



دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی توسعه کارست در جنوب شرق تاقدیس

کبیرکوه، ایلام

نگارنده:

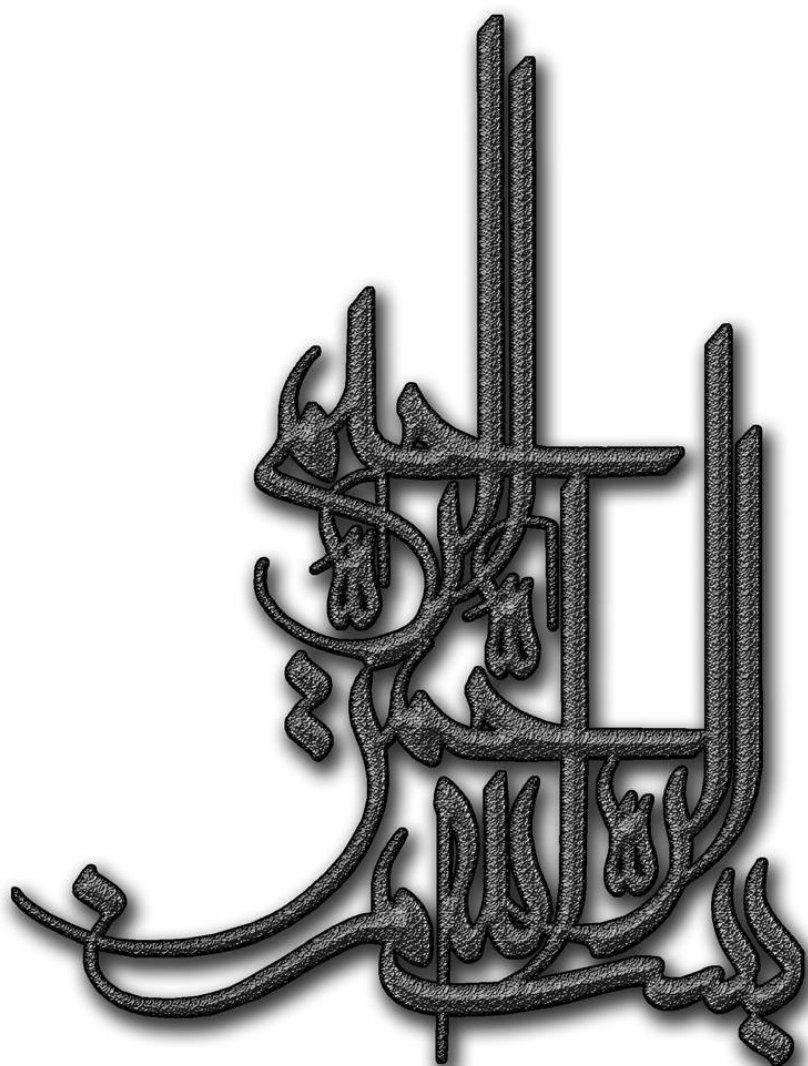
محمود نوری

اساتید راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر حاجی کریمی

بهمن ۱۳۸۹



تقدیم به

پدر و مادر م

آنان که تجلی آرزوهایشان را در موفقیت فرزندانشان می بینند

و

فرشته خوی پاک سیرت

همسر مهربانم

هر آنکه خلق را پاس نکرد بی شک رب یگانه را شکر به جای نیاورده است

خالق یگانه را پاسگذارم که مریاری نمود تا تحقیق حاضر را به سرانجام برسانم. بی شک حیات حق تعالی بود که مردوستان را به سوی بنده حقیر معطوف داشت. بنابراین به رسم من لم یسکر المخلوق، لم یسکر الخالق؛ بر خود بایسته دانسته تا از مهربانی های یاری دهندگان در انجام این پژوهش، تقدیر و شکر شایسته را صمیمانه ابراز دارم. بنابراین، در ابتدا از اساتید محترم آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر حاجی کریمی که بعنوان اساتید راهنمای این پایان نامه با پیشنهادات سازنده در ارائه هر چه بهتر این تحقیق نقش داشته اند، شکر می نمایم. همچنین از اساتید محترم آقایان دکتر کاظمی و دکتر فتاحی که زحمات داور این پایان نامه را بر عهده گرفته اند کمال شکر و قدردانی را دارم. از پرسنل سازمان آب منطقه ای ایلام بخصوص آقایان بانسپوری، جالوندی، علیمردی و همچنین از زحمات بی شائبه مسئولین آزمایشگاه هیدروشنی سازمان آب منطقه ای ایلام کمال شکر و قدردانی بعمل می آید.

از هم اتاقی هایم آقایان چکنی، قفقازی، حاجی لو، اکبری و سرسبیلی، همچنین از هم کلاسی هایم آقایان سلیم، غزنوی و بساکی پاسگذاری می کنم. از دوست بسیار خوبم آقای احمد بسک آبادی نیز شکر می کنم.

از کلیه دوستان و یارانی که به نحوی در انجام این پایان نامه مریاری کرده اند و ذکر نام یگانه آنها در این مختصر نمی گنجد، شکر می کنم. از همسر مهربانم که همواره مشوق و یاور من در طول مباحثات این تحقیق بوده کمال پاسگذاری را دارم. همچنین از پدر و مادرم شکر و قدردانی می کنم، هر چند جبران یک قطره از دریای لایزال عطاقت الهی که در سینه والدین نهاده شده است ناممکن می نماید.

در پایان از بھکاری صمیمانه برادرانم که در کارهای صحرایی سختی های زیادی را تحمل کرده اند، همچنین از خواهر گرامیم که همواره مراد امر تحصیل تشویق کرده اند شکر می کنم.

چکیده

کبیرکوه یک تاقدیس از دو سو مایل و بسیار طولانی است که در استان ایلام واقع شده و از جنوب شرقی شهر ایلام تا نزدیک اندیمشک در استان خوزستان امتداد یافته است. این تاقدیس مانند سایر تاقدیس‌های رشته کوه زاگرس امتدادی شمال غربی - جنوب شرقی دارد. این تاقدیس طول این کوه حدود ۱۶۰ کیلومتر است و متعلق به زاگرس چین خورده می‌باشد. واحدهایی که در این کوه رخنمون دارند از قدیم به جدید شامل سازندهای گرو، سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، پابده، آسماری و گچساران می‌باشند. محدوده مطالعاتی این تحقیق در جنوب شرقی این تاقدیس قرار گرفته است. به منظور تعیین نوع آبخوان کارستی، چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو به مدت یک سال آبی (مهرماه ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹) مطالعه گردیده است. حوضه آبگیر چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر در سازندهای ایلام - سروک و حوضه آبگیر چشمه سیاه‌گاو در سازندهای سروک، پابده - گورپی، آسماری و گچساران واقع شده است. در این مطالعه دبی (به صورت ماهانه)، هدایت الکتریکی، درجه حرارت و اسیدیت آب چشمه‌ها در محل نمونه‌برداری و آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آزمایشگاه هیدروشنیمی شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام (هر ۴۵ روز یکبار) اندازه‌گیری شده است. پس از دریافت نتایج آزمایشگاه، پارامترهای آماری مانند شاخص‌های اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، ژیپس (SI_g)، هالیت (SI_h) و انیدریت (SI_{an}) (با استفاده از نرم افزار PHREEQC) و همچنین درصد خطای آزمایش، کل مواد جامد محلول، سختی کل، ضریب تغییرات و برخی از نسبت‌های یونی محاسبه شده است. در نهایت با عنایت به تغییرات زمانی خصوصیات کمی و کیفی چشمه‌ها، توسعه کارست در منطقه بررسی شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، سیستم غالب جریان در منطقه مورد مطالعه از نوع افشان می‌باشد.

کلمات کلیدی: کبیرکوه، چشمه کارستی، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، سیستم افشان

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

نوری م.، کرمی غ. و کریمی ح. (۱۳۸۹) "نقش سازند گچساران در تخریب کیفیت آب سراب

سیاه‌گاو"، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق تهران

نوری م.، کریمی ح. و کرمی غ. (۱۳۸۹) " بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و

هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی آبدانان، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت

آب و برق تهران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- بیان مسئله	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه	۲
۱-۳-۱- زاگرس چین خورده یا زاگرس خارجی	۲
۲-۳-۱- چینه شناسی منطقه مورد مطالعه	۴
۴-۱- زمین ساخت منطقه	۷
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه	۸
۶-۱- هیدرولوژی منطقه	۱۱
۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه	۱۳
الف) سراب آبدانان (رودخانه دویرج)	۱۴
ب) سراب سیاه گاو (دریاچه های دوگانه سیاه گاو)	۱۴
ج) سراب دره شهر	۱۴
۸-۱- آب و هوای منطقه	۱۵

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۱-۲- کارست و تعاریف آن	۱۹
۲-۲- فرایند کارستی شدن	۲۱
۳-۲- انواع سیستم های ورود آب به کارست	۲۲

۲۳	۴-۲ عوامل کنترل کننده توسعه سفره‌های کارستی
۲۵	۵-۲ ناهمگنی و ناهم‌سویی در سفره‌های کارستی
۲۶	۶-۲ چشمه‌های کارستی
۳۱	۷-۲ اثر لیتولوژی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی
۳۱	۸-۲ ارتباط هیدروژئوشیمی با توسعه کارست
۳۶	الف) بررسی تغییرات دمای آب
۳۷	ب) بررسی تغییرات هدایت الکتریکی آب
۳۹	پ) نسبت Ca/Mg
۳۹	۹-۲ حوضه آبریز چشمه‌های کارستی
۴۰	۱۰-۲ آبنمود و منحنی فرود چشمه‌های کارستی

فصل سوم: روش انجام کار

۴۲	۱-۳ مقدمه
۴۳	۲-۳ تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه
۴۳	۳-۳ اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها
۴۳	۱-۳-۳ نمونه برداری
۴۴	۲-۳-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری
۴۷	۳-۳-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌های فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها و بررسی توسعه کارست

۴۹	۱-۴ مقدمه
----	-----------------

۴۹	۲-۴- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده.....
۵۰	۱-۲-۴- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل اندازه‌گیری.....
۵۰	۱-۱-۲-۴- تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها.....
۵۹	۱- شواهد مربوط به نمودار آبنمود و منحنی فرود چشمه سیاه‌گاو.....
۶۰	۲- شواهد هیدروژئولوژیکی.....
۶۰	۳- شواهد کیفی آب.....
۶۱	۴- شواهد صحرایی.....
۶۲	۲-۱-۲-۴- تغییرات زمانی دما و اسیدیت چشمه‌ها.....
۶۷	۳-۱-۲-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی.....
۶۷	۲-۲-۴- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....
۶۸	تغییرات زمانی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی.....
۶۹	۳-۲-۴- بررسی مقادیر پارامترهای محاسبه شده.....
۶۹	الف) کل مواد جامد محلول در آب (TDS).....
۷۶	ب) محاسبه اندیس‌های اشباع و تغییرات زمانی آنها.....
۷۷	پ) نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg).....
۷۹	ت) تغییرات زمانی سختی کل.....

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۸۲	۱-۵- مقدمه.....
۸۲	۲-۵- تعیین حوضه آبریز چشمه‌ها.....
۸۳	۳-۵- تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه.....

۵-۴- پیشنهادات ۸۶

منابع ۸۸

فهرست تصاویر

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه.....	۳
شکل ۲-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه.....	۶
شکل ۳-۱- نمایش زمین لغزش تاریخی سیمره بر روی مدل رقومی- ارتفاعی منطقه که	
تصویر TM لندست بر روی آن کشیده شده است.....	۹
شکل ۴-۱- تصویری از تالاب‌های یازده‌گانه دره‌شهر.....	۹
شکل ۵-۱- تنگه بهرام چوبین در دره‌شهر.....	۱۲
شکل ۶-۱- نمایی از چشمه کارستی آبدانان.....	۱۵
شکل ۷-۱- نمایی از دریاچه‌های دوگانه سیاه‌گاو.....	۱۵
شکل ۸-۱- نمایی از چشمه کارستی دره‌شهر.....	۱۶
شکل ۱-۲- انواع سیستم‌های ورودی آب به کارست.....	۲۴
شکل ۲-۲- جریان مجرای در سیستم سفره کارستی.....	۲۶
شکل ۳-۲- شبکه جریان افشان در سیستم سفره کارستی.....	۲۶
شکل ۴-۲- محاسبه ذخیره دینامیک سفره.....	۴۰
شکل ۵-۲- منحنی فرود چشمه.....	۴۱
شکل ۱-۳- اندازه‌گیری بده در سراب آبدانان.....	۴۵
شکل ۲-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، اسیدیت و دما.....	۴۶
شکل ۱-۴- نمودار آبنمود چشمه آبدانان و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹.....	۵۲

- شکل ۴-۲- منحنی فرود چشمه آبدانان از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹..... ۵۲
- شکل ۴-۳- حوضه آبرگیر چشمه‌های آبدانان، سیاه‌گاو و دره‌شهر..... ۵۴
- شکل ۴-۴- نمودار آبنمود چشمه دره‌شهر و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹..... ۵۶
- شکل ۴-۵- منحنی فرود چشمه دره‌شهر از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹..... ۵۶
- شکل ۴-۶- نمودار آبنمود چشمه سیاه‌گاو و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹..... ۵۷
- شکل ۴-۷- منحنی فرود چشمه سیاه‌گاو از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹..... ۵۷
- شکل ۴-۸- موقعیت حدودی چشمه سیاه‌گاو در منطقه بر روی عکس ماهواره‌ای..... ۶۱
- شکل ۴-۹- تغییرات زمانی دما در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو..... ۶۵
- شکل ۴-۱۰- تغییرات زمانی اسیدیته (pH) در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو..... ۶۵
- شکل ۴-۱۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه آبدانان در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸..... ۶۶
- شکل ۴-۱۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه دره‌شهر در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸..... ۶۶
- شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸..... ۶۶
- شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی آبدانان..... ۷۱
- شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی دره‌شهر..... ۷۲
- شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی سیاه‌گاو..... ۷۳
- شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات زمانی کل مواد جامد محلول (آزمایشگاهی) در چشمه‌ها..... ۷۵
- شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات زمانی کل مواد جامد محلول (محاسباتی) در چشمه‌ها..... ۷۵
- شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات زمانی سختی کل در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو..... ۸۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- متوسط آبدهی سالانه در سال‌های آبی ۱۳۷۱- ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵-۱۳۷۴.....	۱۳
جدول ۱-۳- طبقه بندی دمارتن	۱۷
جدول ۱-۴- میانگین درجه حرارت (۱۳۸۲- ۱۳۸۹) در ایستگاه‌های آبدانان و دره‌شهر.....	۱۸
جدول ۱-۵- متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو.....	۱۸
جدول ۲-۱- آبدهی برخی از چشمه‌های کارستی مهم جهان.....	۲۹
جدول ۲-۲- تقسیم بندی چشمه‌های کارستی.....	۳۴
جدول ۲-۳- ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌های کارستی.....	۳۵
جدول ۲-۴- ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌های کارستی.....	۳۵
جدول ۴-۱- تغییرات مقادیر بارندگی و دبی در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو.....	۵۸
جدول ۴-۲- تغییرات زمانی EC، pH و دما در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو.....	۶۴
جدول ۴-۳- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه کارستی آبدانان.....	۶۹
جدول ۴-۵- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه کارستی سیاه‌گاو.....	۷۰
جدول ۴-۶- تغییرات زمانی سختی کل، کل مواد جامد محلول و نسبت Ca/Mg در چشمه‌ها.....	۷۴
جدول ۴-۷- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه آبدانان در سال آبی ۱۳۸۹- ۱۳۸۸.....	۷۸
جدول ۴-۸- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه دره‌شهر در سال آبی ۱۳۸۹- ۱۳۸۸.....	۷۸
جدول ۴-۹- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۹- ۱۳۸۸.....	۷۹
جدول ۴-۱۰- طبقه‌بندی آب‌ها بر ساس سختی کل	۸۰

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

آبخوان‌های کارستی که عمدتاً متشکل از سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) هستند، بخش مهمی از سفره‌های آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. این قبیل سفره‌ها آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را فراهم می‌کنند (Ford and Williams 1989). به دلیل کمبود منابع آب در سطح جهان، مطالعات فراوانی بر روی این منابع انجام شده که نشان دهنده‌ی اهمیت این آبخوان‌ها است. مطالعات انجام شده توانایی سازنده‌های سخت از جمله سازنده‌های آهکی را برای تشکیل آبخوان‌های بالارزش نشان می‌دهد (Peterson 1993, Federico et al. 2002). همچنین بهره‌برداری از چشمه‌های کارستی در مقایسه با استحصال آب از طریق حفر چاه به مراتب آسانتر و کم هزینه‌تر است. قرار گرفتن استان ایلام در قسمتی از زاگرس و به تبع آن وجود چشمه‌های کارستی فراوان باعث شده است تا شناسایی و استفاده از منابع آب کارستی در این منطقه در اولویت قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه تاقدیس کبیرکوه در رشته‌کوه زاگرس است که در جنوب شرقی استان ایلام واقع شده است. این منطقه کوهستانی یک منطقه کارستی است و چشمه‌های متعددی از آن سرچشمه می‌گیرند. از جمله این چشمه‌ها می‌توان به چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر، سیاه‌گاو، گل‌گل، میمه، مورد، کلم، مازین و سیکان اشاره کرد (علیمرادی ۱۳۸۰). علیرغم اهمیت زیاد این منطقه کارستی، تاکنون هیچ‌گونه مطالعه جامعی در باره آن و کمیت و کیفیت منابع آب آن انجام نشده است. بنابراین هدف از

انجام این تحقیق بررسی خصوصیات کمی و کیفی منابع آب در این منطقه و بررسی توسعه کارست در منطقه با توجه به تغییرات زمانی کیفیت و کمیت آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

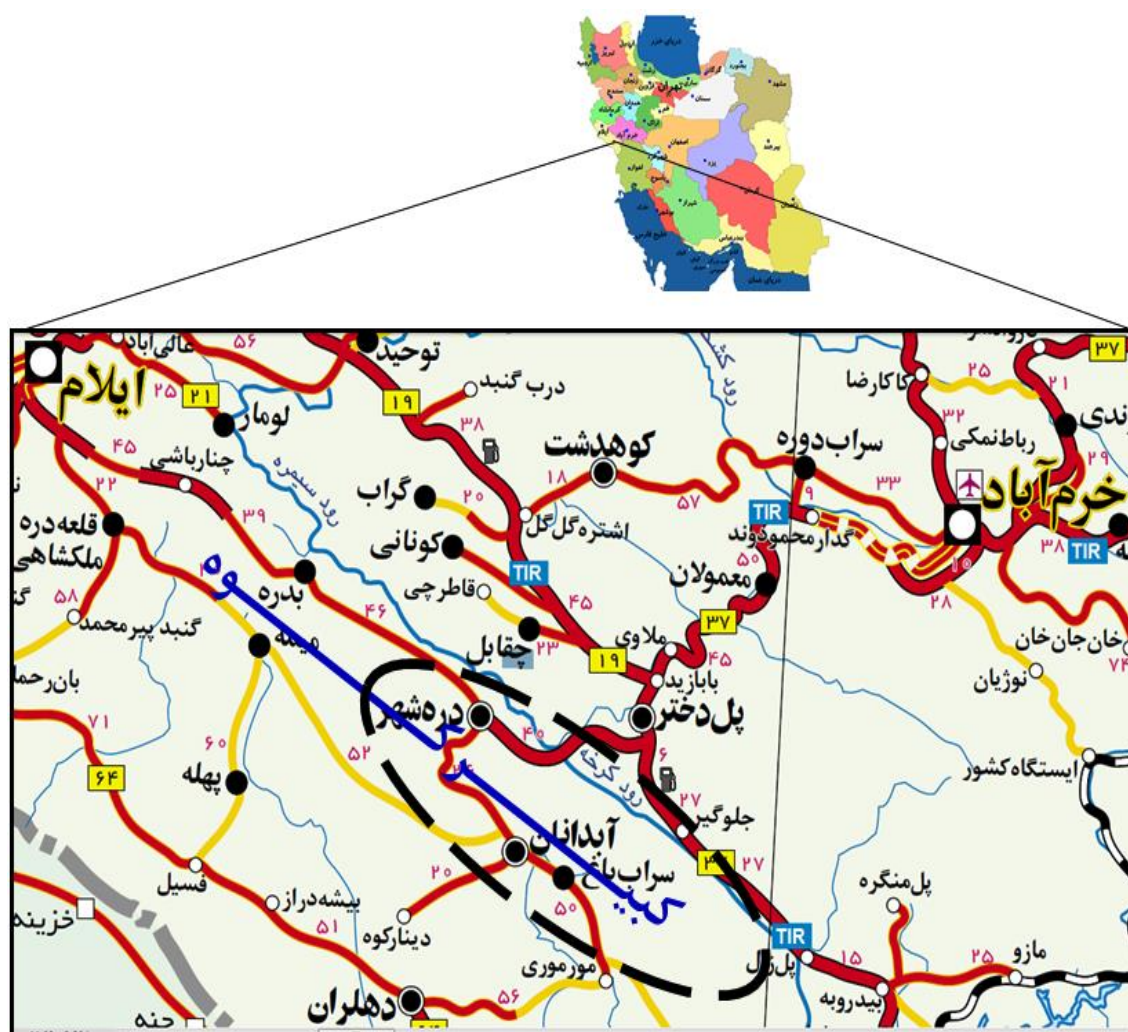
منطقه مورد مطالعه در محدوده ۴۷ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی در جنوب شرقی تاکدیس کبیرکوه، در استان ایلام و در جنوب شرقی شهر ایلام واقع شده است. این منطقه کوهستانی از نظر تقسیمات زمین‌شناسی متعلق به زاگرس چین‌خورده می‌باشد. چشمه‌های کارستی مهمی از تاکدیس کبیرکوه منشاء می‌گیرند که مهم‌ترین آنها شامل سراب آبدانان، سراب دره‌شهر و سراب سیاه‌گاو می‌باشند. دسترسی به منطقه از دو طریق امکان‌پذیر است: الف) جاده اصلی ایلام - دره‌شهر - آبدانان - خوزستان و جاده خاکی گل‌گل - سیاه‌گاو ب) جاده اصلی ایلام - دره‌شهر - لرستان

۱-۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه بخشی از زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود، کلیاتی در مورد زمین‌شناسی زاگرس چین‌خورده به طور مختصر ارائه می‌شود:

۱-۳-۱- زاگرس چین‌خورده یا زاگرس خارجی

این واحد ساختمانی که در جنوب غربی ایران واقع شده، پهنای آن حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر تخمین زده می‌شود و در جنوب غرب به دشت خوزستان و در شمال با ناحیه رورانده زاگرس محدود می‌شود. این ناحیه احتمالاً در بعضی نواحی به زیر زاگرس رورانده کشیده شده است (درویش زاده ۱۳۷۱).



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه

ساختمان زمین‌شناسی این محدوده ساده و ملایم بوده و از مجموعه تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متقارن و متوالی و به هم فشرده با سطح محوری تقریباً قائم که دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشند، تشکیل شده است. ضخامت رسوبات دریایی در این حوضه به چند هزار متر می‌رسد که به طور هم‌شیب رسوبات پلاتفرم پالئوزوئیک را می‌پوشانند. این رسوبات را می‌توان به سه قسمت رسوبات تا اواخر تریاس با خصوصیات پلاتفرمی، رسوبات اواخر تریاس تا میوسن از نوع ژئوسنکلینالی و

رسوبات کنگلومرای همزمان یا بعد از کوهزایی آلپ پایانی مربوط به زمان پلیو- پلیستوسن تقسیم نمود (خسرو تهرانی ۱۳۷۷).

۱-۳-۲- چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در زون چین خورده زاگرس واقع شده است. سازندهای رخنمون یافته در این ناحیه به ترتیب سنی از قدیم به جدید شامل سازند گرو، سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، پابده، آسماری و گچساران می باشد. با استفاده از نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایلام و ۱:۲۵۰۰۰۰ دهلران نقشه زمین شناسی منطقه تهیه شده است. شکل (۱-۲) نقشه زمین شناسی منطقه را نشان می دهد. بنا بر اهمیت سازندهای مختلف در مسائل هیدروژئولوژی و با عنایت به نقشه مزبور شرح مختصری از خصوصیات چینه شناسی و ساختاری منطقه ارائه می شود:

الف) سازند گرو

نام این سازند از تنگ گرو در کبیرکوه ایلام گرفته شده و برش الگوی آن در ۱۰ کیلومتری شمال خاوری روستای قلعه دره مطالعه شده است (آقاباتی ۱۳۸۳). رخنمون این سازند در تاقدیس کبیرکوه محدود می شود چون اغلب توسط سازند سروک پوشیده شده است به طوری که فقط در نواحی شمال غربی (حوالی روستاهای چنار باشی و پاکل گراب) مشاهده می شود و از نظر لیتولوژی شامل تناوبی از شیل و آهک شیلی است.

ب) سازند سروک

در گذشته به این واحد سنگی، سنگ آهک های هیپوریت دار، سنگ آهک های رودیست دار و سنگ آهک لشتکان گفته می شد (آقاباتی ۱۳۸۳). این سازند با وسعت نسبتاً زیاد قسمت های مرکزی تاقدیس کبیرکوه را تشکیل می دهد که در زیر به شیل های نفوذناپذیر گرو و در بالا به سازند آهکی ایلام محدود می شود. این سازند در کبیرکوه که بخش اعظم قسمت های مرکزی آن را تشکیل می دهد، به صورت رخساره عمیق است و شامل آهک های مارنی-رسی تیره رنگ با لایه بندی نازک است.

پ) سازند ایلام

این سازند در کبیرکوه به صورت رخساره پلاژیک نسبتاً عمیق است و از نظر لیتولوژی شامل آهک‌های رسی دانه ریز خاکستری‌رنگ است.

ت) سازند پابده - گورپی

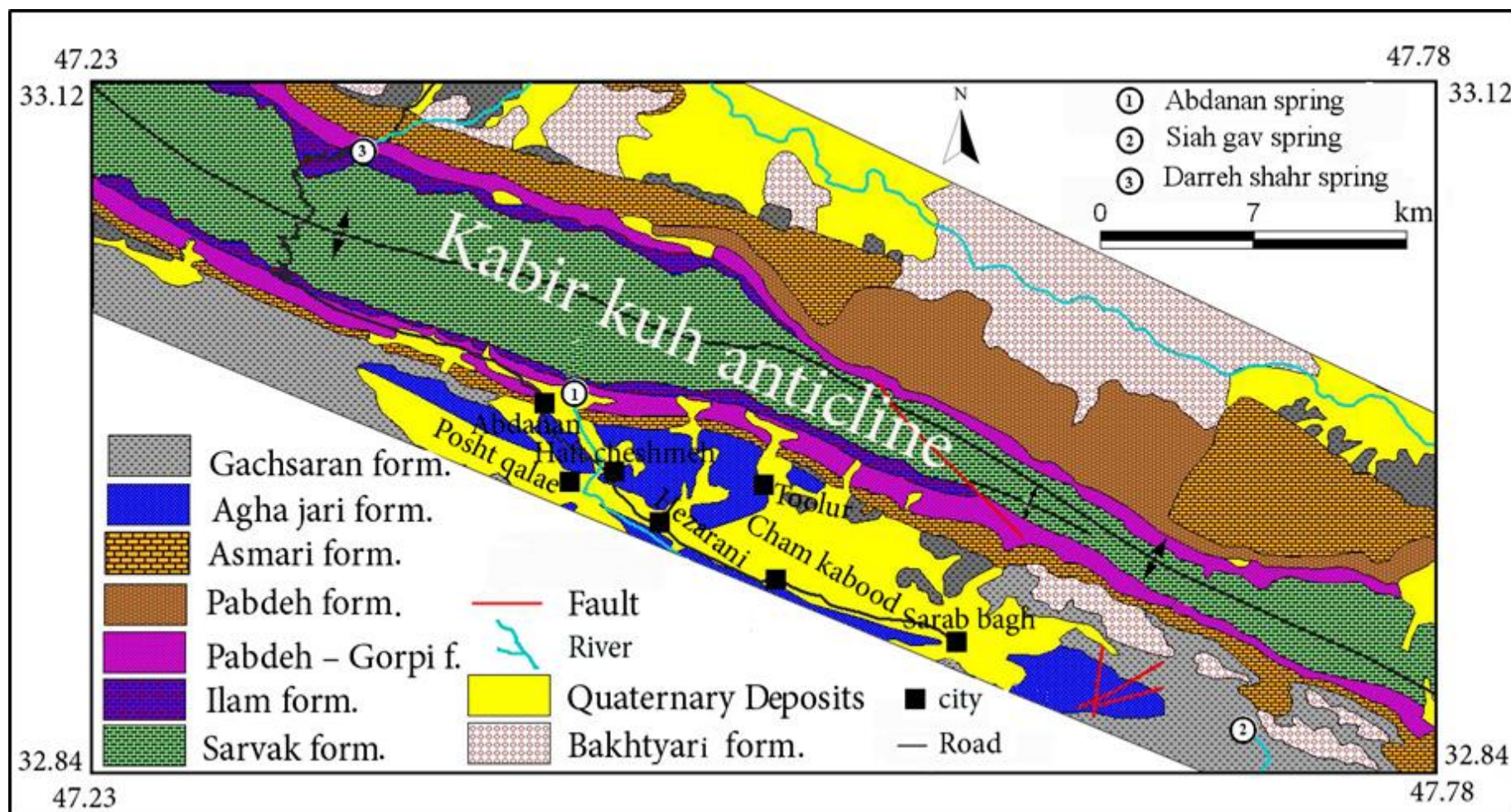
از نظر لیتولوژی شیلی - مارنی است و با لایه‌بندی نسبتاً نازک در زیر سازند آسماری قرار دارد. یک واحد آهک مارنی به رنگ سفید در قسمت‌های میانی سازند گورپی به نام بخش آهکی امام حسن وجود دارد. به خاطر عملکرد هیدروژئولوژیکی یکسان سازندهای گورپی و پابده و همچنین نازک بودن آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه، معمولاً با هم ذکر می‌شوند و به لحاظ لیتولوژی خاص خود که عمدتاً شامل مارن و شیل می‌باشد، از لحاظ هیدروژئولوژی نفوذناپذیر بوده و ارتباط هیدروژئولوژیکی سازندهای سروک و آسماری را قطع می‌نمایند.

ث) سازند آسماری

این سازند از نظر لیتولوژی آهک کرم تا قهوه‌ای رنگ با لایه‌بندی ضخیم است و وسعت نسبتاً کمی در منطقه (مخصوصاً در آبدانان) دارد و در محل رخنمون به صورت برجسته ظاهر می‌شود. مرز پایینی آسماری به سازند پابده-گورپی است و با سازند گچساران پوشیده می‌شود.

ج) سازند گچساران

از نگاه مهندسی، سازند تبخیری گچساران یک واحد سنگی با رفتار شکل‌پذیر است و شامل لایه‌هایی از انیدریت، مارن، نمک و لایه‌های نازک آهک است. این سازند به طور پیوسته روی سازند آسماری نشسته است و در بالا توسط سازند آغاچاری محدود می‌شود. و از نظر سنی متعلق به میوسن می‌باشد. رخنمون آن در کبیرکوه باعث تشکیل تپه‌های ماهوری شکل شده است (درویش‌زاده ۱۳۷۱).



شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی منطقه

۱-۴- زمین ساخت منطقه

همان‌طور که قبلاً ذکر شد منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است. در حال حاضر زاگرس تحت تأثیر دگرشکلی ناشی از فشارهای زمین‌ساختی با روند NNE-SSW، فرجام همگرایی و برخورد قاره‌ای قرار دارد. دگرشکلی‌ها هم‌راستای ساختارها و شکستگی‌های آلپی (NW-SE) و پیش از آلپی (N-S) هستند. پیدایش و توسعه‌ی چین‌ها که از نظر نوع بیشتر از نوع جدایشی (Decollement) هستند، نتیجه‌ی حرکات متناوب بین پی‌سنگ و پوشش سنگی رویی است. گفتنی است که بیشتر چین‌ها به دلیل داشتن شیب بیشتر در پهلوی جنوب باختری نامتقارن‌اند. در ضمن، از شمال خاور به جنوب باختر، ضمن کاهش شدت چین‌خوردگی، چین‌ها جوان‌ترند (آقانباتی ۱۳۸۳). در زیر به طور مختصر به زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود:

کبیرکوه یک تاق‌دیس از دو سو مایل و بسیار طولانی است و مانند سایر کوه‌های رشته کوه زاگرس امتدادی شمال غربی- جنوب شرقی دارد. در منطقه مورد مطالعه تعدادی گسل وجود دارند که مهم‌ترین آنها گسل کبیرکوه است که دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد. این گسل به صورت منفرد با پهنه‌های گسله با طولی در حدود ۱۵۰ کیلومتر دیده می‌شود. امتداد این گسل به صورت یک خطواره کاملاً واضح بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی قابل رویت است. انتهای جنوبی گسل کبیرکوه در دشت آبدانان به طور مستقیم امتداد نیافته و به نظر می‌رسد به سمت جنوب خاور تغییر جهت می‌دهد. این تغییر جهت باعث تغییر در سازوکار از راستالغز به معکوس یا راندگی می‌شود (انشعابات این گسل در جدول (۱-۱) آمده است). علاوه بر گسل‌ها، سیستم‌های درز و شکاف در سنگ‌های آهکی منطقه به خوبی قابل مشاهده است. شواهد گوناگون نشان می‌دهد که حضور گسل کبیرکوه به عنوان یک ساختار فعال شده در حاشیه حوضه، الگوی دگرشکلی را کنترل می‌کند (بهاروند ۱۳۸۷).

پدیده زمین‌لغزش در این تاق‌دیس نسبتاً فراوان بوده که یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین این پدیده‌ها، لغزش بزرگ سیمره (با وسعت ۶۴ مایل) است که در دامنه شمالی تاق‌دیس بزرگ کبیرکوه به وقوع

پیوسته است (Watson and Wright 1969). شکل (۱-۳) نمایش زمین لغزش تاریخی سیمره بر روی مدل رقومی - ارتفاعی منطقه که تصویر TM لندست بر روی آن کشیده را نشان می‌دهد. بعد از وقوع زمین لغزش سیمره و مسدود شدن دره سیمره چهار دریاچه عمده در پشت این سد طبیعی به وجود آمده است. تالاب‌های یازده‌گانه دره‌شهر بازمانده این دریاچه‌های بزرگ هستند (Oberlander 1965). شکل (۴-۱) تصویری از تالاب‌های یازده‌گانه دره‌شهر را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- انشعابات گسل کبیرکوه (بهاروند ۱۳۸۷)

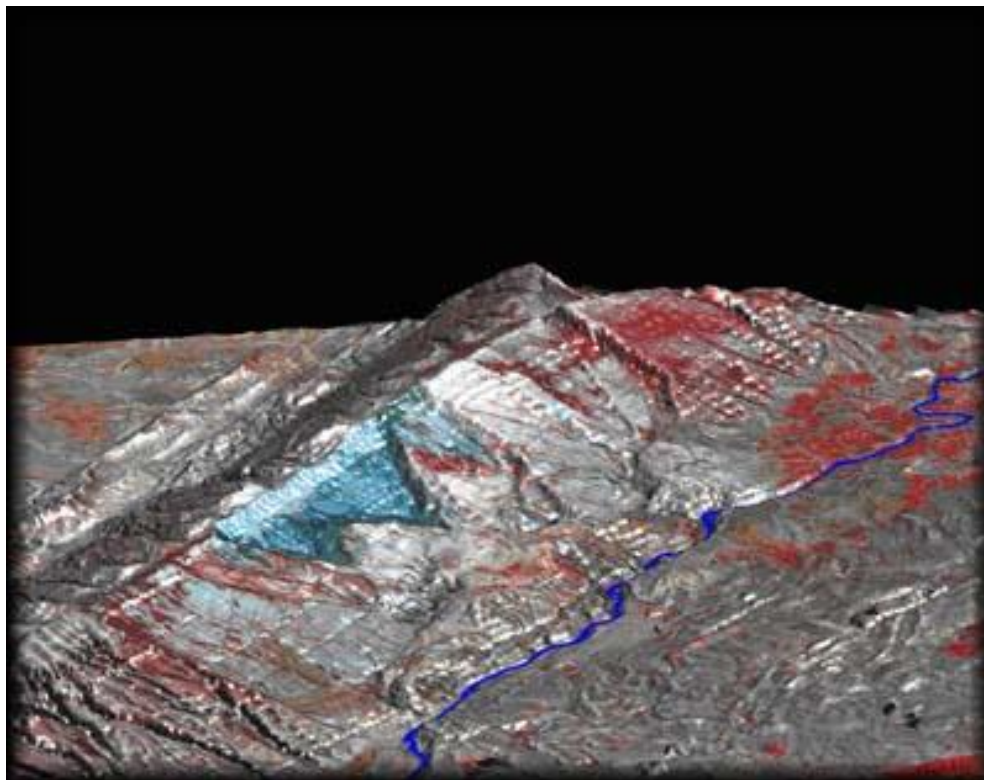
ردیف	نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	بیشینه توان لرزه زایی (ریشتر)	ساز و کار
۱	F ₁	۱۵۰	۶/۸	گسل معکوس
۲	F ₂	۸	۴/۲	گسل رانده
۳	F ₃	۱۲	۳/۸	گسل رانده
۴	F ₄	۲۱	۶/۷	گسل معکوس

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

ژئومورفولوژی مناطق کارستی به لحاظ عملکرد پدیده کارستی شدن با سایر مناطق متفاوت می‌باشد. مهم‌ترین عوارض ژئومورفولوژی منطقه به طور مختصر توضیح داده می‌شوند:

الف) فروچاله‌ها

فروچاله‌ها (Sinkholes) چاله‌های ساده‌ی بسته، قیفی، کاسه‌ای شکل با زهکشی زیرزمینی می‌باشند که قطر آنها بزرگتر از عمق‌شان است (Bogli 1980). در تاکدیس کبیرکوه فروچاله‌ها به خصوص در سازند گچساران به علت قابلیت انحلال زیاد گچ توسعه پیدا کرده‌اند ولی در سازندهای سروک، ایلام و آسماری به علت شیب زیاد این تاکدیس و بعضاً وجود لایه‌های تدریجی تشکیل نشده‌اند.



شکل ۱-۳- نمایش زمین لغزش تاریخی سیمره بر روی مدل رقومی ارتفاع منطقه
که تصویر TM لندست بر روی آن کشیده شده است



شکل ۱-۴- تصویری از تالاب‌های یازده‌گانه دره‌شهر

ب) کارنها

کارن یک واژه آلمانی می‌باشد و در مورد اشکال انحلالی کوچک مقیاس و سطحی مانند شیارها و کانال‌ها در رخنمون کربناته به کار می‌رود. این اشکال بیشتر توسط جریان آب ناشی از باران و در نتیجه فعالیت شیمیایی آب بر روی سنگ آهکی بدون پوشش گیاهی و جریان ایجاد می‌شود (Bogli 1980). در کبیرکوه این اشکال به خصوص در سازندهای آسماری و سروک تشکیل شده‌اند.

پ) کانیونها

دره‌های با دیواره عمودی می‌باشند که ممکن است در کف آنها جریان آب وجود داشته باشد. کانیونها ممکن است ناشی از بریدگی آرام یک جریان سطحی باشند اما بیشتر در اثر انحلال در امتداد یک سری از شکستگی‌های منظم ایجاد می‌شوند (White 1988). این عوارض کارستی در کبیرکوه در سازندهای سروک و آسماری ایجاد شده‌اند. عمق این کانیونها زیاد است به طوری که بعضی از آنها عمقی بیش از صد متر دارند.

ت) غارها

مجاری افقی یا با شیب ملایم هستند که توسط یک یا چند دهانه با سطح زمین در ارتباط می‌باشند (Milanovic 1981). این عوارض کارستی در تاکدیس کبیرکوه در سازندهای سروک، آسماری و گچساران موجود می‌باشند. از جمله این غارها می‌توان غار مجاور چشمه‌ی کارستی سراب دره‌شهر و غار موجود در روستای فرهادآباد (شهرستان دره‌شهر) در یال شمالی این تاکدیس در سازند سروک و همچنین غار مژاره در سازند آسماری واقع در سیاه‌گاو را نام برد.

ث) جاماها

مجاری کارستی قائم یا نزدیک به قائم می‌باشند که به سطح زمین باز می‌شوند. در تاکدیس کبیرکوه به ویژه در سازند گچساران از این اشکال کارستی وجود دارد و بعضی از آنها عمقی بیشتر از ده متر دارند. زاخه یکی از این اشکال ژئومورفولوژیکی است که در سازند گچساران در بالا تر از سراب سیاه‌گاو واقع شده است که در زیر به یک کانال زیرزمینی راه دارد. به گفته‌ی افراد محلی منطقه قبلاً در این

کانال ردیابی با کاه انجام گرفته و مشخص شده است که این کانال با دریاچه‌های دوگانه سیاه‌گاو (سراب سیاه‌گاو) ارتباط دارد و آب‌های زیرزمینی موجود در این کانال، همان آبی است که در سراب سیاه‌گاو به در جریان است. در حال حاضر دهانه‌ی این مجرا به علت فرسایش دیواره‌های آن فرو ریخته است.

ج) تنگه‌ها

یکی از ویژگی‌های مهم کوه‌های زاگرس، دره‌های کم پهنا و ژرفی است که به تنگه معروفاند و کم و بیش ساختارهای ناحیه‌ای را قطع کرده و گاهی بر آنها عمودند (مانند تنگه‌های بهرام چوبین، زرانگوش و سیکان در دره‌شهر و تنگه‌های کول خسرو، ژله، چال نظر علی و ساعات در آبدانان و...). شکل (۱-۵) نمایی از تنگه‌ی بهرام چوبین در دره‌شهر را نشان می‌دهد.

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

چشمه‌های پر آب کارستی از تاقدیس کبیرکوه سرچشمه می‌گیرند. این چشمه‌ها رود خانه‌های دائمی در یال شمالی و جنوبی ایجاد کرده اند که به طور مختصر به آنها پرداخته می‌شود:

الف) رودخانه گل‌گل

این رودخانه با دبی متوسط ۸۰۰ لیتر در ثانیه از پلانژ غربی تاقدیس کبیرکوه تخلیه می‌شود و حدود ۳۰۰ لیتر در ثانیه از آب آن جهت مصرف شرب شهر ایلام پمپاژ می‌گردد (کریمی و همکاران ۱۳۸۷).

ب) رودخانه میمه

سرچشمه‌ی اصلی رودخانه‌ی میمه چشمه‌های کارستی میمه ۱، میمه ۲ و گوراب میمه می‌باشند که از دامنه‌های جنوب غربی تاقدیس کبیرکوه سرچشمه می‌گیرند. این چشمه‌ها بعد از خروج از سرچشمه در دامنه‌ی جنوب غربی کبیرکوه به هم می‌پیوندند و رودخانه‌ی میمه را تشکیل می‌دهند. رودخانه‌ی مذکور پس از طی مسیر طولی از میان سازندهای مختلف وارد دشت دهلران



شکل ۱ - ۵- تنگه بهرام چوبین در دره شهر

شده و سپس وارد خاک عراق می‌شود. طول این رودخانه از محل سرچشمه‌های آن تا خروجی آن از دشت دهلران ۱۶۰ کیلومتر است. آبدهی متوسط این رودخانه در طی سال‌های آبی ۷۰ - ۱۳۶۹ تا ۷۹ - ۱۳۷۸ حدود ۶/۸ متر مکعب بر ثانیه بوده است. حداقل آبدهی این رودخانه مربوط به شهرپور با میانگین ۰/۷۲ متر مکعب بر ثانیه بوده و حداکثر آبدهی آن مربوط به اسفندماه با میانگین ۱۵/۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است (علیمرادی و حقیقت ۱۳۸۴).

ج) رودخانه دویرج

این رودخانه از دامنه جنوبی تاقدیس کبیرکوه سرچشمه گرفته، پس از عبور از وسط شهر آبدانان وارد شهرستان دهلران می‌شود و سپس از موسیان گذشته و از مرز کشور خارج می‌شود. آبدهی این رودخانه در مواقع سیلابی به ۱۵ متر مکعب در ثانیه می‌رسد.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

سازند سروک با وسعت نسبتاً زیاد قسمت‌های مرکزی تاقدیس کبیرکوه را تشکیل می‌دهد که به دلیل ارتفاع زیاد آن قسمت برف گیر این تاقدیس می‌باشد. در زیر سازند سروک، شیل‌های نفوذناپذیر سازند گرو قرار دارد و در بالای این سازند، سورگاه با ضخامت خیلی کم و در بیشتر مناطق سازند ایلام واقع است. در بالای سازند ایلام، شیل‌های نفوذناپذیر سازند پابده - گورپی قرار دارد. بنابراین سازندهای ایلام و سروک به صورت یک واحد هیدروژئولوژیکی نفوذپذیر توسط واحدهای نفوذناپذیر گرو در زیر و پابده - گورپی در بالا محدود می‌شود. در نتیجه چشمه‌های پر آب کارستی از این واحد هیدروژئولوژیکی سرچشمه می‌گیرد. این چشمه‌ها در تقسیم بندی از نظر شرایط زمین‌شناسی و تکتونیک از نوع سرریزی می‌باشند. محل ظهور این چشمه‌ها در اکثر موارد در محل تماس سازند ایلام و گورپی می‌باشد. چشمه‌های پر آب کارستی از واحد هیدروژئولوژیکی ایلام- سروک سرچشمه می‌گیرند که چشمه‌های دره‌شهر، سیکان، کلم، لارت و ماژین در یال شمالی و چشمه‌های آبدانان، میمه، مورد، گوراب، گل‌گل در یال جنوبی نقش مهمی در تامین آب شهرستان‌های ایلام، دره‌شهر، آبدانان، دهلران و مهران دارند. آبدهی متوسط این چشمه‌ها در سال‌های آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۷۵-۱۳۷۴ به طور ماهانه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام اندازه‌گیری شده است. متوسط آبدهی این چشمه‌ها در این دوره‌ی پنج ساله در جدول (۱-۲) آورده شده است. هدایت الکتریکی همه‌ی چشمه‌های کارستی کبیرکوه کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد.

جدول ۱-۲- متوسط آبدهی سالانه چشمه‌های کبیرکوه در سال‌های آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۷۵-۱۳۷۴

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نام چشمه	سیکان	دره‌شهر	کوچک	کلم	سیاه‌گاو	آبدانان	میمه‌ی ۱	میمه‌ی ۲	گوراب میمه
آبدهی (lit/s)	۱۹۹۵	۲۵۰	۲۳۸/۵	۹۸۹/۴	۶۰۰	۶۷۰	۳۱۵/۲	۲۶۴/۷	۳۴۵/۷

سازند آسماری به دلیل وجود درز و شکاف‌های فراوان از نظر هیدروژئولوژیکی نفوذپذیر می‌باشد ولی وجود فروچاله‌ها و مجاری انحلالی نسبتاً زیاد در سازند گچساران باعث نفوذ آب‌های کارستی از زیر به این سازند شده است و آب این چشمه‌ها به دلیل تبخیری‌های سازند گچساران دارای کیفیت خوبی نمی‌باشند. نمونه‌های تیپیک آن سراب سیاه‌گاو و سراب نقل می‌باشند. در ادامه به طور مختصر به چشمه‌های مورد مطالعه پرداخته می‌شود:

الف) سراب آبدانان (رودخانه‌ی دویرج)

سراب آبدانان با آبدهی متوسط ۶۷۰ لیتر در ثانیه، در ۳۸ کیلومتری جنوب خاوری دره‌شهر و در بالادست آبدانان قرار دارد. این چشمه از دامنه کبیرکوه سرچشمه گرفته، پس از عبور از وسط شهر آبدانان وارد شهرستان دهلران می‌شود و سپس از موسیان گذشته و از مرز کشور خارج می‌شود (شکل ۱-۶).

ب) سراب سیاه‌گاو (دریاچه‌های دوگانه سیاه‌گاو)

سراب سیاه‌گاو با آبدهی متوسط ۶۰۰ لیتر در ثانیه، در فاصله‌ی حدود ۴۰ کیلومتری شهر آبدانان و هشت کیلومتری روستای سراب‌باغ و در بالای روستای سیاه‌گاو واقع شده است. این دو دریاچه‌ی دایره‌ای شکل، هر کدام با شعاع حدود ۳۰ متر، حدود ۱۰ تا بیش از ۳۰ متر ژرفا دارند و با یک جوی آب طبیعی به عرض یک متر و طول ۷۰ متر به هم متصل هستند که دریاچه‌ی نخست با اختلاف سطح اندک در بالا دست دریاچه دوم قرار گرفته است. دریاچه‌ی بالایی عمقش از ۳۰ متر هم تجاوز می‌کند. عمق دریاچه‌ی پایینی در مناطق عمیق به ۱۰ متر و در مناطق کم عمق به ۲ تا ۳ متر می‌رسد و در کناره‌ها کم و کمتر می‌شود. اطراف این دریاچه‌ها را دشت‌ها و کوه‌های نسبتاً مرتفع فراگرفته است (شکل ۱-۸).

ج) سراب دره‌شهر

منشأ این چشمه، دامنه‌ی شمالی کبیرکوه و در ۹ کیلومتری جنوب باختری دره‌شهر واقع است. آبدهی متوسط این چشمه ۲۵۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. این رودخانه پس از طی مسافت ۱۵ کیلومتر



شکل ۱-۶- نمایشی از چشمه‌ی کارستی آبدانان



شکل ۱-۷- نمایشی از دریاچه‌های دوگانه سیاه‌گاو



شکل ۱-۸- نمایی از چشمه‌ی کارستی دره‌شهر

در ۶ کیلومتری شمال خاوری دره‌شهر و یک کیلومتری خاوری روستای چمنمشت به رودخانه سیمره ملحق می‌شود (شکل ۱-۷).

۱-۸- آب و هوای منطقه

به طور کلی نواحی شمال و شمال شرق استان ایلام کوهستانی و نواحی جنوب غرب و غرب استان از اراضی پست و کم ارتفاع تشکیل یافته است. مهم‌ترین ارتفاعات استان، کبیرکوه و دینارکوه می‌باشند. استان ایلام از نظر شرایط اقلیمی جزء مناطق گرمسیر کشور محسوب می‌شود، ولی به علت وجود ارتفاعات، اختلاف درجه حرارت و بارندگی در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی آن زیاد است به طوری که می‌توان از نظر اقلیمی، مناطق سه گانه سردسیری، معتدل و گرمسیری را در این استان به خوبی مشاهده نمود. این مناطق عبارتند از:

مناطق کوهستانی شمال و شمال شرق که آب و هوای نسبتاً سرد و زمستانی طولانی دارد حداقل درجه حرارت در زمستان تا ۱۵ درجه زیر صفر می‌رسد و میزان بارندگی آن نیز به بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال بالغ می‌گردد.

۲- مناطق میانی با آب و هوای معتدل که درجه حرارت این مناطق در زمستان تا ۵ درجه زیر صفر و حداکثر درجه حرارت آن در مناطق جنوبی و دره‌شهر در تابستان به بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد می‌رسد.

۳- مناطق جلگه‌ای غرب و جنوب غرب استان که آب و هوای گرمسیری دارند. حداکثر درجه حرارت این مناطق تا ۴۵ درجه بالای صفر می‌رسد. میزان بارندگی این مناطق حدود ۲۰۰ میلیمتر در سال است.

دمارتن (De Martonne) جهت تعیین اقلیم فرمول زیر را پیشنهاد نموده است (علیزاده ۱۳۸۵):

$$I = P/(T+10)$$

معادله ۱-۱

که در این رابطه P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) و T متوسط دمای سالانه ($^{\circ}\text{C}$) است و I ضریب خشکی دمارتن می‌باشد. بر اساس فرمول دمارتن ۶ نوع آب و هوا مطابق جدول (۱-۳) طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱-۳- طبقه بندی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۵)

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

جدول ۴-۱ میانگین درجه حرارت در ایستگاه‌های آبدانان و دره‌شهر و جدول ۵-۱ متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو از ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد (اداره هواشناسی استان ایلام).

جدول ۴-۱- میانگین درجه حرارت (۱۳۸۲-۱۳۸۹) در ایستگاه‌های آبدانان و دره‌شهر (سایت هواشناسی استان ایلام)

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۶/۷۷	۲۲/۷۶	۳۰/۳۰	۳۴/۰۹	۳۴/۸۶	۳۱/۱۴	۲۵/۵۹	۱۷/۰۱	۱۰/۹۹	۷/۱۳	۸/۸۵	۱۲/۹۸

جدول ۵-۱- متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو از ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹

زمان (سال)	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۸۲-۸۳	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۵-۸۶	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹
آبدانان	۵۶۰	۵۱۰	۵۸۰/۵	۴۸۰	۳۹۵/۵	۲۵۴	۴۳۸	۵۳۷/۳
دره‌شهر	۵۱۰/۵	۴۵۳/۱	۵۲۸/۷	۵۵۲/۹	۲۹۵/۲	۲۵۴/۲	۴۱۶/۵	۳۸۰
سیاه‌گاو	۲۲۳	۲۱۳	۲۱۹	۲۷۴/۱	۴۰۸/۱	۱۷۵/۱	۴۸۱	۴۸۳/۵

بر اساس اطلاعات مندرج در جداول ۴-۱ و ۵-۱ میانگین بارندگی منطقه حدود ۴۰۱ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت منطقه ۲۱ درجه می‌باشد. بنابراین اقلیم منطقه بر اساس طبقه بندی دمارتن از نوع نیمه‌خشک می‌باشد.

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- کارست و تعاریف آن

سنگ‌های کارستی با توزیع غیر یکنواختی در نقاط مختلف دنیا یافت می‌شوند. سنگ‌های کارستی حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از سطح قاره‌ها را می‌پوشانند (Bonacci 1990). سازندهای کارستی حدود ۱۱ درصد از ایران را می‌پوشانند که حدود ۵۵/۲ درصد این سازندها در رشته کوه‌های زاگرس قرار گرفته‌اند (Raeisi 2002). بیشتر آب‌های آشامیدنی و کشاورزی این نواحی از چشمه‌هایی که از سازندهای کارستی تخلیه می‌شوند، تامین می‌شود.

کارست نام منطقه‌ای در شمال غربی یوگسلاوی سابق و در نزدیکی مرز این کشور با ایتالیا است که از نظر هیدروژئولوژی با سایر نواحی زمین به دلیل حلالیت زیاد سنگ‌ها و تخلخل ثانویه تفاوت بارزی دارند. در این نواحی، بر خلاف مناطق آبرفتی، آب از درون درز و شکاف سنگ‌ها عبور نموده و پس از طی مسافتی در درون کانال‌ها و معابر درون توده سنگ که در اثر پدیده کارست شدگی ایجاد شده‌اند، از یک یا چند محل خارج می‌گردند که این محل‌های خروجی همان چشمه‌های کارستی هستند (رضایی ۱۳۷۹). کارست عبارت است از گستره‌ای با مورفولوژی مشخص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ که از انحلال بالای برخی از سنگ‌ها در آب‌های طبیعی ناشی می‌شود. نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه پیدا می‌کنند و علاوه بر این بر روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند نیز ممکن است در شرایط خاصی ایجاد شوند (مانند سنگ گچ و سنگ نمک). نواحی کارستی به وسیله مجاری، فروچاله‌ها (Sinkholes)، دره‌های خشک و وسیع،

مجاری بزرگ و غارهای توسعه یافته مشخص می‌شوند (Jeannine and Sauter 1998).

کارست به نواحی که دارای اختصاصات ویژه‌ای از نظر برجستگی (Relief) و سیستم زهکشی (Drainage) می‌باشد، اطلاق می‌گردد (Johnson 1997). کارست‌ها عمدتاً در اثر انحلال سنگ‌ها در اثر تماس با آب‌های جوی به وجود می‌آیند (Twidale and Campbell 1993). برای تشکیل کارست وجود سیالاتی که نسبت به کانی‌های موجود در سنگ‌های اطراف غیر اشباع باشد، و سهولت عبور سیالات از میان خلل و فرج سنگ و نیز وجود برونزدهای کربناته لازم است (Bloom 1991). علاوه بر عوامل فوق، مدت زمان تماس سنگ‌ها با آب و هوا، نوع آب و هوا، میزان پوشش گیاهی و میزان گاز کربنیک با منشاء زیستی (Biogenic) نیز در توسعه و گسترش اشکال کارستی موجود در حوضه نقش بسزایی دارد (ترشیزیان و همکاران ۱۳۷۱). مهم‌ترین اشکال سطحی در نواحی کارستی گودال‌های بسته است (Martinez and Johnson 1998). از دیدگاه هیدروژئولوژیکی سیستم‌های کارستی، سیستم‌های ناهمگن متشکل از شبکه‌ای از مجاری انحلالی می‌باشند که دارای هدایت هیدرولیکی بالا (K بزرگتر از 0.1 متر بر ثانیه) بوده و در زمینه‌ای از مواد با نفوذپذیری پایین، در حد ($0.000001 < K < 0.001$)، قرار گرفته‌اند. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده، لذا تجزیه و تحلیل، تغییرات و نحوه فروکش دبی و همچنین غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم باشد و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن و مرزهای هیدروژئولوژیکی آن کمک نماید (Currens 2002, Birk 2004, Genthon 2005, Kovacs 2005, Karimi 2005, Aquilina 2005). گروهی از محققین آبخوان‌های کارستی را به عنوان سیستمی که دارای جریان داری می‌باشند در نظر می‌گیرند (Eisenlohr *et al* 1997, Wicks and Herman 1995, Teutsch 1993). عده‌ای آبخوان‌های کارستی را به صورت شبکه‌ای از لوله‌ها در نظر می‌گیرند و از روابط مربوط به لوله‌ها استفاده می‌کنند (Halihan and Wicks 1998). گروهی دیگر از محققین مجاری بزرگ را به صورت زهکش‌های ساده‌ای که واکنش هیدروگراف چشمه‌ها را تغییر نمی‌دهند در نظر می‌گیرند

(Milanovic 1976). کارست پدیده‌ای فرسایشی می‌باشد که سازوکار آن انحلال و تخریب سنگ‌های قابل حل توسط آب‌های اسیدی در بخش‌های سطحی و زیر زمینی است. تشکیل کارست تحت شرایط مختلفی از جمله ویژگی‌های زمین شناسی، قابلیت انحلال سنگ‌ها و ترکیب سیالات موثر امکان پذیر است. در بخش‌های سطحی و کم عمق (بالتر از سطح ایستابی) سازوکار انحلال تابع تغییرات و میزان دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر یا طبقات خاکی است که با تاثیر روی کربنات کلسیم موجبات اشکال مختلف انحلالی و یا توسعه درز و شکاف‌ها را ایجاد می‌نماید. وضعیت کارست شدگی در بخش‌های عمیق به گونه‌ای دیگر است (سیادتی ۱۳۷۲). تشکیلات آهکی را بر اساس درجه خلوص آهک به دو دسته تقسیم می‌نمایند :

- ۱- کارست کامل (Holokarst): تشکیلات آهکی که دارای مواد ناخالص (رس) ناچیز می‌باشند و در این نوع کارست درز و شکاف‌ها به طور یکنواخت و کامل توسعه یافته‌اند. به عبارت دیگر این درز و شکاف‌ها با هم در ارتباط می‌باشند. در این نوع تشکیلات درجه خلوص آهک‌ها بیشتر از ۷۰-۶۰ درصد می‌باشد و چشمه‌هایی با آبدهی خوب وجود دارند (Milanovic 1981).
- ۲- کارست ناقص (Merokarst): تشکیلات آهکی که دارای مواد ناخالص (رس) می‌باشند، در این نوع کارست درز و شکاف‌ها به طور کامل و منظم توسعه پیدا نکرده است و درجه خلوص آهک‌ها کمتر از ۷۰-۶۰ درصد می‌باشد. بنابراین در این نوع کارست چشمه‌های ناچیزی با آبدهی کم بوجود می‌آیند. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که ناخالصی‌های موجود در سنگ‌های آهکی یا آهک دولومیتی بیشتر به خاطر وجود مواد رسی و همچنین ترکیبات آهن دار می‌باشد که این مواد باعث ناقص شدن کارست می‌گردد و نتیجتاً باعث کاهش آبدهی چشمه‌ها می‌گردد (Milanovic 1981).

۲-۲- فرایند کارستی شدن

فرایند کارستی شدن پدیده‌ای است فرسایشی که مکانیسم آن انحلال و خوردگی توده سنگ‌های کربناته توسط اسید کربنیک محلول در آب‌های جاری و زیرزمینی می‌باشد، مسلماً توسعه کارست در

آب و هوای سرد بیشتر از آب و هوای گرم می باشد. به دلیل اینکه افزایش درجه حرارت باعث تشدید واکنش‌های شیمیائی و باعث کاهش مقدار (CO_2) محلول در آب می گردد.



با تغییر فشار گاز کربنیک هوا و درجه حرارت محیط، جهت معادله‌های (۱) و (۲) نیز تغییر می‌نماید. به این صورت که گاهی اوقات آب گاز کربنیک‌دار آهک را حل نموده و در پاره‌ای مناطق آهک به صورت‌های مختلف رسوب می‌نماید. بنابراین بیکربنات کلسیم یا $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ناپایدار است و به صورت محلول در آب درمی‌آید (اسید کربنیک آزاد در آب یا H_2CO_3 قادر به حل سنگ‌های کربناته می باشد). به عبارتی دیگر کربنات کلسیم (CaCO_3) چه به صورت کلسیت و چه به صورت آراگونیت، در آب‌های بدون گاز کربنیک غیر قابل حل می‌باشد. ولی هر گاه در آب مقداری گاز کربنیک حل شده باشد، قابلیت انحلال کربنات کلسیم و کربنات منیزیم را در آب افزایش می‌دهد. بنابراین انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی با درجه حرارت نسبت معکوس دارد دارد، زیرا در آب‌های گرم دی‌اکسید کربن کمتری حل شده و در نتیجه انحلال آهک کمتر می‌گردد. فرایند کارستی شدن به دو صورت ممکن است انجام شود:

۱- سطحی: که پدیده‌های کارستی سطحی را بوجود می‌آورد. کارن‌ها، فروچاله‌ها، حفره‌های جذب آب، چاه‌های کارستی، اوال‌ها، پولیه‌ها، پل طبیعی، درزهای کارستی و غیره از مهم‌ترین اشکال کارستی شدن سطحی هستند.

۲- عمقی: که پدیده‌های کارستی عمقی را بوجود می‌آورد. غارها، حفره‌ها، رودخانه‌های زیرزمینی، سیفون‌ها، استالاکتیک و استالاکمیت‌ها، ستون‌ها و غیره از اشکال کارستی شدن زیرسطحی هستند (Milanovic 1981).

۳-۲- انواع سیستم‌های ورود آب به کارست

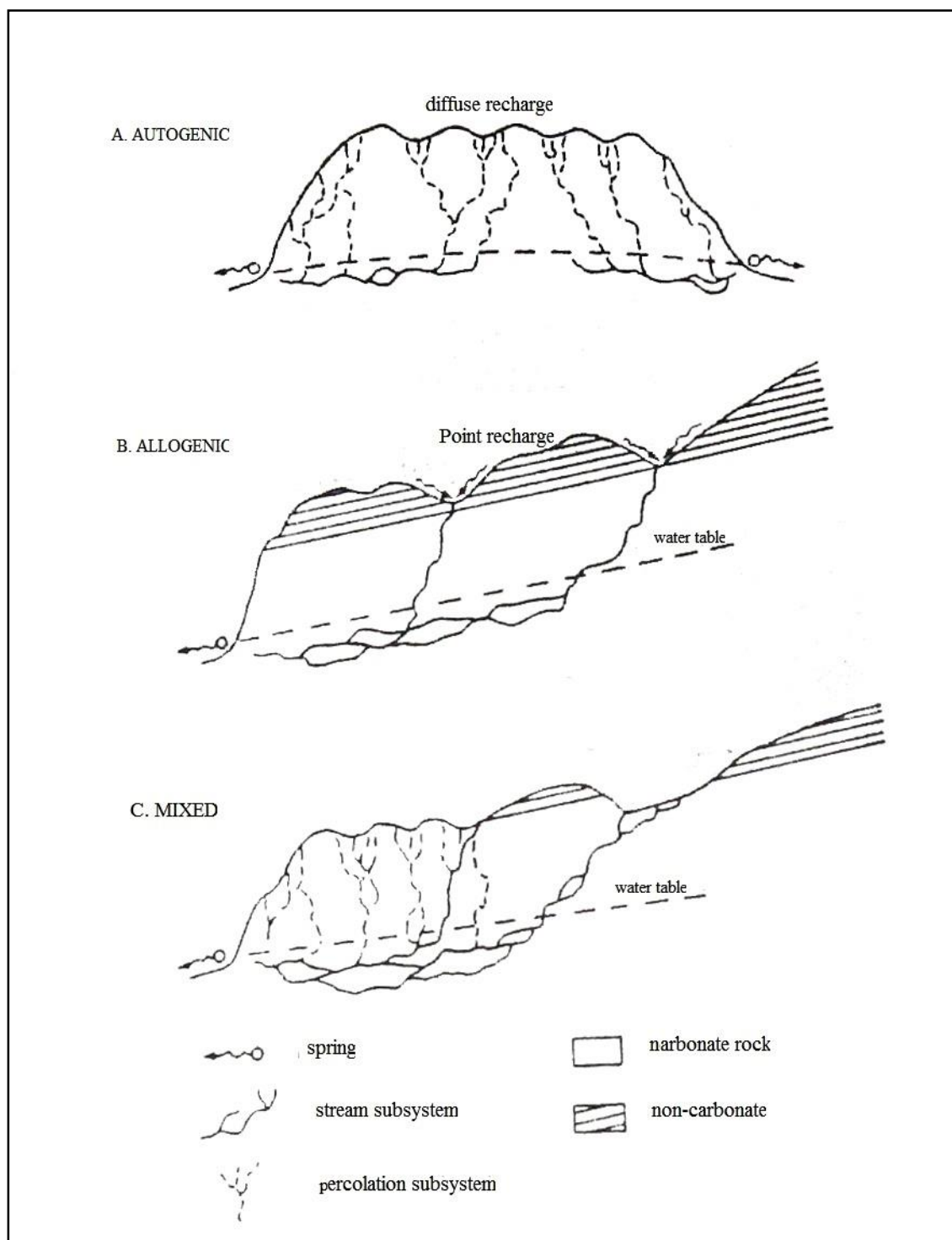
بر اساس مطالعات برخی از محققین (Ford and Williams 1989 و کریمی ۱۳۷۶) در تجزیه و

تحلیل مطالعات کارست، شناخت منشا آب از اهمیت زیادی برخوردار است. آب‌های ورودی به کارست به سه دسته خودزا، دگرزا و مخلوط تقسیم می‌شود. یک سیستم خودزا (Autogenic) تماماً از سنگ‌های کارستی تشکیل شده است و به وسیله آب‌های بارندگی که روی منطقه می‌بارد، تغذیه می‌شود (شکل ۱-۲ A). در مقابل، یک سیستم دگرزا (Allogenic) تماماً، به وسیله آب‌های مناطق غیر کارستی مجاور تغذیه می‌شود (شکل ۱-۲ B). در عمل، در اغلب سیستم‌های کارستی ترکیبی از مولفه‌های خودزا و دگرزا یعنی حالت مخلوط وجود دارد (شکل ۱-۲ C).

۲-۴- عوامل کنترل کننده توسعه سفره‌های کارستی

توسعه سفره‌های کارستی به عوامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، آب و هوایی و بیولوژیک بستگی دارد. این فاکتورها بر خصوصیات فیزیکی سفره از قبیل تخلخل، هدایت هیدرولیکی و ظرفیت ذخیره تأثیر می‌گذارند. یک رابطه تنگاتنگ بین فاکتورهای کنترل کننده با همدیگر و با فرآیندهای شیمیایی و مکانیکی وجود دارد. فاکتورهای ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی بر توزیع حفرات کارستی و خصوصیات فیزیکی (مانند تخلخل موثر، هدایت هیدرولیکی و ذخیره ویژه) تأثیر می‌گذارند (Ford and Williams 1989).

زمین‌شناسی از طرق مختلف بر روی توسعه سفره‌های کارستی اثر می‌گذارد. میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات سنگ‌های کارستی و ارتباط با لیتولوژی‌های دیگر در مقیاس ناحیه‌ای، شرایط مرزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تکتونیک در موازنه بین بالا آمدن (uplift) و فرسایش و ایجاد پتانسیل هیدرولیکی تأثیر می‌گذارد. ساختمان‌های ناحیه‌ای مانند تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها و الگوی درزه‌هایشان اهمیت دارند (درزه‌های تحت کشش، بهتر آب را عبور می‌دهند). سطوح لایه بندی یک نقش اساسی در اتصال و ارتباط بین درزه‌های عمودی برای انتقال آب در ناحیه غیر اشباع دارند اما به دلیل تداوم جانبی زیاد آنها، در ناحیه اشباع نقش مهم‌تری دارند. گسل‌ها و درزه‌های اصلی عامل تداوم



شکل ۱-۲- انواع سیستم‌های ورودی آب به کارست (Ford and Williams 1989)

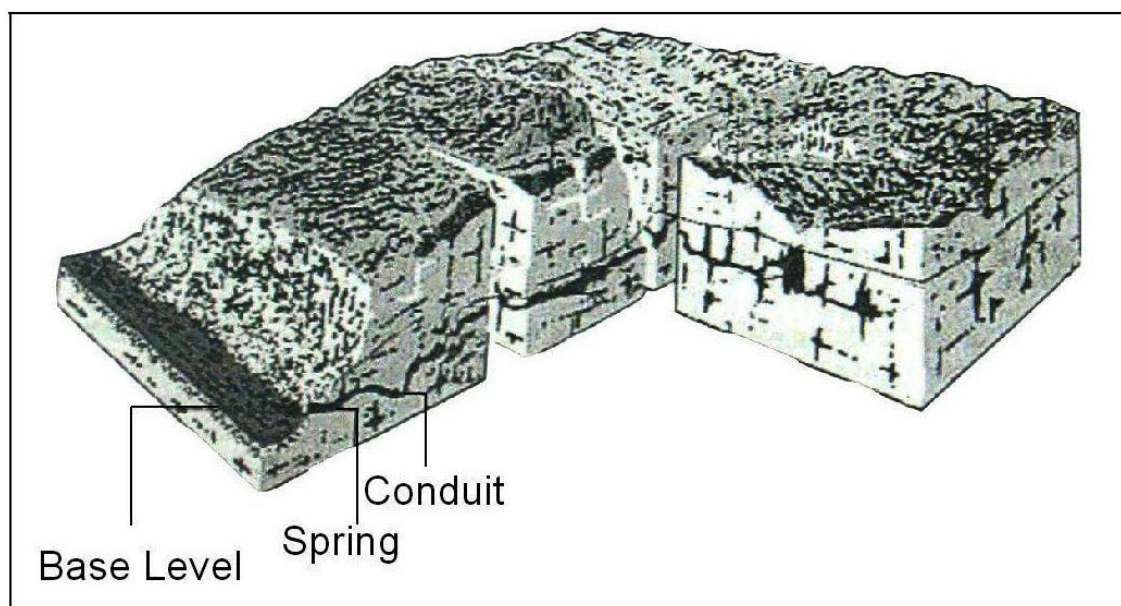
ارتباط عمودی و افقی در ناحیه غیر اشباع و اشباع می‌باشند. از طرفی بعضی سطوح گسل‌ها فشرده شده و به وسیله کلسیت ثانویه پر شده و تخلخل کمی دارند (Ford and Williams 1989).

پالمر (Palmer 1991) در مقاله معروف خود که به عنوان بهترین مقاله توسط انجمن زمین‌شناسان امریکا انتخاب گردید، بر اساس مطالعات بر روی چندین هزار غار نتیجه گرفت که مجاری کارستی درصد کمی از امتداد گسل پیروی می‌کنند و در بیشتر موارد مجاری کارستی تابع درزه‌ها، شکاف‌ها و صفحات لایه بندی می‌باشد. بنابراین نباید انتظار داشت که جهت جریان حتماً در امتداد گسل حرکت کند. پستی و بلندی‌های (Local relief) هم در ایجاد نواحی مرتفع (تغذیه کننده) و هم در ایجاد نواحی پست که در آنجا خروج آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد مؤثر است (Ford and Williams 1989).

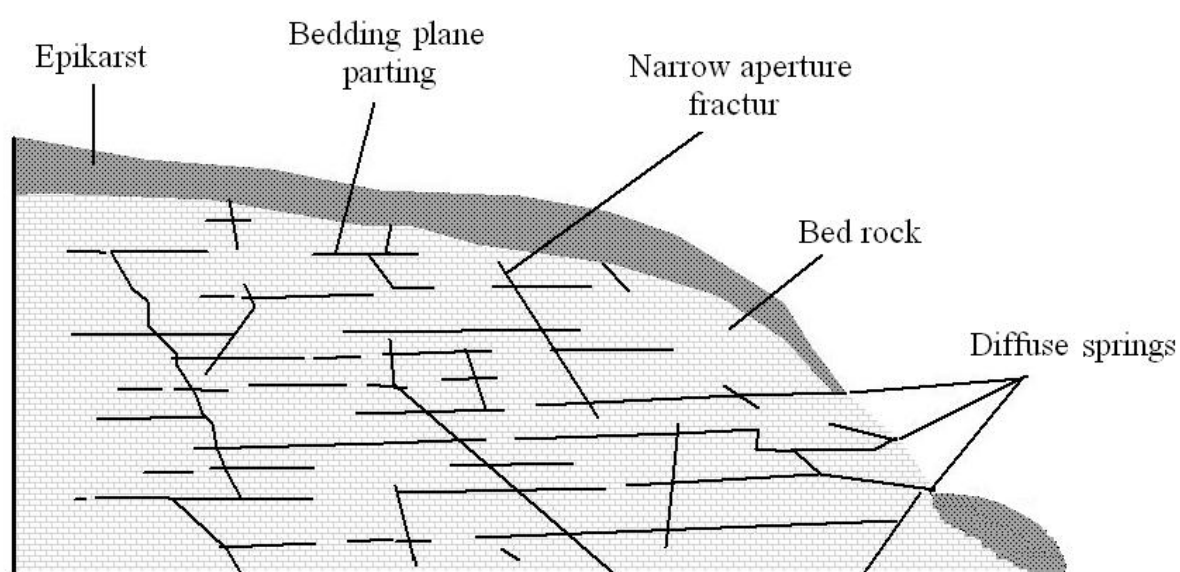
۲-۵- ناهمگنی و ناهم‌سویی در سفره‌های کارستی

جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی از طریق خلل و فرج، شکستگی‌ها، مجاری لوله‌مانند و دیگر مجاری بزرگ منتقل می‌شود. به این دلیل که شبکه انتقال دهنده آب معمولاً به طور یکنواختی توزیع نمی‌شوند، سفره‌های کارستی عموماً ناهمگن و ناهم‌سو هستند. به طور کلی در داخل کارست دو نوع جریان آب زیرزمینی وجود دارد. نوع اول، جریانی است که از مجاری، درزه و شکاف‌های با بازشدگی نسبتاً زیاد (بزرگتر از یک سانتیمتر) عبور می‌کنند. این نوع جریان متلاطم است و به آن جریان مجرای (Conduit flow) گفته می‌شود (Karami 2002). شکل (۲-۲) جریان مجرای در سیستم سفره کارستی را نشان می‌دهد. این نوع جریان در سیستم سفره‌های کارستی مشابه با جریان آب در سیستم‌های لوله‌ای (Pipe systems) می‌باشد.

از ویژگی‌های مهم این جریان درجه ناهمگنی بالا و درجه اتصالات اندک شبکه انتقال دهنده آب می‌باشد (Shuster and White 1971). نوع دوم جریان از داخل درزه و شکاف‌های کوچک و با بازشدگی نسبتاً کم (کوچکتر از یک سانتیمتر) و خلل و فرج به هم پیوسته عبور می‌کنند. این نوع جریان عموماً به صورت خطی می‌باشد، که از قانون دارسی تبعیت می‌کند و به آن جریان افشان (Diffuse flow) می‌گویند (Karami 2002). شکل (۲-۳) جریان افشان در سیستم سفره کارستی را



شکل ۲-۲- جریان مجرای در سیستم سفره کارستی (Atkinson and shmith 1961)



شبهه جریان افشان در سیستم سفره کارستی (Karami 2002).

نشان می‌دهد.

۲-۶- چشمه‌های کارستی

چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان‌های کارستی است که بهره برداری از آن‌ها در مقایسه

با استحصال آب از طریق حفاری و پمپاژ به مراتب آسانتر و کم هزینه تر است و به لحاظ نقشی که این منابع طبیعی از دیرباز در تأمین آب شرب و کشاورزی داشته و دارند از اهمیت فراوانی برخوردارند و در حال حاضر نیز آب مورد نیاز برخی از مناطق کشور از طریق همین چشمه‌ها تأمین می‌گردد و تغییرات آبدهی آنها مستقیماً در چگونگی و میزان بهره برداری از این منابع مؤثر است. از این رو شناخت رژیم این تغییرات به خصوص در دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت خشکسالی نقش مهمی در برنامه ریزی و بهره برداری بهینه از این منابع دارد (رضایی ۱۳۷۹).

معمولاً چشمه‌های کارستی به دلیل قدرت نفوذ یا تراوش (infiltration) بالایی که سنگ‌های کارستی دارند، بزرگتر و دائمی‌تر از چشمه‌های واقع در سایر نواحی‌اند. دبی چشمه‌ها در سازندهای کارستی به بیش از ده‌ها متر مکعب در ثانیه می‌رسد (Atkinson and Shmith 1961). آبدهی چشمه‌ها در آبخوان‌های مختلف بسیار متفاوت می‌باشد و از کمتر از ۰/۰۰۱ در ثانیه تا بیشتر از ۱۰۰۰۰ لیتر در ثانیه متغیر است. آبدهی چشمه‌ها عمدتاً به وسعت حوضه آبرگیر چشمه، تغذیه سالانه در حوضه آبرگیر و تراوایی آبخوان وابسته می‌باشد. بزرگترین چشمه‌های دنیا در آبخوان‌های کارستی واقع شده‌اند (Milanovic 1981).

جاکبسن و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) ضریب تغییرات آبدهی را برای چشمه‌های کارستی دره Nittany محاسبه نمود اند. بر اساس مطالعات آنها ضریب تغییرات آبدهی چشمه‌های با سیستم جریان مجرای بزرگتر از ۱۵۰ درصد و برای چشمه‌های مجرای - افشان بزرگتر از ۴۰ درصد و برای چشمه‌های افشان کمتر از ۳۰ درصد برآورد شده است.

تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی بسیار متفاوت است و از آن به عنوان یکی از پارامترهای مهم در شناخت نوع سیستم جریان در آبخوان‌های کارستی استفاده می‌شود. مهم‌ترین پارامتری که تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تراوایی آبخوان است. به این ترتیب که هرچه تراوایی آبخوان کارستی که از نوع تراوایی ثانویه است، بیشتر باشد تغییرات آبدهی چشمه بیشتر و هرچه تراوایی آن کمتر باشد تغییرات آبدهی چشمه کمتر خواهد بود. در حقیقت تغییرات آبدهی

چشمه‌های کارستی، یک معیار مهم برای تفکیک آبخوان‌های کارستی با سیستم غالب جریان مجرای (Conduit flow) از آبخوان‌های کارستی با سیستم غالب جریان افشان (Diffuse flow) است. به این ترتیب که در سیستم جریان مجرای، تغییرات آبدی چشمه‌ها بسیار زیاد می‌باشد در حالی که تغییرات آبدی در سیستم جریان افشان بسیار اندک می‌باشد (کرمی و همکاران ۱۳۸۷).

بررسی‌های هیدروژئولوژی در سازندهای کارستی نشان می‌دهد که تغییرات آبدی این چشمه‌ها تحت تأثیر عواملی مانند درجه کارست شدگی، میزان بارش و شدت آن، وسعت و نوع سازند کارستی و حوضه آبرگیر چشمه هر منطقه می‌باشد و محاسبه ذخایر دینامیک و تغییرات آبدی این چشمه‌ها در طول زمان و در بارش‌های متفاوت و همچنین تعیین زمان مرگ چشمه در شرایط خشکسالی تنها با ارزیابی متغیرهای فوق امکان پذیر است (رضایی ۱۳۷۹).

از میان عوامل مؤثر در آبدی چشمه‌های کارستی، میزان بارندگی بیشترین اهمیت را دارد و یکی از ویژگی‌های مهم چشمه‌های کارستی وابستگی مستقیم آنها با میزان بارندگی در طول سال است. به طوری که در فصول خشک سال میزان آبدی کاهش یافته و در فصول مرطوب بر میزان آن افزوده می‌گردد اما این رابطه مستقیم در همه چشمه‌های کارستی یکسان و مشابه نیست به طوری که در برخی از آنها بلافاصله در آبدی چشمه نمایان می‌گردد اما در برخی دیگر این اثر با تأخیر ظاهر می‌شود که در واقع تأثیر بارش بر آن دیرتر ظاهر گشته و آبدی حداقل و حداکثر چشمه در طول زمان به هم نزدیکتر است و بر عکس هر چه حوضه آبرگیر چشمه محدودتر باشد اثر بارش بر آبدی آن سریعتر و بیشتر بوده و تفاوت حداقل و حداکثر آبدی چشمه بیشتر خواهد بود. جدول شماره (۱-۲) حوضه آبرگیر و آبدی حداقل، حداکثر و متوسط برخی از چشمه‌های کارستی مهم جهان را نشان می‌دهد. مثلاً در مورد چشمه‌های بونا (Bona) و بونیکا (Bonica) در هرزوگوین چنانچه ملاحظه می‌گردد محدود بودن حوضه آبرگیر آنها که به ترتیب ۱۱۲ و ۵۱۲ کیلومتر مربع می‌باشد باعث شده که اختلاف آبدی حداقل و حداکثر در آنها بسیار زیاد باشد، در حالی که در مورد چشمه دومانلی در ترکیه که وسعت حوضه آبریز آن ۲۸۰۰ کیلومتر مربع است، این اختلاف بسیار کمتر است. از طرفی

توزیع بارش در طول سال و در دوره‌های خشک و مرطوب نیز در این امر مؤثر است. به طوری که در مورد چشمه‌های واقع در هرزگوین به دلیل تمرکز اصلی بارندگی‌ها در ماه‌های زمستان، بیشترین آبدهی در این ماه‌ها رخ می‌دهد در حالی که در تابستان چون بارش اندک است، آبدهی بسیار اندک می‌باشد (Milanovic 1997).

تأثیر عواملی مانند درجه کارست شدگی، میزان بارش و شدت آن، وسعت و نوع سازند کارستی و حوضه آبرگیر چشمه هر منطقه می‌باشد و محاسبه ذخایر دینامیک و تغییرات آبدهی این چشمه‌ها در طول زمان و در بارش‌های متفاوت و همچنین تعیین زمان مرگ چشمه در شرایط خشکسالی تنها با ارزیابی متغیرهای فوق امکان پذیر است (رضایی ۱۳۷۹).

جدول ۱-۲- آبدهی برخی از چشمه‌های کارستی مهم جهان (Milanovic 1997)

نام چشمه	محل	آبدهی حداقل (m ³ /s)	آبدهی حداکثر (m ³ /s)	آبدهی متوسط (m ³ /s)	حوضه آبرگیر (km ²)
دومانلی	ترکیه	۲۵	۱۰۰	۵۰	۲۸۰۰
مانالی	گینه جدید	۲۰	۲۴۰	۹۰	۳۵۰
واکلز	فرانسه	۴/۵	۲۰۰	۲۹	۲۱۰۰
تیسو	چین	۴	۵۴۵	۳۸	۱۰۰۴
تیمائو	ایتالیا	۹	۱۳۰	۱۷/۴	۹۸۰
تریسینیکا	هرزگوین	۲	۳۰۰	۸۰	۱۱۴۴
آمبلا	کرواسی	۲/۳	۱۵۴	۳۳/۸	۶۰۰
لوبلانیکا	اسلوانی	۴/۲۵	۱۳۲	۳۹	۱۱۰۰
بونا	هرزگوین	۲/۹۵	۱۲۳	۲۳/۷	۱۱۲
بونیکا	هرزگوین	۰/۷۲	۲۰۷	۲۰/۲	۵۱۲
چینگ شویی	چین	۴	۳۹۰	۳۳	۱۰۴۰

بر اساس مطالعات شولر (Schoeller 1948، نقل از رضایی ۱۳۷۹) تخلیه آب چشمه‌های کارستی در

دوره‌های خشک که بارندگی وجود ندارد تحت رژیم خاص و قابل پیش بینی صورت می‌پذیرد که در این دوره تخلیه در اثر حذف عامل بارش سایر عوامل از جمله وسعت حوضه آبرگیر، درجه کارست شدگی و غیره اثر خود را نمایان می‌سازند. بنابراین با رسم نمودار آبدهی چشمه در دوره خشک می‌توان رژیم تخلیه آب هر چشمه کارستی که ناشی از تأثیر عوامل فوق‌الذکر است را تعیین نمود. بهترین زمان برای این بررسی پس از باران‌های بهاری و شروع دوره خشک تا پایان آن و آغاز سال آبی جدید است. نمودار آبدهی چشمه در این دوره بر روی یک دستگاه محورهای مختصات نیمه لگاریتمی رسم می‌گردد. ایشان فرمول زیر را براساس محاسبات و تجربیات خود برای بررسی رژیم تخلیه چشمه‌های کارستی در دوره خشک ارائه داده است.

$$Q_t = Q_0 e^{a(t-t_0)} \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

که در آن:

$$Q_t = \text{آبدهی چشمه در زمان } t \text{ بر حسب } m^3/s$$

$$Q_0 = \text{آبدهی چشمه در زمان } t_0$$

$$t_0 = \text{زمان شروع محاسبه تخلیه آب چشمه}$$

$$t = \text{زمان پایان دوره محاسبه}$$

$$e = \text{پایه لگاریتم طبیعی است.}$$

با رسم نمودار یا رسم منحنی فروکش آبدهی چشمه در طول دوره خشک، معمولاً چند ضریب تخلیه را می‌توان بر روی منحنی مشاهده نمود، که از طریق فرمول فوق قابل محاسبه است. به عبارتی هر یک از ضرایب تخلیه نشانگر یک رژیم تخلیه می‌باشد. معمولاً بخشی از منحنی که بیشترین ضریب تخلیه را دارد مربوط به رژیم تخلیه آب از طریق کانال‌ها و مجاری بزرگ در سیستم کارست و بخش با کمترین ضریب مربوط به عبور آب از معابر باریکتر و منافذ کوچکتر است. با داشتن ضرایب تخلیه می‌توان حجم ذخائر دینامیکی یک چشمه کارستی (V) و همچنین زمان خشک شدن (t) آن را در صورت ادامه دوره خشک، با فرمول‌های زیر محاسبه نمود:

$$V = 86400 (Q_{01}/a_1 + Q_{02}/a_2 + \dots) \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

$$t = (\log Q_0 - \log Q_t) / (0.4343 a) \quad \text{معادله (۵-۲)}$$

به عبارت دیگر با بررسی رژیم تخلیه یک چشمه کارستی می‌توان حجم ذخائر آنرا که در طول زمان در دوره خشک تخلیه می‌گردد را محاسبه نمود و همچنین پیش‌بینی کرد که در صورت بروز خشکسالی در چه زمانی چشمه خشک خواهد شد که داشتن دو پارامتر فوق می‌تواند به برنامه ریزی جهت استفاده بهینه از آب کمک شایانی بنماید. به طور کلی ترکیب شیمیایی بارندگی، نوع جریان، آلودگی بشری، لیتولوژی و نفوذ آب شور از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت آب چشمه‌های کارستی عنوان شده‌اند (Hem 1989, Guller and Thyn 2004, Appelo and Postma 2005).

۲-۷- اثر لیتولوژی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی

هم (HEM 1989) معتقد است که لیتولوژی سازندی که آب با آن در تماس است، تأثیر بسزایی بر غلظت یون‌های اصلی دارد. در شرایط طبیعی هر سنگی دارای قابلیت انحلال معینی می‌باشد که بیش از آن نمی‌تواند حل شود. برای سنگ‌های آهکی و دولومیتی نیز این مقدار ثابت است و در طبیعت می‌تواند تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد (Ford and Williams 1989). بر اساس مطالعات برخی از محققین (آقامحمدی اقدم و همکاران ۱۳۸۴) حداکثر ظرفیت انحلال برای آهک و دولومیت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، گچ ۲۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نمک ۳۶۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

۲-۸- ارتباط هیدروژئوشیمی با توسعه کارست

دانشمندان بر اساس نیازهای خود به نحوی از روش‌های مختلفی جهت شناخت سیستم یک حوضه کارستی استفاده کرده‌اند که یکی از مهم‌ترین روش‌ها، بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی می‌باشد. امروزه بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی، یکی از ارزانتین و امکان‌پذیرترین روش‌های مطالعه آب‌های زیرزمینی نسبت به سایر روش‌ها در سفره‌های

کارستی می‌باشد. با توجه به خصوصیات فیزیکیوشیمیایی چشمه‌ها می‌توان به بعضی از خصوصیات مسیر حرکت آب و نوع سیستم جریان غالب پی برد. در چهار دهه‌ی گذشته، به منظور شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی لایه‌های آبدار کارستی در مناطق مختلف، مطالعات متعددی در زمینه‌ی بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در مناطق کارستی صورت پذیرفته است. این مطالعات در اواسط قرن بیستم با کار دانشمندانی چون زولت (Zolt 1960)، گارلز و کریست (Garrels and Christ 1965)، گامز (Gams 1966) و پیتی (Pitty 1966,1968) آغاز شده است. مبنای مطالعات مذکور بررسی تغییرات زمانی 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. تجزیه و تحلیل کموگراف چشمه‌ها به طور قابل توجهی در آبخوان‌های کارستی انجام شده و با توجه به این تجزیه و تحلیل‌ها اطلاعات بسیار مفیدی درخصوص شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان به دست آمده است. گرل و کریس (Garrels and Christ 1965) جریان زیرزمینی در سنگ‌های کربناته را به جریان‌های باز و بسته تقسیم نمودند. در جریان‌های باز میزان گاز دی‌اکسید کربن مورد نیاز جهت انحلال کربنات کلسیم محدودیتی ندارد، در حالیکه در جریان‌های بسته اینطور نیست. وایت و اشمیت (White and Schmidt 1966) بر اساس رفتار فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها جریان‌های کارستی را به دو نوع مجرای و افشان تقسیم نموده‌اند. شاخص‌ترین تحلیل کموگراف چشمه‌ها مربوط به کار شاستر و وایت (Shuster and White 1971) می‌شود. آنها تغییرات دما، هدایت الکتریکی، یون‌های کلسیم، منیزیم، بیکربنات و بده را یک سال اندازه‌گیری کرده و سپس تغییرات فصلی را مورد بررسی قرار داده و چشمه‌های منطقه مورد مطالعه را بر اساس زمین‌شناسی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جریان، پستی و بلندی، وجود یا عدم وجود فروچاله، غار و سایر پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست، به جریان‌های مجرای و افشان تقسیم نموده‌اند.

در این تقسیم‌بندی، در سیستم‌های با جریان افشان آب به صورت خطی از میان شکستگی‌های متصل به هم کوچکتر از یک سانتی‌متر حرکت می‌کند، در این نوع جریان خروجی به صورت چشمه‌های متعدد، پراکنده و با آبدهی کم می‌باشند. هدایت الکتریکی در این مناطق به صورت یکنواخت می‌باشد، همچنین تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندک می‌باشد. تغذیه سیستم به طور مستقیم از طریق درزه‌ها و شکاف‌های کوچک موجود در سنگ‌های کربناته و توده‌های خاک روی آنها صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل در این جریان‌ها، کمتر از ۵ درصد می‌باشد و در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها، هیچ نوع پدیده ژئومورفولوژیکی کارستی از قبیل غار و فروچاله مشاهده نمی‌گردد. در حالی که در سیستم‌های با جریان‌های مجرای، آب به صورت متلاطم، از درون مجاری و کانال‌های بزرگتر از یک سانتی‌متر تا یک متر، به صورت متمرکز حرکت نموده و عمدتاً در یک چشمه بزرگ تخلیه می‌شوند. تغذیه این جریان‌ها از طریق فروچاله‌ها و درزه‌های بزرگ موجود در سنگ‌های فاقد پوشش خاک و گیاه صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل برای جریان‌های مجرای در محدوده ۱۰ تا ۲۴ درصد متغیر است. در جریان‌های افشان تغییرات مقدار مواد محلول نسبت به زمان به علت تماس بیشتر در مقایسه با جریان‌های مجرای کمتر بوده، ولیکن کل مواد جامد محلول در آنها بیشتر می‌باشد. همچنین چشمه‌های با جریان افشان نسبت به کلسیت نزدیک اشباع، ولی چشمه‌های با جریان مجرای شدیداً تحت اشباع می‌باشند. ترنان (Ternan 1972)، اد (Ede 1972) و نیوسن (Newson 1971) تقسیم‌بندی مذکور را تأیید کرده‌اند.

جاکوبسن و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) به منظور تعیین نوع جریان در چشمه‌های افشان و مجرای منطقه پنسیلوانیای آمریکا روابط زیر را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند: الف- رابطه بین بارندگی و بده چشمه‌ها ب- منبع و محل تغذیه آب‌های زیرزمینی، زمان اقامت آب درآبخوان و تغییرات کیفیت شیمیایی چشمه‌ها نسبت به زمان ج- زمان تغییرات بده و کیفیت چشمه‌ها پس از هر بارندگی. در نهایت این دو محقق بر اساس مطالعات خود بر روی چشمه‌های منطقه این چشمه‌ها را به چهار دسته‌ی مجرای، مجرای - افشان، افشان و افشان نوع گیتزبرگ (Gatesburg) تقسیم‌بندی

نمودند که مشخصات هر یک از آنها در جدول (۲-۲) به صورت خلاصه ارائه گردیده است. آنها ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی را برای دو چشمه که یکی دارای جریان افشان و دیگری دارای جریان مجرای بوده است را محاسبه کرده‌اند. همان‌طور که در جدول (۲-۳) مشاهده می‌شود، تغییرات کلیه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در چشمه‌هایی که به وسیله سیستم افشان تغذیه می‌شوند به طور قابل توجهی در مقایسه با چشمه‌هایی که سیستم مجرای در آنها غالب است، پایین‌تر می‌باشد. اختلاف ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بین دو سیستم جریان افشان و مجرای به ویژه در خصوص ضریب تغییرات مربوط به دبی چشمه، درجه حرارت و هدایت الکتریکی آب بسیار مشهود است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در چشمه با جریان مجرای، ضریب تغییرات در همه موارد، به جزء در مورد آنیون‌های کلر و سولفات، بالاتر از نوع افشان است.

رئیزی و کرمی (Raeisi and Karami 1996) پیشنهاد نمودند که فاکتورهای حاکم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی را می‌بایست به دو دسته فاکتورهای خارجی و داخلی تقسیم‌بندی نمود. آنها اظهار داشتند، در سفره‌های کارستی توسعه یافته، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جریان کارستی تحت تاثیر فاکتورهای داخلی و خارجی می‌باشد. برعکس، در سفره‌های کارستی توسعه نیافته، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جریان کارستی عمده‌تاً تحت تاثیر فاکتورهای داخلی است.

بر اساس مطالعات کرمی (۱۳۸۸) که در خصوص تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

جدول ۲-۲- تقسیم بندی چشمه‌های کارستی (Jacobson and Langmuir 1974)

نوع سیستم	منبع تغذیه	ضریب تغییرات بده	ضریب تغییرات هدایت الکتریکی	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)
مجرائی	جریان‌های فرورو	$C.V > 150$	$C.V < 200$	$EC < 300$
مجرائی - افشان	فروچاله و سیستم درزه و شکاف	$C.V > 40$	$10 < C.V < 20$	$300 < EC < 400$
افشان	بستر دره‌های	$C.V < 30$	$C.V < 10$	$400 < EC < 600$
افشان نوع گیتزبورگ	-	-	$pH < 7.8$	$260 < EC < 300$

جدول ۲-۳- ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌های کارستی (Jacobson and Langmuir 197)

پارامتر	جریان مجرای (Rock spring)	جریان افشان (Thomson spring)
دما	۲۶/۹	۱/۴
کلسیم	۲۵/۵	۶/۴
منیزیم	۲۷/۶	۲/۰
سختی کل	۲۶/۰	۴/۸
سدیم	۲۵/۹	۲۴/۳
پتاسیم	۱۶/۰	۹/۸
بیکربنات	۲۸/۶	۲/۷
سولفات	۱۲/۷	۱۷/۸
کلر	۱۷/۷	۲۹/۰
نیتрат	۳۲/۰	۱۹/۹
هدایت ویژه	۲۳/۰	۶/۲
اسیدیته	۱/۷	۰/۶
آبدهی	۱۷۵/۰	۲۶/۳
SI _C	۱۸/۴	۱۶/۱
P _{CO2}	۸/۷	۲/۴

جدول ۲-۴- ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌های کارستی (کرمی ۱۳۸۸)

پارامتر	سیستم جریان افشان	سیستم جریان مجرای
دبی	کمتر از ۳۰ درصد	بیشتر از ۳۰ درصد
درجه حرارت آب	کمتر از ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد
هدایت الکتریکی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
pH	کمتر از ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد
دی اکسید کربن محلول	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
سختی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
کاتیونها و آنیونهای اصلی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد

چشمه کارستی چشمه علی دامغان انجام شده است، حدود ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای دو سیستم کارستی افشان و مجرای به طور خلاصه در جدول (۲-۴) ارائه شده است.

الف) بررسی تغییرات دمای آب

اندازه‌گیری دقیق دمای آب زیرزمینی در بسیاری از تحقیقات آب‌های زیرزمینی حائز اهمیت است. بررسی تغییرات دمای آب زیرزمینی در چشمه‌ها و چاه‌ها برای اهداف مختلفی بکار گرفته شده است که مهم‌ترین آنها بررسی جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. دمای آب زیرزمینی ممکن است با توجه به عمق آب زیرزمینی تغییراتی را در طول فصول مختلف شامل شود.

معمولاً نوسانات فصلی دما ممکن است تا عمق حدود ۱۰ الی ۲۰ متر بر آب زیرزمینی تأثیر بگذارد و پایین تر از این اعماق، دمای آب زیرزمینی معمولاً ثابت بوده و برابر با دمای متوسط سالانه منطقه می‌باشد. به علت شیب زمین گرمایی، دمای آب‌های زیرزمینی با افزایش عمق زیاد می‌شود. به این ترتیب که به ازای هر صد متر افزایش عمق آب‌های زیرزمینی، دمای آب حدود ۱ تا ۵ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند.

به منظور بررسی تغییرات دمای آب در چشمه‌های کارستی بایستی از دماسنج‌های دقیق استفاده نمود، زیرا این تغییرات نسبتاً اندک بوده و حدود چند دهم درجه سانتیگراد است. تغییرات دمای آب چشمه‌های کارستی به سه عامل دمای آب زیرزمینی، عمق و اندازه جریان آب زیرزمینی و درجه کارستی شدن آبخوان بین گستره سطحی و جریان آب زیرزمینی؛ بستگی دارد.

بر اساس مطالعات انجام شده مقدار دمای چشمه‌های کارستی از حداقل ۴/۹ تا ۱۷/۸ درجه سانتیگراد متغیر می‌باشد (Ede 1972, Cowell and Ford 1983). مهم‌ترین عاملی که بر تغییرات دمای آب در آبخوان‌های کارستی تأثیرگذار است، نوع سیستم جریان است. کول و فرد (Cowell and Ford 1983) در مطالعاتشان در منطقه انتاریای کانادا به این نتیجه رسیدند که تغییرات دمای آب در چشمه‌های با سیستم جریان مجرای برابر با ۵/۹ و در چشمه‌های با سیستم جریان افشان برابر با ۱/۳۲ درجه سانتیگراد بوده است. جاکبسن و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) ضریب تغییرات را برای

بعضی از پارامترهای اصلی در چشمه‌های با سیستم‌های مختلف جریان محاسبه نموده‌اند و ذکر کرده‌اند که ضریب تغییرات دمای آب برای تشخیص نوع سیستم کارستی بهترین شناساگر است. آنها ملاحظه نمودند که ضریب تغییرات دما در چشمه‌های کارستی مجرای در منطقه مورد مطالعه ۲۶/۹ و در چشمه‌های افشان ۱/۴ درصد می‌باشد.

کرمی (۱۳۸۳) در بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان که از نوع کاملاً افشان است ضریب تغییرات دمای آب را برای این چشمه ۱/۳۸ درصد بدست آورده است. به طور کلی ملاحظه می‌شود که در چشمه‌های کارستی با سیستم جریان افشان، ضریب تغییرات دمای آب کمتر از ۵ درصد و در چشمه‌های کارستی با سیستم جریان مجرای بزرگتر از ۵ درصد است.

ب) بررسی تغییرات هدایت الکتریکی آب

هدایت الکتریکی آب با کل املاح محلول در آب رابطه مستقیمی دارد. از آنجایی که این پارامتر به عنوان نماینده مناسبی از کل املاح محلول آب بوده و به آسانی توسط یک هدایت سنج الکتریکی با دقت بسیار بالا قابل اندازه‌گیری است، یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در مطالعات منابع آب به شمار می‌رود. محدوده تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان‌های کارستی در مقایسه با آبخوان‌های آبرفتی به طور قابل‌توجهی کمتر است و مقدار آن معمولاً از حدود ۲۰۰ تا چند صد میکروموس بر سانتیمتر متغیر است. هدایت الکتریکی چشمه‌های کارستی در مناطق ایران معمولاً کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر است (Raeisi and Moore 1993). مقدار هدایت الکتریکی در آبخوان‌های کارستی اساساً تحت تأثیر خصوصیات سیستم ورودی و آبخوان کارستی می‌باشد. خصوصیات سیستم ورودی عمدتاً شامل، وجود یا عدم وجود فروچاله‌ها و گودی‌های مسدود، درصد پوشش خاک و ضخامت آن، گسترش درزه‌ها و شکستگی‌های ساختاری و توسعه حفرات و مجاری انحلالی می‌شود. خصوصیات آبخوان عمدتاً شامل لیتولوژی، شکل و اندازه آبخوان و سیستم غالب جریان در آن می‌باشد. معمولاً ضریب تغییرات هدایت الکتریکی در سفره‌های کارستی با جریان‌های مجرای و افشان به ترتیب بیشتر و کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد (Newson 1971, Scanlon and Thrailkill 1987, Raeisi and Karami 1996, 1997).

در یک سیستم تیپیک، 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 براساس مدل ارائه شده توسط دسمارایس و روجستاکزر (Desmarais and Rojstaczer 2002) تغییرات هدایت الکتریکی سه مرحله (افزایش، سپس کاهش و مجدداً روند افزایشی) را از خود نشان می‌دهد که شامل:

۱- افزایش هدایت الکتریکی چشمه بعد از بارندگی (Flashing period)، بیرون رانده شدن آب‌های قبلی ناحیه اپی کارست یا فراتیک عمیق که زمان ماندگاری زیاد داشته و املاح بیشتری را در خود حل کرده اند.

۲- مرحله رقیق شدگی (Dilution period)، در این مرحله هدایت الکتریکی شروع به کاهش نموده و به حداقل می‌رسد که نشانگر حداکثر مشارکت آب بارندگی در آبدهی چشمه است.

۳- دوره برگشت (Recovery period)، در این دوره هدایت الکتریکی به تدریج افزایش می‌یابد و تا بارش یا بارش‌های بعدی این روند ادامه دارد. در این مرحله آب در ورودی بارندگی به سیستم کارستی فرصت کافی برای تعادل رسیدن با سفره را داشته و به شرایط قبل از بارندگی نزدیک می‌گردد.

مطالعات ایزوتوپی نشان داده است که مقداری رقیق شدگی در ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های کارستی در طول فصل بارش صورت می‌گیرد که این رقیق شدگی به دلیل مشارکت آب‌های بارندگی با ترکیب ایزوتوپی سبکتر در آبدهی چشمه است و در طول فصل خشک غنی شدگی ترکیب ایزوتوپی اتفاق می‌افتد (Abbot et al. 2000, Ferdrickson and Criss 1999).

در حوضه‌های کارستی وسیع که شکل حوضه آبگیر باریک و کشیده می‌باشد، مولفه‌های مختلف جریان آب به طور هم‌زمان به چشمه نمی‌رسند. چنانچه هدایت الکتریکی و ترکیب ایزوتوپی در چنین چشمه‌هایی در فصل خشک دارای روند نزولی باشد، بیانگر پیوستن آب مجرای نواحی دوردست در طی این دوره می‌باشد. در این سیستم‌ها چنانچه جریان مجرای حاکم باشد، تاخیر در پیوستن آب‌های دوردست باعث رفتاری شبیه سفره‌های افشان می‌شود. چنین سیستم جریانی که دارای

ماهیت جریان مجرای و ظاهری به صورت جریان افشان می‌باشد، جریان افشان کاذب نامیده شده است (کریمی ۱۳۷۴).

پ) نسبت Ca/Mg

از نسبت Ca/Mg جهت شناسایی سازندهای آهکی از سازندهای دولومیتی استفاده می‌شود. چنانچه نسبت Ca/Mg در سفره‌های کارستی بین ۰ تا ۲ باشد، سازند دولومیتی و چنانچه از ۲ بیشتر باشد، سازند آهکی است و هر چه نسبت کلسیم به منیزیم بیشتر باشد سنگ آهک خالص‌تر است (Karami 2002). 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.

۲-۹- حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی

مساحت حوضه آبگیر و وضع هندسی آبخوان‌های کارستی عواملی هستند که در زمان و مکان تغییر می‌کنند و به شرایط هیدرولوژیکی بستگی دارند. کریمی (۱۳۷۶) به منظور محاسبه کمی مساحت حوضه آبگیر چشمه، روش محاسبه ذخیره دینامیک در آهک‌های کارستی را ارائه داد (شکل ۲-۴). در این روش منحنی فرود مربوط به هیدروگراف سال قبل از بیلان ترسیم شده و با استفاده از منحنی فرود چشمه مقدار حجم ذخیره دینامیک در ابتدا و انتهای سال بیلان محاسبه می‌گردد. تفاوت این دو مقدار به عنوان حجم آبی که در مخزن ذخیره شده یا از آن برداشت می‌گردد در نظر گرفته می‌شود (معادله ۲-۱). سپس مقدار تخلیه چشمه (Q_B) که ناشی از بارندگی‌های سال بیلان می‌باشد از معادله (۲-۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad \text{معادله (۲-۱)}$$

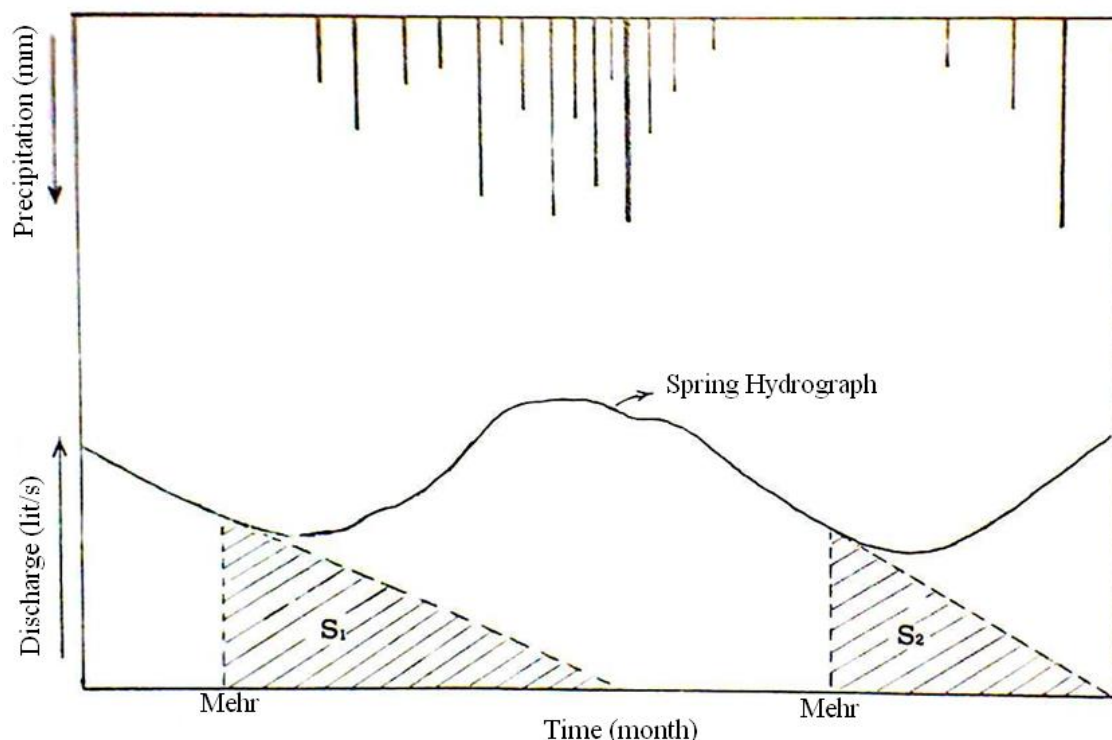
$$Q_B = Q_M - \Delta S \quad \text{معادله (۲-۲)}$$

که در این معادله Q_M میزان تخلیه چشمه در سال اندازه‌گیری بیلان می‌باشد. با استفاده از معادله

(۳-۲) مساحت حوزه آبرگیر مربوط به چشمه بر حسب کیلومتر مربع (A) بدست می آید. در این معادله P متوسط بارندگی منطقه به میلیمتر است.

$$QB=I.A.P$$

معادله (۳-۲)



شکل ۲-۴- محاسبه ذخیره دینامیک سفره (کریمی ۱۳۷۶)

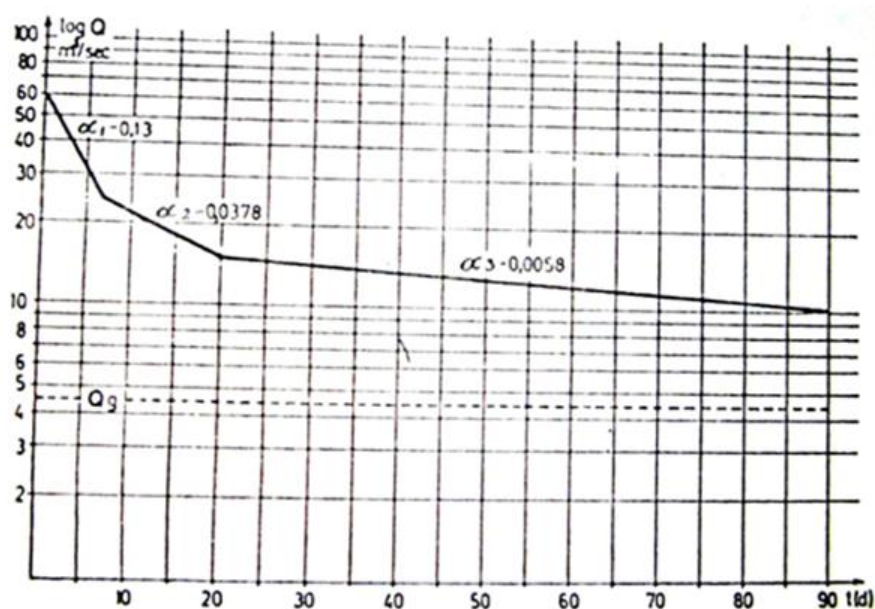
۲-۱۰- آبنمود و منحنی فرود چشمه‌های کارستی

آبنمود چشمه می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت هیدروژئولوژی آبخوان ارائه نماید. با استفاده از آبنمود چشمه‌ها می‌توان وضعیت تغذیه و تخلیه، تراوایی و ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان را به ویژه در سازندهای سخت ارزیابی نمود. بدین منظور منحنی فرود چشمه با استفاده از داده‌های مربوط به آبنمود چشمه تهیه می‌شود. به این ترتیب که شاخه نزولی آبنمود (از بده اوج به بعد) انتخاب شده و این داده‌ها در مقابل زمان در یک دستگاه مختصات نیمه‌لگاریتمی ترسیم می‌شوند. چنین نموداری به صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط

شکسته ایجاد شده به عنوان ضریب یا ضرایب بده در نظر گرفته می‌شود. ضریب بده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = (\log Q_0 - \log Q_t) / 0.4343(t_1 - t_0) \quad \text{معادله (۲-۴)}$$

که در این رابطه، α ضریب بده، Q_0 و Q_t بده های چشمه بر حسب مترمکعب بر ثانیه به ترتیب در زمان های t_0 و t_1 می‌باشد. ضریب بده میزان توانایی آبخوان در ذخیره سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال آبخوان می‌باشد. در آبخوان های کارستی توسعه یافته، منحنی فرود چشمه عمدتاً از سه رژیم با ضرایب بده متفاوت تشکیل می‌شود. با توجه به شکل (۲-۶) در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد و در این حالت جریان متلاطم غالب است و حجم زیادی از آب از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود. در رژیم دوم، تأمین آب چشمه از طریق شکاف های مرتبط که به طور نسبتاً کمتری کارستی شده اند، صورت می‌گیرد. در رژیم سوم، آب چشمه از داخل خلل و فرج ریزتر و درز و شکاف های با باز شدگی اندک تخلیه می‌شود (Milanovic 1981).



شکل ۲-۵- منحنی فرود چشمه Ombla (Milanovic 1981)

فصل سوم: روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

هدف از این مطالعه، بررسی توسعه کارست در سازندهای کارستی جنوب شرقی تاقدیس کبیرکوه ایلام است. چشمه‌های کارستی مهمی از تاقدیس کبیرکوه منشاء می‌گیرند که مهمترین آنها شامل سراب آبدانان، سراب دره‌شهر و سراب سیاه‌گاو می‌باشند. این بررسی از طریق مطالعه و تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه‌های مذکور انجام گرفته است. موقعیت چشمه‌های مورد مطالعه و مشخصات آنها در فصل یک ارائه گردیده است. دبی چشمه‌ها به صورت ماهانه اندازه‌گیری شده است. دوره نمونه‌برداری چشمه‌های مورد مطالعه نیز به این صورت بوده که از اوایل مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ از این چشمه‌ها هر ۴۵ روز یکبار نمونه برداری شده است. در هر بار نمونه برداری پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی (EC)، و اسیدیته (pH) در محل چشمه، اندازه‌گیری شده است. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه هیدروشنیمی سازمان آب منطقه‌ای ایلام، یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات و بیکربنات، کلرور و سولفات اندازه‌گیری شد. پس از دریافت نتایج آزمایشگاه پارامترهای آماری مانند درصد خطای آزمایش، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل، ضریب تغییرات و برخی از نسبت‌های یونی مانند نسبت Ca/Mg و اندیس‌های اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، ژپس (SI_g)، هالیت (SI_h) و انیدریت (SI_{an})

محاسبه شده است. سپس نمودارهای مربوطه بر داده‌های بدست آمده برازش داده شده است. در طول مطالعه، بارندگی در ایستگاه‌های موجود در منطقه ثبت شده است که از آنها نیز استفاده گردیده است.

۳-۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

در محدوده مورد مطالعه به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی مراحل زیر انجام شده است:

تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایلام و ۱:۲۵۰۰۰۰ دهلران.

زمین مرجع نمودن نقشه‌ها و در نتیجه موزائیک شدن آنها در محیط Arc View 3.2.

کارتوگرافی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از روی نقشه‌های بالا در نرم افزار مذکور.

۳-۳- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها

برای تشخیص نوع جریان آب در آبخوان‌های مورد مطالعه، مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در حوضه‌های سراب آبدانان، سراب دره‌شهر و سیاه‌گاو انجام گرفته است. همان‌طور که ذکر شد پاره‌ای از این مطالعات در صحرا و در محل چشمه‌ها و بخشی دیگر در آزمایشگاه انجام شده است.

۳-۳-۱- نمونه برداری

دستیابی به نتایج ارزنده و دقیق مستلزم نمونه برداری به روش صحیح می‌باشد که در بررسی کیفی و کمی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب‌ها نقش اساسی دارد. در نمونه برداری‌ها بایستی عواملی مانند محل نمونه برداری، فواصل نقاط نمونه برداری و ظروف و تجهیزات نمونه‌گیری، نحوه برداشت، ثبت اطلاعات، روش نگهداری و انتقال و فاصله زمانی بین نمونه برداری تا آزمایش مورد توجه قرار گیرد. در انتخاب محل نمونه‌ها سعی شده است که محل نمونه برداری به دهانه خروجی چشمه نزدیک بوده

تا ضمن کاهش میزان آلودگی، معرف بهتری از آب چشمه مورد مطالعه باشد. با توجه به اینکه تقریباً کیفیت آب خروجی از چشمه‌ها در تمام طول مظهر یکسان بوده، نمونه‌گیری تنها از یک محل انجام گرفته است. در صورتی که در طول مظهر، آب خروجی کیفیت متفاوت داشته باشد، در نمونه‌گیری بایستی در نظر گرفته شود. برای نمونه برداری از بطری‌های پلاستیکی مخصوص این کار با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر استفاده شده است. هنگام نمونه برداری، ظرف پلاستیکی و در پوش آن سه مرتبه با آب چشمه شستشوی داده شده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی پر شده است تا هیچ‌گونه حبابی در آن ایجاد نشود و اطراف محل برداشت گل آلود نگردد. بطری‌های مملو از آب چشمه در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه ارسال شده و بعد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری

در محل نمونه برداری خصوصیات فیزیکی شامل آبدهی چشمه‌ها، درجه حرارت آب و خصوصیات شیمیایی شامل اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) اندازه‌گیری شده است. روش اندازه‌گیری این خصوصیات به طور مختصر ارائه شده است:

الف) اندازه‌گیری بده

آنگونه که پیشتر ذکر شد، برخی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان در صحرا انجام شده است. یکی از این موارد دبی چشمه‌ها می‌باشد. منظور از دبی، حجم آبی است که در واحد زمان از مقطعی عمود بر مسیر جریان عبور کند. اگر سرعت متوسط جریان (V) و سطح مقطع جریان (A) اندازه‌گیری شود، مقدار دبی (Q) به وسیله فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$Q = V.A \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

در معادله (۱-۳) سرعت بر حسب متر در ثانیه، دبی بر حسب متر مکعب در ثانیه و سطح مقطع بر حسب متر مربع در نظر گرفته می‌شوند. سطح مقطع جریان و سرعت آب (با استفاده از دستگاه مولینه) اندازه‌گیری شده و دبی محاسبه شده است (شکل ۱-۳)



شکل ۳-۱- اندازه گیری بده در سراب آبدانان

ب) اندازه گیری هدایت الکتریکی

از آنجایی که هدایت الکتریکی آب ارتباط مستقیم با مقدار مواد جامد محلول در آب دارد، اندازه گیری آن امری بسیار مهم است. این ویژگی از آب چشمه ها نیز مانند مواردی که پیشتر بیان شد، در صحرا اندازه گیری شده است. برای این منظور از دستگاه Electric conductivity meter استفاده شده است. دقت اسمی این دستگاه ۱ میکروموس بر سانتیمتر می باشد (شکل ۳-۲).

ج) اندازه گیری اسیدیته (pH)

از دیگر خصوصیات آب چشمه ها که در محل اندازه گیری شده است می توان به اسیدیته (pH) اشاره نمود. این ویژگی از آب ها به عواملی مانند دی اکسید کربن محلول در آب، میزان آنیون های کربنات و بی کربنات و دمای آب بستگی دارد. به این شکل که هر قدر بر مقدار دی اکسید محلول در آب افزوده

گردد، میزان pH کمتر می‌شود. این خصوصیت از آب توسط pH متر اندازه گیری شده است. دقت اسمی این دستگاه ۰/۰۱ واحد می‌باشد. در روز نمونه برداری دستگاه pH متر با استفاده از بافرهای ۴ و ۷ کالیبره شده است (شکل ۳-۲).

د) اندازه گیری دما

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، دما یکی از پارامترهای مهم فیزیکی در مطالعه چشمه‌های کارستی و تعیین نوع جریان در آنها است. بنابراین همزمان با اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی چشمه‌ها، دمای آب چشمه‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد نیز در محل چشمه اندازه گیری است (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- اندازه گیری هدایت الکتریکی، اسیدیته و دما

۳-۳-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه

اندازه گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی شامل یون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلر برای کلیه نمونه‌ها در آزمایشگاه سازمان آب منطقه‌ای استان ایلام انجام شده است. پس از دریافت نتایج آزمایشگاه پارامترهای آماری مانند درصد خطای آزمایش، کل املاح جامد محلول، سختی کل، ضریب تغییرات و برخی از نسبت‌های یونی مانند نسبت Ca/Mg ، اندیس‌های اشباع کلسیت، آراگونیت، دولومیت، ژپس، هالیت و انیدریت و فشار جزئی دی‌کسید کربن محاسبه شده است. سپس نمودارهای مربوطه بر داده‌های بدست آمده برازش داده شده است.

الف) اندازه گیری یون‌های اصلی

به منظور اندازه گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه‌ها به آزمایشگاه هیدروشیمی سازمان آب منطقه‌ای ایلام ارسال شده‌اند. در این آزمایشگاه کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، و کلسیم و آنیون‌های کلر، کربنات، بی‌کربنات و سولفات با روش‌های شیمی اندازه گیری شده‌اند.

ب) محاسبه درصد خطای آزمایش

برای محاسبه درصد خطای آزمایش از معادله ۲-۳ استفاده شده است:

$$\text{Error}(\%) = (\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}) / (\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}) \times 100 \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

که در رابطه فوق مجموع کاتیون‌ها (Cations) و مجموع آنیون‌ها (Anions) بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است.

ج) سختی کل

برای محاسبه سختی کل نمونه‌های آب از معادله زیر می‌شود:

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

که در آن H مقدار سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. Ca و Mg به ترتیب غلظت‌های کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (صداقت، ۱۳۸۵).

د) کل مواد جامد محلول (TDS)

محاسبه کل مواد جامد محلول با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه TDS کل جامدات محلول در آب بر حسب میلی گرم در لیتر و $\sum \text{Ions}$ مجموع یون‌ها در نمونه آب بر حسب میلی گرم در لیتر می‌باشد.

و) محاسبه اندیس‌های اشباع و نسبت Ca/Mg

محاسبه اندیس‌های اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، ژیپس (SI_g)، هالیت (SI_h) و انیدریت (SI_{an}) با استفاده از مدل کامپیوتری PHREEQC interactive 2.6 انجام گرفته است. این مدل به عنوان ورودی غلظت یون‌های اصلی، میزان pH و درجه حرارت آب را لازم و پارامترهای فوق را محاسبه می‌نماید. نسبت Ca/Mg نیز محاسبه شده است که این پارامتر جهت شناسایی سازندهای آهکی از سازندهای دولومیتی استفاده می‌شود.

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌های فیزیکی و

شیمیایی چشمه‌ها و بررسی توسعه کارست

۴-۱- مقدمه

جهت بررسی توسعه کارست در جنوب شرق تاقدیس کبیرکوه، تغییرات زمانی کیفیت و کمیت آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال ۱۳۸۹ - ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده

به منظور بررسی توسعه کارست در جنوب شرق تاقدیس کبیرکوه، دبی چشمه‌ها به طور ماهانه و درجه حرارت آب، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و کل مواد جامد محلول (TDS) در محل چشمه‌ها و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام با دوره ۴۵ روزه، به مدت یک سال (مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹) اندازه‌گیری شده‌اند. برای تمام پارامترهای مذکور میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات محاسبه شده و نتایج حاصله در جداول مربوطه ارائه شده است و در ادامه این تغییرات تفسیر شده است. همچنین داده‌های باران سنجی منطقه مورد مطالعه در سال ۸۹ - ۱۳۸۸ از اداره هواشناسی استان ایلام اخذ شده و ارتباط این داده‌ها با پارامترهای مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است (جدول ۴-۱).

۴-۲-۱- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل اندازه‌گیری

همان‌طور که قبلاً ذکر شد برخی از پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده‌اند، در ادامه تغییرات زمانی این پارامترها به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲-۱-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها

آب‌نمود چشمه می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت هیدروژئولوژی آبخوان ارائه نماید. با استفاده از آب‌نمود چشمه‌ها می‌توان وضعیت تغذیه و تخلیه، تراوایی و ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان را به ویژه در سازندهای سخت ارزیابی نمود. میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات دبی چشمه‌ها محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

بر اساس مطالعات جاکبسن و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) ضریب تغییرات آبدی چشمه‌های با سیستم جریان مجرای بزرگتر از ۱۵۰ درصد و برای چشمه‌های مجرای - افشان بزرگتر از ۴۰ درصد و برای چشمه‌های افشان کمتر از ۳۰ درصد برآورد شده است. بر اساس مطالعاتی کرمی (۱۳۸۸) که در خصوص تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان انجام شده است، حدود ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای دو سیستم کارستی افشان و مجرای به ترتیب کمتر و بیشتر از ۱۰ درصد می‌باشد

الف) بررسی تغییرات زمانی دبی (آب‌نمود) چشمه آبدانان

چشمه آبدانان از سازندهای ایلام-سروک تخلیه می‌شود و متوسط دبی این چشمه برابر با ۶۶۹ لیتر در ثانیه می‌باشد. تغییرات زمانی دبی چشمه آبدانان در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸ مورد مطالعه و بر اساس داده‌های جدول (۴-۱) ترسیم شده است (شکل ۴-۱). با توجه به این ملاحظه می‌شود که یک همخوانی بین دبی و بارندگی منطقه تبعیت در آذرماه مشاهده می‌شود که ناشی از بارندگی‌های آبان‌ماه می‌باشد. همچنین درطول بارش‌های اردیبهشت ۱۳۸۹ دبی چشمه افزایش می‌یابد. میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات دبی این چشمه در جدول (۴-۱) ارائه شده است. بر اساس

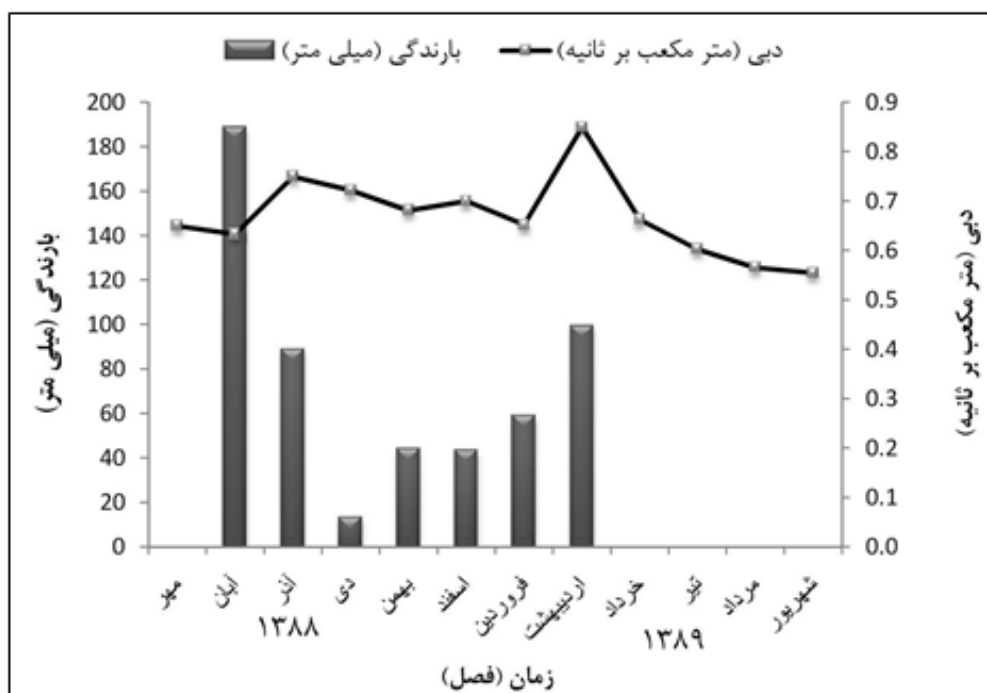
تقسیم‌بندی جاکبسن و لانگمویر (Jacobson and Langmuir 1974) و کرمی (۱۳۸۸) سیستم تخلیه این چشمه از نوع افشان – مجرای می‌باشد. با این تفصیل که غالب آب چشمه به صورت سیستم و رژیم افشان تامین می‌شود، اما باید عنوان کرد که یک سری مجاری هم در داخل سیستم وجود دارد که نقش انتقال آب از مناطق دور دست حوضه آبرگیر به چشمه را بازی می‌کنند.

ب) منحنی فرود و محاسبه ضرایب بده و مساحت حوضه آبرگیر چشمه آبدانان

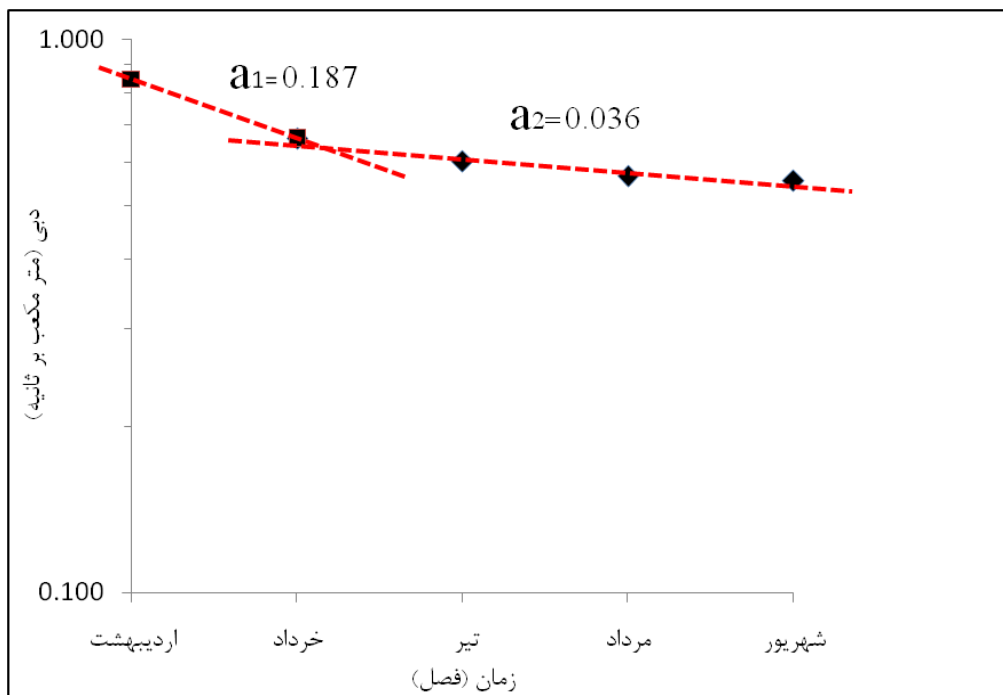
به منظور بررسی کمی تخلیه آب و همچنین برآورد ضریب یا ضرایب دبی چشمه، منحنی فرود چشمه با استفاده از داده‌های مربوط به هیدروگراف چشمه تهیه شده است (شکل ۴-۲). منحنی فرود چشمه از دبی حداکثر پایان دوره تر آغاز شده و تا زمان افزایش مجدد دبی در شروع دوره تر بعدی ادامه می‌یابد و در این مدت دبی چشمه از آب‌های ذخیره شده در سفره آبدار کارستی تأمین می‌گردد. این منحنی به صورت نیمه لگاریتمی است به این ترتیب که دبی در روی محور عمودی که لگاریتمی است در مقابل زمان در روی محور افقی (که خطی است) ترسیم می‌شود. در این نمودار روند داده‌ها به صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته ایجاد شده به عنوان ضریب یا ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شود. ضریب دبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$a = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)} \quad \text{معادله (۴-۱)}$$

که در این رابطه، ضریب بده Q_1 و Q_2 بده‌های چشمه بر حسب مترمکعب بر ثانیه به ترتیب در زمان‌های t_1 و t_2 می‌باشد. ضریب بده (α) میزان توانایی آبخوان در ذخیره‌سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال آبخوان می‌باشد. در آبخوان‌های کارستی توسعه‌یافته، منحنی فرود چشمه عمدتاً از سه رژیم با ضرایب بده متفاوت تشکیل می‌شود. در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد و در این حالت جریان متلاطم غالب است و حجم زیادی از آب از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود. در رژیم دوم، تأمین آب چشمه از طریق شکاف‌های



شکل ۴-۱- نمودار آبنمود چشمه آبدانان و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹



شکل ۴-۲- منحنی فرود چشمه آبدانان از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹

مرتبط که به طور نسبتاً کمتری کارستی شده‌اند، صورت می‌گیرد. در رژیم سوم، آب چشمه از داخل خلل و فرج ریزتر و درز و شکاف‌های با بازشدگی اندک تخلیه می‌شود (Milanovic 1981). این ضرایب برای سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ محاسبه شده است (شکل ۴-۲). با توجه به شکل (۴-۲) ملاحظه می‌شود که منحنی فرود چشمه آبدانان اساساً دارای دو شیب است و این شیب‌ها برابر با $\alpha_1 = 0.187$ و $\alpha_2 = 0.36$ می‌باشد. برای تعیین گنجایش دینامیکی سفره از معادله (۴-۲) استفاده می‌شود:

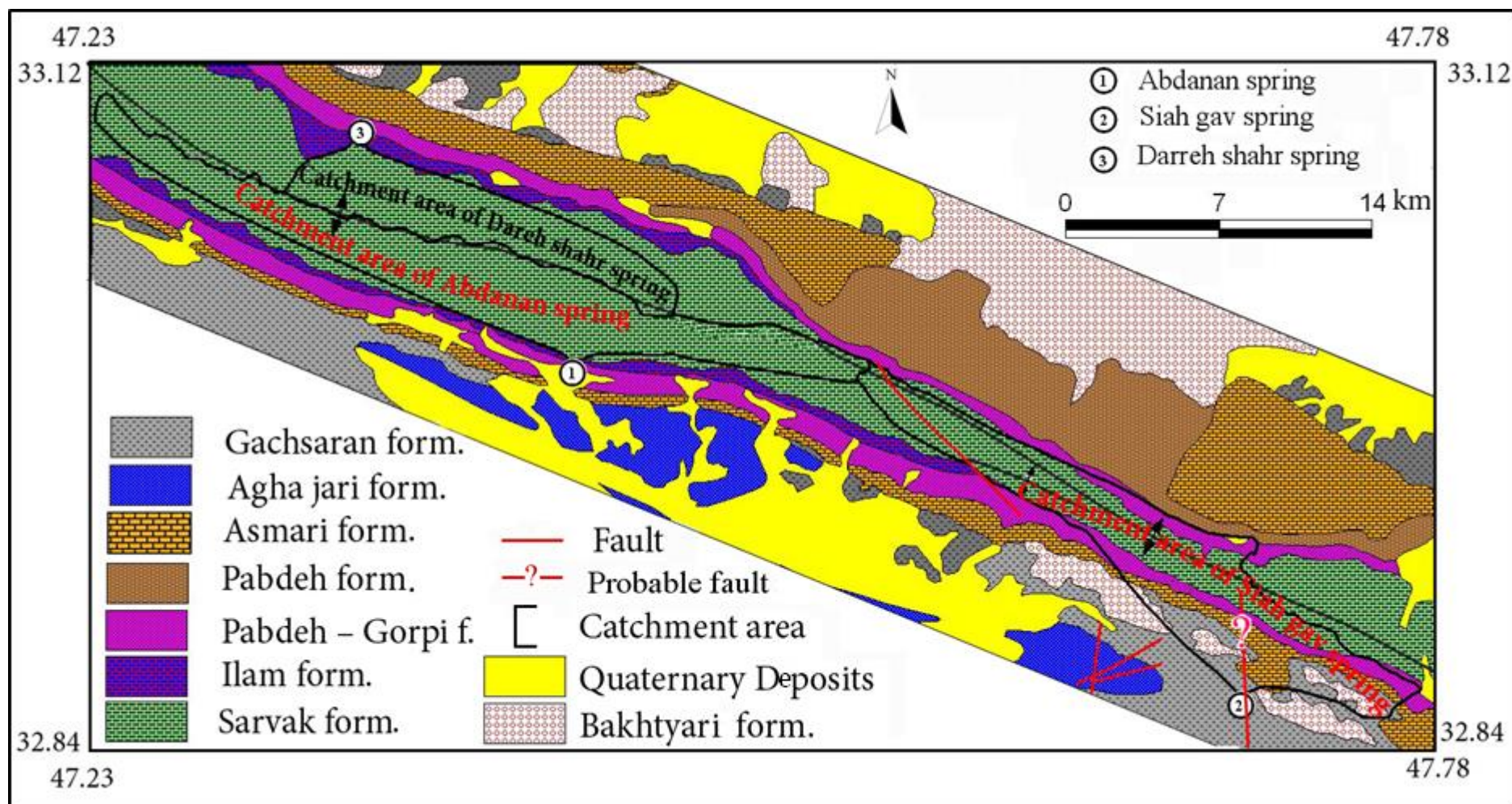
$$W = 86400 \left(\frac{Q_{t1} - Q_{t2}}{a} \right) \quad \text{معادله ۴-۲}$$

در رابطه فوق Q_{t1} و Q_{t2} بده خروجی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه به ترتیب در زمان‌های t_1 و t_2 و W گنجایش دینامیکی لایه آبدار بر حسب متر مکعب می‌باشد (برای تبدیل روز به ثانیه در 86400 ضرب شده است). چون منحنی فرود چشمه آبدانان از دو رژیم آبدی تشکیل شده، برای محاسبه گنجایش دینامیکی سفره از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$W = 86400 \left(\frac{Q_{t0} - Q_{t1}}{a_1} + \frac{Q_{t1} - Q_{t2}}{a_2} \right) \quad \text{معادله (۴-۳)}$$

با بررسی رژیم تخلیه یک چشمه کارستی می‌توان حجم ذخیره آن را که در طول دوره خشک تخلیه می‌گردد را محاسبه نمود و همچنین پیش بینی کرد که در صورت بروز خشکسالی در چه زمانی چشمه خشک خواهد شد که داشتن دو پارامتر فوق می‌تواند به برنامه ریزی جهت استفاده بهینه از آب چشمه کمک شایانی بنماید. حجم ذخیره دینامیکی این چشمه که در طول دوره‌ی خشک می‌توان از آن بهره‌برداری نمود، برابر با $10^7 \times 2/1$ متر مکعب می‌باشد.

همان‌طور که در فصل دو توضیح داده شد، به منظور محاسبه کمی مساحت حوضه آبرگیر چشمه، از روش محاسبه ذخیره دینامیک استفاده می‌شود (کریمی ۱۳۷۶). بر اساس بررسی شرایط منطقه و بازدیدهای بعمل آمده، میزان نفوذ آب بارندگی در آهک‌های منطقه ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. با بکار گیری رابطه ۲-۳ (فصل دوم) و متوسط بارش ۵۳۷ میلیمتر و عنایت به شکل (۴-۳) در آبدانان مساحت حوضه آبرگیر چشمه آبدانان حدود ۷۸/۵۵ کیلومتر مربع محاسبه گردیده است.



شکل ۴-۳- حوضه آبریز چشمه‌های آبدانان، سیاه‌گاو و دره‌شهر

پ) بررسی تغییرات زمانی دبی چشمه دره‌شهر

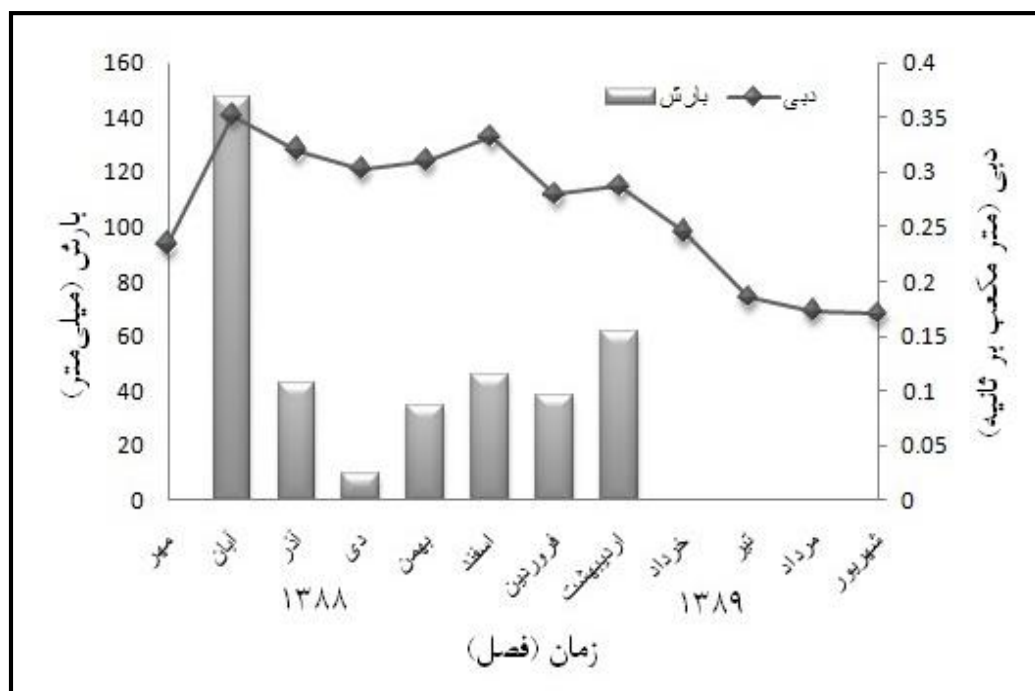
چشمه دره‌شهر از سازندهای ایلام-سروک تخلیه می‌شود و متوسط دبی این چشمه برابر با ۲۶۶ لیتر در ثانیه می‌باشد. تغییرات زمانی دبی چشمه دره‌شهر در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸ مورد مطالعه و بر اساس داده‌های جدول (۱-۴) ترسیم شده است (شکل ۴-۴). ملاحظه می‌شود که همانند چشمه آبدانان دبی چشمه دره‌شهر به علت نزدیکی و گرد و مدور بودن حوضه آبرگیر آن، بارش ورودی به درز و شکاف‌ها (با توجه به وجود α_1) با هم به خروجی چشمه می‌رسند و در نتیجه دبی این چشمه تا حدودی از بارندگی منطقه تبعیت می‌کند. میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات دبی این چشمه در جدول (۱-۴) ارائه شده است. بر اساس تقسیم‌بندی جاکبسن و لانگمویر (۱۹۷۴) و کرمی (۱۳۸۸) سیستم تخلیه این چشمه از نوع افشان - مجرای می‌باشد.

ت) منحنی فرود و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی چشمه دره‌شهر

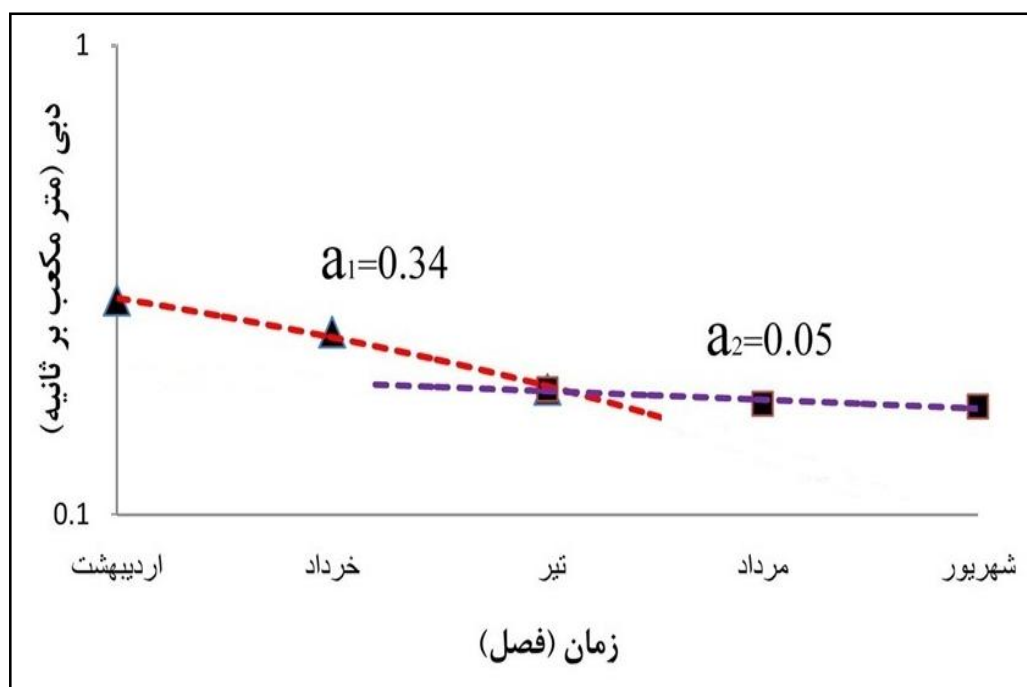
با توجه به شکل (۴-۵) دو رژیم تخلیه با ضرایب $0/34$ و $0/05$ به دست می‌آید و حجم ذخایر دینامیکی این چشمه برابر با $10^6 \times 8/4$ متر مکعب محاسبه شده است. با بکارگیری رابطه ۲-۳ (فصل دوم) و متوسط بارش ۳۸۰ میلیمتر در دره‌شهر (با ضریب نفوذ ۵۰ درصد)، مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره‌شهر حدود $44/15$ کیلومتر مربع محاسبه گردیده است (شکل ۴-۳).

ث) بررسی تغییرات زمانی دبی چشمه سیاه‌گاو

تغییرات زمانی دبی چشمه سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸ مورد مطالعه و بر اساس داده‌های جدول (۱-۴) ترسیم شده است (شکل ۴-۶). همانند دو چشمه قبل تغییرات دبی چشمه کاملاً از بارندگی منطقه تبعیت می‌کند. میانگین، انحراف معیار ضریب تغییرات دبی این چشمه در جدول (۱-۴) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ضریب تغییرات دبی این چشمه $32/69$ درصد است. مقدار نسبتاً بالای ضریب تغییرات دبی این چشمه (بیشتر از ۳۰ درصد) نه به دلیل مجرای بودن سیستم تخلیه، بلکه به علت تمرکز بارندگی‌ها در آبان و آذرماه سال ۱۳۸۸ و همچنین عبور آب توسط گسل و مجاری می‌باشد (این مجاری در ذخیره سازی آب شرکت نقشی ندارند). بنابراین سیستم تخلیه



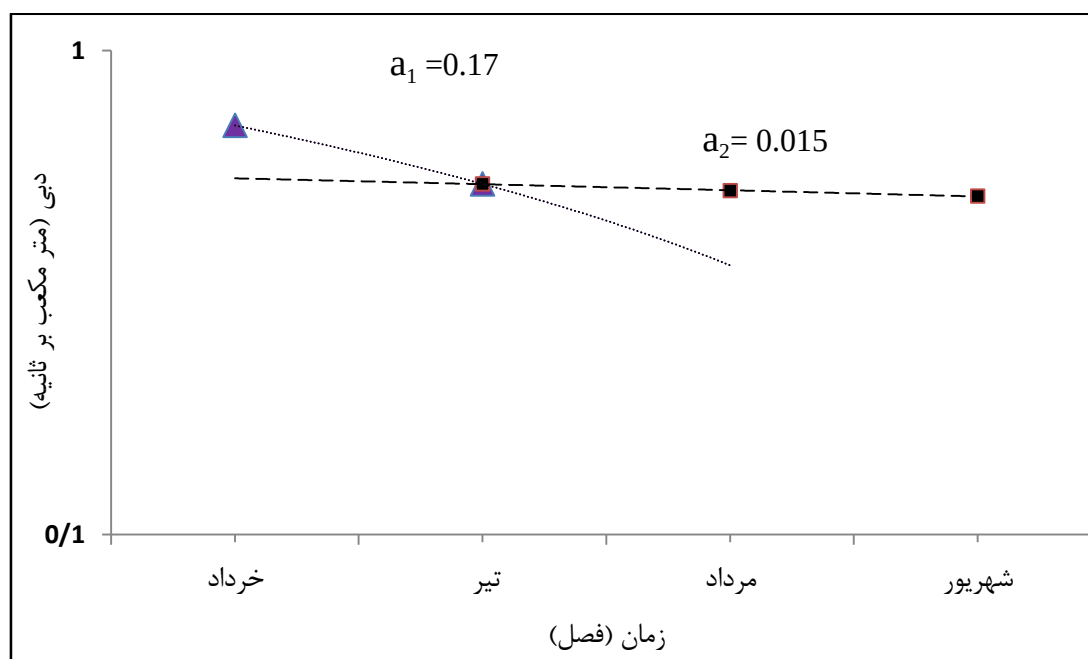
شکل ۴-۴- نمودار آبنمود چشمه دره‌شهر و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹



شکل ۴-۵- منحنی فرود چشمه دره‌شهر از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹



شکل ۴-۶- نمودار آبنمود چشمه سیاه‌گاو و رابطه آن با بارندگی از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹



شکل ۴-۷- منحنی فرود چشمه سیاه‌گاو از مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹

تخلیه این چشمه از نوع افشان - مجرای می‌باشد.

شواهد به دست آمده طی یک سال مطالعات کمی و کیفی (مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی) بر روی

جدول ۴-۱- تغییرات مقادیر بارندگی و دبی در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹

چشمه سیاه‌گاو		چشمه دره‌شهر		چشمه آبدانان		زمان	
دبی (m ³ /s)	بارندگی (mm)	دبی (m ³ /s)	بارندگی (mm)	دبی (m ³ /s)	بارندگی (mm)		
۰/۴۵۰	۰	۰/۲۳۴	۰	۰/۶۵۰	۰	مهر	۱۳۸۸
۰/۴۸۱	۷۳/۵	۰/۳۵۲	۱۴۷/۳	۰/۶۳۳	۱۸۹	آبان	
۰/۷۰۰	۱۵۵	۰/۳۲۰	۴۳	۰/۷۵۰	۸۹/۱	آذر	
۱/۱۹۹	۱۶	۰/۳۰۲	۹/۵	۰/۷۲۲	۱۳/۲	دی	
۰/۵۵۰	۴۵/۵	۰/۳۱۰	۳۴/۷	۰/۶۸۱	۴۴/۱	بهمن	
۰/۵۲۰	۴۱	۰/۳۳۲	۴۵/۶	۰/۷۰۰	۴۳/۵	اسفند	
۰/۶۰۰	۷۱	۰/۲۷۹	۳۸/۵	۰/۶۵۲	۵۹	فروردین	۱۳۸۹
۰/۶۵۰	۸۰	۰/۲۸۷	۶۱/۴	۰/۸۵۰	۹۹/۴	اردیبهشت	
۰/۷۰۰	۰	۰/۲۴۵	۰	۰/۶۶۳	۰	خرداد	
۰/۵۳۰	۰	۰/۱۸۵	۰	۰/۶۰۳	۰	تیر	
۰/۵۱۳	۱/۵	۰/۱۷۲	۰	۰/۵۶۶	۰	مرداد	
۰/۵۰۰	۰	۰/۱۷۰	۰	۰/۵۵۵	۰	شهریور	
۰/۶۱۶	-	۰/۲۶۶	-	۰/۶۶۹	-	میانگین	
۰/۲۰	-	۰/۰۶	-	۰/۰۸	-	انحراف از معیار	
۳۲/۶۹	-	۲۳/۹۵	-	۱۲/۲۰	-	ضریب تغییرات(%)	

سراب سیاه‌گاو نشان می‌دهد که اگرچه خروجی این چشمه در سازند گچساران قرار دارد، اما عمده حوضه آبرگیر این چشمه مربوط به سازندهای کارستی آسماری و سروک می‌باشد. آب سازندهای آسماری و سروک به وسیله مجاری انحلالی در سازند گچساران باعث نفوذ آب‌های کارستی از زیر به این سازند شده است. به این ترتیب که نواحی گچساران که دارای فروچاله و دیگر اشکال کارست پیشرفته هستند، بارش‌ها به سرعت توسط این بخش از حوضه آبرگیر به چشمه منتقل شده و باعث هماهنگی دبی با بارش گردیده است. اما بالا بودن دبی در طول سال به دلیل گسترش حوضه آبرگیر و غالب بودن جریان افشان-مجرایبی است که خلل و فرج و درز و شکاف‌ها تامین کننده اصلی آب و مسیرها و مجاری، نقش انتقال دهنده آب را بازی می‌کنند. بر اساس مطالعات کریمی (۱۳۸۲) بر

روی چشمه گلودره در تاقدیس پاتاق در سرپل ذهاب کرمانشاه، در برخی شرایط سازندهای پابده-گورپی آب‌بند کامل نیست. خروجی این چشمه در سازند ایلام واقع شده است ولیکن حوضه آبرگیر آن سازند آسماری می‌باشد و آب این سیستم (سازند آسماری) با عبور از سازندهای پابده - گورپی از چشمه موردنظر تخلیه می‌شود. علت این انتقال آب عملکرد یک گسل در حوضه آبرگیر در حدفاصل سازند آسماری و ایلام می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه تعدادی گسل وجود دارد که در انتقال آب از سازندهای سروک و آسماری به چشمه موردنظر نقش دارد. همچنین در این منطقه یک آبراهه وجود دارد که از سازند سروک شروع شده و با عبور از سازندهای پابده - گورپی، آسماری و گچساران از نزدیکی چشمه مورد نظر می‌گذرد. به احتمال زیاد این آبراهه گسلی است. قابل ذکر است که سازندهای پابده-گورپی در منطقه ضخامت کمی دارند. شواهد دیگری که در ادامه به تفکیک بحث می‌شوند مطالب فوق را (که سازند سروک در آبدهی چشمه سیاه‌گاو نقش دارد) مورد تأیید قرار می‌دهند.

۱- شواهد مربوط به نمودار آبنمود و منحنی فرود چشمه سیاه‌گاو

با توجه به شکل‌های (۴-۶ و ۴-۷) و با عنایت به ضرایب دبی محاسبه شده ($\alpha_1 = 0/17$) و گنجایش دینامیکی برای سفره کارستی چشمه سیاه‌گاو در طی یک سال آبی برابر با $10^7 \times 1/94$ متر مکعب می‌باشد. همچنین مساحت مورد نیاز برای تامین این حجم ذخیره (با متوسط بارندگی $483/5$ میلیمتر و ضریب نفوذ 50 درصد) حدود $80/36$ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۴-۳). با توجه به توالی چینه‌شناسی، وضعیت زمین‌شناسی و مورفولوژی منطقه مورد مطالعه، محدوده احتمالی این حوضه آبرگیر تعیین گردیده است. همچنین ارتفاع کلیه نقاط محدوده تعیین شده بالاتر از ارتفاع محل رخنمون چشمه سیاه‌گاو است. از آنجایی که حوضه آبرگیر سطحی معمولاً از حوضه آبرگیر زیر زمینی تبعیت می‌کند، آن بخش از سازندهای گچساران و آسماری که می‌توانند تأمین کننده آب چشمه سیاه‌گاو باشند، خیلی پرشیب (چشمه در ارتفاع 720 متری و مرز سازندهای

پایده-گورپی و سازند آسماری در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد) است و دارای مساحت کافی (مساحت این بخش از سازندهای آسماری و گچساران کمتر از ۱۵ کیلومتر مربع است) برای تغذیه این چشمه نمی‌باشند. بنابراین این محدوده از سازندهای آسماری و گچساران جوابگوی گنجایش دینامیکی محاسبه شده ($10^8 \times 1/83$ متر مکعب) نمی‌باشد و نقش سازند سروک (حدود ۶۵ کیلومتر مربع از سازند سروک جز حوضه آبگیر این چشمه محسوب می‌شود) اجتناب‌ناپذیر است.

۲- شواهد هیدروژئولوژیکی

سازند آسماری در زیر توسط واحدهای شیلی-مارنی سازندهای پایده و گورپی که از لحاظ هیدروژئولوژیکی نفوذپذیری کمی داشته و از لحاظ ارتفاعی بالاتر از سازند آسماری قرار دارند، محدود شده است. ولی در بالا با سازند گچساران هم مرز است که هم نفوذپذیر است و هم از لحاظ ارتفاعی پایین‌تر است. همچنین گرادیان هیدرولیکی سازند سروک و آسماری و شیب لایه‌بندی آنها به سمت سازند گچساران و چشمه موردنظر است (شکل‌های ۴-۳ و ۴-۸). در ضمن پیرامون سازندهای آسماری و سروک هیچ چشمه دیگری که دارای آبدهی قابل ملاحظه‌ای باشد و بتواند آب موجود در این سیستم (سازندهای آسماری و سروک) را تخلیه نماید، وجود ندارد. بنابراین آب موجود در سازند سروک توسط گسل وارد سازند آسماری شده و پس از اختلاط با آب موجود در سازند آسماری وارد سازند گچساران شده و از چشمه سیاه گاو تخلیه می‌گردد.

۳- شواهد کیفی آب

آب‌های زیرزمینی از محل تغذیه تا محل تخلیه از داخل تشکیلات زمین‌شناسی عبور می‌نمایند، بنابراین کل مواد جامد حل شده (Total dissolved solid) و نوع یون‌ها بستگی به لیتولوژی محیط عبور آب و زمان ماندگاری دارد. معمولاً حداکثر ظرفیت انحلال برای آهک و دولومیت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر، گچ ۲۴۰۰ میلی گرم در لیتر و نمک ۳۶۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین کل مواد



شکل ۴-۸- موقعیت تقریبی چشمه سیاه‌گاو بر روی عکس ماهواره‌ای

جامد حل شده در محیط کربناته کمتر و در محیط حاوی کلر و سدیم حداکثر خواهد بود از طرفی کل مواد جامد بستگی به زمان ماندگاری دارد در صورتی که مجاری بزرگ وجود داشته باشد آب به سرعت از محیط عبور کرده و کل مواد جامد حل شده کاهش می‌یابد. بر اساس اندازه‌گیری کل مواد حل شده (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) چشمه با دوره ۴۵ روزه در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۹ مشخص شد که محدوده تغییرات کل مواد جامد حل شده از $1401/6$ تا $1439/4$ میلی‌گرم در لیتر و هدایت الکتریکی از 2200 تا 2600 میکروموس به ترتیب در دوره‌های تر و خشک می‌باشد. که این مقادیر نشان دهنده‌ی ورود آب از سازندهای آهکی سروک و آسماری و عبور این آب از سازند گچساران تا محل خروجی (چشمه سیاه‌گاو) می‌باشد.

۴- شواهد صحرایی

با توجه به بازدیدهای صورت گرفته از منطقه مشخص گردیده است که پدیده کارستی شدن در سازند سروک توسعه کمی پیدا کرده است و یک سری گسل و مجاری کارستی در انتقال آب به طرف

چشمه مورد نظر دخالت دارند (این مجاری در ذخیره کردن آب شرکت نمی‌کنند و فقط در انتقال آب مشارکت می‌کنند). از طرف دیگر وجود فروچاله، غار (به عنوان مثال غار مژاره) و مجاری انحلالی نسبتاً زیاد در سازند گچساران و همچنین وجود درز و شکاف‌های فراوان در سازند آسماری و به احتمال زیاد وجود یک سری گسل‌های مخفی در منطقه باعث ایجاد پدیده‌های مختلف کارستی و در نتیجه ورود آب از سازندهای سروک و آسماری به سازند گچساران شده است.

در بالا دست سراب سیاه گاو، در بین چشمه و مرز دو سازند گچساران و آسماری (نزدیک مرز) یک مجرای انحلالی در عمق حدود ده متری از کف زمین وجود دارد که در زیر به یک کانال زیرزمینی راه دارد. در این کانال آب با سرعت نسبتاً زیاد به طرف چشمه مورد نظر در جریان است. آب این کانال از لحاظ کیفی بهتر و همچنین دمای آن به طور محسوس کمتر از آب چشمه بوده و در قدیم افراد محلی از آب این کانال برای مایحتاج خود استفاده می‌کردند. به گفته بومیان منطقه قبلاً در این کانال ردیابی با کاه انجام گرفته و مشخص شده است که این کانال با چشمه سیاه گاو ارتباط دارد و آب‌های زیرزمینی موجود در این کانال، همان آبی است که در چشمه‌ی مورد نظر به جریان می‌افتد.

۴-۲-۱-۲- تغییرات زمانی دما و اسیدیته چشمه‌ها

مقادیر دما و اسیدیته چشمه‌ها در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ در اندازه‌گیری شده و نتایج به دست آمده در جدول (۴-۲) ارائه شده است. درجه حرارت آب چشمه‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. ضریب تغییرات درجه حرارت آب یکی از معیارهای مهم برای تفکیک جریان‌های افشان و مجرای در سیستم‌های کارستی می‌باشد. از دیگر خصوصیات آب چشمه‌ها که در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است می‌توان به اسیدیته (pH) اشاره نمود. مقدار این پارامتر به عواملی مانند دی‌کسیدکربن محلول در آب، میزان آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و دمای آب بستگی دارد. هر چه بر مقدار دی‌اکسید محلول در آب افزوده گردد، میزان pH کمتر می‌شود. این خصوصیت از آب توسط pH متر با دقت ۰/۰۱ واحد اندازه‌گیری شده است. بر اساس مطالعات جاکبسون و لانگمویر

(Jacobson and Langmuir 1974) و کرمی (۱۳۸۸) ضریب تغییرات درجه حرارت و اسیدیته در چشمه‌هایی که سیستم تغذیه کننده چشمه از نوع افشان است، بسیار اندک و در اغلب موارد کمتر از پنج درصد می‌باشد.

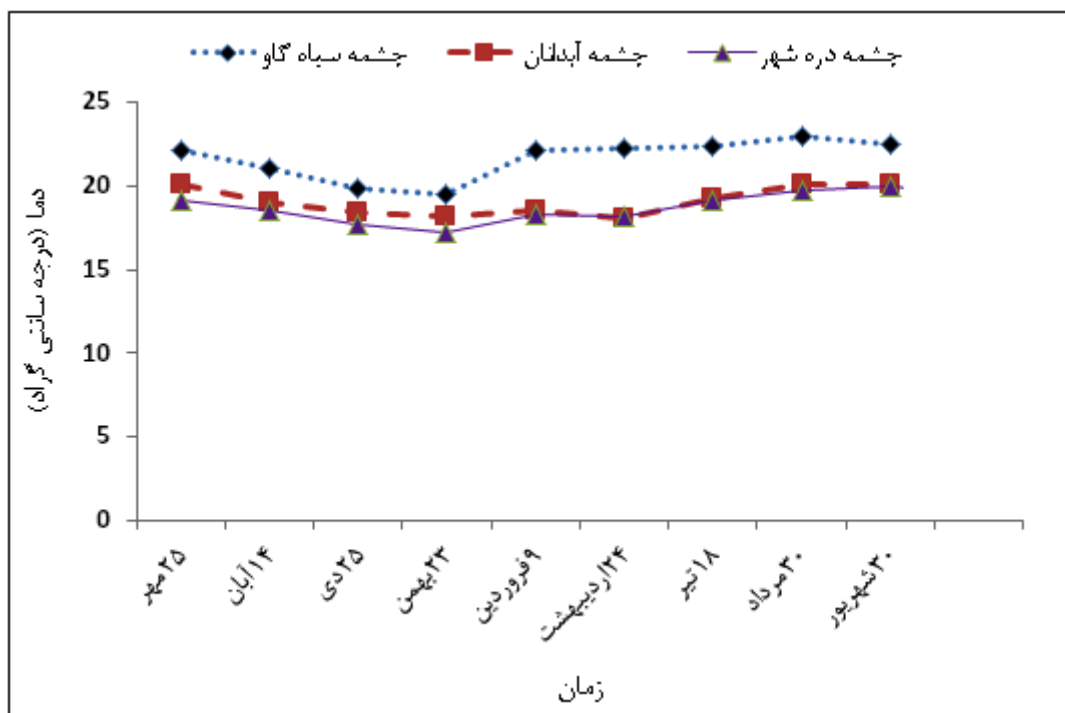
به منظور بررسی مقدار تغییرات این پارامترها در چشمه‌ها (چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو)، میانگین، انحراف از معیار و ضرایب تغییرات این پارامترها در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند (جدول ۲-۴). با عنایت به نتایج مندرج در جدول (۲-۴) و شکل‌های (۴-۹ و ۴-۱۰) ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری این پارامترها در آب چشمه‌ها (مخصوصاً آبدانان و دره‌شهر) ناچیز می‌باشد به این ترتیب که ضریب تغییرات مقادیر درجه حرارت آب در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر به ترتیب برابر با ۴ و ۴/۴ درصد و ضریب تغییرات مقادیر اسیدیته در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر به ترتیب برابر با ۱/۷ و ۱/۱ می‌باشد. با مقایسه این ضریب تغییرات و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر و بیشتر از ۵ درصد می‌باشد، ملاحظه می‌شود که ضریب تغییرات درجه حرارت و اسیدیته آب چشمه‌ها اندک می‌باشد که بیانگر سیستم غالب جریان افشان در حوضه چشمه‌ها و توسعه اندک پدیده کارست در این مناطق می‌باشد.

چشمه سیاه‌گاو در همه سال نسبت به چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر دمای بالاتری دارد، اگر دمای آب چشمه کاملاً متأثر از محیط باشد، بایستی در زمستان‌ها آب چشمه سیاه‌گاو سردتر از چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر می‌بود و برعکس در تابستان دمای چشمه سیاه‌گاو خیلی زیاد می‌شد، اما واقعیت این است که با توجه به دبی بالای چشمه سیاه‌گاو، تأثیر پذیری آن از دمای محیط اندک است و بالاتر بودن دمای چشمه سیاه‌گاو در تمام سال، بیانگر ارتفاع کمتر چشمه و حوضه آگیر آن از دو چشمه دیگر و همچنین جریان عمقی از حوضه آگیر به طرف چشمه‌ها است (جوشش آب از زیر شاهی بر این مدعاست). پس به دلیل دور بودن حوضه آگیر به خصوص سازند سروک، آب مجبور به یک گردش عمقی است و به دلیل شیب زمین‌گرمایی (Geothermal gradient) مقداری بر دمای آب چشمه نسبت به سایر چشمه‌ها افزوده شده است. قابل ذکر است که اختلاف دمای آب چشمه سیاه‌گاو

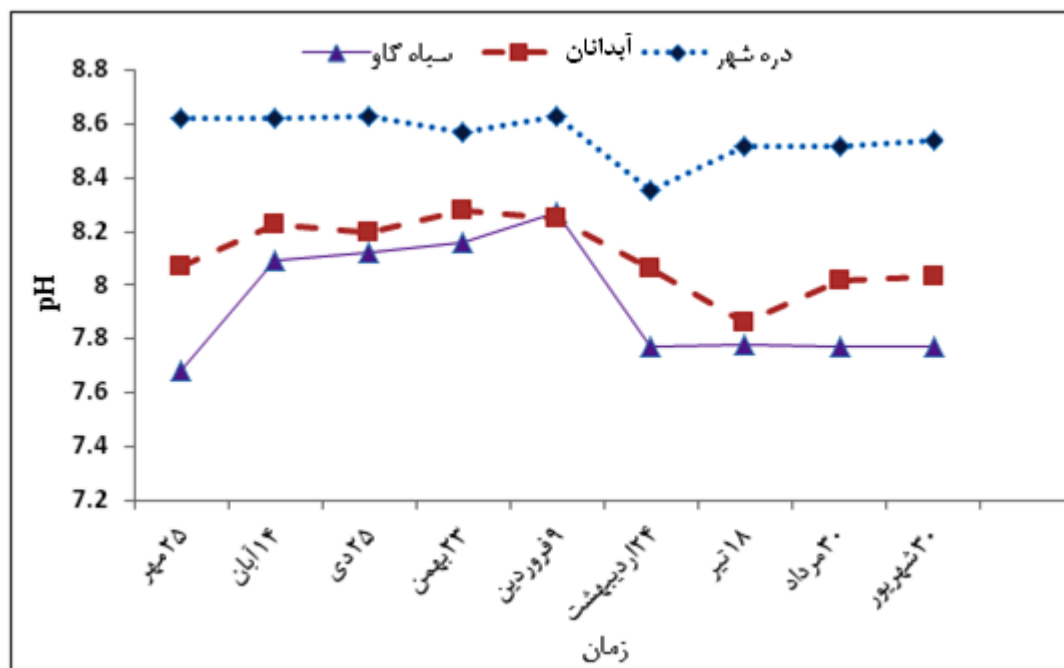
از دو چشمه دیگر، در تمام طول سال تقریباً یکسان است و در تابستان به دلیل گرمی بیشتر هوا و تجمع آب در مخزن، اندکی این اختلاف بیشتر شده است. ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه سیاه‌گاو ۵/۶ درصد می‌باشد. این مقدار از ۵ درصد بیشتر می‌باشد که این مسئله نه بیانگر سیستم غالب جریان مجرای در حوضه این چشمه، بلکه ناشی از حالت دریاچه‌ای بودن این چشمه و تجمع آب در داخل مخزن و در نتیجه متأثر بودن آن از دمای محیط می‌باشد. همان طور که در شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود در طول پاییز و زمستان دمای این چشمه یک روند نزولی دارد و تغییرات کمتر می‌باشد، در اوایل بهار به طور ناگهانی دما افزایش می‌یابد. علت این تغییرات گرمای بستر محیط است. ضریب تغییرات اسیدیته این چشمه نیز ۲/۹ درصد (کمتر از ۵ درصد) می‌باشد. بنابراین در چشمه سیاه‌گاو مجاری کارستی وجود دارند و نقش آنها در انتقال آب بوده و نقشی در ذخیره سازی آب ندارد زیرا آبدهی بالا به تنهایی نشان دهنده وجود مجاری است که می‌تواند این میزان آب را به چشمه برساند. پس سیستم غالب جریان در حوضه آبگیر این چشمه نیز افشان است.

جدول ۴-۲- تغییرات زمانی EC، pH و دما در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸

T (°C)			pH			EC (μs/cm)			تاریخ
سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	
۲۲/۱	۱۹/۲	۲۰/۱	۷/۶۸	۸/۶۲	۸/۰۷	۲۴۰۰	۴۶۵	۴۷۵	۱۳۸۸/۷/۱۲
۲۱/۰	۱۸/۶	۱۹/۰	۸/۰۹	۸/۶۲	۸/۲۳	۲۶۰۰	۴۶۲	۴۳۳	۱۳۸۸/۸/۱۴
۱۹/۹	۱۷/۷	۱۸/۴	۸/۱۲	۸/۶۳	۸/۲۰	۲۴۰۰	۳۸۴	۴۱۰	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
۱۹/۵	۱۷/۲	۱۸/۲	۸/۱۶	۸/۵۷	۸/۲۸	۲۳۰۰	۳۹۰	۳۸۵	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
۲۲/۱	۱۸/۳	۱۸/۵	۸/۲۷	۸/۶۳	۸/۲۵	۲۲۰۰	۳۸۵	۳۸۹	۱۳۸۹/۱/۹
۲۲/۲	۱۸/۲	۱۸/۱	۷/۷۷	۸/۳۵	۸/۰۶	۲۴۰۰	۳۸۹	۳۸۸	۱۳۸۹/۲/۲۴
۲۲/۴	۱۹/۲	۱۹/۳	۷/۷۸	۸/۵۲	۷/۸۶	۲۴۰۰	۴۰۰	۴۰۳	۱۳۸۹/۴/۱۸
۲۳/۰	۱۹/۷	۲۰/۱	۷/۷۷	۸/۵۲	۸/۰۲	۲۴۰۰	۳۹۸	۴۰۲	۱۳۸۹/۵/۳۰
۲۲/۵	۲۰/۰	۲۰/۱	۷/۷۷	۸/۵۴	۸/۰۳	۲۴۰۰	۴۰۸	۴۱۱	۱۳۸۹/۶/۳۰
۲۱/۶	۱۹/۱	۱۸/۸	۷/۹	۸/۶	۸/۱	۲۳۸۹	۴۰۹	۴۱۰	میانگین
۱/۲	۰/۸	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۱۰۵/۴	۳۱/۸	۲۸/۳	انحراف از معیار
۵/۶	۴/۴	۴/۰	۲/۹	۱/۱	۱/۷	۴/۴	۷/۸	۶/۹	ضریب تغییرات(%)



شکل ۴-۹- تغییرات زمانی دما در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹



شکل ۴-۱۰- تغییرات زمانی اسیدیته (pH) در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹

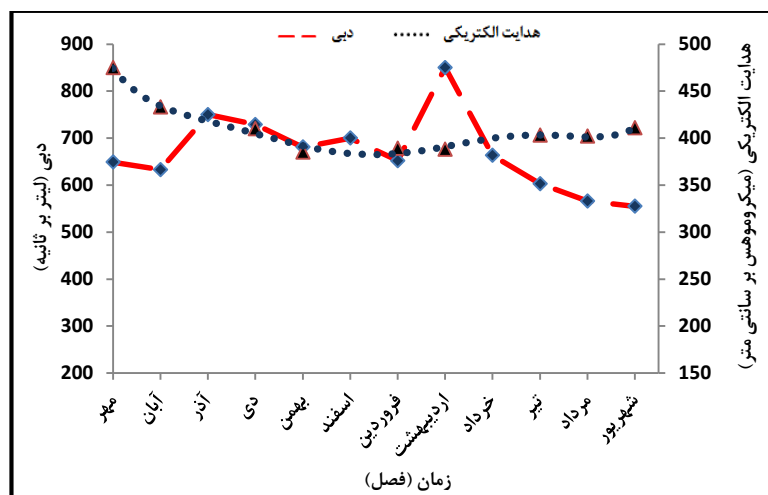
۴-۱-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب و روند تغییرات آن همواره نشان‌دهنده زمان ماندگاری آب در سفره زیرزمینی و جنس آبخوان می‌باشد. چنانچه روشن است، با افزایش زمان ماندگاری آب درون سفره، هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد که به دلیل طولانی بودن زمان برای انحلال مواد آبخوانه‌ای درون آب زیرزمینی است. در رژیم‌های مختلف آبدهی، سرعت جریان آب زیرزمینی متفاوت بوده و در نتیجه زمان ماندگاری آب در آبخوان در حالات گوناگون با یکدیگر تفاوت دارد. آبدهی چشمه از پارامترهایی است که معمولاً تغییرات آن را با روند هدایت الکتریکی مقایسه می‌کنند. چنانچه مورد انتظار است، در چشمه‌ها بایستی با افزایش آبدهی و کاهش زمان ماندگاری آب زیرزمینی در درون آبخوان از مقدار هدایت الکتریکی آب کاسته شود.

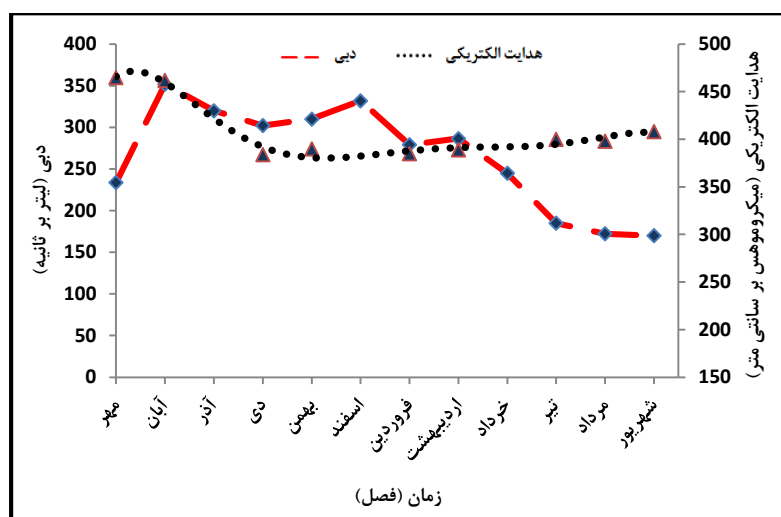
مقادیر هدایت الکتریکی چشمه‌ها در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹ اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول (۴-۲) ارائه شده است. مقدار بالای هدایت الکتریکی در چشمه سیاه‌گاو ناشی از تأثیر سازندهای گچساران و پابده-گورپی بر روی آب این چشمه می‌باشد. با توجه به نتایج مندرج در این جدول و شکل‌های (۴-۱۱ تا ۴-۱۳) میزان تغییرات نسبتاً کم است به این ترتیب که متوسط مقادیر هدایت الکتریکی آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو به ترتیب برابر با ۴۱۰/۷، ۴۰۹/۰ و ۲۳۸۸/۹ میکروموس بر سانتی‌متر و انحراف از معیار به ترتیب برابر با ۲۸/۳، ۳۱/۸ و ۱۰۵/۴ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد و ضریب تغییرات آنها به ترتیب برابر با ۶/۹، ۷/۸ و ۴/۴ درصد است. با مقایسه این ضریب تغییرات و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر و بیشتر از ۱۰ درصد می‌باشد، سیستم سفره‌های مرتبط با این چشمه‌ها غالباً از نوع افشان است.

۴-۲-۲- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

همان‌طور که قبلاً ذکر شد برخی از پارامترها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند در ادامه تغییرات این پارامترها مورد بررسی قرار گرفته است.

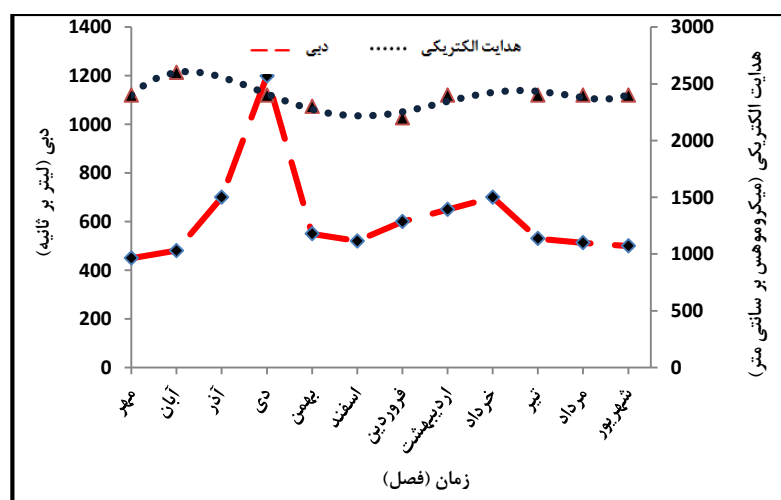


شکل ۴-۱۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه آبدانان در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹



شکل ۴-۱۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه دره شهر در سال آبی

۱۳۸۸-۸۹



شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹

تغییرات زمانی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

با استفاده از نمودار تغییرات غلظت یون‌های محلول در آب که غلظتشان علاوه بر جنس آبخوان، تابعی از زمان نیز می‌باشد، می‌توان به واکنش‌های رخ داده، میان آب زیرزمینی و مواد جامد تشکیل دهنده محیط آبخوان و تعیین نوع جریان در سفره‌های آبدار پی برد. مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی که از آنالیز آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو با دوره ۴۵ روزه، به مدت یک سال (مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹) در آزمایشگاه هیدروشیمی شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام اندازه‌گیری شده‌اند، در جداول (۳-۴) تا (۵-۴) ارائه شده‌اند. نمودار تغییر یون‌های اصلی (بر حسب میلی اکی‌والان گرم در لیتر) در مقابل زمان ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۱۶).

همان‌طور که در جداول (۳-۴ تا ۵-۴) و شکل‌های (۴-۱۴ تا ۴-۱۶) مشاهده می‌گردد تغییرات زمانی یون‌های بی‌کربنات و کلسیم نسبتاً کم می‌باشد و با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره و دیگر پارامترها کاملاً همخوانی دارد. بالا بودن ضریب تغییرات یون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و سولفات به دلیل مجرای بودن سیستم کارستی نیست بلکه به دلیل پایین بودن غلظت این یون‌ها می‌باشد، زیرا اندکی خطای اندازه‌گیری باعث ایجاد تغییرات نسبتاً زیاد و در نتیجه بالا رفتن ضریب تغییرات آن می‌شود. همچنین در مورد چشمه سیاه‌گاو همان‌طور که قبلاً ذکر شد، خروجی آن در سازند گچساران واقع شده است. با توجه به اینکه از لحاظ هیدروژئولوژیکی رواناب جاری شده در سطح سازندهای گچساران و پابده-گورپی، در مواقع بارندگی، دارای مواد محلول زیادی است، با ورود این رواناب به چشمه (که دریاچه مانند است) و همچنین نفوذ این آب در زمین و وارد شدن آن به آب زیرزمینی و اختلاط با آب‌هایی که از سازندهای آسماری و سروک منشأ می‌گیرند، غلظت یون‌های سولفات، کلراید، کلسیم، سدیم و پتاسیم در آب چشمه زیاد می‌شود. بنابراین نوسانات نسبتاً زیاد در غلظت یون‌های سولفات، کلراید، کلسیم، سدیم و پتاسیم در مواقع بارندگی، باعث بالا بودن ضریب تغییرات یون‌های مذکور می‌شود. با مقایسه ضریب تغییرات به دست آمده برای یون‌های بی‌کربنات و کلسیم و ضریب تغییرات آن در سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۱۰ و بالاتر از ۱۰ درصد است،

ملاحظه می‌شود که این ضریب تغییرات نیز بیانگر غالب بودن سیستم کارستی افشان در حوضه آبگیر این چشمه است.

۳-۲-۴- بررسی مقادیر پارامترهای محاسبه شده

با توجه به غلظت یون‌های اصلی، پارامترهایی از قبیل نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (Total Hardness) و اندیس‌های اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، ژیپس (SI_g)، هالیت (SI_h) و انیدریت (SI_{an}) برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده است. مقادیر این پارامترها و همچنین انحراف از معیار، میانگین و ضریب تغییرات این پارامترها در جداول (۴-۶ تا ۴-۱۱) ارائه شده است.

الف) کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

کل مواد جامد محلول عبارت از مجموع مقادیر تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی گرم

جدول ۴-۳- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه کارستی آبدانان در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸

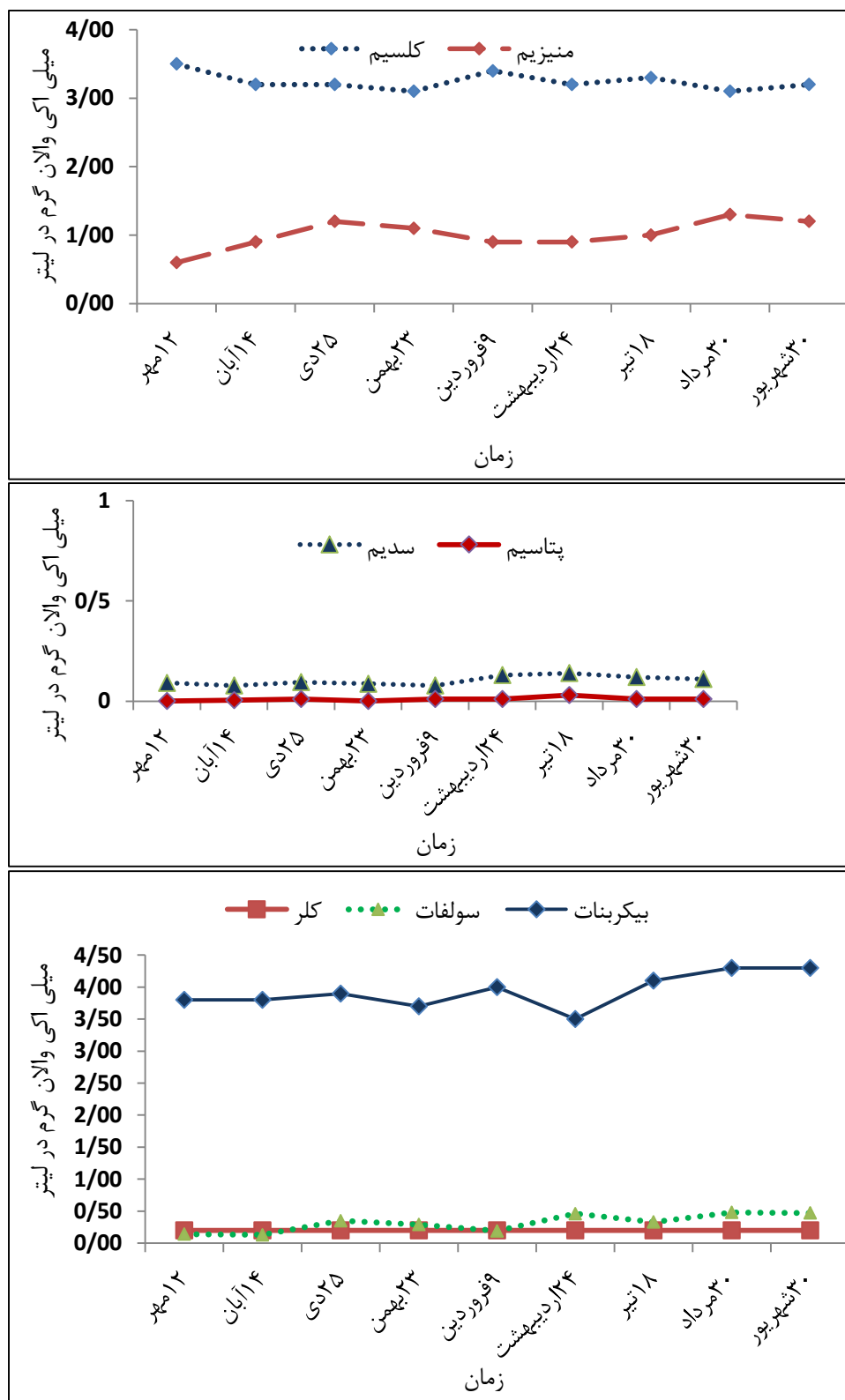
Error	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	تاریخ
(%)	meq/lit								
۰/۶۲	۳/۵	۰/۶۰	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	-	۳/۸۰	۰/۲۰	۰/۱۴	۱۳۸۸/۷/۱۲
۰/۶۴	۳/۲۰	۰/۹۰	۰/۰۷۸	۰/۰۰۶	-	۳/۸۰	۰/۲۰	۰/۱۳	۱۳۸۸/۸/۱۴
۰/۶۱	۳/۲۰	۱/۲۰	۰/۰۹۵	۰/۰۱	-	۳/۹۰	۰/۲۰	۰/۳۵	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
۱/۱۶	۳/۱۰	۱/۱۰	۰/۰۸۷	۰/۰۰۱	-	۳/۷۰	۰/۲۰	۰/۲۹	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
-۰/۰۲	۳/۴۰	۰/۹۰	۰/۰۷۸	۰/۰۱	-	۴/۰۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۱۳۸۹/۱/۹
۰/۹۵	۳/۲۰	۰/۹۰	۰/۱۳	۰/۰۱	-	۳/۵۰	۰/۲۰	۰/۴۶	۱۳۸۹/۲/۲۴
-۱/۷۶	۳/۳۰	۱/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۳	-	۴/۱۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۴/۷۳	۳/۱۰	۱/۳۰	۰/۱۲	۰/۰۱	-	۴/۳۰	۰/۲۰	۰/۴۸	۱۳۸۹/۵/۳۰
-۴/۷۴	۳/۲۰	۱/۲۰	۰/۱۱	۰/۰۱	-	۴/۳۰	۰/۲۰	۰/۴۷	۱۳۸۹/۶/۳۰
-	۳/۲۴	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۱	-	۰/۱	۰	۰/۱۴	انحراف از معیار
-	۰/۱۳	۱/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	-	۸/۱	۰/۲۰	۰/۳۲	میانگین
-	۴/۱۱	۲۱/۲۴	۲۲/۰۶	۸۷/۵۳	-	۱/۷	۰	۴۴/۰۹	ضریب تغییرات (%)

جدول ۴-۴- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه کارستی دره‌شهر در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸

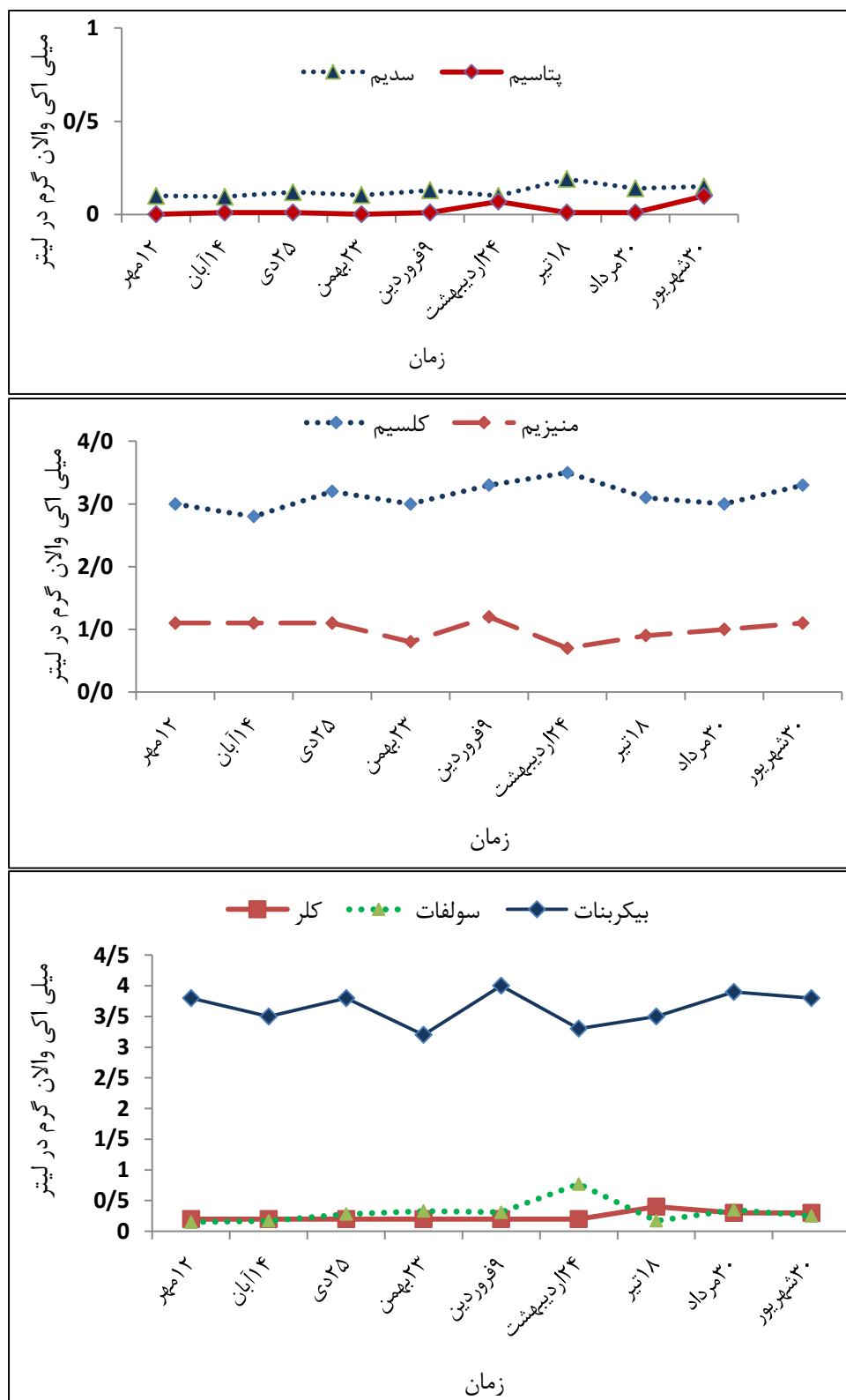
Error	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	تاریخ
(%)	meq/lit								
۰/۶۰	۳/۰	۱/۱	۰/۱۰	۰/۰۰۱	-	۳/۸۰	۰/۲۰	۰/۱۵	۱۳۸۸/۷/۱۲
۱/۷۸	۲/۸	۱/۱	۰/۱۰	۰/۰۱	-	۳/۵۰	۰/۲۰	۰/۱۷	۱۳۸۸/۸/۱۴
۰/۵۷	۳/۲	۱/۱	۰/۱۲	۰/۰۱	-	۳/۸۰	۰/۲۰	۰/۲۸	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
۲/۳۶	۳/۰	۰/۸	۰/۱۰	۰/۰۰۱	-	۳/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
۱/۴۲	۳/۳	۱/۲	۰/۱۳	۰/۰۱	-	۴/۰۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۱۳۸۹/۱/۹
۰/۴۷	۳/۵	۰/۷	۰/۱۰	۰/۰۱	-	۳/۳۰	۰/۲۰	۰/۷۷	۱۳۸۹/۲/۲۴
۱/۵۷	۳/۱	۰/۹	۰/۱۹	۰/۰۱	-	۳/۵۰	۰/۴۰	۰/۱۷	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۴/۶۰	۳/۰	۱/۰	۰/۱۴	۰/۰۱	-	۳/۹۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۱۳۸۹/۵/۳۰
۳/۳۳	۳/۳	۱/۱	۰/۱۵	۰/۰۱	-	۳/۸۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۱۳۸۹/۶/۳۰
-	۳/۱۳	۱/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۰۴	-	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۳۱	انحراف از معیار
-	۰/۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۰۸	-	۳/۶۴	۰/۰۷	۰/۱۸	میانگین
-	۶/۷۷	۱۶/۵۸	۲۴/۶۴	۴۹/۶۱	-	۷/۶۵	۲۹/۷۲	۶۰/۸۸	ضریب تغییرات(%)

جدول ۴-۵- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه کارستی سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸

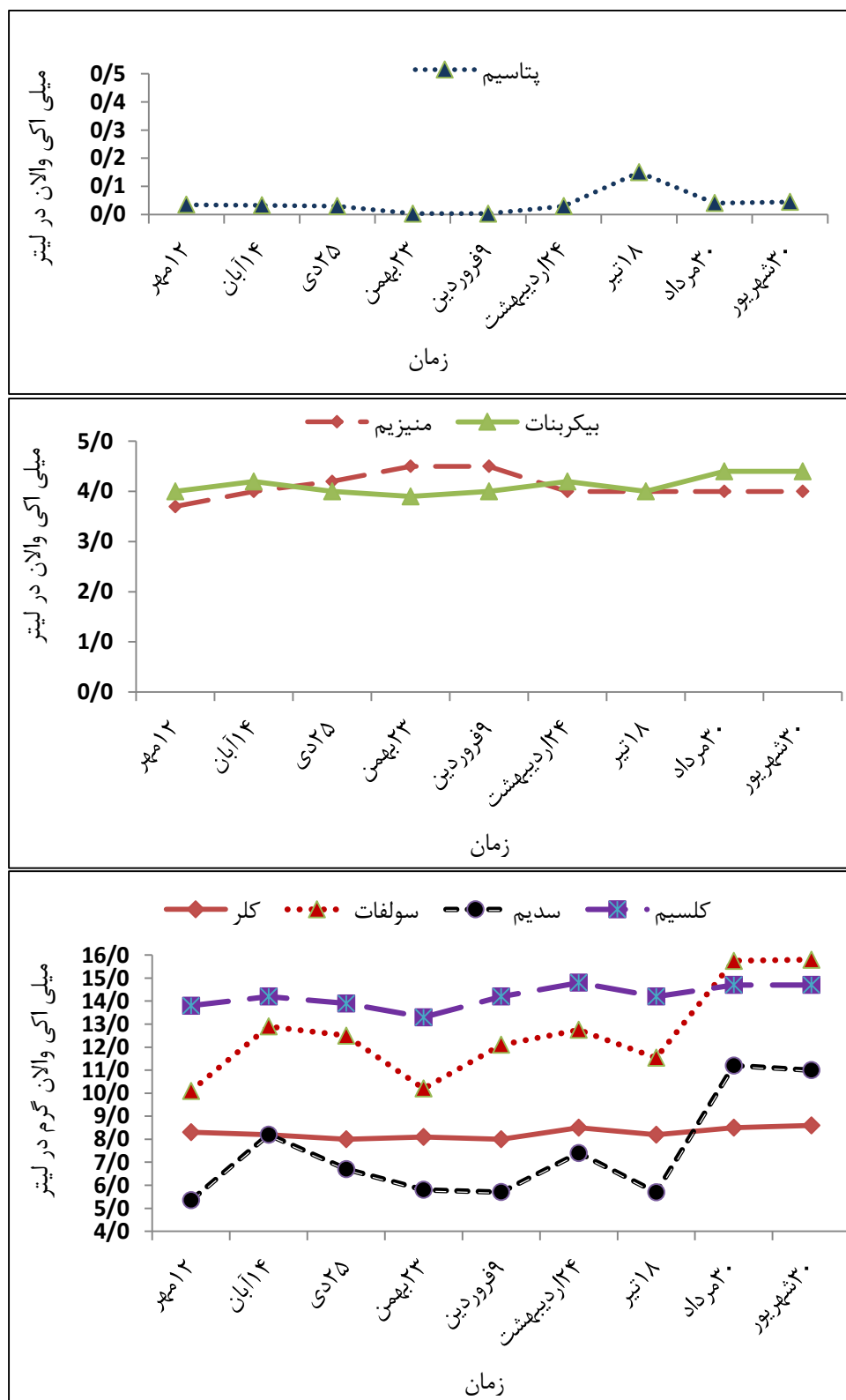
Error	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	تاریخ
(%)	meq/lit								
۱/۱۰	۱۳/۸	۳/۷	۵/۳۵	۰/۰۳۵	-	۴/۰۰	۸/۳۰	۱۰/۱۰	۱۳۸۸/۷/۱۲
۲/۱۳	۱۴/۲	۴/۰	۸/۲۰	۰/۰۳۳	-	۴/۲۰	۸/۲۰	۱۲/۹۰	۱۳۸۸/۸/۱۴
۰/۶۷	۱۳/۹	۴/۲	۶/۷۰	۰/۰۳۰	-	۴/۰۰	۸/۰۰	۱۲/۵۰	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
۳/۰۶	۱۳/۳	۴/۵	۵/۸۰	۰/۰۰۳	-	۳/۹۰	۸/۱۰	۱۰/۲۰	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
۳-۳۷	۱۴/۲	۴/۵	۵/۷۰	۰/۰۰۳	-	۴/۰۰	۸/۰۰	۱۲/۱۰	۱۳۸۹/۱/۹
۱/۵۱	۱۴/۸	۴/۰	۷/۴۰	۰/۰۳۰	-	۴/۲۰	۸/۵۰	۱۲/۷۵	۱۳۸۹/۲/۲۴
۰/۶۳	۱۴/۲	۴/۰	۵/۶۹	۰/۱۵۰	-	۴/۰۰	۸/۲۰	۱۱/۵۴	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۲/۲۰	۱۴/۷	۴/۰	۱۱/۲۰	۰/۰۴۱	-	۴/۴۰	۸/۵۰	۱۵/۷۵	۱۳۸۹/۵/۳۰
۱/۶۱	۱۴/۷	۴/۰	۱۱/۰۰	۰/۰۴۵	-	۴/۴۰	۸/۶۰	۱۵/۸۰	۱۳۸۹/۶/۳۰
-	۰/۴۹	۰/۲۶	۲/۲۷	۰/۰۴۰	-	۰/۱۹	۰/۲۲	۲/۰۵	انحراف از معیار
-	۱۴/۲۰	۴/۱۰	۷/۴۵	۰/۰۴۰	-	۴/۱۲	۸/۲۷	۱۲/۶۳	میانگین
-	۳/۴۵	۶/۳۴	۳۰/۴۲	۱۰۵/۷۷	-	۴/۵۰	۲/۷۰	۱۶/۲۵	ضریب تغییرات(%)



شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی آبدانان در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸



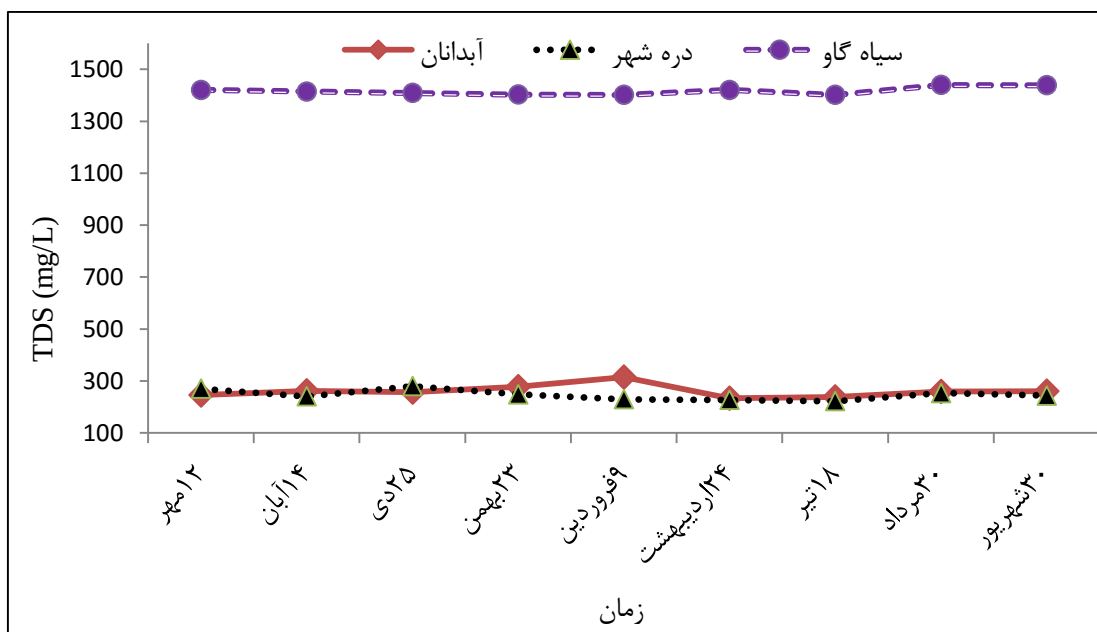
شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی دره‌شهر در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸



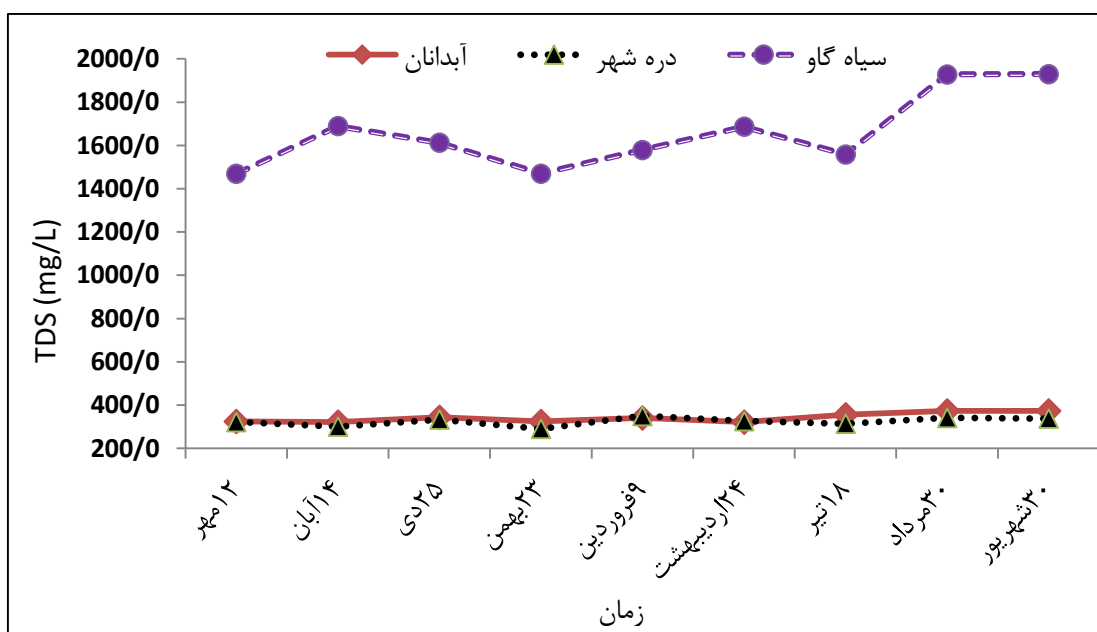
شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه کارستی سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸

جدول ۴-۶- تغییرات زمانی سختی کل، کل مواد جامد محلول و نسبت Ca/Mg در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو

TDS محاسباتی (میلی گرم در لیتر)			TDS آزمایشگاهی (میلی گرم در لیتر)			Ca/Mg			Total Hardness (میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم)			تاریخ
سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	سیاه‌گاو	دره‌شهر	آبدانان	
۱۴۶۹/۳	۳۲۲/۰	۳۲۵/۲	۱۴۲۰/۸	۲۷۰	۲۴۵	۳/۷۳	۲/۷۳	۵/۸	۸۷۵	۲۰۵	۲۰۵	۱۳۸۸/۷/۱۲
۱۶۸۹/۵	۳۰۰/۹	۳۲۲/۳	۱۴۱۴/۴	۲۴۰	۲۶۱	۳/۵۵	۲/۵۵	۳/۶	۹۱۰	۱۹۵	۲۰۵	۱۳۸۸/۸/۱۴
۱۶۱۲/۸	۳۳۳/۰	۳۴۳/۱	۱۴۰۹/۰	۲۸۰	۲۵۷	۳/۳۱	۲/۹۱	۲/۷	۹۰۶	۲۱۵	۲۲۰	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
۱۴۶۹/۷	۲۹۰/۴	۳۲۴/۳	۱۴۰۲/۹	۲۴۸	۲۷۷	۲/۹۶	۳/۷۵	۲/۸	۸۹۰	۱۹۰	۲۱۰	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
۱۵۷۹/۲	۳۵۰/۱	۳۴۱/۵	۱۴۰۱/۶	۲۲۹	۳۱۵	۳/۱۶	۲/۷۵	۳/۸	۹۴۰	۲۲۵	۲۱۵	۱۳۸۹/۱/۹
۱۶۸۶/۴	۳۲۶/۸	۳۲۱/۲	۱۴۲۰/۸	۲۲۷	۲۳۳	۳/۷۰	۵/۰۰	۳/۶	۹۴۰	۲۱۰	۲۰۵	۱۳۸۹/۲/۲۴
۱۵۵۸/۸	۳۱۳/۸	۳۵۵/۸	۱۴۰۱/۶	۲۲۲	۲۳۸	۳/۵۵	۳/۴۴	۳/۳	۹۱۰	۲۰۰	۲۱۵	۱۳۸۹/۴/۱۸
۱۹۲۸/۵	۳۴۱/۳	۳۷۳/۶	۱۴۳۹/۴	۲۵۳	۲۵۹	۳/۶۸	۳/۰۰	۲/۴	۹۳۵	۲۰۰	۲۲۰	۱۳۸۹/۵/۳۰
۱۹۳۰/۰	۳۳۷/۹	۳۷۳/۶	۱۴۳۸/۵	۲۴۳	۲۶۰	۳/۶۸	۳/۰۰	۲/۷	۹۳۵	۲۲۰	۲۲۰	۱۳۸۹/۶/۳۰
۱۷۲/۵	۱۹/۵	۲۱/۲	۱/۷۲	۱۹/۵	۲۴/۴	۰/۲۸	۰/۷۶	۱/۰	۲۳/۴۶	۱۱,۷۳	۶/۶۷	انحراف از معیار
۱۶۵۸/۳	۳۲۴/۰	۳۴۲/۳	۱۴۱۶/۵	۲۴۵/۸	۲۶۰/۶	۳/۴۸	۳/۲۴	۳/۴	۹۱۵/۶۷	۲۰۶/۷	۲۱۲/۷۸	میانگین
۱۰/۴	۶/۰	۶/۲	۱/۰	۷/۹	۹/۴	۷/۹۱	۲۳/۴۶	۳۰/۵	۲/۵۶	۵.۶۷	۳/۱۳	ضریب تغییرات(%)



شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات زمانی کل مواد جامد محلول (آزمایشگاهی) در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸



شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات زمانی کل مواد جامد محلول (محاسباتی) در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸

در لیتر می‌باشد که این همان TDS محاسباتی است. اما در عمل کل مواد جامد محلولی که در آزمایشگاه به دست می‌آید با TDS محاسباتی مقداری اختلاف دارد. روش به دست آوردن کل مواد جامد محلول در آزمایشگاه به این صورت است که حجم معینی از محلول را حرارت می‌دهند تا بخار شود، در نهایت تمام آب بخار می‌شود و فقط یون‌ها ته ظرف باقی می‌مانند که مقدار وزنی این یون‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر همان TDS آزمایشگاهی است. علت اختلاف TDS آزمایشگاهی و TDS محاسباتی این است که در محاسبه TDS به روش آزمایشگاهی، بر اثر حرارت برخی از ترکیب‌ها می‌شکنند و بعضی از عناصر (مانند دی‌کسید کربن) به صورت گاز متصاعد می‌شوند. همچنین بعضی از یون‌ها به یون‌های دیگری تبدیل می‌شوند (مانند تبدیل بیکربنات به کربنات).

مقادیر این پارامتر به هر دو روش محاسبه شده و در جدول (۴-۶) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۴-۶ و شکل‌های ۴-۱۷ و ۴-۱۸)، مقدار کل مواد جامد محلول در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر مشابه مناطق کارستی دیگر زاگرس می‌باشد ولی این پارامتر در چشمه سیاه‌گاو نسبتاً زیاد می‌باشد که ناشی از اختلاط آب‌های متعلق به سازندهای گچساران و تا حدی پابده-گورپی با آب‌هایی است که از سازندهای آسماری و سروک منشأ می‌گیرند. با توجه به ضریب تغییرات کل مواد جامد محلول در آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو ملاحظه می‌شود که این پارامتر آماري نیز تأیید کننده تغییرات نسبتاً کم مواد جامد محلول و در نتیجه نشانگر سیستم غالب جریان افشان در این چشمه‌ها می‌باشد.

ب) محاسبه اندیس‌های اشباع و تغییرات زمانی آنها

در بررسی‌هایی که بر روی تغییرات آبدهی، دما، اسیدیته، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها انجام گردید مشاهده شد که تغییرات زمانی همه آنها نسبتاً کم می‌باشد. شاخص ضرایب اشباع پارامتر دیگری است که می‌تواند عامل کنترل کننده مناسبی برای تشخیص سیستم جریان آب زیرزمینی باشد. بدیهی است که با افزایش زمان ماندگاری آب زیرزمینی در آبخوان بر اشباع شدگی آب نسبت

به کانی‌ها افزوده می‌گردد. محاسبه اندیس اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، ژپس (SI_g)، هالیت (SI_h) و انیدریت (SI_{an}) در چشمه‌های مورد مطالعه (در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸) با استفاده از مدل کامپیوتری PHREEQC interactive 2.6 انجام گرفته است. این مدل به عنوان ورودی، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و همچنین میزان pH و درجه حرارت آب را مورد استفاده قرار داده و پارامترهای فوق را محاسبه می‌نماید. همان‌طور که در جداول (۴-۷ تا ۴-۹) ملاحظه می‌شود، متوسط اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت و آراگونیت در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در طول سال همیشه مثبت بوده و این مسئله نشانگر این است که زمان کافی برای به اشباع رسیدن وجود داشته و جریان در این سیستم عمدتاً به صورت افشان (Diffuse) عمل نموده است. لازم به ذکر است که منفی بودن ضرایب اشباع ژپس، هالیت و انیدریت در چشمه‌ها بیانگر غیر اشباع بودن آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نسبت به این عناصر می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضرایب اشباع ژپس، هالیت و انیدریت آب چشمه سیاه‌گاو نسبت به دو چشمه دیگر نسبتاً بیشتر است که این مطلب بیانگر تاثیر سازندهای گچساران و پابده-گورپی بر روی کیفیت آب این چشمه می‌باشد.

پ) نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)

از نسبت Ca/Mg جهت شناسایی سازندهای آهکی از سازندهای دولومیتی استفاده می‌شود. چنانچه نسبت Ca/Mg در سفره‌های کارستی بین صفر تا ۲ باشد، سازند دولومیتی و چنانچه از ۲ بیشتر باشد، سازند آهکی است و هر چه نسبت کلسیم به منیزیم بیشتر باشد، سنگ آهک خالص‌تر است (Longmuir 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.

متوسط نسبت Ca/Mg برای چشمه‌های کارستی آبدانان و دره‌شهر به ترتیب برابر با ۳/۴ و ۳/۲ می‌باشد که نشانگر پایین بودن درصد خلوص آهک در سازند ایلام-سروک و در نتیجه پتانسیل کم آن

برای تشکیل سیستم‌های کانالی و توسعه کارست است و سیستم غالب جریان از نوع افشان می‌باشد. همچنین مقدار پایین این پارامتر در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر ممکن است به علت میان‌لایه‌های مارنی سازند ایلام باشد. متوسط این پارامتر برای چشمه کارستی سیاه‌گاو برابر با $3/48$ می‌باشد که نسبت به مقدار آن در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر مقداری بیشتر است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد

جدول ۴-۷- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه آبدانان در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸

Saturated indices						تاریخ
Halite	Anhydrite	Gypsum	Dolomite	Aragonite	Calcite	
-۹/۳۹	-۲/۹۴	-۲/۷۲	۰/۷۰	۰/۵۲	۰/۶۷	۱۳۸۸/۷/۱۲
-۹/۴۶	-۳/۰۱	-۲/۷۹	۰/۸۴	۰/۴۹	۰/۶۳	۱۳۸۸/۸/۱۴
-۹/۳۸	-۲/۵۹	-۲/۳۷	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۳۹	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
-۹/۴۱	-۲/۶۸	-۲/۴۶	۰	۰/۰۲	۰/۱۶	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
-۹/۴۶	-۲/۸۳	-۲/۶۱	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۷	۱۳۸۹/۱/۹
-۹/۲۴	-۲/۴۶	-۲/۲۴	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۲۳	۱۳۸۹/۲/۲۴
-۹/۲۱	-۲/۶۰	-۲/۳۸	-۰/۷۱	-۰/۳۱	-۰/۱۶	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۹/۲۸	-۲/۴۸	-۲/۲۶	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۴۰	۱۳۸۹/۵/۳۰
-۹/۳۲	-۲/۴۷	-۲/۲۵	-۰/۶۱	-۰/۳۰	-۰/۱۶	۱۳۸۹/۶/۳۰
-۸/۳۵	-۲/۶۷	-۲/۴۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۷	میانگین

جدول ۴-۸- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه دره‌شهر در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸

Saturated Indices						تاریخ
Halite	Anhydrite	Gypsum	Dolomite	Aragonite	Calcite	
-۹/۳۵	-۲/۹۷	-۲/۷۵	۰/۶۱	۰/۳۱	۰/۴۶	۱۳۸۸/۷/۱۲
-۹/۳۷	-۲/۹۴	-۲/۷۲	۰/۴۰	۰/۱۹	۰/۳۴	۱۳۸۸/۸/۱۴
-۹/۲۸	-۲/۶۹	-۲/۴۷	۰/۶۶	۰/۳۵	۰/۵۰	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
-۹/۳۳	-۲/۶۲	-۲/۴۰	-۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۲۰	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
-۹/۲۴	-۲/۶۴	-۲/۴۲	-۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۱۲	۱۳۸۹/۱/۹
-۹/۳۶	-۲/۲۱	-۱/۹۹	-۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۱۹	۱۳۸۹/۲/۲۴
-۸/۷۷	-۲/۹۰	-۲/۶۸	-۰/۸۷	-۰/۳۸	-۲/۴	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۹/۰۳	-۲/۶۱	-۲/۳۹	-۰/۴۳	-۰/۱۸	-۰/۰۴	۱۳۸۹/۵/۳۰
-۹/۰۰	-۲/۷۲	-۲/۵۰	-۰/۴۷	-۰/۲۱	-۰/۰۶	۱۳۸۹/۶/۳۰
-۹/۱۹	-۲/۴۸	-۲/۴۸	-۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۶	میانگین

جدول ۴-۹- تغییرات زمانی اندیس‌های اشباع در چشمه سیاه‌گاو در سال آبی ۸۹ - ۱۳۸۸

Saturated Indices						تاریخ
Halite	Anhydrite	Gypsum	Dolomite	Aragonite	Calcite	
-۶/۰۸	-۰/۸۹	-۰/۶۷	۱/۲۵	۰/۷۱	۰/۸۵	۱۳۸۸/۷/۱۲
-۵/۹۱	-۰/۸۰	-۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۴۸	۱۳۸۸/۸/۱۴
-۶/۰۰	-۰/۸۲	-۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۵۰	۱۳۸۸/۱۰/۲۵
-۶/۰۶	-۰/۹۰	-۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۵۳	۱۳۸۸/۱۱/۲۳
-۶/۰۷	-۰/۸۲	-۰/۶۰	۰/۷۳	۰/۴۱	۰/۵۵	۱۳۸۹/۱/۹
-۵/۹۴	-۰/۷۹	-۰/۵۷	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۳۳	۱۳۸۹/۲/۲۴
-۶/۰۶	-۰/۸۳	-۰/۶۱	-۰/۴۶	-۰/۱۶	-۰/۰۲	۱۳۸۹/۴/۱۸
-۵/۷۶	-۰/۷۳	-۰/۵۱	-۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۷	۱۳۸۹/۵/۳۰
-۵/۷۷	-۰/۷۳	-۰/۵۱	-۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۲۰	۱۳۸۹/۶/۳۰
-۵/۹۶	-۰/۸۱	-۰/۵۹	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۴۰	میانگین

حوضه آبگیر این چشمه متعلق به سازندهای سروک، آسماری و گچساران می‌باشد و نسبت کلسیم به منیزیم در این چشمه نشانگر متأثر بودن آب آن از سازندهای مختلف با لیتولوژی متفاوت می‌باشد به این صورت که سازند گچساران گچی - انیدریتی (CaSO_4)، سازند سروک آهکی و سازند آسماری آهک و آهک دولومیتی می‌باشد. پس با توجه به تغییرات زمانی نسبت Ca/Mg نمی‌توان در مورد توسعه کارست در حوضه آبگیر این چشمه بحث کرد.

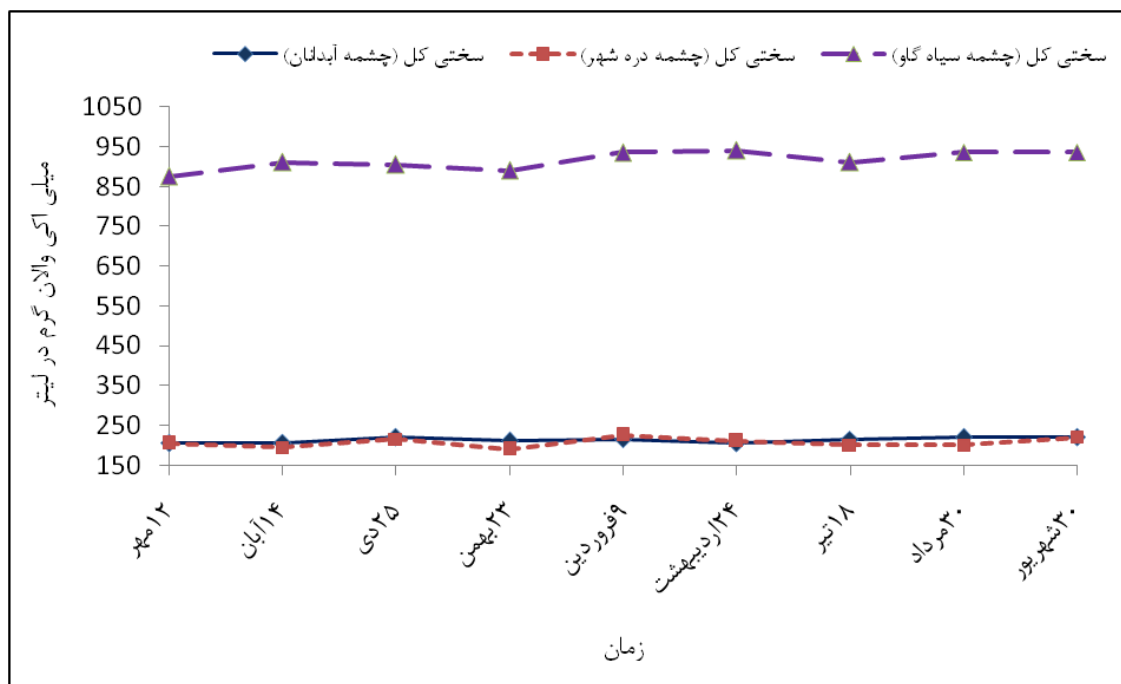
ت) تغییرات زمانی سختی کل

سختی آب به غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم وابسته می‌باشد و معمولاً واحد آن میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. سختی آب به دو گروه سختی کربناته و سختی غیرکربناته تقسیم می‌شود. سختی کربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و منیزیم است که با آنیون‌های کربنات و بیکربنات ترکیب می‌شوند. سختی غیرکربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و منیزیم می‌شود که با آنیون‌هایی غیر از کربنات و بیکربنات ترکیب شده‌اند (برای مثال آنیون سولفات). در مطالعات معمولاً مقدار سختی آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود.

برای تعیین نوع آب بر اساس سختی از طبقه‌بندی رایج تاد (Todd 1980) استفاده می‌گردد. در این طبقه‌بندی آب‌ها به چهار گروه بر اساس میزان سختی کل تقسیم می‌گردند (جدول ۴-۱۰). مقادیر سختی کل چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹ محاسبه شده و نتایج در جدول (۴-۶) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که میانگین سختی کل نمونه‌های آب برای چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو به ترتیب برابر با ۲۱۲/۷۸، ۲۰۶/۷ و ۹۱۵/۶۷ می‌باشد. بنابراین آب چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر در گروه سخت و آب چشمه سیاه‌گاو در گروه خیلی سخت قرار می‌گیرد. همان‌طور که در جدول (۴-۶) و شکل (۴-۱۹) مشاهده می‌شود، میزان تغییرات این پارامتر نیز در

جدول ۴-۱۰- طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل (Todd 1980)

گروه	۱	۲	۳	۴
میزان سختی کل	کمتر از ۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰
نوع آب	نرم	نسبتاً سخت	سخت	خیلی سخت



شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات زمانی سختی کل در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹

چشمه‌های مورد مطالعه نسبتاً کم است، به این ترتیب که مقادیر ضریب تغییرات برای چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو به ترتیب برابر با ۳/۱۳، ۵/۶۷ و ۲/۵۶ می‌باشد. با مقایسه ضریب تغییرات این پارامتر در چشمه‌های مورد مطالعه با ضریب تغییرات آن در سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۱۰ و بالاتر از ۱۰ درصد است، ملاحظه می‌شود که این ضریب تغییرات نیز بیانگر غالب بودن سیستم کارستی افشان در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها می‌باشد.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این تحقیق محدوده حوضه آبرگیر هر چشمه به روش زمین‌شناسی و روش ارائه شده، تعیین شده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد جهت بررسی توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی جنوب شرق تاقدیس کبیرکوه ایلام، برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مربوط به چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و از نمونه‌های آب این چشمه‌ها در طی یک سال (مهر ماه ۱۳۸۸ تا شهریور ماه ۱۳۸۹) آنالیز شیمیایی به عمل آمد. با توجه به نتایج به دست آمده ضریب تغییرات اکثر پارامترها در چشمه‌های مورد مطالعه پایین می‌باشد. پایین بودن ضریب تغییرات این پارامترها با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی نوع افشان - مجرای کاملاً همخوانی دارد. در حوضه آبرگیر کلیه چشمه‌ها آب‌فروچاله و غار بزرگ مشاهده نشده است، بنابراین خصوصیات مورفولوژیکی نیز تأیید دیگری بر جریان افشان - مجرای در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها می‌باشد، به این صورت که عمده جریان توسط سیستم افشان تامین گردیده و سیستم مجرای پراکنده در پیکره سفره نقش انتقال دهنده آب از حوضه آبرگیر به چشمه را بازی می‌کنند.

۵-۲- تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها

چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر از سازندهای ایلام- سروک تخلیه می‌شوند. مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر با استفاده از روش محاسبه ذخیره دینامیک (کریمی، ۱۳۷۶) محاسبه

شده که به ترتیب برابر با ۷۸/۵۵ و ۴۴/۱۵ کیلومتر مربع می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی سراب سیاه‌گاو، عمده حوضه آبرگیر این چشمه مربوط به سازندهای کارستی آسماری و سروک می‌باشد ولی وجود گسل در منطقه باعث عبور آب‌های کارستی متعلق به سازند سروک (از سازندهای پابده - گورپی) و نفوذ به سازند آسماری شده است. همچنین وجود مجاری انحلالی و گسل‌های مخفی در سازند گچساران باعث نفوذ آب‌های کارستی از زیر به این سازند شده و در نهایت از چشمه سیاه‌گاو (که در سازند گچساران واقع شده) تخلیه می‌شود. مساحت حوضه آبرگیر این چشمه نیز به روش زمین‌شناسی و روش ارائه شده محاسبه شده که حدوداً برابر با ۸۰/۳۶ کیلومتر مربع می‌باشد

۵-۳- تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه

یکی از پارامترهای فیزیکی بسیار مهم جهت بررسی توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه‌ها، مقدار دبی و تغییرات زمانی آن می‌باشد. تغییرات زمان دبی چشمه‌ها نسبتاً کم می‌باشد و تغییرات ناچیز این پارامتر و همچنین تبعیت آن از بارندگی، به علت وجود مجاری انتقال دهنده آب (این مجاری در ذخیره‌سازی دخالت ندارند) و بالا بودن گرادیان هیدرولیکی (به علت پرشیب بودن منطقه) در حوضه آبرگیر چشمه‌ها و همچنین پایین بودن کشیدگی حوضه آبرگیر چشمه دره‌شهر و گرد بودن آن می‌باشد. بنابراین سیستم جریان در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها از نوع افشان - مجرای می‌باشد. با توجه به وجود جریان افشان - مجرای بودن سیستم کارستی در حوضه آبرگیر چشمه‌ها، بیشتر بده سالانه این چشمه‌ها (مخصوصاً در دوره خشک) از طریق جریان پایه تأمین می‌گردد.

از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب هدایت الکتریکی می‌باشد، زیرا با املاح جامد حل شده و زمان ماندگاری آب رابطه مستقیم دارد. متوسط مقادیر هدایت الکتریکی آب چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر به ترتیب برابر با ۴۱۰/۷ و ۴۰۹/۰ میکروموس بر سانتی‌متر و در حدود چشمه‌های کارستی (کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) می‌باشد. متوسط هدایت الکتریکی آب چشمه سیاه‌گاو برابر با ۲۳۸۸/۹ میکروموس بر سانتی‌متر است که نشانگر نقش سازند گچساران در تخریب آب این چشمه است.

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه‌ها با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی و همچنین با تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها همخوانی دارد و تغییرات این پارامتر در چشمه‌های مورد مطالعه با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهند. تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چشمه‌های مورد مطالعه نسبتاً کم می‌باشد و با تغییرات این پارامتر در چشمه‌های کارستی نوع افشان - مجرای همخوانی دارد.

از دیگر پارامترهای فیزیکی مهم آب چشمه‌ها دمای آن می‌باشد که ضریب تغییرات آن یکی از معیارهای مهم برای تفکیک جریان‌های افشان و مجرای در کارست می‌باشد. تغییرپذیری مقادیر درجه حرارت در آب چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر ناچیز می‌باشد به این ترتیب که ضریب تغییرات این پارامتر در چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر به ترتیب برابر با ۴ و ۴/۴ درصد است که نشانگر غالب بودن جریان افشان می‌باشد. ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه سیاه‌گاو ۵/۶ درصد می‌باشد. مقدار بالاتر ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه سیاه‌گاو نسبت به دو چشمه دیگر، نه بیانگر سیستم غالب جریان مجرای در حوضه این چشمه، بلکه ناشی از حالت دریاچه‌ای بودن این چشمه و تجمع آب در داخل مخزن و در نتیجه متأثر بودن آن از دمای محیط می‌باشد. همچنین چشمه سیاه‌گاو در همه سال نسبت به چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر دمای بالاتری دارد که بیانگر ارتفاع کمتر چشمه و حوضه آبریز آن از دو چشمه دیگر و همچنین جریان عمقی از حوضه آبریز به طرف چشمه‌ها است. لازم به ذکر است که اختلاف دمای آب چشمه سیاه‌گاو از دو چشمه دیگر، در تمام طول سال تقریباً یکسان است و در تابستان به دلیل گرمی بیشتر هوا و تجمع آب در مخزن، اندکی این اختلاف بیشتر شده است.

از دیگر خصوصیات آب چشمه‌ها که در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده، اسیدیته (pH) است. ضریب تغییرات اسیدیته چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو به ترتیب برابر با ۱/۷، ۱/۱ و ۲/۹ درصد و بیانگر غالب بودن جریان افشان می‌باشد. بنابراین پارامتر اسیدیته نیز نشانگر افشان - مجرای

بودن سیستم مجاری و خلل و فرج هدایت کننده آب در حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، با استفاده از تغییرات زمانی غلظت یون‌های محلول در آب که غلظتشان علاوه بر جنس آبخوان، تابعی از زمان نیز می‌باشد، می‌توان به واکنش‌های رخ داده، میان آب زیرزمینی و مواد جامد تشکیل دهنده محیط آبخوان و تعیین نوع جریان در سفره‌های آبدار پی برد. تغییرات زمانی این پارامتر نیز با خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها و دیگر پارامترها کاملاً همخوانی دارد و بیانگر غالب بودن سیستم کارستی افشان در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها است.

تغییرات زمانی مقادیر کل مواد جامد محلول در چشمه‌های مورد مطالعه که به دو روش محاسباتی و آزمایشگاهی محاسبه شده است نیز تأیید کننده تغییرات نسبتاً کم این پارامتر و در نتیجه نشانگر سیستم غالب جریان افشان در این چشمه‌ها می‌باشد.

متوسط اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت و آراگونیت در چشمه‌های آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو در طول دوره مطالعه همیشه مثبت بوده و این مسئله نشانگر این است که زمان کافی برای به اشباع رسیدن آب زیرزمینی وجود داشته و جریان در این سیستم عمدتاً به صورت افشان (diffuse) عمل نموده است.

از نسبت Ca/Mg جهت شناسایی سفره‌های کارستی آهکی از کارستی آهکی دولومیتی استفاده شده است. متوسط نسبت Ca/Mg برای چشمه‌های کارستی آبدانان، دره‌شهر و سیاه‌گاو پایین می‌باشد که نشانگر پایین بودن درصد خلوص آهک در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها و در نتیجه پتانسیل کم آنها برای تشکیل سیستم‌های کانالی و توسعه کارست است و سیستم غالب جریان از نوع افشان می‌باشد.

برای تعیین نوع آب در چشمه‌های مورد مطالعه از طبقه‌بندی رایج تاد (Todd 1980) استفاده شده است که بر اساس این طبقه‌بندی آب چشمه‌های آبدانان و دره‌شهر در گروه سخت و آب چشمه سیاه‌گاو در گروه خیلی سخت قرار می‌گیرد. میزان تغییرات این پارامتر نیز در چشمه‌های مورد مطالعه

نسبتاً کم است و این پارامتر نیز بیانگر غالب بودن سیستم کارستی افشان در حوضه آبخیز این چشمه‌ها می‌باشد.

۵-۴- پیشنهادها

با توجه به گستره بودن منطقه و کلی بودن این تحقیق، برای مطالعات بیشتر در آینده پیشنهاداتی در زیر ارائه گردیده است:

۱- به منظور تعیین دقیقتر حوضه آبخیز چشمه‌ها، استقرار تعدادی باران‌سنج ثابت مشرف به چشمه‌ها، آزمایشات ردیابی، ایجاد شبکه پیزومتری و محاسبه بیلان توصیه می‌گردد. همچنین بسط‌سازی چشمه و نصب اشل بر روی آن و نیز قرائت روزانه آن پیشنهاد می‌گردد.

۲- جهت شناخت بیشتر سیستم کارستی با توجه به مشخصات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها، مطالعات بیشتری لازم می‌باشد و بهتر است اندازه‌گیری‌ها حتی‌المقدور به صورت روزانه انجام شود.

۳- به علت تأثیرپذیری درجه حرارت چشمه سیاه‌گاو از دمای محیط، پیشنهاد می‌گردد نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترها در کف آن انجام شود.

۴- به منظور شناخت بیشتر سیستم کارستی پیشنهاد می‌گردد ضمن حفر پیزومتر در حوضه آبخیز چشمه‌ها، سطح آب در آنها (به خصوص در فصل تر) به صورت پیوسته اندازه‌گیری شود.

۵- جهت برنامه‌ریزی لازم برای بهره‌برداری بهینه از این چشمه‌ها، مطالعات و تجسس‌ات ژئوفیزیکی مناسب و دقیق در حوضه آبخیز آنها، برای تعیین مشخصات دقیق مخزن صورت گیرد.

۶- با توجه به آبدهی بالا در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه و مناسب بودن آب این چشمه‌ها از نظر کیفی، جهت جلوگیری از هدر رفتن این منابع حیاتی، احداث سدهای بزرگ در منطقه پیشنهاد می‌شود.

منابع

- آقامحمدی اقدام ج.، رئیسی ع.، زارع م. و کریمی ح. (۱۳۸۴)، "ویژگیهای هیدروشیمی سازندهای محدوده سد سازین"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران
- آقاباتی ع. (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران" چاپ اول، انتشارات صنوبر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهاروند س. (۱۳۸۷)، "لرزه خیزی منطقه پل دختر و ارتباط احتمالی آن با زمین لغزش سیمره"، پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ترشیزیان و همکاران، (۱۳۷۱)، "مطالعه زمین ریخت شناسی کارست و بررسی پتانسیل آب در سازندهای سخت گستره مشهد-چناران"، انجمن زمین شناسی ایران،
- خسروتهرانی خ. (۱۳۷۷)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- درویش زاده ع. (۱۳۷۱)، "زمین شناسی ایران"، نشر دانش امروز، تهران.
- رضایی م. (۱۳۷۹)، "پیش بینی تغییرات آبدهی چشمه های کارستی در دوره های خشکسالی"، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
- سحابی ف. و سیادتی ب. (۱۳۷۱) "رسوب شناسی و سنگ شناسی سازند لار در منطقه گرمابدر (فشم) و پلور با توجه خاص به فرآیند کارستی شدن آن"، سمپوزیوم مطالعه و بهره برداری از منابع آب کارست و سازندهای سخت، سازمان تحقیقات منابع آب (تماب).
- سیادتی ب. (۱۳۷۲)، "بررسی گسترش کارست در ساختگاه سازند لار"، مرکز تحقیقات کارست کشور، وزارت نیرو.

سیارپور م. و قبادی م. (۱۳۷۸)، "بهمن سنگی سیمره، ابر زمین لغزش شناخته شده جهان"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

شرکت ملی نفت ایران (۱۹۷۲)، "نقشه زمین شناسی دهلران، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰"، اکتشاف و تولید زمین شناسی، شرکت ملی نفت ایران، تهران

شرکت ملی نفت ایران (۱۹۷۴)، "نقشه زمین شناسی ایلام - کوهدشت، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰"، اکتشاف و تولید زمین شناسی، شرکت ملی نفت ایران، تهران

شریعت جعفری م. (۱۳۷۵)، "زمین لغزش (مبانی اصولی پایداری شیب های طبیعی)"، انتشارات سازه، ۲۱۸ ص.

صداقت م. (۱۳۸۵)، "زمین و منابع آب (آب های زیرزمینی)"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه پیام نور.

علیمرادی ص. (۱۳۸۰)، "بررسی ویژگی های هیدروژئولوژیکی چشمه های کارستی تاقدیس کبیرکوه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

علیمرادی صادق و حقیقت ر. (۱۳۸۴)، "بررسی مشکلات منابع آب حوضه آبریز دشت دهلران"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین شناسی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

علیزاده (۱۳۸۵)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ بیستم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

غضبان ف. (۱۳۸۵)، زمین شناسی زیست محیطی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۰ ص.

کرمی غ. (۱۳۸۳)، "بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان"، طرح پژوهشی با کد ۲۱۰۷، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۴۷.

کرمی غ. و همکاران (۱۳۸۷)، "کاربرد مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در بررسی آب بندی سازندهای کارستی"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز

کرمی غ. (۱۳۸۸)، "نقش چینه شناسی در توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان"، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی سال بیست و پنجم - شماره پیاپی ۳۶ - شماره اول - بهار و تابستان.

کریمی ح.، رئیسی ع. و زارع م. (۱۳۷۴)، "جریان افشان کا ۱- استاد راهنما اول

ذب، تعبیر جدیدی از جریان در محیط‌های کارستی"، انجمن زمین‌شناسی ایران.

کریمی ح. (۱۳۷۶)، "بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها و پیزومترهای تاکدیس پودنو فیروز آباد" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز

کریمی ح.، گرایی پ. و طاهری ک. (۱۳۸۷)، "پتانسیل یابی منابع آب شرب اضطراری جهت شهر ایلام با توجه به شرایط خشکسالی"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز - شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.

کمک پناه ع. و حافظی مقدسی ن. (۱۳۷۲)، "پهنه های خطر زمین لغزش در ایران"، مؤسسه بین

المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد ۶ و ۷

Reference

- Abbott M.D., Lini A. and Beirman P.R. (2000), " $\delta^{18}\text{O}$, δD and 3H measurements constrain groundwater recharge patterns in an upland fractured bedrock aquifer, Vermont, USA", J. of hydrology, Vol. 228, P. 101-112.
- Appelo C.A.J. and Postma D. (2005), "Geochemistry groundwater and pollution (2nd edition)", Amsterdam, Ben Akkerman, 649 P.
- Aquilina L. (2005), "Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring-waters, Applied Geochemistry, NO. 4, Vol. 20, P. 2189-2206.
- Atkinson E.R. and Shmith G.H. (1961), "The significance of particle shape in formation factor-porosity relationships", J. Petrol. Tech. V. 13, P. 285-291 .
- Birk S. (2004), "Identification of localized recharge and conduit flow by combined analysis of hydraulic and physico-chemical spring responses", J. of Hydrology, Vol. 286 NO. 1-4, P. 179-193.
- Bloom A.L. (1991), "Geomorphology, A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms (second edition)", Prentic Hall, New jersey, 522p.
- Bogli A. (1980), "Karst Hydrology of Physical Speleology", Spring Verlag, Berlin, 284 P.
- Bonacci O. (1990), "Specific hydrological characteristics of the karst system", Proc. of the 3rd int. Iranian congress of civil Eng., Vol. 2, P. 175-196.
- Cowell D.W. and Ford D.C. (1983), "Karst hydrology of the Bruce Peninsula, Ontario, Canada, In: Back W., LaMareaux P.E. and Guesteds V.T. Stringfield Symposium Processes in Karst Hydrology". J. of Hydrology, V. 61, P. 163-168.
- Currens J. (2002), "Changes in groundwater quality in a conduit-flow-dominated karst aquifer, following BMP implementation", Environmental Geology, N. 5, V. 42, P.525-531.
- Desmarias K. and Rojstaczer S. (2002), "Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms". J of Hydrology, Vol. 260, No. 1-4, P. 118-134.
- Drogue C. (1972), "Analyse statistique des hydrogrammes de decrues des sources karstiques" J. of Hydrology, NO.1-4, Vol.15, P. 49-68.

Ede D.P. (1972), Comments on "seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs" by Evan T. Shuster and William B. White, J. of Hydrology, Vol: 16, P: 53 –55.

Eisenlohr L., Kiraly L., Bouzelboudjen M. and Rossier Y. (1997), "Numerical Simulation as a tool for checking the interpretation of karst spring hydrographs", J. of Hydrol, Vol. 193, P. 306-315.

Federico C., Aiuppa A., Favara R. and Gurrieri S. (2002), "Geochemical monitoring of groundwaters at Vesuvius volcano (Italy)", J. of Volcano. and Geothermal Research, Vol. 133

Ferdrickson G.C. and Criss R.E. (1999), "Isotope hydrology and residence times of the unimpounded Meramec River Basin, Missouri", Chemical Geology, Vol. 157, P. 303-317.

Ford and William R. (1989), "Karst Geomorphology and Hydrology", London Unwin Hyman Ltd.

Gams I. (1966), "Factors and dynamics of corrosion of the carbonate rocks in the Dinaric and Alpine karst of Slovenia (Yugoslavia)", Geografski Vestnik, Vol. 30, P. 11-68.

Garrels R.M and C.L. Christ (1965), "Solution, minerals and equilibria", Haper and Row, New York., 2nd ed., P: 450

Genthon P. (2005), "Temperature as a marker for karstic waters hydrodynamics", J. of Hydrology, Vol. 311, NO. 1-4, P. 157-171.

Guler C., and Thyne G.D. (2004), "Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA", Journal of Hydrology, Vol.:285, NO.:1-4, P.:177-198.

Halihan T. and Wicks C.M. (1998), "Modeling of storm responses in conduit flow aquifers with reservoirs", J.of.Hydrol. Vol. 209, NO. 1988, P. 82-91

Hem J.D. (1989), "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water", U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, NO. 2254, 264 p.

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.

Jeanine P.Y. and Sauter M. (1998), "Analysis of karst hydrodynamic behavior using global approach", a review. Bulletin d'Hydrogeologie, center d'Hydrogeologie, universite de Neuchate, Vol. 116, P. 31-48

Johnson K.S. (1997), "Evaporite karst in the United states: Carbonates and Evaporites", Vol.12, NO. 1, P. 2-14

Karami Gh. (2002), "Assessing the heterogeneity and flow system types in karstic aquifers using pumping test data", Ph.D. Thesis, University of Newcastle, Newcastle Upon Tyne, 180 p.

Karimi H. (2005), "Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach", J. of Hydrogeology, Vol. 13, NO. 5-6, P. 787-799.

Kovacs A. (2005), "A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis", J. of Hydrology, V. 303, NO.1-2, P. 152–160.

Longmuir D. (1971), "The geochemistry of some carbonate groundwater in central Pennsylvania", Geochem. Et Cosmochim. Acta., Vol. 35, P. 1023

Mangin A. (1975), "Contribution a l'etude hydrodynamique des aquifers Karstiques", Ann Speleol, V. 29, NO. 5-6, P. 283-332.

Martinez J. D., Johnson, K.S. and Neal, J. T. (1998), "Sinkholes in evaporate rocks", American Scientist, Vol.: 86, P.: 38-51.

Milanovic P., (1976), "Water regime in deep karst; case study of the Ombela spring drainage area in: Yevjevich"

Milanovic P.T. (1981), "Karst Hydrogeology. Water Resources Publications", New York, 434 pp.

Milanovic P.T. (1997), "Some Aspects of karst geomorphology and hydrogeology", content for workshop karst research center of Iran, Shiraz

Newson M.D. (1971), of Comment on "Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs" by Shuster E.T. and White W.B.", J. of Hydrol., Vol.:16, P.: 49-51

Oberlander T. (1965), "The Zagros streams: a new interpretation of transverse drainage in an orogenic zone", university press, Geography series, 168p .

- Palmer A.N. (1991), "Origin and Morphology of Limestone", Geological Society of America Bulletin, vol. 103. P. 1-21
- Peterson F. L. (1993), "Hydrogeology of volcanic ocean islands. In: Sakura, Y. (Ed)", Selected Papers on Environmental Geology, Vol. 4
- Pitty A.F. (1966), "The estimation of discharge from a karst rising by natural salt dilution", J. of Hydrol., Vol. 4, P. 63-69.
- Pitty A.F. (1968), "Some features of calcium hardness fluctuation in two karst streams and their possible value in geohydrological studies", J. of Hydrol., Vol.6, P. 202-208.
- Raeisi E., and Karami G. (1996), "The governing factors of the physico-chemical characteristics of Sheshpeer karst springs", Iran, Carbonates and Evaporites, Vol. 11, P. 162-168.
- Raeisi E. and Karami G. (1997), "Hydrochemographs of Berghan karst spring as indicators of aquifer characteristics", J. of Cave and Karst Studies, V. 59, NO. 3, 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
- Raeisi E., and Moore F. (1993), "Hydrochemistry of Karst spring from two carbonatic units in Zagros sides of Iran", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, Vol.4, NO. 4, P. 302-307.
- Scanlon B.R. and Thrailkill J. (1987), "Chemical similarities among physically distinct spring types in a karst terrain", J of hydrol. V. 89, P. 259-279.
- Shuster E.T. and White W.B. (1971), "Seasonal fluctuations in the chemistry of Limestone springs, A possible means for charactristing carbonate aquifer", Journal of Hydrogeology. Vol. 14, P. 93-128
- Ternan J.L. (1972), "Comment on the use of a calcium hardness variability index in the study of carbonate aquifers: with refrence to the central Pennins, England", J. of Hydrol., Vol. 16, P. 317-321.
- Teutsch G. (1993), "An extended double-porosity concept as a partical modeling approach for a karstifical", Turkey, Environmental Geology, V. 36, NO. 1-2, P. 150-158.

- Todd D.K. (1980), "Ground water hydrology" Jhon Wiley and Sons. New York, P. 539.
- Twidale C.R. and Campbell E.M. (1993), "Australian Landforms, Gleneagles Publishing Adelaide", 560p
- Watson R.A. and Wright H.E. (1969), "The Saidmarreh Landslide, Iran", in Geol. Soc. American Special paper, No. 123, P. 115- 139.
- White W.B. (1988), "Geomorphology and Hydrology of karst Terrains", Oxford university press, New York, 464 pp.
- White W.B. and V.A. Schmidt (1966), "Hydrology of a karst area in East-Central West-Virginia", Water Resource. Rec., Vol. 2, P. 549-560
- White W. B. (1988), "Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain", Oxford University Press, Oxford, 464p.
- Wicks C.M., Herman J.S. (1995), "The effect of zones of high porosity and permeability on the configuration of the saline-freshwater mixing zone", Ground Water, V. 33, NO. 5, P. 733-740.
- Zolt J. (1960), "Die hydrographic des nordost alpinen karsts", Steirische Beitrage Hydrogeologie, No. 2, P. 183.

Abstract

The Kabir kuh is a double- plunged Anticline which located in Ilam province and alike to the other anticlines of Zagros Mountains has a northwest – southeast trend. This anticline extends from southeast of the Ilam to the next of the Andimeshk. Length of this mountain is about 160 kilometers and belong to the Zagros folded zone.

The exposed geological formations descending order of age are Garau, Sarvak, Surgah, Ilam, Gurpi, Pabdeh, Asmari and Gachsaran. The case study area is located in southeast this anticline. To determine type of karstic aquifer, the spring of Abdanan, Darreh shahr and Siah gav have been studied during a water year (mehr month 1388 to shahrivar month 1389). Catchment area of Siah gav Springs is located in Sarvak, Pabdeh - Gurpi, Asmari and Gachsaran formations and Catchment area of both Abdanan and Darreh shahr springs is located in Ilam - Sarvak formations. In this study, the values of discharge, electrical conductivity, temperature and pH of springs water have been measured in site and the concentrations of major anion and cation in hydrogeochemistry laboratory of regional water company of Ilam (once every 45 days). After receiving the laboratory results, the statistical parameters such as saturation indices of Calcite (SI_c), Aragonite (SI_a), Dolomite (SI_d), Gypsum (SI_g), Halite (SI_h) and Anhydrite (SI_{an}) have been calculated using PHREEQC and the percent of testing error, total dissolved solids, total hardness, coefficient of variation and some ionic ratios. Finally, have been evaluated karst development in the case study, with attention to time changes of quantitative and qualitative properties in springs. According to studies, dominant current system in the case study is diffuse.

Key words: Kabir kuh, karst spring, hydrogeology, hydrogeochemistry, diffuse system



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Environmental geology

Study on karst development in SE of Kabir-kuh
Anticline, Ilam

By

Mahmud Noori

Supervisor

Dr. G.H. Karami

Dr. H. Karimi

January 2011