸) نمایی از یک دره خشک کارستی بزرگ در جنوب‌خاور منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸- نمایی از یک دره خشک کارستی در جنوب‌خاور منطقه مورد مطالعه

برخی از دره‌های خشک کارستی به عنوان سطح اساس فرسایش محلی عمل می‌کنند و در بخش‌های پایین دست این دره‌ها، چشمه‌های کارستی و یا جریان‌های تراوشی ظاهر شده‌اند. از جمله این دره‌ها می‌توان به دره خشک بالا دست چشمه سیاب در جنوب روستای گزخت اشاره نمود (شکل ۴-۹).

۴-۲-۵- غار

غارها فضاهای انحلالی بزرگی هستند که به صورت افقی یا نیمه افقی، گسترش پیدا کرده‌اند. در منطقه مورد مطالعه تعداد محدودی غار وجود دارد. یکی از این غارها در نزدیکی روستای گزخت، در اطراف چشمه جوزی، واقع شده است. وجود مجاری انحلالی بزرگ در این غار بیانگر این است که این غار

احتمالاً محل خروج یک چشمه قدیمی بزرگ در منطقه مورد مطالعه بوده است. شکل (۴-۱۰) نمایی از دهانه غار را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۹- نمایی از سطح اساس فرسایش محلی، چشمه سیاب در جنوب روستای گزخت



شکل ۴-۱۰- دهانه غار در جنوب روستای گزخت

۴-۳- ارزیابی توسعه کارست بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی

برای بررسی نوع جریان و ارزیابی توسعه کارست همان طور که در فصل دوم ارائه گردید روش‌های هیدروژئولوژیکی مختلفی از جمله بررسی تغییرات کمی و کیفی چشمه‌ها، مطالعات ایزوتوپی و همچنین آزمون پمپاژ و دیگر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در راستای ارزیابی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه به بررسی پراکنش چشمه‌های کارستی در منطقه با توجه به آمارهای سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸، تعیین حوضه آبرگیر چشمه و چشمه-قنات‌های مهم، ارزیابی تغییرات آبدی و هدایت الکتریکی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم منطقه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و همچنین به بررسی غلظت یون‌های اصلی این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها در یک دوره نمونه‌برداری در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ پرداخته شده است.

۴-۳-۱- پراکنش چشمه‌های کارستی

چشمه تخلیه طبیعی آب زیرزمینی به سطح است که مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زمین بوده و نهایتاً به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند. چشمه زهکش سفره کارستی است بنابراین با بررسی پراکنش چشمه‌ها می‌توان اطلاعات سودمندی در رابطه با توسعه کارست در منطقه به دست آورد. در سیستم‌های کارستی توسعه یافته کل آب سیستم توسط چند چشمه محدود خارج می‌شود در نتیجه تعداد چشمه‌ها کم و آبدی آن‌ها قابل توجه می‌باشد. در شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازندهای کارستی و توسعه کارست، اطلاعات و آمار چشمه‌ها اعم از چشمه‌های دائم یا موقت و تحلیل این اطلاعات اهمیت به سزایی دارد. آمارهای جمع آوری شده نشان می‌دهد که برداشت آمار از منابع آبی در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ صورت گرفته که دارای کمبودهای زمانی و مکانی است و تعدادی از چشمه‌ها برداشت نشده و برخی از آمارهای موجود قابل تردید هستند. همچنین تعدادی از چشمه‌ها به منظور افزایش آبدی به چشمه-قنات تبدیل شده است، گرچه با توجه به طول کوتاه مجرای زیرزمینی می‌توان آن‌ها را در زمره چشمه‌ها به حساب آورد در شکل (۴-۱۱) محل خروجی یک چشمه کارستی و یک چشمه-قنات نشان داده شده است.

طبق آمار برداری انجام گرفته در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ منطقه مورد مطالعه دارای ۱۰۹ دهنه چشمه و ۸۱ دهنه چشمه-قنات است. تعداد ۸۱ چشمه در حوضه مطالعاتی شاهرخت قرار داشته که در سال ۱۳۸۷ مجدد آمار برداری شده و اطلاعات آن به روز شده است. با تلفیق این اطلاعات تعداد ۱۹۰ دهنه چشمه و چشمه-قنات در منطقه شناسایی شده است.



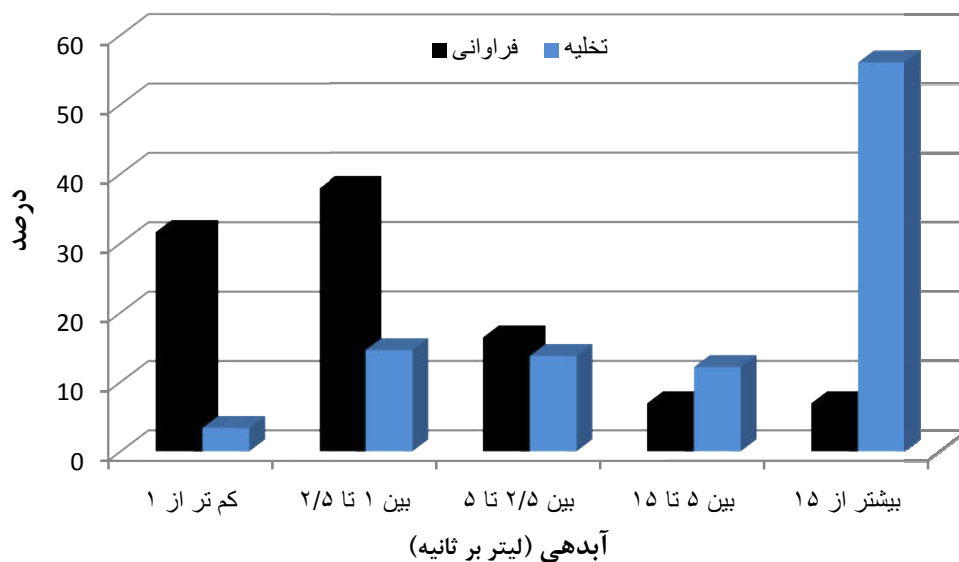
شکل ۴-۱۱- سمت راست محل خروجی چشمه گزخت و سمت چپ چشمه-قنات محمدآباد

از تعداد ۱۹۰ دهنه چشمه و چشمه-قنات در طی آماربرداری‌های انجام شده تعداد ۳۲ دهنه خشک و تعداد ۱۵۸ دهنه آبدار بوده است. میزان آبدهی تغییرات زیادی دارد به طوری که کم‌ترین آبدهی مربوط به چشمه لونک با آبدهی ۰/۰۳ لیتر در ثانیه و بیش‌ترین آبدهی مربوط به چشمه-قنات آبیژ با آبدهی ۹۶ لیتر در ثانیه است. همانطور که در جدول (۴-۱) و شکل (۴-۱۲) نمایش داده شده است، چشمه و چشمه-قنات‌های با دبی کم‌تر از ۲/۵ لیتر در ثانیه ۷۰ درصد فراوانی را تشکیل داده ولی تنها ۱۸ درصد از میزان تخلیه را تشکیل داده است در صورتی که چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های با دبی بیش از ۵ لیتر در ثانیه تنها ۱۴ درصد فراوانی را تشکیل داده ولی ۶۸ درصد از میزان تخلیه را بر عهده دارند. در شکل (۴-۱۳) موقعیت این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها نشان داده شده است. تعداد قابل توجه چشمه و چشمه-قنات با آبدهی کم احتمالاً مربوط به توسعه اندک کارست در منطقه است، از طرفی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های با آبدهی بیش از ۱۵ لیتر بر ثانیه مهم‌ترین گروه چشمه-ها و چشمه-قنات‌ها می‌باشد. این گروه ۷ درصد فراوانی را تشکیل داده و شامل ۱۱ دهنه چشمه و

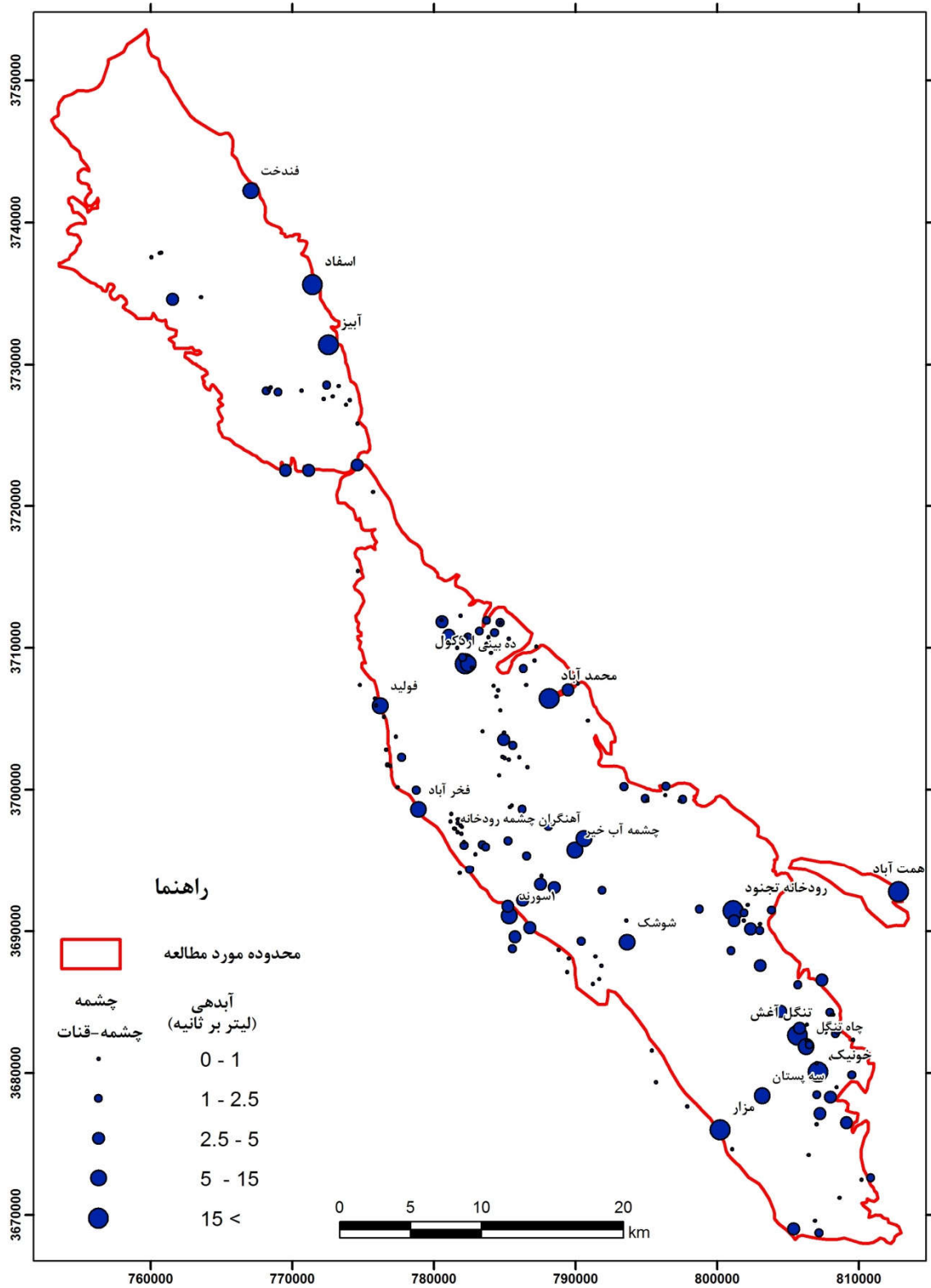
چشمه‌قنات است که در مجموع ۵۶ درصد از مجموع تخلیه چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها را تشکیل داده است، آبدهی قابل توجه نسبت به سایر گروه‌ها نشان دهنده دارا بودن سیستم زهکشی گسترده و احتمالاً توسعه یافته در این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها می‌باشد. به همین منظور در ادامه به بررسی تعدادی از این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها پرداخته شده است.

جدول ۴-۱- طبقه بندی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس آبدهی

آبدهی (lit/s)	تعداد	درصد فراوانی	تخلیه (lit/s)	درصد تخلیه
کم‌تر از ۱	۵۰	۳۲	۲۰/۹	۳
بین ۱ تا ۲/۵	۶۰	۳۸	۸۹/۹	۱۵
بین ۲/۵ تا ۵	۲۶	۱۶	۸۴/۷	۱۴
بین ۵ تا ۱۵	۱۱	۷	۷۵	۱۲
بیش‌تر از ۱۵	۱۱	۷	۳۴۵	۵۶
مجموع	۱۵۸	۱۰۰	۶۱۵/۵	۱۰۰



شکل ۴-۱۲- نمودار درصد فراوانی و درصد تخلیه منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۱۳- موقعیت چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۳-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مهم

آبخوان‌های کارستی جریان آب را غالباً به یک یا چند چشمه بزرگ تخلیه می‌کنند. در نتیجه بررسی رفتار چشمه‌ها می‌تواند اطلاعات سودمندی از فرآیندهای تغذیه‌ای، نوع جریان و ظرفیت ذخیره‌سازی و سایر خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی ارائه دهند (Ford and Williams 2007). بر این اساس تعدادی از چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم (جدول ۴-۲) در منطقه انتخاب گردیده و با توجه مطالب گفته شده در فصل دوم در خصوص شاخص‌های توسعه کارستی به بررسی آبنمود و ضریب تغییرات آبدهی و همچنین منحنی فرود چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در منطقه و ارزیابی توسعه کارستی در حوضه آبرگیر آن‌ها پرداخته خواهد شد.

جدول ۴-۲- چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

pH	دما (°c)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	آبدهی (l/s)	موقعیت جغرافیایی				نام منبع آبی
				ارتفاع (m)	عرض	طول	زون	
۷/۶	۲۰/۶	۳۰۷	۷۰	۱۱۹۹	۳۷۳۱۴۶۱	۷۷۲۸۹۹	۴۰	چشمه-قنات آبیز
۷/۱۴	۲۶/۶	۷۱۲	۶۴	۱۱۰۱	۳۷۰۵۸۸۴	۲۳۰۴۳۸	۴۱	چشمه-قنات محمدآباد
۷/۵۸	۲۲/۴	۴۷۳	۵۳	۱۲۰۱	۳۶۸۹۴۷۲	۲۴۲۵۴۶	۴۱	چشمه تجنود (رودخانه)
۷/۵۸	۲۰/۶	۳۷۲	۲۹	۱۲۵۰	۳۷۰۸۷۰۷	۲۲۴۷۴۹	۴۱	چشمه-قنات اردکول
۷/۱۴	۲۶/۴	۸۹۰	۲۶	۹۷۰	۳۶۹۰۶۹۴	۲۵۰۳۱۲	۴۱	چشمه-قنات همت‌آباد
۷/۷۱	۱۷/۴	۲۱۸	۱۶/۵	۱۲۴۰	۳۷۳۵۶۳۸	۷۷۱۴۴۰	۴۰	چشمه-قنات اسفاد
۷/۶۴	۱۹/۱	۳۲۰	۱۲/۵	۱۱۸۵	۳۷۴۲۲۳۲	۷۶۷۰۷۹	۴۰	چشمه-قنات فندخت

آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مورد مطالعه، در یک سال آبی از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است به دلیل تغییرات اندک در فصل زمستان اندازه‌گیری‌ها با فاصله زمانی بیشتر (تقریباً ۴۰ روز) و در فصل بهار و اوایل تابستان اندازه‌گیری‌ها در فواصل زمانی کوتاه (تقریباً ۲۰ روز) انجام شده است.

جدول ۴-۳- آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه

آبدهی منبع آبی (لیتر بر ثانیه)							تاریخ	ردیف
فندخت	اسفاد	همت‌آباد	اردکول	تجنود	محمدآباد	آبیز		
۱۲	۱۶	۲۵	۲۷	۵۰	۶۰	۶۸	۹۳/۰۸/۱۴	۱
۱۲	۱۶/۵	۲۵/۵	۲۸	۵۰	۶۲	۶۸/۵	۹۳/۱۰/۱۵	۲
۱۲	۱۶/۵	۲۶	۲۹	۵۱	۶۴	۷۰	۹۳/۱۱/۲۷	۳
۱۲/۵	۱۶/۵	۲۶/۵	۳۲	۵۲	۶۶/۵	۷۲	۹۳/۱۲/۲۰	۴
۱۲/۵	۱۷	۲۶/۵	۳۳	۵۳	۶۶/۵	۷۳	۹۴/۰۱/۰۴	۵
۱۲/۵	۱۷	۲۶/۵	۳۲/۵	۵۴	۶۷	۷۴/۵	۹۴/۰۱/۱۹	۶
۱۳	۱۷/۵	۲۷	۳۲	۵۶	۶۸/۵	۷۳	۹۴/۰۲/۱۲	۷
۱۳	۱۷	۲۷	۳۲	۵۸	۷۱	۷۲	۹۴/۰۲/۲۷	۸
-	-	-	۳۱	-	۶۸/۵	-	۹۴/۰۳/۱۲	۹
۱۲/۵	۱۶/۵	۲۶/۵	۲۹	۵۶	-	۷۱	۹۴/۰۳/۱۷	۱۰
-	-	-	۲۹	-	-	۷۰	۹۴/۰۴/۱۲	۱۱
۱۲/۵	۱۶	۲۶/۵	-	۵۴	۶۴	-	۹۴/۰۴/۲۰	۱۲
-	-	-	-	-	۶۳	۶۹	۹۴/۰۵/۲۰	۱۳
۱۲	۱۵/۵	۲۶	۲۸	۵۳	۶۲	-	۹۴/۰۵/۳۰	۱۴
-	-	-	-	-	-	۶۹	۹۴/۰۶/۰۷	۱۵
۱۲	۱۵/۵	۲۶	۲۷/۵	۵۱	۶۲	۶۸/۵	۹۴/۰۷/۰۱	۱۶
۱۲/۵	۱۶/۵	۲۶	۲۹	۵۳	۶۴	۷۰	میانگین	
۱۲	۱۵/۵	۲۵	۲۷	۵۰	۶۰	۶۸	کمینه	
۱۳	۱۷/۵	۲۷	۳۳	۵۸	۷۱	۷۴/۵	بیشینه	

۴-۳-۲-۱- ارزیابی تغییرات زمانی آبدهی

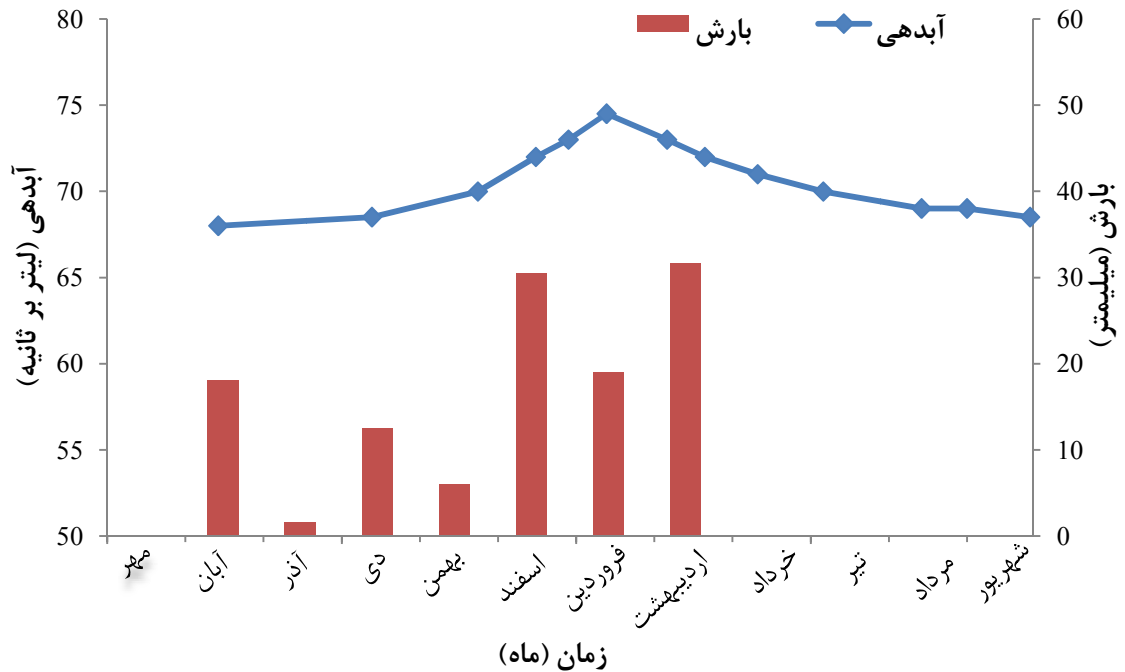
تغییرات زمانی آبدهی چشمه به عنوان پارامتری مهم در ارزیابی نوع جریان در آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه می‌باشد. تغییرات زمانی آبدهی پاسخی به عوامل موثر بر تغذیه، خصوصیات هندسی حوضه آبگیر چشمه و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان کارستی در حوضه آبگیر آن می‌باشد. در آبخوان کارستی توسعه یافته تغییرات آبدهی زیاد و در مدت کوتاهی رخ می‌دهد اما در آبخوان کارستی با توسعه کم، تغییرات آبدهی اندک و تدریجی است.

۴-۳-۲-۲- چشمه-قنات آبیز

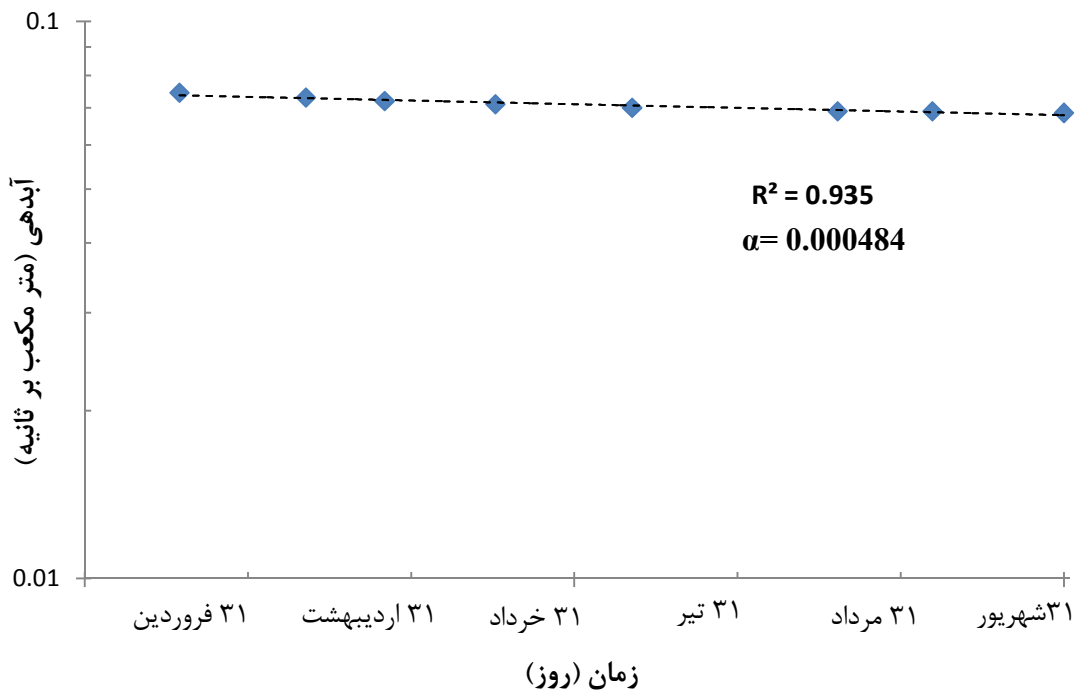
متوسط آبدهی چشمه-قنات آبیز بر اساس آبنمود سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ (شکل ۴-۱۴) برابر با ۷۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. مقدار حداقل آبدهی در نیمه آبان ماه و برابر با مقدار ۶۸ لیتر در ثانیه می‌باشد، این مقدار به تدریج تحت تأثیر بارش‌های پاییزی اندکی افزایش یافته و با وقوع بارش‌های زمستانی به تدریج به مقدار بیشینه ۷۳ لیتر بر ثانیه در نیمه اردیبهشت ماه می‌رسد. در ادامه آبدهی به آرامی شروع به کاهش کرده، در ابتدا این کاهش سرعت بیشتری دارد و با گذشت زمان سرعت کاهش دبی کم‌تر می‌شود. درصد ضریب تغییرات آبدهی با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته ۳ درصد است، بر این اساس با توجه به تقسیم‌بندی جاکبسن و لانگمویر (Jacobsen and Langmuire 1974) و کرمی (۱۳۸۵) در رژیم جریان افشان کارستی جای می‌گیرد.

با توجه به آبنمود چشمه-قنات آبیز (شکل ۴-۱۴) مشاهده می‌شود که تغییرات اندکی در آبدهی چشمه-قنات آبیز رخ داده و افزایش و کاهش آبدهی به صورت تدریجی بوده است. همچنین آبدهی چشمه با بارش در ارتباط است ولی واکنش سریع و قابل ملاحظه نشان نمی‌دهد. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که زمان تأخیر طولانی بین بارش‌های زمستانی و افزایش آبدهی و بیشینه دبی وجود دارد. با توجه به مطالب ذکر شده نتیجه گرفت که واکنش آبدهی چشمه-قنات آبیز به بارش اندک و آرام است و احتمالاً به علت عدم توسعه مجاری و شکستگی‌های بزرگ، شکل کشیده حوضه آبگیر (نمایه شکل ۴/۵ و ضریب فشردگی ۱/۸)، دوره‌های بارش پراکنده می‌باشد.

منحنی فرود رسم شده برای این چشمه-قنات تنها دارای یک شیب برابر با ۰/۰۰۰۵ می باشد که نشان دهنده رژیم افشان در حوضه آبرگیر آن می باشد (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۴- آبنمود چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

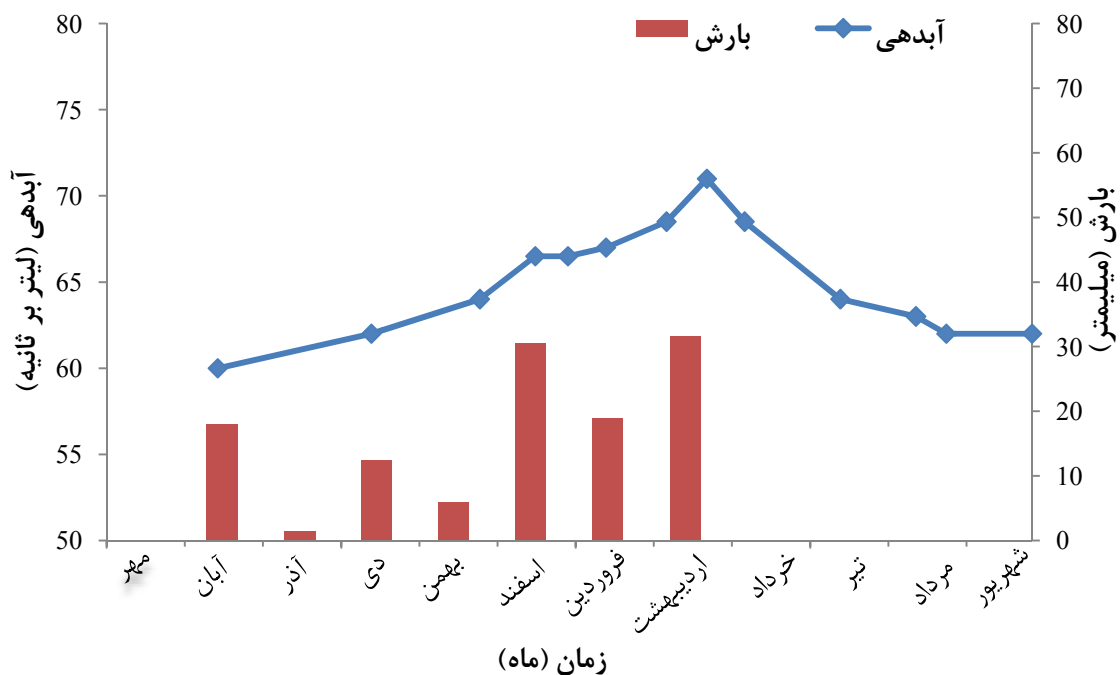


شکل ۴-۱۵- منحنی فرود چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

۴-۳-۲-۳- چشمه-قنات محمدآباد

چشمه-قنات محمدآباد دارای متوسط آبدهی ۶۴ لیتر بر ثانیه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ می‌باشد. حداقل آبدهی این چشمه-قنات، ۶۰ لیتر بر ثانیه در نیمه آبان ماه ۱۳۹۳ می‌باشد، آبدهی به تدریج تحت تأثیر بارش‌های پاییزی افزایش یافته و با رخ دادن بارش‌های زمستانی و بهاری به مقدار بیشینه ۷۱ لیتر بر ثانیه در اواخر اردیبهشت رسیده است. از این زمان به بعد آبدهی کاهش می‌یابد، در ابتدا تا اوایل تیر ماه کاهش آبدهی با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و سپس نرخ کاهش آبدهی کم می‌شود و به مقدار ۶۲ لیتر بر ثانیه در پایان شهریور می‌رسد. درصد ضریب تغییرات آبدهی در این چشمه-قنات، ۵ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده سیستم کارستی افشان است.

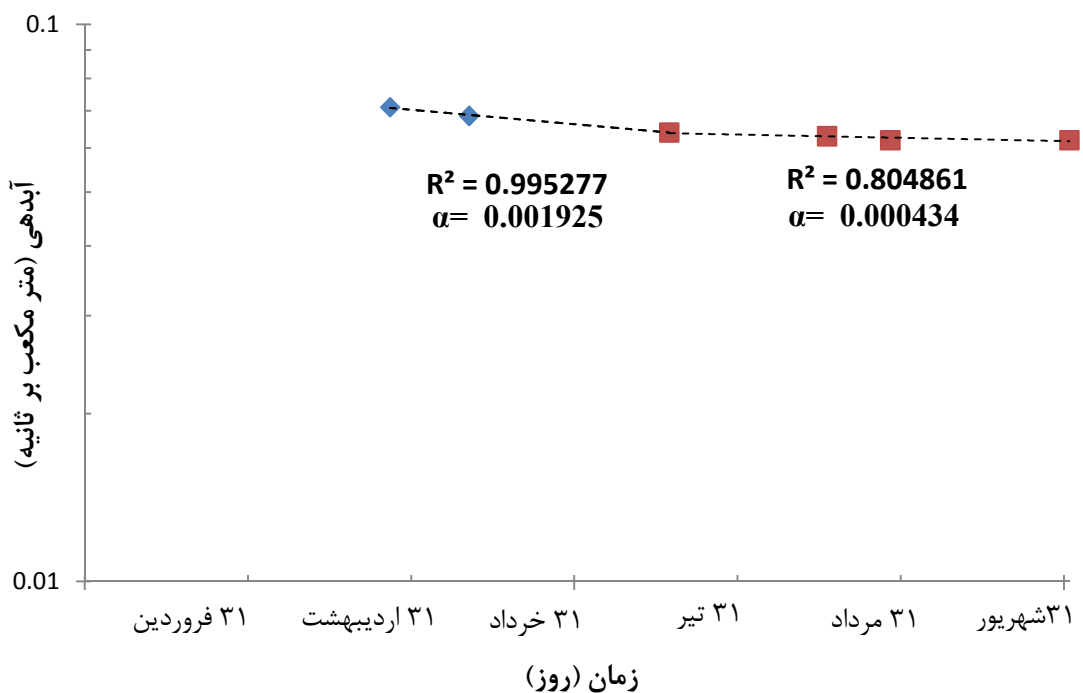
با توجه به آبنمود چشمه-قنات محمدآباد (شکل ۴-۱۶) نتیجه می‌شود که افزایش آبدهی به مقدار قابل توجه وجود ندارد می‌توان علت را به کم بودن میزان بارش در منطقه و عدم توسعه مجراهای بزرگ کارستی نسبت داد. همچنین مشاهده می‌شود که بارندگی با آبدهی در ارتباط است به طوری که بعد از گذشت زمان کوتاه از بارندگی اثر آن در آبدهی چشمه نمایان می‌شود و افزایش و کاهش



شکل ۴-۱۶- آبنمود چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

آبدهی با شیب نسبتاً زیاد صورت می‌گیرد. این موضوع را می‌توان به شکل هندسی حوضه آبرگیر (ضریب فشردگی ۱/۴ و نمایه شکل ۱/۷۶) و نقش مجراهای کارستی با توسعه یافتگی اندک نسبت داد.

با توجه به شکل (۴-۱۷) منحنی فرود چشمه-قنات محمدآباد، دارای دو رژیم تخلیه با ضرایب ۰/۰۰۱۹ و ۰/۰۰۰۴ است. هر دو این ضرایب نشان دهنده برقرار بودن سیستم افشان در حوضه آبرگیر آن‌هاست ولی احتمالاً در رژیم تخلیه اول مجراهای با کارست شدگی اندک نیز در تخلیه نقش دارند..



شکل ۴-۱۷- منحنی فرود چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

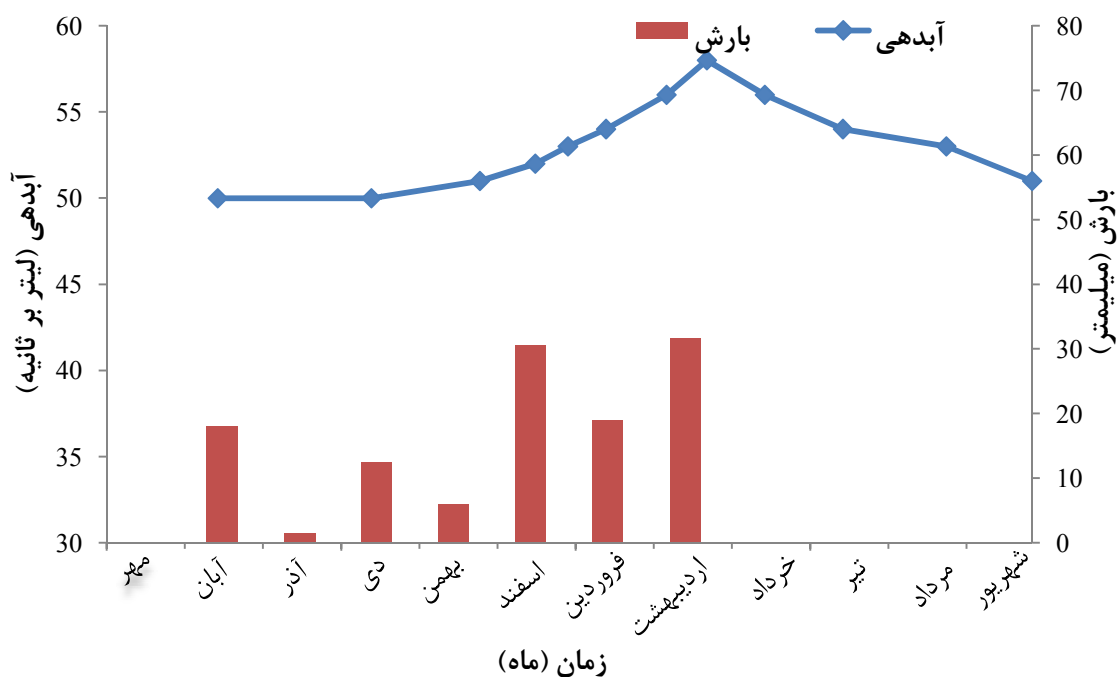
۴-۳-۲-۴ چشمه تجنود (رودخانه)

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴، میانگین آبدهی این چشمه ۵۳ لیتر بر ثانیه می‌باشد. حداقل آبدهی در پاییز و برابر ۵۰ لیتر بر ثانیه است، دبی این چشمه تا اواخر بهمن ثابت بوده و از اسفند ماه به تدریج افزایش یافته و در اواخر اردیبهشت به مقدار بیشینه ۵۸ لیتر بر ثانیه می‌رسد. سپس با یک شیب ملایم کاهش می‌یابد و در پایان شهریور ماه به مقدار ۵۱ لیتر بر

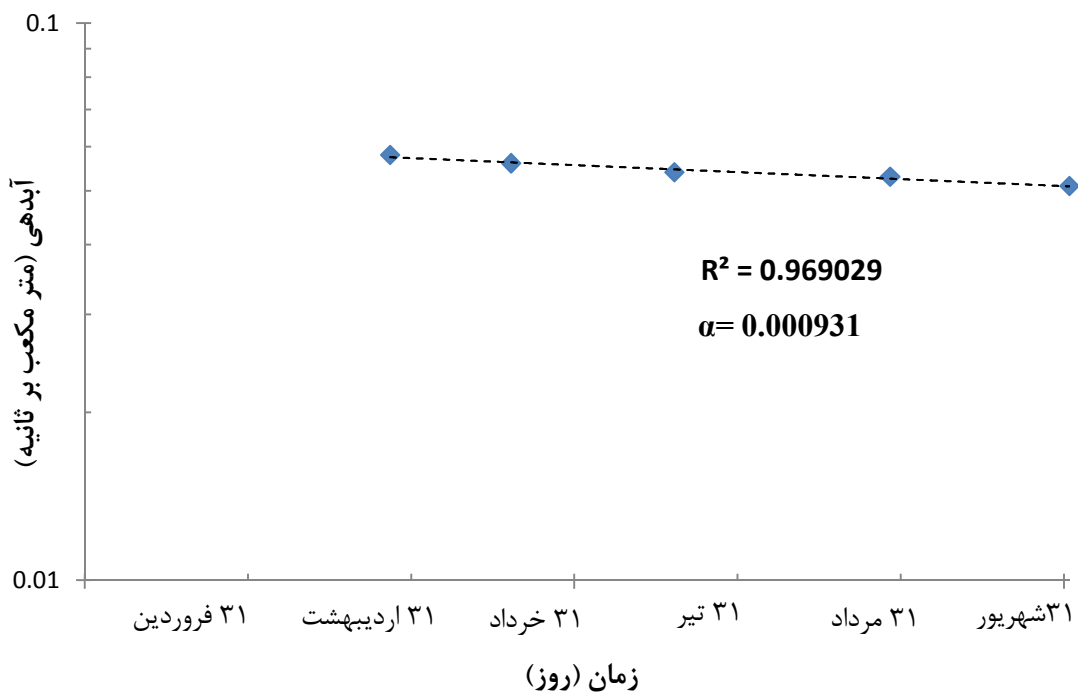
ثانیه می‌رسد (شکل ۴-۱۸). درصد ضریب تغییرات آبدهی برابر با ۵ درصد است که در محدوده رژیم جریان افشان است.

با توجه به آبنمود چشمه کارستی تجنود (شکل ۴-۱۸)، تغییرات آبدهی قابل توجه مشاهده نمی‌شود و احتمالاً به دلیل بارندگی کم، عدم توسعه مجاری بزرگ کارستی می‌باشد. علاوه بر این آبدهی چشمه با بارش در ارتباط است ولی افزایش و کاهش آبدهی به صورت تدریجی می‌باشد، همچنین زمان تأخیر طولانی بین بارش و آبدهی بیشینه وجود دارد که می‌توان علت را به عدم توسعه مجراهای بزرگ کارستی نسبت داد. جهت بررسی تعیین نوع رژیم جریان برای این چشمه منحنی فرود رسم شده است (شکل ۴-۱۹).

منحنی فرود رسم شده برای چشمه تجنود دارای یک رژیم تخلیه با شیب ۰/۰۰۰۹ است که نشان دهنده رژیم جریان افشان در حوضه آبرگیر این چشمه است.



شکل ۴-۱۸- آبنمود چشمه کارستی تجنود در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

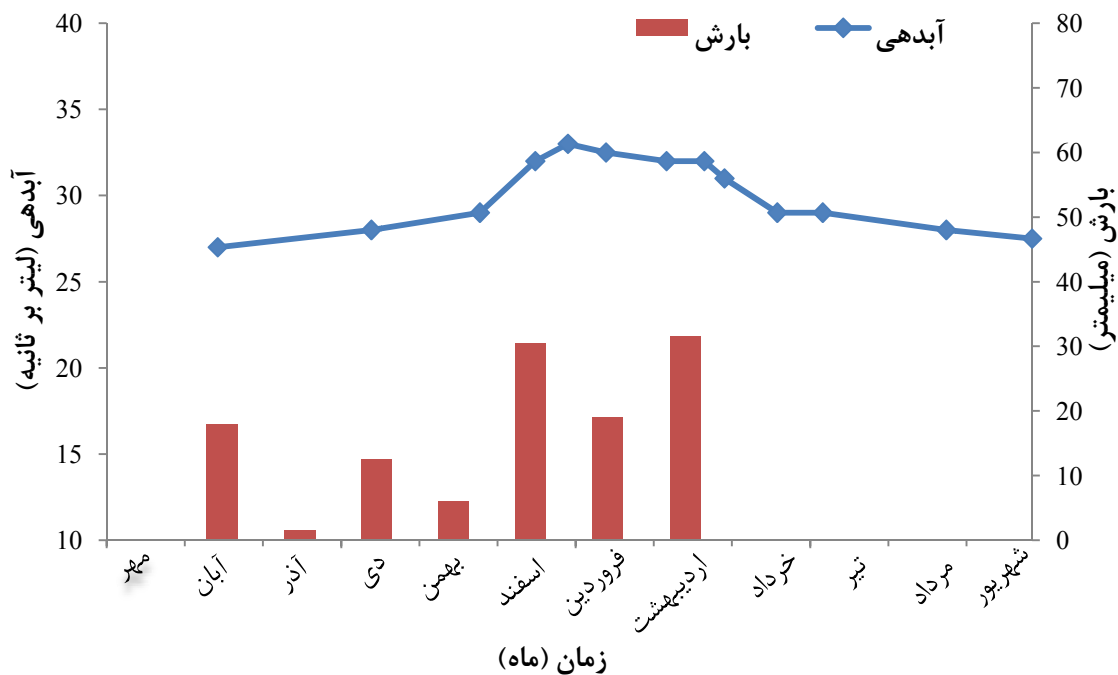


شکل ۴-۱۹- منحنی فرود چشمه کارستی تجنود در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

۴-۳-۲-۵- چشمه-قنات اردکول

بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ (جدول ۴-۳) مقدار متوسط آبدهی چشمه-قنات اردکول ۲۹ لیتر بر ثانیه است. حداقل میزان آبدهی این چشمه ۲۷ لیتر بر ثانیه در نیمه آبان ماه می‌باشد. با وقوع بارش‌های پاییزی آبدهی به تدریج اندکی افزایش می‌یابد، با بارش‌های زمستانی در اواخر اسفند آبدهی با شیب بیشتری افزایش یافته و در فروردین ماه به مقدار بیشینه ۳۳ لیتر بر ثانیه می‌رسد. این مقدار بیشینه اندکی کم شده و تا آخر اردیبهشت ماه در مقدار ۳۲ لیتر بر ثانیه ثابت می‌ماند، سپس به تدریج تا اواخر شهریور کاهش می‌یابد، در ابتدا کاهش آبدهی با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و از اوایل تیر ماه این شیب کاهش می‌یابد و در پایان شهریور ماه، آبدهی این چشمه به مقدار ۲۷/۵ لیتر بر ثانیه می‌رسد (شکل ۴-۲۰). درصد ضریب تغییرات برای این چشمه-قنات ۷ درصد محاسبه شده است، بر این اساس تغییرات آبدهی در رژیم جریان افشان قرار می‌گیرد. با توجه به آنمود (شکل ۴-۲۰) مشاهده می‌شود که آبدهی با بارندگی در ارتباط است ولی افزایش و کاهش آبدهی به صورت تدریجی می‌باشد. همچنین تغییرات اندکی در آبدهی رخ داده است که

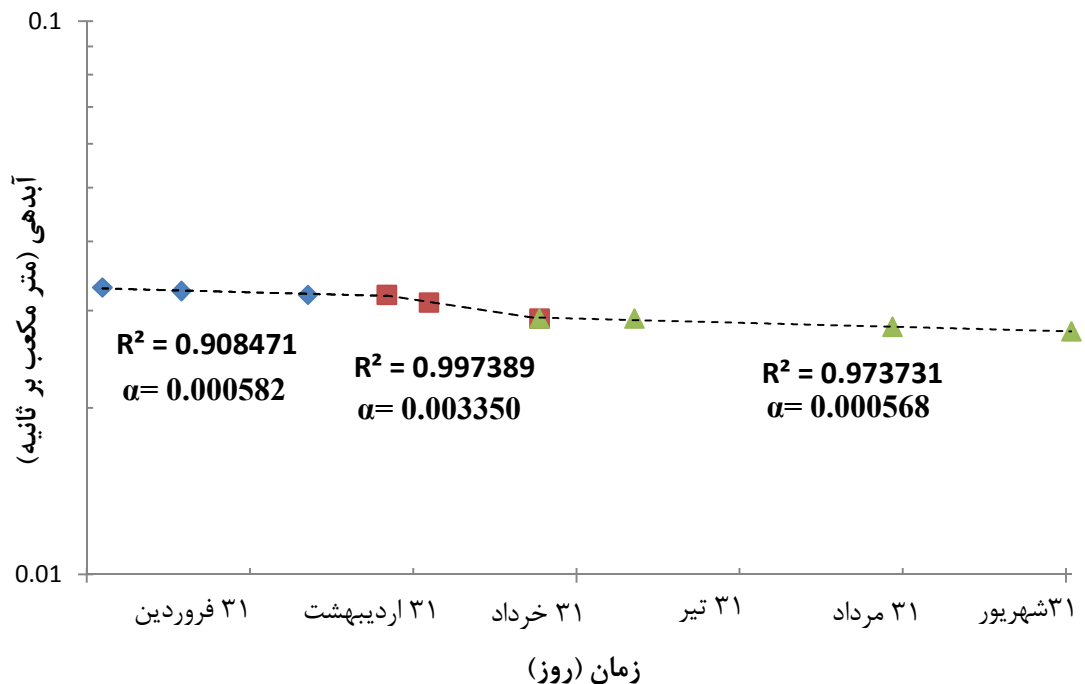
احتمالاً به دلیل بارش اندک، ویژگی‌های هندسی حوضه آبرگیر و عدم توسعه مجراهای بزرگ کارستی دانست. فاصله زمانی بین بارندگی و افزایش دبی و دبی بیشینه زیاد نیست که می‌تواند به دلیل ویژگی‌های هندسی حوضه آبرگیر (ضریب فشردگی برابر با ۱/۲) و همچنین توسعه اندک در مجاری و شکستگی‌ها دانست. اوج آبنمود صاف و کشیده است و تنها اندکی کاهش یافته که علت را می‌توان به تأثیر بارندگی‌های بهاری بر آبنمود یا وجود مجراهای کارستی است که موقتاً غرقاب شده و یا حوضه آبرگیر آن از دو مسیر متفاوت تشکیل شده است که با اختلاف زمانی نسبت به یکدیگر به خروجی چشمه رسیده نسبت داد. در مرحله بعد کاهش آبدهی شیب زیاد داشته و در ادامه شیب کاهش می‌یابد، شیب زیاد در ابتدای کاهش را می‌توان به نقش مجاری با توسعه یافتگی اندک نسبت داد.



شکل ۴-۲۰- آبنمود چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

با توجه به شکل (۴-۲۱) منحنی فرود چشمه-قنات اردکول، دارای سه رژیم تخلیه است. هر سه رژیم تخلیه دارای شیب کم بوده و مربوط به جریان افشان در سیستم کارستی است. رژیم اول تخلیه دارای شیب اندک و برابر با ۰/۰۰۰۶ بوده که احتمالاً به دلیل تغذیه بارش‌های بهاری و یا وجود مجراهای کارستی است که موقتاً غرقاب شده و یا تخلیه از دو مسیر متفاوت صورت گرفته است. رژیم دوم

تخلیه دارای شیب بیشتر و برابر با ۰/۰۰۳۳ است که نشان‌دهنده تخلیه سریع تر است که ممکن است در اثر تخلیه از مجراهای بزرگتر صورت گیرد. رژیم سوم جریان دارای شیب کمتر و برابر با ۰/۰۰۰۶ می‌باشد که نشان‌دهنده تخلیه از مجراهای کوچکتر است.

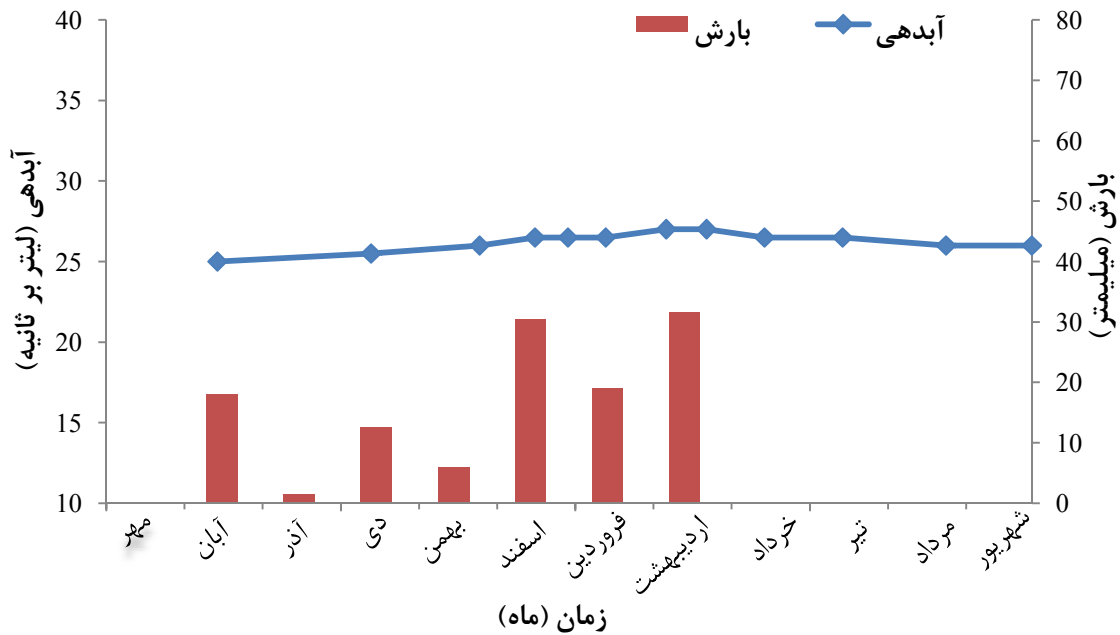


شکل ۴-۲۱- منحنی فرود چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

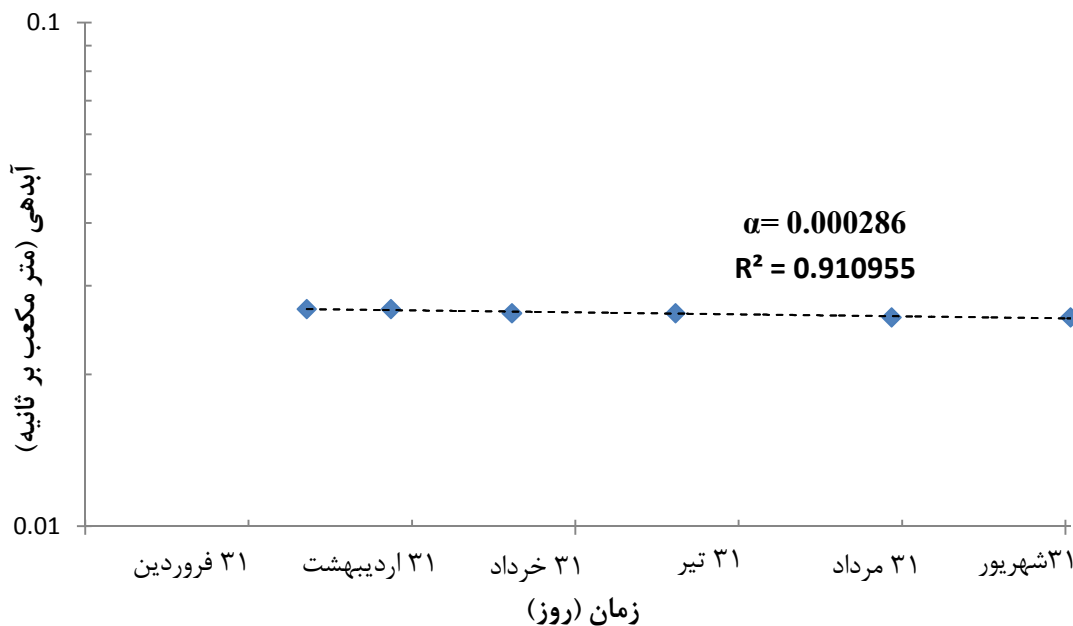
۴-۳-۲-۶- چشمه-قنات همت آباد

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ (جدول ۴-۳) آبدهی متوسط چشمه-قنات همت‌آباد ۲۶ لیتر بر ثانیه می‌باشد. مقدار حداقل آبدهی این چشمه-قنات ۲۵ لیتر بر ثانیه در نیمه آبان است که در اثر بارش‌های پاییزی آبدهی به تدریج افزایش یافته و پس از بارش‌های زمستانی در اواخر فروردین و اردیبهشت به مقدار بیشینه ۲۷ لیتر بر ثانیه می‌رسد. سپس آبدهی به تدریج کاسته می‌شود و در اواخر شهریور ماه به مقدار ۲۶ لیتر بر ثانیه می‌رسد. درصد ضریب تغییرات برای این چشمه قنات برابر با ۲/۵ درصد است و در رژیم کارستی افشان جای می‌گیرد. با توجه به آنمود چشمه-قنات همت‌آباد (شکل ۴-۲۲) می‌توان این چنین بیان کرد که تغییرات اندکی در آبدهی رخ داده است، همچنین افزایش و کاهش دبی به‌صورت تدریجی است علاوه بر این

زمان تأخیر طولانی بین بارش و افزایش آبدهی وجود دارد که احتمالاً به خاطر بارندگی کم، ویژگی-های هندسی حوضه آبرگیر و عدم توسعه مجاری بزرگ کارستی است. با توجه به شکل (۴-۱۷) منحنی فرود چشمه-قنات همت‌آباد، دارای یک رژیم تخلیه با ضریب $0.003/0$ است و نشان دهنده برقرار بودن سیستم افشان در حوضه آبرگیر آن است.



شکل ۴-۲۲- آبنمود چشمه-قنات همت آباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

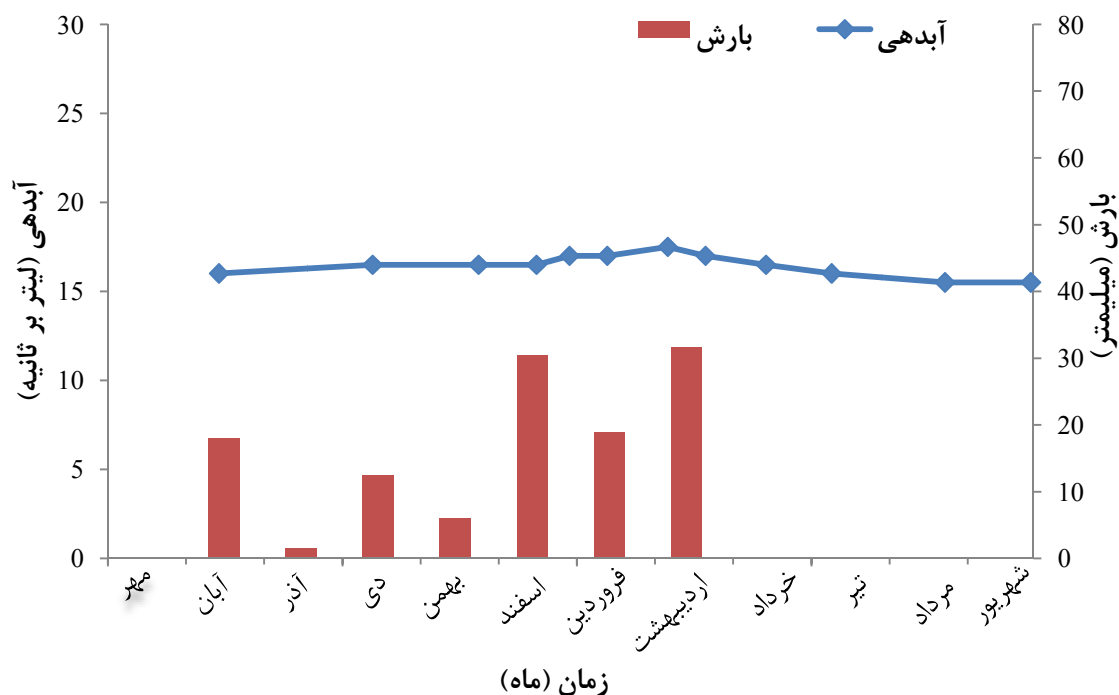


شکل ۴-۲۳- منحنی فرود چشمه-قنات همت آباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

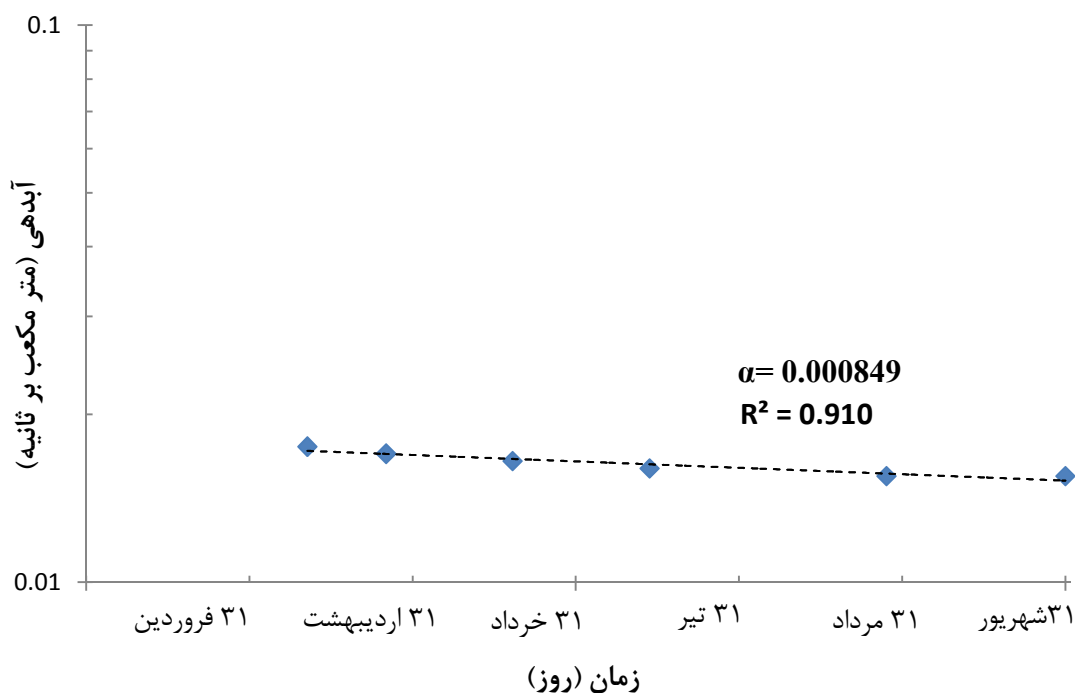
۴-۳-۲-۷- چشمه-قنات اسفاد

بر اساس اندازه گیری‌های انجام شده در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ (جدول ۴-۳)، آبدهی میانگین این چشمه-قنات برابر با ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه، مقدار کمینه آبدهی برابر با ۱۵/۵ لیتر بر ثانیه و مقدار بیشینه ۱۷/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. درصد ضریب تغییرات این چشمه-قنات برابر با ۴ درصد است و با توجه به تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته دارای رژیم جریان افشان کارستی است.

با توجه به منحنی آبنمود چشمه-قنات اسفاد (شکل ۴-۲۴) مشاهده می‌شود که بر اثر باران‌های پاییزی و زمستانی آبدهی کمینه به تدریج افزایش یافته و در اواسط اردیبهشت ماه به مقدار بیشینه می‌رسد و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. تغییرات اندکی در آبدهی رخ داده است، هم‌چنین افزایش و کاهش دبی به‌صورت تدریجی است که احتمالاً به دلیل بارندگی کم، پارامترهای هندسی حوضه آبرگیر و عدم توسعه مجراهای بزرگ کارستی در آبخوان کارستی تغذیه کننده این چشمه-قنات است. منحنی فرود رسم شده برای چشمه-قنات اسفاد (شکل ۴-۲۵) دارای یک رژیم تخلیه با شیب ۰/۰۰۰۸ است که نشان‌دهنده رژیم جریان افشان در سیستم کارستی است.



شکل ۴-۲۴- آبنمود چشمه-قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



شکل ۴-۲۵- منحنی فرود چشمه قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

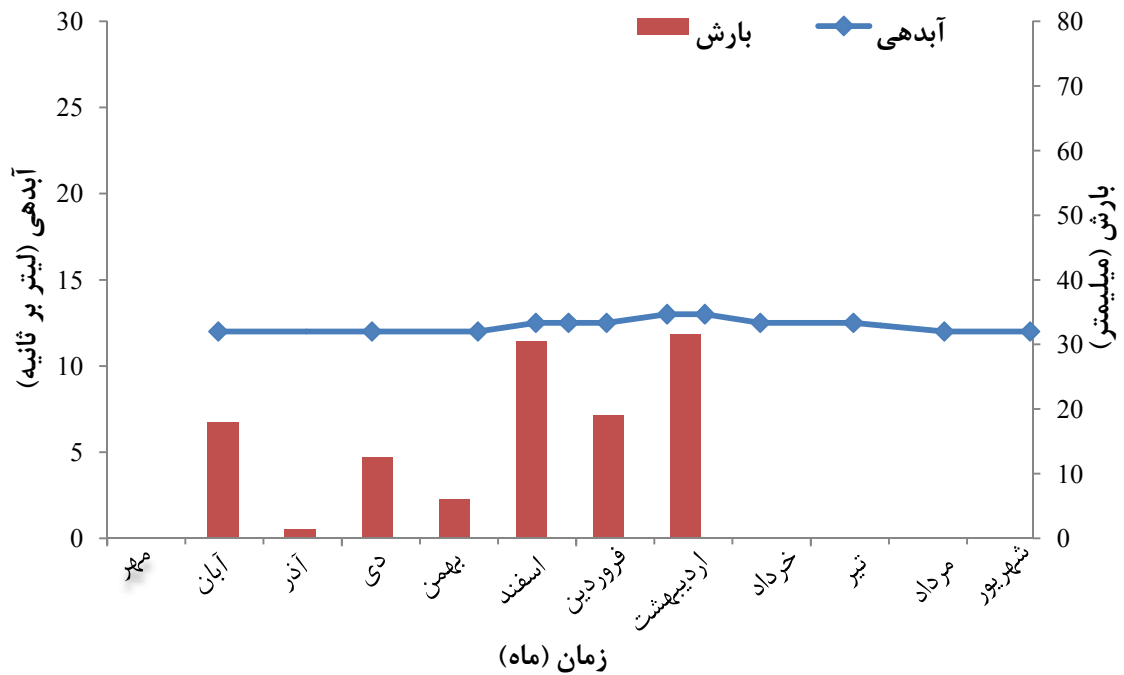
۴-۳-۲-۸- چشمه-قنات فندخت

بر اساس اندازه گیری‌های انجام شده در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ (جدول ۴-۳)، آبدهی میانگین این چشمه-قنات برابر با ۱۲/۵ لیتر بر ثانیه، مقدار کمینه آبدهی برابر با ۱۲ لیتر بر ثانیه و مقدار بیشینه ۱۳ لیتر بر ثانیه می‌باشد. درصد ضریب تغییرات این چشمه-قنات برابر با ۳ درصد است و بر این اساس دارای رژیم جریان افشان کارستی است.

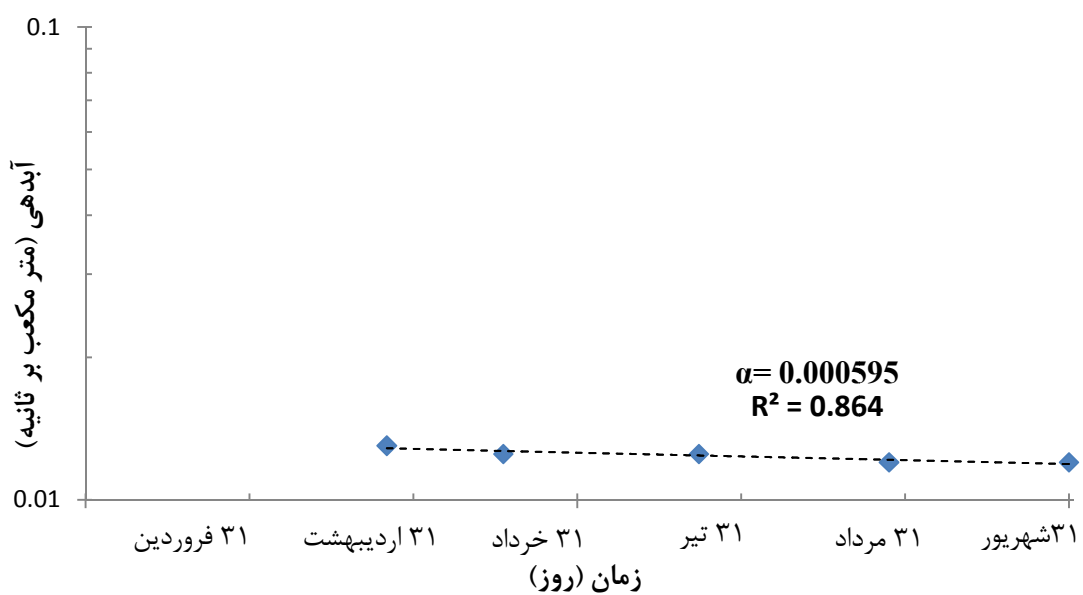
با توجه به آبنمود چشمه-قنات فندخت (شکل ۴-۲۶)، از اواسط آبان تا پایان بهمن آبدهی مقدار ۱۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد سپس این مقدار به تدریج افزایش می‌یابد و در اردیبهشت ماه به مقدار بیشینه می‌رسد و از اردیبهشت ماه با کاهش تدریجی در آخر شهریور به ۱۲ لیتر بر ثانیه می‌رسد.

با توجه به منحنی آبنمود چشمه مشاهده می‌شود که تغییرات اندکی در آبدهی رخ داده است، همچنین بارندگی باعث تغییرات ناگهانی در آبدهی نشده است و افزایش و کاهش دبی به صورت تدریجی است از طرف دیگر فاصله زمانی بین بارندگی‌ها، افزایش دبی و دبی بیشینه زیاد است. علت این وضعیت در آبنمود را می‌توان به وضعیت بارش (بارندگی اندک و پراکنده)، وضعیت هندسی حوضه

آبگیر (شکل و اختلاف ارتفاع نقاط مختلف حوضه با سطح اساس فرسایش چشمه) و همچنین عدم توسعه مجراهای کارستی بزرگ و وجود رژیم جریان افشان در حوضه آبگیر چشمه دانست. منحنی فرود رسم شده برای این چشمه-قنات تنها دارای یک شیب و برابر با $0/0006$ می باشد که نشان دهنده برقراری رژیم جریان افشان در حوضه آبگیر این چشمه هاست.



شکل ۴-۲۶- آبنمود چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



شکل ۴-۲۷- منحنی فرود چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

۴-۳-۳- ارزیابی هیدروژنوشیمیایی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مهم

پژوهشگران بر اساس نیازهای خود از روش‌های مختلفی جهت شناخت سیستم یک حوضه کارستی استفاده کرده‌اند، یکی از این روش‌ها ارزیابی پارامترهای شیمیایی جهت شناخت بعضی از خصوصیات هیدروژئولوژیکی و تشخیص نحوه جریان آب در مناطق کارستی بوده است. کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند بیانگر منشأ آن، جنس لایه‌های زمین، تراوایی لایه‌ها، فاصله محل‌های تغذیه و تخلیه و اطلاعات مفید دیگری باشد.

در راستای ارزیابی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه، هدایت الکتریکی تعدادی از چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم در منطقه در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ اندازه‌گیری شده، همچنین غلظت یون-های اصلی در این چشمه‌ها تعیین شده است. در این بخش نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌های شیمیایی به تفصیل ارائه و بررسی خواهد شد.

۴-۳-۳-۱- تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب به غلظت و نوع یون‌های محلول و همچنین دما بستگی دارد. از آن جایی که این پارامتر به عنوان نماینده مناسبی از کل املاح محلول بوده و به آسانی توسط یک هدایت‌سنج الکتریکی با دقت بسیار بالا قابل اندازه‌گیری است، یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در مطالعات منابع آب به شمار می‌رود. با توجه به مطالب گفته شده در فصل دوم در خصوص شاخص‌های توسعه کارست به بررسی تغییرات هدایت الکتریکی، ارتباط هدایت الکتریکی با آبدهی و درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی پرداخته شده است.

هدایت الکتریکی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی مهم مورد مطالعه، در یک سال آبی از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شده است (جدول ۴-۴)، لازم به ذکر است به دلیل تغییرات اندک در فصل زمستان اندازه‌گیری‌ها با فاصله زمانی بیشتر (تقریباً ۴۰ روز) و در فصل بهار و اوایل تابستان اندازه‌گیری‌ها در فواصل زمانی کوتاه (تقریباً ۲۰ روز) انجام شده است.

جدول ۴-۴- هدایت الکتریکی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)							تاریخ	ردیف
فندخت	اسفاد	همت‌آباد	اردکول	تجنود	محمدآباد	آبیز		
۳۲۶	۲۲۳	۹۰۰	۳۷۸	۴۸۰	۷۲۴	۳۳۵	۹۳/۰۸/۱۴	۱
۳۲۳	۲۱۹	۸۹۵	۳۷۶	۴۸۳	۷۱۸	۳۳۲	۹۳/۱۰/۱۵	۲
۳۲۴	۲۲۰	۸۹۰	۳۷۸	۴۸۵	۷۱۳	۳۲۷	۹۳/۱۱/۲۷	۳
۳۱۶	۲۱۵	۸۸۸	۳۷۲	۴۷۵	۷۱۵	۳۱۲	۹۳/۱۲/۲۰	۴
۳۱۸	۲۱۸	۸۸۶	۳۷۵	۴۷۳	۷۱۲	۲۸۷	۹۴/۰۱/۰۴	۵
۳۱۹	۲۱۶	۸۸۷	۳۷۳	۴۷۰	۷۰۸	۲۸۲	۹۴/۰۱/۱۹	۶
۳۱۸	۲۱۴	۸۸۳	۳۷۰	۴۶۶	۷۰۵	۲۸۵	۹۴/۰۲/۱۲	۷
۳۱۵	۲۱۲	۸۸۲	۳۶۷	۴۶۴	۷۰۶	۳۱۲	۹۴/۰۲/۲۷	۸
-	-	-	۳۶۹	-	۷۰۸	-	۹۴/۰۳/۱۲	۹
۳۱۵	۲۱۶	۸۸۴	۳۶۸	۴۶۶	-	۳۱۳	۹۴/۰۳/۱۷	۱۰
-	-	-	۳۷۰	-	-	۳۱۱	۹۴/۰۴/۱۲	۱۱
۳۱۹	۲۲۳	۸۹۰	-	۴۶۹	۷۱۳	-	۹۴/۰۴/۲۰	۱۲
-	-	-	-	-	۷۱۵	۳۰۹	۹۴/۰۵/۲۰	۱۳
۳۲۱	۲۲۰	۸۹۳	۳۷۲	۴۷۳	۷۲۰	-	۹۴/۰۵/۳۰	۱۴
-	-	-	-	-	-	۳۰۵	۹۴/۰۶/۰۷	۱۵
۳۲۳	۲۲۰	۸۹۵	۳۷۴	۴۷۵	۷۱۸	۳۱۲	۹۴/۰۷/۰۱	۱۶
۳۲۰	۲۱۸	۸۸۹	۳۷۲	۴۷۳	۷۱۲	۳۰۷	میانگین	
۳۱۵	۲۱۲	۸۸۲	۳۶۷	۴۶۴	۷۰۵	۲۸۲	کمینه	
۳۲۶	۲۲۳	۹۰۰	۳۷۸	۴۸۵	۷۲۴	۳۳۵	بیشینه	

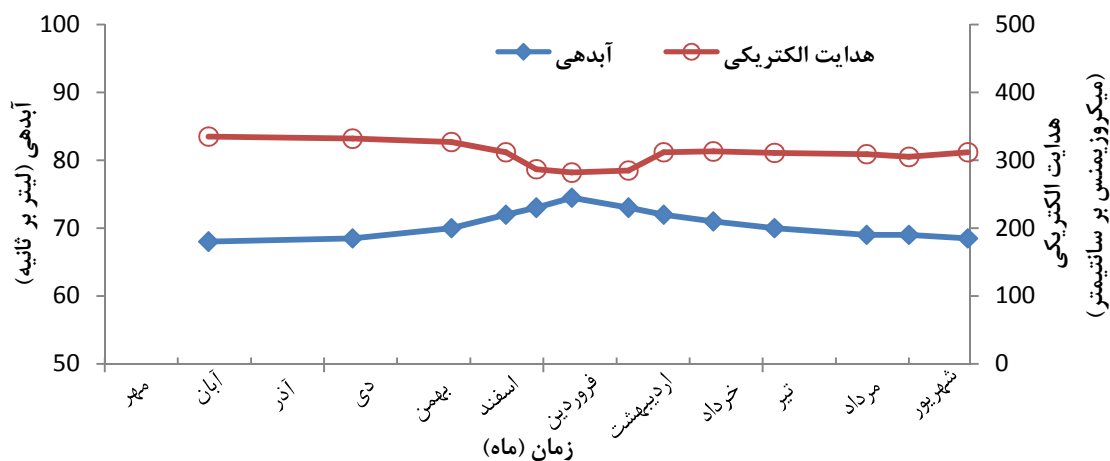
هدایت الکتریکی با مقدار کل مواد حل شده رابطه مستقیم دارد و تحت تأثیر عوامل درونی مانند جنس و درجه خلوص واحدهای تشکیل دهنده آبخوان، زمان ماندگاری آب و عوامل خارجی مانند کیفیت آب‌های تغذیه کننده آبخوان می‌باشد. هدایت الکتریکی در آبخوان‌های کارستی به طور عمده از هدایت الکتریکی در آبخوان‌های ابرفتی کم‌تر است. در بین چشمه‌های مطالعه شده (جدول ۴-۴)،

کم‌ترین میانگین هدایت الکتریکی برابر با ۲۱۸ میکروزیمنس بر سانتیمتر مربوط به چشمه-قنات اسفاد بوده و بیشترین میانگین هدایت الکتریکی مربوط به چشمه-قنات همت‌آباد است که برابر با ۸۸۹ میکروزیمنس بر سانتیمتر است. اختلاف در هدایت الکتریکی چشمه‌ها به دلیل اختلاف در خلوص و جنس سنگ‌های حوضه آبرگیر، اختلاف در زمان ماندگاری آب به دلیل تفاوت در فاصله محل تغذیه تا محل تخلیه و سیستم جریان کارستی است.

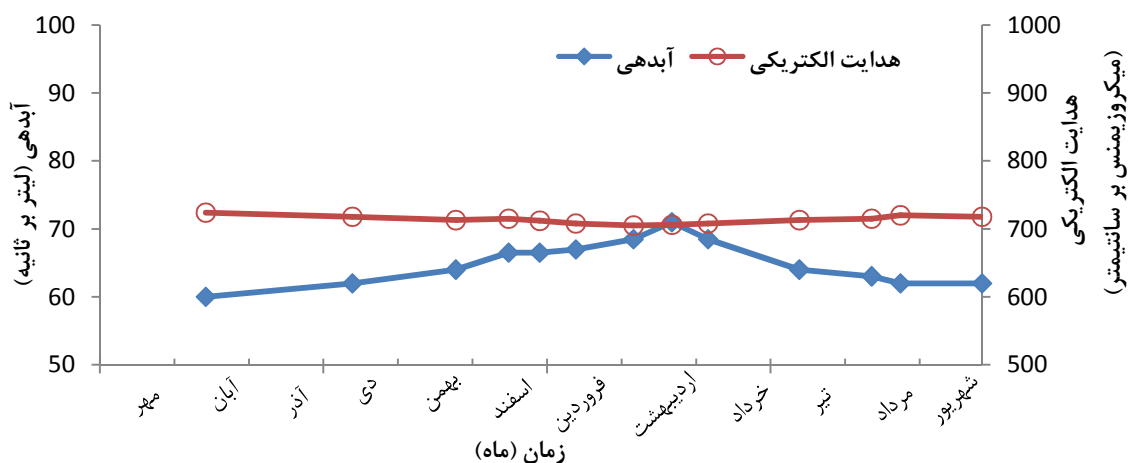
در یک سیستم کامل کارستی، دبی چشمه بعد از یک بارش شدید در یک دوره کوتاه افزایش یافته و پس از رسیدن به اوج، به آرامی شروع به کاهش می‌کند. در این دوره هدایت الکتریکی آب چشمه بعد از بارندگی به دلیل رانده شدن آب‌های قبلی موجود در ناحیه اشباع و مجاری کارستی که زمان ماندگاری زیاد داشته افزایش می‌یابد (Flushing Period)، سپس هدایت الکتریکی شروع به کاهش نموده و به حداقل می‌رسد که نشانگر مشارکت آب بارش در آبدهی چشمه است (Dilution Period). در نهایت به تدریج هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد (Recovery Period) زیرا آب ورودی بارندگی در سیستم کارستی فرصت کافی برای تعادل رسیدن با سفره را داشته و به شرایط قبل از بارندگی نزدیک می‌گردد (Desmarais and Rojstaczer 2002). از شکل (۴-۲۸) تا شکل (۴-۳۴) روند تغییرات هدایت الکتریکی با تغییرات آبدهی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ بررسی شده است در تمامی چشمه‌ها با افزایش آبدهی، میزان هدایت الکتریکی آب کاهش یافته که نشان دهنده مشارکت آب بارش در آبدهی چشمه می‌باشد. تغییرات هدایت الکتریکی همانند آبدهی تدریجی و اندک است، همچنین درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه نیز کمتر از ۱۰ درصد است که نشانگر حاکم بودن رژیم جریان افشان در این چشمه‌ها است.

جدول ۴-۵- پارامترهای آماری هدایت الکتریکی چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه

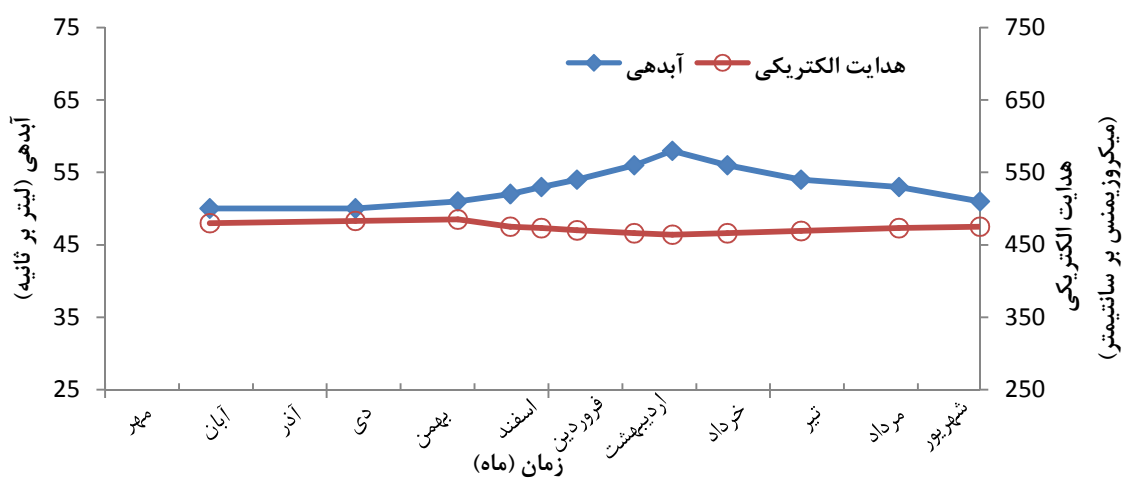
منبع آبی (چشمه و چشمه-قنات)							پارامتر آماری
فندخت	اسفاد	همت‌آباد	اردکول	تجنود	محمدآباد	آبیز	
۳/۷۲	۳/۵۹	۵/۷۷	۳/۵۱	۶/۹۶	۵/۵۱	۱۶/۴۸	انحراف معیار
۱	۲	۱	۱	۲	۱	۵	درصد ضریب تغییرات



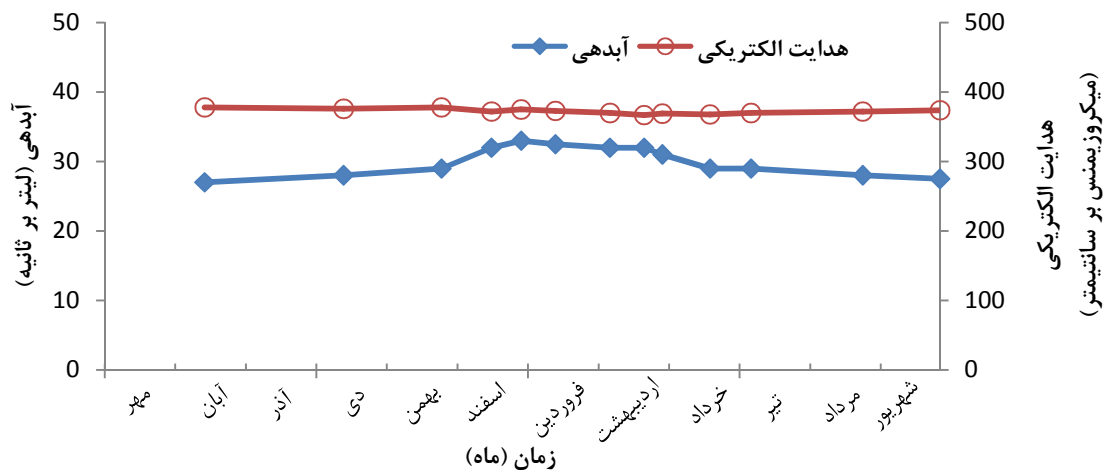
شکل ۴-۲۸- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات آبیز در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



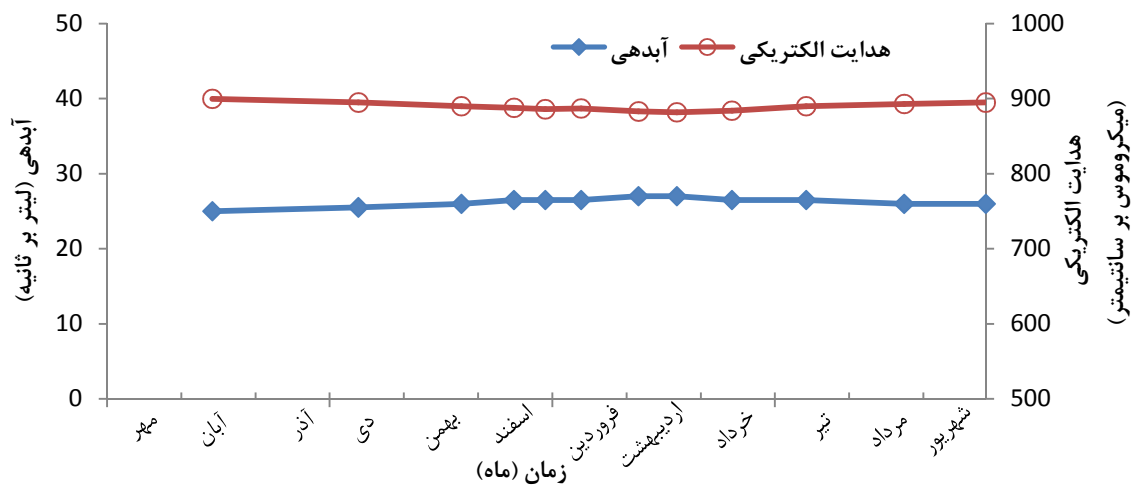
شکل ۴-۲۹- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات محمدآباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



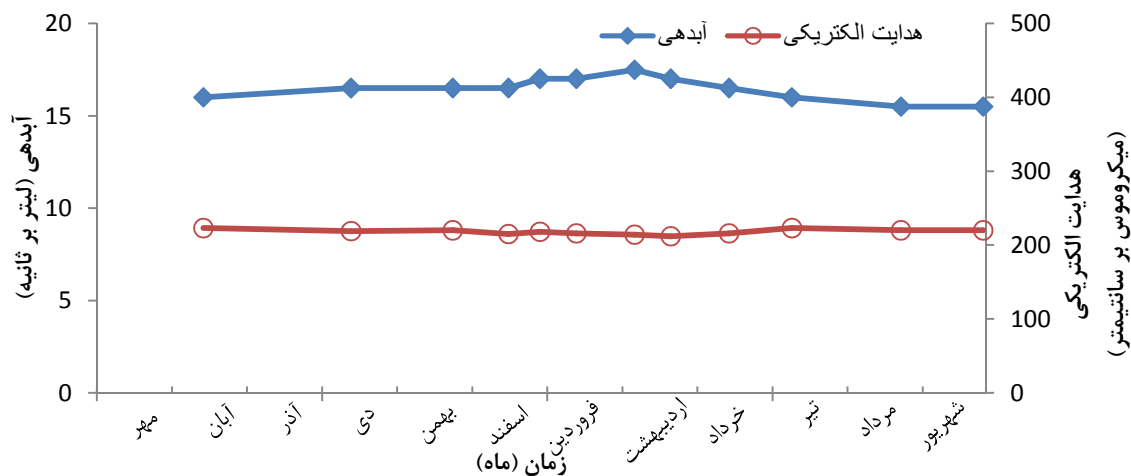
شکل ۴-۳۰- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه تجنود در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



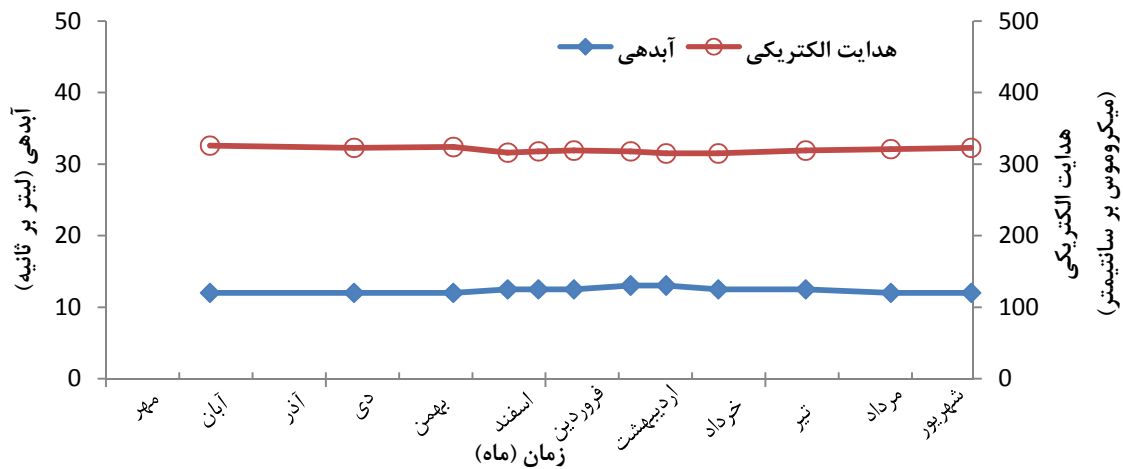
شکل ۴-۳۱- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات اردکول در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



شکل ۴-۳۲- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات همت آباد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



شکل ۴-۳۳- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات اسفاد در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴



شکل ۴-۳۴- تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه-قنات فندخت در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

۴-۳-۲- ارزیابی غلظت یون‌های اصلی

در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ از چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های منتخب در منطقه تعداد هشت نمونه آب برداشت شده و برای تمام نمونه‌ها غلظت یون‌های اصلی به همراه میزان هدایت الکتریکی (EC) و pH نمونه‌ها در جدول (۴-۶) ارائه شده است. درصد خطای تعادل یونی آزمایش محاسبه شده و برای تمامی نمونه‌ها کم‌تر از ۵ درصد است که نشان‌دهنده صحت تعیین غلظت یون‌های اصلی می‌باشد. با استفاده از غلظت یون‌های اصلی، پارامترهای کل مواد جامد محلول، سختی کل و نسبت یون کلسیم به منیزیم جهت بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی منطقه بررسی شده است (جدول ۴-۷). کل مواد جامد محلول (TDS) عبارت از جرم مواد باقی مانده که از تبخیر یک لیتر آب به دست می‌آید. روش بدست آوردن کل مواد جامد محلول در آزمایشگاه به این صورت است که حجم معینی از محلول را حرارت می‌دهند تا بخار شود، در نهایت جرم مواد باقیمانده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر را کل مواد جامد محلول (TDS) می‌گویند. این جرم برابر با جرم مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است. اما در عمل کل مواد جامد محلول با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها مقداری اختلاف دارد زیرا بر اثر حرارت برخی از ترکیبات محلول در آب مانند بی‌کربنات شکسته شده و به صورت گاز متصاعد می‌شوند.

جدول ۴-۶- داده‌های هیدروژئوشیمی چشمه و چشمه قنات‌های مورد مطالعه در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

pH	EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	خطای آزمایش (%)	غلظت (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)						نمونه آب
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
۷/۳۵	۳۲۰	۲/۶	۱/۱	۰/۳	۲/۵	۱/۴	۱/۱	۱/۲	آبیز
۷/۰۲	۷۲۲	۲/۰	۲/۵	۰/۴	۴/۶	۲/۷	۱/۷	۲/۸	محمدآباد
۷/۵۲	۳۳۸	۳/۴	۱/۲	۰/۴	۲/۹	۱/۹	۰/۹	۱/۴	گزخت
۷/۴۸	۲۳۵	۱/۸	۰/۹	۰/۳	۱/۵	۱/۳	۰/۸	۰/۷	اسفاد
۷/۴۳	۴۸۲	۲/۹	۱/۶	۰/۵	۳/۱	۱/۵	۱/۸	۱/۶	تجنود
۷/۴۹	۳۳۵	۲/۸	۱	۰/۵	۲/۲	۱/۳	۱/۱	۱/۱	فندخت
۷/۱۵	۹۰۳	۲/۲	۳/۳	۱/۸	۴/۳	۲/۲	۳/۳	۳/۵	همت آباد
۷/۲۱	۴۰۳	۱	۱/۵	۰/۴	۲/۸	۱/۸	۱/۳	۱/۵	اردکول

جدول ۴-۷- پارامترهای هیدروژئوشیمیایی محاسبه شده برای چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه

Ca/Mg(mol/mol)	TH ($\frac{\text{mg}}{\text{l}}$ CaCO ₃)	TDS (mg/l)	نمونه آب
۱/۳	۱۲۵	۱۹۸	چشمه-قنات آبیز
۱/۶	۲۲۰	۳۸۷	چشمه-قنات محمدآباد
۲/۱	۱۴۰	۲۳۱	چشمه گزخت
۱/۶	۱۰۵	۱۴۳	چشمه-قنات اسفاد
۰/۸	۱۶۵	۲۶۴	چشمه تجنود
۱/۲	۱۲۰	۱۹۱	چشمه-قنات فندخت
۰/۷	۲۷۵	۵۰۰	چشمه-قنات همت‌آباد
۱/۴	۱۵۵	۲۴۴	چشمه-قنات اردکول

برای محاسبه میزان کل مواد جامد محلول از رابطه زیر استفاده شده است (Hounslow 1995):

$$TDS = (\text{Anions} + \text{Cations} + \text{Si}) - 0.51(\text{HCO}_3^-) \quad \text{معادله ۱-۴}$$

که در آن کل مواد جامد محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار کل مواد جامد محلول محاسبه شده نشانگر میزان اندک مواد محلول در نمونه‌هاست که به علت واکنش اندک میان آب با سنگ، زمان ماندگاری اندک و فاصله اندک میان منطقه تغذیه و تخلیه نسبت داد.

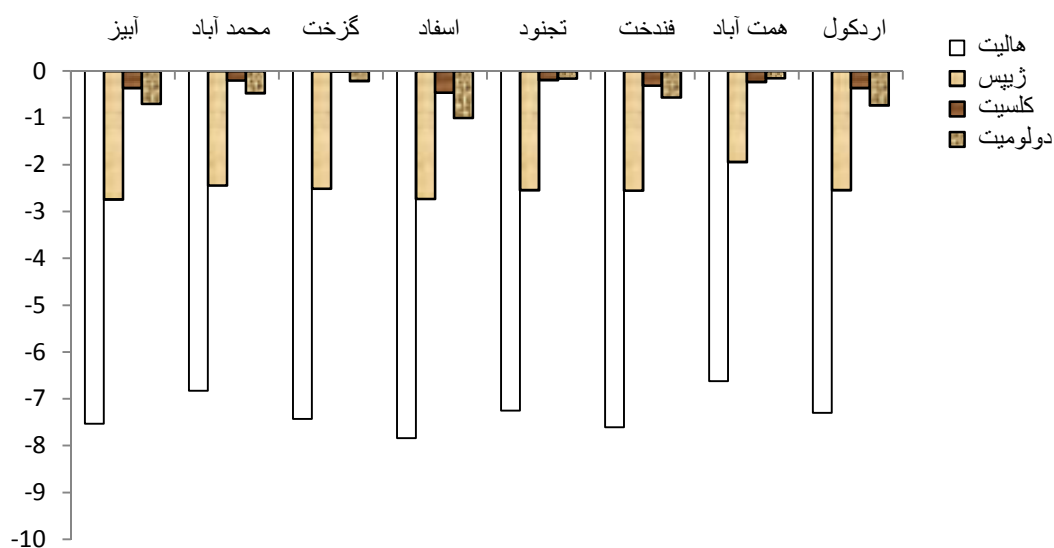
سختی کل آب مجموع میلی‌گرم یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در یک لیتر آب است که بر حسب میلی‌گرم کربنات کلسیم بیان می‌شود. با توجه به اعداد بدست آمده برای سختی کل بر اساس تقسیم‌بندی تاد و میز (Todd and Mays 2005)، نمونه‌های مورد مطالعه در رده آب‌های نسبتاً سخت تا سخت جای گرفته‌اند.

از نسبت مولی یون کلسیم به یون منیزیم جهت شناسایی سازندهای آهکی از سازندهای دولومیتی استفاده می‌شود. چنانچه این نسبت در سفره‌های کارستی بین صفر تا ۲ باشد، سازند دولومیتی و چنانچه از ۲ بیشتر باشد سازند آهکی است. هر چه نسبت کلسیم به منیزیم بیشتر باشد، سنگ آهک خالص‌تر است (Langmuir 1971). شاستر و وایت (Shuster and White 1971) مقدار این نسبت در سنگ‌های دولومیتی را بین ۱ تا ۳ و برای سنگ‌های آهکی بین ۳ تا ۸ گزارش کرده‌اند. نسبت مولی یون کلسیم به منیزیم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۷ تا ۲/۱ می‌باشد که نشان‌دهنده دولومیتی بودن سازندهای منطقه است. آهک‌های خالص در مقایسه با آهک‌های دولومیتی بیشتر کارستی می‌گردند، بنابراین عدم توسعه مجراهای بزرگ کارستی را می‌توان به ناخالصی در سنگ آهک نسبت داد. شاخص ضرایب اشباع نشانگر اشباع شدگی آب نسبت به کانی‌ها می‌باشد. بدیهی است هر چه یک کانی بیشتر در آب حل شود، این کانی در آب به مقدار اشباع نزدیک می‌گردد. ضریب اشباع کم‌تر از صفر، نشانه تحت اشباع بودن نسبت به آن کانی است هر چه ضریب اشباع یک کانی به صفر نزدیک گردد، آن کانی به حالت اشباع در آب نزدیک می‌گردد. محاسبه ضریب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس، هالیت در نمونه‌های آب چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴، در جدول ۴-۸ و شکل ۴-۳۵ نشان داده شده است. بر این اساس تمامی نمونه‌ها نسبت

به کلسیت، دولومیت، ژپیس و هالیت تحت اشباع بوده و کانی کلسیت و دولومیت به حالت اشباع نزدیک می‌باشد.

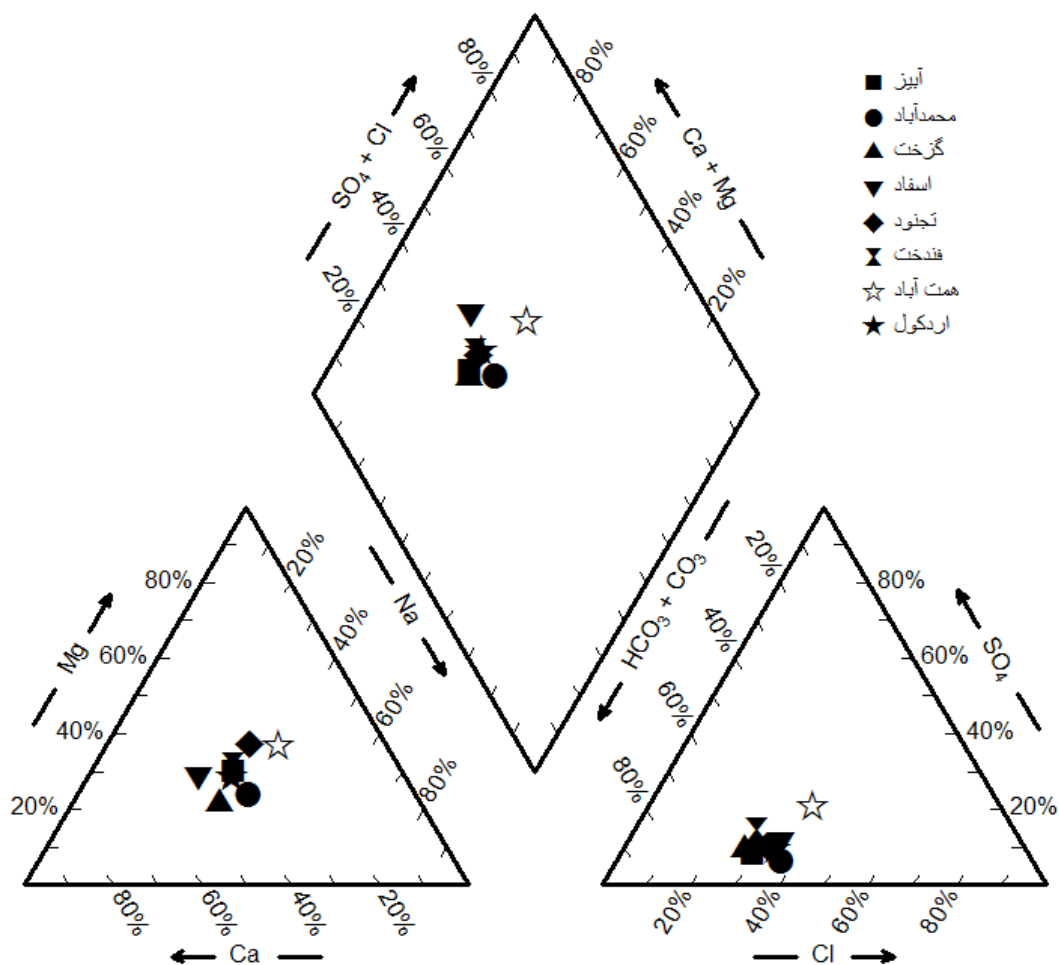
جدول ۴-۸- شاخص اشباع نمونه‌های آب چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (اردیبهشت ماه ۱۳۹۴)

نمونه آب	کلسیت	دولومیت	ژپیس	هالیت
چشمه-قنات آبیز	-۰/۳۶	-۰/۷	-۲/۷۴	-۷/۵۳
چشمه-قنات محمد آباد	-۰/۲	-۰/۴۷	-۲/۴۴	-۶/۸۳
چشمه گزخت	-۰/۰۱	-۰/۲۱	-۲/۵۱	-۷/۴۳
چشمه-قنات اسفاد	-۰/۴۶	-۱	-۲/۷۳	-۷/۸۴
چشمه تجنود	-۰/۱۹	-۰/۱۶	-۲/۵۴	-۷/۲۵
چشمه-قنات فندخت	-۰/۳۱	-۰/۵۶	-۲/۵۵	-۷/۶۱
چشمه-قنات همت آباد	-۰/۲۳	-۰/۱۵	-۱/۹۴	-۶/۶۲
چشمه-قنات اردکول	-۰/۳۶	-۰/۷۳	-۲/۵۴	-۷/۳۰



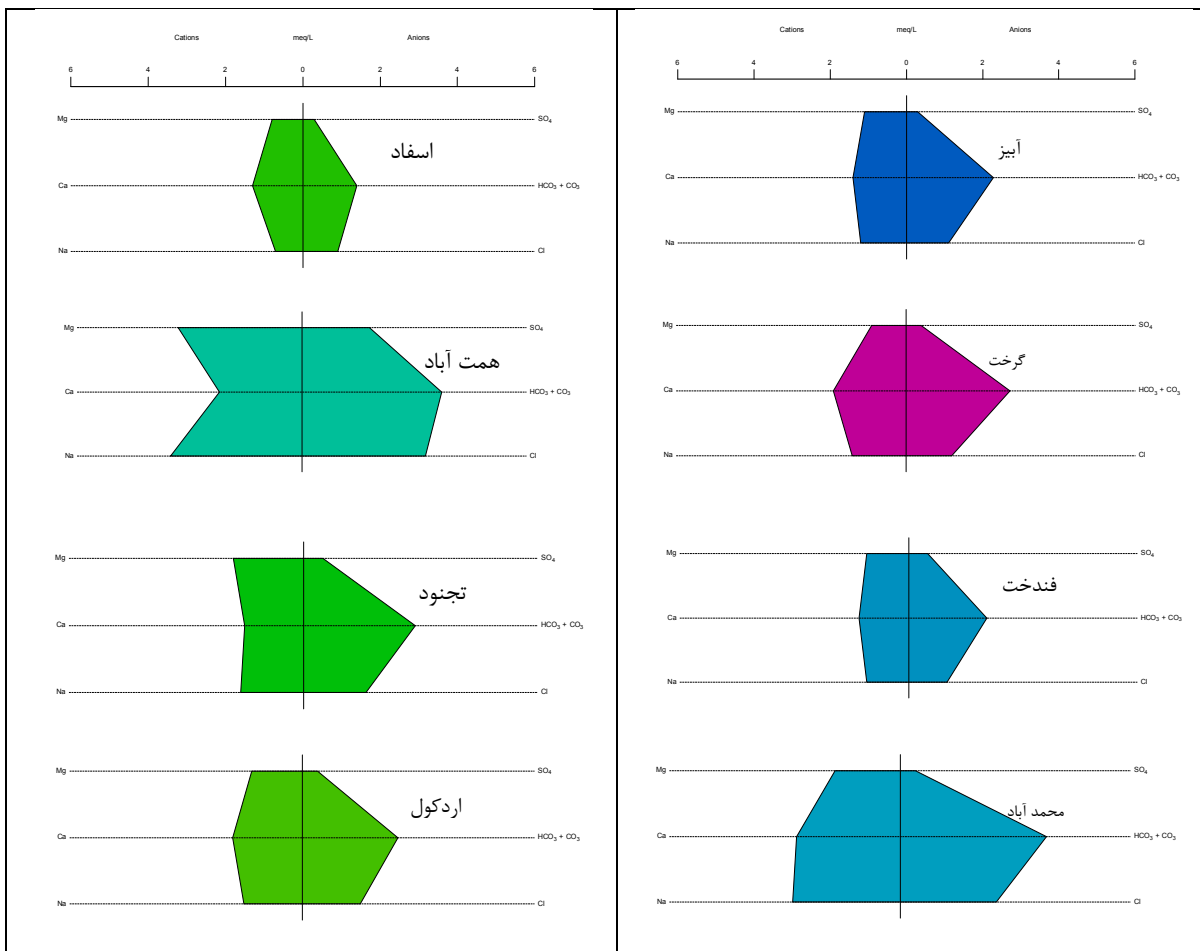
شکل ۴-۳۵- شاخص اشباع نمونه‌های آب چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۴)

زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در حقیقت بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف یا اسیدهای قوی و همچنین غالب بودن عناصر قلیایی یا قلیایی خاکی می‌باشد. البته در بعضی از آب‌ها ممکن است هیچ زون غالب کاتیونی و یا آنیونی مشاهده نشود. به منظور ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی از نمودار پایپر (Piper) استفاده شده است. شکل (۴-۳۶) نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های تهیه شده از چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۳۶ مشاهده می‌شود که برای تمامی نمونه‌ها (به استثنای چشمه-قنات همت‌آباد) اسیدهای ضعیف (کربنات و بی‌کربنات) و عناصر قلیایی خاکی (کلسیم و منیزیم) به ترتیب زون‌های آنیونی و کاتیونی غالب را شامل می‌شوند. در مورد چشمه-قنات همت‌آباد عناصر قلیایی خاکی غالب هستند و در مورد زون غالب آنیونی تقریباً اسیدهای قوی و اسیدهای ضعیف با هم برابر هستند.



شکل ۴-۳۶- نمودار پایپر نمونه آب‌های چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۴)

تیپ آب یا فرمول یونی آب بیانگر آنیون و رخساره بیانگر کاتیون غالب در آب است. جهت تعیین و مقایسه تیپ آب از نمودار استیف (Stiff) استفاده شده است. با توجه به شکل ۴-۳۷ در تمام نمونه‌ها تیپ آب بی‌کربناته است که با توجه به این که لیتولوژی غالب منطقه سنگ‌های کربناته است، این مطلب قابل توجیه می‌باشد. رخساره مربوط به تمام نمونه‌ها (به استثنای همت‌آباد و تجنود) از نوع کلسیم می‌باشد. در مورد نمونه‌های تجنود رخساره منیزیم و همت‌آباد دارای رخساره سدیک است.



شکل ۴-۳۷- نمودار استیف نمونه آب‌های چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۴)

۴-۳-۴- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم

مساحت و وضع هندسی آبخوان‌های کارستی و حوضه آبرگیر چشمه‌ها بسته به شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژی در زمان و مکان تغییر می‌کنند، بنابراین تعیین دقیق حوضه آبرگیر و مرزهای

هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها، از دشوارترین بخش‌های مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان-های کارستی می‌باشد. تعیین تقریبی حوضه آبرگیر چشمه‌ها با توجه به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی می‌تواند راهگشای بسیاری از مسایل مطرح در مدیریت منابع آب و تعیین حریم و حوضه آبرگیر چشمه‌ها است. در این بخش مساحت و مرزهای هیدروژئولوژیکی حوضه آبرگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم منطقه به صورت تقریبی با استفاده از روش‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی تعیین و ترسیم شده است در نهایت با توجه به مقدار بارش در منطقه، حجم تخلیه چشمه‌ها و ارزیابی بیلان در حوضه آبرگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد نظر، اصلاحات لازم 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 و Global Mapper و Arc GIS، محدوده‌ای که پتانسیل انتقال آب به چشمه مورد نظر را دارد تعیین شد.

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

$$Q_d = I.A.P \quad \text{معادله ۲-۴}$$

در معادله ۲-۴، Q_d حجم تخلیه سالانه، A مساحت حوضه آبرگیر، P متوسط بارندگی منطقه و I درصد تغذیه بارندگی است.

حجم تخلیه سالانه به کمک اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ 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 آبرگیر مختلف با استفاده از نمودار بارش-ارتفاع بدست 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 به ویژه توسعه عوارض کارستی مانند فروچاله‌ها 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 ۴۰ تا ۶۰ درصد تخمین زده شده که به طور میانگین ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. به کمک اطلاعات فوق مساحت حوضه آبرگیر مربوط به هر چشمه یا چشمه-قنات از معادله (۲-۴) محاسبه شده و در جدول (۴-۹) آمده است.

جدول ۴-۹- مساحت حوضه آبرگیر به کمک معادله بیلان

نام منبع آبی	حجم تخلیه سالانه (Mm ³ /year)	میانگین بارش (mm)	مساحت حوضه آبرگیر (km ²)
چشمه-قنات آبیز	۲/۲۲۵	۲۱۱	۲۱/۰۹
چشمه-قنات محمدآباد	۲/۰۵۳	۱۷۹	۲۲/۹۴
چشمه تجنود	۱/۶۷۳	۱۸۸	۱۷/۸۰
چشمه-قنات اردکول	۰/۹۴۰	۱۸۸	۱۰/۰۰
چشمه-قنات همت‌آباد	۰/۸۳۰	۱۴۶	۱۱/۳۷
چشمه-قنات اسفاد	۰/۵۱۹	۱۹۱	۵/۴۳
چشمه-قنات فندخت	۰/۳۸۹	۱۸۳	۴/۲۵

با توجه به نزدیکی مساحت‌های بدست آمده در دو روش فوق (جدول ۴-۱۰)، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های تعیین شده از دقت تقریبی خوبی برخوردار است. اختلاف بین مساحت‌های بدست آمده را می‌توان به تقریب زده شده در پارامترهای درصد نفوذ، میزان بارش و همچنین عدم اطلاع دقیق از میزان تخلیه در اثر بارش مربوط به سال بیلان و همچنین تقریب در مرزهای هیدروژئولوژیکی نسبت داد. تعیین دقیق‌تر حوضه آبرگیر نیازمند تعیین و توجه ویژه به پارامترهای فوق به ویژه تعیین و توزیع درصد نفوذ است. در نهایت به اصلاح حوضه‌های آبرگیر تعیین شده به روش هیدروژئولوژیکی-مورفولوژیکی پرداخته شده است.

جدول ۴-۱۰- مقایسه مساحت حوضه آبخیز، به روش بیلان با روش هیدروژئولوژیکی - مورفولوژیکی

نام منبع آبی	مساحت حوضه آبخیز* (km ²)	مساحت حوضه آبخیز** (km ²)
چشمه-قنات آبیز	۲۱/۰۹	۲۲/۷۹
چشمه-قنات محمدآباد	۲۲/۹۴	۲۰/۱۲
چشمه تجنود	۱۷/۸۰	۱۸/۳۴
چشمه-قنات اردکول	۱۰/۰۰	۱۰/۹۳
چشمه-قنات همت آباد	۱۱/۳۷	۱۲/۶۰
چشمه-قنات اسفاد	۵/۴۳	۵/۵۵
چشمه-قنات فندخت	۴/۲۵	۴/۷۴

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

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

شکل (۴-۳۸) حوضه‌های آبخیز اصلاح شده را نشان می‌دهد. به کمک این حوضه‌های ترسیم شده خصوصیات هندسی حوضه آبخیز تعیین شده است. خصوصیات هندسی حوضه آبخیز نشان دهنده وضع ظاهری حوضه است. از جمله این خصوصیات می‌توان مساحت، محیط، طول، عرض، شکل، ارتفاع و شیب حوضه را نام برد. خصوصیات هندسی حوضه آبخیز از جهت ارتباط با وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها دارای اهمیت هستند.

حوضه‌ها از نظر شکل بسیار متنوع هستند ولی می‌توانند در سه گروه حوضه‌های کشیده، پهن و بادبزی قرار داده شوند. برای مقایسه حوضه‌ها از نظر شکل از ضرایب خاصی استفاده شده است. نمایه شکل که نسبت طول به عرض حوضه است برای حوضه‌های مربع شکل برابر یک، برای حوضه‌های مستطیل شکل پهن کمتر از یک و برای حوضه‌های مستطیل شکل کشیده بیشتر از یک می‌باشد. ضریب فشردگی که به نام ضریب گراویلوس نیز نامیده می‌شود، نشان‌دهنده نزدیکی شکل حوضه به دایره می‌باشد و عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر مساحت حوضه می‌باشد (معادله ۴-۲)

معادله ۲-۴

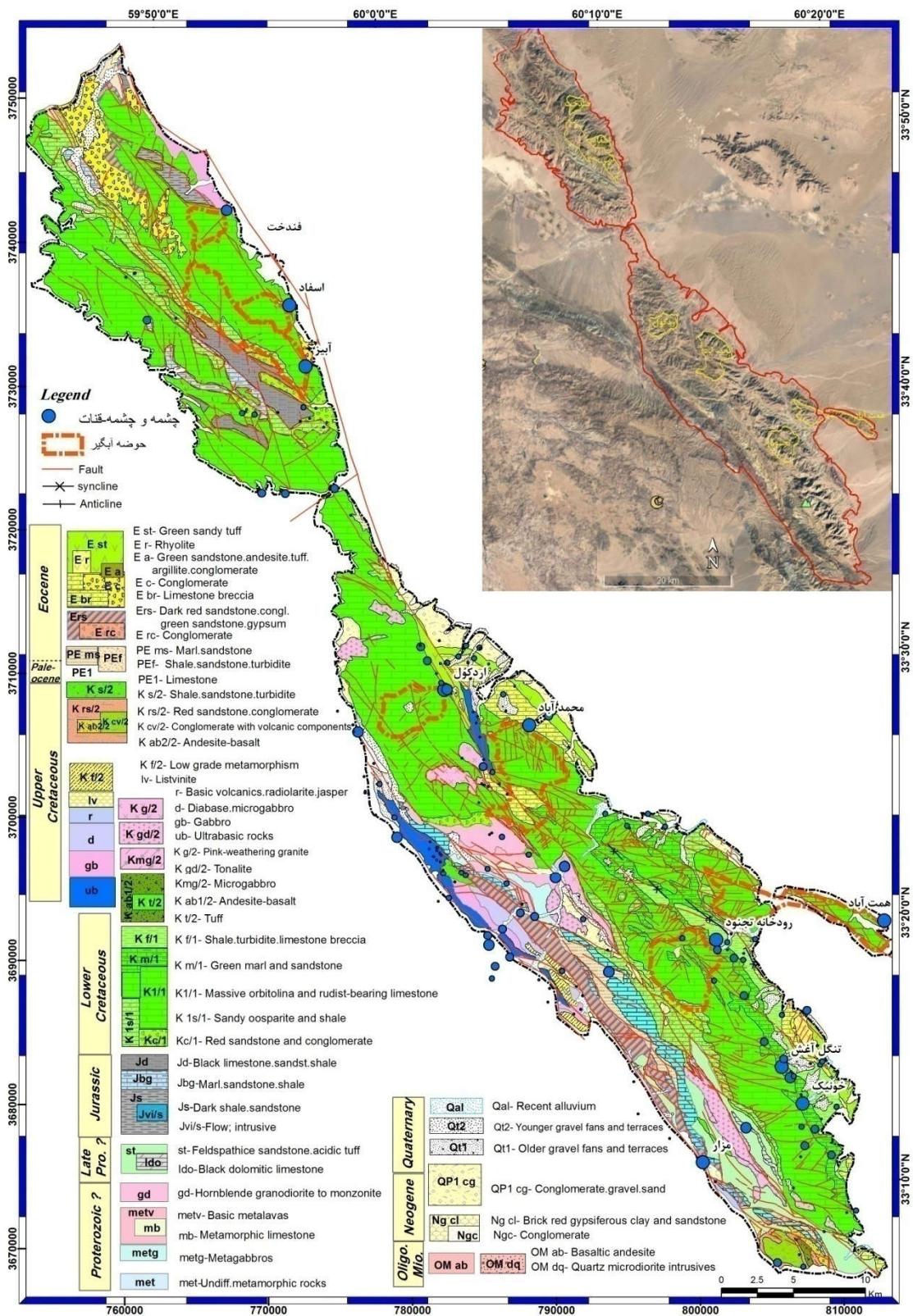
$$C = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

در معادله (۲-۴) P محیط حوضه و A مساحت حوضه می باشد. اگر حوضه دایره‌ای باشد ضریب فشردگی یک و هر چه انحراف از دایره بیشتر باشد ضریب بیشتر از یک می‌باشد. در جدول (۴-۱۱) پارامترهای ذکر شده مربوط به شکل حوضه محاسبه شده است.

ارتفاع حوضه (پستی و بلندی) در میزان و نوع بارندگی و همچنین موقعیت نسبت به سطح اساس فرسایش منطقه‌ای و ناحیه ای مؤثر است. متوسط، بیشینه و کمینه ارتفاع حوضه‌ها به کمک داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شده و در جدول (۴-۱۱) قرار گرفته است.

جدول ۴-۱۱- پارامترهای هندسی حوضه آبرگیر چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه

پارامترهای هندسی حوضه آبرگیر							منبع کارستی
ارتفاع کمینه (km)	ارتفاع بیشینه (km)	ارتفاع متوسط (km)	ضریب فشردگی	نمایه شکل	عرض (km)	طول (km)	
۱۲۰۰	۲۸۲۸	۲۱۸۲	۱/۸	۵/۴	۲	۱۰/۸	چشمه-قنات آبیز
۱۱۳۶	۲۱۶۶	۱۶۹۰	۱/۴	۱/۷۶	۴/۱	۷/۲۲	چشمه-قنات محمدآباد
۱۲۰۵	۲۴۴۰	۱۸۱۸	۱/۱	۱/۰۸	۴/۵۶	۴/۹۶	چشمه تجنود
۱۲۶۲	۲۱۵۸	۱۸۰۰	۱/۲	۱/۹۸	۲/۵۸	۵/۱۳	چشمه-قنات اردکول
۹۷۰	۱۶۴۶	۱۲۰۲	۱/۹	۵/۵۲	۱/۶۵	۹/۱۱	چشمه-قنات همت‌آباد
۱۲۵۰	۲۵۶۴	۱۸۶۸	۱/۲	۱/۸۲	۱/۹۳	۳/۵۲	چشمه-قنات اسفاد
۱۱۹۰	۲۵۸۳	۱۷۸۳	۱/۲	۱/۸۸	۱/۸۱	۳/۴۲	چشمه-قنات فندخت



شکل ۳۸-۴ حوضه آبریز چشمه ها و چشمه قنات های مورد مطالعه

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصله از کلیه مراحل تحقیق انجام شده در ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال‌شرق بیرجند به طور خلاصه ارائه خواهد گردید. همچنین سعی شده است تا پیشنهادهای مفیدی جهت مطالعات بیشتر و مدیریت آبخوان کارستی و چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های منطقه مورد مطالعه ارائه گردد.

۵-۲- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق شامل وضعیت هیدرواستراتیگرافی، وضعیت ژئومورفولوژی، پراکنش چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های کارستی، وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه-ها و چشمه-قنات‌های کارستی مورد مطالعه و تعیین حوضه آبرگیر این چشمه‌ها به صورت مختصر ارائه می‌گردد.

الف) بر اساس جنس سازند و فراوانی شکستگیها واحدهای هیدرواستراتیگرافی منطقه به سه دسته تراوا، نسبتاً تراوا و کم تراوا تقسیم بندی گردید. مساحت واحدهای تراوا، نیمه تراوا، کم تراوا به ترتیب ۴۶۱/۸۰، ۲۲۴/۵۴، ۳۰۰/۵۱ کیلومتر مربع است. قست اعظم واحدهای تراوا را آهک‌های توده‌ای کرتاسه پایینی تشکیل داده است که دارای ضخامت و گسترش قابل توجه است. همچنین گستردگی واحدهای تراوا و نیمه تراوا، شرایط مناسبی برای تغذیه بارش و تشکیل آبخوان کارستی به وجود آورده است.

ب) تعداد قابل توجه چشمه و چشمه-قنات با آبدهی کم احتمالاً مربوط به توسعه اندک کارست در منطقه است، از طرفی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های با آبدهی بیش از ۱۵ لیتر بر ثانیه مهم‌ترین گروه چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها می‌باشد. این گروه ۷ درصد فراوانی را تشکیل داده و شامل ۱۱ دهنه چشمه و چشمه-قنات است که در مجموع ۵۶ درصد از مجموع تخلیه چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها را تشکیل داده است. آبدهی قابل توجه نسبت به سایر گروه‌ها نشان دهنده دارا بودن سیستم زهکشی گسترده در این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها است.

ج) درصد ضریب تغییرات آبدهی برای چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه با توجه به اندازه-گیری‌های صورت گرفته در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ کم‌تر از ده درصد است (جدول ۵-۱)، بر این اساس با توجه به تقسیم‌بندی جاکبسن و لانگمویر (Jacobsen and Langmuire 1974) و کرمی (۱۳۸۵) در رژیم جریان افشان کارستی جای می‌گیرد.

جدول ۵-۱- درصد ضریب تغییرات آبدهی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (۱۳۹۳-۱۳۹۴)

نام منبع آبی (چشمه، چشمه-قنات)							آبدهی
فندخت	اسفاد	همت آباد	اردکول	تجنود	محمد آباد	آبیز	
۱۲/۵	۱۶/۵	۲۶	۲۹	۵۳	۶۴	۷۰	میانگین (لیتر بر ثانیه)
۱۲	۱۵/۵	۲۵	۲۷	۵۰	۶۰	۶۸	کمینه (لیتر بر ثانیه)
۱۳	۱۷/۵	۲۷	۳۳	۵۸	۷۱	۷۴/۵	بیشینه (لیتر بر ثانیه)
۳	۴	۲/۵	۷	۵	۵	۳	ضریب تغییرات (درصد)

د) با توجه به آبنمود چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه می‌توان این چنین اظهار نظر نمود که تغییرات اندکی در آبدهی رخ داده و افزایش و کاهش آبدهی به صورت تدریجی بوده است. همچنین آبدهی چشمه با بارش در ارتباط است ولی واکنش سریع و قابل ملاحظه نشان نمی‌دهد. به علاوه زمان تأخیر طولانی بین بارش‌های زمستانی و افزایش آبدهی و بیشینه دبی وجود دارد. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که واکنش آبدهی به بارش اندک و آرام است و احتمالاً به علت عدم توسعه مجاری و شکستگی‌های بزرگ، ویژگی‌های حوضه، بارش اندک با فاصله زمانی مختلف می‌باشد.

ر) کاهش آبدهی در چشمه-قنات محمدآباد و چشمه-قنات اردکول به طور محسوس در ابتدا با سرعت بیشتری رخ می‌دهد که احتمالاً به دلیل توسعه اندک در شکستگی‌ها و مجاری با توسعه یافتگی اندک و پارامترهای هندسی حوضه آبرگیر آن‌ها است.

ز) منحنی فرود ترسیم شده برای تمامی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه دارای شیب اندک است و ضریب تخلیه بدست آمده نشان‌دهنده سیستم جریان افشان در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها است. منحنی فرود در چشمه-قنات محمدآباد و چشمه-قنات اردکول دارای دو شیب

است که هر دو ضریب تخلیه در محدوده رژیم افشان جای می‌گیرد. رژیم تخلیه اول احتمالاً به دلیل نقش شکستگی‌ها و مجراهای با توسعه یافتگی اندک در حوضه آبرگیر چشمه-قنات‌های نام برده شده است.

جدول ۵-۲- ضریب فرود چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۳)

نام منبع آبی (چشمه، چشمه-قنات)							ضریب فرود
فندخت	اسفاد	همت آباد	اردکول	تجنود	محمد آباد	آبیز	
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۵	α_1
-	-	-	۰/۰۰۰۶	-	۰/۰۰۰۴	-	α_2

ن) در تمامی چشمه‌ها با افزایش آبدهی، میزان هدایت الکتریکی آب کاهش یافته که نشان‌دهنده مشارکت آب بارش در آبدهی چشمه می‌باشد. تغییرات هدایت الکتریکی همانند آبدهی تدریجی و اندک است، همچنین درصد ضریب تغییرات هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه نیز کمتر از ۵ درصد است که نشانگر حاکم بودن رژیم جریان افشان در این چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها است.

و) نتایج اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های تهیه شده از چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ نشان دهنده مقدار اندک کل مواد جامد محلول در نمونه‌ها است همچنین سختی کل محاسبه شده برای این نمونه‌ها در رده آب‌های سخت و نسبتاً سخت جای می‌گیرد که شاخصه آب‌های مناطق کارستی است و از کیفیت مطلوب برخوردار است. نسبت کلسیم به منیزیم بین ۰/۷ تا ۲/۱ متغیر است که نشانگر انحلال دولومیت در حوضه آبرگیر چشمه‌ها می‌باشد.

ه) نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های تهیه شده از چشمه و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد تمامی نمونه‌ها (به استثنای چشمه-قنات همت‌آباد) اسیدهای ضعیف (کربنات و بی‌کربنات) و عناصر قلیایی خاکی (کلسیم و منیزیم) به ترتیب زون‌های

آنیونی و کاتیونی غالب را شامل می‌شوند. در مورد چشمه-قنات همت‌آباد عناصر قلیایی خاکی غالب هستند و در مورد زون غالب آنیونی تقریباً اسیدهای قوی و اسیدهای ضعیف با هم برابر هستند. (ی) حوضه‌های آبگیر چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مهم منطقه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ به روش مورفولوژیکی-هیدروژئولوژیکی و همچنین روش بیان تعیین گردید. با توجه به حوضه‌های تعیین شده درصد تغذیه بین ۴۰ تا ۶۰ درصد تخمین زده می‌شود.

۵-۳- پیشنهادها

با توجه به گستردگی منطقه و همچنین کلی بودن تحقیق حاضر، جهت شناسایی دقیق‌تر آبخوان کارستی مورد مطالعه و همچنین مدیریت آبخوان مورد نظر پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

الف) جهت شناخت بیشتر سیستم کارستی به کمک خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی چشمه‌ها و چشمه-قنات‌ها نیازمند بستر سازی و نصب سرریز مناسب جهت پایش تغییرات آبدهی به صورت منظم و در بازه زمانی هفتگی و روزانه است. همچنین نمونه‌برداری منظم و پیوسته از میزان تغییرات آنیونی و کاتیونی آب چشمه‌ها پیشنهاد می‌گردد.

ب) با توجه به وسعت منطقه آهکی و ارزیابی‌های صورت گرفته شده در درصد تغذیه و میزان بارش پیشنهاد می‌شود که با تکمیل و تصحیح بانک اطلاعاتی موجود به تعیین دقیق بیان منطقه و برآورد حجم تغذیه و حجم تخلیه از چشمه‌ها و سایر منابع آبی پرداخته شود. زیرا که برآورد صورت گرفته از درصد تغذیه این منطقه حاکی از حجم قابل توجهی از آب‌های با کیفیت مطلوب و بسیار مطلوب جهت بهره‌برداری مصارف شرب و کشاورزی است.

ج) با توجه به آبدهی بالا و کیفیت مطلوب در چشمه‌ها و چشمه-قنات‌های مورد مطالعه، جهت حفظ و جلوگیری از هدر رفتن این منابع حیاتی، احداث تأسیسات لازم جهت اصلاح نوع مصرف، نوع آبیاری و نوع کشت پیشنهاد می‌شود.

منابع

- چیت‌سازان م، کریمی‌وردنجانی ح، کریمی ح، محمدی ض، (۱۳۹۲) " بررسی میزان توسعه کارست در مناطق بیابانی شرق ایران با استفاده از ایزوتوپ پایدار " نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ پایدار، مشهد.
- رهنمای، م. افراسیابان، ا. (۱۳۷۹) زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی کارست در غار علیصدر همدان، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز.
- سامانی ن. زارعی ن، (۱۳۸۵) "مقایسه خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های گر-برم فیروز و ساسان با استفاده از منحنی‌های فروکش هیدروگراف چشمه‌های کارستی ششپیرو ساسان" دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، (۱۳۸۵)، "گزارش زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروشیمی مطالعات مرحله شناسایی منابع آب زیرزمینی سازندهای سخت آهکی جنوب و جنوب غرب شاهرخت و منطقه خوسف"، ص ۱۰۹.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، (۱۳۹۰)، "گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت منطقه مطالعاتی شاهرخت"، ص ۱۵۲.
- شگری م، (۱۳۹۰) "بررسی توسعه کارست در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژیکی GIS و RS" پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ص ۱۶۵.
- 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 پنجم، ۸۷۲ صفحه
- کرمی غ، (۱۳۸۵) "انتخاب روش مناسب برای تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ در آبخوان‌های کارستی" نشریه علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۹، ص ۵۵-۵۰.

- کرمی غ، (۱۳۸۸) "نقش چین‌شناسی در توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه علی دامغان"، پژوهش‌های چین‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و پنجم، شماره ۳۶، ص ۳۹-۵۲.
- کریمی وردجانی ح، (۱۳۸۹) "هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)" انتشارات ارم شیراز، ص ۳۳۹.
- موسوی حرمی س. ر، ۱۳۸۵، "سنگ‌شناسی رسوبی. جهاد دانشگاهی مشهد"، صفحه ۴۹۳
- میرعلایی م، (۱۳۹۰) "بررسی ویژگی‌های پتروگرافی و تأثیر فرآیندهای کارستی بر منابع آب موجود در سنگ‌های کربناته منطقه آهنگران، شرق ایران" پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب-شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، ص ۱۴۵.
- ناصری ح. ر. علیجانی ف. و میرزایی س. ح، (۱۳۸۷) "توموگرافی ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری (جنوب شرق مسجد سلیمان)" مجله علوم دانشگاه شهید چمران، شماره ۱۹، قسمت ب، ص ۱۱۰-۱۰۰.
- نوری م، (۱۳۸۹) "بررسی توسعه کارست در جنوب شرق تاقدیس کبیرکوه ایلام" پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ص ۹۴.
- Akrami M. A., (2004), "Abiz quadrangle map 1:100000", Geological survey of iran.
- Appelo, C. A. J. and Postma D., (2005), "Geochemistry, groundwater and pollution". Leiden: Balkmea, 649 p.
- Aryamanesh M. Zare M. and Timothy M.K., (2009), "The effect of active tectonics on aquifer creation, A case study :Isfahak district, Eastern Iran" Word Applied Journal 6(11):p 1441-1446.
- Ashjari, J. and Raeisi, E. (2006) "Lithological control on water chemistry in karst aquifers of the Zagros Range, Iran", Cave and Karst Science 33, p.111-118.

- Berthiaux A. Christmann P. Boudee de Gramont X. Guillou Y. Maurizot P. Vaslet D. Villeon D., (1982), "Shahrakht quadrangle map 1:250000", Geological survey of Iran.
- Bloom A.L. (1991), "Geomorphology, A systematic analysis of Late Cenozoic landforms, Prentice Hall", New Jersey, p 522.
- Bonacci O., (1990) "Specific hydrological characteristics of the karst system" Proc. of the 3rd Int. Iranian congress of civil Eng., V. 2, p.175-196.
- Bonacci O., (1993) "Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers" Hydrogeological Sciences-journal, 38,1,2, p 51-62.
- Cooke, M.L. Simo, J.A. Underwood, C.A. Rijken, P. (2006) "Mechanical stratigraphic controls on fracture patterns within carbonates and implications for groundwater flow", Sedimentary Geology, Vol 184, pp 225-239.
- Darnault C.J.G. (2008), "Karst Aquifer: Hydrogeology and Exploitation", Chapter 10, Springer Science Business Media B.V.
- Dreybrod W. and Gabrovsek F., (2010) "A model of karstification in extended limestone plains by mixing corrosion" p 457-462.
- Florea L. J and Vacher H. L., (2011). "Communication and structures at the geological intersection of cave and subsurface water flow, Hermeneutics and Parochialism, Geology Faculty Publications". Earth Science History, V. 30, NO.1, p. 85-105.
- Ford D.C. and Williams P.W., (2007) "Karst hydrogeology and geomorphology". Chichester. John Wiley; Second edition, p 553.
- Ford D.C. and Williams P.W., (1989) "Karst geomorphology and hydrology" London: Chapman and Hall, 601 p.
- Ford D.C., (2003) "Perspective in karst hydrogeology and cavern genesis, Speleogenesis and Evaluation of karst Aquifers" The Virtual Scientific Journal, 1(1), p 1-12.

- Goldsheider N. and Drew D., (2007) “Methods in karst hydrogeology” International Association of Hydrogeology”, p 264.
- Grasso, D.A., Jeannin, D. Y., Zwahlen, F. (2003) “A deterministic Approach to the coupled analysis of karst springs hydrographs and chemographs”. Journal of Hydrology, 271:65-76.
- Gregory, A. , Shofer.H., Hugh H., Mills.H., Janson, E.D. (2001) “A simple map index of karstification and its Relationship to sinkhole and cave distribution in Tennessee”, Journal of karst and Cave Studies 63(2):67-75.
- Gudmundsson, A. (2000) “Active fault zones and groundwater flow”, Geophysical Research Letter. Vol 27, pp.2993-2996.
- Guillou Y. Maurizot P. Vaslet D. Villeon D., (1981), “Ahangan quadrangle map 1:100000”, Geological survey of iran.
- Hounslow A., (1995), “Water quality data: analysis and interpretation”, CRC press, p 360.
- Huber H., (1977), “Explanatory text of the iran geological map 1:10000000”, NIOC, Tehran, p120.
- 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.
- Karami G.H., (2002) “Assessment of heterogeneity and flow system in karstic aquifers using pumping test data” Ph.D.Thesis, School of Civil Engineering and Geosciences University of Newcastle Upon Tyne, p 180.
- Kastning E. H., (1977) “Faults as positive and negative influence on groundwater flow and conduit enlargement, In Dilamarter” R.R., Csallany, S.C.(eds). Hydrologic problems in karst regions, Bowling Green,Ky,W.Ky.Univ, p 482.

- Kovacs A. Perrochet P. Kiraly L. and Jeannin P.Y., (2005) “A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis” *Journal of Hydrology*, V. 303, p 152–164.
- Kovacs A. Perrochet P. Kiraly L. and Jeannin P.Y., (2005). “A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis”: *Journal of Hydrology*, V. 303, p. 152–164.
- Lamban L.J. Joder J. Custodio E. Soler A. Sapriza G and Soto R., (2015), “Isotopic and hydrogeochemical characterization of high-altitude karst aquifers in complex geological settings”. The Ordesa and Monte Perdido National Park (Northern Spain) case study, *Science of the Total Environment* 506 -507 , p.466-479.
- Lopez – Chicaco M. Boumama M. Vallejos A and Pulido-Bosch A., (2001) “Factors which determine the hydrogeochemical behavior of karstic springs”. A case study from the Betic Cordilleras, Spain, *Applied Geochemistry*, 16, p.1179-1192.
- Malik P., (2007) “Assessment of regional karstification degree and groundwater sensitivity to pollution using hydrograph analysis in the Velka Fatra Mountains,Slovakia” *Environ Geol* 51, p 707-711.
- Mangin A., (1975) “Contribution a letude hydrodynamique des aquifers karstiques” Univ, Dijon These Doct, es, Sci, [*Annaleset Speleologie*, 29(3), 283-332; 29(4), 495-601, 1974; 30(1), 21-124.
- Maurizot P. (1980), “Explanatory text of the Shahrakht quadrangle map 1:250000”, Fauvele E., Eftekhar Nejad J., *Geological survy of iran, Iran*, p. 111.
- Mayer, J.R. and Sharp,J.M. (1998) “Fracture control of regional ground water flow in a carbonate aquifer in a semi-aried region”, *Geol.Soc.Am.Bull.*Vol.110, PP.269-283.
- Milanovic P., (1981) “Karst Hydrogeology” *Water Resources Pubns*, p 434.

- Raeisi E. and Karami G., (1996) “The governing factors of the physicochemical characteristics of sheshpeer karst springs, Iran. Carbonates and Evaporates” V. 11, No. 2: p. 162-169.
- Raeisi E. and Karami G., (1997) “Hydrochemographs of Berghan Karst Spring as Indicators of Aquifer Characteristics”, Journal of Cave and Karst studies, Vol 59, p. 112-118.
- Raeisi E., (2002) “Carbonate karst caves in Iran, In: Kranjc A (ed) Evolution of karst: from prekarst to cessation” Ljubljana-Postojna, p. 339-344.
- Shaban A. Khawlie M. Abdallah C., (2006), “Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon”, Hydrogeology Journal, Vol. 14, p. 433-443.
- Shuster E.T. and White W.B., (1971), “Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing aquifers” Journal of Hydrology, v.14, p.93-128.
- Singhal B.B. and Gupta R. P., (2010), “Applied Hydrogeology of fractured Rocks” Second edition, Springer Science, p 459.
- Stocklin J. 1968, “Structural history and tectonic of iran” A review: A.A.P.G., Vol. 52, p 1229-1258.
- Tirrul R. Bell I.R. Griffis R.J. and Camp V.E., (1983), “The Sistan suture zone of eastern Iran”, Bull. Geol. Soc. Am., v. 94, p. 134- 150.
- Todd D.K. and Mays L.W. (2005). Groundwater Hydrology, John Wiley and sons, New York, p 584.
- White W.B. and White E.I., (2005), “Groundwater flux distribution between matrix, fracture and conduits: constraints on modeling, Speleogenesis and Evolution of karst Aquifer” 3(2), p 1-6.
- White W.B., (2002), “Karst hydrology: recent developments and open questions, Engineering Geology 65, p 85-105.

- White W.D., (1988), “Geomorphology and hydrology of karst Terrainns” Oxford University Press, Oxford, p 464.
- Williams P.W., (1983), “The role of subcutaneous zone in karst hydrology” J.Hydrol, p.45-67.

Abstract

The basic objective of this study is evaluating the development of karst and assessing quantitative and qualitative of water resources in Ahangaran limestone mountains. The study area is located in Zirkouh county at 150 kilometers distance northeast of Birjand in South-Khorasan Province. According to the geological division, the area is located in northeast border of East Iranian Flyshes Basin and is a part of the Afghan Block. As the result of faults and folds with northwest- southeast trend was uplifted and introduced Uplift Ahangaran Block. Lower Cretaceous and Paleocene limestone rocks are major rock units with an approximate area of 500 square kilometers which are important because of formation of karst aquifers. According to the geomorphological survey, The karst features including karrens, solutional cavities, dry valleys and a few caves in the study area were distinguished, but the more important karst features such as sinkholes, closed depressions and poljes were not observed, which indicate relatively low degree of karst development. The large number of seasonal springs with low discharge prove the low degree of karst development in the region. Study of important springs and spring-qanats including Abiz, Mohammadabad, Tejnood, Ardekul, Hemmatabad, Esfad, Fandokht in 1393-1394 showed that the dominant diffuse flow system, because their discharge coefficient variation are less than 10% and coefficient variation values of electrical conductivity are less than 5%. The discharge coefficients in these springs fall in range of 10^{-3} and 10^{-4} . The concentrations of main anions and cations indicate water types of bicarbonate-calcium, magnesium. Based on hydrogeology conditions, geological and morphological setting, catchment of important springs and spring-qanats identified and percentage of recharge evaluated between 40 to 60 percent which is the relatively high percentage of recharge in the region.

Keywords: karst, hydrogeology, hydrogeochemistry, diffuse flow system, Ahangaran



Faculty of Earth Sciences
Geology- Hydrogeology
M. Sc. Thesis

Evaluating the Karst development in Limestone mountains of Ahangaran
area, Northeast of Birjand

Saeed Azani

Supervisor:
Dr. Gholam Hossein Karami

Advisor:
M Sc. Hasan Zia

July 2016