

بسم الله الرحمن الرحيم



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی

نقش شکستگی ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی کوه- های شاهو، کردستان

نگارنده:

ارسطو مینویی

اساتید راهنما:

دکتر غلام حسین کرمی

دکتر پرویز امیدی

اسفند: ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

گروه : آبشناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای ارسطو مینویی

تحت عنوان: نقش شکستگی‌ها بر جریان آب زیرزمینی در کوه‌های کارستی شاهو، کردستان

در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید راهنما:
	دکتر غلام حسین کرمی
	دکتر پرویز امیدی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور:
	دکتر فرج الله فردوست		دکتر غلام عباس کاظمی
			دکتر ناصر حافظی مقدس

تعهد نامه

اینجانب ارسطو عینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته فیزیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده نامه / رساله تاثیر فاکتورهای محیطی بر زمین در کوهستان شاهرود تحت پایان نامه متعهد می شوم .

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

تاریخ: ۱۳۸۹/۱/۲۲

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد .

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فاصله گرفتن از آنهایی که دوستشان داریم پیچیده است،
زمان به ما نشان خواهد داد که جانشینی برای آن‌ها نیست

قدردانی

لازم می‌دانم تا مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر پرویز امیدی، اساتید دانشکده علوم زمین، که در تمام مراحل این پژوهش از راهنمایی‌های ارزشمند این بزرگواران بهره‌مند بوده‌ام، ابراز دارم. از آقایان دکتر عزیز الله طاهری و دکتر غلام عباس کاظمی، اساتید دانشکده علوم زمین، نیز به خاطر ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزشمند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از همکاری مسئولین محترم اداره امور آب منطقه‌ای استان کردستان؛ از همراهی برادران عزیزم آقایان لقمان و مختار مینویی و دوست بسیار ارجمندم آقای محمد عزیزی در بازدیدهای صحرایی، و سرانجام از تمامی عزیزانی که ذکر نام یکایک آن‌ها در این مختصر ممکن نیست ولی بی‌تردید، این امر از ارزش همکاری‌شان نمی‌کاهد، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

کوه‌های کارستی شاهو در جنوب استان کردستان و شمال استان کرمانشاه واقع شده‌اند. این کوه‌ها با داشتن سنگ مخزن مناسب آهکی و میزان بارندگی نسبتاً بالا شرایط مساعدی را برای توسعه کارست در این ناحیه از زاگرس مرتفع فراهم نمودند. در این تحقیق سعی شده است ضمن مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های تلوکسان، قلوز و روانسر، خصوصیات ساختاری حاکم بر حوضه آبگیر چشمه‌های روانسر، شیخ علاالدین، سرحوض و تلوکسان و تأثیر این خصوصیات بر جریان آب‌یرزمینی مورد بررسی قرار گیرد.

بر اساس نتایج بدست آمده، تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به ویژه دبی چشمه‌ها بسیار بالا می‌باشد به این ترتیب که ضریب تغییرات دبی چشمه‌های تلوکسان، قلوز و روانسر به ترتیب $۳۴/۸۸$ ، $۵۴/۶$ و $۱۲۲/۵$ درصد می‌باشد. این نتایج بیانگر این است که سیستم غالب از نوع مجرای است. همچنین مطالعات توأم هیدروژئولوژیکی و ساختاری هر دو مؤید این نکته هستند که میزان توسعه یافتگی کارست در حوضه آبگیر چشمه روانسر کمتر از دیگر چشمه‌های مطالعه شده می‌باشد و توسعه کارست در این چشمه در امتداد ساخت‌های تکتونیکی عمده صورت گرفته است. نتایج حاصله از مطالعه شکستگی‌ها منطقه نشان می‌دهد که در تمامی موارد میزان میانگین بازشدگی دهانه درزه‌ها بالاتر از ۳۰ میلی‌متر می‌باشد که بیانگر نقش بارز درزه‌ها در نفوذ آب به درون آبخوان کارستی می‌باشد. به علاوه میانگین طول شکستگی‌های پیمایش شده در بیشتر موارد بیش از ۴۰ متر بوده که در هدایت آب درون سفره کارستی بسیار مهم می‌باشد.

کلمات کلیدی: کارست، هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمی، سیستم مجرای، شکستگی‌ها، کوه‌های شاهو، زاگرس مرتفع.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه	

۱-۱- بیان مسأله.....	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۲
۳-۱- هواشناسی منطقه.....	۵
۱-۳-۱- بارندگی و درجه حرارت در ایستگاه‌های مجاور منطقه.....	۵
۴-۱- موقعیت زمین‌شناسی.....	۷
۱-۴-۱- زیر پهنه زاگرس رورانده.....	۹
۵-۱- واحدهای سنگی رسوبی.....	۹
۱-۵-۱- آهک‌های بیستون.....	۱۰
۲-۵-۱- رادیولاریت‌های باختران.....	۱۳
۳-۵-۱- نهشته‌های کواترنر.....	۱۳
۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه.....	۱۴
۷-۱- هیدرولوژی منطقه.....	۱۵
۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه.....	۱۶
۹-۱- مدل زمین‌شناسی آبخوان.....	۱۷
۱۰-۱- وضعیت پستی و بلندی منطقه.....	۱۹

فصل دوم: تاریخچه مطالعات انجام شده

۱-۲- کارست.....	۲۱
۱-۱-۲- مقدمه‌ای در مورد کارست.....	۲۱
۲-۱-۲- جریان آب زیرزمینی در کارست.....	۲۱
۳-۱-۲- تأثیر عوامل ساختاری در کنترل جریان آب‌های زیرزمینی در کارست‌ها.....	۲۶
۴-۱-۲- اثر عوامل ساختاری در ناهموازی‌های کارستی.....	۲۸
۲-۲- مطالعات ساختمانی.....	۳۰
۱-۲-۲- مفهوم خطواره.....	۳۰
۲-۲-۲- تقسیم‌بندی خطواره‌ها.....	۳۲
الف- درزه‌های مرتبط با چین خوردگی.....	۳۲
ب- درزه‌های مرتبط با گسلش.....	۳۴
۳-۲-۲- تقسیم‌بندی درزه‌ها بر اساس وضعیت هندسی آن‌ها نسبت به لایه‌بندی.....	۳۶
۴-۲-۲- تحلیل شکستگی‌ها.....	۳۷

فصل سوم: روش انجام کار

۴۳	۱-۳- مقدمه.....
۴۳	۲-۳- مطالعات زمین شناسی.....
۴۶	۳-۳- بررسی های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی.....
۴۶	۱-۳-۳- نمونه برداری از آب چشمه های مورد مطالعه.....
۴۷	۲-۳-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری.....
۴۷	الف- اندازه گیری آبدهی چشمه (دبی).....
۴۸	ب- اندازه گیری هدایت الکتریکی چشمه (EC).....
۴۹	ج- اندازه گیری اسیدیته (pH).....
۴۹	د- اندازه گیری درجه حرارت.....
۴۹	۳-۳-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه.....

فصل چهارم: تحلیل داده های ساختاری

۵۰	۱-۴- مقدمه.....
۵۱	۲-۴- چشمه روانسر.....
۵۳	۱-۲-۴- هندسه درزه ها نسبت به لایه بندی.....
۵۸	۲-۲-۴- هندسه درزه ها نسبت به روند ساختاری زاگرس.....
۵۸	۳-۲-۴- شدت درزه ها.....
۶۰	۴-۲-۴- بازشدگی دهانه درزه ها.....
۶۱	۵-۲-۴- طول درزه ها.....
۶۵	۶-۲-۴- جهت شیب درزه ها.....
۶۶	۳-۴- چشمه شیخ علالدین.....
۶۷	۱-۳-۴- هندسه درزه ها نسبت به لایه بندی.....
۷۲	۲-۳-۴- هندسه درزه ها نسبت به روند ساختاری زاگرس.....
۷۳	۳-۳-۴- شدت درزه ها.....
۷۴	۴-۳-۴- بازشدگی دهانه درزه ها.....
۷۸	۵-۳-۴- طول درزه ها.....
۷۹	۶-۳-۴- جهت شیب درزه ها.....
۸۰	۴-۴- چشمه سرحوض.....
۸۱	۱-۴-۴- هندسه درزه ها نسبت به لایه بندی.....
۸۶	۲-۴-۴- تقسیم بندی درزه ها نسبت به روند ساختاری زاگرس.....
۸۶	۳-۴-۴- شدت درزه ها.....
۸۷	۴-۴-۴- بازشدگی دهانه درزه ها.....
۹۰	۵-۴-۴- طول درزه ها.....

۹۱	۴-۶- جهت شیب درزه‌ها.....
۹۲	۴-۵- چشمه تلوکسان.....
۹۲	۴-۵-۱- تقسیم بندی درزه‌ها با استفاده از چگونگی قرارگیری آن‌ها نسبت به لایه‌بندی.....
۹۸	۴-۵-۲- هندسه درزه‌ها نسبت به روند عمومی و چین خوردگی زاگرس.....
۹۸	۴-۵-۳- شدت درزه‌ها.....
۹۹	۴-۵-۴- بازشدگی دهانه درزه‌ها.....
۱۰۱	۴-۵-۵- طول درزه‌ها.....
۱۰۲	۴-۵-۶- جهت شیب درزه‌ها.....
۱۰۳	۴-۶- مقایسه خصوصیات کلی ساختاری در آبخوان چشمه‌های چهار گانه با یکدیگر.....

فصل پنجم: تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی

۱۰۸	۵-۱- مقدمه.....
۱۰۸	۵-۲- چشمه تلوکسان.....
۱۰۹	۵-۲-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری.....
۱۱۱	الف- تعیین ضریب بده چشمه تلوکسان.....
۱۱۲	ب- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه کارستی تلوکسان.....
۱۱۵	۵-۲-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها.....
۱۱۷	۵-۲-۳- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی به همراه سایر پارامترهای محاسبه شده.....
۱۲۲	۵-۳-۳- چشمه قلووز.....
۱۲۲	۵-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری.....
۱۲۴	الف- تعیین ضریب بده چشمه قلووز.....
۱۲۴	ب- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه کارستی قلووز.....
۱۲۶	۵-۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها.....
۱۲۹	۵-۳-۳- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی به همراه سایر پارامترهای محاسبه شده.....
۱۳۳	۵-۴-۴- چشمه روانسر.....
۱۳۳	۵-۴-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری.....
۱۳۴	الف- تعیین ضریب بده چشمه روانسر.....
۱۳۶	ب- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه کارستی روانسر.....
۱۳۹	۵-۴-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها.....
۱۴۱	۵-۴-۳- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی به همراه سایر پارامترهای محاسبه شده.....
۱۴۴	۵-۵- مقایسه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها.....
۱۴۴	۵-۵-۱- مقایسه ضرایب بده سه چشمه با یکدیگر.....
۱۴۵	۵-۵-۲- مقایسه نمودارهای هدایت الکتریکی و بده سه چشمه با یکدیگر.....
۱۴۶	۵-۵-۳- مقایسه تغییرات غلظت یون‌های اصلی در سه چشمه.....
۱۴۷	۵-۵-۴- مقایسه تغییرات ضرایب اشباع در سه چشمه.....

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۴۸	۱-۶- ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های تلوکسان، قلوز و روانسر.....
۱۴۸	۱-۱-۶- چشمه تلوکسان.....
۱۴۹	۲-۱-۶- چشمه قلوز.....
۱۵۰	۳-۱-۶- چشمه روانسر.....
۱۵۱	۲-۶- ارزیابی تحلیل شکستگی‌های چشمه‌های روانسر، شیخ علاالدین، سرحوض و تلوکسان.....
۱۵۱	۱-۲-۶- چشمه روانسر.....
۱۵۲	۲-۲-۶- چشمه شیخ علاالدین.....
۱۵۳	۳-۲-۶- چشمه سرحوض.....
۱۵۴	۴-۲-۶- چشمه تلوکسان.....
۱۵۶	۳-۶- پیشنهادها.....
۱۵۷	مراجع فارسی.....
۱۵۹	مراجع انگلیسی.....

فهرست اشکال

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱: موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.....	۳
شکل ۲-۱: موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و چشمه‌های آن.....	۴
شکل ۳-۱: نقشه زون‌های رسوبی ساختاری ایران.....	۸
شکل ۴-۱: برشی از زاگرس که تقسیمات پنج گانه آن را نشان می‌دهد.....	۸
شکل ۵-۱: نمونه‌ای از آهک‌های سازند بیستون در محل روستای پلنگان.....	۱۱
شکل ۶-۱: نمونه‌ای از غارهای موجود در آهک‌های سازند بیستون در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان.....	۱۲
شکل ۷-۱: تصاویری از مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده مربوط به آهک‌ها شاهو.....	۱۲
شکل ۸-۱: نمایی از رادیولاریت‌های کرمانشاه.....	۱۳
شکل ۹-۱: واریزه‌های موجود در پای دامنه‌ی کوه‌ها (در مجاورت روستای پلنگان).....	۱۴
شکل ۱۰-۱: برش توپوگرافی-زمین‌شناسی که مرز گسلی آبخوان آهکی بیستون را با رادیولاریت‌های باختران نشان می‌دهد.....	۱۸
شکل ۱۱-۱: نمودار هیپسومتری منطقه‌ی شاهو.....	۲۰
شکل ۱-۲: سیستم‌های درزه و شکست وابسته به چین خوردگی.....	۳۳
شکل ۲-۲: تقسیم بندی درزه‌ها بر اساس لایه‌بندی.....	۳۶
شکل ۳-۲: انواع شکستگی‌ها بر اساس موقعیت آن‌ها.....	۳۷
شکل ۱-۴: نمونه‌ای از درزه سیستماتیک و غیر سیستماتیک.....	۵۲
شکل ۲-۴: دو نمونه از درزه‌های پر شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر.....	۵۳
شکل ۳-۴: نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در منطقه.....	۵۴
شکل ۴-۴: نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها.....	۵۵
شکل ۵-۴: رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه روانسر.....	۵۶
شکل ۶-۴: تغییرات شدت شکستگی در سه دسته درزه.....	۵۹
شکل ۷-۴: هیستوگرام توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر.....	۶۲
شکل ۸-۴: نمودارهای گل سرخی مربوط به قطر طویل فروچاله‌ها (الف) و نمودار گل سرخی امتداد خطواره‌های اصلی منطقه (ب).....	۶۳
شکل ۹-۴: تغییرات آبدی در فصول تر و خشک در چشمه روانسر.....	۶۴
شکل ۱۰-۴: هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر.....	۶۵
شکل ۱۱-۴: نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در چشمه علاالدین.....	۶۷
شکل ۱۲-۴: تصویری از لایه‌بندی پرشیب و بازشدگی در امتداد صفحات لایه‌بندی در چشمه شیخ علاالدین.....	۶۸
شکل ۱۳-۴: نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه شیخ علاالدین.....	۶۹
شکل ۱۴-۴: نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها.....	۷۰

- شکل ۴-۱۵- استریوگرام تفکیک شده و نمودار گل سرخی ۴ دسته درزه در محدوده چشمه علالدین..... ۷۱
- شکل ۴-۱۶- تغییرات شدت شکستگی در سه دسته درزه..... ۷۴
- شکل ۴-۱۷- دو نمونه از درزه‌های در امتداد لایه‌بندی (دسته ۳)..... ۷۵
- شکل ۴-۱۸- دو نمونه از درزه‌های دسته ۴..... ۷۶
- شکل ۴-۱۹- هیستوگرام توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه علالدین..... ۷۷
- شکل ۴-۲۰- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه علالدین..... ۸۰
- شکل ۴-۲۱- دو نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در حوضه آبگیر چشمه سرحوض..... ۸۱
- شکل ۴-۲۲- تصویری از لایه‌بندی در حوضه آبگیر چشمه سرحوض و بازشدگی‌هایی که در امتداد لایه‌بندی به وجود آمده‌اند..... ۸۲
- شکل ۴-۲۳- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه سرحوض (الف) و نمودار کننتوری (ب)..... ۸۳
- شکل ۴-۲۴- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها..... ۸۴
- شکل ۴-۲۵- رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه سرحوض..... ۸۵
- شکل ۴-۲۶- تغییرات شدت شکستگی در سه دسه درزه..... ۸۷
- شکل ۴-۲۷- نمونه از درزه‌های در امتداد لایه‌بندی..... ۸۹
- شکل ۴-۲۸- توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه سرحوض..... ۹۰
- شکل ۴-۲۹- هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه سرحوض..... ۹۲
- شکل ۴-۳۰- دو نمونه از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در چشمه تلوکسان..... ۹۳
- شکل ۴-۳۱- نمایی از لایه‌بندی در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان..... ۹۴
- شکل ۴-۳۲- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه تلوکسان (الف) و نمودار کننتوری (ب)..... ۹۵
- شکل ۴-۳۳- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها..... ۹۷
- شکل ۴-۳۴- رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان..... ۹۷
- شکل ۴-۳۵- تغییرات شدت شکستگی در ۴ دسته درزه..... ۹۹
- شکل ۴-۳۶- هیستوگرام توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه علالدین..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۷- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱- نقشه زمین‌شناسی-هیدرولوژیکی منطقه شاهو..... ۱۱۰
- شکل ۵-۲- منحنی فرود چشمه تلوکسان..... ۱۱۳
- شکل ۵-۳- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و دبی چشمه تلوکسان..... ۱۱۴
- شکل ۵-۴- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ) ۱۱۸
- شکل ۵-۵- تغییرات زمانی ضرایب اشباع در چشمه کارستی تلوکسان..... ۱۲۰
- شکل ۵-۶- نمودار فرود چشمه قلوز..... ۱۲۴
- شکل ۵-۷- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و آبدی برای چشمه قلوز..... ۱۲۶
- شکل ۵-۸- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ) ۱۲۹
- شکل ۵-۹- تغییرات زمانی ضرایب اشباع چشمه قلوز..... ۱۳۲
- شکل ۵-۱۰- نمودار فرود چشمه روانسر..... ۱۳۶
- شکل ۵-۱۱- مدل ارائه شده برای چشمه روانسر..... ۱۳۸

- شکل ۵-۱۲- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل آبدهی چشمه روانسر..... ۱۳۸
- شکل ۵-۱۳- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ) ۱۴۱
- شکل ۵-۱۴- تغییرات زمانی ضرایب اشباع در چشمه روانسر..... ۱۴۳

فهرست جدول‌ها

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱- میانگین دما و درجه حرارت در ۳ ایستگاه پلنگاه، روانسر و پاوه واقع در اطراف کوه‌های شاهو.....	۶
جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن.....	۷
جدول ۱-۳: موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های اطراف کوه‌های شاهو.....	۱۷
جدول ۱-۴: تفسیم بندی طبقات ارتفاعی منطقه‌ی شاهو و درصد تجمعی مساحت موجود در هر منطقه.....	۱۹
جدول ۱-۲- ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در دو چشمه افشان و مجرای.....	۲۵
جدول ۱-۳- نمونه‌ای از جدول‌های مورد استفاده در مطالعات ساختاری درزه‌ها.....	۴۶
جدول ۱-۴- خصوصیات آماری دسته درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر.....	۵۷
جدول ۲-۴- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف در چشمه روانسر.....	۶۰
جدول ۳-۴- خصوصیات آماری طول دسته درزه‌های سه‌گانه در چشمه روانسر.....	۶۴
جدول ۴-۴- خصوصیات آماری دسته درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین.....	۷۱
جدول ۵-۴- اندازه بازشدگی رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین.....	۷۵
جدول ۶-۴- خصوصیات آماری طول درزه‌ها در چشمه شیخ علاالدین.....	۷۹
جدول ۷-۴- خصوصیات آماری دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر چشمه سرحوض.....	۸۴
جدول ۸-۴- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه دسته‌های مختلف در چشمه سرحوض.....	۸۸
جدول ۹-۴- توزیع اندازه طول دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر چشمه سرحوض.....	۹۱
جدول ۱۰-۴- خصوصیات آماری دسته درزه‌های پیمایش شده در حوضه چشمه تلوکسان.....	۹۶
جدول ۱۱-۴- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه دسته درزه‌های مختلف در چشمه تلوکسان.....	۱۰۰
جدول ۱۲-۴- خصوصیات آماری طول درزه‌های رده‌های مختلف در چشمه تلوکسان.....	۱۰۲
جدول ۱-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه تلوکسان.....	۱۱۱
جدول ۲-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۱۱۶
جدول ۳-۵- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۱۱۶
جدول ۴-۵- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه‌های آب چشمه تلوکسان.....	۱۲۰
جدول ۵-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه قلوز.....	۱۲۳
جدول ۶-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۱۲۸
جدول ۷-۵- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۱۲۸
جدول ۸-۵- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه‌های آب چشمه قلوز.....	۱۳۰
جدول ۹-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه کارستی روانسر.....	۱۳۵
جدول ۱۰-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای چشمه کارستی روانسر.....	۱۴۰
جدول ۱۱-۵- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۱۴۰
جدول ۱۲-۵- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه‌های آب چشمه کارستی روانسر.....	۱۴۲

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

مناطق کارستی بیش از ۱۱ درصد از سطح کشور ما را پوشش می‌دهند (افراسیابیان ۱۳۷۷) و با عنایت به نقش مؤثر آن‌ها در تأمین آب شرب که با کیفیت بسیار خوبی نیز همراه می‌باشد، مطالعه و تحقیق در این منابع جهت شناخت هر چه بیشتر و بهره‌برداری صحیح از آن‌ها حائز اهمیت فراوان می‌باشد.

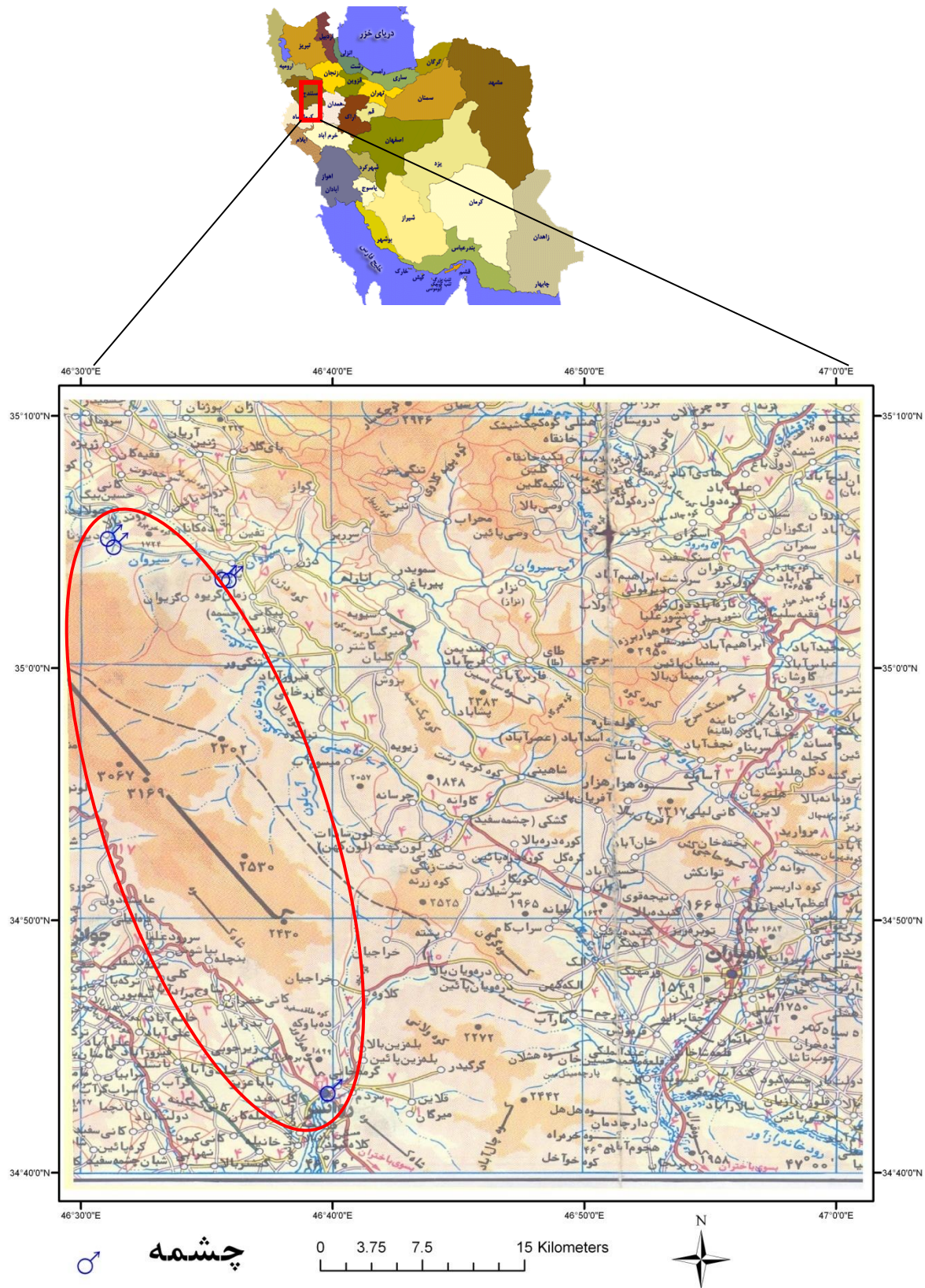
زمین‌های آهکی اغلب شامل درزه‌ها و شکاف‌هایی هستند که به تدریج بر اثر نفوذ آب باران حاوی گاز کربنیک، انحلال پیدا کرده و پدیده کارستی شدن را پدید می‌آورند. رویدادهای تکتونیکی مخصوصاً گسل‌ها و شکستگی‌ها در تسهیل و تشدید کارستی شدن و ابعاد کمی و کیفی رخساره‌های کارستی نقش اساسی و مهمی را بازی می‌کنند (White 1988, Ford 1989, Milanovic 1988). سیستم‌های کارستی به دو گروه مجرای (Conduit) و افشان (Diffuse) تقسیم می‌شوند که هر یک دارای ویژگی‌های مخصوص به خود هستند. جریان آب‌زیرزمینی در بیشتر حوضه‌های کارستی تحت تأثیر ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه است. علاوه بر این پدیده‌های مهم کارستی از قبیل فروچاله‌ها عمدتاً در محل تقاطع گسل‌ها و درزه‌های اصلی بوجود می‌آیند.

با عنایت به مطالب مذکور، ملاحظه می‌شود که مطالعه ساختارهای تکتونیکی در حوضه‌های کارستی از اهمیت بالایی برخوردار است. در منطقه کوه‌های شاهو، واقع در استان کردستان، مطالعاتی با عنوان

ژئومورفولوژی کارست انجام شده است که عمدتاً در خصوص عوامل ژئومورفولوژیکی کارست از قبیل دولین‌ها و کارن‌ها بوده است. در این منطقه بر روی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی و ارزیابی درجه کارستی شدن و ارتباط آن با وضعیت تکتونیکی منطقه مطالعه‌ای صورت گرفته است. در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی شکستگی‌های موجود در حوضه کارستی شاهو، ارتباط آن‌ها با سیستم جریان آب زیرزمینی و نیز چشمه‌های کارستی منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به منظور نیل به اهداف فوق، مطالعات صحرایی برداشت درزه‌ها و نیز نمونه‌برداری از آب چشمه‌های منطقه انجام گرفته و در نهایت به بررسی نقش شکستگی‌های موجود در منطقه در نفوذ و هدایت آب به آبخوان‌های کارستی و نیز نقش تکتونیک در تحول و تکامل ساختارهای کارستی منطقه پرداخته شده است.

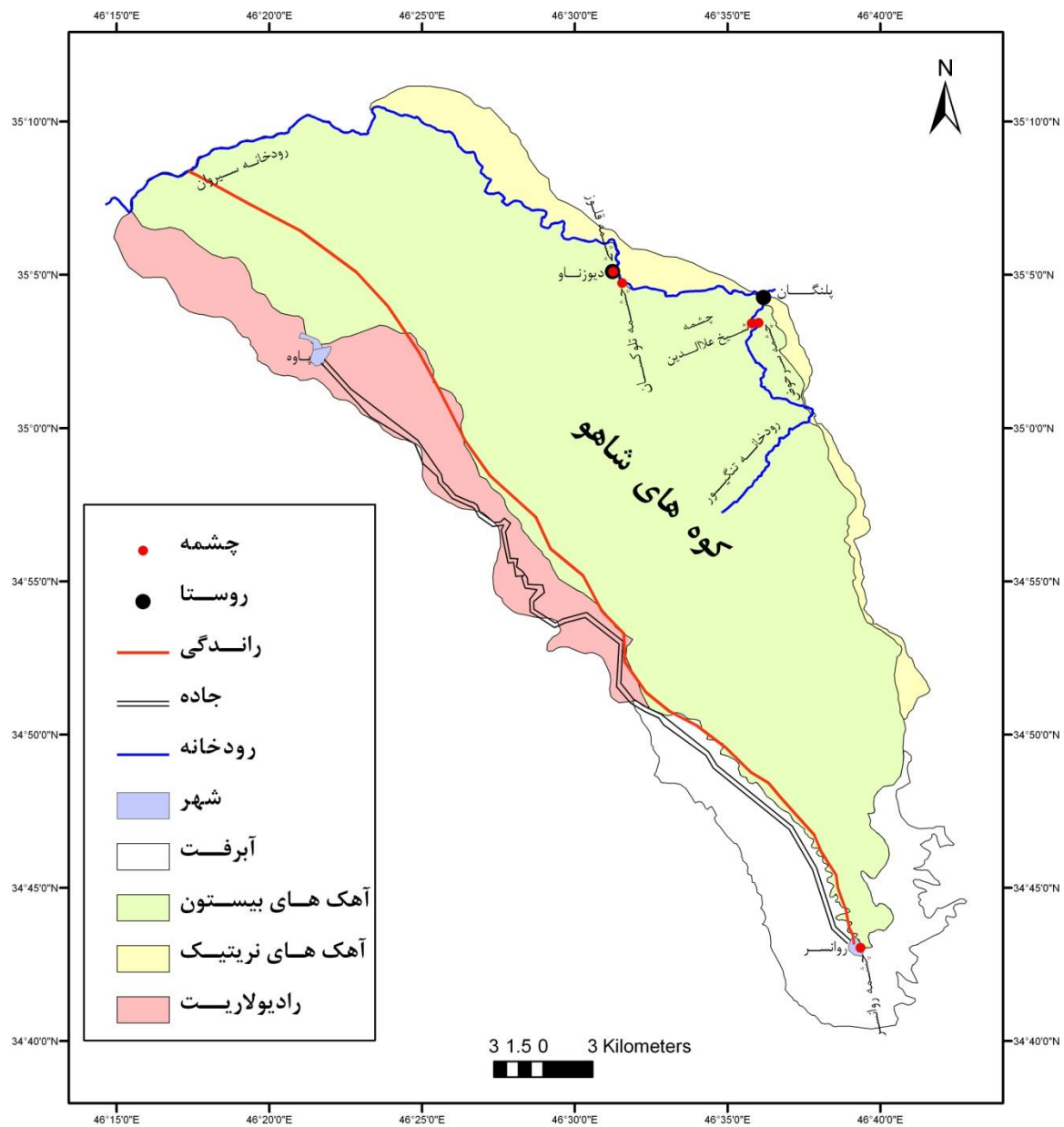
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان‌های کردستان و کرمانشاه، با مختصات جغرافیایی $46^{\circ}15'$ تا $46^{\circ}41'$ طول شرقی و $34^{\circ}42'$ تا $35^{\circ}10'$ عرض شمالی در غرب ایران و در زون زاگرس (زاگرس مرتفع) واقع شده است (شکل ۱-۱). مرز شمالی منطقه به‌طور کلی منطبق بر خط القعر رودخانه سیروان است. مرز غربی و جنوبی منطقه نیز منطبق بر جاده روانسر پاوه می‌باشد. همچنین منطقه مورد مطالعه از طرف مشرق به گردنه نعل شکن محدود می‌شود. متوسط طول منطقه حدود ۵۰ کیلومتر و متوسط عرض آن حدود ۱۳/۵ کیلومتر است. ناهمواری‌های شاهو دارای چندین قله بلندتر از ۳۰۰۰ متر است که مرتفع‌ترین آن قله زاوالی با ارتفاع ۳۳۹۰ متر می‌باشد. حداقل ارتفاع منطقه در مجاورت روستای دیوزناو قرار دارد که دارای ارتفاعی حدود ۸۰۰ متر می‌باشد.



شکل ۱-۱: موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن (نقشه راه‌های استان کردستان)

همچنین در شکل (۲-۱) موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه به همراه چشمه‌های مطالعه شده نشان داده شده است.



شکل ۲-۱: موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و چشمه‌های آن

۳-۱- هواشناسی منطقه

۱-۳-۱- بارندگی و درجه حرارت در ایستگاه‌های مجاور منطقه

به لحاظ وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه، و نیز نبود ایستگاه‌های باران‌سنج، در ارتفاع‌های مختلف کوه‌های شاهو، جهت بررسی اقلیم منطقه از آمار ایستگاه‌های پالنگان، کامیاران و روانسر استفاده شده است (جدول ۱-۱). بر اساس دوره آماری ۲۶ ساله برای ایستگاه پالنگان، متوسط بارندگی ماهانه بین ۱ تا ۸۸ میلی‌متر در سال متغیر است که این مقادیر به ترتیب مربوط به ماه‌های شهریور و بهمن می‌باشد. همچنین مقدار متوسط بارندگی ماهانه برای ایستگاه روانسر در یک دوره آماری ۳۳ ساله بین ۳ تا ۹۷ میلی‌متر به ترتیب برای ماه‌های شهریور و اسفند متغیر می‌باشد. مقدار متوسط بارندگی برای ایستگاه پاهو در یک دوره آماری ۱۶ ساله نیز بین ۸/۵ تا ۱۳۷/۵ میلی‌متر به ترتیب برای ماه‌های شهریور و اسفند بوده است. علاوه بر این مقدار متوسط درجه حرارت برای ایستگاه پاهو بین ۲ و ۲۹/۳ درجه سانتی‌گراد در سال متغیر است که این مقادیر به ترتیب به ماه‌های بهمن و مرداد تعلق دارند. همانگونه که از جدول (۱-۱) ملاحظه می‌شود، متأسفانه آمار مربوط به درجه حرارت ایستگاه‌های پلنگان و روانسر در دسترس نمی‌باشد و به ناچار در این مورد تنها از آمار ایستگاه پاهو برای درجه حرارت استفاده شده است.

بر اساس داده‌های جدول میانگین درجه حرارت سالانه در ایستگاه پاهو برابر ۱۵/۲ می‌باشد. همچنین مقادیر بارندگی ماهانه برای ایستگاه‌های پلنگان، روانسر و پاهو به ترتیب برابر ۴۸/۷، ۴۶/۵ و ۶۶/۳ میلی‌متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن^۱ آب و هوای نیمه مرطوب تا مرطوب را شامل می‌شود. دمارتن برای تعیین اقلیم فرمول زیر را پیشنهاد نموده است.

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1-1)$$

^۱ : De Martonne

در فرمول فوق P متوسط بارندگی سالانه (میلی متر) و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتی گراد می باشد.
بر اساس طبقه بندی دمارتن شش نوع آب و هوا طبقه بندی شده اند که در جدول (۱-۲) ارائه شده اند.

جدول ۱-۱- میانگین دما و درجه حرارت در ۳ ایستگاه پلنگان، روانسر و پاوه واقع در اطراف کوه های شاهو

ایستگاه پلنگان ^۱	ایستگاه روانسر ^۲	ایستگاه پاوه ^۳	ماه/سال	
			بارندگی (mm)	درجه حرارت (°C)
فروردین	۸۶	-	۶۹	-
اردیبهشت	۵۵	-	۴۶	-
خرداد	۱۸	-	۷	-
تیر	۴/۵	-	۵	-
مرداد	۱۰	-	۴	-
شهریور	۱	-	۳	-
مهر	۲۶	-	۲۴	-
آبان	۵۶	-	۶۶	-
آذر	۷۷	-	۸۲	-
دی	۷۵	-	۷۰	-
بهمن	۸۸	-	۸۰	-
اسفند	۸۵	-	۹۷	-
میانگین سالانه	۵۳۵/۶	-	۴۸۷	-

۱: آمار مربوط به بارش ایستگاه پلنگان برای یک دوره ۲۶ ساله، از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۵ می باشد که از سازمان آب منطقه ای استان کردستان اخذ گردیده است. البته در بعضی سال ها مقدار بارش در دسترس نبوده است.

۲: آمار بارش مربوط به ایستگاه روانسر برای یک دوره ۳۳ ساله از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۸۵ می باشد که از سازمان آب منطقه ای استان کردستان اخذ گردیده است.

۳: آمار بارش و درجه حرارت مربوط ایستگاه پاوه برای یک دوره ۱۶ ساله از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۶ می باشد که از سازمان آب منطقه ای استان کردستان اخذ گردیده است.

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن (نقل از علی‌زاده ۱۳۸۶)

نام اقلیم	محدوده شاخص خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۸/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

۴-۱- موقعیت زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه، بخشی از آهک‌های کوه‌های شاهو در واحد زمین ساخت رسوبی زاگرس می‌باشد (شکل ۱-۳). مراد از زاگرس زمین‌های واقع در جنوب باختری زمین درز تتیس جوان است که شامل بلندی‌های باختر و جنوب باختری ایران است و گستره‌های لرستان، خوزستان و فارس را در بر می‌گیرد. از نظر زمین شناسی، در مورد مرز شمال خاوری زاگرس اتفاق نظر وجود ندارد. تقسیمات درونی پهنه‌های زاگرس که توسط محققین مختلف صورت گرفته دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر می‌باشند. یکی از این تقسیم بندی‌ها توسط بربریان (۱۹۹۵) انجام گرفته است. وی نوار زاگرس را از سمت شمال شرقی به جنوب غربی به پنج واحد ریخت زمین ساختی با ویژگی‌های متفاوتی از گسلش، چین خوردگی، بالاآمدگی، فرسایش و رسوب گذاری تقسیم کرده است. این واحدها که دارای ویژگی‌های ساختمانی، ریخت-زمین ساختی و لرزه زمین ساختی متفاوت هستند عبارتند از، نوار رورانده زاگرس مرتفع^۱، نوار چین خورده ساده^۲، زاگرس پیش ژرفا^۳ دشت ساحلی زاگرس^۴ و خلیج فارس- زمین‌های پست بین النهرینی^۵ (شکل ۱-۴).

^۱ : High Zagros Thrust Belt

^۲ : Simple Fold Belt

^۳ : Zagros Foredeep

^۴ : the Zagros Coastal Plain

^۵ : Persian Gulf-Mesopotamian Lowland

۱-۴-۱- زیر پهنه زاگرس رورانده

زاگرس مرتفع یا همان زیر پهنه راندگی‌ها، عبارتست از یک کمربند رورانده باریک با حدود ۸۰ کیلومتر عرض، که مرز شمال خاوری این زیر پهنه، زمین درز زاگرس است. این زمین درز، در بخش شمال باختری گسل اصلی زاگرس^۱ نام گرفته است و مرز جنوب باختری کوه‌های شاهو گسل زاگرس مرتفع^۲ می‌باشد (شکل ۴-۱). زاگرس مرتفع دارای بیشترین نرخ بالاآمدگی، بیشترین بارندگی و خشن‌ترین توپوگرافی نسبت به دیگر مناطق زاگرس می‌باشد. ارتفاع این ناحیه به ۴۰۰۰ متر می‌رسد و دارای کوه‌های مرتفع‌تر و رخنمون‌های عمیق‌تر (با بیرون زدگی‌های پالئوزوئیک قدیمی‌تر در هسته تاقدیس‌های رورانده) نسبت به دیگر واحدهای ریخت زمین ساختی کوه‌های زاگرس می‌باشد. این کمربند به وسیله گسل‌های معکوس متعدد بارها شکافته شده و در جهت جنوب غربی روی بخش‌های گوناگون نواحی جنوب غربی رانده شده است (Berberian 1995). همان‌طور که گفته شد مرز شمال شرقی نوار زاگرس مرتفع، زمین درز زاگرس است که بخش جنوب خاوری، گسل اصلی و معکوس زاگرس و بخش شمال باختری، گسل اصلی و جدید زاگرس نام گرفته است. بخش اخیر لرزه‌خیز می‌باشد (شکل ۴-۱).

۱-۵- واحدهای سنگی-رسوبی

واحدهای سنگی-رسوبی در پیرامون چشمه‌های مورد مطالعه شامل آهک‌های بیستون، رادیولاریت‌های باختران و نهشته‌های کواترنری می‌باشند که در ادامه به معرفی این واحدهای سنگی و نیز ویژگی‌های آن-ها پرداخته می‌شود.

^۱ : Main Recent Fault (MRF)

^۲ : High Zagros Fault

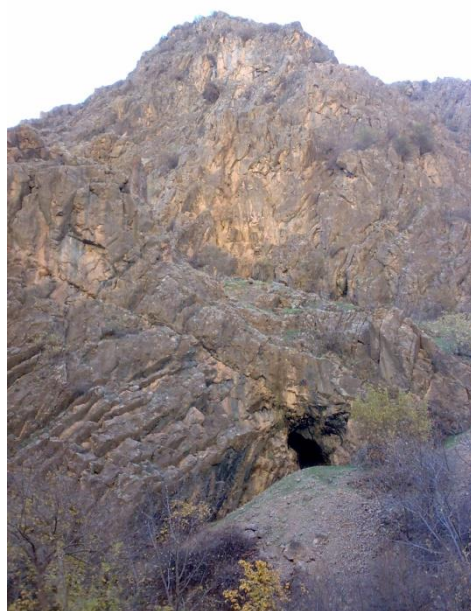
۱-۵-۱- آهک‌های بیستون

این واحد سنگی تنها شامل آهک است که یک ردیف از برجستگی‌ها مانند کوه شاهو و کوه پراو را تشکیل داده است و از جنوب باختری، سنگ‌های رادیولاریتی باختران را محدود می‌نماید (نقشه‌های زمین‌شناسی پالنگان، دیوزناو و روانسر، پیوست). این سری آهکی همه دوران دوم، از تریاس بالا تا کرتاسه پایانی را شامل می‌شود (شکل ۵-۱). همچنین در این آهک‌ها که دارای درجه خلوص ۹۵ درصد هستند (قربانی ۱۳۸۲) غارهای متعددی مشاهده می‌گردد (شکل ۶-۱). از آنجا که این آهک‌ها تقریباً تمامی حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه را در بر می‌گیرند، جهت مطالعه بهتر، از این سنگ‌ها نمونه‌گیری و سپس دو مقطع نازک تهیه گردید (شکل ۷-۱).

در مطالعه میکروسکوپی مقاطع، بلورهای درشت کلسیت در تمامی زمینه سنگ مشاهده گردید. بافت دانه‌ها از نوع ایدیوتوپیک^۱ (هم سایز) است، که تعدادی نیز بلورهای دولومیت به صورت لوزی شکل مشاهده می‌گردند. با توجه به مطالعات صحرایی مشاهده گردید که بخش زیادی از حوضه آبگیر چشمه‌های موجود در کوه‌های شاهو را سنگ‌های آهکی تشکیل داده‌اند، این بررسی‌ها به همراه نتایج حاصل از بخش هیدروشیمی آب چشمه‌ها شامل نسبت کلسیم به منیزیم نشان می‌دهد که آب خروجی از چشمه‌ها از مسیرهای آهکی عبور نموده است. همچنین با توجه به شکل (۷-۱ ب) ملاحظه می‌شود که سنگ‌های آهکی منطقه به شدت تحت تأثیر درزه و شکستگی قرار گرفته‌اند. در این شکل بلورهای کلسیت به صورت بیواسپارایت در زمینه‌ای از بلورهای ریزتر کلسیت قرار گرفته‌اند. همچنین در شکل مذکور آثار مشخصی از یک شکستگی مشاهده می‌گردد که کاملاً با کلسیت ثانویه پر شده است. در مقاطع مطالعه شده هیچ گونه آثار آلوکم‌های زیستی مشاهده نگردید. ولی مطالعات عارفی (۱۳۸۵) در این آهک‌ها وجود رخساره‌های سنگریزه‌ای دانه‌ای (اواولیتیک) و زیست آواری (بیودتریتیک) را تأیید کرده است. این سنگ‌ها نشان

^۱ : Idiopathic

دهنده سن ژوراسیک زیرین-میانی (لیاس-دوگر) می‌باشند. همچنین مؤمنی (۱۳۸۵) به مجموعه آهک-های ریزدانه (بیومیکریت) با چینه‌های ستبر همراه با افق‌های چند از آهک‌های درشت دانه‌تر (آهک‌های زیست‌آواری دارای اونکولیت، اوولیت و خرده‌های آهکی) اشاره نموده است که در آن‌ها افق‌های نئوکومین، آپسین، آلبین و سنومانین قابل تشخیص است.

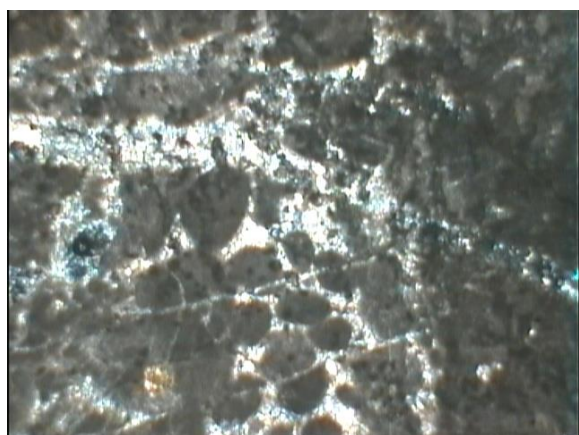


شکل ۱-۵- نمونه‌ای از آهک‌های سازند بیستون در محل روستای پلنگان

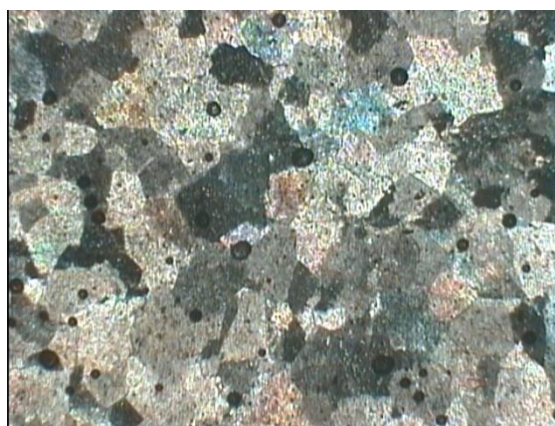
پایین‌ترین لایه‌ها از آهک‌های زرد رنگ متمایل به سفید و دانه‌های ریز تشکیل یافته است. لایه‌های زیرین این بخش به سختی خرد و شکسته شده و با شکاف‌هایی که پرشدگی ثانویه از کلسیت دارند، همانند لایه‌های آواری به نظر می‌رسند که دارای قطعات گوشه‌داری از یک آهک بلورین می‌باشند. آهک‌های توده‌ای را آهک‌های چینه‌ای می‌پوشانند که در میان چینه‌های آن لایه‌های مارنی جای گرفته است (قربانی ۱۳۸۲).



شکل ۱-۶- نمونه‌ای از غارهای موجود در آهک‌های سازند بیستون در حوضه آبریز چشمه تلوکسان



(ب)



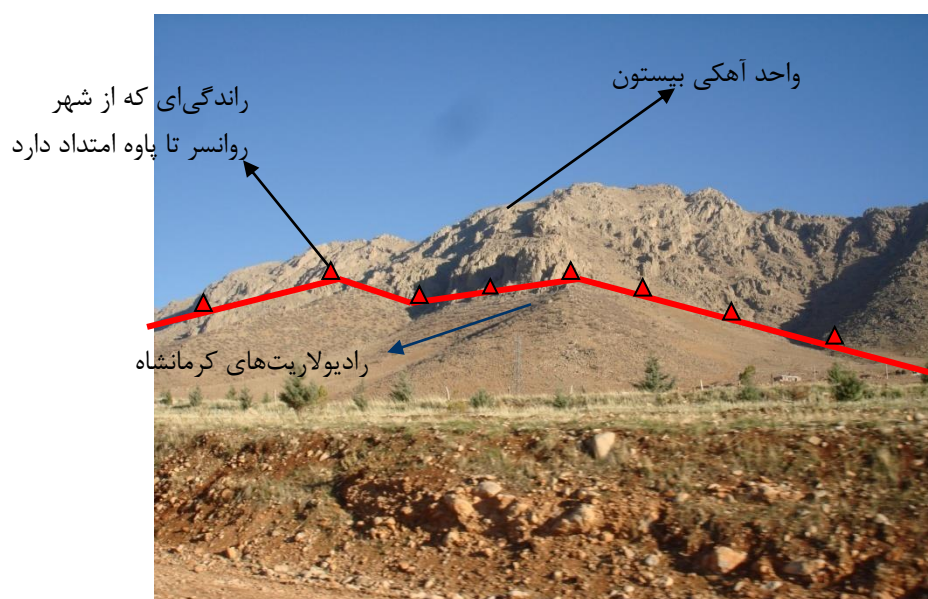
(الف)

شکل ۱-۷- تصاویری از مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده مربوط به آهک‌های بیستون

این آهک‌ها بدون لایه‌بندی و یا دارای لایه‌بندی نسبتاً ضخیم تا ضخیم بوده و از ویژگی بارز آن‌ها درز و شکاف‌های فراوان آن‌ها در امتداد لایه‌بندی می‌باشد (شکل‌های ۴-۱۲ و ۴-۲۲).

۱-۵-۲- رادیولاریت‌های باختران

رادیولاریت‌های باختران به صورت نواری کم و بیش منظم با پهنای ۱۵ کیلومتر از ناحیه پاوه در شمال باختری تا بروجرد در جنوب خاوری و با گذر از شهر باختران گسترده است. این آهک‌ها در جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه چاپ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳) مرز رادیولاریت‌ها را با آهک‌های بیستون، راندگی قرار داده است (شکل ۸-۱)



شکل ۸-۱: نمایی از رادیولاریت‌های کرمانشاه که به وسیله یک راندگی از واحدهای آهکی بیستون جدا می‌گردند.

(در امتداد جاده روانسر-پاوه)

۱-۵-۳- نهشته‌های کواترنر

نهشته‌های کواترنری شامل آبرفت‌های جوان و واریزه‌ها هستند که در پای دامنه‌ها و دشت‌ها در شمال و جنوب منطقه قابل مشاهده می‌باشند (نقشه زمین‌شناسی روانسر، پیوست). این آبرفت‌ها دارای ذخایر آب زیرزمینی با ارزشی هستند و اغلب به عنوان زمین کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اغلب دامنه‌ها را نهشته‌های واریزه‌ای پوشانیده که خاستگاه آن‌ها دیواره‌های آهکی ستیغ کوه‌ها می‌باشد (شکل ۹-۱).



شکل ۱-۹: واریزه‌های موجود در پای دامنه کوه‌ها (در مجاورت روستای پلنگان)

۱-۶- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

ارتفاعات شاهو، بخشی از آهک‌های بیستون به شمار می‌آید. آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای سازند بیستون به علت تحمل فشارهای تکتونیکی و راندگی‌های ایجاد شده در آن دارای قله‌های مرتفع صخره‌ای و دیوار مانند می‌باشد که در زاگرس رورانده واقع شده است. این کمر بند رورانده، بیشترین مقدار بالآمدگی، ارتفاع و بارش را دارد. ارتفاع آن به ۳۴۰۰ متر می‌رسد و نسبت به سایر واحدهای ریخت-زمین-ساختی زاگرس، کوه‌های مرتفع‌تر و رخنمون‌های عمیق‌تری دارد. منطقه مورد مطالعه به همراه نواحی همجوار، از جمله توده آهکی پروار (بیستون)، که از آن به عنوان قطعه عظیم کربناته مزوزوئیک یاد می‌کنند، در پایان کرتاسه-ئوسن بر روی زاگرس چین خورده رانده شده است. یک سری از سنگ‌های ترسیاری به طور پیش‌رونده از سمت شمال شرق آهک‌های بیستون را می‌پوشانند. مرز آهک‌های بیستون با این واحدهای همجوار خود یعنی رادیولاریت‌های باختران در جنوب و جنوب غرب و سنگ‌های ترسیار در شمال شرق رورانده است.

در سطوح مرتفع روانسر و شاهو علاوه بر راندگی‌های ذکر شده، گسل‌های اصلی و فرعی با همان امتداد

شمال غرب-جنوب شرق و همچنین گسل‌های پهنابر (عرضی) با امتداد شمال-جنوب، منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. به علت عدم قابلیت انعطاف سازندهای سخت منطقه (به‌خصوص تشکیلات کربناته) در مقابل پدیده‌های تکتونیکی مذکور، این سازدها به شدت گسلیده شده و سیستم درز و شکاف ثانویه در آن‌ها توسعه زیادی پیدا کرده و از این رو منابع آب (کارستیک) مهمی را در این ناحیه بوجود آورده‌اند (به شکل‌های ارائه شده در فصل ۴ مراجعه شود). به دلیل فشارهای شدید زمین‌ساختی که شکستگی‌های وسیعی را به دنبال داشته است، طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های مشخص را در مقیاس وسیع در منطقه نمی‌توان دید. فروچاله‌هایی که در امتداد سطوح لایه‌بندی شکل گرفته‌اند با روندهای ساختمانی زاگرس رورانه یکی می‌باشند (روند شمال غربی-جنوب شرقی). علاوه بر گسل‌ها، سیستم درز و شکاف در سنگ‌های آهکی منطقه به خوبی قابل مشاهده است. شکل‌گیری این درز و شکاف علاوه بر تأثیر زمین‌ساخت شکننده در منطقه، به طبیعت سنگ‌های آهکی نیز برمی‌گردد. که به دلیل استحکام در مقابل این نیروها مقاومت کرده و نقش نیروی زمین‌ساخت را مضاعف می‌کند.

۷-۱- هیدرولوژی حوضه

رودخانه‌های دائمی مهم در منطقه کوه‌های شاهو، یکی رودخانه سیروان و دیگری رودخانه تنگیور می‌باشند (شکل ۱-۲). در این میان رودخانه سیروان با طولی بالغ بر ۱۰۰ کیلومتر بزرگترین رودخانه در منطقه کوه‌های شاهو قلمداد می‌شود که آب‌های تأمین کننده آن از سازندهای آهکی، دگرگونی و سایر سنگ‌ها می‌باشد. رودخانه دیگر موجود در منطقه کوه‌های شاهو، رودخانه تنگیور می‌باشد که تمامی آب آن از چشمه‌های کارستی شیخ علاالدین و سرحوض (دو تا از چشمه‌های مطالعه شده در این تحقیق) تأمین می‌شود. رودخانه تنگیور در محل روستای پالنگان به رودخانه سیروان می‌پیوندد و در واقع این رودخانه مهمترین سرشاخه رودخانه سیروان تلقی می‌گردد. بعد از پیوستن رودخانه تنگیور به سیروان،

این رودخانه مسیر خود را به طرف غرب ادامه داده و سپس وارد خاک عراق می‌گردد. همچنین رودخانه-های فصلی و موقتی نیز در منطقه وجود دارند که به هنگام بهار، آب خود را از چشمه‌های موقت موجود در پای دامنه ارتفاعات سازند بیستون تأمین می‌کنند.

با توجه به میزان بارندگی بالا، از دیگر ویژگی‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه، سیل خیزی اندک می‌باشد که می‌توان دلیل آن را نفوذپذیری بالای سنگ‌های آهکی سازند بیستون به علت درز و شکاف‌دار بودن آن‌ها بیان نمود.

۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه

هیدروژئولوژی هر آبخوان همواره تابعی از زمین‌شناسی می‌باشد. در واقع زمین‌شناسی در پیدایش و توسعه سفره آب زیرزمینی در هر ناحیه تأثیر بسزایی دارد. آبخوان‌های کارستی نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشند. همان گونه که بیان گردید سازند آهکی بیستون عمده‌ترین سازند تشکیل دهنده کوه‌های شاهو می‌باشد. به دلیل وجود سنگ مخزن مناسب و درز و شکاف‌دار (سازند آهکی بیستون) و بارندگی نسبتاً بالا، در این کوه‌ها منابع آب زیرزمینی به صورت کارست توسعه خوبی پیدا کرده‌اند. در این کارست‌ها چشمه‌های فراوانی با حداقل مجموع آبدهی ۱۴ متر مکعب در ثانیه تشکیل شده‌اند که حجم فراوانی از آب را در طول سال تأمین می‌کند. کیفیت آب این چشمه‌ها نیز بسیار مطلوب بوده که متوسط هدایت الکتریکی ۲۹۵ میکرو موس بر سانتیمتر بر این نکته دلالت دارد.

موقیت جرافیایی و ارتفاع چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، به همراه چند چشمه دیگر که به صورت کمربندی در اطراف کوه‌های شاهو قرار دارند، در جدول (۱-۳) ارائه شده است. با مشاهده ارتفاع چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه در می‌یابیم که کمترین ارتفاع (۹۳۰ متر) مربوط به چشمه تلوکسان بوده که این چشمه بیشترین مقدار آبدهی را در منطقه کوه‌های شاهو دارا می‌باشد. با توجه به دبی بالای این

چشمه و سطح ارتفاعی آن که پایین تر از دیگر چشمه‌ها می‌باشد، می‌توان یکی از علل فزونی آبدهی این چشمه در مقایسه با چشمه‌های موجود را به ارتفاع کم و وسعت زیاد حوضه آبریز آن‌ها نسبت داد.

جدول ۱-۳: موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های اطراف کوه‌های شاهو

نام چشمه	UTM _x	UTM _y	ارتفاع (m)
هولی	۶۲۵۱۳۵	۳۸۷۹۳۳۲	۱۵۷۰
شمشیر	۶۲۹۴۱۱	۳۸۷۲۹۴۷	۱۶۹۰
قوری قلعه	۶۳۷۱۹۹	۳۸۶۲۹۴۶	۱۶۳۰
میرآباد	۶۲۳۶۳۲	۳۸۸۰۶۳۶	۱۴۹۰
پلنگان	۶۴۶۳۵۶	۳۸۸۱۷۵۷	۱۰۳۳
قلوز	۶۳۹۲۲۰	۳۸۸۲۸۴۷	۹۳۳
روانسر	۶۵۱۹۰۴	۳۸۴۲۷۸۸	۱۳۵۱
تلوکسان	۶۳۸۶۹۵	۳۸۸۳۶۹۱	۹۳۲
سرحوض	۶۴۵۸۱۲	۳۸۸۰۵۰۳	۱۰۳۳
شیخ علالدین	۶۴۵۸۱۲	۳۸۸۰۴۹۵	۱۰۳۳

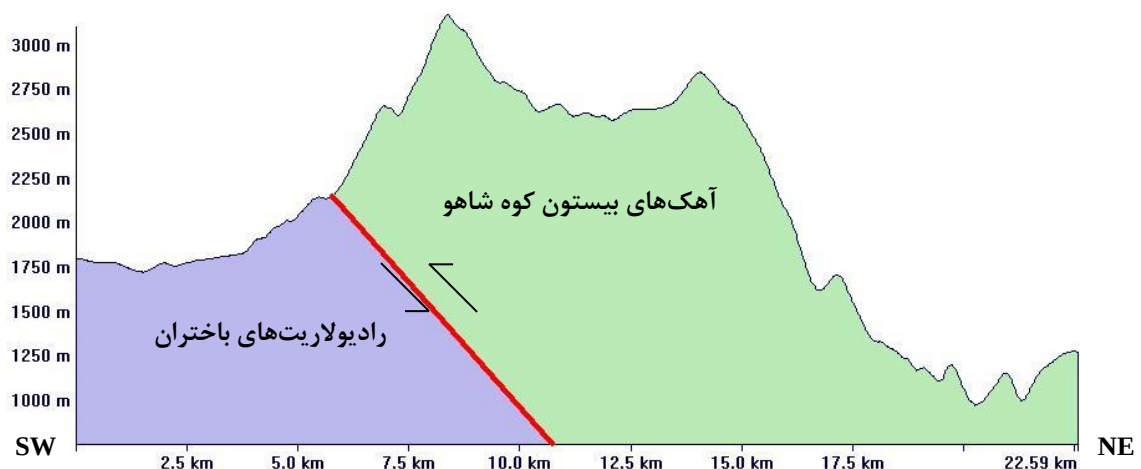
لازم به یادآوری است که از میان چشمه‌های موجود، چشمه‌های شیخ علالدین، سرحوض، تلوکسان، قلوز و روانسر، در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته و دیگر چشمه‌ها، که در یال جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، تنها جهت مقایسه ذکر شده‌اند.

۹-۱- مدل زمین‌شناسی آبخوان

آبخوان چشمه‌های مورد مطالعه از تنوع چینه‌شناسی بسیار کمی برخوردارند و می‌توان گفت که تقریباً تمامی مساحت آبخوان چشمه‌های مورد مطالعه از سازند آهکی بیستون تشکیل شده است. با توجه به محل قرارگیری راندگی که در نواحی جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، سازند آهکی بیستون با تراوایی بسیار بالا را از رادیولاریت‌های کرمانشاه (متشکل از لایه‌های شیل، چرت و به مقدار کمی آهک، با

تراوایی به مراتب کمتر)، جدا می‌کند (شکل‌های ۱-۲، ۱-۸ و ۱-۱۰)، می‌توان مرز جنوب و جنوب غربی این آبخوان‌ها را به رادیولاریت‌های باختران محدود کرد. مرز شمال و شمال شرقی این آبخوان‌ها نیز به خط القعر رودخانه سیروان محدود می‌شود (شکل ۱-۲). خاطر نشان می‌کنیم که این راندگی در برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه نشان داده شده است ولی نامی برای آن عنوان نشده است. مرز زیرین این آبخوان‌ها نیز به احتمال فراوان همان رادیولاریت‌های کرمانشاه (بر اثر رانده شدن آهک‌های بیستون بر روی این نهشته‌ها) می‌باشد. در اینجا باید این نکته را خاطر نشان کنیم که شیب این راندگی به سمت شمال شرقی می‌باشد، که این خود می‌تواند دلیلی بر دبی بسیار بالاتر چشمه‌های موجود در یال شمال شرقی این منطقه، نسبت به چشمه‌های یال جنوب غربی آن باشد و در این میان نیز چشمه تلوکسان با متوسط آبدهی حدود ۴ مترمکعب در ثانیه به عنوان بزرگترین چشمه منطقه محسوب می‌شود.

در مورد مرز میان آبخوان‌های چشمه‌های مورد مطالعه، عارضه مهم ساختاری که بتوان آن را به عنوان مرز آبخوان در نظر گرفت دیده نمی‌شود. مرزهای میان حوضه‌ای در منطقه مورد مطالعه با استفاده از خط تقسیم آب زیرزمینی در ارتفاعات تعیین شده است.



شکل ۱-۱۰- برش توپوگرافی-زمین‌شناسی که مرز گسلی آبخوان آهکی بیستون را با رادیولاریت‌های باختران نشان می‌دهد.

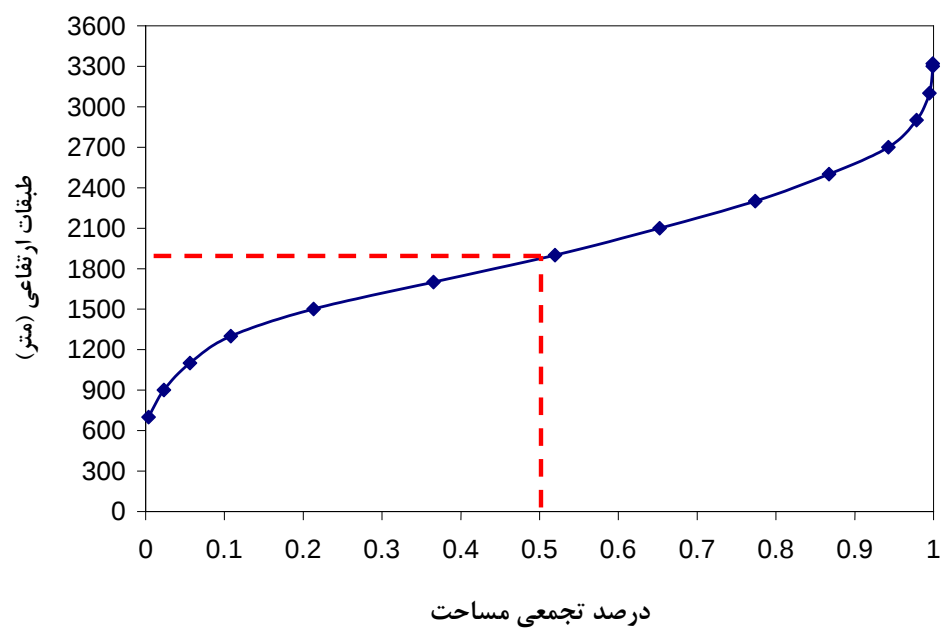
۱۰-۱- وضعیت پستی و بلندی منطقه

نقشه سطوح ارتفاعی در ارتفاع‌های مختلف بیانگر میزان درصد مساحت در طبقه‌های ارتفاعی مختلف می‌باشد. در جدول (۴-۱) طبقات ارتفاعی منطقه شاهو، درصد مساحت موجود در هر منطقه و نیز درصد تجمعی مساحت نشان داده شده است و نیز در شکل (۱۱-۱) نمودار هیپسومتری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

با استفاده از جدول (۴-۱) و نیز شکل (۱۱-۱) مشاهده می‌شود که بیشترین درصد مساحت در طبقات ارتفاعی بین ۱۵۰۰ تا ۱۹۰۰ متر قرار دارد. همچنین ارتفاع متوسط کوه‌های شاهو برابر ۱۸۵۰ متر می‌باشد که در شکل نشان داده شده است. ۲۷۰۰-۲۹۰۰ ۳۱۰۰-۳۳۲۰ ۲۹۰۰-۳۱۰۰

جدول ۴-۱: تقسیم بندی طبقات ارتفاعی منطقه شاهو و درصد تجمعی مساحت موجود در هر منطقه

درصد تجمعی مساحت	درصد مساحت	مساحت هر	طبقه ارتفاعی
0/00381	0/00381	2/9	۶۵۰-۷۰۰
0/02321.	0/0194	14	۷۰۰-۹۰۰
0/05631	0/0331	20	۹۰۰-۱۱۰۰
0/10824	0/05193	31	۱۱۰۰-۱۳۰۰
0/21324	0/105	69/5	۱۳۰۰-۱۵۰۰
0/36534.	0/1521	103	۱۵۰۰-۱۷۰۰
0/51974	0/1544	104	۱۷۰۰-۱۹۰۰
0/65234.	0/1326	95	۱۹۰۰-۲۱۰۰
0/77373	0/1239	81/2	۲۱۰۰-۲۳۰۰
0/86738	0/09265	65	۲۳۰۰-۲۵۰۰
0/94286	0/07549	48	۲۵۰۰-۲۷۰۰
0/9785	0/03568	21/2	۲۷۰۰-۲۹۰۰
0/994905	0/01635	10/4	۲۹۰۰-۳۱۰۰
0/999098	0/0042	2/8	۳۱۰۰-۳۳۲۰



شکل ۱-۱۱: نمودار هیپسومتری منطقه شاهو

فصل دوم: تاریخچه مطالعات انجام شده

۲-۱- کارست

۲-۱-۱- مقدمه‌ای در مورد کارست

کارست عبارت است از یک منطقه با شکل ظاهری خاص که دارای سیستم زهکشی قوی آب زیرزمینی بوده و ناشی از انحلال سنگ‌های با قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی است (Jenning 1985, White 1988, Ford and Williams 1989). علاوه بر اهمیت سازندهای کارستی در ذخیره و تأمین منابع آب، این سنگ‌ها، در ذخایر کانی‌ها، نفت و گاز نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. طبق یک برآورد ۲۵ درصد از مردم دنیا از منابع آب موجود در کارست استفاده می‌کنند (Ford et al. 1988). وایت (White 1988) تعریف زیر را برای کارست ارائه داده است:

واژه کارست به پهنه‌هایی اطلاق می‌شود که در سنگ‌هایی با قابلیت انحلال بالا پدید آمده‌اند. این پدیده مجموعه‌ای از فرایندهای زمین‌شناسی است که آب مهمترین عامل در رخ دادن آن‌ها می‌باشد.

۲-۱-۲- جریان آب زیرزمینی در کارست

اولین مطالعات انجام شده بر روی تغییرات شیمیایی چشمه‌ها و تعیین نوع جریان حاکم در سفره‌های کارستی به کارهای زولت (Zolt 1960)، گامز (Gams 1966)، گارلز و کریست (Garrles and Christ 1965) و پیتی (Pitty 1968) مربوط می‌شود که اساس کار آن‌ها تغییرات خصوصیات شیمیایی آب

چشمه ها بوده است. شوستر و وایت (Shuster and White 1971) مدلی را برای جریان آب در مناطق کارستی، بر مبنای تغییرات زمانی رفتار چشمه ها بیان نمودند. در مدل ارائه شده توسط آنها، سیستم جریان به دو نوع افشان^۱ و مجرای^۲ تقسیم شده است، که البته بین دو نوع سیستم جریان ذکر شده حالت های حدواسط زیادی نیز مشاهده شده است.

در سیستم جریان افشان آب زیرزمینی درون شکستگی ها و حفرات کوچک جریان دارد، در صورتی که در جریان مجرای آب زیرزمینی درون مجاری لوله ای شکل و کانال های بزرگ جریان دارد (Karami 2002). شوستر و وایت (Shuster and White 1971)، تغییرات درجه حرارت، یون های کلسیم، منیزیم، بی-کربنات، هدایت الکتریکی و تغییرات دبی را در مدت یک سال اندازه گیری کرده و به بررسی تغییرات فصلی این پارامترها پرداختند. آنها در نهایت چشمه های منطقه را بر اساس زمین شناسی، ارتفاع چشمه ها نسبت به سطح فرسایش محلی، خصوصیات فیزیکی جریان، وجود و یا عدم وجود فروچاله^۳، غار و دیگر پدیده های ژئومورفولوژیکی موجود در نواحی کارستی، به دو نوع جریان افشان و مجرای تقسیم بندی نمودند. آنها در بین پارامترهای اندازه گیری شده، دو پارامتر درجه حرارت و سختی کل را به عنوان مناسب ترین معیار برای تقسیم بندی لایه آبدار برگزیدند و از شاخص تغییرات^۴ این دو پارامتر برای محاسبه نحوه تغییرات و تقسیم بندی لایه آبدار کارستی استفاده نمودند.

شوستر و وایت (Shuster and White 1971)، بیان کردند که در آبخوان های کارستی دارای جریان افشان، حرکت آب به صورت خطی^۵، از خلال شکستگی های به هم پیوسته ای که بازشدگی کمتر از یک سانتی متر دارند صورت می گیرد. تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیادی در این نوع چشمه ها مشاهده نمی شود، در این نوع جریان، چشمه ها متعدد، پراکنده، با دبی کم بوده و هدایت هیدرولیکی این سیستم ها تقریباً در کل

^۱ : Diffus

^۲ : Conduit

^۳ : Sinkhole

^۴ : Coefficient of Variation

^۵ : Laminar

توده به صورت یکنواخت می‌باشد. این دو نویسنده از نقطه نظر تغذیه در این آبخوان‌ها، بیان نمودند که تغذیه آب در این سیستم‌ها به صورت مستقیم و از طریق درزه و شکاف‌های ریز موجود در سنگ‌های کربناته دربرگیرنده و پوشش‌های خاک فوقانی صورت می‌گیرد. در حوضه آبگیر اینگونه سیستم‌ها عارضه-های ژئومورفولوژیکی مانند فروچاله^۱ و غار مشاهده نمی‌گردد و نیز شاخص تغییرات سختی کل را در اینگونه جریان‌ها کمتر از پنج درصد عنوان کردند.

جریان آب در سیستم‌های مجرای دارای شرایط متفاوتی نسبت به سیستم افشان می‌باشد. در این گونه سیستم‌ها جریان آب در کانال‌های بزرگ و مجاری لوله‌ای شکلی که دارای بازشدگی بیشتر از یک سانتی-متر می‌باشند صورت می‌گیرد. این مجاری بزرگ بیشتر ناشی از پدیده‌های انحلالی صورت گرفته در کربنات‌ها می‌باشد. هدایت هیدرولیکی در اینگونه سیستم‌ها نسبت به سیستم افشان بسیار بیشتر بوده و به همین دلیل جریان آب در آن‌ها عمدتاً به صورت آشفته می‌باشد و تخلیه طبیعی معمولاً از طریق یک چشمه بزرگ با دبی بالا صورت می‌گیرد. همچنین تغذیه آب در سیستم‌های دارای جریان مجرای بیشتر از طریق درزه‌ها و فروچاله‌های موجود در سنگ‌ها، که فاقد پوشش خاک و گیاه می‌باشند صورت می‌گیرد و به دلیل جریان آب در مجاری و حفرات بزرگ، سطح تماس آب با دیواره مجاری بسیار کمتر از سیستم افشان است. شاخص تغییرات سختی کل برای جریان‌های مجرای در محدوده ۱۰ تا ۲۴ درصد متغیر است (Shuster and White 1971).

شوستر و وایت (Shuster and White 1971) بیان کرده‌اند که آب زیرزمینی در چشمه‌های افشان نسبت به کلسیت، تقریباً اشباع می‌باشد، حال آنکه آب در سیستم‌های مجرای به شدت نسبت به کلسیت زیر اشباع است. اد (Ede 1972) همین اعتقاد را در مورد تغییرات دما، سختی و کدورت آب پس از بارش باران داشته است (Karami 2002).

^۱ : Sinkhole

آتکینسون (Atkinson 1977) در مطالعات خود در ناحیه مندپ هلس^۱ نشان داد، که مسیر حرکت آب-های زیرزمینی در سنگ‌های کربناته این ناحیه، از ترکیب دو سیستم جریان مجرای و افشان تشکیل شده است. در این آبخوان‌ها درزه‌ها و شکاف‌های باریک نقش اصلی را در ذخیره آب به عهده داشته و جریان از نوع خطی است. وی نشان داد که کانال‌ها و مجاری بزرگ علاوه بر اینکه نقش انتقال آب را از چاهک‌ها به عهده دارند، به صورت یک زهکش برای سیستم افشان عمل می‌کنند. پس در یک لایه آبدار کارستی دو سیستم جریان مجرای و افشان، به صورت پیوسته‌ای، در کنار یکدیگر وجود دارند. او بر اساس سرعت جریان تغذیه، آن را به جریان سریع^۲ و جریان آهسته نفوذی^۳ تقسیم بندی نمود. وی همچنین با استفاده از هیدروگراف چشمه‌ها و جدا سازی جریان پایه، به محاسبه حجم جریان سریع پرداخت (اقتباس از خسرو پناه ۱۳۸۷).

جاکوبسن و لانگمویر (Jacobsen and Langmuir 1974)، از رابطه میان تغییرات دبی چشمه و بارندگی جهت تعیین نوع سیستم جریان در دو چشمه افشان و مجرای منطقه پنسیلوانیای آمریکا استفاده کردند. آن‌ها هیدروگراف چشمه‌ها را در طول بارش ترسیم کرده و تأثیرات بارش بر دبی چشمه‌ها را در زمانی که دبی در سیستم افشان و مجرای به حداکثر خود می‌رسد بررسی نمودند. کاهش دبی در چشمه افشان پس از رسیدن به دبی اوج تدریجی بوده، در حالی که این کاهش برای چشمه مجرای بسیار سریع اتفاق می‌افتد. آن‌ها دلیل کاهش سریع دبی اوج را برای چشمه مجرای به دلیل وجود کانال‌ها و مجاری زیرزمینی بزرگ که سبب تغذیه و تخلیه سریع آب می‌شود عنوان نمودند. آن‌ها نشان دادند که تخلیه مقدار ۵۰ درصد از مقدار دو بارش متوالی، در چشمه مجرای پس از ۶ روز و در چشمه افشان تخلیه همین مقدار آب پس از زمان ۶۰ روز صورت می‌گیرد. آن‌ها همچنین تغییرات کیفی آب چشمه‌ها را پس از یک بارش بررسی نموده و تغییرات کیفی را به منابع مختلف تغذیه کننده آب چشمه‌ها نسبت دادند.

^۱ : Mendip Hills

^۲ : Quick flow

^۳ : Slow percolation

از آنجا که نوع تغذیه موجود در چشمه‌های مجرای و افشان متفاوت است، تغییرات کیفی آب این چشمه-ها نیز در طی افزایش و کاهش دبی متغیر خواهد بود. این دو محقق شاخص تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی را برای هر دو چشمه محاسبه کرده و متوجه شدند که بجز در مورد کلر و سولفات، در سایر موارد شاخص تغییرات چشمه با جریان مجرای، بیشتر از چشمه افشان است. این دو محقق بر این عقیده بودند که شاخص تغییرات دما بهترین پارامتر برای تشخیص نوع جریان در آبخوان‌های کارستی است. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۱-۲) نشان داده شده است.

نواک (Novak 1983) و کوول و فورد (Cowell and Ford 1983) اظهار کردند که جریان افشان توسط تغییرات کم دما نسبت به زمان و جریان کانالی توسط تغییرات زیاد مشخص می‌شوند (نقل از رئیسی و کرمی ۱۳۷۷).

جدول ۱-۲- ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در دو چشمه افشان و مجرای (Jacobsen and Langmuir 1974)

متغیر	جریان مجرای	جریان افشان
Temp	۲۶/۹	۱/۴
Ca ⁺²	۲۵/۵	۶/۴
Mg ⁺²	۲۷/۶	۲/۰
Total Hardness	۲۶/۰	۴/۸
Na ⁺	۲۵/۹	۲۴/۳
K ⁺	۱۶/۰	۹/۸
HCO ₃ ⁻	۲۸/۶	۲/۷
SO ₄ ⁻²	۱۲/۷	۱۷/۸
Cl ⁻	۱۷/۷	۲۹/۰
NO ₃ ⁻	۳۲/۰	۱۹/۹
Specific Conductance	۲۳/۰	۶/۲
pH	۱/۷	۰/۶
Discharge	۱۷۵/۰	۲۶/۳
SIC	۱۸/۴	۱۶/۱
Pco ₂	۸/۷	۲/۴

آتکینسون (Atkinson 1985) جریان آب را در درون سازندهای کربناته، به انواع افشان، مجرای و شکافی تقسیم نمود. کوینلین و ایورس (Quinlan & Eweers 1985) نیز انواع جریانهای بین دانه‌ای، انتشاری، شکافی و مجرای را درون سازندهای کربناته معرفی نمودند.

۲-۱-۳- تأثیر عوامل ساختاری بر جریان آب زیرزمینی در کارست‌ها

بر اثر نفوذ و چرخش آب در توده‌های کربناته، شبکه‌ای به هم پیوسته از شکاف‌ها و درزهای توسعه یافته را می‌توان مشاهده نمود که محققین مختلف به آن‌ها نام‌های مختلفی مانند کانال، درزهای بزرگ و درزهای ثانویه داده‌اند. باید توجه داشت که نقش سیمای ساختاری تنها محدود به کنترل ناهمواری-های کارستی نمی‌شود، بلکه در واقع در اغلب موارد، کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی نیز تحت تأثیر مستقیم و یا غیر مستقیم این سیمای قرار دارد. نقش شکستگی‌ها و گسل‌ها در کنترل رژیم آب در کارست‌ها بسیار پیچیده است. گسل‌ها ممکن است با افزایش شدت شکستگی در اطراف خود باعث افزایش نفوذپذیری سنگ بستر شوند و به این ترتیب نقش مثبتی را بر روی جریان آب زیرزمینی بگذارند. این شکستگی‌ها گاهی تا شعاع یک کیلومتر اطراف گسل گسترش دارند.

در مواردی هم تشکیل مواد غیر قابل نفوذ در سطح گسل‌ها، مانع عبور جریان آب شده و باعث انحراف آن به جهت دیگر می‌شود. این امر گاهی موجب ظهور آب در مناطق پایین دست می‌گردد، که در این صورت به آن چشمه‌های گسلی اطلاق می‌گردد. گاهی نیز گسل‌ها با جابجایی واحدهای مختلف، سنگ‌هایی با درجه نفوذپذیری متفاوت را در کنار یکدیگر قرار داده و باعث تغییر و تعدیل جهت جریان آب می‌شوند. در برخی موارد نیز پدیده گسلش هیچ‌گونه نقشی در جهت‌گیری و هدایت جریان‌های زیرزمینی ندارد (Kasting 1977). به طور کلی تأثیرات ناشی از گسلش، در کنترل و هدایت آب‌های زیرزمینی ثابت نیست و بستگی به بافت و ساخت سطح گسل دارد. بافت و ساخت سطح گسل تحت تأثیر ترکیب سنگ، شرایط

محلی فشار-دما در حین گسلش و ماهیت کشش و یا فشارش نیروها دارد. در شرایط فشار-دمای بالا، در سطوح گسلی مواد ریزدانه‌ای تشکیل می‌شوند (Wise and *et al.* 1984) که می‌تواند مانع جریان آب شود، در حالی که در شرایط فشار-دمای پایین، برش‌های گسلی که نسبت به لایه‌های مجاور نفوذپذیری بیشتری دارند، گسترش می‌یابند. بنابراین ملاحظه می‌شود که در مورد گسل‌ها امکان ارائه یک اظهار نظر کلی که قابل تعمیم به همه جا باشد، موجود نیست (Waters 1990).

دبی چاه‌ها نیز از جمله مسائلی است که تا حد زیادی تحت تأثیر مسائل ساختاری قرار دارد. بررسی‌ها نشان داده که با گذشت زمان تفاوت ویژگی‌های نفوذپذیری و آبگذری مناطق خرد شده نسبت به اطراف به تدریج افزایش می‌یابد. از این رو اغلب چاه‌هایی که در روی شکستگی‌ها یا محل تقاطع آن‌ها حفر می‌شوند، آبدهی بیشتری نسبت به دیگر چاه‌ها دارند، مانند ایالت والی در پنسیلوانیا که اغلب دره‌ها در طول شکستگی‌ها ایجاد شده‌اند و عمدتاً محل مناسبی برای اکتشاف و بهره‌برداری از آب زیرزمینی به شمار می‌آیند (Siddiqui and Parizek 1971).

ولی این امر یک قاعده کلی نیست، مثلاً در ایلی نیوز کاملاً برعکس است و آبدهی چاه‌هایی که در نواحی مرتفع^۱ آبخوان‌های کم عمق دولومیتی حفر شده، به مراتب بیشتر از آن‌هایی است که در بستر دره‌ها حفر شده‌اند. به همین ترتیب در اغلب مناطق (برای مثال پنسیلوانیای مرکزی) آبدهی چاه‌هایی که در تاق‌دیس‌ها حفر شده‌اند، به مراتب بیشتر از آن‌هایی است که در ناودیس‌ها حفر شده‌اند (Siddiqui and Parizek 1971) ولی این امر نیز یک قاعده کلی نیست و در واقع نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که مناطق ناودیسی برای بهره‌برداری آب مساعدتر هستند. بنابراین ملاحظه می‌شود که ارتباط بین ساختارها و آبدهی چاه‌ها به خوبی شناخته شده نیست و نتایج یک مطالعه را نمی‌توان به مناطق دیگر تعمیم داد (Feeter 1994).

^۱ : upland

کانال‌ها، مجاری انحلالی و غارها باعث افزایش تخلخل می‌گردند اما گستره بسیار وسیعی در مورد مقدار عددی این افزایش گزارش شده است، به عنوان مثال فریز و چری (Freez and Chery 1979) چنین بیان کرده‌اند که تخلخل در آهک‌ها بین صفر تا ۲۰ درصد و برای آهک‌های کارستی بین پنج تا پنجاه درصد است. در این خصوص بوناچی (Bonacci 1987) مقدار تخلخل مؤثر آبخوان‌های کربناته را بین ۱۷ تا ۲۰ درصد، با متوسط ۱/۶ درصد بیان نمود. فورد و همکاران (Ford et al. 1998) بیان نمودند که در اثر انحلال در طول درزه و شکستگی‌ها در سازندهای کربناته، کانال‌هایی در این سنگ‌ها بوجود می‌آید که نقش این کانال‌ها به صورت جزئی در افزایش تخلخل بوده، ولی به واسطه این کانال‌ها میزان نفوذپذیری در سنگ‌های کربناته یک تا سه برابر افزایش می‌یابد.

۲-۱-۴- اثر عوامل ساختاری در ناهمواری‌های کارستی

شکستگی‌ها عامل اصلی گسترش تخلخل ثانویه و نفوذپذیری در سنگ‌ها محسوب می‌شوند، زیرا آن‌ها بافت اولیه و دست نخورده سنگ را بر هم زده و مناطق خرد شده‌ای را ایجاد می‌کنند که در مراحل بعدی امکان نفوذ آب و گسترش انحلالی^۱ مجاری زیرزمینی را فراهم می‌کند. اغلب شکستگی‌ها در اثر نیروهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند، ولی گاهی هم هوازدگی و تخریب مکانیکی عامل ایجاد این شکستگی‌ها هستند. ونی (Veni 1987) عنوان کرد که سنگ‌های کربناته به خصوص در صورتی که ضخیم و توده‌ای باشند، بسیار شکننده هستند. خرد شدن این طبقات در اثر شکستگی‌های ثانویه موجب افزایش تخلخل و نفوذپذیری و گسترش شبکه‌های کارستی به صورت افقی و عمودی در منطقه می‌شود (اقتباس از عزیززاده ۱۳۷۵). ونی (Veni 1987) مراحل تکامل شبکه‌های کارستی در سنگ‌های دارای درجه خردشدگی متفاوت را به چهار مرحله تقسیم نموده است.

^۱ : Solution wideing

در فاز آغازین^۱ که در تمام انواع سنگ‌های خرد شده مشترک است، آشفستگی محلی جریان در شکستگی‌ها موجب می‌شود تا انحلال افزایش یافته و شکستگی‌ها به تدریج چند برابر شوند. پدیده انحلال در این حالت، معمولاً از محل تقاطع شکستگی‌ها که نسبت به جاهای دیگر از نفوذپذیری بیشتری برخوردارند، آغاز می‌شود. دومین مرحله تکامل سیستم نفوذپذیری سنگ، مرحله آبربایی است^۲. در این حالت مجاری ایجاد شده در مرحله قبل، سیماهای هیدرولوژیکی غالبی می‌شوند که آب را از مجاری و شکستگی‌های مجاور به سمت خود می‌کشانند. در مرحله سوم یا مرحله یکپارچگی^۳ فرایندهای سطحی و زیرسطحی به یکدیگر متصل شده و مناطق انحلال گسترش می‌یابند. این ارتباط در مرحله نهایی^۴ افزایش یافته و سیماهای کارست گسترده‌تر می‌شوند. در حالت کلی هرچه نفوذپذیری شکستگی‌ها در سنگ‌ها بیشتر باشد، امکان گسترش سیماهای انحلالی نظیر غارها و دولین‌ها بیشتر است (عزیززاده ۱۳۷۵).

کنترل ساختارهای سیماهای کارستی تنها محدود به دره‌ها نمی‌شود. در واقع در بسیاری از موارد شکل یا جهت‌گیری دولین‌ها و پولیه‌ها توسط شکستگی‌ها کنترل می‌شود. همچنین جهت‌گیری گالری‌های غارها نیز اغلب از روندهای شکستگی اصلی منطقه تبعیت می‌کند (Shanovand Cousset 1993). کارن‌ها و سنگفرش‌های آهکی از جمله سیماهای کوچک مقیاس کارستی هستند که در اثر انحلال در طول شبکه شکستگی‌های منطقه تشکیل می‌شوند. در منطقه کوه‌های شاهو تعداد زیادی فروچاله وجود دارد که در امتداد سطوح لایه‌بندی و عمده‌تاً در امتداد گسل‌های منطقه شکل گرفته‌اند (برای توضیحات بیشتر به فصل پنج مراجعه شود) (قربانی ۱۳۸۲).

ایجل (Edgell 1998)، در بررسی منابع آب کارست در زردکوه، واقع در جنوب غرب ایران، بیان کرد که سنگ آهک کرتاسه میانی در این رشته کوه، توسط گسلش و درزه و شکاف‌های ایجاد شده شدیداً خرد

^۱ : Initiation Phase

^۲ : Piracy phase

^۳ : Intigration phase

^۴ : Final phase

شده، به طوری که سطوح خرد شده شدیداً انحلال یافته است. در نتیجه انحلال، سیماهای کارستی عمقی مثل دولین، فروچاله و سیستم غاری و همچنین سیماهای کارستی سطحی مثل کارن و به ندرت پل‌های طبیعی، در این سنگ آهک به وجود آمده است. او همچنین اعلام کرد که بخش مهمی از آب‌های ناشی از ذوب برف در امتداد درزه‌ها و یا سطوح لایه‌بندی سنگ آهک شکننده، خرد شده و توده‌ای سازند سروک نفوذ می‌کند. مسئله افزایش مقدار نفوذپذیری سنگ‌های کربناته به دلیل نفوذ آب‌های جوی از مدت‌ها قبل شناخته شده است و عموماً در هر جایی که غارهای بزرگ مورد اکتشاف قرار گرفته‌اند و با پدیده سطحی کارست مشاهده شده‌اند، این مسئله تأیید شده، گرچه هیچ گونه توافق عمومی بین هیدروژئولوژیست‌ها در مورد بخشی از سفره کربناته که در آن افزایش قابل توجه نفوذپذیری بر اثر انحلال رخ داده است، وجود ندارند (Ford et al 1988).

۲-۲- مطالعات ساختمانی

۲-۲-۱- مفهوم خطواره^۱

خطواره (Lineament) ترکیبی از دو کلمه Line به معنی خط و mentum به معنای شبیه به خط یا خطواره می‌باشد. کلمه خطواره برای اولین بار توسط هوبس (Hobs 1904) برای مشخص کردن ارتباط فضایی عوارض سطح زمین ارائه گردید. این عوارض شامل، خط الرأس‌ها یا مرزهای نواحی مرتفع، خطوط زهکشی، خطوط ساحلی، خطوط مرزی سازندها (متشکل از انواع مختلف سنگ‌ها) یا خطوط رخنمون‌ها می‌باشد. این محقق بعداً دره‌های تنگ و خطوط واضح شکستگی یا زون‌های برشی گسل‌ها را نیز به موارد بالا اضافه کرد. او معتقد بود که هر تعداد از این شکل‌ها ممکن است به هم پیوندند و تشکیل خطواره را

^۱ برای اثرات شکستگی در متون مختلف نام‌های گوناگونی ارائه شده است، از جمله این عبارات می‌توان به خطواره، درزه و شکستگی و .. اشاره کرد. در تحقیق موجود همه عبارات فوق به صورت مترادف بکار برده شده است.

بدهند. همچنین ثابت نمود که بیشتر خطواره‌ها بر خطوط سائزموکتونیک‌ی منطبق هستند و به همین علت خطواره‌ها تا پیش از این وسیله‌ای برای تشخیص خطر بزرگترین شوک زمین لرزه بودند (زندى ۱۳۷۸).

طبق تعریف دیگر، خطواره عبارت است از یک پدیده خطی مرکب یا ساده که قسمت‌های مختلف آن در یک راستای تقریباً خطی یا با انحنای کم قرار داشته، کاملاً از اشکال پیرامون خود متمایز بوده و احتمالاً منعکس کننده یک پدیده موجود در زمین می‌باشد. پدیده‌های سطحی می‌توانند فرورفتگی‌ها و گودال‌های خطی، گسیختگی در امتداد ستیغ‌ها، تغییرات رنگ‌نمایی خاک، ناشی از تغییرات رطوبت خاک، چشمه‌ها، نشست‌ها، مخازن سطحی معلق، امتداد خطی پوشش گیاهی و تغییرات در نوع و ارتفاع گیاهان، بخش‌های مستقیم رودخانه‌ها و دره‌ها، تغییرات ناگهانی در امتداد دره‌ها و توسعه آبگذرها باشند. پدیده‌های فوق بایستی در سطح زمین به‌صورت مشخصی خطی باشند تا اطلاق واژه خطواره در مورد آن‌ها صدق کند.

اگرچه اکثر خطواره‌ها حداقل در بخشی از طولشان بر گسل‌ها منطبق شده و یا موازی آن‌ها می‌شوند، اما لازم نیست در تعریف خطواره جابجایی ساختاری (گسلش) گنجانده شود. خطواره‌ها در سراسر دنیا مشخص کننده زون‌های ضعیف پوسته زمین هستند و اگرچه هیچگونه جابجایی ساختاری در آن‌ها دیده نشود، ممکن است سنگ‌های کاملاً خرد شده و مستعد فرسایش را به وجود آورند.

طول خطواره‌ها، جهت آن‌ها، فاصلشان از یکدیگر و فاصله نسبت به نزدیکترین عارضه ساختاری از عوامل مهمی هستند که به عنوان کمیت‌های آماری دو بعدی در نظر گرفته می‌شوند (Wilson 2003). ساختارهای زمین‌شناسی از جمله گسل‌ها و درزه‌ها شکل‌های سه بعدی هستند که به وسیله امتداد و شیب نشان داده می‌شوند. بنابراین به منظور شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی نیمه سطحی و بازسازی سطوح شکستگی و تخمین امتداد و شیب آن‌ها، شناخت و تحلیل خطواره‌ها بسیار مهم و با اهمیت است.

۲-۲-۲- تقسیم بندی خطواره‌ها

بیشتر مطالعات ساختمانی در این تحقیق بر روی خطواره‌ها می‌باشد. در تحقیق موجود منظور از خطواره اثر شکستگی در سطح زمین می‌باشد، به همین ترتیب در این مرحله خطواره‌ها را در ارتباط با ساخت-هایی مانند گسل‌ها و چین‌ها به دو دسته درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی و درزه‌های مرتبط با گسلش تقسیم می‌کنیم که در زیر به معرفی این دو دسته از شکستگی‌ها پرداخته می‌شود.

الف- درزه‌های مرتبط با چین خوردگی

همراه با برخی از ساخت‌های زمین شناسی مانند چین‌ها و گسل‌ها درزه‌ها تشکیل می‌شوند. بنابراین می‌توان به رابطه‌ای منطقی بین آن‌ها دست یافت. شکستگی‌ها از معمول‌ترین ساختارهای زمین شناسی هستند و امکان دارد در هر نوع رخنمون سنگی دیده شوند.

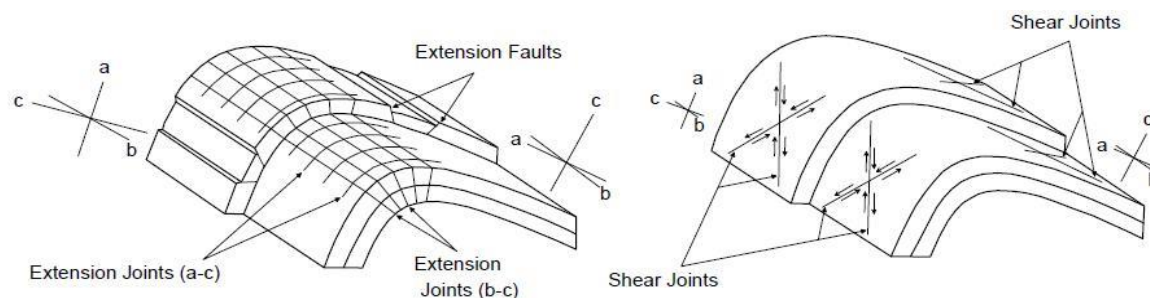
در بسیاری از حالات درزه‌های متعددی در حوالی چین‌ها مشاهده می‌شود. این درزه‌ها بر اثر نیروهایی که لایه‌ها را چین داده‌اند به وجود آمده‌اند، البته امکان دارد که درزه‌ها بعد از چین خوردگی نیز بر ساختار ناحیه اضافه شوند، پس می‌توان آن‌ها را به دو دسته درزه‌های همزمان با چین خوردگی و بعد از چین خوردگی تقسیم کرد.

درزه‌های موجود در چین‌ها را می‌توان بر اساس محورهای تقارن تعریف کرد. سه جهت عمود بر هم a ، b و c ، جهات محوری بر اساس مفاهیم تقارن هستند که معمولاً مرتبط با شکل‌های لایه‌بندی در چین‌ها می‌باشند (شکل ۱-۲). این جهات را ساندر (Sander 1992) در مورد چین‌ها ارائه نمود. وی همچنین بیان کرد که محور a جهت ترابری^۱ تکتونیکی و محور b جهت تغییر شکل را به نمایش می‌گذارد. محور سوم در این طبقه‌بندی محور c می‌باشد. در هر محل، لایه‌بندی به عنوان سطح ab عمود بر محور c و محور b

^۱ : Transportation

به موازات محور چین مشخص می‌شود. جهت محورهای a و c در اطراف محور چین تغییر می‌کند در صورتی که جهت محور b همیشه ثابت می‌ماند.

در نواحی چین خورده، صفحات ab، ac و bc به عنوان درزه‌های کششی معرفی می‌شوند، و همیشه به موازات دو محور تکتونیکی قرار دارند. از این صفحات، صفحه ac (درزه‌های عرضی)^۱ فراوان‌ترین درزه و صفحه bc، درزه‌های طولی^۲ و ab (درزه‌های لایه‌ای) در رده بعدی قرار می‌گیرند. در حالت کلی می‌توان درزه‌های ایجاد شده در طی فرایند چین خوردگی را به سه گروه عمده تقسیم کرد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- سیستم‌های درزه و شکست وابسته به چین خوردگی (McClay 1989)

دسته درزه‌های رهایی یا کششی طولی که روند آن‌ها به موازات محور چین و عمود بر روند حداکثر کوتاه شدگی است. این درزه‌ها پس از اعمال تنش بر توده سنگ به وجود می‌آیند. به دلیل عمق نفوذ کمتر این دسته درزه‌ها، نقش مهمی را در توسعه کارست‌ها در ناحیه غیر اشباع بازی می‌کنند (Milanovic 1988). دسته درزه‌های کششی عرضی که روند آن‌ها عمود بر محور چین و به موازات روند کوتاه شدگی است. به دلیل بازشدگی زیاد، این دسته درزه‌ها نقش بسیار مؤثری را در انحلال و توسعه نواحی کارستی در اعماق

^۱ : Cross Joints

^۲ : Longitudinal

بازی می‌کند. نمونه این دسته درزه‌ها در منطقه مورد مطالعه همراه با بازشدگی زیاد به خوبی قابل تشخیص می‌باشد (توضیحات بیشتر در فصل پنج ارائه شده است).

دسته درزه‌های مزدوج که نسبت به حداکثر کوتاه شدگی زاویه‌ای کمتر از ۴۵ درجه و معمولاً در حد ۳۰ درجه می‌سازند و غالباً به صورت دو دسته درز مزدوج تشکیل می‌شوند. فصل مشترک این درزه‌ها به موازات محور C بوده و دو محور a و b را قطع می‌کنند (McClay 1989).

ب- درزه‌های مرتبط با گسلش

هنریکسن و براتن (Henriksen and Braathen 2006) بر اساس معیارهایی مانند، توزیع و جهت‌یابی شکستگی‌ها، جنس سنگ‌های دربرگیرنده شکستگی، کانی‌سازی در شکستگی‌ها و هندسه آن‌ها، محدوده اطراف زون شکستگی اصلی را تا فاصله ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر به ترتیب زیر تقسیم بندی کرده‌اند:

منطقه هسته با عرض ۲۰-۰ متر: این منطقه که در مجاورت شکستگی اصلی قرار گرفته است، فرکانس بالایی از درزه و شکستگی با شبکه‌ای از شکستگی‌های کوچک که به صورت نیمه موازی نسبت به امتداد گسل قرار گرفته‌اند را شامل می‌شود.

منطقه مجاور هسته با عرض ۱۰-۵۰ متر: در این منطقه نیز شکستگی‌ها دارای فرکانس بالا بوده و بیشتر آن‌ها به صورت نیمه موازی نسبت به امتداد گسل قرار می‌گیرند. در لبه این ناحیه شکستگی‌های مورب وجود دارند.

منطقه دور از هسته با عرض تا ۲۰۰ متر: در این ناحیه فرکانس شکستگی‌ها پایین بوده و جهت‌گیری شکستگی‌ها اکثراً به صورت مایل نسبت به راستای گسل می‌باشد.

هنریکس و براتن (Henriksen and Braathen 2006) همچنین بر اساس مطالعات محلی تنش و شکستگی‌های ناشی از آن، دو فرضیه را برای جریان آب در سازندهای درز و شکافدار کربناته ارائه دادند.

اول اینکه در هسته گسل، آب زیرزمینی در طول درزه‌ها و موازی با جهت حداکثر تنش جریان دارد. البته شایان ذکر است که به علت وجود سنگ‌هایی مانند برش و گوژ گسلی و پرشدگی‌های ثانویه آن‌ها، این منطقه دارای نفوذپذیری پایین است. دوم اینکه در زون مجاور هسته شکستگی‌های طویل دارای فرکانس بالا بوده و در جهات مختلف قرار گرفته‌اند، این پدیده، خود مجموعه‌ای از شکستگی‌های به هم پیوسته را به وجود آورده که سبب تسریع جریان آب زیرزمینی در این ناحیه می‌شود. البته خود این دو محقق بر این عقیده بودند که تقسیمات فوق حالت ایده‌آل را برای گسترش مناطق تغییر شکل یافته نشان می‌دهد و بیان نمودند که گسترش مناطق تغییر شکل یافته بر حسب جنس سنگ‌های گسل خورده و خصوصیات درزه و شکستگی‌های عمده منطقه از یک گسل به گسل دیگر متفاوت است.

علاوه بر تقسیمات فوق، خطواره‌ها را بر مبنای عوامل گوناگون دیگری نیز طبقه‌بندی کرده‌اند که در زیر به چند مورد از آن‌ها اشاره شده است. طبق پیشنهاد برخی محققان از جمله ویلر (Wheeler 1983) خطواره‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند که در این صورت ویژگی‌های شاخص خطواره‌ها همچون، عرض، طول و تباین در تصویر مد نظر قرار می‌گیرد و عده‌ای نیز از جمله واترز (Waters 1990) و گلد (Gold 1990) خطواره‌ها را با در نظر گرفتن توابع هیدرولوژیکی تقسیم بندی می‌کنند که این توابع به عنوان مثال می‌تواند مناطق شکسته شده با هدایت هیدرولیکی بالا یا یک منبع جریان مانند یک دایک باشد و بعضی دیگر مانند (Moor and Holliday 1975) خطواره‌های با اثر سطحی قوی‌تر و طول بیشتر را در اکتشاف آب زیرزمینی مهم می‌دانند.

روش دیگر برای تقسیم بندی خطواره‌ها بر مبنای منشأ زمین‌شناسی آن‌ها می‌باشد که این روش به هر حال بستگی به مشاهدات صحرایی تعداد زیادی از عوارض موجود در منطقه تحت بررسی دارد.

۲-۲-۳- تقسیم‌بندی درزه‌ها بر اساس وضعیت هندسی آن‌ها نسبت به لایه‌بندی

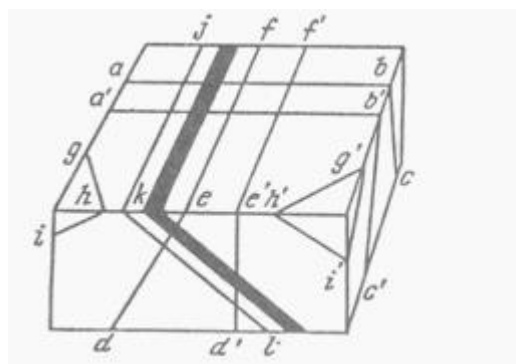
میخائلیف (Mikhailov 1977) درزه‌ها را بر اساس موقعیت نسبی آن‌ها نسبت به لایه‌بندی طبقات به انواع زیر تقسیم نمود (نقل از ادیب ۱۳۸۴).

درزه‌های طبقه‌ای یا موازی لایه‌بندی^۱: درزه‌هایی هستند که سطح آن‌ها به موازات سطح لایه‌بندی سنگ‌ها است، معمولاً در این گونه شرایط تعداد زیادی از آن‌ها وجود دارند که یک دسته درز را تشکیل می‌دهند (سطح jkl در شکل ۲-۲).

درزه‌های امتدادی^۲: به درزه‌هایی اطلاق می‌شود که امتداد آن‌ها موازی یا تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی سنگ‌ها باشد (سطوح fed و $f'e'd'$ در شکل ۲-۲).

درزه‌ها شیبی^۳: در این حالت امتداد درزه موازی یا تقریباً موازی شیب لایه‌بندی است (سطوح abc و $a'b'c'$ در شکل ۲-۲).

درزه‌های مورب^۴: درزه‌هایی که امتدادشان موازی امتداد و شیب طبقات نباشد (سطوح ghi و $g'h'l'$ در شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- تقسیم بندی درزه‌ها بر اساس لایه‌بندی، لایه سیاه رنگ لایه‌بندی را مشخص می‌کند (Mikhailov 1978).

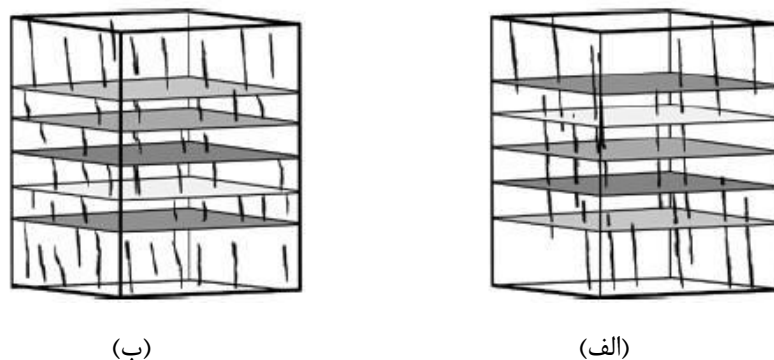
^۱ : Bedding Joints

^۲ : Strike Joints

^۳ : Dip Joints

^۴ : Oblique or Diagonal Joints

همچنین از لحاظ موقعیت در لایه مارشاک و میترا (۱۹۸۸)، درزه و شکستگی‌ها را به دو دسته تقسیم نمودند. دسته اول را شکستگی‌های محدود به یک لایه^۱ تشکیل می‌دهند به گونه‌ای که این شکستگی‌ها در لایه‌های دیگر امتداد ندارند (شکل ۲-۳-الف) و دسته دوم را شکستگی‌هایی تشکیل می‌دهند که ضخامت بیشتر از یک لایه را در بر می‌گیرند^۲ (شکل ۲-۳-ب).



شکل ۲-۳- انواع شکستگی‌ها بر اساس موقعیت آن‌ها. (الف) شکستگی‌هایی که ضخامت بیشتر از یک لایه را در بر می‌گیرند و (ب) شکستگی‌هایی که محدود به یک لایه می‌باشند

۲-۲-۴- تحلیل شکستگی‌ها

نیاز بشر پس از انقلاب صنعتی به انرژی و مواد خام موجود در دل زمین باعث تحولی عظیم در علم زمین-شناسی به ویژه زمین‌شناسی ساختمانی گردید. اهمیت ساختارهایی نظیر چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها در مهاجرت و تجمع سیالات هیدروکربنی در مخازن نفتی و جریان آب‌های زیرزمینی و نهشته شدن محلول-های کانه‌ساز در درز و شکاف‌ها موجب گشت تا محققین بسیاری پی به اهمیت مطالعه پی‌گیر درباره ساختارهای مذکور در مقیاس‌های گوناگون ببرند. به ویژه در رابطه با درزه و شکستگی‌ها، نقشه‌های

^۱ : Single Layer Fractures (SLF)

^۲ : Multi Layer Fractures (MLF)

بسیاری از رخنمون‌های آذرین و دگرگونی و رسوبی تهیه و تشریح شد، ولی اغلب این پژوهش‌ها جنبه توصیفی داشته به طوری که از اهمیت کاربردی چندانی برخوردار نبودند. از جمله محققانی که سعی در پیدا کردن روابطی بین الگوهای شکستگی با دیگر عناصر ساختاری داشته‌اند می‌توان از محققینی مانند بوچر (Bucher 1920) و دی سیتزر (De Sitter 1959) نام برد. دی سیتزر (De Sitter 1959) پی به رابطه بین الگوی شکستگی‌ها و ساختمان چین برد. اما این رابطه به قدری پیچیده به نظر می‌رسید که به عقیده خود او غیر قابل تجزیه و تحلیل به نظر می‌رسید. پارکر (Parker 1942) به واسطه مشاهداتی که بر روی شکستگی‌های موجود در چین‌های پالئوزوئیک در مشرق، مرکز و جنوب نیویورک و شمال پنسیلوانیا انجام داده بود، نتیجه گرفت که جهت‌گیری گروه‌های شکستگی به صورت ناحیه‌ای تغییر می‌کند و به چین‌ها و گسل‌ها ارتباطی ندارد. هادسون (Hadgson 1961) با نتیجه‌گیری از مطالعات انجام شده بر روی درزه‌های منطقه آریزونا و یوتا نظریه ارتباط زایشی بین درزه‌ها و چین‌ها را حداقل در مناطق مذکور رد کرد. وی تشکیل این درزه‌ها را مربوط به مراحل اولیه تشکیل رسوبات دانسته و حرکات دوره‌ای زمین را به عنوان ساز و کار اصلی برای توسعه آن‌ها پیشنهاد کرد. پرایس (Price 1966) تشکیل درزه‌ها را حتی در مراحل اولیه تشکیل رسوبات، ممکن دانسته است اما وی باقی ماندن این درزه‌ها را پس از فرایندهای تراکم و دیاژنز رسوبات مورد تردید قرار می‌دهد. استرناند و فریدمن (Stearnand and Friedman 1972) دو گروه مهم از شکستگی‌ها را مورد بررسی قرار دادند. که یکی از این دو گروه را از لحاظ زایشی وابسته به چین خوردگی و گروه دیگر را بدون ارتباط با ساختارهای محلی و به عنوان شکستگی‌های ناحیه‌ای در نظر گرفتند. همچنین آن‌ها معتقد بودند که چگالی شکستگی‌ها بسیار وابسته به جنس و ضخامت لایه سنگی می‌باشد ولی در این خصوص هیچ‌گونه تجزیه و تحلیل کمی انجام ندادند. اولین ارزیابی کمی در این زمینه توسط هریس و همکاران (Haris et al. 1960) ارائه شد، که بیان نمودند چگالی شکستگی‌ها دارای رابطه معکوس نسبت به ضخامت لایه‌ها می‌باشد. فاصله بین یک دسته درز، مربوط به یک لایه معین، ثابت بوده

و متناسب با ضخامت لایه می‌باشد (Price 1966 and Bogdanov 1947). بنابراین لایه‌های با ضخامت مختلف از یک نوع با جنس ثابت اساساً باید نسبت مشابهی از فاصله بین درزه‌ای را از خود نشان بدهند، که البته این قاعده در مورد لایه‌های ضخیم، شکل متفاوتی به خود می‌گیرد. هریس و همکاران (Hariis et al. 1960) و نار (Nar 1991) در این رابطه اظهار داشتند که مقدار نسبت بین فاصله درزه‌ها و ضخامت لایه متأثر از موقعیت ساختاری می‌باشد.

به دنبال تحقیقات تویرینبولد (Twerenbold 1962) که تراکم شکستگی‌ها را منحصرأ به موقعیت آن‌ها در ساختار و در ارتباط با تنش‌های گوناگون ناشی از تغییرات تکتونیکی می‌دانست، مطالعاتی توسط ام سی کیلا (Mc Quilla 1976) انجام گرفت. مطالعات او بر روی سه تاقدیس کوه پهن، کوه آسماری و کوه پابده نشان دهنده ارتباط log-normal بین تراکم شکستگی‌ها و ضخامت طبقات می‌باشد.

به هر حال متون علمی بسیاری یافت می‌شوند که هر کدام حاوی مثال‌هایی از داده‌های جمع آوری شده از رخنمون‌هاست و هر یک گویای خطی بودن و غیر خطی بودن روابط بین فاصله درزه‌ها از یکدیگر و ضخامت لایه‌های رسوبی می‌باشد. با توجه به مجموعه نتایج به دست آمده، شیب نمودار این روابط می‌تواند علاوه بر جنس لایه به موقعیت ساختاری رخنمون، وابسته باشد که البته در این زمینه موارد استثنا نیز گزارش شده است.

اغلب مؤلفین به سه عامل عمده و مؤثر بر فاصله درزه‌ها اشاره می‌کنند که از جمله آن‌ها می‌توان به اسامی مانند دی سیتزر (De Sitter 1959)، پرایس (Price 1966) و نار و سوپ (Nar and Suppe 1991) اشاره کرد. این سه عامل اصلی شامل جنس طبقات، موقعیت ساختاری و ضخامت طبقات می‌باشند.

البته در این رابطه برخی از زمین‌شناسان به عواملی از قبیل، مقاومت برشی و بزرگی واتنش کششی نیز توجه نشان داده‌اند (Pluijm 1977).

مؤثرترین سیستم شکستگی در گسترش شبکه‌های کارستی، گروهی هستند که در اثر نیروهای کششی تشکیل شده‌اند. این شکستگی‌ها کمترین مقاومت را در برابر جریان آب دارند (Dreybrodh 1983). شکستگی‌های کششی در هنگام چین خوردگی، در نواحی خط‌الرأس تاقدیس‌ها و یا کمان بیرونی ناودیس‌ها ایجاد می‌شوند. این شکستگی‌ها در مجاورت گسل‌های مناطق برشی نیز شکل می‌گیرند. گروه دیگر شکستگی‌ها انواع برشی هستند، که شکستگی‌ها بازشدگی کمتری داشته، و جریان آب و فرایندهای کارستی در آن‌ها شدت کمتری دارند. این شکستگی‌ها در نواحی یال چین‌ها، اطراف گسل‌ها و در درون مناطق برشی شکل می‌گیرند. به همین ترتیب پایین بودن مقاومت برشی در مرز بین لایه‌ها موجب می‌شود تا در حین چین خوردگی، در اثر حرکت لایه‌ها بر روی یکدیگر، شکستگی‌های لایه‌بندی^۱ ایجاد شوند. در تمام این شکستگی‌ها جریان آب تحت تأثیر نیروی ثقل صورت می‌گیرد. و سرعت و نوع جریان نیز توسط اندازه شکستگی‌ها و ارتباط درونی آن‌ها کنترل می‌شود. از این رو هرچه بازشدگی و عمق نفوذ شکستگی بیشتر باشد، تأثیر آن‌ها بر فرایندهای کارستی شدن شدیدتر است. در مناطقی که دو یا چند گسل به صورت موازی یا متقاطع وجود داشته باشند، بیشترین استعداد برای کارستی شدن وجود دارد. پاریزک (Parizek 1971, 1976) در مطالعات خود بر روی سیماهای کارستی نشان داد که اکثر فروافتادگی‌های سطحی^۲ بر روی شکستگی‌ها و مرز لایه‌ها منطبق هستند. در واقع بسیاری از رخساره‌های کارستی، در نواحی که توسط سیماهای ساختاری، به ویژه شکستگی‌ها، تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، وجود دارند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بیشتر از ۸۰ درصد دره‌های کارستی بر روی شکستگی‌ها قرار دارند، و در واقع پیش رفت فرسایش در طول این ساختارها، موجب ایجاد دره‌ها شده است. سنگ‌های واقع در زیر دره‌ها نیز، به دلیل برخورداری از شدت بالای شکستگی، نفوذپذیری بالایی دارند، از اینرو پدیده‌های کارستی در مناطق زیر دره‌ها نیز گسترده‌تر از مناطق اطراف است (Parizek 1976). به علاوه داده‌های به

^۱ : Bedding fractures

^۲ : Surface depression

دست آمده از آبدهی و لاگ چاهای حفر شده بیانگر این واقعیت می‌باشند که آثار شکست چنانچه از عکس‌های هوایی مشخص است و در سطح زمین نیز مشهود است، منعکس کننده زون‌های هوازدگی، انحلال و نفوذپذیری افزایش یافته می‌باشند (جهانی بهبهانی ۱۳۷۲). همچنین پاریزک (Parizek 1976) نشان داد که چاه‌هایی که بر روی آثار شکست حفر شده باشند به دلیل برخورد با زون‌هایی با تخلخل ثانویه و نفوذپذیری بالا از میزان آبدهی بیشتری نسبت به چاه‌های دور از آثار شکست برخوردار خواهند بود. وی بیان کرد که ارتباط ثابت شده بین آثار شکست و توسعه نفوذپذیری و شباهت نزدیک خطواره‌ها و آثار شکست نشانگر یک ارتباط قوی بین خطواره‌ها و توسعه نفوذپذیری می‌باشد.

لتمن و پاریزک (Letman and Parizek 1972) بر اساس کارهای بلانشیت (Blanchet 1957) و لتمان (Letman 1958) پیشنهاد کردند که اثر شکستگی‌ها نشانه سطحی از مناطق شکستگی زیر سطحی عمومی می‌باشد، بنابراین اثر شکستگی‌ها تعیین کننده زون‌های متخلخل و هادی الکتریکی است. نتایج همزمان از آریزونا، آکر (Aker 1964) و سائوپلؤلو برزیل، ستزر (Setzer 1966) این ارتباط را تأیید کردند. در تحقیقات فوق از عکس‌های هوایی برای شناسایی شکستگی‌ها استفاده گردیده است. مطالعه دیگری بر روی سیستم جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی دره بزرگ غرب ویرجینیا در ایالات متحده توسط بیهیر (Bieber 1961) انجام گرفته است، وی در این مطالعه عنوان می‌کند که به دلیل وجود توده‌های سنگی نفوذناپذیر در این مناطق، عمده جریان آب زیرزمینی در امتداد شکستگی‌ها و مجاری انحلالی بزرگ صورت می‌گیرد. این محققین همچنین نشان دادند که این مسیرهای نفوذپذیری پیشرفته، عمدتاً در طول لایه‌بندی و صفحات رخ‌ها و یا در طول درزه‌های مایل نسبت به لایه‌بندی قرار می‌گیرند.

هوبا و همکاران (Hoba et al. 1972) عنوان کردند که گسل‌ها آب را از طریق گسل‌های فرعی، شکستگی‌ها، کانال‌های انحلالی و دیگر مسیرهای فرعی جریان به سمت مراکز زهکشی آب زیرزمینی هدایت می‌کنند.

مطالعه دیگری روی سیستم جریان آب زیرزمینی در دره بزرگ غرب ویرجینیا در ایالات متحده انجام گرفته است. در این مطالعه عنوان شده است که به دلیل لایه‌بندی تقریباً عمودی، جریان آب در طول صفحات لایه‌بندی متمرکز می‌شود. آب به موازات خطوط سطح آب زیرزمینی بر لایه‌های نفوذناپذیر نیرو وارد کرده، در طی این عمل مسیری را برای جریان از بین این لایه‌های نفوذناپذیر پیدا کرده و به مسیر خود به طرف پایین دست شیب هیدرولیکی ادامه می‌دهد جونز (Jones 1991). همچنین در این رابطه مک‌کوی (MacCoy 2005) نشان داد که، گسل‌ها و شکستگی‌ها، کنترل اصلی توزیع فروچاله‌ها را بر عهده دارند. آن‌ها همچنین نشان دادند که عمده تغذیه به وسیله فروچاله‌ها در این منطقه، از طریق شکستگی‌های امتدادی صورت می‌گیرد (برای مثال، صفحات لایه‌بندی و کلیواژ، گسل‌های طولی و درزه-هایی که در امتداد لایه‌بندی قرار گرفته‌اند).

چین خوردگی‌ها از دیگر پدیده‌های ساختاری هستند که در پدیده کارستی شدن مؤثر هستند. سبک چین خوردگی، ابعاد و چگونگی ایجاد چین‌ها از مهمترین ویژگی‌هایی هستند که در پدیده‌های کارستی باید مورد توجه قرار گیرند. پدیده‌های کارستی در هسته چین‌هایی که تحت تأثیر نیروهای افقی فشرده شده باشند، به ندرت مشاهده می‌شوند (Milanovic 1988)، مگر آنکه بعداً توسط شکستگی‌های دیگر متأثر شده باشند. چین‌ها به خاطر نقشی که در شیب‌دار کردن لایه‌ها دارند نیز در پدیده کارستی شدن حائز اهمیت هستند، چرا که حرکت آب در جهت شیب لایه‌بندی موجب انحلال بیشتر و گسترش مجاری و غارها می‌شود. جریان آب تا زمانی که با لایه‌های نفوذناپذیر برخورد نکرده باشد، ادامه می‌یابد. با افزایش انحلال به تدریج سقف این مجاری ریزش کرده و سیماهای کارستی از قبیل دولین‌ها، دره‌ها و غارها نمایان می‌شود.

فصل سوم: روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این فصل تمامی روش‌های انجام مطالعات که در حوضه‌های آبرگیر مورد مطالعه انجام گرفته است، بیان می‌شود. در این تحقیق مراحل زیر انجام شده است.

تهیه نقشه‌های زمین شناسی با مقیاس مناسب در محدوده حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه
تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از مقاطع سنگی در حوضه‌های آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه
مطالعات ساختاری در محدوده حوضه‌های آبرگیر چشمه‌های روانسر، شیخ علاالدین، سرحوض و تلوکسان
در منطقه کوه‌های شاهو

بررسی هیدروژئولوژیکی در محدوده حوضه آبرگیر سه چشمه روانسر، تلوکسان و قلوز
در زیر نحوه انجام هر کدام از مراحل فوق به طور جداگانه بیان گردیده است.

۳-۲- مطالعات زمین‌شناسی

در مجموع سه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه تهیه شده است که نقشه‌های تهیه شده در پیوست پایان‌نامه ارائه شده‌اند.

در تهیه این نقشه‌ها، از عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ چاپ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مطالعات صحرایی استفاده شده است. برای پردازش داده‌های دورسنجی و همچنین زمین مرجع نمودن و موزائیک تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی از نرم افزارهای ER Mapper 7,01، Ilwis 3,3 و Global Mapper 8 استفاده شده است. در نهایت برای تشکیل لایه‌های مورد نیاز و تهیه نقشه نهایی از نرم افزار Arc Gis 9,3 استفاده شده است.

در مطالعات روی زمین، بررسی رخنه‌ها و اندازه‌گیری‌ها به منظور تشخیص جنس و سن سنگ‌ها، ساختار واحدهای سنگی و شناخت سیستم‌های شکستگی انجام شده است. در همین راستا دو مقطع میکروسکوپی نیز تهیه و مورد مطالعه قرار گرفته است. برای مطالعه شکستگی‌ها مراحل زیر انجام شده است:

۱- طراحی مسیر پیمایش: قبل از شروع عملیات صحرایی و بعد از بازدیدهای صحرایی مقدماتی، مسیرهای پیمایش بر روی نقشه زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی تعیین گردید. این مسیرها ویژگی‌های زیر را دارا بودند.

امتداد آن‌ها در صورت امکان عمود بر ساختارهای اصلی از پیش تعیین شده باشد (مانند گسل زاگرس مرتفع). مسیر پیمایش صعب العبور نباشد و به آسانی بتوان در آن پیمایش نمود.

۲- مطالعات میدانی: پس از انجام مراحل فوق، اندازه‌گیری‌های صحرایی در مناطق مورد مطالعه انجام گرفت. ویژگی‌های ساختاری منطقه مورد نظر در قالب ایستگاه‌ها بررسی گردید. در این روش مسیرهای پیمایش به ایستگاه‌هایی تقسیم می‌شوند. در این تحقیق با توجه به ابعاد و توزیع شکستگی‌ها (شکستگی-ها اکثراً طویل می‌باشند)، طول مسیرهای پیمایش حدود ۴۰ متر در نظر گرفته شده است. همچنین موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه با استفاده از GPS تعیین و ثبت شده است.

در هنگام برداشت داده‌ها در صحرا، خصوصیات هندسی و زمین‌شناسی عوارض ساختاری اندازه‌گیری و یادداشت گردید. این ویژگی‌ها شامل امتداد شکستگی‌ها، مقدار شیب و جهت آن، مقدار بازشدگی دهانه، وجود پرشدگی و جنس آن، سنگ زمینه‌ای که شکستگی در آن ظهور پیدا کرده است، فاصله بین درزه‌های متعلق به سیستم درزه‌های مختلف و اندازه‌گیری طول شکستگی‌ها می‌باشد. این اندازه‌گیری در مورد تمامی شکستگی‌های موجود در هر پنجره انجام شده است (البته در مورد اندازه‌گیری طول شکستگی‌ها در برخی موارد به دلیل طول زیاد شکستگی و یا صعب‌العبور بودن منطقه، طول شکستگی‌ها تخمین زده شده است). برای سهولت انجام کار و نیز افزایش دقت در جمع‌آوری داده‌های صحرایی جدولی مانند آنچه در جدول (۳-۱) نشان داده شده است، تهیه گردید.

همان گونه که قبلاً بیان گردید به دلیل صعب‌العبور بودن منطقه مورد مطالعه در برخی مسیرها، همزمان با پیمایش‌های سیستماتیک، ایستگاه‌هایی نیز به صورت موردی برای اندازه‌گیری پدیده‌های ساختاری و دیگر عوارض مهم زمین‌شناسی منطقه طراحی گردید. در این ایستگاه‌ها علاوه بر اندازه‌گیری درزه‌های موجود در منطقه، فعالیت‌هایی مانند بررسی پدیده‌های ژئومورفولوژی منطقه، تخمین میزان انحلال در سنگ‌ها، تعیین مکانیسم فعالیت گسل‌ها و هر نوع پدیده زمین‌شناسی که در راستای نیل به اهداف تحقیق مؤثر واقع شود، انجام گرفته است.

جهت بررسی‌های هندسی و تعیین نوع درزه‌ها در ارتباط با لایه‌بندی و نیز در ارتباط با روند کلی چین خوردگی زاگرس، همچنین ترسیم نمودارهای استریوگرافیک در نیمکره پایین تصویر، گل سرخی، نمودار قطب درزه‌ها و سایر گراف‌های مربوطه، داده‌های برداشت شده در مطالعات صحرایی، از نرم افزارهایی مانند Stereonet، TectonicsFP و نیز Dips استفاده گردید. همچنین جهت انجام مطالعات آماری، داده‌های برداشت شده به محیط نرم افزار Excel وارد گردیدند.

جدول ۳-۱- نمونه‌ای از جدول‌های مورد استفاده در مطالعات ساختاری درزه‌ها

مکان: چشمه سرحوض														
تاریخ برداشت: ۱۳۸۸/۶/۱۲														
شماره برگه: ۱۶														
ردیف	پیمایش	ایستگاه	مختصات جغرافیایی ایستگاه		مختصات شکستگی			پرش‌دگی	بازشدگی (میلیمتر)	طول (متر)	نوع شکستگی	سنگ زمینه	فاصله بین درزه‌ها (cm)	توضیحات
			UTM_x	UTM_y	جهت شیب	شیب	آزیموت							
۱۱۵	۴	۵	۶۴۵۸۲۸	۳۴۸۰۵۳۴	NE	۸۷	۲۸۲	رس	۲۲۰	۴۵	درزه	آهک	۲۰	
۱۱۶	۴	۵	"	"	NE	۷۰	۳۱۵	-	۶	۸۰	لایه‌بندی	"	۹۰	
۱۱۷	۴	۵												

۳-۳- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی

مطالعات هیدروژئولوژیکی حوضه چشمه‌های روانسر واقع در شهر روانسر و تلوکسان و قلوز در روستای دیوزناو جهت تشخیص نوع جریان آب زیرزمینی در آن‌ها صورت گرفت. این مطالعات به صورت همزمان با مطالعات ساختاری انجام گردیده است. برخی از این مطالعات در صحرا و محل چشمه‌ها و بخشی دیگر در آزمایشگاه انجام شده است. فعالیت‌های صورت گرفته در این زمینه مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در زیر آورده شده است.

۳-۳-۱- نمونه‌برداری از آب چشمه‌های مورد مطالعه

جهت بررسی‌های هیدروژئولوژیکی حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه از چشمه‌ها نمونه‌برداری صورت گرفته است. در نمونه‌برداری از آب چشمه‌ها باید مواردی از قبیل محل نمونه‌برداری، نحوه برداشت نمونه، ثبت اطلاعات، روش نگهداری و انتقال، فاصله زمانی بین نمونه‌برداری‌ها تا انجام آزمایش مورد توجه قرار گیرد. برای نمونه‌برداری در این مورد از بطری‌های پلاستیکی مخصوص این کار با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر

استفاده شده است. هنگام نمونه برداری ظرف پلاستیکی و درپوش آن با آب چشمه به طور کامل شستشو داده شده و سپس ظرف به آرامی پر می شود تا هیچ گونه حباب هوایی در آن به وجود نیاید. در مورد محل نمونه برداری نیز باید دقت نمود که تمامی نمونه های برداشت شده در مراحل مختلف همگی از یک محل گرفته شوند و نیز محل نمونه برداری در نزدیکترین محل به خروجی چشمه ها باشد. در این مورد باید بطری ها به طور کامل از آب پر گردد و حداکثر تا ۴۸ ساعت بعد مورد آزمایش قرار گیرند.

۳-۳-۲- پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری

پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری شامل اندازه گیری دبی، هدایت الکتریکی، اسیدیت و دما می باشد که در زیر مختصری در مورد آن ها آورده شده است.

الف- اندازه گیری آبدهی چشمه (دبی)

دبی یکی از پارامترهای مهم و اساسی در مطالعات آب های سطحی و زیرزمینی محسوب می شود. منظور از آبدهی حجمی از آب است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می کند. در تحقیق موجود برای اندازه گیری دبی از دستگاه مولینه (سرعت سنج) استفاده شده است که در زیر به چگونگی اندازه گیری دبی پرداخته می شود.

با استفاده از معادله (۱-۳) مقدار دبی محاسبه می شود.

$$Q = AV \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

در معادله (۱-۳)، Q آبدهی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه، V سرعت متوسط جریان بر حسب متر در ثانیه و A مساحت سطح مقطع عمود بر جریان بر حسب متر مربع می باشد.

دستگاه مورد استفاده در این تحقیق از نوع آوات و ساخت شرکت آذر آشنا می‌باشد. در این دستگاه برای تعیین سرعت متوسط جریان از روابط زیر استفاده شده است:

$$V = 0.24121.N + 0.0115414 \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

$$0.383469 \leq N \leq 10.848$$

$$V = 0.276.N - 0.365871 \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

$$10.8481 \leq N \leq 11.893$$

در رابطه (۲-۳) و (۳-۳)، N تعداد دور گردش پروانه دستگاه در هر ثانیه و V سرعت جریان آب زیرزمینی می‌باشد.

از آنجا که بخشی از آب چشمه تلوکسان جهت تأمین آب مورد نیاز برای استخرهای پرورش ماهی مورد استفاده قرار گرفته و بخشی از آب نیز در محل خروجی وارد رودخانه سیروان می‌گردد، دبی این چشمه نیز مجموع دبی اندازه‌گیری شده این دو قسمت می‌باشد.

ب- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی آب ارتباط مستقیم با مقدار مواد جامد محلول در آب دارد، لذا هدایت الکتریکی از مهمترین فاکتورهای هیدروژئولوژیکی می‌باشد. این ویژگی نیز در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است. جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی^۱ نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری از دستگاه پرتابل CONDUCTIVITY METER ساخت شرکت HACH استفاده شده است (مدل CO۵۰۱۵۰). از جمله مزایای این دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری و همچنین سهولت کنترل مداوم آن می‌باشد. دقت اسمی این دستگاه برای مقادیر پایین هدایت الکتریکی (۰/۱-۰) و بالاترین آن به ترتیب یک و ده میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

¹: Electerical Conductivity

ج- اندازه‌گیری اسیدیت (pH)

اسیدیت یکی دیگر از فاکتورهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری می‌باشد. مقدار pH به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بیکربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. در این مورد هر چه مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب افزایش یابد، مقدار اسیدیت کم می‌شود. اندازه‌گیری مقدار اسیدیت به وسیله pH متر صورت می‌گیرد. مقادیر اندازه‌گیری شده برای pH در تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه اندیس اشباع کلسیت و دولومیت بسیار مؤثر می‌باشد. به همین منظور، این ویژگی از آب چشمه‌ها در محل نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه pH متر سانتکس^۱ مدل SP-701 ساخت تایوان اندازه‌گیری شده است.

د- اندازه‌گیری درجه حرارت

همان گونه که در فصل دوم اشاره گردید، دما یکی از پارامترهای مهم فیزیکی در مطالعات چشمه‌های کارستی و مطالعات مربوط به آن‌ها است. بنابراین این پارامتر نیز در محل نمونه‌برداری چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است.

۳-۳-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه‌ها، جهت اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی به آزمایشگاه پارک علم و فناوری استان سمنان منتقل گردیدند. در آزمایشگاه کاتیون‌هایی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و آنیون‌هایی مانند بی‌کربنات، کلر، سولفات و نیترات اندازه‌گیری شده است. سپس با اسفاده از نتایج حاصله پارامترهایی مانند درصد خطای آزمایش، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل، قلیائیت و کل جامدات محلول اندازه‌گیری شده است.

^۱:Suntex

فصل چهارم: تحلیل داده‌های ساختاری

۴-۱- مقدمه

مطابق مطالب بیان شده در فصل سوم تعدادی از خصوصیات هندسی و ساختاری مربوط به درزه‌ها و سایر ویژگی‌های آن‌ها در مطالعات میدانی برداشت گردید. همچنین با توجه به مطالب ارائه شده در فصل دوم و سایر مطالعات صورت گرفته، در این فصل به تجزیه و تحلیل داده‌های درزه‌ای برداشت شده و خصوصیات آن‌ها پرداخته می‌شود. در این فصل کلیه اطلاعات ساختاری برداشت شده در هر چهار منطقه، شامل، چشمه روانسر، چشمه شیخ علالدین چشمه سرحوض و چشمه تلوکسان (شکل ۵-۱) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

در این فصل برای مطالعه شکستگی‌ها در حوضه آبریز هر چشمه مراحل زیر انجام شده است.

- بررسی هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی
- بررسی هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس
- بررسی آماری شدت درزه‌ها
- تحلیل آماری اندازه بازشدگی دهانه درزه‌های هر رده
- مطالعه آماری طول رده‌های درزه‌ای
- تحلیل جهت شیب درزه‌های هر رده

۴-۲- چشمه روانسر

در منطقه چشمه روانسر دو مسیر پیمایش اصلی و دو ایستگاه موردی دیگر جهت انجام مطالعات میدانی انتخاب گردید. در مجموع تعداد ۶۳۷ اندازه‌گیری از درزه‌ها در ۲۲ ایستگاه در منطقه روانسر انجام شده است که موقعیت این ایستگاه‌ها در نقشه زمین‌شناسی روانسر در پیوست نشان داده شده است. با وجود اینکه آهک‌های موجود در ناحیه روانسر بیشتر حالت توده‌ای داشته و کمتر دارای لایه‌بندی بودند، ولی در چند مورد نیز امتداد لایه‌بندی در منطقه ثبت گردید. در این مبحث ابتدا با توجه به چگونگی قرارگیری این درزه‌ها نسبت به امتداد لایه‌بندی آن‌ها را به رده‌هایی تقسیم نموده و سپس با در نظر گرفتن روند کلی چین خوردگی زاگرس و قرارگیری درزه‌های مربوطه نسبت به آن، این درزه‌ها در چند سیستم درزه-ای به طور مفصل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شکستگی‌های موجود در منطقه روانسر را می‌توان به دو دسته سیستماتیک و غیر سیستماتیک تقسیم بندی نمود. شکستگی‌های سیستماتیک (شکستگی‌هایی که به نسبت موازی هستند و از فاصله‌بندی منظمی برخوردار هستند)، در منطقه تحت تأثیر روند کلی چین خوردگی زاگرس به وجود آمده‌اند. به دلیل اهمیت درزه‌های سیستماتیک در نفوذ و هدایت آب، مطالعات صورت گرفته در تحقیق موجود در مورد تمامی چشمه‌ها، صرفاً به بررسی این دسته از شکستگی‌ها می‌پردازد. با توجه به اینکه درزه‌های غیر سیستماتیک در منطقه مورد مطالعه نسبت به درزه‌های سیستماتیک از بازشدگی و طول به مراتب کمتری برخوردار هستند، نقش کمتری را در نفوذ و هدایت جریان آب دارا هستند و از پرداختن به آن‌ها صرف - نظر می‌شود. البته نباید از نظر دور داشت که این درزه‌ها به نوبه خود موجب افزایش تراکم درزه‌ها در واحد سطح گشته و به همین دلیل سبب افزایش نفوذ آب به درون آبخوان می‌گردند. علاوه بر این درزه‌های غیر سیستماتیک با ایجاد کانال‌های ارتباطی بین درزه‌های سیستماتیک می‌توانند نقش مهمی را در جریان آب در آبخوان ایفا کنند. در شکل (۴-۱) نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک با

یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این شکل اختلاف بین طول و بازشدگی درزه‌های سیستماتیک و غیره سیستماتیک به خوبی نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۱- (الف) نمونه‌ای از درزه سیستماتیک و (ب) درزه‌های غیر سیستماتیک. نبود لایه‌بندی و حالت توده‌ای آهک در هر دو تصویر مشهود است.

یادآوری می‌شود که یکی از پارامترهای بسیار مهم در میزان نفوذ آب به درون آبخوان، پرشدگی درزه‌ها و نوع پرشدگی آن‌ها می‌باشد. در مطالعات میدانی صورت گرفته در هر چهار منطقه مورد مطالعه، تعداد درزه‌هایی که دارای پرشدگی بوده‌اند حدود ۱ درصد از کل درزه‌های مطالعه شده را در بر می‌گیرند و این خود می‌تواند دلیلی بر تغذیه زیاد آب به درون آبخوان باشد. نوع پرشدگی بین درزه‌ای نیز از جنس کلسیت، خاک و رس می‌باشد (شکل ۴-۲). همچنین نمونه‌ای از پرشدگی درزه‌ها با کلسیت در مقیاس میکروسکوپی در شکل (۱-۷ ب) نشان داده شده است. در شکل مذکور درزه‌های واقع در مرکز عکس با بلورهای کلسیتی که تبلور دوباره پیدا کرده‌اند، پر شده‌اند. بنابراین با توجه به درصد بسیار پایین درزه‌های دارای پرشدگی در مقایسه با درزه‌های بدون پرشدگی از بررسی آماری این درزه‌ها صرف نظر شده و مطالعات انجام گرفته در این فصل تنها بر روی درزه‌های بدون پرشدگی خواهد بود که حدود ۹۹ درصد از کل درزه‌ها را شامل می‌شوند.



الف

ب

شکل ۴-۲- دو نمونه از درزه‌های پر شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر. (الف) درزه‌ای پر شده با خاک و (ب) درزه‌هایی که به صورت جزئی با خاک رس پر شده‌اند.

همواره در مطالعات مربوط به درزه‌ها، آن‌ها را نسبت به لایه‌بندی و یا نسبت به دیگر ساختارهای زمین-شناسی به رده‌هایی تقسیم می‌کنند. در اینجا درزه‌های مربوط به منطقه در ابتدا با توجه به روند لایه‌بندی موجود در منطقه به رده‌هایی تقسیم گردیده و همچنین با استفاده از روند کلی چین خوردگی ناحیه‌ای زاگرس نیز آن‌ها را به رده‌هایی تقسیم می‌کنیم که در ادامه به بررسی خصوصیات آماری و هندسی هر کدام از این دسته درزه‌ها می‌پردازیم.

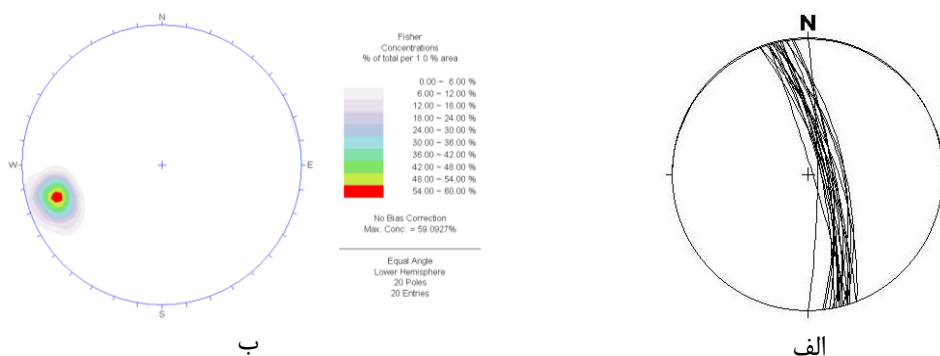
۴-۲-۱- هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

همانگونه که در مبحث پیش عنوان گردید، آهک‌های موجود در محل چشمه روانسر بیشتر به صورت توده‌ای بوده (شکل ۴-۲) ولی در چند مرحله امتداد لایه‌های مذکور اندازه‌گیری شده که دارای روند $N16^{\circ}W$ می‌باشند. نمودارهای استریوگرافیک و کنتوری از صفحات لایه‌بندی در شکل (۴-۳) نشان داده شده است. همچنین تصویر استریوگرافیک از کل درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر، قطب لایه‌بندی، نمودار کنتوری و نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی این درزه‌ها در شکل (۴-۴) نشان

داده شده است. بر مبنای موقعیت (ویژگی هندسی)، درزه‌های موجود در منطقه را می‌توان به سه دسته ۱، ۲ و ۳ تقسیم بندی نمود که در جدول (۱-۴) برخی ویژگی‌های این دسته درزه‌ها ارائه شده است. همچنین نمودار استریوگرافیک و گل سرخی این دسته درزه‌ها در شکل (۵-۴) نشان داده شده است. مطالعه شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر را نسبت به لایه‌بندی می‌توان به رده‌های زیر تقسیم نمود: دسته ۱ با روند $N38^{\circ}W$ را به دلیل اینکه امتدادشان تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی است را درزه‌های امتدادی ۱ می‌نامیم (شکل‌های ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴).

دسته ۲ با روند $N73^{\circ}E$ ره به دلیل اینکه جهت شیب آن‌ها تقریباً موازی جهت امتداد لایه‌بندی است را درزه‌های شیبی می‌نامیم (شکل‌های ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴).

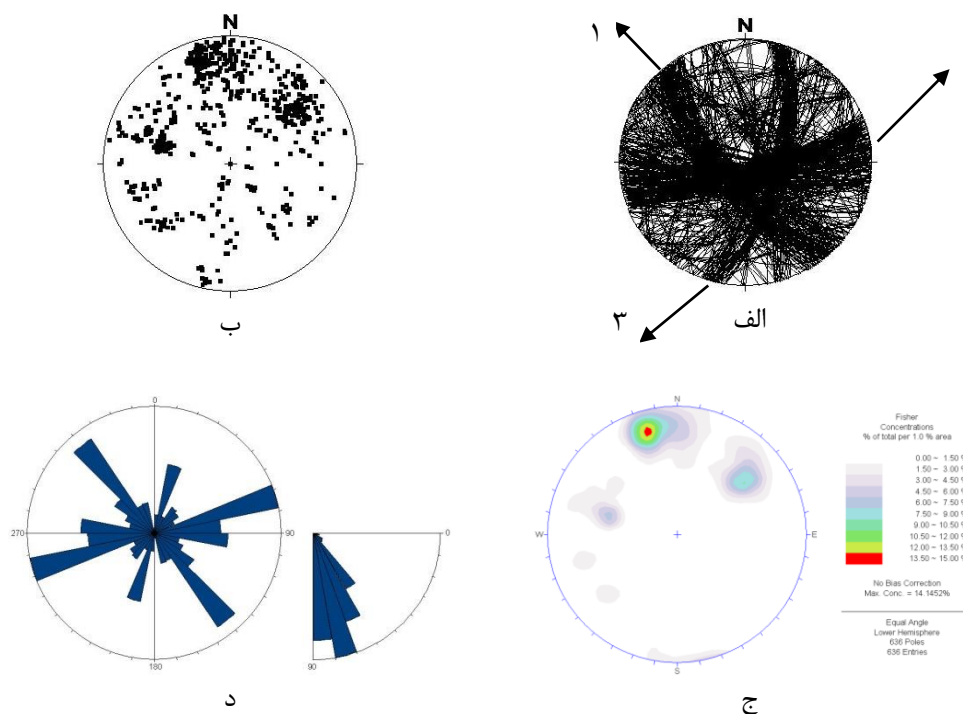
دسته ۳ با روند $N16^{\circ}E$ را به دلیل اینکه امتدادشان تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی است درزه‌های امتدادی ۲ می‌نامیم (شکل‌های ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴).



شکل ۳-۴- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در منطقه (الف) و نمودار کنتوری (ب)

با توجه به نمودار کنتوری قطب صفحات لایه‌بندی (شکل ۳-۴ ب)، رنگ قرمز بیشترین تمرکز قطب صفحات لایه‌بندی را که برابر ۵۹ درصد می‌باشد، نشان می‌دهد. علاوه براین، نمودار کنتوری قطب صفحات درزه‌ای برای تمامی درزه‌های مطالعه شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر در شکل (۴-۴ ج) نشان داده

شده است. با توجه به این شکل، رنگ قرمز شامل بیشترین تمرکز قطب صفحات درزه‌ای می‌باشد که ۱۴ درصد از کل درزه‌های برداشت شده در این محدوده قرار می‌گیرند. علاوه براین، با دقت در این شکل به آسانی تمرکز قطب صفحات درزه‌ای را در سه ناحیه از نمودار مشاهده می‌کنیم که خود می‌تواند مبنایی برای تقسیم بندی درزه‌های مطالعه شده به رده‌های مختلف در حوضه آبگیر این چشمه باشد.

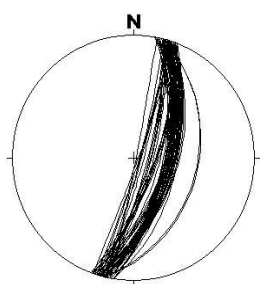


شکل ۴-۴- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها. الف: تصویر استریوگرافیک ب: نمودار نقطه‌ای، ج: نمودار کنتری و د: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی

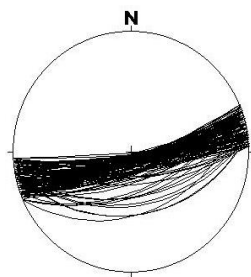
هرچه شیب درزه‌ها بیشتر باشد نفوذ آب‌های سطحی به درون آبخوان بهتر و سریع تر صورت می‌گیرد. با توجه به نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۴-۴ د)، بیشترین شیب درزه‌های مطالعه شده در منطقه مابین ۷۰ تا ۸۰ درجه قرار دارد که متوسط شیب بالایی را نشان می‌دهد و در واقع ۹۱ درصد درزه‌های منطقه

شیبی بیش از ۶۰ درجه دارند. با توجه به مطالب ارائه شده در مورد شیب درزه‌های اندازه‌گیری شده، اهمیت این پارامتر در افزایش میزان نفوذ آب به درون آبخوان آشکار می‌شود.

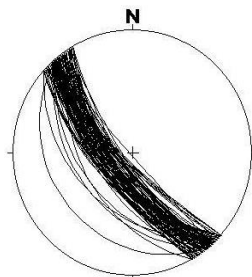
با توجه به داده‌های جدول (۴-۱) در بین دسته درزه‌های موجود، دسته ۲ با ۲۰ درصد درزه‌های برداشت شده، بیشترین تراکم درزه‌ای را دارا می‌باشند. از این حیث دسته درزه‌های ۱ و ۳ به ترتیب ۱۸ و ۱۳ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهند.



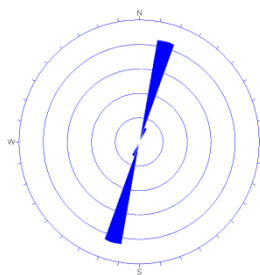
(ج): استریوگرام درزه‌های دسته ۳



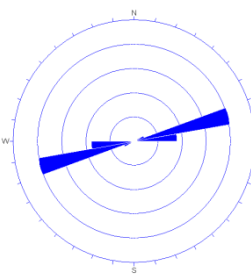
(ب): استریوگرام درزه‌های دسته ۲



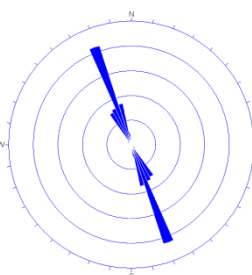
(الف): استریوگرام درزه‌های دسته ۱



(و): نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۳



(ه): نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۲



(د): نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۱

شکل ۴-۵- رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه روانسر

در جدول (۴-۱) میانگین شیب برای تمامی درزه‌های مطالعه شده و همچنین برای درزه‌های رده‌های مختلف ارائه شده است. با دقت در مقادیر میانگین شیب برای دسته درزه‌های مختلف ملاحظه می‌شود که میانگین شیب تمامی دسته درزه‌ها بالای ۶۵ درجه می‌باشد که خود گواهی بر شیب زیاد درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول، بیشترین میانگین شیب در بین دسته درزه‌های

موجود مربوط به درزه‌های دسته ۲ می‌باشد که دارای میانگین شیبی برابر ۷۷ درجه می‌باشند. کمترین میانگین شیب نیز مربوط به دسته ۱ با میانگین شیب برابر ۶۸ درجه می‌باشد.

جدول ۴-۱- خصوصیات آماری دسته درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳
روند و تراکم غالب شکستگی‌ها	-	۳۱۲-۳۳۰ (٪۱۸)	۶۷-۸۷ (٪۲۰)	۱۰-۲۱ (٪۱۳)
میانگین شیب	۶۷	۶۸	۷۷	۷۱
انحراف معیار شیب	۱۴/۷	۹/۷	۱۰/۱	۱۱/۳
کج شدگی شیب	-۱/۳	-۱/۲۷	-۲/۲	۰/۵
انحراف معیار امتداد	۶۸/۳	۴/۸	۵/۷	۲/۹
کج شدگی امتداد	-۰/۲	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۰۰۹

همچنین مقادیر انحراف معیار و کج شدگی مربوط به امتداد و شیب، برای کل درزه‌ها و نیز دسته درزه-های مختلف در جدول (۴-۱) ارائه شده است. مقادیر انحراف معیار شیب برای سه سیستم درزه بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد. کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۱ و ۲ منفی بوده که نشان دهنده این واقعیت است که داده‌ها دارای کشیدگی به طرف مقادیر کمتر از میانگین می‌باشند و این بدان معنا است که در بین داده‌ها مقادیری وجود دارند که شیب آن‌ها از میانگین بسیار کمتر می‌باشد، ولی در این بین کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۳ مثبت می‌باشد که نشان دهنده کشیدگی مقادیر شیب به سمت داده‌های بزرگتر از میانگین می‌باشد. همچنین مقدار انحراف معیار امتداد برای درزه‌های دسته‌های مختلف به هم نزدیک بوده که در این میان بیشترین و کمترین مقادیر انحراف معیار مربوطه به دسته درزه‌های ۲ و ۳ بوده که به ترتیب دارای مقادیری برابر ۵/۷ و ۲/۹ می‌باشند. همچنین کج شدگی امتداد برای تمامی دسته درزه‌ها مثبت بوده که نشان دهنده کشیدگی نمودار امتداد درزه‌ها به سمت مقادیر بزرگتر از میانگین می‌باشد.

۴-۲-۲- هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس

با در نظر گرفتن روند کلی چین خوردگی زاگرس که شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد و نیز با در نظر گرفتن روند کلی شکستگی‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر چشمه روانسر که دارای سه جهت $N38^{\circ}W$ ، $N73^{\circ}E$ و $N16^{\circ}E$ می‌باشند (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵)، این سیستم درزه‌ها را می‌توان به سه رده زیر تقسیم نمود:

الف- دسته ۱ با روند $N38^{\circ}W$ را به جهت اینکه دارای روندی مشابه چین خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های طولی به حساب آورد.

ب- دسته ۲ با روند $N73^{\circ}E$ را به جهت اینکه تقریباً عمود بر روند کلی چین خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های کششی عرضی قلمداد نمود.

ج- دسته ۳ با روند $N16^{\circ}E$ را که به صورت مورب نسبت به امتداد چین خوردگی زاگرس قرار گرفته‌اند را می‌توان جزء درزه‌های مورب به حساب آورد.

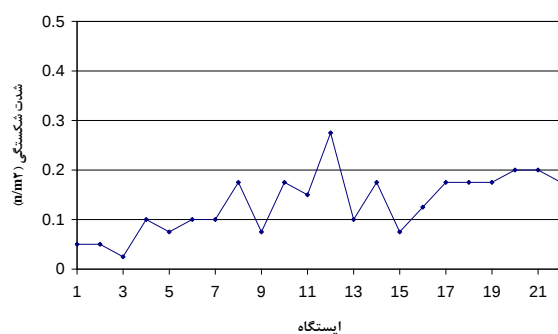
۴-۲-۳- شدت درزه‌ها

یکی از پارامترهایی که در مطالعات مربوط به درزه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد، شدت شکستگی‌ها^۱ می‌باشد. طبق تعریف، شدت شکستگی عبارت است از تعداد درزه‌ها در واحد طول، سطح و یا حجم، که در اینجا شدت شکستگی‌ها را به صورت تعداد آن‌ها در واحد سطح در نظر می‌گیریم. شدت شکستگی‌ها به علت فراهم نمودن مسیرهایی جهت نفوذ آب سطحی به زیر زمین نقش بسیار مؤثری را در پدیده توسعه کارست بازی می‌کنند. نقش شکستگی‌ها در پدیده توسعه کارست در منطقه نیز بسیار چشمگیر و شاخص می‌باشد که در ادامه بیان می‌گردد.

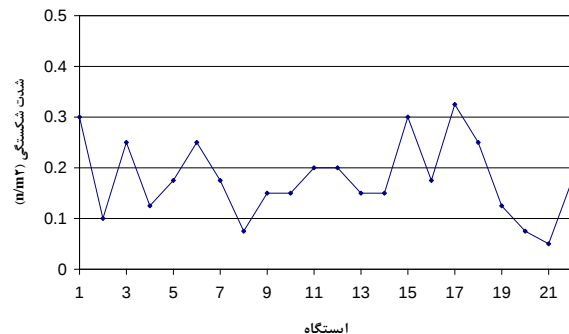
^۱ : Fracture Intensity

ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه همگی دارای ابعادی کم و بیش یکسان، معادل ۴۰ متر مربع می‌باشند که در این صورت می‌توان خصوصیات هندسی و زمین‌شناختی درزه‌های موجود در آن را مورد بررسی قرار داد.

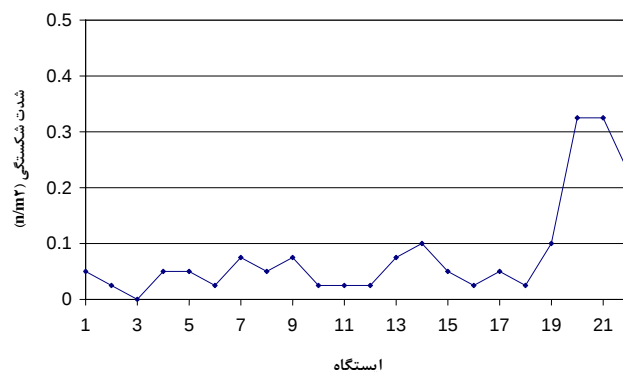
در شکل (۴-۶) تغییرات شدت شکستگی‌های رده‌های مختلف درزه‌ای ترسیم شده است. همان گونه که از شکل پیداست، تغییرات شدت شکستگی برای درزه‌های دسته ۱ و ۲ از تقارن نسبی برخوردار است ولی در مورد درزه‌های دسته ۳، شدت شکستگی‌ها ابتدا کم بوده و از ایستگاه (۱۸) به بعد شدت آن‌ها افزایش ناگهانی و چشم‌گیری پیدا می‌کند و در سه ایستگاه پایانی این رده بیشترین شدت شکستگی را در بین درزه‌های موجود دارا می‌باشد.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴-۶- تغییرات شدت شکستگی در سه دسته درزه. الف: دسته ۱، ب: دسته ۲ و ج: دسته ۳

۴-۲-۴- بازشدگی دهانه درزه‌ها

یکی از پارامترهای دیگری که تأثیر بسیار مهمی در فرایند نفوذ آب در مناطق درز و شکافدار و به خصوص مناطق کارستی دارد، اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها می‌باشد، این پارامتر همچنین بر روی فرایند کارستی شدن و توسعه کارست تأثیر زیادی دارد، به همین منظور در برداشت‌های صحرایی اقدام به اندازه‌گیری بازشدگی درزه‌های رده‌های مختلف با دقت میلی‌متر بر آمدیم. همچنین برای این ویژگی پارامترهای آماری مانند انحراف معیار و کج‌شدگی نیز محاسبه گردیده که در جدول (۲-۴) نشان داده شده است.

جدول ۲-۴- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف در چشمه روانسر

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳
میانگین بازشدگی (میلیمتر)	۳۵/۷۱	۳۵/۴	۶۰/۳	۴۹/۹
انحراف معیار	۱۵	۲۸/۵	۵۱/۳	۲۷/۴
کج‌شدگی	۲/۸	۱/۱	۱/۷	۰/۳

با مشاهده داده‌های جدول ملاحظه می‌شود که متوسط بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف در تمامی موارد بیش از ۳۵ میلیمتر می‌باشد که می‌تواند در فرایند نفوذ آب به زیر زمین بسیار مؤثر واقع شود، در این میان اندازه بازشدگی دهانه درزه‌های دسته ۲ به مراتب بیش از سایر درزه‌ها بوده و برابر ۶۰/۳ میلیمتر می‌باشد. همچنین با عنایت به این نکته که روند این دسته درزه عمود بر روند کلی آهک‌های منطقه (شمال غربی-جنوب شرقی) می‌باشد، نقش کمتری را در هدایت جریان آب در آبخوان مذکور به سمت محل تخلیه داشته و بیشتر به عنوان تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی عمل می‌کنند. گذشته از آن، به دلیل زیاد بودن میانگین شیب این دسته از درزه‌ها، که دارای بیشترین میانگین شیب در میان درزه‌های موجود (برابر 77°) می‌باشند و نیز با توجه به تراکم بالای آن‌ها نسبت به درزه‌های دیگر (جدول ۴-۱) می‌توانند نقش مؤثرتری را در نفوذ سریع آب به اعماق ایفا نمایند.

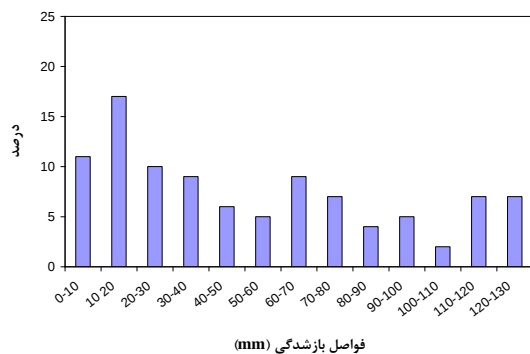
در میان دسته درزه‌های موجود در جدول (۲-۴) کمترین مقدار بازشدگی مربوط به درزه‌های دسته ۱ می‌باشد و در این میان درزه‌های دسته ۳ حالت حدواسطی از اندازه بازشدگی را در میان درزه‌های فوق دارا هستند. انحراف معیار و کج شدگی بازشدگی دهانه درزه‌ها، از دیگر پارامترهای آماری ارائه شده در جدول می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول مقادیر انحراف معیار بازشدگی برای تمامی دسته‌های درزه‌ای بالا بوده که در این میان بیشترین انحراف معیار مربوط به درزه‌های دسته ۲ بوده و برابر $51/3$ می‌باشد. همچنین مقادیر کج شدگی بازشدگی برای تمامی سیستم درزه‌های ارائه شده در جدول (۲-۴) مثبت بوده و در این بین بیشترین مقدار کج شدگی مربوط به درزه‌های دسته ۲ بوده و برابر $1/7$ می‌باشد.

داده‌های مربوط به بازشدگی دهانه درزه‌ها پس از تقسیم در دسته‌های با بازه 10 میلی‌متر، به صورت هیستوگرام درصد در مقابل بازشدگی ترسیم شده‌اند (شکل ۴-۷). همان گونه که از شکل پیداست، برای درزه‌های دسته ۱، نمودار مربوطه دارای یک قله برای بازشدگی‌های 0 تا 10 میلی‌متر بوده به گونه‌ای که 21 درصد از درزه‌های این دسته در این بازه قرار دارند، حال آنکه در مورد درزه‌های دسته ۲، نمودار دارای قله‌ای بین 10 تا 20 میلی‌متر بوده که 17 درصد از درزه‌های این دسته را شامل می‌شوند، ولی در مورد درزه‌های دسته ۳ حداکثر بازشدگی به بازه 50 تا 60 میلی‌متر تعلق داشته که 15 درصد از درزه‌های این دسته را شامل می‌شود. کشیدگی در مورد تمامی سیستم‌های درزه‌ای به سمت مقادیر بزرگتر از قله بوده که مقادیر مثبت کج‌شدگی (جدول ۴-۲) گفته فوق را تأیید می‌نماید.

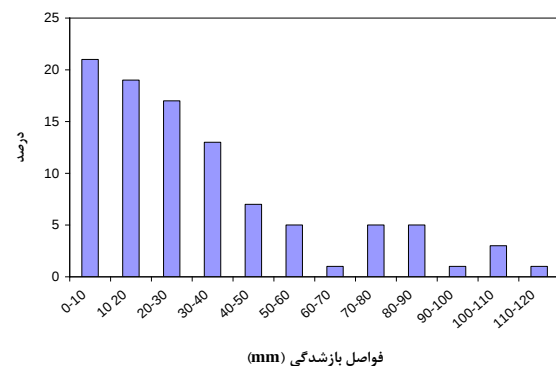
۴-۲-۵- طول درزه‌ها

طول درزه از جمله سایر پارامترهای تأثیر گذار بر روی فرایند تغذیه در آبخوان‌های کارستی بوده که معمولاً به همراه سایر پارامترها اندازه‌گیری می‌شود. همچنین چگونگی توزیع طول درزه‌ها بر نحوه ایجاد کانال‌های انتقال دهنده آب زیرزمینی تأثیر بسزایی دارد. طول درزه‌ها به همراه سایر ویژگی‌های آماری در

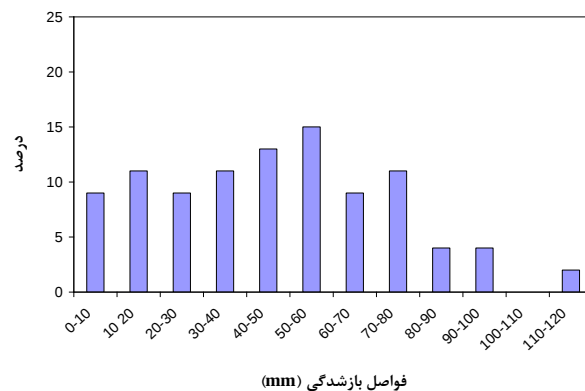
مطالعات صحرایی با دقت مناسبی اندازه‌گیری شده است. برای این منظور طول درزه‌ها با وسایلی مانند خط کش و متر اندازه‌گیری شده است و در جاهایی که به علت طول زیاد درزه، توپوگرافی نامناسب و یا صعب العبور بودن مسیر، اندازه‌گیری آن با این وسایل امکان پذیر نبوده است، طول آن‌ها تخمین زده شده است. با توجه به امتداد درزه‌های دسته ۱ ($N38^{\circ}W$) و طول نسبتاً زیاد این درزه‌ها (این شکستگی‌ها دارای بیشترین میانگین طول برابر $76/3$ متر می‌باشند)، می‌توان آن‌ها را به عنوان هدایت کننده اصلی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر چشمه روانسر قلمداد نمود.



ب



الف



ج

شکل ۴-۷- هیستوگرام توزیع اندازه بازشستگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبرگیر چشمه روانسر الف: دسته ۱ ب: دسته ۲ ج:

دسته ۳

بنا به مطالعات صورت گرفته به وسیله قربانی (۱۳۸۲)، امتداد قطر طویل فروچاله‌ها در منطقه مورد مطالعه، تحت کنترل ساختار تکتونیکی منطقه قرار دارد. وی نمودار گل سرخی مربوط به قطر طویل ۱۳۹ فروچاله را ترسیم کرد که دارای روندی برابر $N35^{\circ}W$ بودند، سپس نمودار گل سرخی خطواره‌های مهم منطقه را ترسیم نمود که دارای روندی مشابه روند قطر طویل فروچاله‌ها بوده و برابر $N35^{\circ}W$ بود (شکل ۴-۸). وی با توجه به یکسان بودن روند خطواره‌های شاخص منطقه و قطر طویل فروچاله‌های منطقه، نتیجه گرفت که خطواره‌های ساختاری روند کلی فروچاله‌های منطقه را تعیین کرده‌اند. از آنجا که سیستم درزه‌های دسته ۱ مورد مطالعه در این تحقیق نیز دارای روندی برابر $N38^{\circ}W$ می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که درزه‌های مربوطه هم نقش هدایت جریان را بر عهده داشته و هم کنترل کننده روند کلی فروچاله‌های منطقه می‌باشند. همچنین آبدهی چشمه روانسر در اردیبهشت ماه حدود ۱۸۰۰ لیتر در ثانیه می‌باشد در حالی که آبدهی این چشمه در اواسط مهر ماه به کمتر از ۲۰ لیتر بر ثانیه کاهش می‌یابد (شکل ۴-۹)، بنابراین روند تخلیه سریع و اختلاف آبدهی این چشمه در طول فصول تر و خشک نیز دلیل بسیار شاخصی بر نقش شکستگی‌ها و بخصوص شکستگی‌های دسته ۱ در تخلیه سریع آب و پیشرفت کارست در ناحیه می‌باشد.



شکل ۴-۸- نمودار گل سرخی قطر طویل فروچاله‌ها (الف) و نمودار گل سرخی خطواره‌های اصلی منطقه. (قربانی ۱۳۸۲)

در مورد طول درزه‌های دسته‌های مختلف نیز سایر ویژگی‌های آماری مانند، میانگین، انحراف معیار و کج-شدگی اندازه‌گیری شده است که نتایج حاصله در جدول (۴-۳) نشان داده شده است. همان گونه که از

جدول پیداست، در بین درزه‌های رده‌های مختلف بیشترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته ۱ بوده و در این میان درزه‌های دسته ۲ و ۳، از لحاظ طول درزه در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.



ب



الف

شکل ۴-۹- تغییرات آبدهی در فصول تر و خشک در چشمه روانسر الف: آبدهی بالا در اردیبهشت ماه
ب: آبدهی کم در اواخر مهر ماه

جدول ۴-۳- خصوصیات آماری طول دسته درزه‌های سه‌گانه در چشمه روانسر

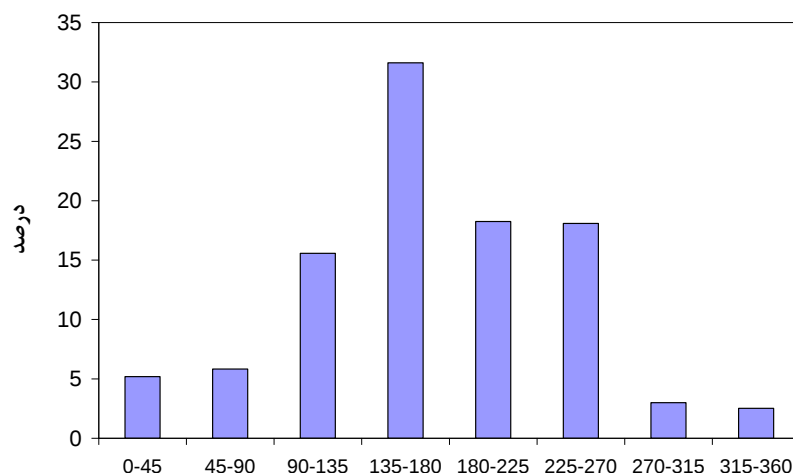
ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳
میانگین طول (متر)	۳۹/۷۷	۷۶/۳	۴۴/۲	۴۱/۵۰
انحراف معیار	۴۵/۳	۶۸	۵۳/۳	۴۳/۴
کج شدگی	۲/۹	۰/۹	۱/۸	۲/۶

با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که انحراف معیار طول در هر سه نوع درزه بالا بوده که در این میان این مقدار برای درزه‌های دسته ۱ در بیشترین مقدار خود قرار دارد. همچنین با توجه به جدول ملاحظه می‌گردد که کج شدگی طول برای تمامی رده‌ها مثبت می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول بیشترین مقدار کج شدگی به درزه‌های دسته ۳ تعلق دارد و در این میان کمترین مقدار کج شدگی مربوط به درزه‌های دسته ۱ می‌باشد.

۴-۲-۶- جهت شیب درزه‌ها

یکی از پارامترهای مهمی که در هدایت جریان آب به سمت محل‌های تخلیه نقشی اساسی را ایفا می‌کند، جهت شیب درزه‌ها می‌باشد. با در نظر گرفتن این نکته که جهت شیب واقعی درزه‌ها همواره عمود بر امتداد درزه‌ها می‌باشد، با داشتن امتداد درزه‌ها به راحتی می‌توان جهت شیب آن‌ها را با اضافه و یا کم کردن ۹۰ درجه به امتداد محاسبه نمود.

علاوه بر مطالعات صورت گرفته فوق، مطالعه دیگری بر روی جهت شیب درزه‌ها و تأثیر آن بر روی هدایت و جمع‌آوری جریان‌های دوردست به سمت محل‌های تخلیه و در نهایت توسعه کارست انجام شده است. برای این منظور هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها ترسیم گردیده است (شکل ۴-۱۰). برای این کار روی محور افقی هیستوگرام، فواصل ۴۵ درجه‌ای مربوط به جهت شیب درزه‌ها و بر روی محور قائم درصدی از درزه‌ها که در این فواصل قرار می‌گیرند نشان داده شده است. البته باید عنوان کرد که در تحلیل جهت شیب درزه‌ها، کل درزه‌های پیمایش شده، شامل درزه‌های سیستماتیک و درزه‌های غیر سیستماتیک در محاسبات در نظر گرفته شده‌اند.



جهت شیب درزه‌ها در فواصل ۴۵ درجه‌ای

شکل ۴-۱۰- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبرگیر چشمه روانسر

با توجه به نمودار ترسیم شده ملاحظه می‌گردد که بیشترین جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر مابین فواصل ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه (یا همان ضلع جنوب شرقی شبکه) قرار گرفته و این بازه ۳۲ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده را در بر می‌گیرد، حال با مشاهده حوضه آبگیر چشمه روانسر و جهت‌گیری آن شکل (۵-۱) ملاحظه می‌شود که این حوضه دارای یک کشیدگی به سمت شمال غرب-جنوب شرق بوده و چشمه روانسر در منتهی الیه این حوضه و در دامنه جنوب شرقی آن واقع شده است. با مقایسه جهت کشیدگی حوضه آبگیر چشمه روانسر (شکل ۵-۱) با هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در این حوضه، نقش جهت شیب درزه‌ها را در جمع‌آوری و هدایت جریان آب از مناطق دوردست به طرف محل تخلیه (چشمه روانسر) متوجه می‌شویم. همچنین با نگاهی دقیق‌تر به هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در این حوضه ملاحظه می‌گردد که بیش از ۵۰ درصد از جهت شیب درزه‌های اندازه‌گیری شده در این حوضه در فاصله ۹۰ تا ۱۸۰ درجه قرار گرفته‌اند که باز هم نقش جهت شیب درزه‌ها را در جمع‌آوری و هدایت سریع جریان آب به سمت محل تخلیه (چشمه روانسر) نشان می‌دهد.

۴-۳- چشمه شیخ علاالدین

دو چشمه شیخ علاالدین و سرحوض به ترتیب در ضلع غربی و شرقی رودخانه تنگیور واقع شده‌اند (شکل ۵-۱).

در مطالعات میدانی این چشمه در کل ۷۰۶ درزه، در قالب ۲۰ ایستگاه (۱۷ ایستگاه سیستماتیک و ۳ ایستگاه غیر سیستماتیک) برداشت شده است که موقعیت این ایستگاه‌ها در نقشه زمین‌شناسی پالنگان در پیوست نشان داده شده است.

عوارض ساختاری شاخص در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین همانند چشمه روانسر، شکستگی‌ها می‌باشند. در مورد این چشمه نیز می‌توان درزه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را به دو دسته درزه-

های سیستماتیک و درزه‌های غیر سیستماتیک تقسیم بندی نمود. درزه‌های سیستماتیک در مجموع ۶۸ درصد از درزه‌های اندازه‌گیری شده در منطقه را شامل می‌شوند. در شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از درزه‌های غیر سیستماتیک با درزه‌های سیستماتیک مقایسه شده است، همانگونه که از شکل پیداست، ابعاد و بازشدگی درزه‌های سیستماتیک بسیار بیشتر از درزه‌های غیر سیستماتیک می‌باشد و همچنین انحلال در طول سطوح درزه‌های سیستماتیک در مقایسه با درزه‌های غیر سیستماتیک بسیار فعال‌تر می‌باشد، این چنین حالتی تقریباً در مورد تمامی درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در منطقه مورد مطالعه صادق می‌باشد.



(ب) نمونه‌ای از درزه‌های غیر سیستماتیک



(الف) نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک

شکل ۴-۱۱- نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در چشمه شیخ علالدین.

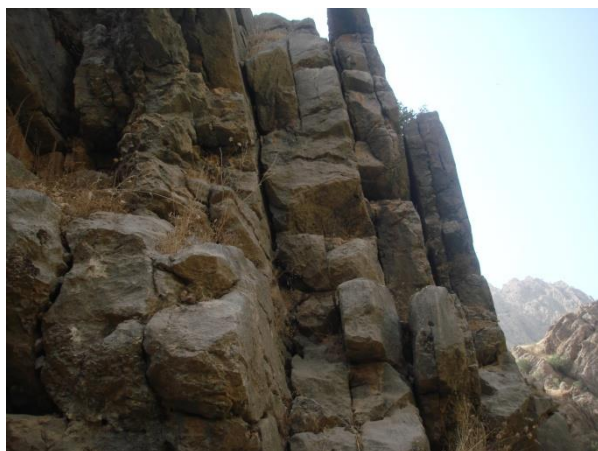
۴-۳-۱- هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

بر خلاف چشمه روانسر که سنگ‌های آهکی بیشتر به صورت توده‌ای بودند، در حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین، یکی از ویژگی‌های مهم سنگ‌های آهکی، وجود سطوح لایه‌بندی متوسط تا ضخیم لایه می‌باشد (ضخامت لایه‌ها از ۳۰ سانتی‌متر تا بیش از سه متر متغیر است) که در سراسر حوضه به خوبی مشاهده می‌گردند (شکل ۴-۱۲). درزه‌هایی نیز به موازات این لایه‌بندی تشکیل گردیده‌اند که نقش بسیار شاخصی را هم در پدیده نفوذ، و هم در هدایت جریان آب در حوضه دارند که در مبحث معرفی انواع

درزه‌ها به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر درزه‌هایی که در امتداد لایه‌بندی شکل گرفته‌اند، در مواردی خود سطح لایه‌بندی به عنوان درزه‌ای با بازشدگی زیاد عمل نموده و با داشتن متوسط شیب ۷۷ درجه نقش شایانی را در پدیده نفوذ در این ناحیه دارا می‌باشند (شکل ۴-۱۲).

با مشاهده نمودار استریوگرافیک و کنتوری لایه‌بندی مربوط به چشمه شیخ علالدین (شکل ۴-۱۳) و مقایسه آن با روند لایه‌بندی در حوضه آبگیر چشمه روانسر (شکل ۴-۳)، ملاحظه می‌شود که روند کلی لایه‌بندی در هر دو منطقه تقریباً یکسان می‌باشد. همچنین همانند چشمه روانسر، با در نظر گرفتن روند کلی لایه‌بندی اندازه‌گیری شده در محدوده چشمه شیخ علالدین، مشاهده می‌شود که روند لایه‌بندی در منطقه از روند کلی چین خوردگی زاگرس تبعیت می‌نماید.

نمودارهای استریوگرافیک از قطب لایه‌بندی و کنتوری تمام درزه‌های برداشت شده به همراه نمودارهای گل سرخی و شیبی در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴)، می‌توان درزه‌های برداشت شده در منطقه را به رده‌هایی تقسیم نمود که برخی از ویژگی‌های آماری آن‌ها در جدول (۴-۴) ارائه شده است. همچنین نمودارهای استریوگرافیک و نمودار گل سرخی این رده‌ها، در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- تصاویری از لایه‌بندی پرشیب و بازشدگی در امتداد صفحات لایه‌بندی در چشمه شیخ علالدین.

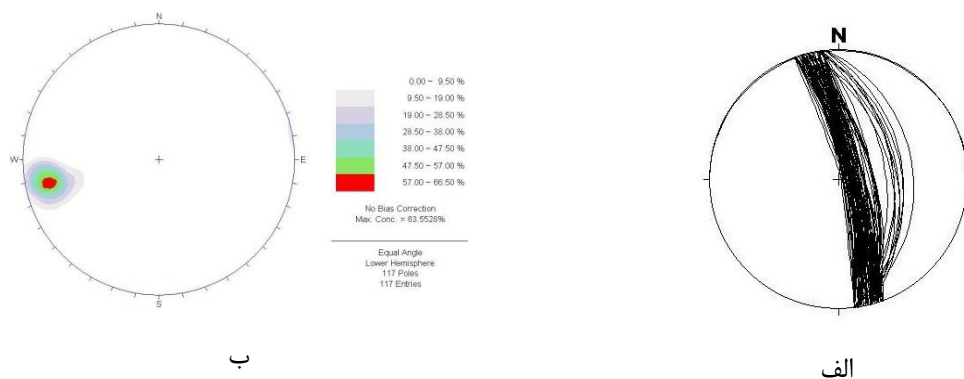
انواع رده‌های درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه علاالدین نسبت به امتداد و شیب لایه‌بندی در زیر آورده شده است.

دسته ۱ با روند $N81^{\circ}E$ را به دلیل اینکه امتدادشان تقریباً موازی با جهت شیب لایه‌بندی می‌باشد، جزء درزه‌های شیبی محسوب می‌شوند.

دسته ۲ با روند $N58^{\circ}W$ را به علت اینکه امتدادشان نسبت به امتداد و شیب طبقات به حالت مورب می‌باشد، جزء درزه‌های مورب ۱ قلمداد می‌شوند.

دسته ۳ با روند $N10^{\circ}W$ را به دلیل اینکه سطح آن‌ها تقریباً به موازات سطوح لایه‌بندی می‌باشد را جزء درزه‌های طبقه‌ای محسوب می‌کنیم. این درزه‌ها به طرز جالبی به موازات لایه‌بندی طبقات تشکیل شده‌اند و دارای بازشدگی فراوان هستند (شکل ۴-۱۷)

دسته ۴ با روند $N30^{\circ}E$ را به علت اینکه امتدادشان نسبت به امتداد و شیب طبقات به حالت مورب می‌باشد، جزء درزه‌های مورب ۲ محسوب می‌گردند.

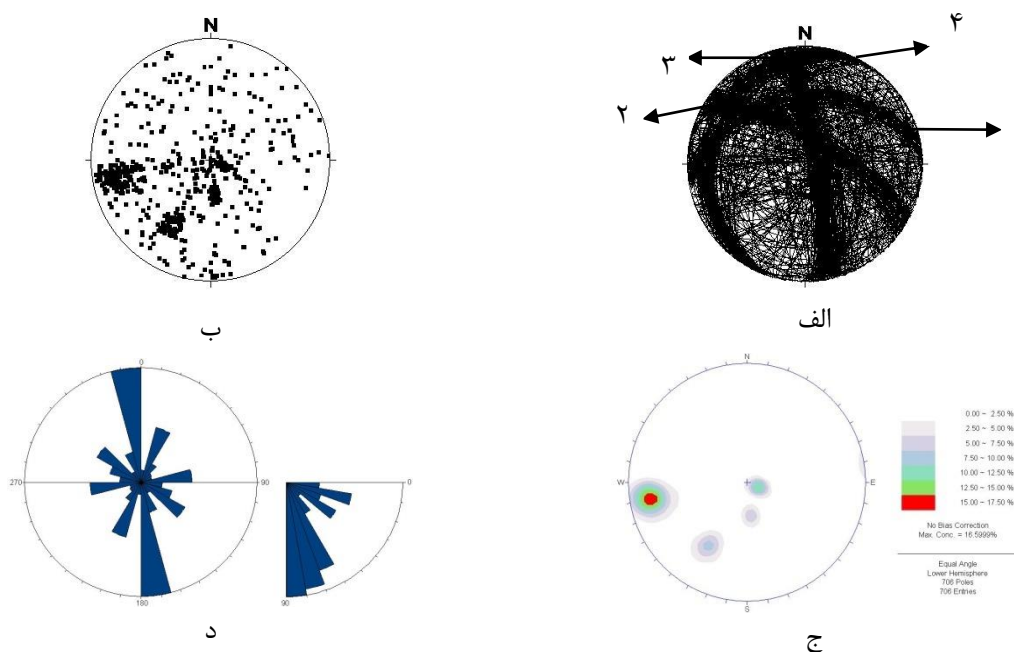


شکل ۴-۱۳- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه علاالدین (الف) و نمودار کنتوری (ب)

با توجه به نمودار کنتوری قطب صفحات لایه‌بندی (شکل ۴-۱۳ ب)، بیشترین تمرکز قطب صفحات لایه‌بندی مربوط به رنگ قرمز بوده که برابر ۶۳ درصد می‌باشد. به همین ترتیب بیشترین تمرکز قطب صفحات درزه‌ای برای تمامی درزه‌های پیمایش شده در چشمه روانسر برابر ۱۷ درصد از کل درزه‌ها می‌باشد (شکل

۴-۱۴ ج). تمرکز قطب صفحات درزه‌ای در شکل مذکور می‌تواند مبنایی برای تقسیم بندی آن‌ها به دسته‌های مختلف باشد.

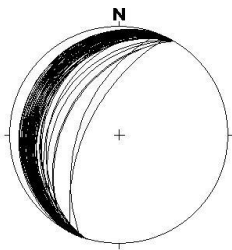
هرچه شیب درزه‌ها بیشتر باشد نفوذ آب‌های سطحی به درون آبخوان بهتر و سریع تر صورت می‌گیرد. با توجه به نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۴-۱۴ د)، بیش از ۶۰ درصد درزه‌ها دارای شیبی بیش از ۶۰ درجه می‌باشند، که در این میان بیشترین متوسط شیب مربوط به درزه‌های دسته ۳ (دسته درزه‌های به موازات لایه‌بندی) می‌باشد، که خود نشانگر اهمیت این پارامتر در پدیده نفوذ آب به درون آبخوان می‌باشد. همچنین بیشترین شیب کل درزه‌های برداشت شده در حوضه آبرگیر چشمه شیخ علاالدین مابین ۸۰ تا ۹۰ درجه قرار دارد، به این ترتیب که ۲۰ درصد کل درزه‌های برداشت شده دارای شیبی مابین ۸۰ تا ۹۰ درجه می‌باشند.



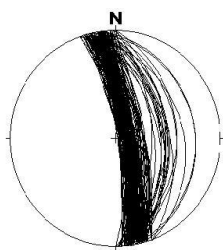
شکل ۴-۱۴- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها. الف: تصویر استریوگرافیک ب: نمودار نقطه‌ای، ج: نمودار کنتوری و د: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی

جدول ۴-۴- خصوصیات آماری دسته درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه علاالدین

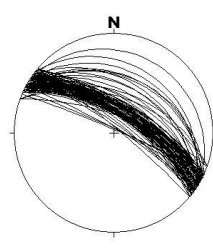
ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
روند و تراکم غالب شکستگی‌ها	-	۷۷-۸۹ (٪۱۰)	۱۱۰-۱۳۰ (٪۱۵)	۱۶۰-۱۸۰ (٪۳۰)	۱۷-۳۰ (٪۱۳)
میانگین شیب	۵۴	۴۱	۶۲	۷۴	۱۴
انحراف معیار شیب	۲۶/۵	۲۱/۸	۱۲/۶	۱۳/۶	۸/۲
کج شدگی شیب	-۰/۵	۱/۲۷	-۱/۴	-۲/۱	۳
انحراف معیار امتداد	۱۱۷	۳/۶	۴/۶	۴/۳	۴
کج شدگی امتداد	۰/۴۶	۰/۱۳	-۰/۳	-۰/۳۵	۰/۶۴



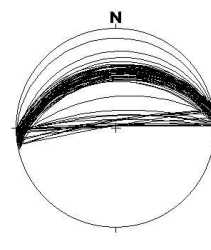
(د) استریوگرام درزه‌های دسته ۴



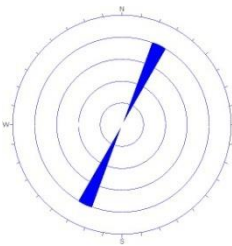
(ج) استریوگرام درزه‌های دسته ۳



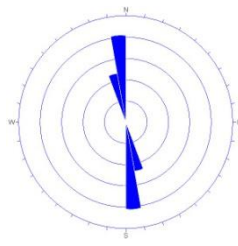
(ب) استریوگرام درزه‌های دسته ۲



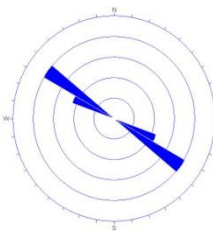
(الف) استریوگرام درزه‌های دسته ۱



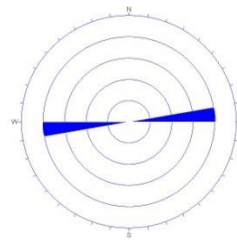
(چ) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۴



(ح) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۳



(و) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۲



(ه) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۱

شکل ۴-۱۵- استریوگرام تفکیک شده و نمودار گل سرخی ۴ دسته درزه در محدوده چشمه علاالدین.

داده‌های مربوط به تراکم دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر چشمه علاالدین در جدول (۴-۴) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود درزه‌های دسته ۳ دارای بیشترین تراکم درزه‌ای در این

ناحیه بوده که ۳۰ درصد از درزه‌های برداشت شده را در می‌گیرند. بعد از آن درزه‌های دسته‌های ۱، ۲ و ۴ به ترتیب، ۱۰، ۱۵ و ۱۳ درصد از درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهند.

با توجه به جدول میانگین شیب برای کل درزه‌های مطالعه شده و نیز برای درزه‌های دسته‌های مختلف نشان داده شده است. با مشاهده داده‌های این جدول ملاحظه می‌شود که بیشترین میانگین شیب مربوط به درزه‌های دسته ۳ یا همان درزه‌های به موازات لایه‌بندی بوده و برابر ۷۴ درجه می‌باشد. کمترین میانگین شیب در بین دسته‌های موجود مربوط به دسته ۴ با میانگین شیب برابر ۱۴ درجه می‌باشد. علاوه بر این مقادیر انحراف معیار و کج شدگی مربوط به امتداد و شیب، برای تمامی درزه‌ها و نیز درزه‌های دسته‌های مختلف در جدول (۴-۴) نشان داده شده است. با توجه به جدول، مقادیر انحراف معیار شیب برای درزه‌های رده‌های مختلف ارائه شده که بیشترین مقدار انحراف معیار، مربوط به درزه‌های دسته ۱ بوده و برابر ۲۱/۸ می‌باشد. کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۲ و ۳ منفی بوده ولی در این بین کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۱ و ۴ مثبت می‌باشد. مقدار انحراف معیار امتداد برای تمامی دسته درزه‌ها به هم نزدیک می‌باشد. همچنین کج شدگی امتداد برای درزه‌های دسته ۲ و ۳ منفی می‌باشد، این در حالی است که کج شدگی درزه‌های دسته ۱ و ۴ به ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۶۴ می‌باشد.

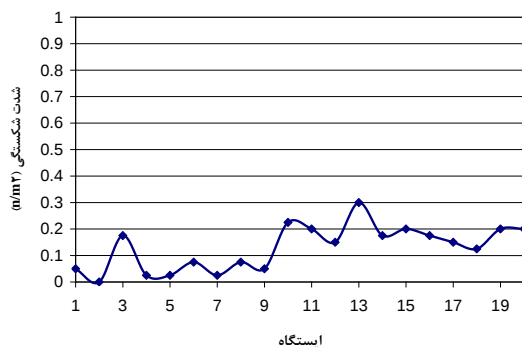
۴-۳-۲- هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس

با در نظر گرفتن روند کلی چین خوردگی زاگرس (شمال غربی-جنوب شرقی) و امتداد درزه‌های منطقه و همچنین بر اساس جدول (۴-۴) و شکل‌های (۴-۴) و (۱۵-۴)، روندهای غالب شکستگی در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین، دارای چهار جهت تقریبی $N81^{\circ}E$ ، $N58^{\circ}W$ ، $N10^{\circ}W$ و $N30^{\circ}E$ می‌باشند که می‌توان این چهار دسته درزه را به صورت زیر رده‌بندی نمود.

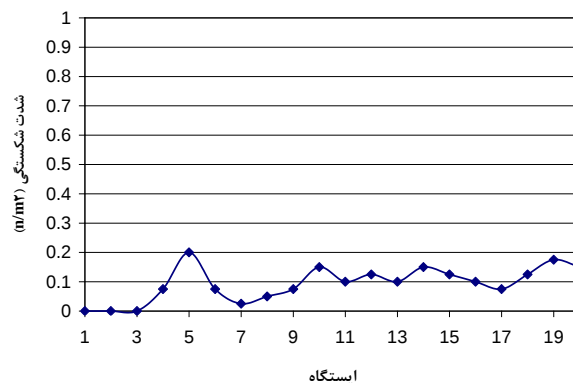
- دسته ۱ با روند $N81^{\circ}E$ را که به صورت مایل نسبت به روند چین خوردگی زاگرس قرار می-گیرند، می‌توان جزء درزه‌های مورب ۱ قلمداد نمود.
- دسته ۲ با روند $N58^{\circ}W$ را به جهت اینکه تقریباً دارای روندی مشابه چین خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های طولی ۱ به حساب آورد.
- دسته ۳ با روند $N10^{\circ}W$ را نیز به جهت اینکه به صورت مایل نسبت به روند چین خوردگی زاگرس قرار می‌گیرند، جزء درزه‌های مورب ۲ قلمداد نمود.
- دسته ۴ با روند $N30^{\circ}E$ را به دلیل اینکه تقریباً دارای روندی مشابه چین خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های طولی ۲ برشمرد.

۴-۳-۳- شدت درزه‌ها

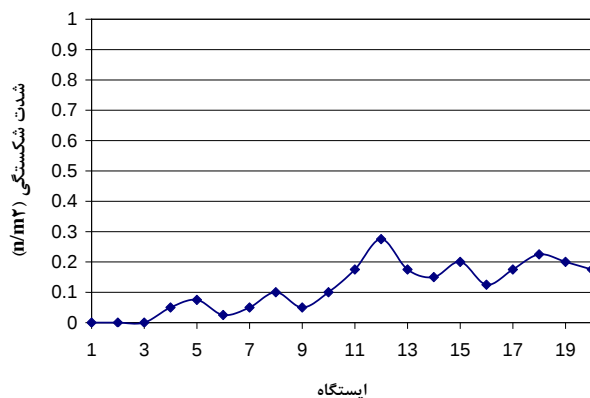
در شکل (۴-۱۶) تغییرات شدت شکستگی‌های رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین ترسیم شده است. همان گونه که از شکل مشخص است، شدت شکستگی در مورد تمامی سیستم‌های درزه‌ای برای ایستگاه‌های اول، دوم و سوم پایین بوده و سپس یک روند نسبی منظمی را دنبال می‌کند. همچنین با دقت در نمودار ملاحظه می‌شود که شدت شکستگی‌های درزه‌های دسته ۳ نسبت به سایر درزه‌ها به صورت قابل توجهی بیشتر می‌باشد که اطلاعات جدول (۴-۴) نیز صحت این مطلب را تأیید می‌نماید، همان طور که از جدول پیداست این درزه‌ها ۳۰ درصد از کل درزه‌های منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود که می‌توانند نقش بسیار مهم و مؤثری را در پدیده نفوذ در منطقه بازی کنند. همچنین در بین سیستم درزه‌های مختلف کمترین شدت شکستگی مربوط به درزه‌های دسته ۱ می‌باشد (شکل ۴-۱۶).



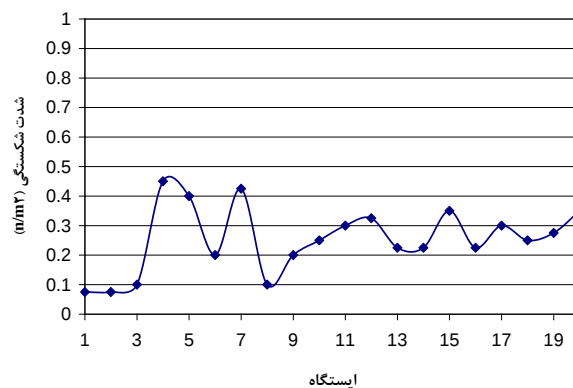
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴-۱۶- تغییرات شدت شکستگی در سه دسته درزه. الف: دسته ۱، ب: دسته ۲، ج: دسته ۳ و د: دسته ۴

۴-۳-۴- بازشدگی دهانه درزه‌ها

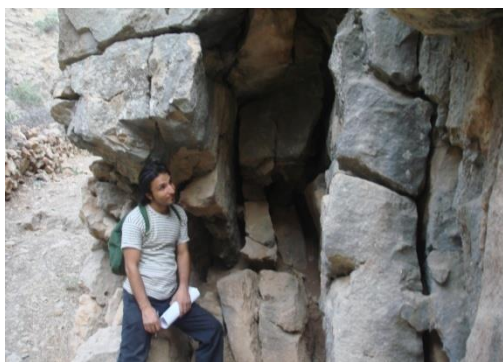
میانگین بازشدگی طول درزه‌های هر رده به همراه ویژگی آماریشان مانند انحراف معیار و کج‌شدگی محاسبه شده و در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

با توجه به داده‌های جدول ملاحظه می‌شود که متوسط بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف در تمامی موارد بیش از ۳۰ میلیمتر می‌باشد. در بین دسته‌های موجود مقدار بازشدگی دسته ۳ به طور قابل چشمگیری بیش از سایر درزه‌ها بوده و برابر ۸۰/۵ میلی‌متر می‌باشد. این دسته از درزه‌ها در واقع همان

درزه‌های به موازات لایه‌بندی می‌باشند که قبلاً مختصری در مورد آن‌ها شرح داده شده است. همچنین با توجه به اطلاعات جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود که این دسته از درزه‌ها در بین درزه‌های موجود، بیشترین درصد تراکم برابر ۳۰ درصد کل درزه‌های منطقه را دارا بوده و نیز دارای بیشترین مقدار شیب برابر ۷۴ درجه می‌باشند. با عنایت به مقدار بازشدگی این دسته از درزه‌ها و همچنین با توجه به شیب زیاد آن‌ها (شکل‌های ۴-۱۷ و ۴-۱۸ الف)، می‌توان به سادگی نقش این دسته از درزه‌ها را در پدیده نفوذ سریع آب به درون آبخوان ملاحظه نمود.

جدول ۴-۵- اندازه بازشدگی رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبریز چشمه شیخ علاالدین

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
میانگین بازشدگی (میلی‌متر)	۴۱/۶	۳۰/۷	۴۱/۴	۸۰/۵	۵۸/۹
انحراف معیار	۱۵	۲۵/۶	۲۷/۷	۶۶/۴	۴۴/۹
کج شدگی	۲/۸	۰/۹۷	۰/۵۷	۲/۲	۱/۶۲



شکل ۴-۱۷- دو نمونه از درزه‌های در امتداد لایه‌بندی (دسته ۳). به ابعاد و بازشدگی این دسته از درزه‌ها دقت شود.

بعد از درزه‌های دسته ۳، بیشترین مقدار بازشدگی مربوط به درزه‌های دسته ۴ با مقداری برابر ۵۸/۹ میلی‌متر می‌باشد. این دسته از درزه‌ها به علت بازشدگی زیاد و نیز شیب نسبتاً پایین، یک حالت ماندگاری را در آب نفوذی به اعماق ایجاد نموده و موجب انحلال بسیار شدید می‌گردند به گونه‌ای که در فصل بهار

عموماً محل‌هایی را برای تخلیه آب درون آبخوان فراهم می‌کنند. در شکل (۴-۱۸) و (۴-۱۱ الف) چند نمونه از این درزه‌ها به همراه بازشدگی و انحلال در طول سطوح آن‌ها به وضوح نشان داده شده است. در بین دسته درزه‌های موجود در جدول (۴-۵) کمترین مقدار بازشدگی مربوط به درزه‌های دسته ۱ می‌باشد ولی از آنجا که ۱۵ درصد از درزه‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شوند، به نوبه خود موجب افزایش مقدار نفوذ آب به درون آبخوان می‌گردند. درزه‌های دسته ۲ نیز نقشی مشابهی شبیه درزه‌های دسته ۱ داشته ولی از آنجا که دارای کمترین مقدار تراکم در بین درزه‌های موجود برابر ۱۰ درصد از درزه‌های منطقه هستند، از درجه اهمیت کمتری برخوردار می‌باشند.



(ب)

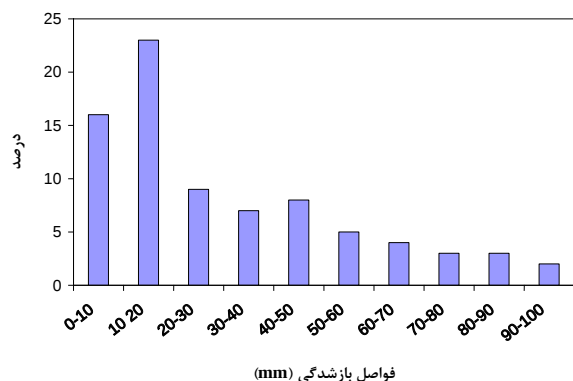


(الف)

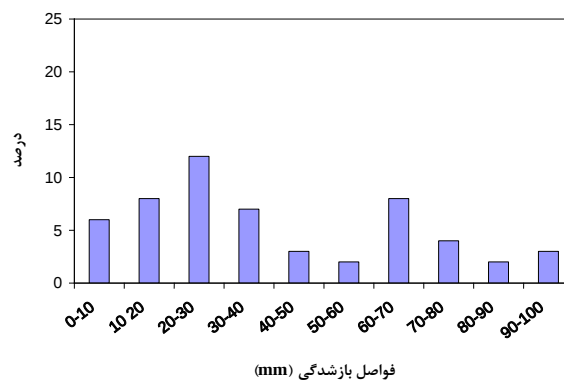
شکل ۴-۱۸- دو نمونه از درزه‌های دسته ۴. به اثر انحلال بر روی سطوح لایه‌بندی در هر دو شکل الف و ب توجه گردد. همچنین در شکل (الف) درزه‌های موازی با لایه‌بندی (دسته ۳) با شیب زیاد درزه‌های دسته ۴ را قطع نموده‌اند.

با دقت در مقادیر کج شدگی بازشدگی دهانه درزه‌های هر رده (جدول ۴-۵)، ملاحظه می‌شود که مقادیر انحراف معیار بازشدگی برای تمامی دسته‌های درزه‌ای بالا بوده که در این میان بیشترین انحراف معیار مربوط به درزه‌های دسته ۳ بوده و برابر ۶۶/۴ می‌باشد. همچنین مقادیر کج شدگی بازشدگی برای تمامی

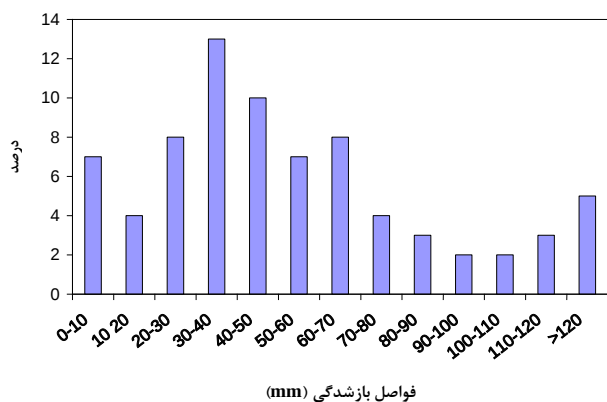
سیستم درزه‌های ارائه شده در جدول مثبت می‌باشد. نگاهی به نمودار توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها برای دسته‌های مختلف (شکل ۴-۱۹) صحت مطالب فوق را تأیید می‌نماید.



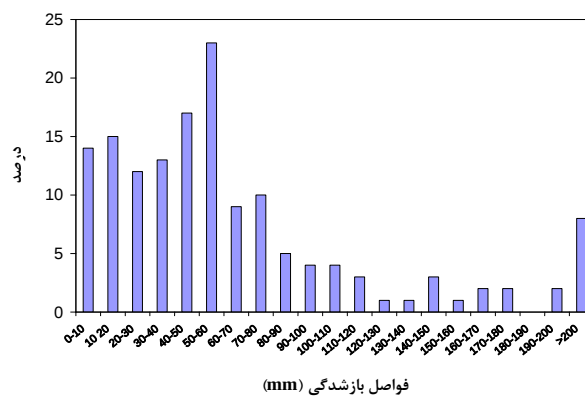
ب



الف



د



ج

شکل ۴-۱۹- هیستوگرام توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبرگیر چشمه شیخ علاالدین. الف: درزه‌های دسته ۱، ب: درزه‌های دسته ۲، ج: درزه‌های دسته ۳ و د: درزه‌های دسته ۴

همان طور که از شکل (۴-۱۹) پیداست، برای درزه‌های دسته ۱، ۱۲ درصد از درزه‌های پیمایش شده دارای بازشدگی بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر هستند حال آنکه برای درزه‌های دسته ۲، ۲۳ درصد از درزه‌ها دارای بازشدگی در بازه ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر می‌باشند. همچنین ۲۳ درصد از درزه‌های دسته ۳ دارای بازشدگی بین ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر می‌باشد، این درحالی است که در مورد درزه‌های دسته ۴، ۱۳ درصد از

درزه‌ها دارای مقدار بازشدگی بین ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر می‌باشند.

لازم به یادآوری است که درزه‌های دسته ۳ (درزه‌های به موازات لایه‌بندی با شیب زیاد)، دارای بیشترین مقدار بازشدگی در بین درزه‌های موجود می‌باشند، که نمودار نشان داده شده در شکل (۴-۱۹) به روشنی گویای این مطلب می‌باشد، به گونه‌ای که برای این دسته از درزه‌ها بازشدگی‌هایی با مقدار بیش از ۲۰۰ میلیمتر و حتی تا ۴۰۰ میلیمتر مشاهده شده است.

۴-۳-۵- طول درزه‌ها

چگونگی توزیع طول درزه‌ها بر نحوه ایجاد کانال‌های انتقال دهنده آب زیرزمینی و هدایت آب به محل‌های تخلیه تأثیر بسزایی دارد.

با عنایت به شکل (۵-۱)، حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین و سرحوض دارای روندی شمالی-جنوبی می‌باشد، با توجه به امتداد درزه‌های دسته ۳ ($N10^{\circ}W$) و نیز درزه‌های دسته ۴ ($N30^{\circ}E$) و البته طول بالای این درزه‌ها (به خصوص درزه‌های دسته ۳)، می‌توان این دو سیستم درزه را به عنوان هدایت کننده اصلی جریان آب زیرزمینی در منطقه قلمداد نمود.

در جدول (۴-۶) میانگین طول درزه‌های دسته‌های مختلف به همراه انحراف معیار و کج شدگی آن‌ها در حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین ارائه شده است. با توجه به جدول، بیشترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته ۳ بوده و در این میان درزه‌های دسته ۱، دسته ۴ و دسته ۲ در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین انحراف معیار طول در هر چهار نوع درزه بالا بوده که مقدار آن برای درزه‌های دسته ۳ در بیشترین مقدار خود قرار دارد. علاوه بر این، با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که کج‌شدگی طول برای تمامی رده‌ها مثبت می‌باشد. با توجه به جدول بیشترین مقدار کج‌شدگی در بین دسته درزه‌های رده‌های

مختلف، به درزه‌های دسته ۳ تعلق دارد و در این میان کمترین مقدار کج‌شدگی مربوط به درزه‌های دسته ۲ می‌باشد.

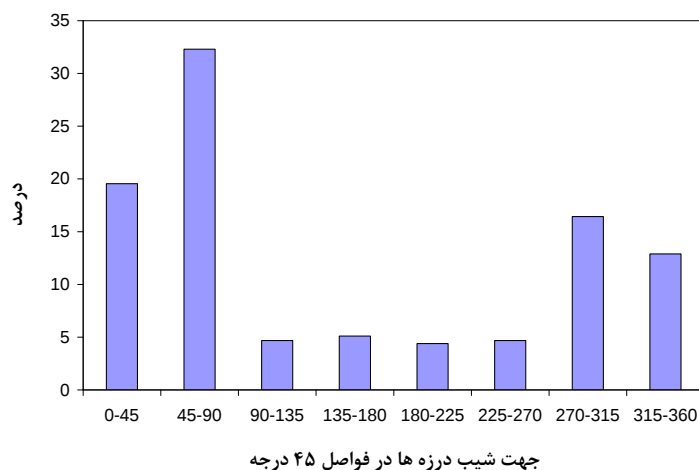
جدول ۴-۶- خصوصیات آماری طول درزه‌ها در چشمه شیخ علالدین

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
میانگین طول (متر)	۵۱/۱	۹۰/۱	۳۶/۴	۱۱۹/۵	۵۶/۲
انحراف معیار	۱۳۱/۱	۸۳/۳	۳۰/۳	۱۲۹/۵	۴۷/۴
کج‌شدگی	۲/۹	۱/۴۶	۰/۷۸	۱/۹	۱/۱۳

۴-۳-۶- جهت شیب درزه‌ها

هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در چشمه شیخ علالدین در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است. با توجه به نمودار ترسیم شده ملاحظه می‌شود که بیشترین جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین مابین فواصل ۴۵ تا ۹۰ درجه شرقی (یا همان ضلع شمال شرقی شبکه) قرار گرفته و این بازه ۳۳ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شود، حال با مشاهده حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین و جهت‌گیری آن شکل (۵-۱) مشاهده می‌شود که این حوضه دارای جهت شمالی-جنوبی بوده و چشمه شیخ علالدین در ضلع شمالی این حوضه قرار دارد. با مقایسه جهت کشیدگی حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین (شکل ۵-۱) با هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در این حوضه، به خوبی نقش جهت شیب درزه‌ها را در جمع‌آوری و هدایت جریان آب از مناطق دوردست به طرف محل تخلیه (چشمه شیخ علالدین) متوجه می‌شویم. همچنین با توجه به هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در این حوضه متوجه می‌شویم که بیش از ۵۰ درصد از جهت شیب درزه‌های اندازه‌گیری شده در این حوضه در فاصله ۰ تا ۹۰ درجه قرار گرفته‌اند که باز هم نقش جهت شیب درزه‌ها را در جمع‌آوری و هدایت سریع جریان آب به

سمت محل تخلیه (چشمه شیخ علاالدین) نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۰- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبرگیر چشمه شیخ علاالدین

۴-۴- چشمه سرحوض

چشمه سرحوض در ضلع شرقی رودخانه تنگیور قرار دارد (شکل ۵-۱). برای این چشمه در مجموع ۷۸۸ درزه در قالب ۲۳ ایستگاه مورد مطالعه قرار گرفت که موقعیت ایستگاه‌های مطالعه شده در نقشه زمین-شناسی پیوست پلنگان نشان داده شده است. تمامی برداشت‌های صورت گرفته در مورد درزه‌ها و خصوصیات آن‌ها، برای این چشمه نیز انجام گرفته است.

درزه‌های مطالعه شده در حوضه آبرگیر این چشمه را می‌توان به دو دسته درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک تقسیم‌بندی نمود که درزه‌های سیستماتیک ۷۲ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را شامل می‌شوند.

در شکل (۴-۲۱) نمونه‌ای از درزه‌های غیر سیستماتیک با درزه‌های سیستماتیک مقایسه شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که ابعاد و بازشدگی درزه‌های سیستماتیک بسیار بیشتر از درزه‌های غیر

سیستماتیک می‌باشد. همچنین عملکرد انحلال بر روی سطوح درزه‌های سیستماتیک، بسیار چشمگیرتر از اثرات انحلال بر روی سطوح درزه‌های غیر سیستماتیک می‌باشد. این حالت در مورد بیشتر درزه‌های سیستماتیک و درزه‌های غیر سیستماتیک در منطقه مورد مطالعه به وضوح مشاهده می‌گردد.



(ب) درزه‌های غیر سیستماتیک

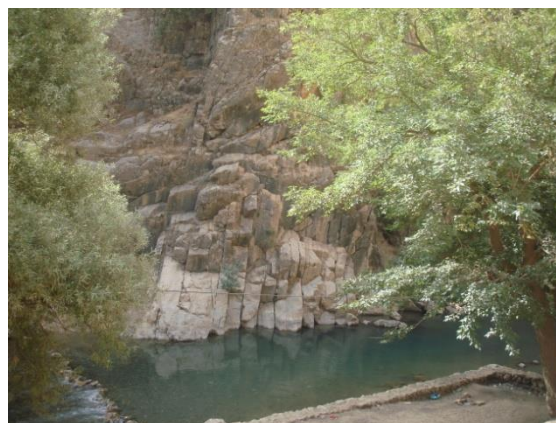


(الف) درزه‌های سیستماتیک

شکل ۴-۲۱- دو نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک در حوضه آبگیر چشمه سرحوض. به ابعاد درزه، بازشدگی آن و نیز اثر انحلال دقت شود. همچنین در شکل الف دو نمونه از درزه‌های دسته ۲ با بازشدگی بالا و اثرات انحلالی شدید در سطوح آن‌ها مشاهده می‌گردد.

۴-۱- هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

همانند چشمه علالدین، یکی از ویژگی‌های بارز آهک‌های موجود در حوضه آبگیر این چشمه، وجود سطوح آهکی متوسط تا ضخیم لایه می‌باشد که در سراسر حوضه به خوبی مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۲۲). در اینجا نیز درزه‌هایی به موازات لایه‌بندی تشکیل گرفته‌اند که نقش بسیار مهمی را هم در پدیده نفوذ، و هم در هدایت جریان آب در حوضه دارند که در مبحث معرفی انواع درزه‌ها در مورد آن‌ها مطالبی ارائه می‌شود. در مورد چشمه سرحوض نیز، علاوه بر درزه‌هایی که در امتداد لایه‌بندی شکل گرفته‌اند، در مواردی خود سطح لایه‌بندی به عنوان درزه‌ای با بازشدگی زیاد عمل نموده و با داشتن متوسط شیب ۷۴ درجه نقش شایانی را در پدیده نفوذ در این ناحیه دارد (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲- تصاویری از لایه‌بندی با شیب بسیار تند در حوضه آبخیز چشمه سرحوض و بازشدگی‌هایی که در امتداد لایه‌بندی به وجود آمده‌اند.

نمودارهای استریوگرافیک و کنتوری لایه‌بندی در شکل (۴-۲۳) نشان داده شده است. همچنین نمودارهای استریوگرافیک، قطب لایه‌بندی، کنتوری و نمودار گل سرخی و شیبی کل درزه‌های مطالعه شده در حوضه آبخیز چشمه سرحوض در شکل (۴-۲۴)، نشان داده شده است.

با توجه به نمودارهای استریوگرافیک و کنتوری صفحات لایه‌بندی، شکل‌های (۴-۲۳) و با توجه به شکل (۴-۲۴) می‌توان درزه‌های برداشت شده در حوضه آبخیز چشمه سرحوض را به دسته‌هایی تقسیم نمود که برخی از ویژگی‌های آماری این درزه‌ها در جدول (۴-۷) ارائه شده است. علاوه بر این نمودارهای استریوگرافیک و نمودار گل سرخی این رده‌های درزه‌ای در شکل (۴-۲۵) نشان داده شده است.

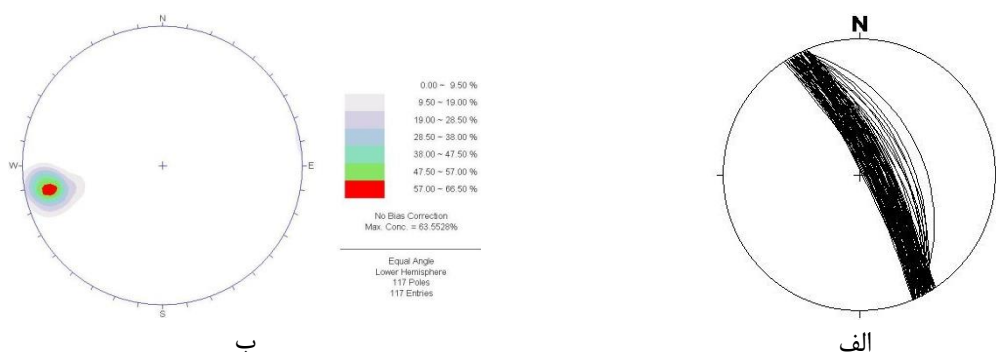
روند لایه‌بندی در این منطقه نیز از روند کلی چین خوردگی زاگرس تبعیت کرده و دارای جهت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد.

در زیر انواع رده‌های درزه‌ای در حوضه آبخیز چشمه سرحوض نسبت به امتداد و شیب لایه‌بندی آورده شده است.

دسته ۱ با روند $N60^{\circ}E$ را به علت اینکه جهت شیب آن‌ها تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی طبقات است، جزء درزه‌های شیبی محسوب می‌کنیم.

دسته ۲ با روند $N15^{\circ}E$ را می‌توان به دلیل اینکه امتدادشان تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی در منطقه است را جزء درزه‌های امتدادی به حساب آورد.

دسته ۳ با روند $N30^{\circ}W$ را به دلیل اینکه سطح آن‌ها تقریباً موازی سطوح لایه‌بندی است را جزء درزه-های طبقه‌ای به حساب می‌آوریم.



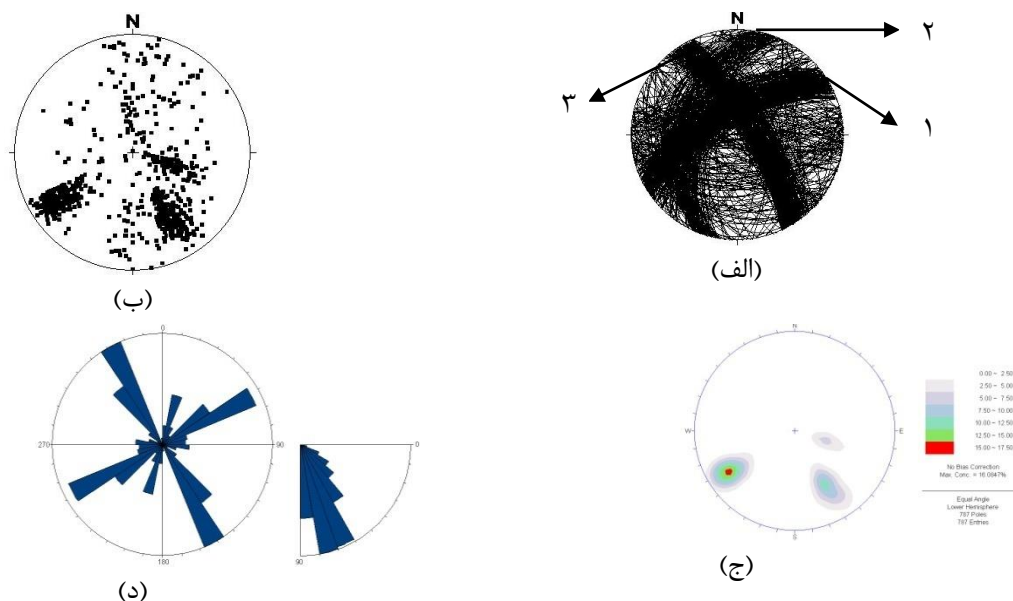
شکل ۴-۲۳- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه سرحوض (الف) و نمودار کنتوری (ب)

بیشترین تمرکز قطب صفحات لایه‌بندی برابر ۵۶ درصد بوده که با رنگ قرمز نشان داده شده است (شکل ۴-۲۳ ب). همچنین بیشترین تمرکز قطب صفحات درزه‌ای برای کل درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبریز این چشمه برابر ۱۶ درصد از کل درزه‌ها می‌باشد که در شکل (۴-۲۴ ج) نشان داده شده است.

با توجه به نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۴-۲۴ د)، بیش از ۷۷ درصد درزه‌های منطقه مورد مطالعه دارای شیبی بیش از ۶۰ درجه می‌باشند، که در این میان بیشترین متوسط شیب مربوط به درزه‌های دسته ۳ (دسته درزه‌های به موازات لایه‌بندی) با متوسط شیب برابر ۷۲ درجه می‌باشد. همچنین بیشترین شیب کل درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه سرحوض مابین ۷۰ تا ۸۰ درجه قرار دارند، به این ترتیب که ۲۵ درصد کل درزه‌های برداشت شده دارای شیبی مابین ۷۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند.

با توجه به جدول (۴-۷) درزه‌های دسته ۳ و ۱ به ترتیب ۳۰/۵ و ۲۹ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر چشمه سرحوض را شامل می‌شوند، این در حالی است که درزه‌های دسته ۲ فقط ۱۳ درصد از کل درزه‌های ثبت شده را در این حوضه شامل می‌شوند.

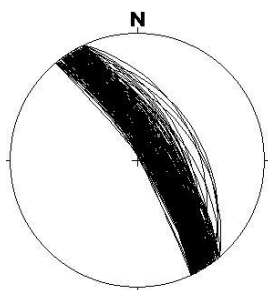
با توجه به داده‌های جدول، بیشترین میانگین شیب مربوط به درزه‌های دسته ۳ می‌باشد که دارای میانگین شیبی برابر ۷۲ درجه می‌باشند. کمترین میانگین شیب در بین دسته درزه‌های موجود مربوط به دسته ۳ با میانگین شیب برابر ۳۹ درجه می‌باشد.



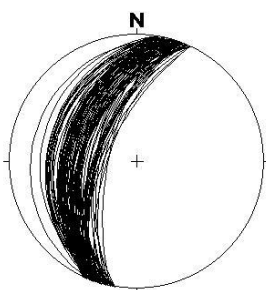
شکل ۴-۲۴- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها. الف: تصویر استریوگرافیک ب: نمودار نقطه‌ای، ج: نمودار کنتوری و د: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی

جدول ۴-۷- خصوصیات آماری دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر چشمه سرحوض

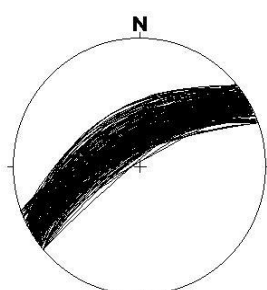
ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳
روند و تراکم غالب شکستگی‌ها	-	۷۰-۵۰ (٪۲۹)	۲۵-۱۰ (٪۱۳)	۴۰-۲۵ (٪۳۰/۵)
میانگین شیب	۶۱	۶۴	۳۹	۷۲
انحراف معیار شیب	۱۷/۶۶	۱۰/۸۲	۱۲/۱	۹/۹۶
کج شدگی شیب	-۰/۷۹	-۰/۳۱	۰/۱۹	-۱/۷۴
انحراف معیار امتداد	۱۲۲/۶	۱۲/۱۹	۴/۶	۴/۳۹
کج شدگی امتداد	-۰/۲۴	۰/۰۶	-۰/۱۲	-۰/۱۴



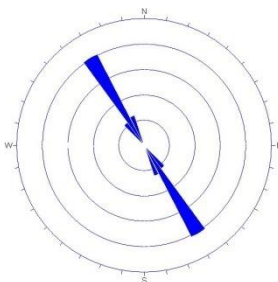
(ج) استریوگرام درزه‌های دسته ۳



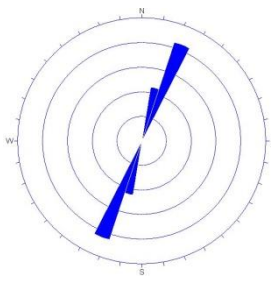
(ب) استریوگرام درزه‌های دسته ۲



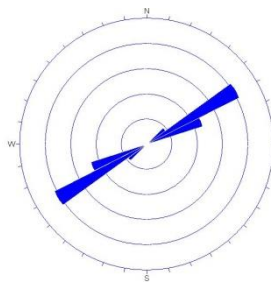
(الف) استریوگرام درزه‌های دسته ۱



(و) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۳



(ه) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۲



(د) نمودار گل سرخی درزه‌های دسته ۱

شکل ۴-۲۵- رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبگیر چشمه سرحوض

همچنین مقادیر انحراف معیار و کج شدگی مربوط به امتداد و شیب، برای کل درزه‌های مطالعه شده و نیز درزه‌های رده‌های مختلف در این جدول نشان داده شده است. مقادیر انحراف معیار شیب برای درزه‌های رده‌های مختلف نزدیک به یکدیگر می‌باشد. کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۱ و ۳ منفی بوده ولی در این بین کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۲ مثبت می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول، مقدار انحراف معیار امتداد برای درزه‌های دسته ۱ بسیار بیشتر از دیگر رده‌های درزه‌ای بوده و معادل ۱۲/۱۹ می‌باشد، حال آنکه مقدار انحراف معیار امتداد برای درزه‌های دسته‌های ۲ و ۳ بسیار به هم نزدیک می‌باشد. همچنین کج شدگی امتداد برای درزه‌های دسته ۲ و ۳ منفی بوده ولی کج شدگی درزه‌های دسته ۱ برابر ۰/۰۶ می‌باشد.

۴-۴-۲- هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس

با توجه به جدول (۷-۴) و نیز شکل‌های (۲۴-۴) و (۲۵-۴)، روند غالب شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه، دارای سه جهت تقریبی $N60^{\circ}E$ ، $N15^{\circ}E$ و $N30^{\circ}W$ می‌باشند. با توجه به روند کلی چین خوردگی زاگرس، می‌توان این سه دسته درزه را به صورت زیر تفسیر نمود.

دسته ۱ با روند $N60^{\circ}E$ را به جهت اینکه تقریباً عمود بر روند کلی چین خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های کششی عرضی قلمداد نمود.

دسته ۲ با روند $N15^{\circ}E$ را به جهت اینکه به صورت مورب نسبت به روند کلی چین خوردگی زاگرس قرار می‌گیرند، جزء درزه‌های مورب به حساب می‌آوریم.

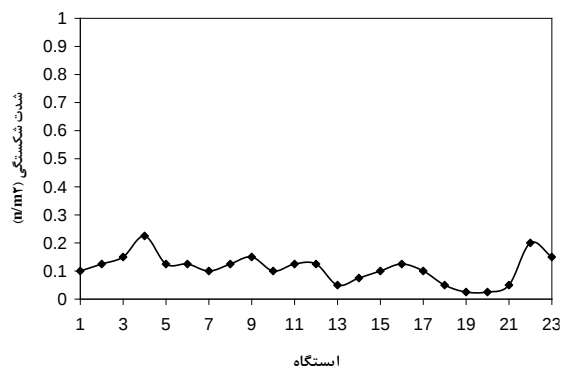
دسته ۳ با روند $N30^{\circ}W$ را به جهت اینکه تقریباً دارای روندی مشابه چین خوردگی زاگرس هستند، به عنوان درزه‌های طولی در نظر گرفت.

۴-۴-۳- شدت درزه‌ها

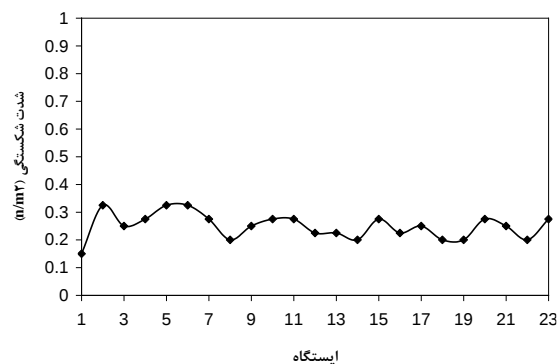
در شکل (۲۶-۴) تغییرات شدت شکستگی‌های رده‌های مختلف درزه‌ای نشان داده شده است. در واقع رده‌های مختلف درزه‌ای در تمامی گستره حوضه آبگیر چشمه سرخوض دارای توزیع تقریباً یکنواخت هستند و کمتر مکانی را می‌توان یافت که شدت یک رده درزه‌ای خاص، با دیگر نواحی حوضه اختلاف زیاد داشته باشد.

با دقت در نمودار شدت شکستگی همه سیستم‌های درزه‌ای (شکل ۲۶-۴) ملاحظه می‌شود که شدت شکستگی‌های دسته‌های ۱ و ۳ نسبت به دسته ۲ بیشتر می‌باشد که اطلاعات جدول (۷-۴) صحت این مطلب را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که درزه‌های دسته ۱، ۲۹ و درزه‌های دسته ۳، ۳۰/۵ درصد کل درزه‌های مطالعه شده را شامل می‌شوند. این در حالی است که درزه‌های دسته ۲ فقط ۱۳ درصد از کل درزه‌های

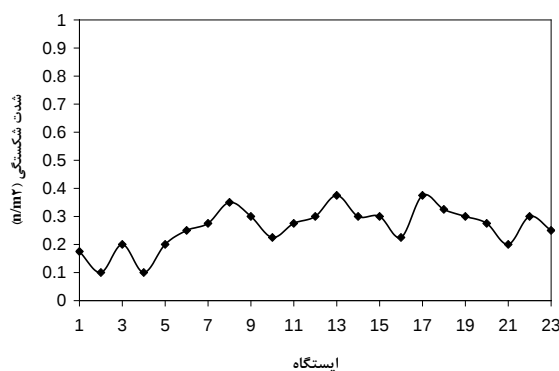
برداشت شده را در بر می گیرند. پس در اینجا نیز نقش بارزتر دو دسته شکستگی ۱ و به خصوص ۳ (همان درزه‌های در امتداد لایه بندی) را در پدیده نفوذ آب به درون آبخوان می توان مشاهده نمود.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴-۲۶- تغییرات شدت شکستگی در سه دسه درزه. الف: دسته ۱، ب: دسته ۲ و ج: دسته ۳

۴-۴-۴- بازشدگی دهانه درزه‌ها

میانگین بازشدگی طول دسته درزه‌های مختلف به همراه کج شدگی و انحراف معیار آن‌ها در جدول (۴-۸) نشان داده شده است.

جدول ۴-۸- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه دسته‌های مختلف در چشمه سرحوض

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳
میانگین بازشدگی (میلیمتر)	۴۳/۴	۳۷/۴۵	۵۱/۸	۷۲/۲
انحراف معیار	۳۲/۴	۲۵/۸	۲۹/۶	۶۶/۹
کج شدگی	۲/۲	۰/۷۳	۰/۳۷	۱/۷۷

متوسط بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف در تمامی موارد بیش از ۳۵ میلیمتر می‌باشد. بیشترین مقدار بازشدگی دهانه درزه، در بین سیستم‌های مختلف به درزه‌های دسته ۳ با میانگین ۷۲/۲ میلیمتر تعلق دارد (شکل ۴-۲۷). همچنین، این دسته دارای بیشترین تراکم برابر ۳۰/۵ درصد از کل درزه‌های منطقه بوده و علاوه براین با داشتن میانگین شیب ۷۲ درجه بیشترین شیب را در بین سیستم درزه‌های موجود دارا می‌باشند (جدول ۴-۷). با توجه به تراکم این دسته از شکستگی‌ها، شیب و میانگین بازشدگی آن‌ها، به سادگی نقش بسیار بارز این دسته از شکستگی‌ها را در پدیده نفوذ آب به درون آبخوان و توسعه کارست ملاحظه می‌کنیم. با توجه به ویژگی‌های هندسی مانند روند، میانگین شیب، میانگین بازشدگی و دیگر خصوصیات درزه‌ای این دسته از شکستگی‌ها به خوبی قابل مقایسه با درزه‌های دسته ۳ یا همان درزه‌های در امتداد لایه‌بندی مربوط به چشمه شیخ علالدین می‌باشند.

بعد از درزه‌های دسته ۳، بیشترین مقدار بازشدگی مربوط به درزه‌های دسته ۲ با مقداری برابر ۵۱/۸ میلیمتر می‌باشد. این دسته از درزه‌ها به علت بازشدگی زیاد و نیز شیب نسبتاً پایین، سبب ماندگاری آب شده و با ایجاد حفرات انحلالی مکان‌های موقت را جهت تخلیه حوضه در فصل بهار به وجود می‌آورند. در شکل (۴-۲۱ الف) و (۴-۲۷) چند نمونه از این درزه‌ها به همراه بازشدگی و انحلال در طول سطوح آن‌ها به وضوح نشان داده شده است. در اینجا باید گفت که این دسته از درزه‌ها قابل مقایسه با درزه‌های دسته ۴ در حوضه آبگیر چشمه شیخ علالدین می‌باشند که تقریباً دارای اثرات هیدروژئولوژیکی یکسانی در توسعه کارست بوده و همچنین دارای روندهای تقریباً یکسان، میانگین بازشدگی نزدیک به هم و غیره می‌باشند.



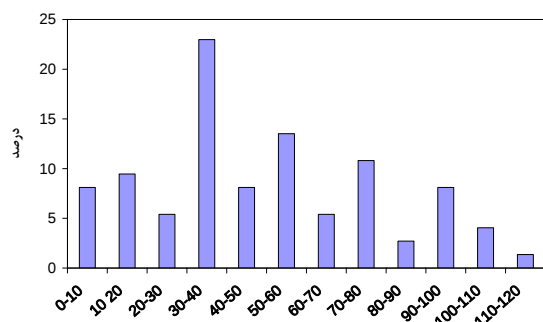
شکل ۴-۲۷- نمونه از درزه‌های در امتداد لایه‌بندی. به ابعاد و بازشدگی این دسته از درزه‌ها توجه شود. همچنین درزه با شیب کم جزء درزه‌های دسته ۲ بوده که شیب کم داشته و دارای اثرات انحلالی شدید در سطوح خود می‌باشد.

با توجه به جدول، درزه‌های دسته ۱ با میانگین بازشدگی ۳۷/۴۵ میلی‌متر کمترین مقدار بازشدگی را در بین سیستم درزه‌های موجود دارا هستند و از آنجا که این دسته از درزه‌ها ۲۹ درصد از درزه‌های مطالعه شده را در شامل می‌شوند، به نوبه خود موجب افزایش مقدار نفوذ آب به درون آبخوان می‌گردند. این دسته از درزه‌ها به دلیل روند تقریباً یکسان، میزان بازشدگی نزدیک به هم و دیگر ویژگی‌های هندسی قابل مقایسه با درزه‌های دسته ۱ در چشمه شیخ علالدین می‌باشند.

با توجه به داده‌های جدول مقادیر انحراف معیار بازشدگی برای تمامی دسته‌های درزه‌ای بالا بوده که در این میان بیشترین انحراف معیار مربوط به درزه‌های دسته ۳ بوده و برابر ۶۶/۹ می‌باشد. همچنین مقادیر کج شدگی بازشدگی برای تمامی سیستم درزه‌های ارائه شده در جدول (۴-۸) مثبت می‌باشد.

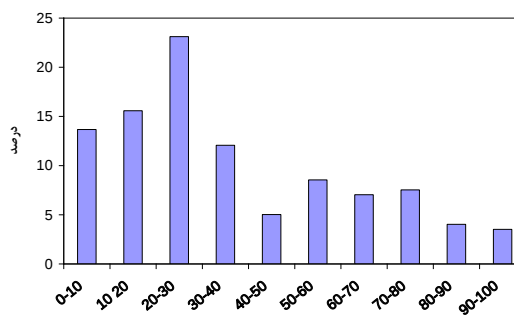
هیستوگرام توزیع بازشدگی دهانه درزه‌ها در بازه‌های ۱۰ میلی‌متر در شکل (۴-۲۸) نشان داده شده است. با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود که حداکثر درصد بازشدگی برای دسته درزه‌های ۱، ۲ و ۳ در بازه‌های ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۴۰ و ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر می‌باشد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۲۳، ۲۳ و ۱۷ درصد از درزه‌ها در هر دسته می‌باشد. همچنین توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌های دسته ۳ بسیار بیشتر از توزیع بازشدگی دهانه درزه‌های دسته‌های ۱ و ۲ بوده و برای این دسته از درزه‌ها مقادیر بازشدگی بیش از

۲۲۰ میلی‌متر و حتی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر نیز گزارش شده است که مکان‌های بسیار مساعدی را برای نفوذ آب به دون آبخوان به وجود می‌آورند.



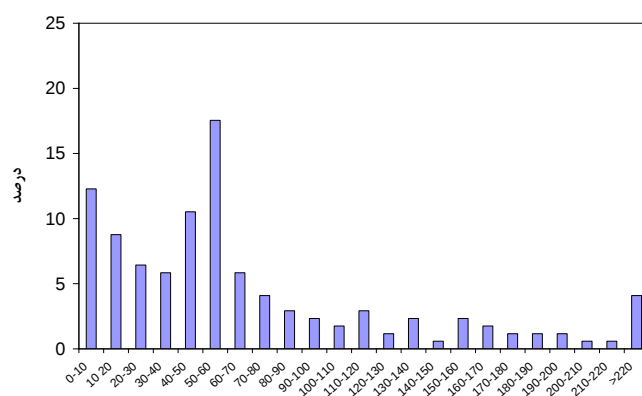
فواصل باز شدگی

(ب)



فواصل باز شدگی

(الف)



فواصل باز شدگی

(ج)

شکل ۴-۲۸- هیستوگرام توزیع اندازه باز شدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه سرحوض. الف: درزه‌های دسته ۱، ب: درزه‌های دسته ۲ و ج: درزه‌های دسته ۳

۴-۴-۵- طول درزه‌ها

با توجه به شکل (۵-۱)، حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض دارای روندی تقریباً شمالی-جنوبی می‌باشد. با توجه به امتداد درزه‌های دسته ۲ ($N15^{\circ}E$) و نیز درزه‌های دسته ۳ ($N30^{\circ}W$) و

البته طول بالای این سیستم درزه‌ها (جدول ۴-۹) می‌توان این دو سیستم درزه را به عنوان هدایت کننده اصلی جریان آب زیرزمینی در منطقه قلمداد کرد.

با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که بیشترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته ۳ بوده و از این حیث، درزه‌های دسته ۲ و ۱ در رده‌های بعدی قرار دارند.

با توجه به داده‌های جدول، درزه‌های دسته ۳ بیشترین و دسته ۱ کمترین انحراف معیار طول را در بین درزه‌های موجود دارا می‌باشند که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر $133/2$ و $28/74$ متر می‌باشند. همچنین کج شدگی طول برای تمامی دسته درزه‌ها مثبت می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول، بیشترین مقدار کج شدگی طول در بین دسته درزه‌های رده‌های مختلف، به درزه‌های دسته ۳ تعلق دارد و در این میان کمترین مقدار کج شدگی طول، مربوط به درزه‌های دسته ۲ می‌باشد.

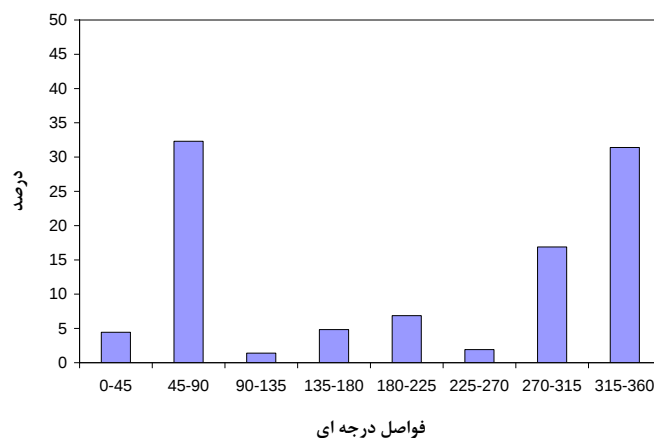
جدول ۴-۹- توزیع اندازه طول دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر چشمه سرحوض

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	درزه‌های دسته ۱	درزه‌های دسته ۲	درزه‌های دسته ۳
میانگین طول (میلیمتر)	۵۳/۶	۴۰/۵	۶۲/۳	۱۱۲/۶
انحراف معیار طول	۱۳۴/۵	۲۸/۷۴	۳۹/۹	۱۳۳/۲
کج شدگی طول	۲/۷	۱/۲۸	۰/۸۴	۲/۴۵

۴-۴-۶- جهت شیب درزه‌ها

هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در فواصل ۴۵ درجه‌ای در شکل (۴-۲۹) نشان داده شده است. با توجه به نمودار ترسیم شده ملاحظه می‌شود که بیشترین درصد جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه سرحوض مابین فواصل ۴۵ تا ۹۰ درجه (یا همان ضلع شمال شرقی شبکه) قرار گرفته و این بازه $32/3$ درصد از کل جهت شیب درزه‌های اندازه‌گیری شده را در بر می‌گیرد. همچنین حوضه آبگیر چشمه‌های

شیخ علاالدین و سرحوض دارای روندی شمالی-جنوبی بوده و چشمه سرحوض در یال شمالی آن قرار دارد (شکل ۵-۱). حال، با مقایسه جهت کشیدگی حوضه آبگیر چشمه‌های سرحوض و شیخ علاالدین با هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در این حوضه، نقش جهت شیب درزه‌ها را در جمع‌آوری و هدایت جریان آب از مناطق دوردست به طرف محل تخلیه (چشمه سرحوض) مشخص می‌شود. علاوه براین، با توجه به هیستوگرام مربوطه ملاحظه می‌شود که حدود ۳۱ درصد از درزه‌های منطقه دارای جهت شیبی در فاصله ۳۱۵ تا ۳۶۰ درجه می‌باشند که باز هم با نگاهی دقیق‌تر به شکل حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض متوجه می‌شویم که این دسته از درزه‌ها نیز می‌توانند به نوبه خود در هدایت و جمع‌آوری آب در حوضه نقش مهمی را ایفا نمایند.



شکل ۴-۲۹- هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه سرحوض

۴-۵- چشمه تلوکسان

این چشمه در ۶۰۰ متری روستای دیوزناو قرار داشته و با متوسط آبدهی حدود ۴۰۰۰ لیتر در ثانیه بزرگترین چشمه در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌گردد. تعداد ۷۳۵ درزه در قالب ۲۲ ایستگاه (۱۸ ایستگاه سیستماتیک و ۴ ایستگاه غیر سیستماتیک) در این چشمه مورد مطالعه قرار گرفته است. در نقشه

زمین‌شناسی تلوکسان (نقشه پیوست) موقعیت ایستگاه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان نشان داده شده است.

در اینجا نیز درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر این چشمه به دو نوع درزه‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک تقسیم می‌شود. درزه‌های سیستماتیک در مجموع ۷۶ درصد از مجموع درزه‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شوند.

در شکل (۴-۳۰) نمونه‌ای از درزه‌های غیر سیستماتیک با درزه‌های سیستماتیک در حوضه آبگیر این چشمه مقایسه شده است.

۴-۵-۱- هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

لایه‌بندی متوسط تا ضخیم لایه از ویژگی‌های بارز حوضه آبگیر این چشمه می‌باشد که تقریباً در بیشتر حوضه به وضوح مشاهده می‌گردد (شکل ۴-۳۱). درزه‌هایی به موازات سطوح لایه‌بندی در حوضه آبگیر این چشمه نیز دیده می‌شوند که نقش مهمی را در توسعه و تکوین کارست دارند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۳۰- نمونه‌ای از درزه‌های سیستماتیک (الف) و غیر سیستماتیک (ب) در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان



شکل ۴-۳۱- نمایی از لایه‌بندی در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان

نمودارهای استریوگرافیک و کنتوری امتداد لایه‌بندی در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان در شکل (۴-۳۲) نشان داده شده است. نمودارهای استریوگرافیک، قطب، کنتوری و نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی تمامی درزه‌های برداشت شده در شکل (۴-۳۳) نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های (۴-۳۲)، (۴-۳۳) درزه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به چهار دسته ۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم بندی نمود که در جدول (۴-۱۰) برخی ویژگی‌های این دسته درزه‌ها ارائه شده است.

همچنین نمودار استریوگرافیک و گل سرخی این دسته درزه‌ها در شکل (۴-۳۴) نشان داده شده است. درزه‌های مطالعه شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان را نسبت به لایه‌بندی می‌توان به رده‌های زیر تقسیم نمود:

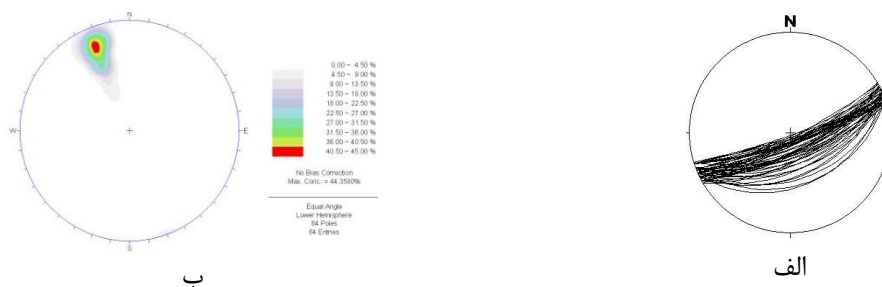
دسته ۱ با روند $N69^{\circ}E$ را به علت اینکه سطح درزه تقریباً موازی سطح لایه‌بندی می‌باشد، جزء درزه‌های طبقه‌ای محسوب می‌شوند.

دسته ۲ با روند $N1^{\circ}E$ را به دلیل اینکه امتدادشان نسبت به امتداد و شیب طبقات به حالت مایل قرار می‌گیرد، جزء درزه‌های مورب ۱ محسوب می‌شوند.

دسته ۳ با روند $N37^{\circ}W$ به علت اینکه امتدادشان تقریباً موازی جهت شیب طبقات می‌باشد، جزء درزه‌های شیبی محسوب می‌گردند.

دسته ۴ با روند $N70^{\circ}W$ را به دلیل اینکه امتدادشان نسبت به امتداد و شیب طبقات به حالت مایل قرار می‌گیرد، جزء درزه‌های مورب ۲ محسوب می‌شوند.

با توجه به نمودار کنتوری قطب صفحات لایه‌بندی (شکل ۴-۳۲ ب)، رنگ قرمز معرف تمرکز قطب صفحات لایه‌بندی می‌باشد که معادل ۴۴ درصد از کل قطب صفحات لایه‌بندی می‌باشد. علاوه بر این نمودار کنتوری قطب صفحات درزه‌ای برای تمامی درزه‌های مطالعه شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان در شکل (۴-۳۳ ج) نشان داده شده است. با توجه به شکل، بیشترین تمرکز قطب صفحات درزه‌ای مربوط به رنگ قرمز بوده که تقریباً ۱۸ درصد از کل درزه‌های مطالعه شده در این محدوده قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۳۲- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در چشمه تلوکسان (الف) و نمودار کنتوری (ب)

با توجه به جدول (۴-۱۰)، ۲۶ درصد از درزه‌های منطقه مربوط به درزه‌های دسته ۱ می‌باشند و درزه‌های دسته‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۲۳/۵، ۱۳/۵ و ۱۲/۷ درصد از درزه‌های منطقه را شامل می‌شوند.

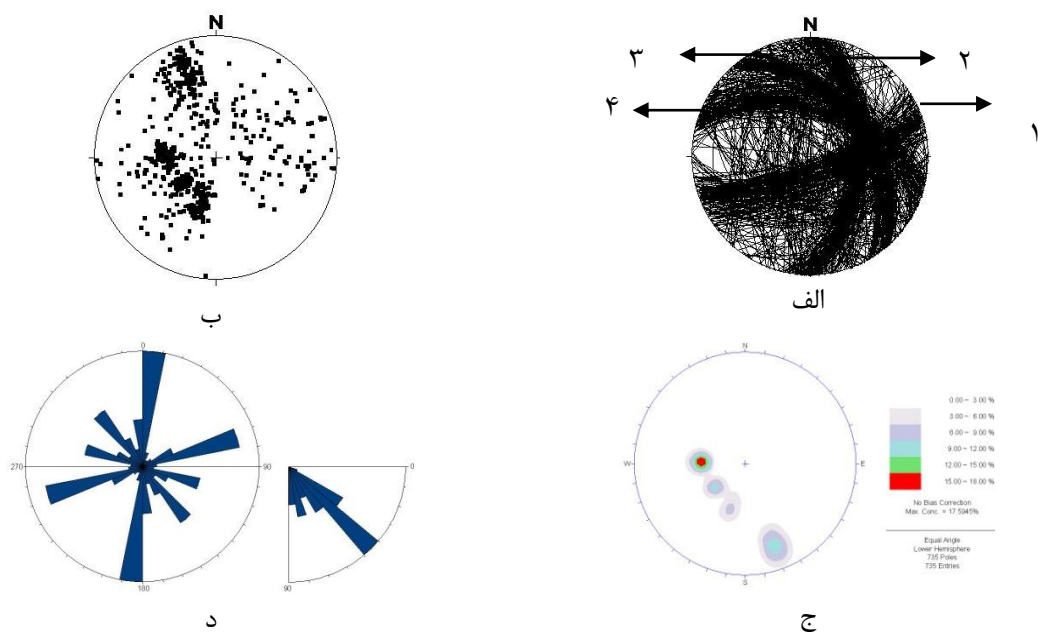
همچنین در این جدول میانگین شیب برای کل درزه‌ها و نیز برای درزه‌های رده‌های مختلف ارائه شده است. با دقت در مقادیر میانگین شیب برای دسته درزه‌های مختلف ملاحظه می‌شود که میانگین شیب درزه‌های دسته ۱ بسیار بیشتر از سایر دسته درزه‌ها بوده و برابر $70/3^{\circ}$ درجه می‌باشد. این در حالی است که میانگین شیب دیگر دسته درزه‌ها به هم نزدیک می‌باشد.

با توجه به اطلاعات جدول، مقادیر انحراف معیار شیب برای درزه‌های رده‌های مختلف تا حدودی به هم نزدیک بوده و در این بین بیشترین انحراف معیار شیب مربوط به درزه‌های دسته ۱ و کمترین مربوط به درزه‌های دسته ۲ می‌باشد که به ترتیب دارای مقادیری برابر ۱۳/۱۲ و ۷/۶ می‌باشند. همچنین کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۱ و ۴ منفی بوده ولی در این بین کج شدگی شیب برای درزه‌های دسته ۲ و ۳ مثبت می‌باشد. مقدار انحراف معیار امتداد برای درزه‌های دسته‌های مختلف به هم نزدیک می‌باشد. همچنین کج شدگی امتداد برای دسته درزه‌های ۱، ۲ و ۳ منفی بوده ولی کج شدگی امتداد درزه‌های دسته ۴ منفی می‌باشد.

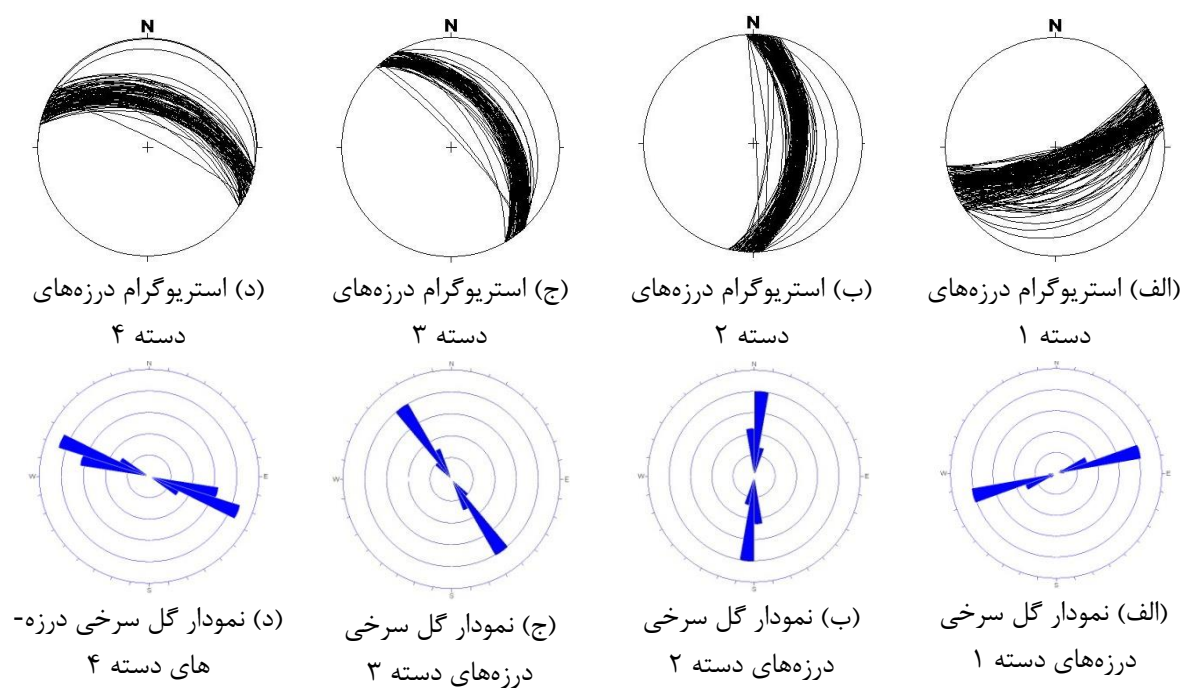
با توجه به نمودار گل سرخی شیبی (شکل ۴-۳۳ د)، بیش از ۸۰ درصد درزه‌های منطقه مورد مطالعه دارای شیبی بیش از ۴۰ درجه می‌باشند، که در این میان بیشترین متوسط شیب مربوط به درزه‌های دسته ۱ (دسته درزه‌های به موازات لایه‌بندی) می‌باشد.

جدول ۴-۱۰- خصوصیات آماری دسته درزه‌های پیمایش شده در حوضه چشمه تلوکسان

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
روند و تراکم غالب شکستگی‌ها	-	۵۵-۸۰ (٪۲۶)	۳۵۶-۰۱۴ (٪۲۳/۵)	۲۹-۴۳ (٪۱۳/۵)	۵۷-۷۸ (٪۱۲/۷)
میانگین شیب	۵۳	۷۰/۳	۴۴/۴	۳۸/۸	۴۴/۶
انحراف معیار شیب	۱۷/۱۴	۱۳/۱۲	۷/۶	۸/۳	۹/۷۷
کج شدگی شیب	۰/۳۳	-۱/۸۵	۱/۷۵	۲	-۰/۳
انحراف معیار امتداد	۱۲۱/۶	۶/۱۸	۴/۶۴	۴/۳۴	۵/۹۳
کج شدگی امتداد	۰/۵۳	-۰/۵۵	-۰/۶۷	-۰/۷۲	۰/۶۶



شکل ۳۳-۴- نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها. الف: تصویر استریوگرافیک ب: نمودار نقطه‌ای، ج: نمودار کنتوری و د: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی



شکل ۳۴-۴- رده‌های مختلف درزه‌ای در حوضه آبرگیر چشمه تلوکسان

۴-۵-۲- هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس

بر اساس جدول (۴-۱۰) و نیز شکل‌های (۴-۳۳) و (۴-۳۴) روند غالب شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه، دارای چهار جهت تقریبی $N69^{\circ}E$ ، $N1^{\circ}E$ ، $N37^{\circ}W$ و $N70^{\circ}W$ می‌باشند. که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر تقسیم نمود:

دسته ۱ با روند $N69^{\circ}E$ را به دلیل اینکه تقریباً عمود بر روند چین خوردگی زاگرس هستند را جزء درزه‌های کششی عرضی به حساب آورد.

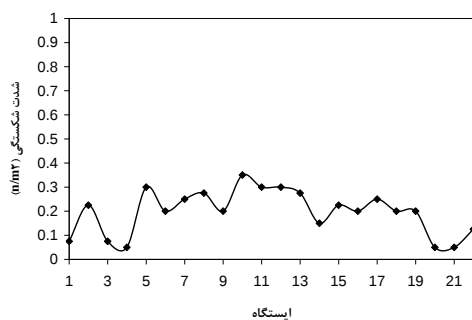
دسته ۲ با روند $N1^{\circ}E$ را به علت اینکه نسبت به روند چین خوردگی زاگرس به صورت مایل قرار گرفته-اند، جزء درزه‌های مورب ۱ قلمداد نمود.

دسته ۳ با روند $N37^{\circ}W$ را به جهت اینکه تقریباً دارای روند چین خوردگی زاگرس هستند را جزء درزه‌های طولی محسوب کرد.

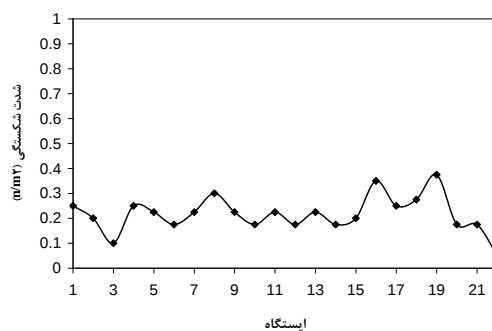
دسته ۴ با روند $N70^{\circ}W$ را نیز به دلیل قرارگیری مایل نسبت به روند چین خوردگی زاگرس، جزء درزه-های مورب ۲ به حساب آورد.

۴-۵-۳- شدت درزه‌ها

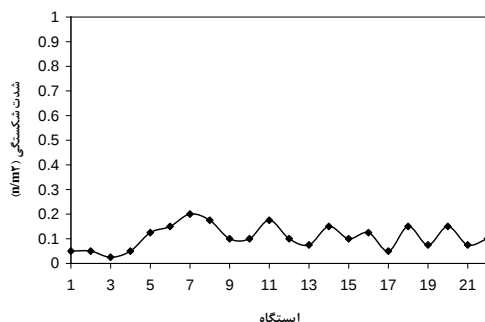
در شکل (۴-۳۵) تغییرات شدت شکستگی‌های رده‌های مختلف درزه‌ای برای حوضه آبگیر چشمه تلوکسان ترسیم شده است. با دقت در شکل ملاحظه می‌شود که شدت شکستگی در مورد تمامی سیستم‌های درزه‌ای یک روند نسبی منظمی را دنبال می‌کند. در واقع رده‌های مختلف درزه‌ای در تمام گستره حوضه تلوکسان دارای توزیع تقریباً یکنواخت هستند.



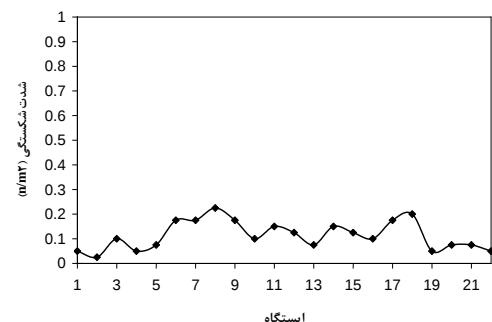
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴-۳۵- تغییرات شدت شکستگی در ۴ دسته درزه. الف: دسته ۱، ب: دسته ۲، ج: دسته ۳ و د: دسته ۴

۴-۵-۴- بازشدگی دهانه درزه‌ها

در جدول (۴-۱۱) اندازه بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف ارائه گردیده است. همچنین ویژگی‌های آماری این پارامتر شامل، کج شدگی و انحراف معیار نیز در این جدول آورده شده است.

با توجه به داده‌های جدول ملاحظه می‌گردد که متوسط بازشدگی دهانه درزه‌های رده‌های مختلف بالا بوده به گونه‌ای که در تمامی موارد بیش از ۲۵ میلیمتر می‌باشد. در میان دسته درزه‌های موجود، درزه‌های دسته ۱ که همان درزه‌های موازی با لایه‌بندی می‌باشند دارای بیشترین مقدار بازشدگی معادل ۶۳/۷ می‌باشند، همچنین با توجه به جدول (۴-۱۰) متوجه می‌شویم که تراکم این دسته درزه در بین دسته‌های موجود بیش از همه بوده و ۲۶ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شود، علاوه براین با استفاده از داده‌های همین جدول در می‌یابیم که این دسته درزه دارای بیشترین متوسط شیب معادل

۷۰/۳ درجه می‌باشند. با توجه به تمامی موارد گفته نقش این دسته از درزه‌ها در پدیده نفوذ آب به درون آبخوان به روشنی می‌توان دریافت و می‌توان گفت که این دسته درزه مهمترین دسته برای پدیده نفوذ آب به درون آبخوان در بین دسته درزه‌های موجود می‌باشند.

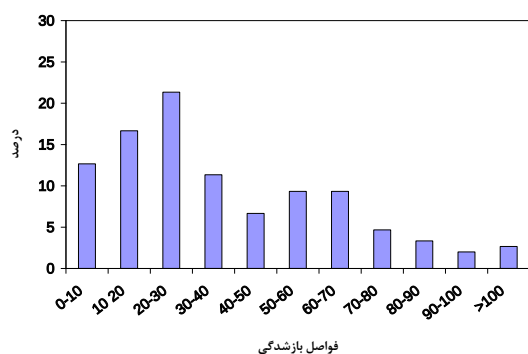
جدول ۴-۱۱- خصوصیات آماری بازشدگی دهانه دسته درزه‌های مختلف در چشمه تلوکسان

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
میانگین بازشدگی (میلیمتر)	۴۳/۳	۶۳/۷	۳۹/۱	۲۵/۹	۳۵/۱
انحراف معیار	۲۷	۴۶/۵	۲۹	۱۹/۲	۲۳/۴
کج شدگی	۱/۸	۱/۶۸	۱/۱	۰/۸	۰/۴۸

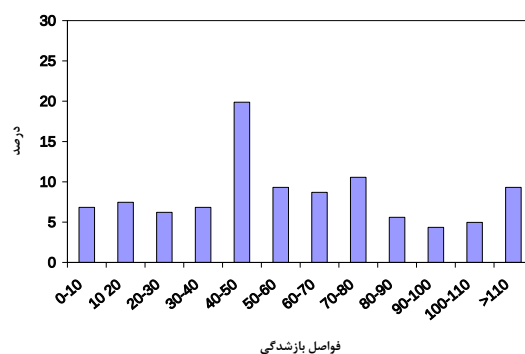
بعد از درزه‌های دسته ۱، درزه‌های دسته ۲، دسته ۳ و دسته ۴، با مقادیر بازشدگی ارائه شده در جدول (۴-۱۱) و متوسط شیب نزدیک به هم (اطلاعات جدول ۴-۱۰) نقش کمتری را در پدیده نفوذ آب نسبت به درزه‌های دسته ۱ ایفا می‌کنند.

بیشترین انحراف معیار، مربوط به درزه‌های دسته ۱ و کمترین آن مربوط به دسته ۳ می‌باشد. علاوه براین، مقادیر کج شدگی در تمامی دسته درزه‌ها مثبت می‌باشد.

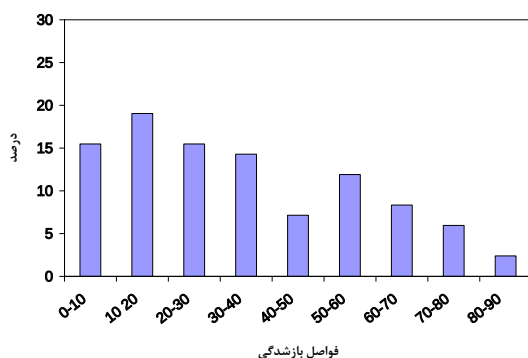
هیستوگرام بازشدگی درزه‌ها در حوضه آبخیز چشمه تلوکسان در شکل (۴-۳۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل، درزه‌های دسته ۱ دارای بیشترین درصد درزه‌های باز شده برای بازه ۴۰ تا ۵۰ میلی‌متر بوده و که برابر ۲۰ درصد از درزه‌های متعلق به این دسته درزه می‌باشد. ۲۱ درصد از درزه‌های دسته دو دارای بازشدگی بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر بوده و همچنین دسته درزه‌های ۳ دارای حداکثر بازشدگی برای بازه ۰ تا ۱۰ میلی‌متر می‌باشند، به گونه‌ای که ۲۵/۵٪ از درزه‌های این دسته در این بازه از بازشدگی قرار دارند. همچنین ۱۹ درصد از درزه‌های دسته ۴ دارای بازشدگی بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر می‌باشند. علاوه براین مقادیر بازشدگی برای درزه‌های دسته ۱ بیشترین مقدار بوده به گونه‌ای که در چند مورد بازشدگی-های بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر در برای این دسته درز اندازه‌گیری شده است.



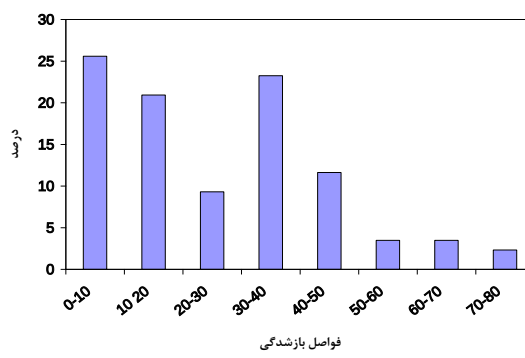
ب



الف



د



ج

شکل ۴-۳۶- توزیع اندازه بازشدگی دهانه درزه‌ها در حوضه آبرگیر چشمه علالدین. الف: درزه‌های دسته ۱، ب: دسته ۲، ج: دسته ۳ و د: دسته ۴

۴-۵-۵- طول درزه‌ها

با عنایت به شکل (۵-۱)، حوضه آبرگیر چشمه تلوکسان دارای روندی شمالی-جنوبی بوده و تا حدی به سمت شرق متمایل می‌باشد. با توجه به امتداد درزه‌های دسته ۲ ($N1^{\circ}E$) و متوسط طول نسبتاً بالای آن‌ها که معادل ۸۷/۵ متر می‌باشد به احتمال فراوان نقش اصلی هدایت جریان آب را در حوضه به سمت محل تخلیه (چشمه تلوکسان) بر عهده دارند. همچنین درزه‌های دسته ۱ با امتداد $N69^{\circ}E$ و متوسط طول ۶۲/۳ متر، احتمالاً علاوه بر نفوذ آب، نقش هدایت جریان را در ابعاد کمتر در حوضه بر عهده دارد. البته در بین سیستم درزه‌های موجود در جدول (۴-۱۲) بیشترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته

۳ با میانگین ۹۶/۱ متر می‌باشد که با توجه به روند حوضه آبرگیر این چشمه، شکل (۵-۱)، احتمالاً در هدایت آب از مناطق دورتر به این چشمه مؤثر باشند. همچنین در بین دسته درزه‌های موجود کمترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته ۴ می‌باشد (جدول ۴-۱۲).

در حالت کلی، متوسط طول درزه‌های چشمه تلوکسان بالا بوده و بیش از متوسط طول دیگر چشمه‌ها می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول انحراف معیار طول در هر چهار نوع درزه مقادیر بالایی را شامل می‌شود، این مقدار برای سیستم درزه‌های ۲ و ۳ در بیشترین مقدار خود قرار دارد. علاوه بر این، ملاحظه می‌گردد که کج‌شدگی طول برای تمامی رده‌ها مثبت می‌باشد. بیشترین مقدار کج‌شدگی به دسته ۳ تعلق داشته و در این میان کمترین مقدار کج‌شدگی مربوط به درزه‌های دسته ۴ می‌باشد.

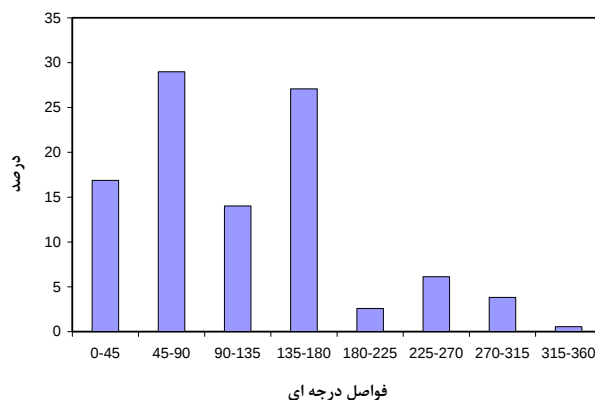
جدول ۴-۱۲- خصوصیات آماری طول درزه‌های رده‌های مختلف در چشمه تلوکسان

ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته ۱	دسته ۲	دسته ۳	دسته ۴
میانگین طول (متر)	۶۵/۶	۶۲/۳	۸۷/۵	۹۶/۱	۵۵/۸
انحراف معیار	۱۱۷/۳	۶۳/۲	۱۱۰/۸	۱۰۶/۹	۴۲/۸
کج‌شدگی	۳/۱	۱/۸۱	۲/۱۵	۲/۶۷	۱/۲۹

۴-۵-۶- جهت شیب درزه‌ها

هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبرگیر چشمه تلوکسان در شکل (۴-۳۷) نشان داده شده است. با توجه به نمودار، ملاحظه می‌شود که بیشترین جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبرگیر چشمه تلوکسان مابین فواصل ۴۵ تا ۹۰ درجه قرار گرفته و این بازه ۲۹ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شود. حوضه تلوکسان دارای یک کشیدگی به سمت شمال شرق-جنوب غرب بوده و چشمه تلوکسان در منتهی الیه این حوضه و در دامنه شمال شرقی آن قرار دارد. پس با توجه به مطالب عنوان شده، به وضوح نقش

جهت شیب درزه‌ها را در هدایت جریان آب از مناطق دوردست به طرف محل تخلیه (چشمه تلوکسان) می‌توان مشاهده کرد. همچنین با توجه به شکل (۴-۳۷) در کل حدود ۸۷ درصد از درزه‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان دارای جهت شیبی بین ۰ تا ۱۸۰ درجه می‌باشند که باز با مشاهده شکل حوضه آبگیر این چشمه، نقش جهت شیب را در هدایت جریان آب به سمت محل‌های تخلیه متوجه می‌شویم.



شکل ۴-۳۷- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های برداشت شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان

۴-۶- مقایسه خصوصیات کلی ساختاری در آبخوان چشمه‌ها

در فصل حاضر نحوه عملکرد دسته درزه‌های مختلف در حوضه آبگیر هر چشمه به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا به ارائه نکاتی در مورد ویژگی‌های ساختاری درزه‌های پیمایش شده و مقایسه این ویژگی‌ها در حوضه آبگیر چشمه‌های چهار گانه می‌پردازیم.

- از آنجا که حوضه آبگیر هر چهار چشمه مطالعه شده در زون زاگرس مرتفع قرار دارد، بنابراین برخی ویژگی‌های کلی درزه‌ها در هر چهار منطقه مورد مطالعه تا اندازه‌ای شبیه یکدیگر می‌باشند. از این ویژگی‌ها می‌توان به درصد پایین درزه‌های دارای پرشدگی در محدوده حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه اشاره کرد، به گونه‌ای که در هر محدوده پیمایش شده تنها حدود ۱ درصد از درزه‌ها دارای پرشدگی‌هایی

از جنس کلسیت، خاک و رس می‌باشند. این ویژگی از درزه‌ها می‌تواند دلیلی بر وجود نرخ تغذیه بالا در منطقه و به واسطه آن توسعه هر چه بیشتر کارست باشد.

- ویژگی شاخص دیگر درزه‌ها، مقدار شیب آن‌ها می‌باشد که تقریباً در بیشتر حوضه‌های آبگیر مطالعه شده این مقدار برای دسته درزه‌های مختلف بالا و اکثراً بیشتر از ۴۵ درجه می‌باشد (جدول‌های ۴-۱، ۴-۴، ۴-۷ و ۴-۱۰). البته در این میان میزان شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه روانسر به مراتب بیشتر از دیگر حوضه‌ها می‌باشد. بدیهی است که توانایی انحلال و توسعه کارست در زون غیر اشباع به دلیل دی-اکسید کربن موجود در هوای محیط پیرامون و نیز فشار جزئی بیشتر دی‌اکسید کربن در آب نفوذ یافته، بسیار بالا است. حال با توجه به این نکته که هرچه شیب درزه‌ها بیشتر باشد، سرعت نفوذ آب به آبخوان سریعتر و در پی آن ماندگاری آب در زون غیر اشباع کمتر می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که در حوضه آبگیر چشمه روانسر آب زمان کافی برای انحلال در زون غیر اشباع و توسعه کارست را نداشته و درجه کارستی شدن در این چشمه کمتر از دیگر چشمه‌های مورد مطالعه می‌باشد. نرخ تغییرات بالای آب چشمه روانسر در طی ماه‌های اردیبهشت تا اواخر مهر ماه مطالب فوق را به خوبی تأیید می‌نماید (شکل ۴-۹ و جدول ۵-۹). علاوه بر این بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی صورت گرفته برای چشمه روانسر (فصل ۵) نیز تأییدی خوبی بر مطالب فوق می‌باشد.

- درصد درزه‌های تکتونیکی (درزه‌هایی که از روند ساختاری عمومی زاگرس تبعیت می‌کنند) در حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علالدین، سرحوض و تلوکسان، به ترتیب برابر ۶۸، ۷۲ و ۷۶ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده در این حوضه‌ها می‌باشد که معرف درصد بالایی از کل درزه‌های پیمایش شده در هر حوضه می‌باشد ولی در حوضه آبگیر چشمه روانسر تنها ۵۱ درصد از درزه‌های پیمایش شده از روند عمومی زاگرس تبعیت می‌کنند (درزه‌های سیستماتیک یا تکتونیکی)، از طرف دیگر مطالعات صحرایی نشان می‌دهند که نرخ بازشدگی و طول درزه‌های سیستماتیک بسیار بیشتر از درزه‌های غیر سیستماتیک

می‌باشد و این درزه‌ها شرایط بسیار مساعدتری را برای توسعه و تکوین کارست فراهم می‌آورند. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان دلیل دیگر کمتر بودن نرخ توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه روانسر در مقایسه با دیگر چشمه‌های منطقه را درصد کمتر درزه‌های سیستماتیک در حوضه آبگیر این چشمه در مقایسه با دیگر چشمه‌ها عنوان نمود.

- با توجه به مطلب ارائه شده در این فصل می‌توان گفت که چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض از لحاظ ساختاری و مکانیسم رفتار درزه‌های مختلف بسیار به هم شبیه می‌باشند. در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین ۴ سیستم درزه و چشمه شیخ علاالدین ۳ سیستم درزه مشاهده شده است که چگونگی عملکرد این سیستم درزه‌ها و نقش آن‌ها در توسعه کارست بسیار به هم شبیه می‌باشد. در هر دو چشمه عنوان شده لایه‌بندی دارای روند شمال غرب-جنوب شرق بوده و کم و بیش هم روند می‌باشند. در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین درزه‌های دسته ۳ (همان درزه‌های به موازات لایه‌بندی، درزه‌های طبقه‌ای یا درزه‌های مورب ۲) دارای بیشترین تراکم برابر ۳۰ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده و متوسط شیب بسیار زیاد ۷۴ درجه می‌باشند (جدول ۴-۴). همچنین این دسته درزه بیشترین متوسط بازشدگی برابر ۸۰/۵ میلی‌متر (جدول ۴-۵) و بالاترین متوسط طول درزه‌ها برابر ۱۱۹/۵ متر (جدول ۴-۶) را دارا می‌باشند. با توجه به کلیه ویژگی‌های این دسته درزه می‌توان گفت که این دسته، نقش اصلی هدایت و نفوذ و در پی آن توسعه کارست را در حوضه آبگیر این چشمه برعهده دارند. دسته درزه ۳ در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین به خوبی قابل مقایسه با درزه‌های دسته ۳ در حوضه آبگیر چشمه سرحوض می‌باشند به گونه‌ای که این دسته نیز با داشتن متوسط شیب بالای ۷۲ درجه، ۳۰/۵ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده در این حوضه را شامل می‌شوند (جدول ۴-۷). همچنین این دسته دارای بیشترین متوسط بازشدگی برابر ۷۲/۲ میلی‌متر (جدول ۴-۸) و بالاترین متوسط طول برابر ۱۱۲/۶ متر (جدول ۴-۹) می‌باشد. با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده برای این دسته درزه می‌توان گفت که این دسته، مهمترین

عامل نفوذ، هدایت آب و در نهایت توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه سرحوض می‌باشند. همچنین دسته درزه ۴ در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین به خوبی قابل مقایسه با دسته درزه ۲ در حوضه آبگیر چشمه سرحوض می‌باشد. این دو دسته هر دو ۱۳ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر چشمه‌های مربوطه را شامل شده (جدول‌های ۴-۴ و ۷-۴) و دارای متوسط شیب پایین و البته امتدادهای بسیار نزدیک به هم (جدول‌های ۴-۴ و ۷-۴) می‌باشند. این دو دسته درزه با داشتن شیب کم یک حالت ماندگاری را در آب‌های نفوذی ایجاد می‌کنند و محل‌هایی برای تخلیه حوضه به صورت چشمه‌های موقت را در فصل بهار به وجود می‌آورند.

- دسته درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان در مجموع دارای بیشترین میانگین طول در بین دسته درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر دیگر چشمه‌ها می‌باشند (جدول ۴-۱۲). همچنین درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر این چشمه دارای کمترین شیب در بین دسته درزه‌های دیگر چشمه‌ها می‌باشد. پس با توجه به مطالب گفته شده آب‌های نفوذی در حوضه آبگیر این چشمه به دلیل شیب کمتر و طول بیشتر درزه‌ها، زمان بیشتری را در زون غیر اشباع سپری خواهند کرد و از آنجا که شرایط برای توسعه کارست در زون غیر اشباع مهیاتر می‌باشد، پس درجه کارستی شدن این چشمه در مقایسه با چشمه روانسر که درزه‌ها دارای طول کمتر و متوسط شیب بسیار بیشتر هستند، بالاتر می‌باشد. نتایج به دست آمده از مطالعات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه‌های روانسر و تلوکسان در فصل پنج کاملاً مطالب فوق را تأیید می‌نماید به گونه‌ای که با توجه به نتایج حاصله در فصل پنج، درجه کارستی شدن چشمه تلوکسان بالاتر از چشمه روانسر می‌باشد.

- با مشاهده داده‌های جدول‌های (۴-۲، ۴-۵، ۴-۸ و ۴-۱۱) ملاحظه می‌شود که در تمامی موارد کج-شدگی بازشدگی دهانه درزه‌ها مثبت می‌باشد که این امر نشان دهنده کشیدگی نمودار بازشدگی به سمت مقادیر بزرگتر از میانگین می‌باشد. این امر بدان معنا است که در تمامی موارد مقدارهایی وجود دارند که

اندازه آن‌ها بسیار بزرگتر از میانگین بوده و سبب کج‌شدگی امتداد نمودار بازشدگی دهانه درزه‌ها به سمت راست نمودار شده است. این امر می‌تواند نشان دهنده میزان بازشدگی بالای دهانه درزه‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه بوده که سبب بالا رفتن نرخ نفوذ در منطقه می‌گردد.

- مقادیر کج‌شدگی طول برای تمامی دسته درزه‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر چشمه‌های چهار گانه مثبت می‌باشد. که نشان دهنده کشیدگی نمودار طول درزه‌ها به سمت مقادیر بزرگتر از میانگین می‌باشد. در واقع برای این ویژگی از درزه‌ها همانند بازشدگی آن‌ها مقادیری وجود دارند که مقدار آن‌ها بسیار بیشتر از میانگین بوده و سبب کشیدگی نمودار طول به سمت این مقادیر می‌شود.

- مشاهده هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها نشان می‌دهد که تقریباً در مورد تمامی چشمه‌ها سازگاری خوبی بین جهت شیب درزه‌ها با راستای کشیدگی حوضه آبگیر چشمه‌های مربوطه وجود دارد، که این امر می‌تواند سبب هدایت و جمع‌آوری آب از نقاط دوردست حوضه به سمت محل تخلیه و توسعه مجراهای هدایت کننده آب از طریق متمرکز کردن آب‌های موجود در حوضه گردد.

فصل پنجم: تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی

۵-۱- مقدمه

همان گونه که در فصل دو عنوان گردید، روش‌های گوناگونی برای تعیین نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی وجود دارد. در تحقیق حاضر جهت تشخیص نوع جریان در چشمه‌های مورد نظر از چند روش به صورت همزمان استفاده شده است. به این ترتیب که تغییرات شیمیایی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و نیز روند تغییرات شاخص اشباع شدگی نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس مطالعه شده است. همچنین مطالعاتی بر روی خصوصیات فیزیکی چشمه‌ها نظیر روند تغییرات دما و آبدهی چشمه‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر داده‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های تلوکسان، قلوژ و روانسر مطالعه شده است و به دلیل محدودیت‌های اداری و برخی مشکلات دیگر از مطالعه دو چشمه شیخ علاالدین و سرحوض که خصوصیات ساختاری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت، صرفه نظر شده است.

۵-۲- چشمه تلوکسان

این چشمه با میانگین آبدهی حدود ۴۰۰۰ لیتر در ثانیه بزرگترین چشمه در منطقه شاهو محسوب می‌گردد. برای این چشمه، به منظور بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، در سال آبی ۸۸-

۸۷ تعداد شش نمونه برداشته شده است. همچنین داده‌های تکمیلی جهت برآورد دقیق‌تر دبی چشمه‌های مورد مطالعه از اداره کل شیلات استان کردستان اخذ گردیده است.

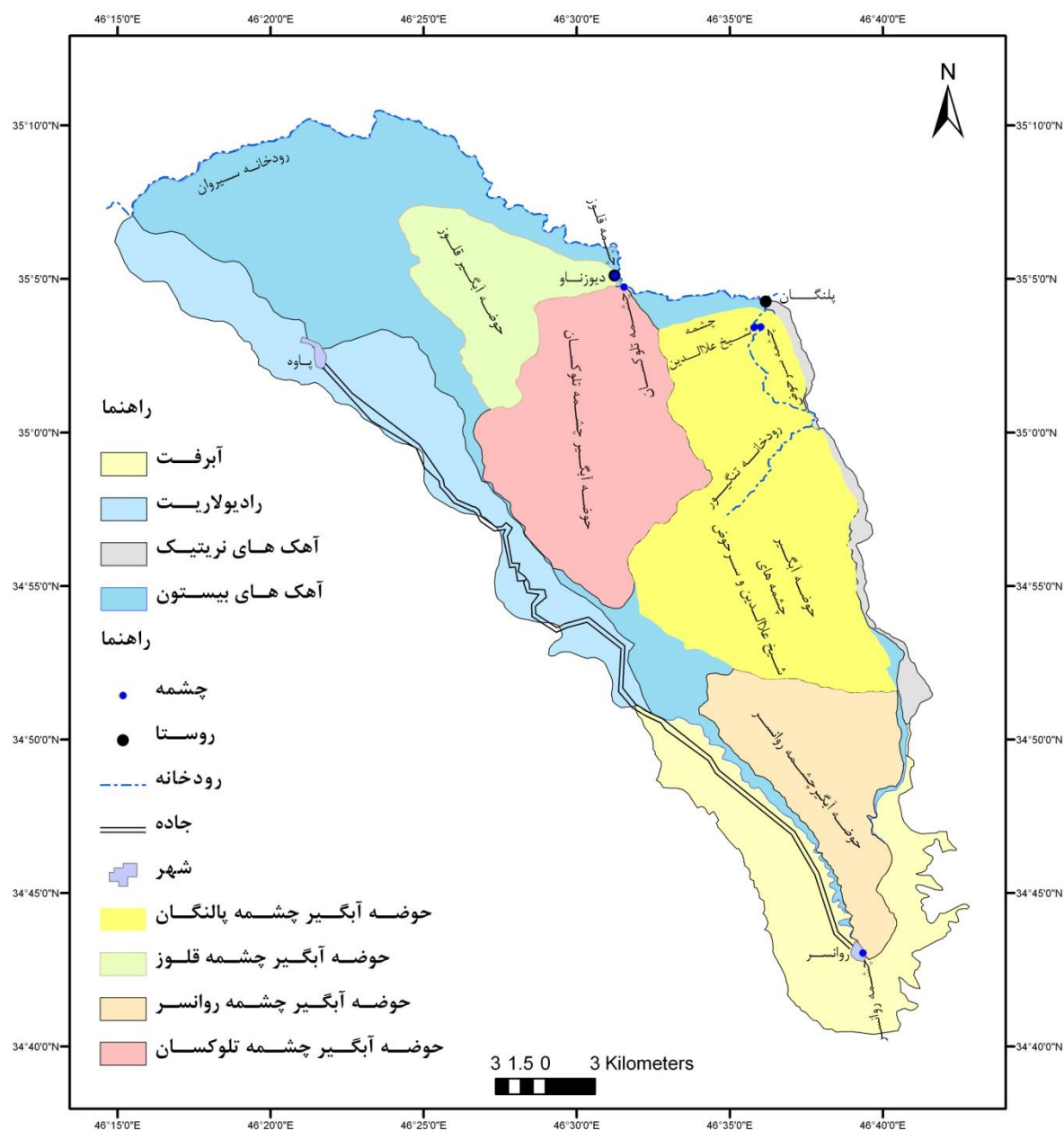
در مورد چشمه تلوکسان همانند تمامی چشمه‌های مطالعه شده در منطقه کارستی شاهو، یکسری از پارامترها در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده و تعدادی نیز در آزمایشگاه محاسبه گردیده‌اند. در اینجا ابتدا پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و سپس پارامترهای محاسبه شده در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتها نیز محاسباتی دیگر مانند اندازه‌گیری ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت (SI_c)، دولومیت (SI_d) و ژیپس (SI_g) و نیز دیگر پارامترها انجام گرفته است که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تعیین مرز حوضه و مساحت حوضه آبگیر نقطه آغازی در تمامی مطالعات هیدروژئولوژیکی بوده و داده‌های اساسی را برای تمامی محاسبات هیدروژئولوژیکی فراهم می‌کند. با توجه به این نکته که مساحت حوضه آبگیر در کارست‌ها مطابق با تغییرات سطح آب زیرزمینی با زمان متغیر است، برای تعیین دقیق مرزهای سطحی و عمقی آب زیرزمینی در این مناطق، تحقیقات زمین‌شناسی مفصل و محاسبات هیدروژئولوژیکی وسیع مورد نیاز می‌باشد. در تحقیق موجود با به کار بردن روش‌های بیلان هیدرولوژیک و روش‌های زمین‌شناسی و بازدید از حوضه آبگیر چشمه‌ها به تعیین مرز حوضه و تخمین مساحت آن اقدام شده است، در نهایت با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3 نقشه حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه در کوه-های شاهو تعیین شده است که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است. مساحت به دست آمده برای حوضه آبگیر چشمه تلوکسان برابر ۱۴۹ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

۵-۲-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

در جدول (۵-۱) پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری به همراه میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات آن‌ها ارائه شده است. از شاخص‌ترین پارامترها در تعیین نوع جریان در آبخوان‌های

کارستی، شاخص تغییرات پارامترهایی مانند بده، دما و هدایت الکتریکی می‌باشد. با عنایت به نتایج مندرج در جدول مذکور ملاحظه می‌شود که مقادیر شاخص تغییرات برای این پارامترها در چشمه تلوکسان به مقدار قابل توجهی بالا می‌باشد و در بین سه پارامتر مذکور بالاترین شاخص تغییرات مربوط به بده چشمه بوده که معادل ۳۴/۸۸ می‌باشد.



شکل ۵-۱- نقشه زمین‌شناسی-هیدرولوژیکی منطقه شاهو که حوضه آبرگیر چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه تلوکسان

پارامتر			تاریخ نمونه‌برداری	
هدایت الکتریکی ($\mu\text{mohs} / \text{cm}$)	درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)	دبی (l/s)		
۳۰۵	۱۱	۲۱۴۳	۱۳۸۷/۹/۱۴	
۲۹۲	۱۱	۴۴۵۶	۱۳۸۷/۱۲/۲۰	
-	-	۶۳۰۰	۱۳۸۸/۲/۱۵	
۲۴۴	۱۰	۵۲۵۰	۱۳۸۸/۳/۱۵	
۲۷۵	۱۱	۴۳۰۰	۱۳۸۸/۴/۱۸	
۳۰۱	۱۲	۳۷۵۰	۱۳۸۸/۵/۲۰	
-	-	۳۱۰۰	۱۳۸۸/۶/۲۳	
۳۲۰	۱۱	۲۵۷۰	۱۳۸۸/۷/۲۵	
۲۸۹/۵	۱۱/۱۷	۳۹۸۳	میانگین	تاریخ محاسبه پارامترهای شده
۲۶/۸	۰/۷۵	۱۳۸۹/۶	انحراف معیار	
۹/۳	۶/۷	۳۴/۸۸	شاخص تغییرات	

حال با استفاده از داده‌های جدول (۵-۱) شاخص بده و ارتباط هدایت الکتریکی با بده در چشمه تلوکسان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف: تعیین شاخص بده چشمه تلوکسان

شاخص بده یک چشمه بیانگر چگونگی تخلیه آب زیرزمینی از سفره تغذیه کننده آن چشمه می‌باشد. این شاخص همچنین تابعی از تخلخل مؤثر و قابلیت ذخیره‌سازی سفره است. جهت تعیین این شاخص منحنی فرود چشمه‌ها ترسیم می‌گردد. این منحنی در واقع شاخه نزولی هیدروگراف چشمه‌ها می‌باشد که دبی با مقیاس لگاریتمی (محور عمودی) در مقابل زمان با مقیاس عددی (محور افقی) ترسیم می‌گردد.

برای برآورد شاخص بده در چشمه تلوکسان همانند سایر چشمه‌ها در منطقه کارستی شاهو از فرمول زیر استفاده شده است:

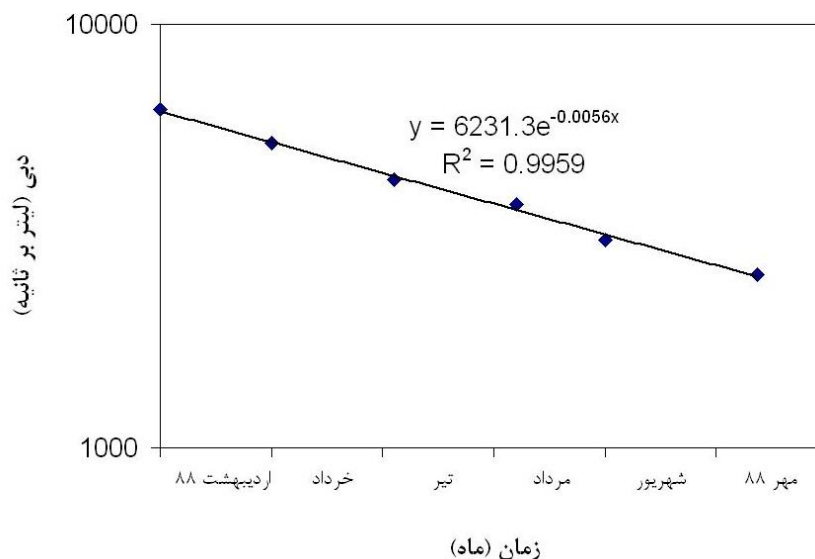
$$\alpha = \frac{\text{Log}Q_0 - \text{Log}Q_t}{0.4343(t - t_0)} \quad \text{معادله (۱-۵)}$$

در معادله بالا α ، شاخص آبدهی، Q_0 دبی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه در زمان t_0 و Q_t دبی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه در زمان t می‌باشد.

در سفره‌های کارستی توسعه یافته، منحنی فرود چشمه عمدتاً از سه شاخص آبدهی که نمایانگر سه نوع رژیم آبدهی متفاوت می‌باشد، تشکیل می‌شود. در رژیم اول تخلیه آب زیرزمینی از طریق غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد، در این حالت شیب خط بیشتر از سایر حالات تخلیه بوده و جریان غالب آب زیرزمینی در این حالت از نوع جریان متلاطم می‌باشد و حجم زیادی از آب در زمان کوتاهی تخلیه می‌گردد. در حالت دوم، تأمین آب از طریق شکاف‌های ریزتر مرتبط با هم که کمتر توسعه پیدا کرده‌اند صورت می‌گیرد. رژیم جریانی سوم که دارای شیب کمتری نسبت به دو حالت قبل می‌باشد، بیانگر تخلیه آب از شکستگی‌های بسیار ریز و یا ماتریکس سنگ می‌باشد (Milanovic 1988).

به منظور پی بردن به چگونگی تخلیه آب زیرزمینی در چشمه تلوکسان منحنی فرود آن با استفاده از داده‌های جدول (۱-۵) ترسیم شده است (شکل ۵-۲). با توجه به شکل مذکور مشاهده می‌گردد که بر خلاف مناطق کارستی توسعه یافته، که معمولاً منحنی فرود آن‌ها دو یا سه شیب را نشان می‌دهند، منحنی فرود چشمه تلوکسان فقط دارای یک خط با شیب ($\alpha_1 = 0.006$) می‌باشد. با عنایت به شاخص تغییرات مربوط به پارامترهایی مانند هدایت الکتریکی و دیگر یون‌های موجود در جدول (۵-۲) که مقادیر بالایی را از خود نشان می‌دهند و با توجه به وجود تعداد بسیار زیاد فروچاله‌ها، دره‌های خشک، و دیگر عارضه‌های سطحی کارست در نواحی مرتفع حوضه آبرگیر چشمه (قربانی ۱۳۸۲)، مجرای بودن سیستم این چشمه قطعی می‌باشد. دلیل یکنواخت بودن منحنی فرود چشمه تلوکسان به شکل و ابعاد حوضه

آبگیر مربوط می‌شود که این چشمه دارای حوضه آبرگیر وسیع و کشیده‌ای می‌باشد، به این ترتیب که پس از هر بارش ابتدا مقدار زیادی از بارش صورت گرفته از طریق مجاری و کانال‌های بزرگ تخلیه می‌گردند ولی قبل از پایان گرفتن این مرحله از تخلیه، آب‌های نواحی دورتر به محل خروجی رسیده و مانع از افت بیشتر دبی چشمه می‌شوند، بنابراین شیب منحنی فرود تغییر زیادی را از خود نشان نمی‌دهد.

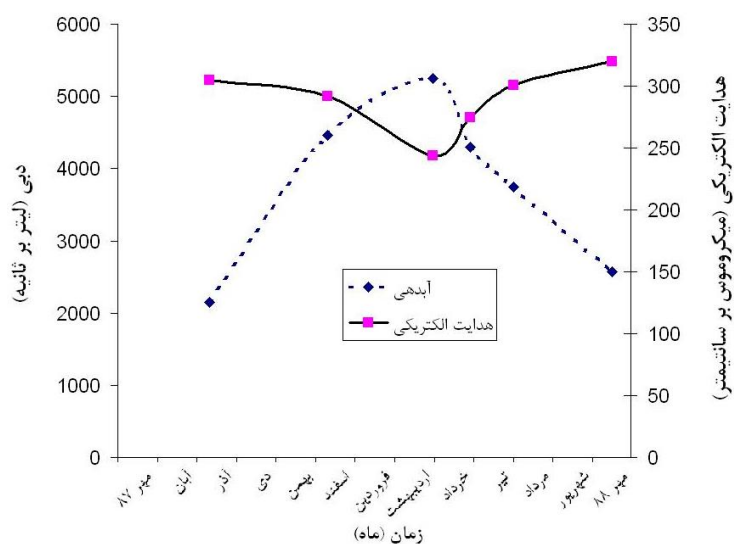


شکل ۵-۲- منحنی فرود چشمه تلوکسان در سال ۱۳۸۸

ب: تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه تلوکسان

هدایت الکتریکی آب و روند تغییرات آن همواره نشان دهنده زمان ماندگاری آب در سفره آب زیرزمینی و جنس آبخوان می‌باشد. به دلیل افزایش زمان تماس آب با مواد آبخوان، با افزایش زمان ماندگاری آب درون آبخوان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. به دلیل متفاوت بودن سرعت جریان در رژیم‌های مختلف آبدهی، زمان ماندگاری آب در حالت‌های گوناگون با یکدیگر تفاوت دارد. بنابراین، یکی از پارامترهایی که بر روی تغییرات هدایت الکتریکی آب چشمه تأثیر قابل توجهی دارد، دبی چشمه می‌باشد.

شکل (۳-۵) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه تلوکسان را در سال آبی ۸۸-۸۷ نشان می‌دهد. همان طور که از شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود تغییرات هدایت الکتریکی با تغییرات دبی جریان رابطه کاملاً معکوسی را نشان می‌دهد. علت این رابطه این است که در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه افزایش می‌یابد، در واقع سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب زیرزمینی می‌شود. این عمل سبب کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر بر عکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب چشمه افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳-۵- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و دبی چشمه تلوکسان

همان گونه که از شکل پیداست تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی در چشمه تلوکسان بسیار شدید می‌باشد که ناشی از سرعت‌های مختلف آب در چشمه تلوکسان می‌باشد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی چشمه در نمونه سوم بسیار شدیدتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد که این امر می‌تواند به دلیل بارندگی‌های مکرر در فصل بهار و به خصوص در اردیبهشت و خرداد ماه باشد

که باعث ورود حجم قابل توجهی از آب به سفره کارستی مورد نظر شده و این امر باعث افزایش دبی چشمه شده است. از آنجا که آب‌های ورودی دارای املاح کمتری در مقایسه با آب‌های موجود در سفره می‌باشند، سبب رقیق‌سازی و در نتیجه کاهش چشم‌گیر میزان هدایت الکتریکی آب چشمه شده است. سپس با گذشت زمان، به دلیل کاهش قابل توجه آب‌های ورودی به سیستم کارست، سطح آب در سفره کارستی پایین افتاده و دبی چشمه به تدریج کاهش یافته است، در چنین شرایطی به دلیل افزایش ماندگاری آب در سفره و همچنین حذف تدریجی اثر آب‌های ورودی به سفره کارستی، هدایت الکتریکی چشمه به آرامی افزایش یافته است.

۵-۲-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها

قبلاً اشاره گردید که از آب چشمه‌های منطقه شاهرود تعداد شش نمونه برداشت شده و جهت انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافتند. در جدول (۵-۲) نتایج تجزیه شیمیایی آب چشمه تلوکسان نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات برای تمامی یون‌ها نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مقادیر شاخص تغییرات برای تمامی یون‌ها به طور قابل توجهی بالا بوده که در این میان بیشترین شاخص تغییرات مربوط به یون‌های پتاسیم، کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد. همچنین درصد خطای آزمایش برای تمامی نمونه‌های برداشت شده محاسبه گردیده و در جدول (۵-۳) نشان داده شده است. مقادیر خطای آزمایش محاسبه شده در این جدول همگی کمتر از ۵ درصد بوده که بیانگر دقت کافی در آزمایش‌های مربوطه می‌باشد. با استفاده از داده‌های جدول (۵-۲)، نمودار تغییرات غلظت یون‌ها در مقابل زمان ترسیم گردیده و در شکل (۵-۴) نشان داده شده است. با دقت در نمودارهای ترسیمی، متوجه می‌شویم که نمودار تغییرات یون‌ها و به خصوص یون‌های اصلی انطباق خوبی را با تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهند.

جدول ۵-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

غلظت یون‌ها (epm)								تاریخ نمونه‌برداری
SO_4^{-2}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	
۰/۲۲۹	۰/۰۸۳	۳/۱	۰/۰۸۷	۰/۰۱۷	۰/۱۱	۰/۸	۲/۷	۱۳۸۷/۹/۱۴
۰/۲۲	۰/۰۸۹	۳	۰/۰۸۱	۰/۰۱۸	۰/۱	۰/۷۶	۲/۵	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
۰/۱۸۷	۰/۰۹۳	۲/۵	۰/۰۶۷	۰/۰۱۳	۰/۰۹	۰/۶۹	۲/۱	۱۳۸۸/۳/۱۵
۰/۲۰۸	۰/۰۸۹	۲/۹	۰/۰۷۶	۰/۰۱۳	۰/۱	۰/۷۳	۲/۴	۱۳۸۸/۴/۱۸
۰/۲۲۵	۰/۰۷۷	۳/۱	۰/۰۸۵	۰/۰۱۵	۰/۱۱	۰/۷۹	۲/۶	۱۳۸۸/۵/۲۰
۰/۲۳۷	۰/۰۸	۳/۲	۰/۰۹	۰/۰۱۸	۰/۱۲	۰/۸۵	۲/۸	۱۳۸۸/۷/۲۵
۰/۲۱۷	۰/۰۸	۲/۹۶	۰/۰۸۱	۰/۰۱۵	۰/۱۰۵	۰/۷۷	۲/۵	میانگین
۰/۰۱۸	۰/۰۰۶۱	۰/۲۵	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱	۰/۰۵۶	۰/۲۳	انحراف معیار
۵/۴	۷	۸/۵	۳/۱	۱۵/۹	۱۱/۲	۷/۲	۹/۱	شاخص تغییرات

پارامترهای آماری
محاسبه شده

همچنین روند تغییرات این یون‌ها همانند هدایت الکتریکی با دبی رابطه معکوس را نشان می‌دهند که علت آن در بخش قبلی بیان گردید.

جدول ۵-۳- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

تاریخ نمونه‌برداری	۱۳۸۷/۹/۱۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۰	۱۳۸۸/۳/۱۵	۱۳۸۸/۴/۱۸	۱۳۸۸/۵/۲۰	۱۳۸۸/۷/۲۵
درصد خطای آزمایش	۳/۳	۰/۷۲	۲/۸	۰/۴۷	۱/۱۸	۴/۸

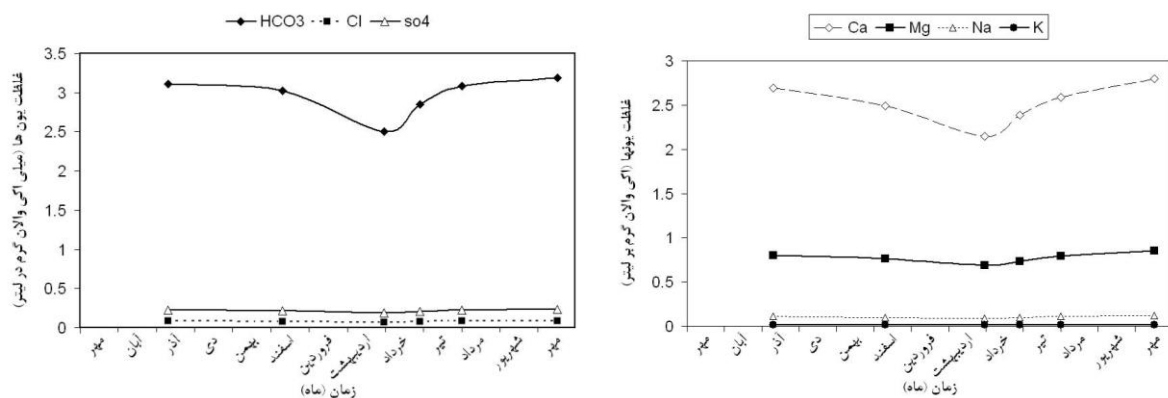
با دقت در شکل (۴-۵) پیداست که همانند هدایت الکتریکی و بده، تغییرات غلظت یون‌ها در آب چشمه تلوکسان بالا می‌باشد. با توجه به شکل مذکور تغییرات غلظت یون‌ها در نمونه سوم بیشتر از سایر نمونه‌ها

می‌باشد که علت این امر را می‌توان به بارندگی‌های مکرر فصل بهار و به خصوص اردیبهشت و خرداد ماه مربوط دانست که دبی چشمه به واسطه حجم عظیم آب ورودی افزایش می‌یابد. حال با در نظر گرفتن این نکته که آب بارندگی در مقایسه با آب‌های موجود در سفره از املاح به مراتب کمتری برخوردار هستند، سبب رقیق‌سازی و کاهش غلظت یون‌ها در آب خروجی از چشمه‌ها می‌شود. پس از پایان دوره بارندگی به دلیل کاهش آب‌های ورودی به سفره، دبی کاهش یافته، سرعت آب کم شده و به دلیل افزایش زمان ماندگاری آب در سفره زمان بیشتری برای انحلال مواد آبخوان فراهم می‌باشد که به طبع آن غلظت یون‌ها نیز به تدریج افزایش می‌یابد.

۵-۲-۳- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی و سایر پارامترهای محاسبه شده

یکی از پارامترهای دیگری که در تعیین نوع جریان در آبخوان‌های کارستی حائز اهمیت می‌باشد، مقادیر ضرایب اشباع ضرایب اشباع و تغییرات زمانی آن‌ها می‌باشد. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل بهتر داده‌های بدست آمده، پارامترهایی مانند نسبت (Ca/Mg) ، کل مواد جامد محلول (TDS) ، سختی کل $(Total\ Hardness)$ ، درصد سدیم $(\%Na)$ ، در صد جذب سدیم (SAR) و قلیائیت $(Alkalinity)$ برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده و در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

با استفاده از نرم افزار PHREEQC ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت (SI_c) ، دولومیت (SI_d) و ژیپس (SI_g) برای تمامی نمونه‌ها و نیز برخی ویژگی آماریشان شامل، میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات محاسبه گردیده و در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ)

با استفاده از این داده‌های جدول (۴-۵) نمودار تغییرات ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس برای نمونه‌های مختلف ترسیم شده است (شکل ۵-۵). با ملاحظه داده‌های مربوط به اشباع شدگی کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس، (جدول ۴-۵) و نیز شکل (۵-۵) متوجه می‌شویم که مقدار شاخص اشباع برای تمامی نمونه‌های برداشت شده منفی می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که آب چشمه‌های مورد نظر در تمامی نمونه‌های برداشت شده نسبت به این کانی‌ها زیر اشباع می‌باشد. علاوه بر این با مشاهده داده‌های جدول ملاحظه می‌شود که مقدار اشباع شدگی برای کانی کلسیت از همه کمتر و در واقع به حالت اشباع نزدیکتر است ولی شاخص اشباع برای دولومیت منفی‌تر بوده که نشان دهنده زیر اشباع‌تر بودن آب چشمه‌ها برای این کانی می‌باشد. همچنین مقدار شاخص اشباع برای کانی ژپس بسیار کمتر از کانی‌های کلسیت و دولومیت بوده و نشان می‌دهد که آب چشمه‌ها نسبت به این کانی زیر اشباع‌تر می‌باشد.

با مشاهده شکل ملاحظه می‌شود که تغییرات شاخص اشباع برای کلسیت و دولومیت در طول مدت نمونه‌برداری بسیار شدید بوده ولی تغییرات این پارامتر برای ژپس چندان قابل توجه نمی‌باشد. با دقت در نمودار تغییرات غلظت یون‌ها (شکل ۴-۵) و نیز تغییرات هدایت الکتریکی (شکل ۳-۵)، ملاحظه می‌گردد

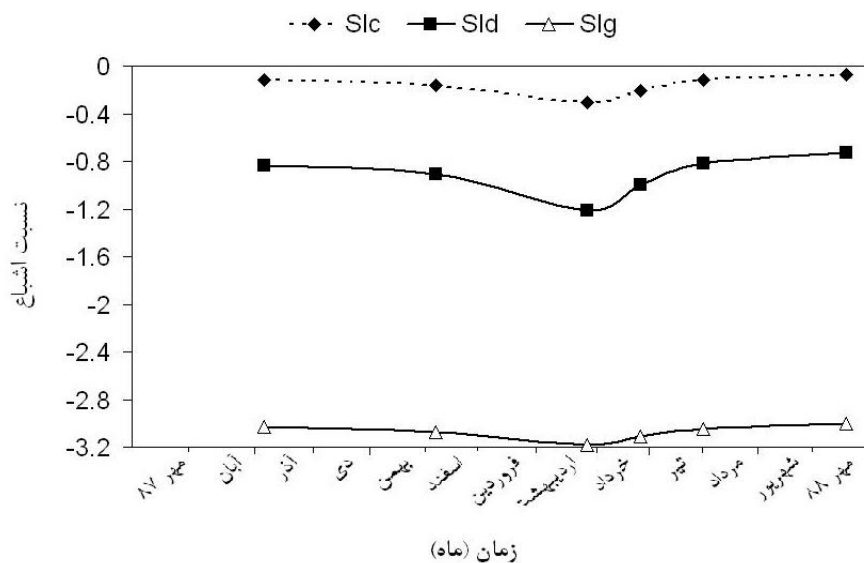
که روند تغییرات ضرایب اشباع به خوبی از روند تغییرات هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها تبعیت می‌نماید، که این امر نیز به زمان اقامت آب در سفره و سرعت حرکت آب درون سیستم کارست ارتباط دارد، علت این رابطه این است که در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه افزایش می‌یابد، در واقع سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب زیرزمینی می‌شود. این عمل سبب کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه شاخص اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژئپس نیز کاهش می‌یابد. این حالت برای نمونه سوم که دارای بیشترین مقدار دبی است به خوبی قابل مشاهده است، به این ترتیب که در این نمونه، شاخص اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژئپس کمترین مقدار را شامل می‌شود. سپس با گذشت زمان، به دلیل کاهش قابل توجه آب‌های ورودی به سیستم کارست، سطح آب در سفره کارستی پایین افتاده و دبی چشمه به تدریج کاهش یافته است، در چنین شرایطی به دلیل افزایش ماندگاری آب در سفره و همچنین حذف تدریجی اثر آب‌های ورودی به سفره کارستی، زمان بیشتری برای انحلال مواد آبخوان فراهم بوده و بنابراین بر مقدار شاخص اشباع شدگی نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژئپس افزوده می‌شود.

همچنین در جدول (۴-۵) مقادیر شاخص تغییرات برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژئپس نشان داده شده است که در این میان شاخص تغییرات کانی کلسیت برابر ۵۱/۵ بوده که بیشترین شاخص تغییرات در بین کانی‌های موجود می‌باشد، حال آنکه این مقدار برای کانی ژئپس برابر ۲/۱ بوده که کمتر از دیگر کانی‌ها می‌باشد.

یکی از شاخص‌های بسیار مناسب برای تشخیص سفره‌های کارستی آهکی و دولومیتی، نسبت یون‌های کلسیم به منیزیم (Ca/Mg) می‌باشد. در این حالت اگر این نسبت به ۱ نزدیک باشد، سفره دولومیتی و اگر مابین ۲ تا ۱۰ باشد، جنس آبخوان آهکی می‌باشد. با توجه به مقادیر بدست آمده برای نسبت کلسیم به منیزیم برای چشمه تلوکسان که در تمامی موارد بیش از ۳ می‌باشد، جنس این آبخوان آهکی می‌باشد.

جدول ۵-۴- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه‌های آب چشمه تلوکسان

پارامترهای محاسبه شده									تاریخ نمونه‌برداری
SI_g	SI_d	SI_c	A (mg/l)	SAR	%Na	Ca/ Mg	TH (mg/l)	TDS (mg/L)	
-۳/۰۳	-۰/۸۴	-۰/۱۲	۱۹۰	۰/۰۸۵	۳/۶	۳/۳۴	۱۷۵/۳	۲۷۶/۴	۱۳۸۷/۹/۱۴
-۳/۰۷	-۰/۹۱	-۰/۱۶	۱۸۴	۰/۰۸۱	۳/۶	۳/۲۶	۱۶۳/۲	۲۶۵/۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
-۳/۱۸	-۱/۲۱	-۰/۳۱	۱۵۳	۰/۰۷۳	۳/۴	۳/۱	۱۴۲	۲۲۴/۱	۱۳۸۸/۳/۱۵
-۳/۱۱	-۱	-۰/۲۱	۱۷۴	۰/۰۷۷	۳/۳	۳/۵۴	۱۵۶/۶	۲۵۱/۹	۱۳۸۸/۴/۱۸
-۳/۰۵	-۰/۸۲	-۰/۱۲	۱۸۸	۰/۰۸۳	۳/۵	۳/۲۸	۱۶۹/۴	۲۷۱/۳	۱۳۸۸/۵/۲۰
-۳	-۰/۷۳	-۰/۰۷	۱۹۵	۰/۰۹	۳/۷	۳/۳	۱۸۲/۳	۲۸۴/۴	۱۳۸۸/۷/۲۵
-۳/۰۷	-۰/۹۲	-۰/۱۷	-	-	-	-	-	-	میانگین
۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۰۹	-	-	-	-	-	-	انحراف معیار
۲/۱	۱۸/۴	۵۱/۵	-	-	-	-	-	-	شاخص تغییرات



شکل ۵-۵- تغییرات زمانی ضرایب اشباع در چشمه تلوکسان

پارامتر دیگری که در جدول (۴-۵) ارائه شده است، کل مواد جامد محلول (TDS) در آب می‌باشد. کل مواد جامد محلول بیانگر مجموع مقادیر تمامی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی گرم در لیتر می‌باشد. با توجه به جدول (۴-۵)، کل مواد جامد محلول در طول دوره نمونه‌برداری از ۲۲۴/۱ میلی گرم در لیتر برای فصول تر تا ۲۸۴/۴ میلی گرم بر لیتر برای فصول خشک متغیر است که علت آن زمان ماندگاری آب در سفره می‌باشد. به این ترتیب که در طول فصول تر زمان ماندگاری آب در سفره کم بوده و مدت زمان کمتری برای واکنش بین آب و سنگ در آبخوان وجود داشته است و در نهایت کل مواد جامد محلول در آب کاهش یافته است ولی برای فصول خشک به دلیل زمان بیشتر ماندگاری آب در آبخوان فرصت بیشتری برای انحلال مواد آبخوان وجود دارد که این امر باعث افزایش مقدار کل مواد جامد محلول می‌شود.

پارامتر بعدی نشان داده شده در جدول (۴-۵)، سختی کل نمونه‌های آب برداشت شده می‌باشد. سختی کل به مقدار غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب وابسته است و بر حسب میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود. مقادیر سختی کل نمونه‌های آب چشمه تلوکسان از ۱۴۲ میلی گرم در لیتر برای فصول تر تا ۱۸۲ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم برای فصول خشک متغیر است. علت تغییرات سختی کل را در نمونه‌های آب چشمه تلوکسان، همانند علل تغییرات کل مواد جامد محلول بوده که در بالا بیان شده است.

تغییرات زمانی درصد سدیم و نسبت جذب سدیم از دیگر پارامترهای ارائه شده در جدول (۴-۵) می‌باشند. سدیم یکی از یون‌هایی است که به لحاظ کیفیت آب برای آبیاری بسیار حائز اهمیت است. برای بیان مقدار سدیم موجود در آب آبیاری از دو پارامتر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم استفاده می‌شود. مقادیر این دو پارامتر برای نمونه‌های آب چشمه تلوکسان محاسبه گردیده و در جدول (۴-۵) نشان داده شده است. قلیائیت دیگر پارامتر ارائه شده در جدول (۴-۵) می‌باشد که این پارامتر بیانگر توانایی آب برای

خنثی کردن اسید می‌باشد. مقدار این پارامتر از جمع کردن غلظت CO_3^{2-} و HCO_3^- برحسب میلی گرم بر لیتر بیان می‌شود. مقادیر قلیائیت از مقدار ۱۵۳ برای نمونه‌های فصول تر تا مقادیر ۱۹۵ میلی گرم بر لیتر برای نمونه‌های فصول خشک متغیر می‌باشد. علت این رفتار را می‌توان همانند علل تغییرات پارامترهایی مانند نسبت کلسیم به منیزیم و کل مواد جامد محلول عنوان کرد که در بالا بیان گردیده است.

۵-۳- چشمه قلوز

این چشمه با مساحت حوضه آبریز حدود ۴۷ کیلومتر مربع در فاصله ۶۰۰ متری از چشمه تلوکسان و در روستای دیوزناو واقع شده است (شکل ۵-۱). برای این چشمه نیز به منظور بررسی زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در سال آبی ۸۸-۸۷ تعداد شش نمونه برداشته شده است. به منظور مقایسه بین سیستم جریان و دیگر ویژگی‌های کمی و کیفی در این چشمه و چشمه تلوکسان، مطالب ذکر شده در خصوص چشمه تلوکسان در مورد این چشمه نیز ارائه می‌شود.

در مورد چشمه قلوز نیز همانند چشمه تلوکسان تعدادی از پارامترها در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده و تعدادی نیز در آزمایشگاه محاسبه گردیده‌اند. همانند چشمه تلوکسان، ابتدا پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و سپس پارامترهای محاسبه شده در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت نیز محاسبات دیگری روی ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت (SI_c)، دولومیت (SI_d) و ژپس (SI_g) و دیگر پارامترها انجام گرفته است که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۵-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

در مورد چشمه قلوز نیز یکسری از پارامترها در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است. این پارامترها به

همراه میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات آن‌ها در جدول (۵-۵) ارائه شده است.

قبلا عنوان گردید که شاخص تغییرات پارامترهایی مانند بده، درجه حرارت و هدایت الکتریکی از شاخص-ترین پارامترها در تعیین نوع جریان در آبخوان‌های کارستی محسوب می‌شوند. در جدول (۵-۵) مقادیر شاخص تغییرات این پارامترها به همراه میانگین و انحراف معیار ارائه شده است. با کمی تأمل در مقادیر شاخص تغییرات برای این سه پارامتر ملاحظه می‌شود که مقدار شاخص تغییرات برای آن‌ها به مقدار قابل توجهی بالا می‌باشد و در بین سه پارامتر مذکور بالاترین شاخص تغییرات مربوط به بده چشمه بوده که معادل ۵۴/۶ می‌باشد.

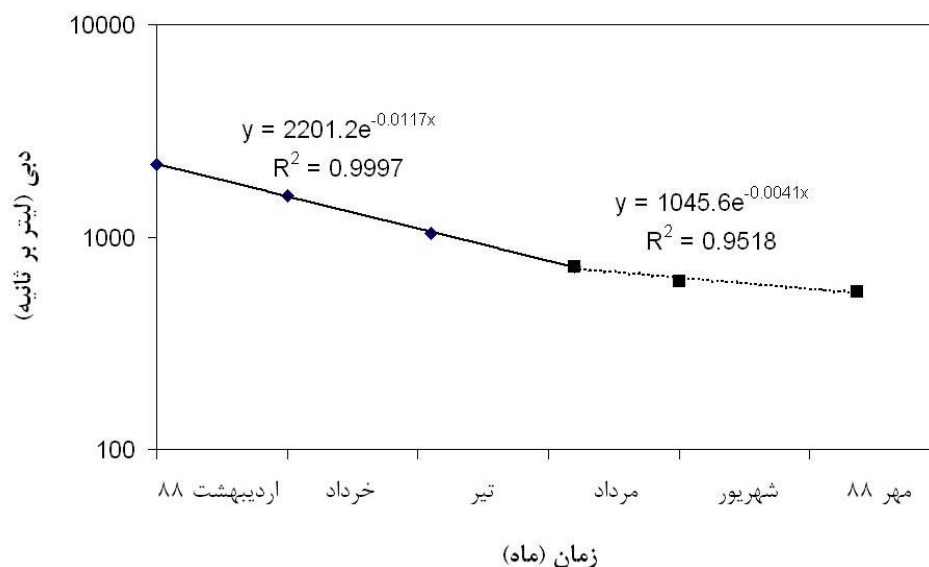
جدول ۵-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه قلوز

پارامتر			تاریخ نمونه‌برداری	
هدایت الکتریکی ($\mu\text{mohs} / \text{cm}$)	درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)	دبی (L / s)		
۲۵۵	۱۱	۶۰۳	۱۳۸۷/۹/۱۴	
۲۴۴	۱۰	۱۱۵۰	۱۳۸۷/۱۲/۲۰	
-	-	۲۲۰۰	۱۳۸۸/۲/۱۵	
۲۲۵	۹	۱۵۶۲	۱۳۸۸/۳/۱۵	
۲۳۸	۱۰/۵	۱۰۴۴	۱۳۸۸/۴/۱۸	
۲۴۹	۱۱	۷۲۳	۱۳۸۸/۵/۲۰	
-	-	۶۲۰	۱۳۸۸/۶/۲۳	
۲۶۶	۱۱	۵۵۰	۱۳۸۸/۷/۲۵	
۲۴۶/۲	۱۰/۴	۱۰۵۶	میانگین	محاسبه شده پارامترهای آماری
۱۴/۱	۰/۸	۵۷۷/۷	انحراف معیار	
۵/۶	۸	۵۴/۶	شاخص تغییرات	

در اینجا با استفاده از داده‌های جدول (۵-۵) به بررسی شاخص بده و ارتباط هدایت الکتریکی با بده در چشمه قلوز پرداخته می‌شود.

الف: تعیین شاخص بده چشمه قلوز

شکل (۵-۶)، منحنی فرود چشمه قلوز را نشان می‌دهد. همان گونه که از شکل دیده می‌شود، چشمه قلوز دارای دو شاخص آبدهی بوده و ضرایب آن به ترتیب برابر ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۴۶ می‌باشد. شاخص بده بزرگتر بیانگر تخلیه مجاری بزرگ در فصول تر بوده و شاخص کوچکتر بیانگر تخلیه آب از مجاری و درز و شکستگی‌های کوچکتر می‌باشد. در حقیقت چنین رفتاری در سفره‌های کارستی توسعه یافته کاملاً قابل انتظار است. در نمودار فرود چشمه قلوز، شاخص α_3 که بیانگر تخلیه آب زیرزمینی از شکستگی‌های بسیار ریز و یا ماتریکس سنگ می‌باشد، دیده نشده است.



شکل ۵-۶- نمودار فرود چشمه قلوز

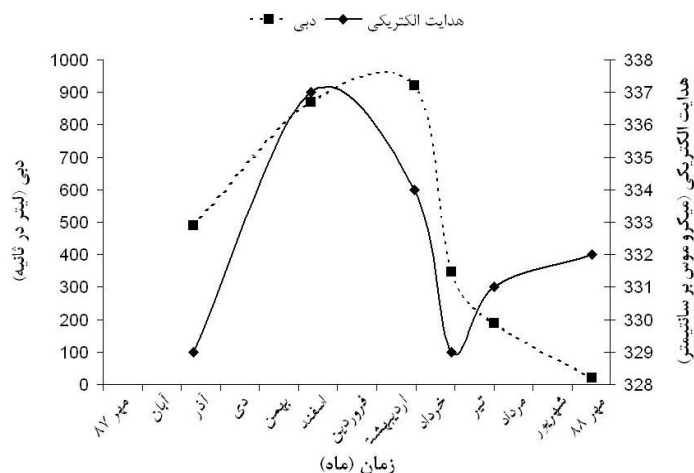
ب: تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه قلوز

با استفاده از داده‌های جدول (۵-۵) نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه قلوز ترسیم شده است (شکل ۵-۷). با کمی تأمل در نمودار ترسیم شده ملاحظه می‌شود که همانند چشمه تلوکسان،

تغییرات دو پارامتر موجود بر روی محور عمودی بسیار شدید می‌باشد. همچنین دو پارامتر دبی و هدایت الکتریکی کاملاً با یکدیگر رابطه معکوس دارند که این امر منطقی می‌باشد زیرا با افزایش سرعت آب زیرزمینی زمان ماندگاری آب درون آبخوان کم می‌شود و در پی آن زمان کمتری برای انحلال مواد آبخوان مهیا بوده و هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد.

با عنایت به شکل (۵-۷) همچنین ملاحظه می‌شود که تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی در چشمه قلوز بسیار شدید می‌باشد. علاوه براین ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه قلوز، همانند چشمه تلوکسان در نمونه سوم بسیار شدیدتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد که ناشی از سرعت‌های مختلف آب در چشمه قلوز می‌باشد. که این امر می‌تواند به دلیل بارندگی‌های مکرر در فصل بهار و به خصوص در اردیبهشت و خرداد ماه باشد که در اثر تغذیه بیشتر آبخوان، سبب افزایش دبی شده است. از آنجا که مقادیر املاح موجود در آب باران به مراتب کمتر از آب سفره است، سبب کاهش چشمگیر هدایت الکتریکی می‌گردد. سپس با گذشت زمان، با کاهش قابل توجه آب‌های ورودی به سیستم کارست، دبی چشمه کم شده و سرعت جریان آب در سفره کاهش می‌یابد، در چنین شرایطی به دلیل افزایش ماندگاری آب در سفره و انحلال بیشتر مواد آبخوان، هدایت الکتریکی چشمه به آرامی افزایش می‌یابد.

با دقت در مقادیر ضرایب تغییرات دبی و هدایت الکتریکی (جدول ۵-۵) متوجه می‌شویم که مقدار این تغییرات برای هدایت الکتریکی و بده به ترتیب برابر $54/6$ و $5/6$ درصد می‌باشد که مقادیر بالایی محسوب می‌گردند. همچنین باید عنوان نمود که میزان تغییرات هدایت الکتریکی چشمه قلوز نسبت به چشمه تلوکسان از مقدار کمتری برخوردار است که میزان کمتر تغییرات غلظت یون‌ها در چشمه قلوز نسبت به چشمه تلوکسان گواهی بر این ادعا می‌باشد.



شکل ۵-۷- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی برای چشمه قلوز

۵-۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها

در مورد چشمه قلوز نیز مانند دیگر چشمه‌های مطالعه شده تعداد شش نمونه از آب چشمه‌ها برداشت شده و جهت تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافته است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب چشمه قلوز در جدول (۵-۶) نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات برای تمامی یون‌ها نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر شاخص تغییرات برای تمامی یون‌ها به مقدار قابل توجهی بالا بوده که در این میان بیشترین شاخص تغییرات مربوط به یون‌های پتاسیم، نیتрат، سدیم و کلسیم می‌باشد. همچنین درصد خطای آزمایش برای تمامی نمونه‌های برداشت شده محاسبه گردیده و در جدول (۵-۷) نشان داده شده است. مقادیر خطای آزمایش محاسبه شده در جدول، همگی کمتر از ۵ درصد بوده که بیانگر دقت مورد نیاز در آزمایش‌های مربوطه می‌باشد.

با استفاده از داده‌های جدول (۵-۶) نمودار تغییرات غلظت یون‌ها در مقابل زمان برای چشمه قلوز ترسیم شده است (شکل ۵-۸). با مشاهده شکل (۵-۸) و نیز مقادیر شاخص تغییرات مربوط به این یون‌ها (جدول

۵-۶) ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات غلظت یون‌ها در مقابل زمان زیاد بوده ولی نرخ تغییرات آن کمتر از تغییرات این یون‌ها برای چشمه تلوکسان می‌باشد که داده‌های جدول (۵-۲ و ۵-۶) و همچنین شکل‌های (۵-۴ و ۵-۸) این گفته را تأیید می‌نماید. علاوه بر این با دقت در نمودارهای ترسیمی، متوجه می‌شویم که نمودار تغییرات یون‌ها و به خصوص یون‌های اصلی انطباق خوبی را با تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. همچنین روند تغییرات این یون‌ها همانند هدایت الکتریکی با دبی رابطه معکوس را نشان می‌دهند. علت این رابطه را می‌توان اینگونه بیان نمود که افزایش دبی خروجی از چشمه سبب افزایش سرعت حرکت آب درون آبخوان می‌شود که باعث کاهش انحلال مواد آبخوان گشته و در نتیجه میزان غلظت یون‌ها کاهش می‌یابد. هنگامی که دبی جریان خروجی از چشمه افزایش می‌یابد، موارد فوق برعکس بوده و باعث افزایش غلظت یون‌های موجود در آب می‌شود.

با دقت در شکل (۵-۸) ملاحظه می‌شود که همانند هدایت الکتریکی و بده، تغییرات غلظت یون‌ها در آب چشمه قلوز بالا می‌باشد. علاوه براین، تغییرات غلظت تمامی یون‌های مربوط به نمونه سوم بسیار شدیدتر از دیگر نمونه‌ها می‌باشد. این امر به افزایش آب‌های ورودی به سفره در اثر بارندگی‌های فصل بهار مربوط می‌شود که سبب افزایش دبی و به واسطه آن افزایش سرعت حرکت آب درون سفره می‌شود. در این شرایط آب فرصت کافی را برای انحلال مواد آبخوان نداشته و به موجب آن میزان غلظت املاح به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. در حالت کاهش دبی بر اثر کاهش آب‌های تغذیه کننده سفره پس از بارندگی‌های فصل بهار، به دلیل کاهش سرعت حرکت آب درون آبخوان زمان ماندگاری آب در آبخوان افزایش یافته و به واسطه آن انحلال نیز افزایش می‌یابد. در این شرایط غلظت یون‌های آب چشمه به تدریج افزایش می‌یابد.

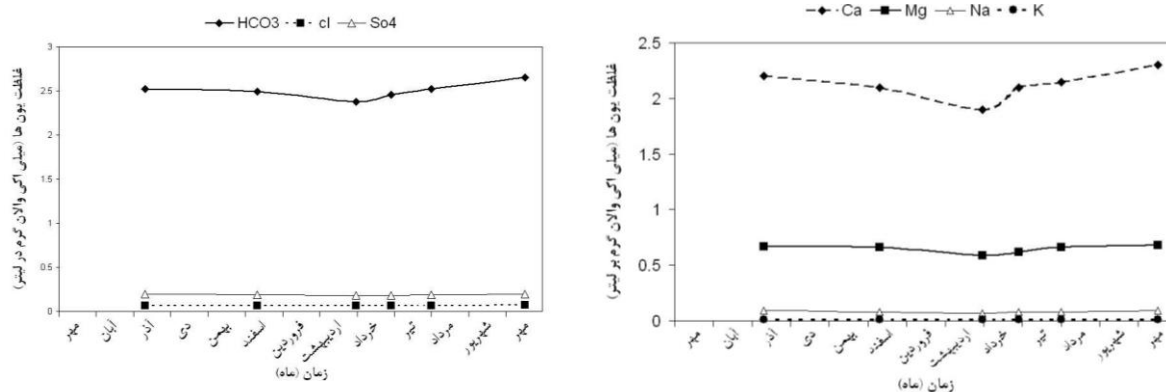
جدول ۵-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای چشمه قلوز

غلظت یون‌ها (epm)								تاریخ نمونه‌برداری
SO_4^{-2}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	
۰/۱۹۴	۰/۰۶۱	۲/۵۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۳	۰/۰۹	۰/۶۷	۲/۲	۱۳۸۷/۹/۱۴
۰/۱۸۹	۰/۰۷۲	۲/۴۹	۰/۰۶۵	۰/۰۱۱	۰/۰۸	۰/۶۶	۲/۱	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
۰/۱۷۹	۰/۰۸	۲/۳۸	۰/۰۶۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۵۹	۱/۹	۱۳۸۸/۳/۱۵
۰/۱۸۳	۰/۰۶۹	۲/۴۶	۰/۰۶۵	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۶۲	۲/۱	۱۳۸۸/۴/۱۸
۰/۱۹۱	۰/۰۶۴	۲/۵۲	۰/۰۶۵	۰/۰۱۳	۰/۰۸	۰/۶۶	۲/۱۵	۱۳۸۸/۵/۲۰
۰/۱۹۵	۰/۰۶۴	۲/۶۵	۰/۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۹	۰/۶۸	۲/۳	۱۳۸۸/۷/۲۵
۰/۰۱۸۸۵	۰/۰۶۸۳	۲/۵	۰/۰۶۵۶	۰/۰۱۱۶	۰/۰۸۱۶	۰/۶۴۶	۲/۱۲	میانگین
۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۶۹	۰/۸۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۳۴	۰/۱۳۳	انحراف معیار
۳/۷	۴/۴	۸/۵	۱۰/۲	۷/۴	۱۱/۲	۵/۳	۶/۳	شاخص تغییرات

پارامترهای آماری محاسبه

جدول ۵-۷- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای چشمه قلوز

تاریخ نمونه- برداری	۱۳۸۷/۹/۱۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۰	۱۳۸۸/۳/۱۵	۱۳۸۸/۴/۱۸	۱۳۸۸/۵/۲۰	۱۳۸۸/۷/۲۵
درصد خطای آزمایش	۴	۱/۰۷	۴/۷۴	۰/۹۴	۱/۹	۳/۲



شکل ۸-۵- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ)

۳-۳-۵- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی و سایر پارامترهای محاسبه شده

با استفاده از نرم افزار PHREEQC ضرایب اشباع برای کلسیت (SI_c)، دولومیت (SI_d) و ژیپس (SI_g) برای تمامی نمونه‌ها و نیز برخی ویژگی آماریشان شامل، میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات محاسبه گردیده و در جدول (۸-۵) نشان داده شده است. در مورد چشمه قلوز نیز همانند چشمه تلوکسان، به منظور تجزیه و تحلیل بهتر داده‌های بدست آمده، پارامترهایی مانند نسبت (Ca/Mg)، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل ($Total\ Hardness$)، درصد سدیم ($\%Na$)، در صد جذب سدیم (SAR) و قلیائیت (A) برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده و در جدول (۸-۵) ارائه شده است.

با استفاده از داده‌های جدول (۸-۵)، نمودار تغییرات شاخص اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای نمونه‌های مختلف ترسیم شده است (شکل ۹-۵). با توجه به داده‌های مربوط به اشباع شدگی کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس، (جدول ۸-۵) و نیز شکل (۹-۵) متوجه می‌شویم که همانند چشمه تلوکسان، مقدار شاخص اشباع برای تمامی نمونه‌های برداشت شده منفی می‌باشد که این امر نشان دهنده زیر اشباع بودن آب چشمه برای کانی‌های مربوطه می‌باشد. همچنین با توجه به داده‌های جدول، ملاحظه می‌شود که مقدار اشباع شدگی برای کانی کلسیت کمتر از دولومیت و ژیپس می‌باشد و آب چشمه برای

کلسیت به حالت اشباع نزدیکتر است، این در حالی است که شاخص اشباع برای دولومیت منفی تر از کلسیت می باشد و همچنین برای ژیپس از هر دو کمتر است که نشان دهنده زیر اشباع بودن آب چشمه قلوز برای این کانی نسبت به کلسیت و دولومیت می باشد.

جدول ۵-۸- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه های آب چشمه قلوز

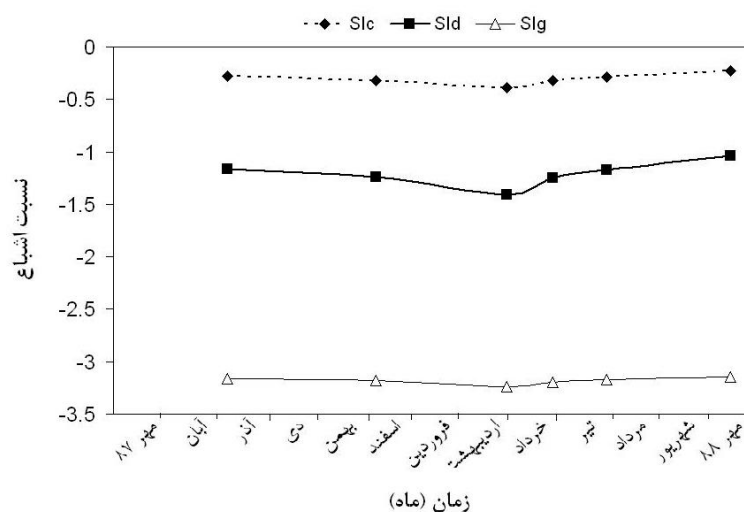
پارامترهای محاسبه شده									تاریخ نمونه برداری
SI_g	SI_d	SI_c	A (mg/l)	SAR	%Na	Ca/ Mg	TH (mg/l)	TDS (mg/L)	
-۳/۱۸	-۱/۱۶	-۰/۲۸	۱۵۴	۰/۰۷۳	۳/۳۷	۳/۳۴	۱۴۳/۳	۲۴۱/۱	۱۳۸۷/۹/۱۴
-۳/۱۸	-۱/۲۴	-۰/۳۲	۱۵۲	۰/۰۷	۳/۳	۳/۲۶	۱۳۷/۹	۲۲۰/۲	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
-۳/۲۴	-۱/۴۱	-۰/۳۹	۱۴۵	۰/۰۶۶	۳/۲۷	۳/۱	۱۲۴/۶	۲۰۸	۱۳۸۸/۳/۱۵
-۳/۲۰	-۱/۲۵	-۰/۳۲	۱۵۰	۰/۰۷	۳/۱۶	۳/۸۸	۱۳۵/۸	۲۱۷/۱	۱۳۸۸/۴/۱۸
-۳/۱۷	-۱/۱۷	-۰/۲۹	۱۵۴	۰/۰۶۹	۳/۲۹	۳/۲۸	۱۴۰/۴	۲۲۲/۹	۱۳۸۸/۵/۲۰
-۳/۱۵	-۱/۰۴	-۰/۲۳	۱۶۲	۰/۰۷۵	۳/۳۸	۳/۳۵	۱۴۹/۱	۲۳۴/۸	۱۳۸۸/۷/۲۵
-۳/۱۸	-۱/۲۱	-۰/۳	-	-	-	-	-	-	پارامترهای آماری محاسبه شده
۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۵۳	-	-	-	-	-	-	
۱	۱۰/۱	۱۷/۴	-	-	-	-	-	-	

با مشاهده شکل (۵-۹) ملاحظه می شود که تغییرات شاخص اشباع برای کلسیت و دولومیت در طول مدت نمونه برداری بسیار شدید بوده ولی تغییرات این پارامتر برای ژیپس چندان قابل توجه نمی باشد. همچنین با دقت در نمودار تغییرات غلظت یون ها (شکل ۵-۸) و نیز تغییرات هدایت الکتریکی (شکل ۵-۷)، متوجه

می‌شویم که روند تغییرات ضرایب اشباع به خوبی از روند تغییرات هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها تبعیت می‌نماید، در اینجا نیز این امر نیز به زمان اقامت آب در سفره و سرعت حرکت آب درون سیستم کارست ارتباط دارد، علت این رابطه این است که در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه افزایش می‌یابد، در واقع سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب زیرزمینی می‌گردد. با این عمل انحلال مواد تشکیل دهنده آبخوان کمتر می‌شود که در نتیجه این کاهش انحلال، شاخص اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس نیز کاهش می‌یابد. این حالت برای نمونه سوم که دبی دارای بیشترین مقدار و در نتیجه آن شاخص اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس دارای کمترین مقدار می‌باشد به خوبی مشاهده می‌شود. با گذشت زمان، به دلیل کاهش قابل توجه آب‌های ورودی به سیستم کارست، سطح آب در سفره کارستی پایین افتاده و دبی چشمه به تدریج کاهش می‌یابد، در چنین حالتی به دلیل افزایش ماندگاری آب در سفره و همچنین حذف تدریجی اثر آب‌های ورودی به سفره کارستی، زمان بیشتری برای انحلال مواد آبخوان فراهم بوده و بنابراین بر مقدار شاخص اشباع شدگی نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس افزوده می‌شود.

لازم به ذکر است که مقادیر شاخص تغییرات برای ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس نیز در جدول (۵-۸) ارائه شده است. با توجه به مقادیر شاخص تغییرات برای این کانی‌ها ملاحظه می‌شود که کانی کلسیت دارای بیشترین شاخص تغییرات برابر $17/4$ و کمترین مقدار برای کانی ژیپس می‌باشد که مقدار آن برابر یک می‌باشد. همچنین مقدار شاخص تغییرات کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای چشمه قلوز در تمامی موارد کمتر از نمونه‌های چشمه تلوکسان می‌باشد.

مقادیر به دست آمده برای نسبت کلسیم به منیزیم در چشمه قلوز همانند چشمه تلوکسان در تمامی موارد بیش از ۳ می‌باشد که آهکی بودن سنگ‌های تشکیل دهنده این آبخوان را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۹- تغییرات زمانی ضرایب اشباع چشمه قلوز

با توجه به جدول (۵-۸)، کل مواد جامد محلول در طول دوره نمونه‌برداری از ۲۰۸ میلی گرم در لیتر برای فصول تر تا ۲۴۱ میلی گرم بر لیتر برای فصول خشک متغیر است که می‌توان آن را به زمان اقامت آب در سفره کارستی مربوط دانست. در طول فصول تر، آب به دلیل ماندگاری کمتر درون آبخوان فرصت کمی برای انحلال مواد آبخوان داشته و در نتیجه کل مواد جامد محلول کاهش می‌یابد. در فصول خشک با افزایش زمان ماندگاری آب در آبخوان، زمان کافی برای انحلال مواد آبخوان وجود داشته و در نتیجه کل مواد جامد محلول افزایش می‌یابد.

سختی کل نمونه‌های آب برداشت شده از چشمه قلوز محاسبه و در جدول (۵-۸) نشان داده شده است. مقادیر سختی کل نمونه‌های آب چشمه قلوز از ۱۲۴/۶ تا ۱۴۹/۱ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم به ترتیب برای فصول تر و خشک متغیر است. علت تغییرات سختی کل نیز مانند علل بیان شده برای تغییرات نسبت یون‌های کلسیم به منیزیم و کل مواد جامد محلول می‌باشد که در بالا بیان گردید.

با توجه به داده‌های جدول، حداقل مقدار مربوط به درصد سدیم برای چشمه قلوز مربوط به نمونه چهارم و حداکثر مقدار آن نمونه ششم می‌باشد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۳/۱۶ و ۳/۳۸ درصد می‌باشد.

همچنین در مورد نسبت جذب سدیم حداقل مقدار مربوط به نمونه سوم بوده که دارای مقداری برابر ۰/۰۶۶ و حداکثر آن مربوط به نمونه ششم بوده که برابر ۰/۰۷۵ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم می باشد. مقادیر قلیائیت از مقدار ۱۴۵ برای نمونه های فصول تر تا مقادیر ۱۶۲ برای نمونه های فصول خشک متغیر می باشد. علت این رفتار را می توان همانند علل تغییرات پارامترهایی مانند نسبت کلسیم به منیزیم و کل مواد جامد محلول عنوان کرد که در بالا بیان گردیده است.

۴-۵- چشمه روانسر

چشمه روانسر با مساحت حوضه آبریز حدود ۶۱ کیلومتر مربع در شهر روانسر قرار گرفته است. تمامی آنالیزها و کارهای صورت گرفته برای چشمه های تلوکسان و قلوز در مورد چشمه روانسر نیز انجام گرفته است که در زیر به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرند.

۴-۵-۱- پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری

پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری چشمه روانسر به همراه میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات آن ها در جدول (۹-۵) ارائه شده است.

در جدول (۹-۵) مقادیر شاخص تغییرات پارامترهای دبی، درجه حرارت و هدایت الکتریکی به همراه میانگین و انحراف معیار آن ها ارائه شده است. با توجه در مقادیر شاخص تغییرات برای این سه پارامتر ملاحظه می شود که مقدار شاخص تغییرات برای دبی و درجه حرارت به ترتیب برابر ۱۲۲/۵ و ۱۰/۸ می باشد که مقادیر بسیار بالایی محسوب می گردند. این در حالی است که مقدار شاخص تغییرات برای هدایت الکتریکی برابر ۰/۹ بوده که عدد بسیار پایینی محسوب می گردد و حتی با توجه به داده های جدول، به

جرات می‌توان گفت که هدایت الکتریکی چشمه روانسر تقریباً در طول زمان ثابت است. میزان شاخص تغییرات بسیار پایین غلظت یون‌های چشمه روانسر مطالب فوق را تأیید می‌نماید (جدول ۵-۱۰). به عبارتی می‌توان گفت که رفتار هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این چشمه در نوع خود منحصر به فرد می‌باشد.

در ادامه، با استفاده از داده‌های جدول (۵-۹) به بررسی شاخص بده و ارتباط هدایت الکتریکی با بده در چشمه روانسر می‌پردازیم.

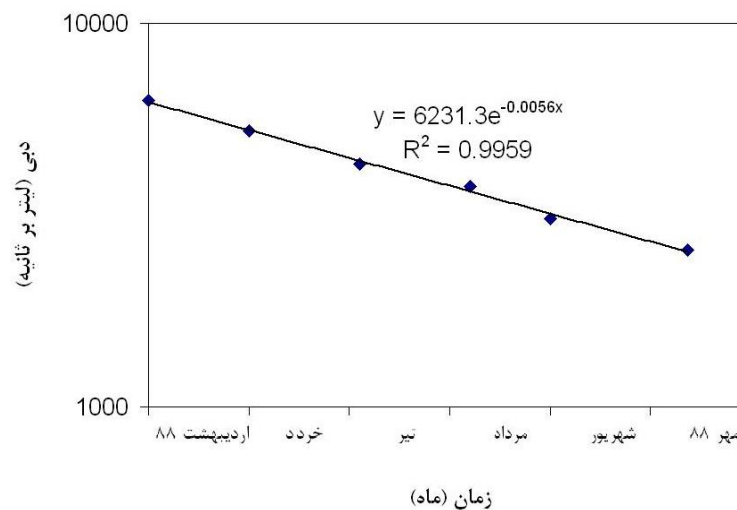
الف: تعیین شاخص بده چشمه روانسر

برای رسم منحنی فرود از داده‌های مربوط به شاخه نزولی هیدروگراف چشمه استفاده می‌گردد، بنابراین برای رسم این نمودار از داده‌های اردیبهشت تا مهر ماه استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات جدول (۵-۹) منحنی فرود چشمه روانسر ترسیم شده است (شکل ۵-۱۰). با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که بر خلاف مناطق کارستی توسعه یافته، که معمولاً منحنی فرود آن‌ها از دو یا سه شیب تشکیل شده‌اند، منحنی فرود چشمه روانسر نیز همانند چشمه تلوکسان از یک خط با شیب بسیار بالا برابر با ۰/۰۲۶ تشکیل شده است. با عنایت به وجود تعداد بسیار زیاد فروچاله‌ها، دره‌های خشک، و دیگر عارضه‌های سطحی کارست در نواحی مرتفع حوضه آبرگیر چشمه (قربانی ۱۳۸۲)، و نیز شاخص تغییرات بالای پارامترهایی مانند دبی و درجه حرارت، مجرای بودن سیستم این چشمه قطعی می‌باشد. در مورد این چشمه، با عنایت به شاخص تغییرات اندک هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها، به نظر می‌رسد که فرایند کارستی شدن حوضه آبرگیر این چشمه، عمدتاً در امتداد مسیرهای تکتونیکی عمده واقع شده است و در دیگر بخش‌ها کارست توسعه پیدا ننموده است. در شکل (۵-۱۱) مدل بیان شده برای مکانیسم تخلیه چشمه روانسر نشان داده شده است. با توجه به این مدل، آب‌های نفوذی از طریق چند کانال به مجرای

اصلی هدایت کننده آب در این آبخوان منتقل شده و این مجرا آب را سریعاً از طریق چشمه روانسر تخلیه می‌نماید و این امر باعث شده که شیب منحنی فرود بسیار بالا و نسبتاً یکنواخت باشد. توجه به تغییرات زیاد دبی چشمه روانسر در ماه‌های اردیبهشت و مهر ماه (شکل ۴-۹) و نیز قرارگیری یک راندگی بزرگ در طول مرز جنوب غربی حوضه آبرگیر این چشمه تأییدی بر مدل ارائه شده می‌باشد (شکل ۱-۲).

جدول ۵-۹- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری چشمه روانسر

پارامتر			تاریخ نمونه‌برداری	
هدایت الکتریکی ($\mu\text{mohs} / \text{cm}$)	درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)	دبی (L / s)		
۳۲۹	۱۳	۴۹۰	۱۳۸۷/۹/۱۵	
۳۳۷	۱۲	۸۷۰	۱۳۸۷/۱۲/۲۱	
-	-	۱۸۰۰	۱۳۸۸/۲/۱۵	
۳۳۴	۱۳	۹۲۰	۱۳۸۸/۳/۱۵	
۳۲۹	۱۴/۵	۳۴۷	۱۳۸۸/۴/۱۸	
۳۳۱	۱۵	۱۸۸	۱۳۸۸/۵/۲۰	
-	-	۹۱	۱۳۸۸/۶/۲۳	
۳۳۲	۱۶	۲۰	۱۳۸۸/۷/۲۵	
۳۳۲	۱۳/۹	۵۶۱	میانگین	محاسبه شده پارامترهای آماری
۳/۱	۱/۴۹	۶۸۷/۴	انحراف معیار	
۰/۹	۱۰/۸	۱۲۲/۵	شاخص تغییرات	



شکل ۵-۱۰- نمودار فرود چشمه روانسر

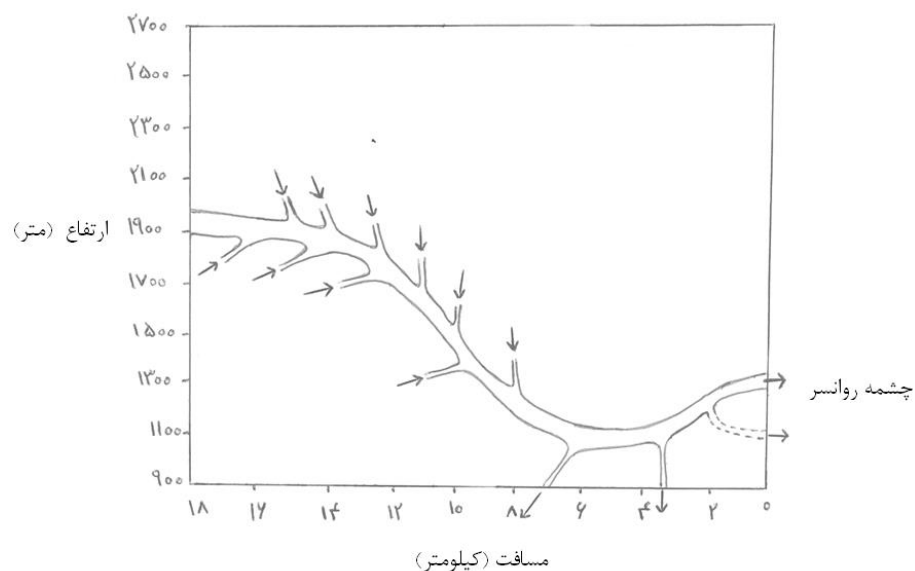
ب: تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه روانسر

با استفاده از داده‌های جدول (۵-۹) نمودار تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل بده برای چشمه روانسر ترسیم شده است (شکل ۵-۱۲). در نمودار مربوطه برای چشمه‌های قلوز و تلوکسان رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی مشاهده گردید که حالت عمومی و منطقی در آبخوان‌های کارستی قلمداد می‌گردد زیرا همان گونه که قبلاً بیان شد با افزایش سرعت جریان آب زیرزمینی و کاهش زمان ماندگاری آب درون آبخوان، فرصت کمتری برای انحلال مواد آبخوان فراهم می‌شود که در نتیجه میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد و همچنین میزان تغییرات این دو پارامتر برای دو چشمه مذکور بسیار شدید می‌باشد، حال آنکه در مورد چشمه روانسر با وجود اینکه تغییرات هدایت الکتریکی در این چشمه به طور غیر منتظره‌ای بسیار پایین بوده و حتی می‌توان گفت که قابل صرف نظر کردن می‌باشد، ولی با دقت در شکل (۵-۱۲) رابطه نسبتاً پیچیده‌ای بین تغییرات دبی و هدایت الکتریکی مشاهده می‌گردد که در اینجا به تفسیر رفتار غیر عادی چشمه روانسر می‌پردازیم.

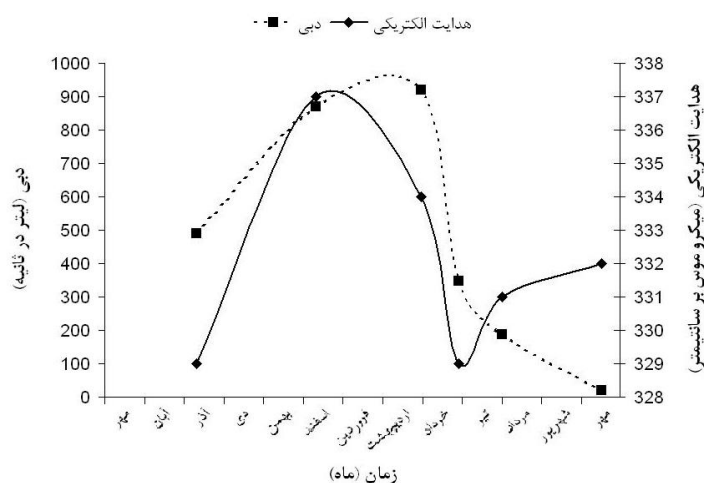
با توجه به شکل مذکور، در نمونه اول به دوم با افزایش دبی بر میزان هدایت الکتریکی نیز افزوده می‌گردد

که در حالت طبیعی این امر اتفاق نمی‌افتد زیرا با افزایش دبی ناشی از افزایش سرعت جریان آب درون آبخوان زمان اقامت آب درون آبخوان کاهش می‌یابد و آب فرصت کمتری را برای انحلال مواد داشته، بنابراین در این شرایط بایستی از مقدار هدایت الکتریکی کاسته گردد. در مورد نمونه‌های دوم به سوم رابطه بین دبی و هدایت الکتریکی به صورت معکوس می‌باشد و هدایت الکتریکی با افزایش دبی کاهش می‌یابد، که حالت طبیعی و رایج در مورد آبخوان‌های کارستی محسوب می‌گردد. کاهش هدایت الکتریکی در نمونه‌های سوم به چهارم نیز مشاهده می‌گردد هرچند در این مورد رابطه بین دبی و هدایت الکتریکی به صورت مستقیم می‌باشد. همچنین در مورد نمونه‌های پنجم و ششم نیز رابطه بین دبی و هدایت الکتریکی به صورت معکوس می‌باشد. برای توجیه رفتار هیدرولیکی نسبتاً پیچیده چشمه روانسر باید بیان نمود که سیستم این چشمه شباهت بسیار زیادی به سیستم کارست‌های سیفونی دارد، در این شرایط مخزن زیرزمینی آب در اعماق به صورت تشتکی گود بوده که پایین‌تر از محل خروجی چشمه قرار گرفته و همیشه مقدار زیادی آب را با هدایت الکتریکی بالا در خود نگه می‌دارد (شکل ۵-۱۱). در شکل مذکور پیکان‌های به طرف بیرون، چشمه‌های کوچکتی را نشان می‌دهد که تخلیه حوضه را در مقیاس کمتر برعهده دارند. هنگامی که بارشی اتفاق می‌افتد، مقدار املاح موجود در آب باران به مراتب کمتر از آب ذخیره شده در آبخوان می‌باشد، بنابراین در حالت عادی باید از مقدار هدایت الکتریکی آب در محل خروجی کاسته گردد، ولی در این مورد، هنگامی که بارش اتفاق می‌افتد در ابتدا بر اثر اختلاط آب‌های از قبل موجود با هدایت الکتریکی بالا با آب باران یک آشفته‌گی به وجود آمده و بر مقدار هدایت الکتریکی افزوده می‌گردد (نمونه اول به دوم)، ولی به مرور و با گذشت زمان و بارندگی‌های بیشتر آب‌های حاصل از بارندگی غلبه یافته و از مقدار هدایت الکتریکی آب کاسته می‌شود (این حالت اکثراً در دبی‌های حداکثر درحوضه روی می‌دهد). این روند کاهش هدایت الکتریکی همچنان ادامه خواهد داشت تا اینکه پس از بارندگی‌های فصل بهار به علت افزایش زمان ماندگاری آب در سفره، به تدریج بر مقدار هدایت الکتریکی

افزوده می‌شود (نمونه‌های ۴ به ۵ و ۵ به ۶). ذکر این نکته قابل توجه است که روند تغییرات دبی تا حد زیادی وجود سیستم سیفونی را در چشمه روانسر تأیید می‌نماید زیرا همان‌گونه که در جدول (۵-۹) مشاهده می‌گردد، مقدار تغییرات دبی در این چشمه بسیار بالا بوده و از حدود ۱۸۰۰ لیتر در ثانیه برای اردیبهشت ماه تا کمتر از ۲۰ لیتر بر ثانیه در مهر ماه کاهش می‌یابد و حتی در برخی سال‌ها کاملاً خشک می‌گردد.



شکل ۵-۱۱- مدل ارائه شده برای سازوکار چشمه روانسر



شکل ۵-۱۲- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل آبدهی چشمه روانسر

۵-۴-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل آن‌ها

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب چشمه روانسر در جدول (۵-۱۰) نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر میانگین، انحراف معیار و شاخص تغییرات برای تمامی یون‌ها محاسبه شده است. با مشاهده مقادیر شاخص تغییرات متوجه می‌شویم که مقادیر شاخص تغییرات تقریباً برای تمامی یون‌ها بسیار پایین می‌باشد که نمودار تغییرات غلظت یون‌ها در مقابل زمان (شکل ۵-۱۳) این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد. تنها در مورد یون پتاسیم مقدار شاخص تغییرات بالا بوده و برابر $22/6$ می‌باشد که علت آن مقادیر بسیار پایین این یون در آب چشمه می‌باشد (مقدار میانگین یون پتاسیم برابر $0/013$ و همچنین شاخص تغییرات آن برابر $0/029$ می‌باشد)، به گونه‌ای که با اندک خطایی در آزمایشات مربوطه و تغییر جزئی در مقدار پتاسیم، شاخص تغییرات آن نیز به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.

همچنین درصد خطای آزمایش برای تمامی نمونه‌های برداشت شده محاسبه گردیده و در جدول (۵-۱۱) نشان داده شده است. مقادیر خطای آزمایش محاسبه شده، به جز در دو مورد (نمونه‌های دوم و چهارم) که اندکی بالاتر از ۵ درصد بوده‌اند، دارای مقدار کمتر از این مقدار بوده که صحت آزمایش‌های انجام شده را نشان می‌دهد.

با استفاده از داده‌های جدول (۵-۱۰) نمودار تغییرات غلظت یون‌های مختلف در مقابل زمان ترسیم شده است (۵-۱۳). با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات غلظت یون‌ها در چشمه روانسر در مقایسه با چشمه‌های تلوکسان و قلوز بسیار کمتر می‌باشد و در واقع می‌توان گفت که تغییرات یون‌ها در این چشمه در طول زمان تقریباً ثابت می‌باشد. نمودار تغییرات غلظت یون‌ها و به خصوص یون‌های اصلی انطباق بسیار خوبی را با نمودار تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد (مقایسه شکل‌های ۵-۱۲ و ۵-۱۳). همچنین تغییرات غلظت یون‌ها همانند هدایت الکتریکی رفتار مشابهی را در دبی‌های مختلف از خود

نشان می‌دهد. در مورد تغییرات غلظت یون‌ها در چشمه روانسر و علل آن می‌توان سیستم سیفونی این چشمه را مطرح نمود که توضیحات آن در بخش قبل بیان گردیده است.

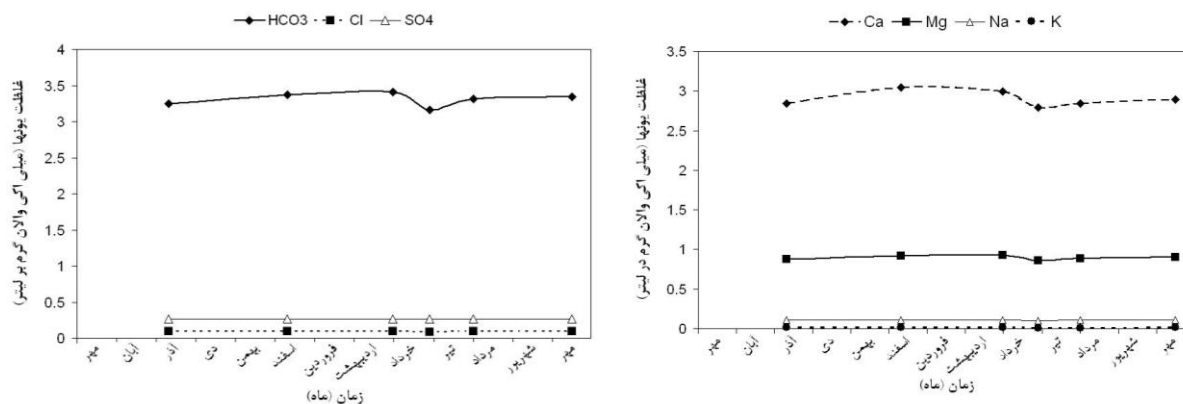
جدول ۵-۱۰- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای چشمه روانسر

غلظت یون‌ها (epm)								تاریخ نمونه‌برداری
SO_4^{-2}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	
۰/۲۶۶	۰/۰۸۴	۳/۲۴	۰/۰۹۳	۰/۰۱۳	۰/۱۰۹	۰/۸۸	۲/۸۴	۱۳۸۷/۹/۱۴
۰/۲۷۱	۰/۰۷۷	۳/۳۷	۰/۰۹۶	۰/۰۱۵	۰/۱۱۳	۰/۹۲	۳/۰۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
۰/۲۶۸	۰/۰۸	۳/۴۱	۰/۰۹۹	۰/۰۱۸	۰/۱۰۹	۰/۹۳	۲/۹۹	۱۳۸۸/۳/۱۵
۰/۲۶۲	۰/۰۷۲	۳/۱۶	۰/۰۸۷	۰/۰۱	۰/۱۰۴	۰/۸۶	۲/۷۹	۱۳۸۸/۴/۱۸
۰/۲۶۶	۰/۰۸۵	۳/۳۱	۰/۰۹۳	۰/۰۱	۰/۱۰۹	۰/۸۸	۲/۸۴	۱۳۸۸/۵/۲۰
۰/۲۶۶	۰/۰۷۶	۳/۴۳	۰/۰۹۶	۰/۰۱۳	۰/۱۱۳	۰/۹۰	۲/۸۹	۱۳۸۸/۷/۲۵
۰/۲۶	۰/۰۸	۳/۳	۰/۰۹	۰/۰۱۳	۰/۱	۰/۸۹	۲/۹	میانگین
۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۹	۰/۰۹۸۶	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۲۵۱	۰/۰۹۶۸	انحراف معیار
۱	۶/۲	۲/۷	۴/۱	۲۲/۶	۳	۲/۸	۳/۳	شاخص تغییرات

پارامترهای آماری محاسبه شده

جدول ۵-۱۱- درصد خطای آزمایش برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

تاریخ نمونه‌برداری	۱۳۸۷/۹/۱۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۰	۱۳۸۸/۳/۱۵	۱۳۸۸/۴/۱۸	۱۳۸۸/۵/۲۰	۱۳۸۸/۷/۲۵
درصد خطای آزمایش	۴/۲	۶/۹	۴/۹	۵/۱۱	۲/۵۱	۳/۷۳



شکل ۵-۱۳- تغییرات زمانی کاتیون‌ها (سمت راست) و آنیون‌ها (سمت چپ)

۵-۴-۳- تغییرات زمانی ضرایب اشباع شدگی و سایر پارامترهای محاسبه شده

ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای نمونه‌های آب چشمه روانسر با استفاده از نرم افزار PHREEQC محاسبه (جدول ۵-۱۲) و نمودار آن در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است. همان گونه که از شکل پیداست، میزان تغییرات ضرایب اشباع برای این کانی‌ها نسبتاً پایین می‌باشد. در این میان میزان شاخص تغییرات بالای کانی کلسیت را می‌توان به مقادیر بسیار پایین این یون مربوط دانست که با اندک تغییرات در حد ۱ یا ۲ صدم در مقادیر آن، شاخص تغییرات به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.

با دقت در داده‌های جدول (۵-۱۲) و نیز شکل (۵-۱۴) متوجه می‌شویم که در مورد چشمه روانسر نیز تقریباً در تمامی موارد ضرایب اشباع مربوط به کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس منفی می‌باشد. تنها در مورد نمونه ششم مربوط به کانی کلسیت شاخص اشباع مثبت بوده و آب چشمه نسبت به این کانی فوق اشباع می‌باشد. مقادیر شاخص اشباع برای کانی کلسیت برای چشمه روانسر بسیار به حالت اشباع نزدیک می‌باشد و کانی‌های دولومیت و ژیپس به ترتیب دارای مقادیر شاخص اشباع منفی‌تری بوده که زیر اشباع‌تر بودن آب چشمه برای این کانی‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر این با دقت در شکل‌های (۵-۱۴)، (۵-۵)

(۱۲) و (۱۳-۵) مشاهد می‌کنیم که روند تغییرات ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس انطباق بسیار خوبی را با تغییرات هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها نشان می‌دهد.

مقادیر به دست آمده برای نسبت یون‌های کلسیم به منیزیم در چشمه روانسر همانند چشمه‌های تلوکسان و قلوز در تمامی موارد بیش از ۳ می‌باشد که آهکی بودن سنگ‌های تشکیل دهنده آبخوان این چشمه را نشان می‌دهد. کل مواد جامد محلول (TDS) برای نمونه‌های آب چشمه روانسر در جدول (۵-۱۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۵-۱۲)، کل مواد جامد محلول در طول دوره نمونه‌برداری از ۲۸۲/۵ تا ۳۰۳/۹ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم متغیر است.

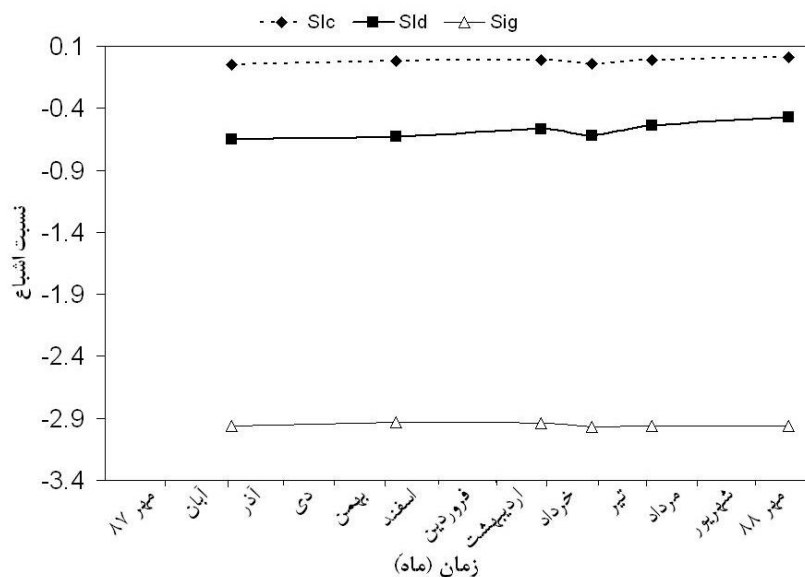
جدول ۵-۱۲- محاسبه برخی پارامترها برای نمونه‌های آب چشمه روانسر

پارامترهای محاسبه شده									تاریخ نمونه‌برداری
SI_g	SI_d	SI_c	A (mg/l)	SAR	%Na	Ca/ Mg	TH (mg/l)	TDS (mg/l)	
-۲/۹۶	-۱/۶۵	-۰/۰۵	۱۹۸	۰/۰۷۹	۳/۱۶	۳/۲۳	۱۸۶/۵	۲۹۰	۱۳۸۷/۹/۱۴
-۲/۹۳	-۱/۶۳	-۰/۰۲	۲۰۶	۰/۰۸	۳/۱۴	۳/۳	۱۹۸/۵	۳۰۲/۶	۱۳۸۷/۱۲/۲۰
-۲/۹۴	-۱/۵۷	-۰/۰۱	۲۰۸	۰/۰۷۷	۳/۱۲	۳/۲۲	۱۹۶/۴	۳۰۳/۹	۱۳۸۸/۳/۱۵
-۲/۹۷	-۱/۶۲	-۰/۰۴	۱۹۳	۰/۰۷۷	۳	۳/۲۳	۱۸۳/۱	۲۸۲/۵	۱۳۸۸/۴/۱۸
-۲/۹۶	-۱/۵۴	-۰/۰۱	۲۰۲	۰/۰۷۹	۳/۱	۳/۲	۱۸۶/۹	۲۹۴/۱	۱۳۸۸/۵/۲۰
-۲/۹۶	-۱/۴۷	۰/۱	۲۰۴	۰/۰۸۲	۳/۲۱	۳/۱۸	۱۹۰/۲	۲۹۷	۱۳۸۸/۷/۲۵
-۳/۱۸	-۱/۲۱	-۰/۳	-	-	-	-	-	-	میانگین
۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۵۳	-	-	-	-	-	-	انحراف معیار
۰/۵	۱۱/۶	۱۰۱	-	-	-	-	-	-	شاخص تغییرات

پارامترهای آماری محاسبه شده

مقادیر سختی کل نمونه‌های آب چشمه روانسر از ۱۸۳/۱ میلی گرم در لیتر تا ۱۹۸/۵ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم متغیر است.

درصد سدیم و درصد جذب سدیم دو پارامتر دیگر ارائه شده در جدول مذکور می‌باشند. با توجه به داده‌های جدول، بیشترین مقدار درصد سدیم مربوط به نمونه ششم و کمترین آن مربوط به نمونه چهارم می‌باشد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۳/۲۱ و ۳ درصد می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم مربوطه به نمونه ششم بوده در حالی که کمترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های سوم و چهارم می‌باشد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۰۸۲ و ۰/۰۷۷ می‌باشد.



شکل ۵-۱۴- تغییرات زمانی ضرایب اشباع در چشمه روانسر

همچنین مقادیر قلیائیت از مقدار ۱۹۳ تا ۲۰۸ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم متغیر می‌باشد.

۵-۵- مقایسه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها

در مباحث پیش خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های روانسر، تلوکسان و قلوز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این بخش مباحث مطالعه شده در مود این چشمه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۵-۵-۱- مقایسه ضرایب بده سه چشمه با یکدیگر

با توجه به منحنی فرود چشمه قلوز (شکل ۵-۶)، مشاهده می‌شود که این چشمه دارای دو رژیم آبدهی متفاوت می‌باشد و ضرایب آن به ترتیب برابر $0/012$ و $0/0046$ می‌باشد که شاخص بده بزرگتر بیانگر تخلیه مجاری بزرگ در فصول تر و شاخص کوچکتر بیانگر تخلیه آب از مجاری و درز و شکستگی‌های کوچکتر می‌باشد. ولی با توجه به شکل (۵-۲) مشاهده می‌گردد که بر خلاف مناطق کارستی توسعه یافته، که منحنی فرود آن‌ها معمولاً دو یا سه شیب را نشان می‌دهند، منحنی فرود چشمه تلوکسان فقط دارای یک خط با شیب $0/006$ می‌باشد. در مورد این چشمه، با عنایت به شاخص تغییرات مربوط به پارامترهایی مانند دبی، درجه حرارت، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها (داده‌های جدول‌های ۵-۱ و ۵-۲)، و با توجه به وجود تعداد بسیار زیاد فروچاله‌ها، دره‌های خشک، و دیگر عارضه‌های سطحی کارست در نواحی مرتفع حوضه آبگیر چشمه (قربانی ۱۳۸۲)، مجرای بودن سیستم این چشمه قطعی می‌باشد. دلیل یکنواخت بودن منحنی فرود چشمه تلوکسان به شکل و ابعاد حوضه آبگیر این چشمه مربوط می‌شود که دارای حوضه آبگیر وسیع و کشیده‌ای می‌باشد، به این ترتیب که پس از هر بارش ابتدا مقدار زیادی از بارش صورت گرفته از طریق مجاری و کانال‌های بزرگ تخلیه می‌گردند ولی قبل از پایان گرفتن این مرحله از تخلیه، آب‌های نواحی دورتر به محل خروجی رسیده و مانع از افت بیشتر دبی چشمه می‌شوند، بنابراین شیب منحنی فرود تغییر زیادی را از خود نشان نمی‌دهد. در مورد چشمه روانسر نیز اگرچه منحنی فرود آن فقط از یک خط با شیب نسبتاً یکنواخت تشکیل شده است ولی مقدار شیب آن بسیار بالا بوده و برابر

۰/۰۲۶ می‌باشد. با عنایت به وجود عارضه‌هایی مانند فروچاله‌ها، دره‌های خشک و دیگر عارضه‌های سطحی و البته شاخص تغییرات بالای پارامترهایی مانند دبی و هدایت الکتریکی مجرای بودن سیستم این چشمه نیز قطعی می‌باشد. در اینجا با در نظر گرفتن شاخص تغییرات پایین هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها (جدول‌های ۵-۹ و ۵-۱۰)، این گونه به نظر می‌رسد که فرایند کارستی شدن حوضه آبگیر این چشمه، در تمامی بخش‌های آن توسعه نیافته و توسعه کارست فقط در امتداد مسیرهای عمده تکتونیکی صورت گرفته است.

در این حالت آب‌های ورودی به سیستم‌های تکتونیکی سریعاً از طریق چشمه خارج می‌گردند. و این امر سبب گردیده است که شیب منحنی فرود بسیار بالا و تا اندازه‌ای یکنواخت باشد. مقایسه شاخص آبدهی چشمه‌های تلوکسان، قلوز و روانسر همگی مقادیر شاخص تغییرات بالایی را برای این پارامتر در چشمه‌های مذکور نشان می‌دهد که به ترتیب برابر، ۳۴/۹، ۵۴/۶ و ۱۲۲/۵ می‌باشد و به خوبی مطالب فوق را تأیید می‌نماید.

۵-۵-۲- مقایسه نمودارهای هدایت الکتریکی و بده سه چشمه با یکدیگر

در مورد نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و بده چشمه‌های تلوکسان و قلوز (شکل‌های ۵-۳ و ۵-۷)، همان گونه که از شکل پیداست، تغییرات این دو پارامتر برای هر دو چشمه بالا بوده و رابطه کاملاً معکوسی را با یکدیگر نشان می‌دهند که مقادیر شاخص تغییرات این دو پارامتر گویای این مطلب می‌باشد. همان گونه که قبلاً اشاره گردید مقادیر شاخص تغییرات برای دبی و هدایت الکتریکی در چشمه تلوکسان به ترتیب برابر ۳۴/۹ و ۹/۳ می‌باشد و اندازه این دو پارامتر برای چشمه قلوز به ترتیب برابر ۵۴/۶ و ۵/۶ می‌باشد که مقادیر نسبتاً بالایی محسوب می‌گردند. این در حالی است که با توجه به نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و آبدهی چشمه روانسر (شکل ۵-۱۰)، وجود رابطه‌ای نسبتاً پیچیده بین دبی و هدایت الکتریکی را نشان

می‌دهد. اگرچه میزان تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه روانسر بسیار پایین بوده و به جرأت می‌توان گفت که در طول زمان تقریباً ثابت است ولی وجود رابطه بین دبی و هدایت الکتریکی که در جاهایی با افزایش دبی مقدار هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد را می‌توان به سیستم سیفونی این چشمه مربوط دانست شکل (۵-۱۱). لازم به یادآوری است که شاخص تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه روانسر بسیار پایین بوده و برابر ۰/۹ می‌باشد.

۵-۵-۳- مقایسه تغییرات غلظت یون‌های اصلی در سه چشمه

نمودار تغییر غلظت یون‌ها در دو چشمه تلوکسان و قلوز (شکل‌های ۵-۴ و ۵-۸) انطباق خوبی را با تغییرات هدایت الکتریکی (شکل‌های ۵-۳ و ۵-۷) نشان می‌دهد. علاوه براین، تغییرات غلظت یون‌های اصلی در چشمه‌های تلوکسان و قلوز در طول دوره نمونه‌برداری بسیار بالا می‌باشد (شکل‌های ۵-۴ و ۵-۸). همچنین در بیشتر موارد میزان شاخص تغییرات غلظت یون‌های اصلی در چشمه تلوکسان نسبت به چشمه قلوز بالاتر می‌باشد (جدول‌های ۵-۲ و ۵-۶)، که این امر می‌تواند به دلیل توسعه بیشتر کارست در حوضه آبرگیر چشمه تلوکسان نسبت به چشمه قلوز باشد. این در صورتی است که همانند تغییرات پایین هدایت الکتریکی، میزان تغییرات غلظت یون‌ها در دوره نمونه‌برداری در چشمه روانسر بسیار پایین بوده و در واقع می‌توان گفت که در طول زمان تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهند (شکل ۵-۱۳ و جدول ۵-۱۰)، البته همان‌طور که پیش‌تر نیز عنوان شد تغییرات اندک غلظت یون‌ها در چشمه روانسر را می‌توان به سیستم سیفونی احتمالی حاکم بر این چشمه مربوط دانست. مقادیر بسیار پایین شاخص تغییرات برای غلظت یون‌ها در چشمه روانسر نیز تأییدی بر مطالب عنوان شده می‌باشد (جدول ۵-۱۰).

۵-۴- مقایسه تغییرات ضرایب اشباع در سه چشمه

نمودار تغییرات ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس مربوط به دو چشمه تلوکسان و قلوز (شکل‌های ۵-۵ و ۹-۵)، انطباق بسیار خوبی را با نمودار تغییرات هدایت الکتریکی (شکل‌های ۵-۳ و ۷-۵) و نمودار تغییرات غلظت یون‌ها (شکل‌های ۴-۵ و ۸-۵) نشان می‌دهند. همچنین با مشاهده نمودار میزان تغییرات ضرایب اشباع برای این کانی‌ها برای دو چشمه تلوکسان و قلوز، متوجه می‌شویم که میزان تغییرات این پارامترها در طول دوره نمونه برداری شده بالا می‌باشد. علاوه براین با دقت در مقادیر ضرایب اشباع برای هر دو چشمه متوجه می‌شویم که در تمامی موارد آب چشمه‌های تلوکسان و قلوز نسبت به کانی‌های مربوطه در حالت زیر اشباع می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان به مقادیر پایین هدایت الکتریکی و دما برای این چشمه‌ها نسبت داد. این در حالی است که با دقت در نمودار تغییرات ضرایب اشباع یون‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای چشمه روانسر در طول دوره نمونه‌برداری (شکل ۵-۱۴) و اعداد مربوط به محور عمودی این نمودارها ملاحظه می‌شود که تغییرات ضرایب اشباع برای این پارامترها در مقایسه با چشمه‌های تلوکسان و قلوز بسیار پایین‌تر می‌باشد (به حالت اشباع نزدیکتر است). البته باید عنوان نمود که میزان شاخص تغییرات بالای کلسیت در چشمه روانسر به مقادیر بسیار پایین ضرایب اشباع شدگی این یون مربوط می‌شود که تغییرات اندک در این پارامتر، باعث ایجاد شاخص تغییرات بالا در شاخص تغییرات این کانی می‌گردد. همچنین با مشاهده داده‌های جدول (۵-۱۲) ملاحظه می‌شود که آب این چشمه نسبت به کانی‌های کلسیت و دولومیت به حالت زیر اشباع بوده، ولی برای کانی کلسیت نمونه‌ها به حالت اشباع نزدیک بوده و در نمونه ششم به حالت فوق اشباع در می‌آید که دلیل این امر را می‌توان به دمای بالاتر چشمه روانسر در مقایسه با دیگر چشمه‌ها عنوان نمود (جدول ۵-۹).

در نهایت با توجه به تمامی مطالب ارائه شده در این فصل باید گفت که نوع سیستم جریان آب زیرزمینی در چشمه‌های تلوکسان، قلوز و روانسر از نوع مجرای می‌باشد.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها

۶-۱-۱- چشمه تلوکسان

۱- با توجه به وجود تعداد زیاد فروچاله، غارهای بزرگ، دره‌های کارستی و دیگر عارضه‌های سطحی در حوضه آبرگیر این چشمه و با عنایت به شاخص تغییرات بالای دبی، دما، هدایت الکتریکی و یون‌ها سیستم جریان مجرای در آن حاکم می‌باشد.

۲- شیب یکنواخت منحنی فرود این چشمه که برابر $0/006$ است، به دلیل کشیدگی حوضه آبرگیر این چشمه‌ها می‌باشد که مانع از افت زیاد مقدار دبی در زمان‌های مختلف می‌گردد.

۳- تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی و بده این چشمه رابطه کاملاً معکوسی را با یکدیگر نشان می‌دهند.

۴- تغییرات غلظت یون‌ها در این چشمه نسبت به دو چشمه دیگر بالاتر بوده و انطباق بسیار خوبی را با هدایت الکتریکی نشان می‌دهد.

۵- شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای این چشمه برای تمامی نمونه‌های برداشت شده زیر اشباع می‌باشد. در این میان، میزان اشباع شدگی برای کانی کلسیت نسبت به دوکانی دیگر بیشتر بوده و همچنین اشباع شدگی برای کانی ژیپس نسبت به کانی دولومیت منفی‌تر (زیر اشباع‌تر) می‌-

باشد (شکل ۴-۵). علاوه بر این شاخص تغییرات مربوط به شاخص اشباع شدگی کانی‌های مذکور بسیار بالا بوده که در این بین بیشترین شاخص تغییرات مربوط به کانی کلسیت می‌باشد.

۶-۱-۲- چشمه قلوز

۱- نمودار فرود چشمه قلوز از دو شیب با مقادیر $0/012$ و $0/046$ تشکیل شده است و با توجه به شاخص تغییرات بالای دبی، هدایت الکتریکی، دما و غلظت یون‌ها، سیستم جریان این چشمه نیز از نوع مجرای می‌باشد. البته شاخص تغییرات هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها در این چشمه نسبت به چشمه تلوکسان از مقادیر کمتری برخوردار می‌باشد. همچنین مقادیر بالاتر شاخص تغییرات دبی و دما در این چشمه به شکل گرد حوضه آبگیر این چشمه در مقایسه با حوضه آبگیر کشیده چشمه تلوکسان مربوط می‌شود.

۲- همانند چشمه تلوکسان، تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در این چشمه رابطه کاملاً معکوس دارند.

۳- تغییرات غلظت یون‌ها بالا بوده و انطباق بسیار خوبی را با تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه نشان می‌دهد، البته مقادیر شاخص تغییرات غلظت یون‌ها در این چشمه در اکثر موارد کمتر از تغییرات غلظت یون‌ها در چشمه تلوکسان می‌باشد.

۴- همانند چشمه تلوکسان مقادیر اشباع شدگی برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس در تمامی نمونه‌ها منفی بوده (زیر اشباع) که در این میان کانی کلسیت به حالت اشباع نزدیکتر بوده، ژیپس دارای مقدار منفی‌تری (زیر اشباع‌تر) بوده و کانی دولومیت حالت حدواسطی را نشان می‌دهد. همچنین شاخص تغییرات ضرایب اشباع شدگی برای کانی‌های مذکور در چشمه قلوز کمتر از چشمه تلوکسان می‌باشد.

۶-۱-۳- چشمه روانسر

۱- منحنی فرود این چشمه از یک خط با شیب بسیار بالا برابر ۰/۰۲۶ تشکیل شده است که با توجه به وجود عارضه‌هایی مانند فروچاله‌ها، دره‌های کارستی وسیع و سایر پدیده‌های سطحی کارست و البته با عنایت به شاخص تغییرات بسیار بالای دبی و دما مجرای بودن سیستم این چشمه نیز قطعی است. در بیان علت شیب نسبتاً یکنواخت ولی بسیار بالای این چشمه می‌توان گفت که فرایند کارستی شدن حوضه آبگیر این چشمه، در تمامی بخش‌های آن توسعه نیافته و توسعه کارست فقط در امتداد ساخت‌های عمده تکتونیکی مانند گسل‌ها صورت گرفته است.

۲- نرخ تغییرات هدایت الکتریکی در طول زمان بسیار اندک می‌باشد. همچنین نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و دبی چشمه روانسر وجود رابطه نسبتاً پیچیده‌ای را نشان می‌دهد که علت آن را می‌توان به سیستم سیفونی احتمالی حاکم بر این چشمه مربوط دانست.

۳- تغییرات غلظت یون‌ها در طول نمونه‌برداری بسیار پایین بوده و تقریباً می‌توان گفت که تغییرات محسوسی را در طول زمان نشان نمی‌دهد. همچنین در خصوص روند تغییرات غلظت یون‌ها که تقریباً مشابه تغییرات هدایت الکتریکی می‌باشد، می‌توان همان سیستم سیفونی حاکم بر چشمه را بیان نمود.

۴- تغییرات زمانی ضرایب اشباع برای کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس در طول دوره نمونه‌برداری بسیار پایین می‌باشد. همچنین بجز در مورد نمونه ششم که شاخص اشباع کانی کلسیت مثبت (فوق اشباع) می‌باشد، در سایر موارد این مقادیر کمتر از صفر بوده و آب چشمه نسبت به این کانی‌ها زیر اشباع می‌باشد.

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان گفت که اگرچه سیستم جریان غالب آب زیرزمینی در هر سه چشمه از نوع مجرای است ولی درجه کارستی‌شدگی (درجه مجرای بودن) چشمه تلوکسان بیش از چشمه قلوز و درجه کارستی شدن چشمه قلوز نیز بیش از چشمه روانسر می‌باشد.

۶-۲- ارزیابی تحلیل شکستگی‌ها در چشمه‌های مورد مطالعه

۶-۲-۱- چشمه روانسر

۱- در این چشمه درزه‌های دسته ۱ با روند $N38^{\circ}W$ و میانگین شیب 67° درجه، 18% درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهند، این دسته در تقسیم‌بندی درزه‌ها بر اساس قرارگیری آن‌ها نسبت به لایه‌بندی جزء درزه‌های امتدادی و نسبت به روند کلی زاگرس جزء درزه‌های طولی دسته‌بندی می‌شوند. این دسته از درزه‌ها در بین دسته درزه‌های موجود کمترین میانگین بازشدگی برابر $35/7$ میلی‌متر و بیشترین میانگین طول برابر $76/3$ متر را دارا بوده و با توجه به روند آن‌ها و با در نظر گرفتن موارد ذکر شده و همچنین روند و کشیدگی حوضه آبریز چشمه روانسر (شمال غرب-جنوب شرق)، مهمترین نقش را در هدایت جریان آب از نقاط دوردست به محل تخلیه (چشمه روانسر) بر عهده دارند.

۲- درزه‌های دسته ۲، درزه‌های شیبی (نسبت به لایه‌بندی) یا دسته‌های کششی عرضی نسبت به روند چین خوردگی زاگرس، دارای روند $N73^{\circ}E$ و میانگین شیب 77° درجه می‌باشند. این دسته درزه که 20% درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص داده است، دارای بیشترین متوسط بازشدگی برابر $60/3$ میلی‌متر و متوسط طول نه چندان زیاد برابر $44/2$ متر بوده و با در نظر گرفتن روند آن‌ها که به صورت عمود بر کشیدگی حوضه آبریز چشمه قرار می‌گیرند و نیز با توجه به درصد تراکم آن‌ها و همچنین میزان بازشدگی بالا نقش تغذیه کننده غالب آب را در حوضه برعهده دارند.

۳- درزه‌های دسته ۳، درزه‌های امتدادی ۲ یا همان درزه‌های مورب به دلیل میزان بازشدگی و طول کمتر از اهمیت کمتری نسبت به دو سیستم درزه دیگر برخوردار هستند ولی به نوبه خود نقش تغذیه و هدایت جریان آب را در ابعاد کمتر در حوضه آبریز چشمه روانسر برعهده دارند.

۴- تحلیل جهت شیب درزه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر این چشمه در فواصل ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه (جهت جنوب شرقی) قرار دارد و این بازه از جهت شیب درزه‌ها در مجموع ۳۲ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهد که با درنظر گرفتن این نکته که حوضه آبگیر این چشمه دارای روند شمال غرب جنوب شرق بوده و چشمه روانسر در منتهی الیه این روند در ضلع جنوب شرقی آن قرار دارد به وضوح نقش جهت شیب درزه‌ها در هدایت سریع جریان آب به سمت محل تخلیه مشخص می‌شود.

۶-۲-۲- چشمه شیخ علاالدین

۱- درزه‌های دسته ۳، درزه‌های مورب ۲ (نسبت به روند چین خوردگی زاگرس) یا همان درزه‌های طبقه-ای به موازات لایه‌بندی با ویژگی‌های بارز خود عملکرد دیگر سیستم درزه‌ها را در حوضه آبگیر چشمه شیخ علاالدین و سرحوض تخت تأثیر خود قرار داده‌اند. این سیستم درزه با روند $N10^0W$ ، دارای بیشترین میانگین شیب برابر ۷۴ درجه می‌باشند. این دسته دارای متوسط بازشدگی بسیار بالا برابر ۸۰/۵ میلی‌متر و نیز متوسط طول بالای ۱۱۹/۵ متر می‌باشد و با توجه به روند حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض نقش بسیار شاخصی را هم در پدیده نفوذ و هم هدایت جریان آب به سمت محل تخلیه و در نهایت توسعه کارست دارا می‌باشند.

۲- سیستم درزه‌های دیگر شامل درزه‌های دسته ۱، ۲ و ۴ اهمیت بسیار کمتری را در پدیده‌های نفوذ و هدایت جریان آب در حوضه دارا هستند. در این میان درزه‌های دسته ۴ یا همان دسته درزه‌های طولی ۲ (نسبت به روند چین خوردگی زاگرس با روند $N30^0W$) با داشتن متوسط بازشدگی نسبتاً بالای برابر ۵۸/۹ میلی‌متر احتمالاً نقش بارزتری را در پدیده نفوذ در حوضه آبگیر چشمه برعهده دارند.

۳- بررسی جهت شیب درزه‌ها در حوضه آبگیر این چشمه نشان می‌دهد که بیشتر از ۵۰ درصد از درزه‌های منطقه دارای جهت شیبی در بازه صفر تا ۹۰ درجه هستند که با توجه به روند شمالی- جنوبی حوضه آبگیر این چشمه اهمیت جهت شیب درزه‌ها در هدایت جریان از نقاط دوردست به محل تخلیه واضح می‌باشد.

۶-۲-۳- چشمه سر حوض

عملکرد دسته درزه‌های این چشمه تا حد بسیار زیادی شبیه به عملکرد دسته درزه‌های اندازه‌گیری شده برای چشمه شیخ علاالدین می‌باشد ولی برای این چشمه سه دسته درزه شناسایی شده است.

۱- در مورد این چشمه نیز درزه‌های دسته ۳، درزه‌های طولی یا همان درزه‌های طبقه‌ای به موازات لایه-بندی با خصوصیات بارز و چشم‌گیر خود عملکرد دسته درزه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده‌اند و در واقع مهمترین عامل توسعه کارست در بین دسته درزه‌های موجود محسوب می‌گردند. این دسته با روند $N30^{\circ}W$ در بین سیستم درزه‌های موجود دارای بیشترین متوسط شیب برابر ۷۲ درجه می‌باشند که ۳۰/۵ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهند. این دسته درزه دارای بیشترین میانگین بازشدگی برابر ۷۲/۲ میلی‌متر در بین دسته درزه‌های موجود بوده و با داشتن میانگین طول برابر ۱۱۲/۶ متر و با در نظر گرفتن روند قرارگیری حوضه آبگیر این چشمه (شکل ۴-۱) نقش بسیار شاخص و غالبی هم در پدیده نفوذ و هم در هدایت جریان آب دارا می‌باشند.

۲- درزه‌های دسته ۱، درزه‌های شیبی (نسبت به لایه‌بندی) یا همان درزه‌های کشتی عرضی در مجموع ۳۰ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص می‌دهند و با داشتن مقدار بازشدگی برابر ۳۷/۴ میلی‌متر و نیز متوسط طول برابر ۴۰/۵ متر و با در نظر گرفتن این نکته که تقریباً به صورت عمود نسبت به روند حوضه آبگیر این چشمه قرار می‌گیرند، بیشتر نقش نفوذ آب را برعهده دارند.

۳- درزه‌های دسته ۲، درزه‌های امتدادی (نسبت به لایه‌بندی) یا همان درزه‌های مورب (نسبت به روند چین خوردگی زاگرس)، دارای روند $N15^{\circ}W$ و میانگین شیب نسبتاً کم برابر ۳۹ درجه می‌باشند که ۱۳ درصد از کل درزه‌های موجود را به خود اختصاص می‌دهند. این سیستم درزه دارای میانگین طول $62/3$ و میانگین بازشدگی برابر $51/8$ میلی‌متر می‌باشد و با در نظر گرفتن روند قرارگیری حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض (شکل ۴-۱) بیشتر نقش هدایت جریان آب و به مقدار کمتر نقش نفوذ را در حوضه آبگیر این چشمه بر عهده دارند.

۴- مطالعه صورت گرفته بر روی جهت شیب درزه‌های اندازه‌گیری شده در حوضه آبگیر این چشمه، نشان می‌دهد که بیشترین درصد جهت شیب درزه‌ها در بازه 315 تا 360 درجه قرار دارند که با توجه به امتداد حوضه آبگیر چشمه‌های شیخ علاالدین و سرحوض نقش جهت شیب درزه‌ها در هدایت و جمع‌آوری جریان آب از نقاط دوردست حوضه به سمت محل تخلیه در این چشمه را می‌توان دریافت.

۴-۲-۶- چشمه تلوکسان

۱- درزه‌های دسته ۱، کششی عرضی (نسبت به روند چین خوردگی زاگرس) یا همان درزه‌های طبقه‌ای به موازات لایه‌بندی با روند $N69^{\circ}E$ و میانگین شیب بالای $70/3$ درجه مهمترین نقش را در توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان بر عهده دارند. این دسته درزه، ۲۶ درصد از کل درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان را به خود اختصاص می‌دهند. مقدار بازشدگی آن‌ها بسیار بیشتر از درزه‌های دیگر بوده و با میانگین بازشدگی برابر $63/7$ میلی‌متر نقش اصلی را در فرایند نفوذ در حوضه این چشمه بر عهده دارند.

۲- درزه‌های دسته ۲، سیستم مورب ۱ (نسبت به لایه‌بندی) و یا درزه‌های طولی (نسبت به روند چین خوردگی زاگرس) با امتداد $N1^{\circ}E$ و میانگین شیب نسبتاً پایین برابر $44/4$ درجه، در مجموع درصد

بالایی از کل درزه‌های پیمایش شده برابر ۲۳/۵ درصد را شامل می‌شوند. این دسته درزه با میانگین طول بالا برابر ۸۷/۵ متر و با توجه به امتداد درزه و امتداد حوضه آبگیر چشمه تلوکسان که تقریباً دارای روندی شمالی- جنوبی می‌باشد (شکل ۴-۱)، مهمترین نقش را در انتقال آب از محل‌های دوردست به محل تخلیه و توسعه کانال‌های انحلالی بزرگ در اعماق دارند.

۳- درزه‌های دسته ۳، با روند $N37^{\circ}W$ و میانگین شیب نسبتاً پایین ۳۸/۸ درجه، ۱۳/۵ درصد از کل درزه‌ها را شامل می‌شوند این دسته درزه بیشترین متوسط طول برابر ۹۶/۱ متر و همچنین کمترین مقدار بازشدگی برابر ۲۵/۹ میلی‌متر را نسبت به دسته درزه‌های دیگر دارا بوده و با داشتن روند مورب نسبت به امتداد حوضه (شکل ۴-۱)، بیشتر نقش انتقال آب را برعهده دارند.

۴- درزه‌های دسته ۴ با روند $N70^{\circ}W$ و میانگین شیب ۴۴/۶ درجه تنها ۱۲/۶ درصد از درزه‌های پیمایش شده را به خود اختصاص داده‌اند. این دسته همچنین با داشتن کمترین میانگین طول برابر ۵۵/۸ متر و نیز میانگین بازشدگی نسبتاً پایین برابر ۳۵/۱ میلی‌متر نقش کمرنگ‌تری را هم در پدیده نفوذ و هم در پدیده هدایت جریان آب در حوضه برعهده دارند.

۵- ۲۹ درصد از درزه‌های پیمایش شده در حوضه آبگیر چشمه تلوکسان دارای جهت شیبی در بازه ۴۵ تا ۹۰ درجه می‌باشند که با توجه به امتداد حوضه آبگیر چشمه تلوکسان به اهمیت این ویژگی از درزه‌ها در جمع آوری و هدایت آب از نقاط دور دست به محل تخلیه پی برده می‌شود.

علاوه بر موارد فوق، خطواره‌های تقاطعی که از تقاطع صفحات شکستگی با یکدیگر به وجود می‌آیند، می‌تواند به عنوان مجرای برای نفوذ آب‌های سطحی به زیر زمین عمل نماید. شیب زیاد این درزه‌ها، موجب نفوذ سریع آب به درون آبخوان می‌شود ولی از آنجا که بسیاری از درزه‌ها در حوضه آبگیر چشمه‌ها تداوم سراسری ندارند و همچنین معلوم نیست چه تعداد از این درزه‌ها یکدیگر را قطع می‌نمایند، پاسخ دقیقی

برای تعداد خطواره‌های تقاطعی به عنوان مجاری نفوذ نمی‌توان یافت و مطالعه این خطواره‌ها نیاز به کارهای آماری دقیق‌تر دارد.

۶-۳- پیشنهادها

- ۱- مطالعه جامع و دقیق‌تر ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه روانسر برای پی بردن به سازوکار دقیق کارست در این چشمه توصیه می‌شود.
- ۲- به منظور برآورد میزان نفوذ در حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه، لازم است که یک مطالعه جامع بیان در این حوضه انجام شود.
- ۳- بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی دقیق‌تر چشمه‌های منطقه و به خصوص چشمه روانسر جهت مصارف شرب، کشاورزی، صنعتی و ... صورت گیرد.
- ۴- در تحقیق موجود نتایج مفیدی در خصوص وضعیت هیدروژئولوژیکی لایه آبدار کارستی چشمه‌های روانسر، تلوکسان و قلوز به دست آمده است، نتایج مذکور می‌تواند به عنوان راهکاری برای مناطقی که از نظر هیدروژئولوژیکی با منطقه مورد مطالعه مشابهت دارند بکار گرفته شود.
- ۵- مطالعات ساختاری و آماری بر روی نقش خطواره‌های تقاطعی حاصل از محل برخورد سطوح شکستگی در ایجاد مجاری نفوذ آب و توسعه کارست صورت گیرد.
- ۶- با توجه به تغییرات نسبتاً زیاد هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها در چشمه تلوکسان و قلوز که در فاصله ۶۰۰ متر از یکدیگر قرار دارند، مطالعه‌ای جامع در جهت بررسی علل این تغییرات انجام گردد.
- ۷- مطالعه‌ای در راستای پی بردن به ارتباط بین دبی، هدایت الکتریکی و مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌ها با پارامترهای ساختاری مانند طول درزه، بازشدگی و درصد درزه‌های سیستماتیک به درزه‌های غیرسیستماتیک توصیه می‌شود.

مراجع فارسی:

- افراسیابیان، ا. مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی، تهران-کرمانشاه، تیر ۱۳۷۷
- بانک داده‌های سازمان آب منطقه‌ای استان کردستان.
- بانک داده‌های اداره کل شیلات استان کردستان.
- بانک داده‌های سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه.
- جهانی بهبهانی، ح.، (۱۳۷۲)، "نقش خطواره‌ها در کنترل جریان آب زیرزمینی در مناطق چین خورده کارستی"، پایان نامه، کارشناسی ارشد آب شناسی بخش زمین شناسی، دانشگاه شیراز.
- خسروپناه، ا. (۱۳۸۷) بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه گل رامیان، پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رئیمی، ع، کرمی، غ.، (۱۳۷) اثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب‌های نفوذی بر روی شیمی چشمه‌های کارستی، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی، تهران-کرمانشاه، تیر ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱-۱۵۱.
- زند، ف. (۱۳۷۸) بررسی خطواره‌ها در منطقه طالقان با استفاده از سنجش از دور و کاربرد آن در شناسایی مناطق لغزشی، پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوایی منطقه شاهو با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، ۱۳۴۶.
- کرمی، ح. (۱۳۷۶) تجزیه و تحلیل شکستگی‌های کوه رحمت در استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، تکتونیک، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- عارفی، م.ر.، (۱۳۸۵) ژئومورفولوژی و منابع آب کارست ارتفاعات شاهو، شمال شهرستان‌های جوانرود و پاوه، پایان نامه کارشناسی ارشد، جغرافیا، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- عزیززاده، م. (۱۳۷۵) تحلیل شکستگی‌های گسل قطر-کازرون و تأثیر آن در گسترش منابع آب کارستی، پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- علیزاده، ا.، (۱۳۸۶). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵۷ ص.

- قربانی، م.ص. (۱۳۸۲) نقش اشکال کارستی در تحول ناهمواری‌های شاهو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- مارشاک، ا.، میتراگ.، روش‌های اساسی زمین‌شناسی ساختمانی، ترجمه پور کرمانی م.، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۸۱.
- مؤمنی، ا. (۱۳۸۵) هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز رودخانه لیل، جوانرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- نقشه زمین‌شناسی کرمانشاه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵۷.
- نقشه زمین‌شناسی مریوان-بانه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۳.
- نقشه زمین‌شناسی کامیاران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه زمین‌شناسی تیزنیز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵.
- نقشه زمین‌شناسی سندج با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه راه‌های استان کردستان، مقیاس ۱:۳۰۰۰۰۰، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

References

- Akers, J., (1964), "Geology and groundwater of the central part of Apache County Arizona", U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 1771.
- Atkinson, T.C., (1977). *Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain)*. Journal of Hydrology, vol. 1. San Diego, Academic Press, pp. 97-127.
- Bagdanov, A. (1947) *The intensity of cleavage as related to thickness of the bed*. (Russian text). Sov. Geol, 16.
- Beiber PP (1961) *Groundwater features of Berkeley and Jefferson Counties, West Virginia*. WV Geol Surv Bull 21-81
- Berberian, M., (1995) *Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonic and surface morphotectonics*, Elsevier, p. 193-224.
- Berberian, M., King G.C.P. (1980) *Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*. Geology Survey of Iran, Vol. 52, pp. 502-527.
- Blanchet, P.H., (1957), "Development of Fracture Analysis as an Exploration Method", Bull. Am. Assoc. of Pet. Geol., Vol.41, pp. 1748-1759
- Bonacci, O., (1987). *Karst Hydrology*. 175pp.
- Bucher, W.H., (1920) *The mechanical interpretation of joints* J. Geol., 28, 707 and 29, 1.
- Cowell, D.W. and Ford, D.C., (1983), *Karst hydrology of the Bruce Peninsula, Ontario, Canada*, in: Back, W., La Moreaux, P.E. (Guest-Eds) V.T. Stringfield Symposium processes in Karst Hydrology: Journal of Hydrology, 61, p. 163-168.
- De Sitter, L.U. (1959) *Structural geology*, Mc Graw-Hill, London, pp 99-111.
- Drey Brodh, W., (1983) *Processes in karst systems*. Springer-Verlag Berlin
- Ede, N.T., (1972). *Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor*. Soil Science Society of America Proceedings 39, pp. 361-365
- Edgel, H.S., (1988). *Investigations of water source in Zardkooh, Hight Zagros in iran*, 2nd International symposium on karst water resources, I.R.Iran, Kermanshah. Pp 138-157.
- Fetter, C.W., (1994). *Applied hydrogeology* .3rded. prentice Hall Inc.
- Ford, D.C., Palmer, A.M. and White, W.E., (1988). *Landform development karst*, GSA Bull, 0-2.
- Ford, D. C., and Williams, P. W., (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. Champanand Hall, London.
- Gams I. (1966). *Factors and dynamics of corrosion of the carbonate rocks in the Dinaric and Alpine karst of Slovenia*. Geografski vestnik 38, pp. 11-68 (in Slovenia, English summary).

Garrels, R.M. and Christ, C.L., (1965). *Solutions, Minerals and Equilibrium*. Harper and Row, New York, pp. 450.

Gold, D.P., (1990), “*Identification of Rock Types and Groundwater Regimes, Terrain analysis for Groundwater Exploration and Grounwater Exploration Using Fracture Traces and Lineaments*”. In: Lecture Notes from Aplication of Remote Sensing to Hydrology Including Groundwater, Short Coarse at Arab Schol of Scrence and Technology. March, 12-19, 1990 in Dam Ascuse, Syria

Hadgson, R.A., (1961a) *Classification of structures on joint surfaces*: American Journal of Sciences, V.259, p. 493-502.

Harris, J.F., Walper, J.L., (1960) *Relation of deformational fractures in sedimentary rocks to regional and local structures*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol.44, no.12.

Henriksen , H., Braathen, A., (2006) *Effects of fracture lineament and in-situ rock stresses in ground water flow in hard rocks: a case study from Sunnfjord, Western Norway*, Hydrogeology Journal, p444-461.

Hobba WA, Friel EA, Chisholm JL (1972) *Water resources of thePotomac River basin, West Virginia*. WV Geol Econ Surv RiverBasin Bull 3

Hobbs WH (1904) *Lineaments of the Atlantic border region*. GeolSoc Amer Bull 15:483–506

Jacobson, R.L., Langmuir, D., (1974). *Controls on the quality variations of some carbonate spring waters*. Journal of Hydrology 23, pp. 247-265.

Jenning, J.N., (1985). *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell.

Jones WK (1991) *The carbonate aquifer of the northern Shenandoah Valley of Virginia and West Virginia*. In: Kastning EH, Kastning KM (eds) Appalachian Karst. National Speological Society, Huntsville, pp 217–222.

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 pp.

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

Lattman, L.H. and Parizek, R.P., (1972), “*Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rockes*”, Journal of Hydrology, Vol.2, pp. 73-91

McClay K.R. (1989) *The mapping of geological structures* 2nd edition, Open University Press London.

Kurt, J. MaCoy, Mark D. Kozar., (2007), *Use of sinkhole and specific capacity distributions to assess vertical gradients in a karst aquifer*. Springer pp 921-935.

Mc Quillan, h. (1967) *Fracture density in the Asmari formation and its relationship to bedding thickness and structural setting*. I.O.E.P.C. Report.

Mikhailov A. Ye. (1978). *Structural geology and geological mapping* Mir publishers. Moscow, 535 p.

Milaanovic, P.T. (1981), *Karst Hydrology* WRP, Colorado, U.S.A, 434pp.

Milanovic, P.T., (1988) *Karst Hydrogeology*. Water Resources publication.

Moor, G. and Hollyday, E.F., (1975), “*Propecting for Groundwater with SKYLAB P*

Narr, w. (1991) *Fracture density in the oil field: techniques with application to point Arguello oil field*. Buu. Am. Ass. Petrol. Geol. 73, 1300-1323.

Narr, W., and Suppe, J., (1991) *Joint spacing in sedimentary rocks*, Journal of Structure Geology. V.B, p. 1038-1048.

Novak, D., (1971), *A Contribution to the knowledge of physical and chemical properties of the ground water in the Slovenian karst*, Krs Jugoslavije (Carus Jugoslavia). P171-188.

Parizek, R.R., (1976), “*On the Nature and Significance of Fracture Traces and Lineament in Carbonate and Other Terranes*”, Karst Hydrology and Water Resources Symposium, Sarajevo. Abernethy, B., 1996, “Predicting the Topograpy”

Parizek, R.R. (1971) *Hydrogeology of folded and faulted rocks of the central Appalachian type and related land-use problems*, Pennsylvania State University, Earth and Mineral Science Experiment Station Circular 82, 181 pp.

Parker, J.M., (1942) *Regional systematic jointing in slightly deformed sedimentary rocks*, Geol. Soc. Am. Bau. 53, 381.

Pitty, A.F., (1968), *Some features of calcium hardness fluctuations in two karst streams and their possible value in geohydrological studies*: Journal of Hydrology, 5, p.202-208.

Plujim, B.a. and Marshak, S., (1977). *Earth structure*, WCB/MC Graw-Hill, (Ch.7).

Price, N.J., (1966) *Fault and joint development in brittle and semi brittle rock*, Pergamon Press, Ltd. (ch.3).

Quinlan, J.F., Ewers, R.O., (1985). *Ground water flow in limestone terranes: Strategy rationale and Procedure for reliable, efficient monitoring of ground water quality in karst areas*. In: Proceeding of fifth National symposium and exposition on aquifer restoration, Worthington, OH, pp. 197- 234.

Setzer, J., (1966), “*Hydrologic Significance of Tectonic Fractures Detectable on Aerial Photos*”, Groundwater, Vol.4, No.4, pp. 23-27.

Shuster E.T., White W.B. (1971) *Seasonal fluctuations in the Chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers*. Journal of Hydrology, 111-128 pp.

Siddiqui, S.H., and Parizek, R.R., (1971). *Hydrogeological factors influencing well yields in folded and faulted carbonate rocks in central Pennsylvania*. Water Resources Res., 7.

Twerenbold, E.F., (1961) *photogeological study of fracture pattern of three Asmari limestone structures between Masjed-e-Solaman and Gachsara, Iranian oil contortion private*, No. 975-9p.

Veni, G., (1987). *Fracture permeability: Implications on cave and sinkhole development and their environmental assessments*. In: F.B. Beckand W.L. Williams (eds.), *Karst Hydrogeology: Engineering environmental applications*, Blakema.

Waters, p., (1990). *Methodology for lineament analysis for hydrogeological investigations. in: Satellite remote sensing for hydrology and water managements, the Mediterranean coasts and islands*. Gordon and Breach. Sci. Pub. New York.

Wheeler, R.L., (1983), "*Relationship and the Practice of Linear Geo-Art: Discussion*", Geological Society of American Bulletin, Vol. 93, pp. 1377-1378.

White W .B., (1983). *Geomorphology and Hydrology of karst Terrains*. Oxford University Press: New York. Pp.464.

Wise, D.U., Dunn, D.E., Engelder, J.T., Geiser, P.A., (1984) *Fault related karst: Suggestion for terminology*. Geology, 12.

Wilson, J.E., (2003). *Microfracture analysis of fault growth and wter proccsses, Punchbowl Fault, San Andraes system, California*. Journal of Structural Geology 25, 1855-1873.

Zolt, J., (1960), *Die hydrographic des nordostalpinem karsts*. Steirische Beitrage Hydrogeologic, p.53-183 .

Abstract

The Shahoo karstic mountains are located in south of Kurdistan province and north of Kermanshah province. These mountains have prepared appropriate conditions for developing the karst features in this region of High Zagros with having a suitable limestone reservoir rock and relatively high precipitation. In this research it is tried to study the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of Taloksan, Ghalvaz and Ravansar springs along with the structural characteristics of catchments of Ravansar, Shakhalaedin, Sarhoz and Taloksan springs and their effect on groundwater flow.

According to the obtained results the variability of physico-chemical parameters particularly spring discharge is very high. Such that the variation coefficient of spring discharge for Taloksan, Ghalvaz and Ravansar is $34/88$, $04/6$ and $122/0$, respectively. Such results indicate that the predominate karst flow system is conduit type. Moreover, both hydrogeological and structural studies indicate that the karstification in the catchments area of Ravansar is relatively less than the other springs and mostly concentrated along the major tectonic features. The obtained results of studying the fractures shows that in the almost all cases, their average apertures is higher than 30 mm which indicate the important role of fractures in infiltration of water into karst aquifer. In addition the average length of studied fractures in most cases is greater than 40 m which is important for conducting the water to karst aquifer.

Key words: karst, hydrogeological, hydrogeochemical, conduit system, fractures, Shahoo mountain, High Zagros