

به نام خدا



گزارش پایانی طرح پژوهشی

بررسی هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی

چشمه کارستی چشمه علی دامغان

کد طرح: ۲۱۰۷

مجری طرح: غلامحسین کرمی

استادیار دانشکده علوم زمین

دی ماه ۱۳۸۳

این طرح با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است و تاریخ تصویب و خاتمه آن به ترتیب ۱۳۸۲/۱۲/۳ و ۱۳۸۴/۲/۱۸ می باشد.

## فهرست مطالب

فهرست اشکال .....	ت
فهرست جداول .....	ث
قدردانی .....	ج
چکیده .....	چ
<b>فصل اول: مقدمه .....</b>	<b>۱</b>
۱-۱- کلیات .....	۱
۲-۱- هدف از انجام تحقیق .....	۲
<b>فصل دوم: موقعیت و زمین‌شناسی عمومی منطقه .....</b>	<b>۳</b>
۱-۲- موقعیت جغرافیایی .....	۳
۲-۲- آب و هوای منطقه .....	۴
۳-۲- ژئومرفولوژی منطقه .....	۶
۴-۲- زمین‌شناسی منطقه .....	۶
۵-۲- چین‌شناسی منطقه .....	۷
الف - سازند شمشک .....	۷
ب - سازند دلیچای .....	۸
ج - سازند لار .....	۹
۶-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه .....	۱۰
<b>فصل سوم: خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی کارست .....</b>	<b>۱۱</b>
۱-۳- تعریف کارست .....	۱۱
۲-۳- جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی .....	۱۱
۳-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی .....	۱۲
۴-۳- مطالعات انجام شده در منطقه .....	۱۳
<b>فصل چهارم: روش انجام مطالعات .....</b>	<b>۱۵</b>
۱-۴- اندازه‌گیری دبی .....	۱۵
۲-۴- اندازه‌گیری اسیدیتته .....	۱۶
۳-۴- اندازه‌گیری درجه حرارت .....	۱۶
۴-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی .....	۱۷

۴-۵- اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن ..... ۱۷

۴-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ..... ۱۷

### فصل پنجم: تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه ..... ۱۹

۱-۵- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده ..... ۱۹

الف - تغییرات زمانی ..... ۱۹

ب - تغییرات زمانی هدایت الکتریکی ..... ۲۱

ج - تغییرات زمانی درجه حرارت آب ..... ۲۲

د - PH آب ..... ۲۳

ه - تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن محلول ..... ۲۴

و- تغییرات زمانی کاتیونها و آنیونها اصلی ..... ۲۵

۲-۵- تجزیه و تحلیل مقادیر پارامترهای محاسبه شده ..... ۲۶

الف - نسبت کلسیم به منیزیم ..... ۲۷

ب - کل مواد جامد محلول ..... ۲۷

ج - سختی کل ..... ۲۸

د - درصد سدیم و نسبت جذب سدیم ..... ۲۹

### فصل ششم: سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه‌علی ..... ۳۵

۱-۶- درجه انحلال آهک‌ها ..... ۳۵

۲-۶- خاکهای کارستی منطقه ..... ۳۶

۳-۶- هیدروژئولوژی منطقه ..... ۳۷

الف - خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند شمشک ..... ۳۷

ب - خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند دلیچای ..... ۳۷

ج - خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند لار ..... ۳۸

### فصل هفتم: نتیجه‌گیری ..... ۳۹

۱-۷- سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه‌علی ..... ۳۹

۲-۷- تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌علی ..... ۴۰

۳-۷- نوع جریان در سفره‌های کارستی ..... ۴۲

۴-۷- لیتولوژی غالب در سفره کارستی چشمه‌علی ..... ۴۳

۵-۷- پیشنهادات و نیاز به مطالعه بیشتر ..... ۴۳

الف - پیشنهادات ..... ۴۳

ب - نیاز به مطالعه بیشتر ..... ۴۴

### منابع مورد استفاده ..... ۴۵

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه آستانه دامغان از سال آبی ۱۳۶۳ - ۱۳۶۲  
تا سال آبی ۸۰ - ۱۳۷۹ ..... ۵
- جدول ۱-۵- میانگین، انحراف معیار، وضرب تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی  
اندازه گیری شده در محل چشمه ..... ۳۱
- جدول ۲-۵- غلظت کاتیونها و آنیونهای اصلی بر حسب ppm ..... ۳۲
- جدول ۳-۵- غلظت، میانگین، انحراف معیار، وضرب تغییرات کاتیونها و آنیونهای اصلی ..... ۳۳
- جدول ۴-۵- میانگین، انحراف معیار، وضرب تغییرات پارامترهای محاسبه شده ..... ۳۴

## قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار متعال کار این طرح پژوهشی به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از کلیه عزیزانی که مرا در انجام این کار یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم، به ویژه:

- همکار ارجمندم، جناب آقای دکتر حبیب‌ا... قاسمی
- معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه
- دوست بزرگوارم، جناب آقای دکتر عزیزا... طاهری
- ریاست محترم دانشکده علوم زمین
- برادر بزرگوارم، جناب آقای دکتر سید محمود حسینی نژاد
- عضو محترم هیأت علمی دانشکده علوم زمین دانشگاه علوم پایه دامغان
- سایر همکارانم در دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود
- همکارانم در حوزه مدیریت پژوهشی دانشگاه به ویژه
- سرکار خانم آزادخواه و سرکار خانم خداوردی
- و در نهایت خانواده عزیزم

# بررسی هیدروژنولوژیکی و هیدروژنوشیمیایی

## چشمه کارستی چشمه علی دامغان

غلامحسین کرمی

استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

### چکیده

منطقه مورد مطالعه (چشمه علی و حوضه آبرگیر آن) در ۳۲ کیلومتری شمال دامغان واقع شده است. حوضه آبرگیر چشمه عمدتاً از آهکهای ضخیم لایه تا توده‌ای سازند لار و به مقدار کمتر از آهک‌ها و آهک‌های مارنی سازند دلیچای تشکیل شده است. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژنولوژیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه‌علی که چشمه‌ای کارستی می‌باشد، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه و خصوصیات سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه مورد مطالعه قرار گرفته است. در مورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه، پارامترهای دبی چشمه، درجه حرارت آب، هدایت الکتریکی، اسیدیتته و مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب در محل چشمه و کاتیونها و آنیونها اصلی در آزمایشگاه در طول یکسال به طور ماهانه اندازه‌گیری شده‌اند. در مورد خصوصیات سیستم ورودی، عوامل مهمی که بر نفوذ آب به داخل سفره کارستی تأثیرگذار هستند در بازدیدهای مکرر صحرایی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. تغییرپذیری اندک کلیه خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه و هم‌چنین خصوصیات سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه (عدم وجود پدیده‌های ژئومرفولوژیکی مهم کارستی از قبیل گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، و درزه‌ها و شکستگی‌ها انحلالی بزرگ و عمیق) بیانگر این مطلب است که سیستم غالب جریان در سفره آب زیرزمینی چشمه‌علی از نوع سیستم افشان می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** هیدروژنولوژی، هیدروژنوشیمی، کارست، سیستم افشان، چشمه‌علی

# فصل اول: مقدمه

## ۱-۱- کلیات

سنگهای کربناته، به ویژه سنگهای آهکی، اغلب سفره‌های کارستی مهمی را تشکیل می‌دهند. این قبیل سفره‌ها آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را فراهم می‌سازند (Ford and Williams 1989). سنگهای کربناته به طور گسترده‌ای در سراسر جهان توزیع شده‌اند. برای مثال در ایران، سنگهای کربناته متجاوز از ۲۰۰،۰۰۰ کیلومترمربع وسعت دارند که حدود ۱۳ درصد کل مساحت کشور را تشکیل می‌دهند (Ahmadipour 1999). مهمترین خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی ناهمگنی و نوع سیستم جریان آنهاست. این خصوصیات به طور قابل توجهی از نقطه‌ای به نقطه دیگر فرق می‌کند. در بعضی از موارد، درجه ناهمگنی خیلی شدید است و آب زیرزمینی معمولاً از طریق مجاری لوله مانند با قطر زیاد (بزرگتر از یک سانتی‌متر) حرکت می‌کنند و در چنین شرایطی آنالیزهای مرسوم (که بر اساس قانون داریسی استوارند) قابلیت کاربرد ندارند. در موارد دیگر، درجه ناهمگنی خیلی بالا نیست و آب زیرزمینی معمولاً از داخل خلل و فرج به هم پیوسته، درزه‌ها و شکافهای با بازشدگی کم عبور می‌کند. در چنین شرایطی سفره‌های کارستی کم و بیش شبیه به سفره‌های دانه‌ای (Granular aquifers) می‌باشند و در چنین سفره‌هایی می‌توان روش‌های مرسوم (که اساس آنها معادله داریسی است) را بکار گرفت.

مطالعه گستره‌های کارستی به دلایل متعدد حائز اهمیت می‌باشد که می‌توان به مواردی از قبیل ارزیابی جریان آب زیرزمینی، احداث سازه‌های بزرگ نظیر سدها، کیفیت و کمیت آبها، و انتقال آلاینده‌ها در این مناطق اشاره نمود.

## ۱-۲- هدف از انجام تحقیق

هدف از این مطالعه، ارزیابی خصوصیات سفره کارستی چشمه علی دامغان به عنوان یکی از بزرگترین چشمه‌های موجود در دامنه جنوبی البرز شرقی می باشد. نتایج حاصله از چنین مطالعه‌ای می تواند برای ارزیابی خصوصیات سفره‌های کارستی مشابه موجود در منطقه که آبهای زیرزمینی آنها به جای تخلیه از طریق چشمه به سفره‌های آبرفتی مجاور آنها وارد می شوند، بکار رود.



## فصل دوم:

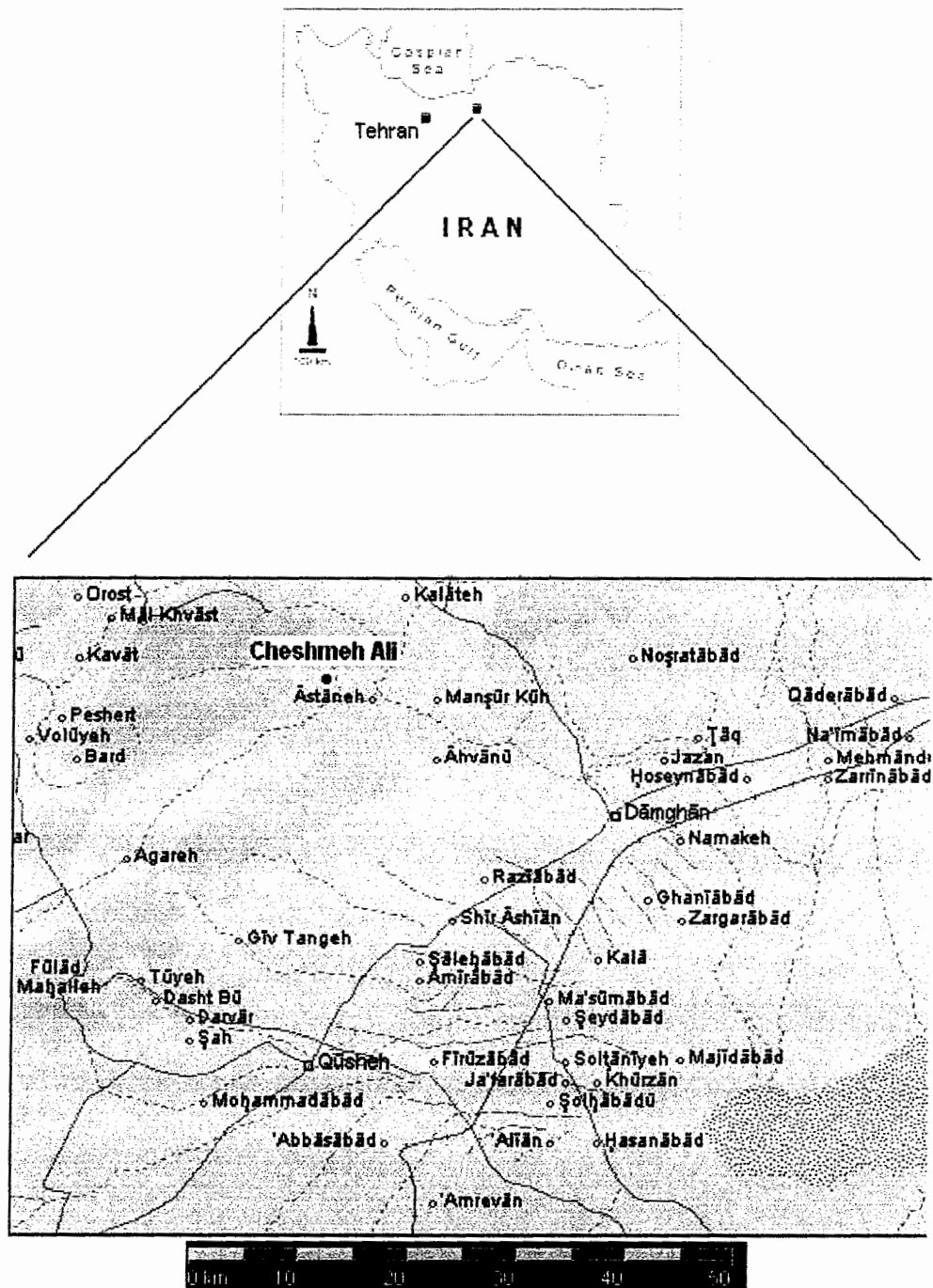
# موقعیت و زمین‌شناسی عمومی منطقه

### ۱-۲- موقعیت جغرافیایی

چشمه علی دامغان در ۳۲ کیلومتری شمال شهر دامغان واقع شده است. شکل ۱-۲ نمایی از چشمه را نشان می‌دهد. مختصات این چشمه ۵۴ درجه و ۶ دقیقه طولی شرقی و ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. این چشمه و حوضه آبخیز آن از نظر زمین‌شناسی در زون البرز شرقی واقع شده است. شکل ۲-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمایی از چشمه علی دامغان



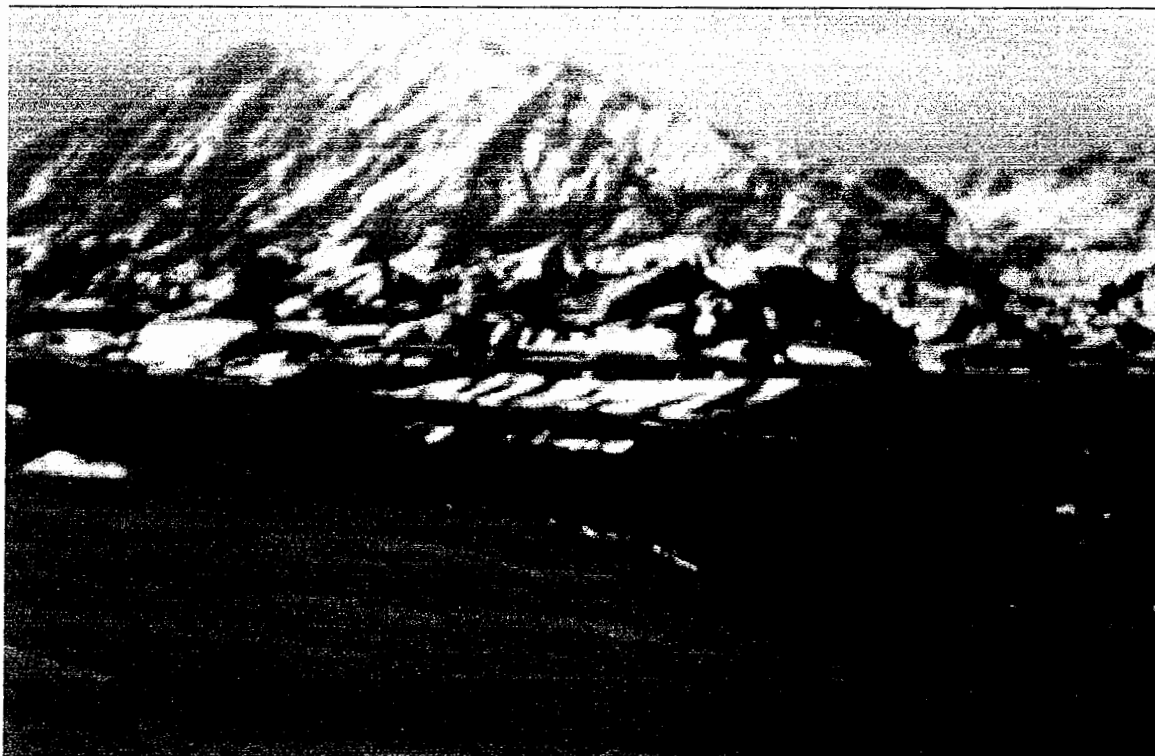
شکل ۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای زمستانهای نسبتاً سرد و تابستانهای معتدل می باشد. قسمت اعظم نزولات آسمانی در حوضه آبخیز چشمه علی به صورت برف می باشد. پوشش برف در شیبهای رو به شمال حوضه آبخیز



چشمه (کوههای) در بیشتر روزهای اواخر پاییز و فصل زمستان مشاهده می‌شود. شکل ۲-۳ منظره‌ای از ارتفاعات مشرف به چشمه‌علی (حوضه آبخیز چشمه‌علی) را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳ منظره‌ای از ارتفاعات مشرف به چشمه‌علی

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه ایستگاه روستای آستانه می‌باشد که این ایستگاه در ارتفاع ۱۸۹۰ متری از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی ماهانه این ایستگاه برای یک دوره ۱۷ ساله (سالهای آبی ۶۳ - ۱۳۶۲ تا ۸۰ - ۱۳۷۹) در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۲- متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه آستانه دامغان از سال آبی ۱۳۶۳ - ۱۳۶۲ یا سال آبی ۸۰ - ۱۳۷۹

بارندگی (mm)	زمان (ماه)	بارندگی (mm)	زمان (ماه)	بارندگی (mm)	زمان (ماه)	بارندگی (mm)	زمان (ماه)
۵/۹	تیر	۱۹/۶	فروردین	۸/۲	دی	۲	مهر
۷/۷	مرداد	۲۰/۸	اردیبهشت	۱۲/۸	بهمن	۵/۶	آبان
۱/۹	شهریور	۴/۸	خرداد	۱۸/۲	اسفند	۷/۹	آذر

## ۲-۳- ژئومرفولوژی منطقه

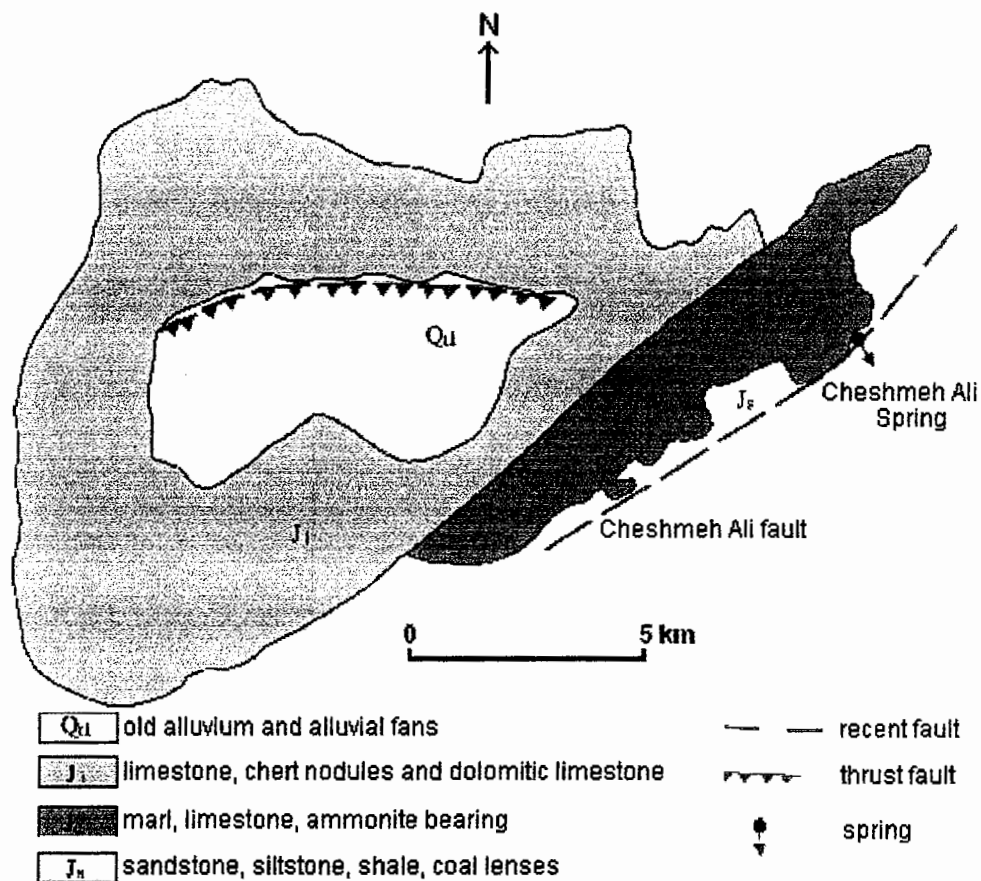
بخش اعظم حوضه آبگیر چشمه‌علی دامغان را کوه‌های نسبتاً مرتفعی تشکیل می‌دهد که در بسیاری از قسمت‌ها دارای شیب‌های بسیار تندی می‌باشند. بخش نسبتاً کوچکی از حوضه آبگیر چشمه از تپه ماهورهایی تشکیل شده است که اختلاف ارتفاع آنها نسبت به زمین‌های اطراف بین ۵۰ تا ۴۰۰ متر می‌باشد. چنین واحد ژئومرفولوژیکی عمدتاً در مجاورت چشمه (شمال و غرب چشمه) و به طور پراکنده در حاشیه واحد کوهستان واقع شده است. در کوه‌های منطقه پرتگاه‌های بزرگی وجود دارد که عمدتاً گسلی بوده و عمدتاً در یال جنوبی کوه‌ها قرار گرفته‌اند. این پدیده‌های ژئومرفولوژیکی بیانگر تکتونیک شدید در این منطقه می‌باشد.

در واحد کوهستان منطقه، مهم‌ترین رخساره‌های منطقه به ترتیب، رخساره توده سنگی با پوشش نهشته‌های منفصل کمتر از ۲۵ درصد و شیب بیشتر از ۲۵ درصد، رخساره برونزد سنگی با پوشش نهشته‌های منفصل بین ۲۵ تا ۷۵ درصد و شیب دامنه بین ۸ تا ۲۵ درصد، رخساره پوشیده از نهشته‌های منفصل با شیب بیشتر از ۲۵ درصد، و رخساره پوشیده از نهشته‌های منفصل با شیب بین ۸ تا ۲۵ درصد می‌باشد. در واحد تپه ماهوری منطقه رخساره غالب، رخساره پوشیده از نهشته‌های منفصل با شیب غالب بین ۸ تا ۲۵ درصد می‌باشد. دومین رخساره موجود در این واحد ژئومرفولوژیکی، رخساره برونزد سنگی با پوشش نهشته‌های منفصل بین ۲۵ تا ۷۵ درصد و با شیب بیشتر از ۲۵ درصد می‌باشد.

## ۲-۴- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون البرز شرقی است که در آن رخنمون‌هایی از واحدهای سنگی مزوزوئیک مشاهده می‌شود. قدیمی‌ترین واحد سنگی سازند شمشک است که همانند مقطع تیپ متشکل از شیل و ماسه سنگ با افق‌های زغالسنگی می‌باشد. این سازند با کنتاکت گسله توسط سازند دلیچای پوشیده می‌شود. سازند دلیچای از مارن‌ها و آهک‌های نازک لایه آمونیت‌دار تشکیل شده است. بر روی سازند دلیچای به طور هم‌شیب آهک‌های ضخیم لایه چرت‌دار لار قرار گرفته است. شکل ۲-۴ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

سازند با کنتاکت گسله توسط سازند دلیچای پوشیده می‌شود. سازند دلیچای از مارن‌ها و آهک‌های نازک لایه آمونیت‌دار تشکیل شده است. بر روی سازند دلیچای به طور هم‌شیب آهک‌های ضخیم لایه چرت‌دار لار قرار گرفته است. شکل ۲-۴ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

## ۲-۵- چینه‌شناسی منطقه

همانطور که در قبلاً گفته شد، در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان سازندهای شمشک، دلیچای و لار به ترتیب از قدیم به جدید رخنمون دارند. در این بخش به طور مختصر وضعیت چینه‌شناسی این سازندها ارائه می‌شود:



## الف - سازند شمشک

مقطع تیپ این سازند در بالای دره روته در قسمت شرقی معدن زغال سنگ شمشک اندازه گیری شده است.

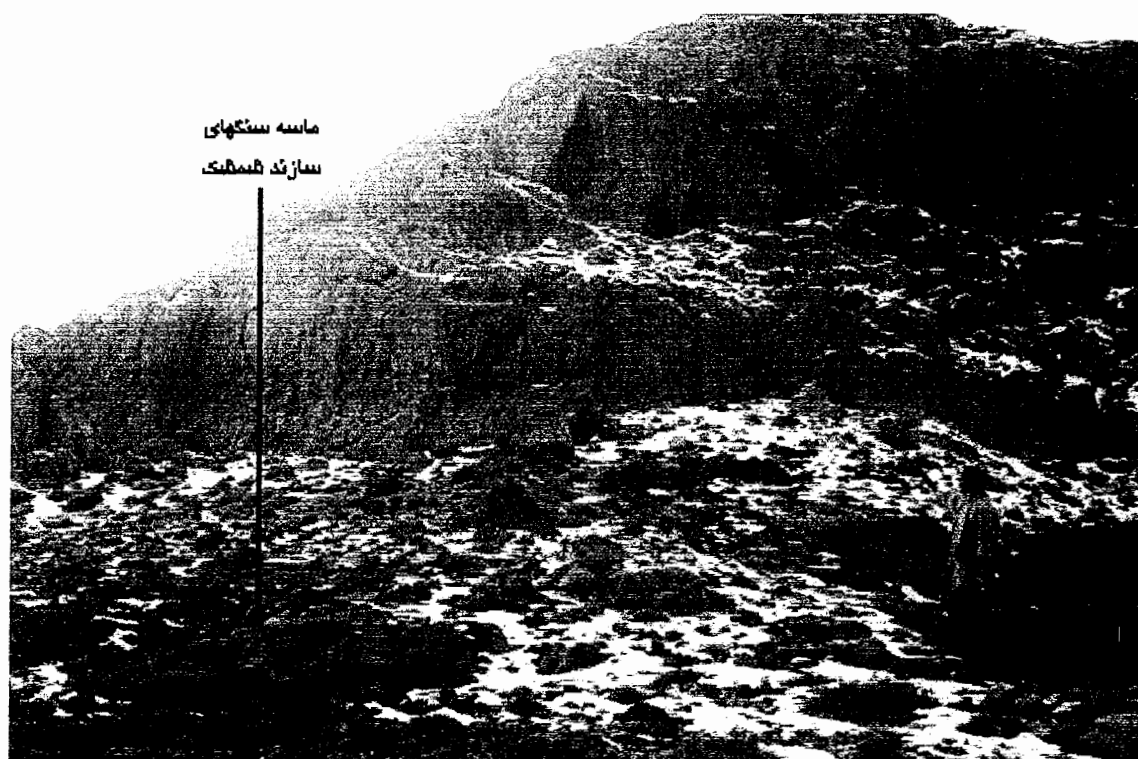
در این محل سازند شمشک از چهار بخش سنگی تشکیل شده است:

(۱) بخش ماسه سنگ زیرین (۲) بخش زغال دار زیرین (۳) بخش ماسه سنگ بالایی و (۴) بخش زغالدار

بالایی

سن سازند شمشک بر اساس فسیل های گیاهی و جانوری تریاس بالایی - لیاس می باشد و ضخامت آن ۱۰۲۷

متر است. شکل ۲-۵- رخنمون سازند شمشک در مجاورت تشکیلات آهکی لار را نشان می دهد.



شکل ۲-۵- رخنمون سازند شمشک در مجاورت تشکیلات آهکی لار

## ب - سازند دلیچای

مقطع تیپ این سازند در کناره شرقی رودخانه دلیچای که در مسیر جاده دماوند به فیروزکوه در مشرق

زیرین کوه قرار دارد. در این محل ضخامت سازند ۱۰۷ متر بوده و متشکل از آهکهای مارنی و ماسه های با

لایه‌بندی منظم و نازک به رنگ سبز خاکستری همراه با بین لایه‌ای‌های از شیل‌های مارنی است. بر اساس آمونیت‌های تشخیص داده شده، سن سازند دلیچای ژوراسیک میانی است. شکل ۲-۶ رخنمون سازند شمشک در بالادست چشمه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶- رخنمون سازند دلیچای در منطقه مورد مطالعه

### ج - سازند لار

مقطع تیپ این سازند در شمال شرقی گرمابدر در دره لار (غرب دماوند) واقع شده است. در این محل ضخامت این سازند ۲۵۰ الی ۳۵۰ متر است و شامل آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ خاکستری روشن و حاوی نودولها و باندهای سفید یا بنفش چرت‌دار است. آهکهای لار به طور هم شیب روی سازند

دلیچای قرار دارد. شکل ۲-۷ رخنمون سازند لار را در منطقه نشان می دهد.



شکل ۲-۷- رخنمون سازند لار در منطقه مورد مطالعه

## ۲-۶- زمین شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه در زون البرز شرقی واقع شده است و از نظر ساختاری از خصوصیات این زون تبعیت می کند. در این منطقه گسلهای زیادی، هم در حوضه آبگیر چشمه و هم در مجاورت دهانه خروجی چشمه، وجود دارد. از بین این گسلها، مهمترین آنها گسل چشمه علی است که دقیقاً از محل چشمه عبور می کند (شکل ۲-۴). این گسل دارای راستای غالب شمال شرق - جنوب غرب بوده و سازوکار غالب آن معکوس می باشد.



# فصل سوم: خصوصیات هیدروژئولوژیکی و

## هیدروژئوشیمیایی کارست

### ۳-۱- تعریف کارست

کارست عبارت است از گستره‌ای با مرفولوژی مشخص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ که از حلالیت بالای برخی از سنگها در آبهای طبیعی حاصل می‌شود. نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگهای کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه پیدا می‌کنند و علاوه بر این در روی دیگر سنگها که قابلیت انحلال دارند نیز ایجاد می‌شوند (مانند سنگ گچ و سنگ نمک). نواحی کارستی به وسیله مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها (Sinkholes)، دره‌های خشک و غارها مشخص می‌شوند (Jenning 1985, White 1988).

### ۳-۲- جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی

جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی از طریق خلل و فرج، و شکستگی‌ها، مجاری لوله مانند و دیگر مجاری بزرگ منتقل می‌شود. از آنجایی که شبکه انتقال‌دهنده آب معمولاً به طور یکنواختی توزیع نمی‌شوند، سفره‌های کارستی عموماً ناهمگن و ناهمسو هستند.

به طور کلی در داخل کارست دو نوع جریان آب زیرزمینی وجود دارد. نوع اول، جریانی است که از مجاری، درزه و شکافهای با بازشدگی نسبتاً زیاد (بزرگتر از یک سانتی‌متر) عبور می‌کند. این نوع جریان متلاطم است و به آن جریان مجرای (Conduit flow) گفته می‌شود (شکل ۱). این نوع جریان که همانند با جریان آب در سیستم‌های لوله‌ای (Pipe systems) می‌باشد در لایه‌های بالایی نواحی کارستی توسعه یافته رخ

کارستی انجام گرفته است. از اولین مطالعاتی که در این خصوص انجام شده است می‌توان به کار گرلز و گریس (Garrels and Christ, 1965) اشاره نمود که جریان آب زیرزمینی در سنگهای کربناته را به جریان باز و بسته تقسیم نمودند. در جریان‌های باز، به لحاظ میزان گاز دی‌اکسید کربن مورد نیاز جهت انحلال کربنات کلسیم محدودیتی وجود ندارد، در حالیکه در جریانهای بسته اینطور نیست. زولت (Zolt, 1960) و گامز (Gams, 1966) برای اولین بار تغییرات شیمیایی چشمه‌ها را به نوع جریان لایه آبدار زیرزمینی ارتباط دادند. وایت و اسمیت (White and Schmidt, 1966) و وایت (White, 1966) بر اساس رفتار چشمه‌ها، جریانهای کارستی را به دو نوع مجرائی (Conduit) و افشان (Diffuse) تقسیم نمودند. شاستر و وایت (Shuster and White, 1971) تغییرات درجه حرارت، هدایت الکتریکی، یونهای کلسیم و منیزیم، بی‌کربنات، و همچنین بده را یکسال اندازه‌گیری کرده و سپس تغییرات فصلی را مورد بررسی قرار داده و چشمه‌های منطقه مورد مطالعه را بر اساس زمین‌شناسی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جریان، پستی و بلندی، وجود یا عدم وجود فرو چاله (Sinkhole)، غار و سایر پدیده‌های ژئومرفولوژیکی کارست به جریان‌های مجرائی و افشان تقسیم نموده‌اند. این محققین پس از بررسی تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده دو پارامتر درجه حرارت و سختی کل را مناسب‌ترین معیار برای تقسیم‌بندی لایه آبدار کارستی تشخیص داده‌اند و برای مقایسه این دو پارامتر در انواع مختلف لایه های آبدار کارستی از ضریب تغییرات (Coefficient of Variations) این پارامترها استفاده کرده‌اند (ضریب تغییرات از تقسیم انحراف معیار داده‌ها به میانگین آنها بدست می‌آید).

### ۳-۴- مطالعات انجام شده در منطقه

تا کنون مطالعه هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی جامعی در مورد چشمه علی دامغان و حوضه آبرگیر آن صورت نگرفته است. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده، تنها مطالعه جامع هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی انجام شده در منطقه عبارت از "مطالعات هیدروشیمی حوضه سمنان و دامغان با استفاده از دستگاه کامپی باکس" می باشد که به وسیله مرکز پژوهش ها و مطالعات کاربردی کارست کشور انجام شده است. در بخشی از این مطالعه جامع که به محدوده ای نزدیک به منطقه مورد مطالعه مربوط می شود

در دو چاه اکتشافی (چاه شماره ۲ شورتنگه دامغان و چاه اکتشافی کلاته دامغان) تغییرات دمای آب، هدایت الکتریکی و اسیدیته آب در اعماق مختلف اندازه گیری شده است. تغییرات قابل توجه مشاهده شده در این اندازه گیری ها مربوط به هدایت الکتریکی می باشد که در هر دو چاه با عمق افزایش یافته است. این مشاهدات با افزایش زمان ماندگاری آب در اعماق بیشتر لایه آبدار در مقایسه با اعماق کمتر که باعث بالا رفتن املاح محلول در آب می شود و این امر به نوبه خود باعث افزایش مقدار هدایت الکتریکی آب می شود کاملاً همخوانی دارد.

## فصل چهارم: روش انجام مطالعات

به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان، پارامترهای دبی، اسیدیته (PH)، دی‌اکسیدکربن محلول، درجه حرارت و هدایت الکتریکی در محل و یونهای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلر، سولفات و نیترات در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. علاوه بر این خصوصیات سیستم ورودی در حوضه آبخیز چشمه با استفاده از مطالعات صحرایی و عکس‌های هوایی مورد مطالعه قرار گرفته است.

برای کسب نتایج دقیق و قابل اعتماد نمونه‌برداری در دهانه خروجی چشمه انجام شده است و ظروف نمونه‌برداری و درپوش‌های مربوطه حداقل سه مرتبه با آب چشمه شسته شده‌اند. علاوه بر این نمونه‌های برداشته شده سریعاً به آزمایشگاه منتقل شده و حداکثر تا ۴۸ ساعت بعد از نمونه‌برداری، کلیه آزمایش‌ها انجام شده است.

### ۴-۱- اندازه‌گیری دبی

منظور از دبی حجم جریانی از آب است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور کند. اگر سرعت متوسط جریان  $v$  و سطح مقطع عمود بر جریان  $A$  باشد، مقدار دبی به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q=A.v \quad (4-1)$$

برای اندازه‌گیری سرعت جریان از دستگاه مولینه (سرعت‌سنج) استفاده شده است و سطح مقطع عمود بر جریان با استفاده از روش دوزنقه‌ای برآورد شده است. مولینه‌ای که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته

است، مولینه آوت ساخت شرکت آذر آشنا آب می‌باشد و فرمول محاسبه سرعت برای این مولینه به صورت ذیل است:

$$v = 0.24121 * N + 0.0115414 \quad (4-2)$$
$$0.383469 < N < 10.8481$$

$$v = 0.27600 * N - 0.365871 \quad (4-3)$$
$$10.8481 < N < 11.8933$$

N = تعداد دور گردش پروانه در ثانیه

v = سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه

از آنجایی که آب خروجی از این چشمه از نقاط متعددی به سطح زمین راه پیدا می‌کند، اندازه‌گیری دبی در محل خروجی امکان‌پذیر نمی‌باشد و این کار در حدود صد متری مظهر چشمه انجام شده است. در این محل یک اشل توسط اداره آب دامغان نصب شده است که به نظر می‌رسد بسترسازی محل و نصب اشل به طور مناسبی انجام نشده است، علاوه بر این به نظر می‌رسد نصب اشل در این محل که بعد از یک استخر بزرگ تعبیه شده، دقت مناسبی ندارد.

#### ۴-۲- اندازه‌گیری اسیدیته

مقدار اسیدیته به عنوان یکی از خصوصیات آب در تجزیه و تحلیل داده‌ها مفید می‌باشد. اسیدیته آب چشمه در مظهر آن به وسیله PH متر Suntex مدل SP-701 ساخت تایوان اندازه‌گیری شده است.

#### ۴-۳- اندازه‌گیری درجه حرارت

اندازه‌گیری درجه حرارت برای تعیین نوع جریان در سفره‌های کاستی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای اندازه‌گیری درجه حرارت از دماسنج الکلی که دقت آن برابر با ۱/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد استفاده شده است.

## ۴-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب به لحاظ رابطه مستقیم و خطی آن با کل املاح جامد حل شده در آب، یکی از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب می‌باشد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب چشمه از دستگاه هدایت سنج (Conductivity-meter) شرکت HACH آمریکا مدل 50150 که دقت آن برابر با ۱ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد اندازه‌گیری شده است.

## ۴-۵- اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن

برای اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن محلول در آب از روش تیتراسیون با استفاده از سود با نرمالیت ۰/۰۲۲۷ و معرف فنل فتالین استفاده شده است. به این ترتیب که ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب چشمه در داخل بشر ۲۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و ۵ الی ۱۰ قطره معرف فنل فتالین به آن اضافه می‌شود. سپس همزمان با تکان دادن بشر آنقدر به نمونه سود اضافه می‌شود تا رنگ محلول پوست پیازی شود و این رنگ تا نیم دقیقه پایدار بماند. در صورتیکه آب چشمه فقط با اضافه کردن معرف به رنگ قرمز کم‌رنگ درآمد (قبل از اضافه کردن سود)، نشانگر عدم وجود دی‌اکسید کربن محلول در آب است. برای محاسبه مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$CO_2 = \frac{A \times N \times 44000}{V_w} \quad (4-4)$$

که در رابطه فوق مقدار سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر، N نرمالیت سود، و  $V_w$  حجم آب مورد آزمایش می‌باشد (Merk 1970).

## ۴-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

با انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مقدار کاتیونها (شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، و پتاسیم) و آنیونها (شامل بیکربنات، کلر، سولفات، و نترات) اندازه‌گیری شده اند کاتیونهای کلسیم، منیزیم و پتاسیم و هم‌چنین

تمام آنیونهای (سولفات، نیترات، کربنات، بی‌کربنات و کلر)، با دستگاه نوریسنج مدل ۷۰۰۰ اندازه‌گیری شده‌اند و کاتیون سدیم با دستگاه نوریسنج شعله‌ای اندازه‌گیری شده است.

## فصل پنجم: تجزیه و تحلیل

### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه

به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه، تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده و همچنین مقادیر پارامترهای محاسبه شده به طور مختصر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

#### ۵-۱ - تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده

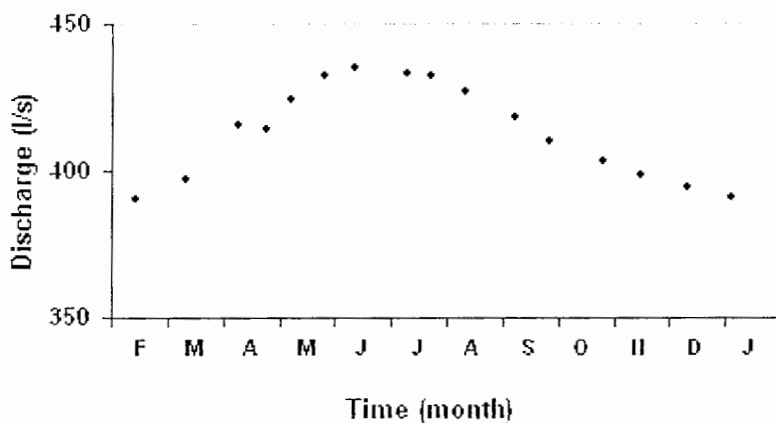
پارامترهایی که در محل چشمه و در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند عبارتند از دبی، هدایت الکتریکی، درجه حرارت آب، اسیدیته، دی‌اکسیدکربن محلول و غلظت کاتیونها و آنیونهای اصلی. مقادیر پارامترهای مذکور و همچنین میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامترها در جداول ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳ ارائه شده است. تغییرات زمانی این پارامترها به طور مختصر ارائه خواهد شد:

#### الف - تغییرات زمانی دبی چشمه

تغییرات زمانی دبی چشمه (هیدروگراف چشمه) در دوره مورد مطالعه ترسیم شده است (شکل ۵-۱). با توجه به شکل ۵-۱ ملاحظه می‌شود که دبی چشمه در اواخر زمستان و در طول بهار به مقدار اندکی افزایش پیدا می‌کند و یک اوج مسطح را نشان می‌دهد. در حقیقت تغییرات دبی بسیار ناچیز است و افزایش دبی در شاخه صعودی هیدروگراف و کاهش آن در شاخه نزولی هیدروگراف بسیار تدریجی است. چنین هیدروگرافی بیانگر تخلیه تدریجی سفره آب زیرزمینی می‌باشد و این رفتار به شکل حوضه آب زیرزمینی و نوع سیستم



غالب کارستی مربوط می‌شود. لازم به ذکر است که به دلیل تغییرات بسیار ناچیز دبی چشمه، هیدروگراف چشمه با داده‌های ماهانه ترسیم شده است.



شکل ۵-۱- هیدروگراف چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

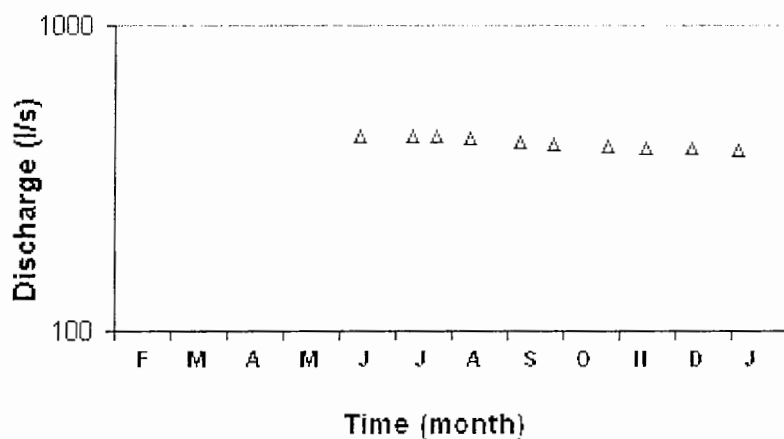
به منظور بررسی کمی تخلیه آب و همچنین برآورد ضریب یا ضرایب دبی چشمه، منحنی فرود چشمه با استفاده از داده‌های مربوط به هیدروگراف چشمه تهیه شده است (شکل ۵-۲). منحنی فرود چشمه از دبی حداکثر پایان دوره تر آغاز شده و تا زمان افزایش مجدد دبی در شروع دوره تر بعدی ادامه می‌یابد و در این مدت دبی چشمه از آبهای ذخیره شده در سفره آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. این منحنی به صورت نیمه لگاریتمی است به این ترتیب که دبی در روی محور عمودی که لگاریتمی است در مقابل زمان ترسیم می‌شود که روند داده‌ها به صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته ایجاد شده به عنوان ضریب یا ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شوند. ضریب دبی از رابطه زیر بدست می‌آید (Milanovic, 1976, 1981):

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343(t - t_0)} \quad (5-1)$$

که در این رابطه،  $\alpha$  ضریب دبی،  $Q_0$  و  $Q_t$  دبی‌های چشمه بر حسب مترمکعب بر ثانیه به ترتیب در زمانهای  $t_0$  و  $t_1$  می‌باشد.

ضریب دبی میزان توانایی سفره آب زیرزمینی در ذخیره‌سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی می‌باشد. در سفره‌های کارستی توسعه یافته، منحنی فرود چشمه عمدتاً از سه رژیم با ضرایب بده متفاوت تشکیل می‌شود. در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد و در این حالت جریان متلاطم غالب است و حجم زیادی از آب از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود. در رژیم دوم، تأمین آب چشمه از طریق شکافهای مرتبط که به طور نسبتاً کمتری کارستی شده‌اند، صورت می‌گیرد. در رژیم سوم، آب چشمه از داخل خلل و فرج ریزتر و درزه و شکافهای با بازشدگی اندک تخلیه می‌شود.

با توجه به شکل ۵-۲ ملاحظه می‌شود که منحنی فرود چشمه اساساً دارای یک شیب است و این شیب بسیار اندک بوده و برابر با  $5.2 \times 10^{-4}$  می‌باشد. چنین ضریب بده‌ای بیانگر تخلیه تدریجی آب زیرزمینی است که از طریق خلل و فرج به هم پیوسته، مجاری کوچک و درزه و شکافهای با بازشدگی کم صورت می‌گیرد.

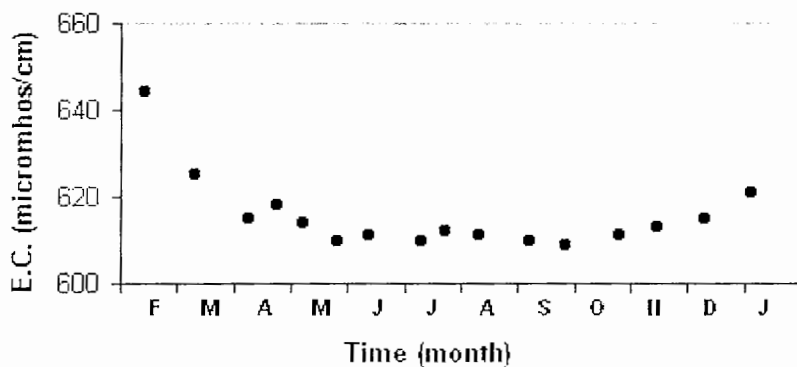


شکل ۵-۲- منحنی فرود چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

## ب - تغییرات زمانی هدایت الکتریکی

همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، هدایت الکتریکی آب چشمه در مظهر چشمه اندازه‌گیری شده است و داده‌های حاصله در مقابل زمان ترسیم شده‌اند (شکل ۵-۳). هنگامی 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 باعث کاهش انحلال مواد تشکیل‌دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق‌الذکر بر عکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب چشمه افزایش پیدا می‌کند.



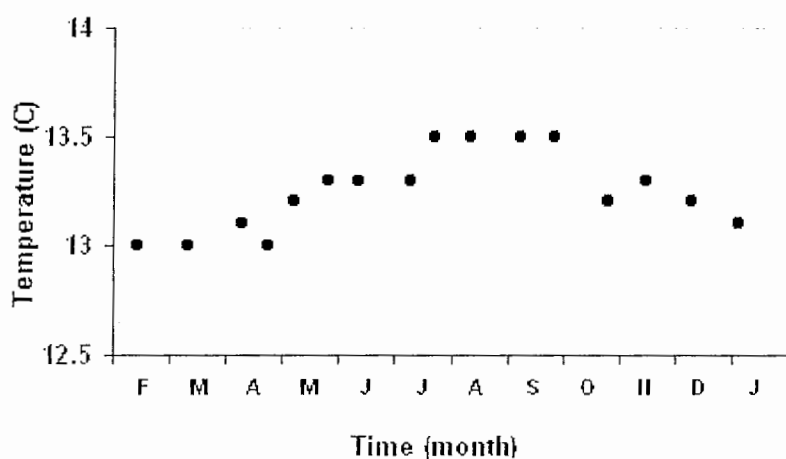
شکل ۳-۵- تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

با توجه به شکل ۳-۵، ملاحظه می‌شود که تغییرات هدایت الکتریکی چشمه علی با تغییرات دبی جریان (شکل ۱-۵) تقریباً رابطه معکوسی را نشان می‌دهد که این رفتار با مطالب فوق‌الذکر کاملاً همخوانی دارد. به منظور بررسی مقدار تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه علی دامغان، میانگین، انحراف از معیار و نهایتاً ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند (جدول ۱-۵). با توجه به نتایج مندرج در جدول ۱-۵ ملاحظه می‌شود که میانگین و انحراف از معیار مقادیر هدایت الکتریکی آب چشمه به ترتیب ۶۱۵/۵۶ و ۸/۷۷ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد و ضریب تغییرات آن ۱/۴۲ درصد است. با مقایسه این ضریب تغییرات و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۱۰ و بالاتر از ۱۰ می‌باشد، ملاحظه می‌شود که در این چشمه سیستم مجاری و خلل و فرج هدایت‌کننده آب کاملاً از نوع افشان می‌باشد.

### ج - تغییرات زمانی درجه حرارت آب

درجه حرارت چشمه با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در مظهر چشمه اندازه‌گیری شده است (جدول ۱-۵). داده‌های مشاهده شده مربوط به درجه حرارت بیانگر تغییرات بسیار ناچیزی هستند (شکل ۴-۵). ضریب

تغییرات درجه حرارت در چشمه‌هایی که سیستم تغذیه‌کننده چشمه از نوع افشان است بسیار اندک می‌باشد و تقریباً در تمام موارد از ۵ درصد کمتر می‌باشد در حالیکه ضریب تغییرات درجه حرارت برای چشمه‌های مجرای معمولاً بزرگتر از ۵ درصد است. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵-۱ ملاحظه می‌شود که میانگین و انحراف از معیار مقادیر درجه حرارت آب چشمه به ترتیب ۱۳/۲۵ و ۰/۱۸ درجه سانتیگراد می‌باشد و ضریب تغییرات آن ۱/۳۸ درصد است. با مقایسه این ضریب تغییرات و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۵ و بالاتر از ۵ می‌باشد، ملاحظه می‌شود که در این چشمه سیستم مجاری و خلل و فرج هدایت‌کننده آب کاملاً از نوع افشان می‌باشد.



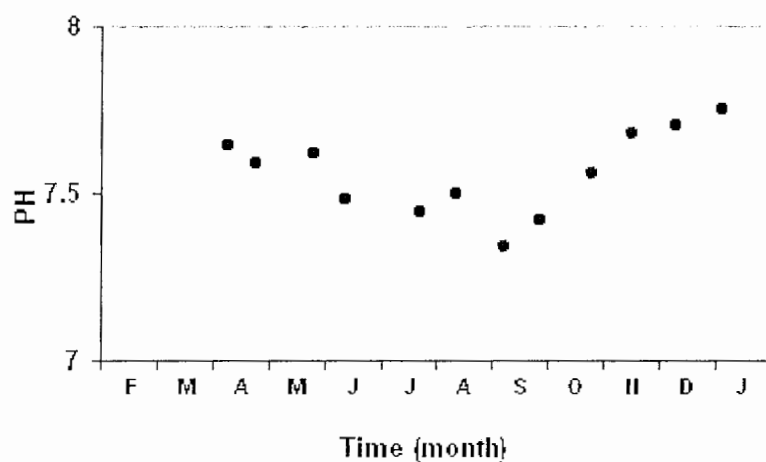
شکل ۴-۵- تغییرات درجه حرارت آب چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

## ۵- PH آب

مقدار PH آب به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و هم‌چنین درجه حرارت آب وابسته است. به این ترتیب که هرچه مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب افزایش یابد، مقدار PH کمتر می‌شود. با افزایش مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات، مقدار PH نیز افزایش می‌یابد و با افزایش مقدار درجه حرارت مقدار PH کم می‌شود.

مقدار PH آب چشمه در مظهر چشمه اندازه‌گیری شده است و داده‌های حاصله در جدول ۵-۱ درج شده‌اند. به منظور ارزیابی کمی تغییرات PH، مقادیر میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات داده‌های PH محاسبه شده‌اند (جدول ۵-۱). با توجه به جدول مذکور ملاحظه می‌شود که مقدار میانگین و انحراف از معیار

این پارامتر به ترتیب برابر با ۷/۵۶ و ۰/۱۳ می‌باشد و مقدار ضریب تغییرات آن برابر با ۱/۶۶ درصد است. با مقایسه ضریب تغییرات PH در آب چشمه‌علی دامغان با ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۵ درصد و بزرگتر از ۵ درصد می‌باشند ملاحظه می‌شود که در چشمه‌علی دامغان سیستم جریان غالب از نوع افشان می‌باشد. شکل ۵-۵، تغییرات زمانی PH را در آب چشمه‌علی دامغان نشان می‌دهد.

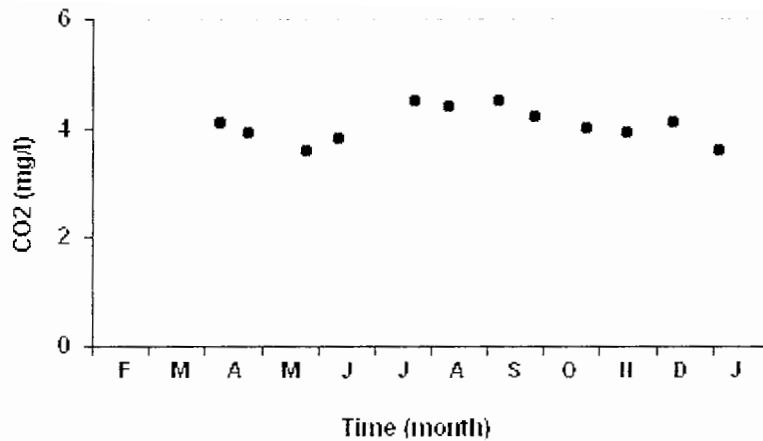


شکل ۵-۵- تغییرات اسیدیته آب چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

## ۵ - تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن محلول

یکی از عوامل مهم در توسعه کارست، میزان دی‌اکسید کربن محلول در آب بارندگی و یا هوایی خاک است. منشأ این گاز، اتمسفر زمین و یا هوای خاک است. مقدار فشار جزئی دی‌اکسید کربن در هوای خاک به مراتب بیشتر از مقدار آن در اتمسفر می‌باشد. ضریب تغییرات این پارامتر در سیستم‌های کارستی نوع افشان کمتر از ۵ درصد و در سیستم‌های کارستی مجرای بزرگتر از ۵ درصد است.

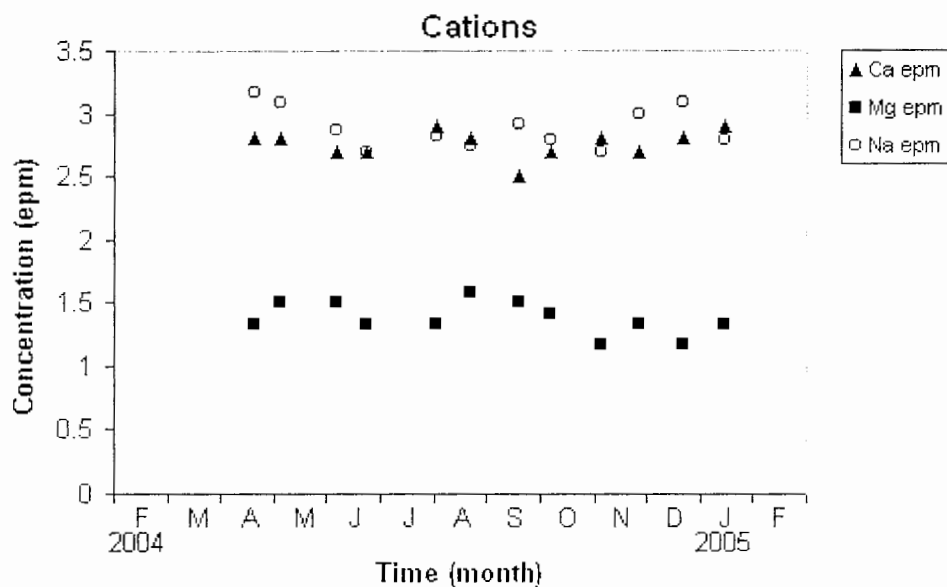
مقادیر دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌علی در محل چشمه به وسیله تیتراسیون آب با محلول سود اندازه‌گیری شده است و داده‌های حاصله در جدول ۵-۱ ارائه شده‌اند. همانطور که جدول ۵-۱ نشان می‌دهد ضریب تغییرات این پارامتر حدود ۷/۷ درصد است که بیانگر غالب بودن جریان افشان در سفره آب زیرزمینی این چشمه است. شکل ۶-۵ تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد.



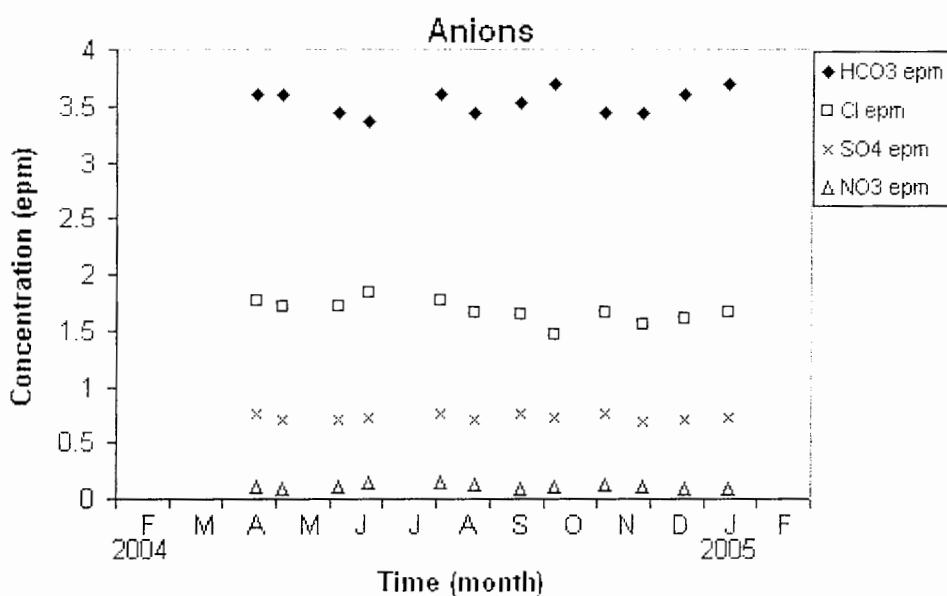
شکل ۵-۶- تغییرات دی اکسید کربن محلول در آب چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

### و - تغییرات زمانی کاتیونها و آنیونهای اصلی

مقادیر کاتیونها و آنیونهای اصلی که از آنالیز نمونه‌های آب چشمه علی در آزمایشگاه بدست آمده‌اند در جداول ۲-۵ و ۳-۵ (به ترتیب بر حسب میلی گرم در لیتر و میلی اکیوالان در لیتر) ارائه شده‌اند. همانطور که جدول ۲-۵ نشان می‌دهد میزان تغییرات تمام کاتیونها و آنیونها (به استثنای آنیون نیترات) بسیار اندک می‌باشند و این نتایج با نتایج مربوط به دیگر پارامترها کاملاً همخوانی دارد. در خصوص آنیون نیترات که اندکی تغییرات آن در مقایسه با ضریب تغییرات دیگر کاتیونها و آنیونها بالاتر است، علت از این قرار است که مقدار (بزرگی) این آنیون اندک است و اندکی خطای اندازه‌گیری باعث ایجاد تغییرات نسبتاً زیاد می‌شود. در هر حال با مقایسه ضریب تغییرات بدست آمده برای این آنیون و ضریب تغییرات آن در سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۲۰ و بالاتر از ۲۰ درصد است، ملاحظه می‌شود که این ضریب تغییرات نیز بیانگر غالب بودن سیستم کارستی افشان است. شکل‌های ۷-۵ و ۸-۵ به ترتیب تغییرات زمانی کاتیونها و آنیونها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۷- تغییرات زمانی کاتیونهای اصلی آب چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

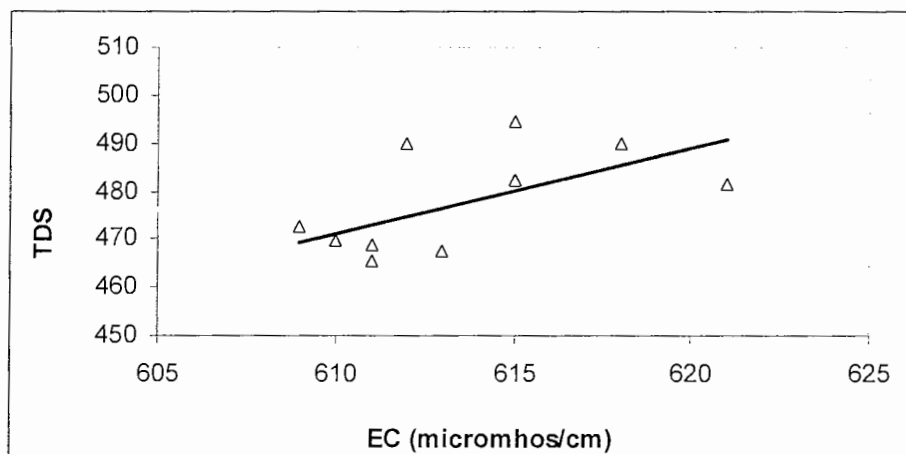


شکل ۵-۸- تغییرات زمانی آنیونهای اصلی آب چشمه علی از بهمن ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۳

## ۲-۵- تجزیه و تحلیل مقادیر پارامترهای محاسبه شده

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده پارامترهای نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (Total Hardness)، درصد سدیم (%Na) و درصد جذب سدیم (SAR)

دامغان می‌باشد. به منظور بررسی رابطه کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی، مقادیر این دو پارامتر در یک دستگاه مختصات خطی ترسیم شده است (شکل ۵-۹). همانطور که شکل ۵-۹ نشان می‌دهد رابطه کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی رابطه خطی است و معادله این خط به صورت زیر می‌باشد.



شکل ۵-۹- رابطه کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی در چشمه علی دامغان

### ج - سختی کل

سختی آب به غلظت یونهای کلسیم و منیزیم وابسته می‌باشد و معمولاً واحد آن میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. سختی آب به دو گروه تقسیم می‌شود، سختی کربناته و سختی غیر کربناته. سختی کربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و منیزیم است که با آنیونهای کربنات و بی‌کربنات ترکیب می‌شوند. سختی غیر کربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و منیزیم می‌شود که با آنیونهایی غیر از کربنات و بی‌کربنات ترکیب شده‌اند (برای مثال آنیون سولفات). در مطالعه سختی آب معمولاً این دو نوع سختی (سختی کربناته و سختی غیر کربناته) از هم تفکیک نمی‌شوند و به صورت مجموع محاسبه می‌شوند که به آن سختی کل گفته می‌شود. برای محاسبه سختی کل بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم از رابطه زیر استفاده می‌شود:

با توجه به مقادیر سختی کل نمونه‌های آب چشمه علی (جدول ۵-۴)، ملاحظه می‌شود که مقدار این پارامتر بین ۱۹۰/۷ و ۲۱۹/۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم متغیر می‌باشد که میانگین آنها برابر با ۲۰۴/۷۶ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. مقادیر انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامتر به ترتیب برابر با ۸/۷۸ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و ۴/۲۹ درصد می‌باشد.



بر اساس مقدار سختی کل آبها به ۴ گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند (Todd 1980):

گروه ۱- آبهای نرم که سختی کل آنها کمتر از ۷۵ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم است.

گروه ۲- آبهای نسبتاً سخت که سختی کل آنها بین ۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد.

گروه ۳- آبهای سخت که سختی کل آنها بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد.

گروه ۴- آبهای خیلی سخت که سختی کل آنها بزرگتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم است.

با توجه به میانگین سختی نمونه‌های آب چشمه‌علی دامغان که برابر با ۲۰۴/۷۶ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم است ملاحظه می‌شود که آب این چشمه در زمره آبهای سخت قرار می‌گیرد.

#### د - درصد سدیم و نسبت جذب سدیم

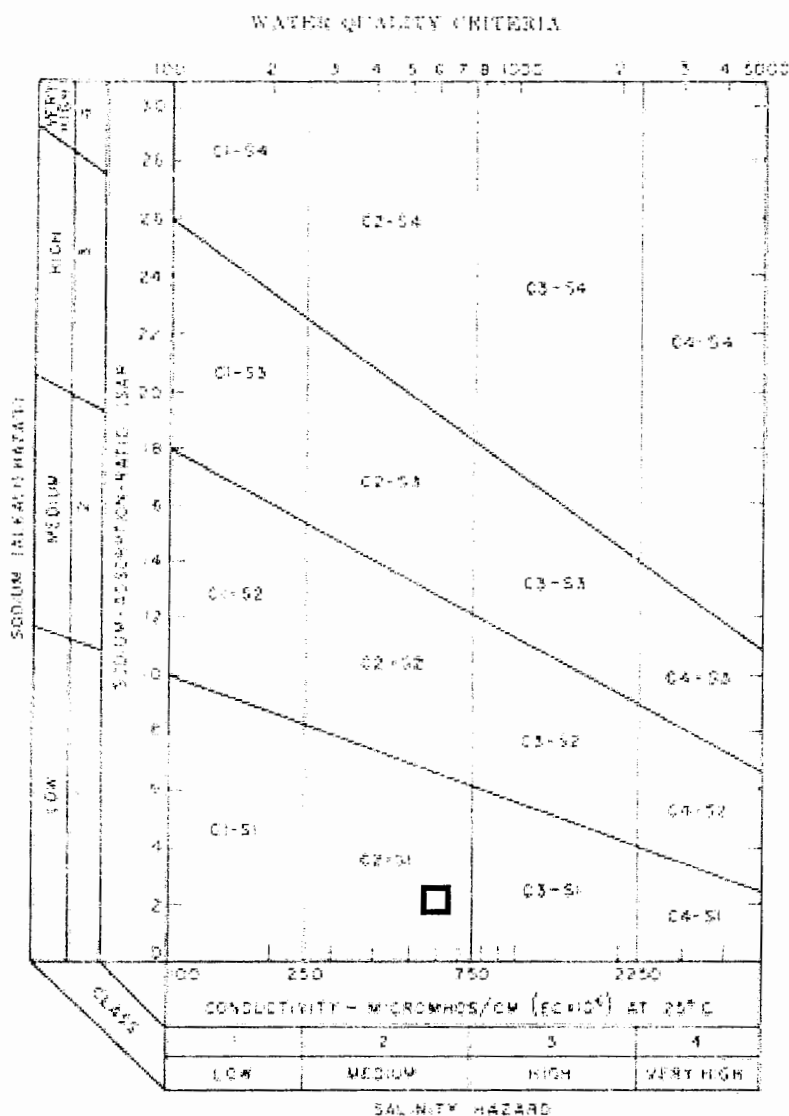
سدیم یکی از یونهای است که به لحاظ کیفیت آب آبیاری بسیار حائز اهمیت است. اهمیت سدیم به دو دلیل است. دلیل اول نقش مسمومیت‌زایی است که این کاتیون بر روی گیاهان ایجاد می‌کند و این مسئله باعث ایجاد اختلال در متابولیسم گیاهی می‌شود. دلیل سوم تأثیری است که کاتیون سدیم بر روی خصوصیات فیزیکی خاک ایجاد می‌کند. اگر غلظت سدیم زیاد باشد، خواص فیزیکی خاک از قبیل نفوذپذیری، زهکشی و تهویه خاک به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کنند که این تغییرات بر روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند. به منظور بیان مقدار سدیم در آب آبیاری از دو پارامتر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم استفاده می‌شود که نحوه محاسبه آنها به صورت زیر می‌باشد:

$$\%Na = \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K} \times 100 \quad (5-2)$$

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} \quad (5-3)$$

میانگین مقدار درصد سدیم و نسبت جذب سدیم برای نمونه‌های آب چشمه‌علی در دوره آماری یکساله به ترتیب برابر با ۴۱/۱۱ و ۲/۰۲ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که این دو پارامتر نسبتاً کم هستند و مقادیر انحراف از معیار و ضریب تغییرات درصد سدیم به ترتیب ۱/۶۲ و ۳/۹۵ درصد و برای نسبت جذب سدیم به

ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۶/۰۳ درصد می‌باشند. تمام این پارامترهای آماری بیانگر اندک بودن درجه تغییرات این پارامترها می‌باشند. به منظور تعیین کلاس آب آبیاری در طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری آمریکا از نمودار استفاده شده است. شکل ۵-۱۰ جایگاه آب چشمه‌علی را در نمودار نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که آب این چشمه به لحاظ آبیاری کلاس  $S_1C_2$  (خطر سدیم کم و خطر شوری متوسط) می‌باشد که بیانگر کیفیت بسیار مناسب آب این چشمه برای مصارف آبیاری را بیان می‌کند.



شکل ۵-۱۰- جایگاه آب چشمه‌علی دامغان در نمودار طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری

جدول ۵-۱- میانگین، انحراف معیار، وضرب تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شده در محل چشمه

Date	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	EC (Micromhos/cm)	Temperature (°C)	PH	CO2
1382/11/24	390	644	13.0	-	-
1382/12/21	397	625	13.0	-	-
1383/01/20	415	615	13.1	7.64	4.1
1383/02/04	414	618	13.0	7.59	3.9
1383/02/18	424	614	13.2	-	-
1383/03/05	432	610	13.3	7.62	3.6
1383/03/22	435	611	13.3	7.48	3.8
1383/04/19	433	610	13.3	-	-
1383/05/01	432	612	13.5	7.44	4.5
1383/05/20	427	611	13.5	7.50	4.4
1383/06/16	418	610	13.5	7.34	4.5
1383/07/04	410	609	13.5	7.42	4.2
1383/08/03	403	611	13.2	7.56	4.0
1383/08/24	398	613	13.3	7.68	3.9
1383/09/19	394	615	13.2	7.70	4.1
1383/10/14	391	621	13.1	7.75	3.6
<b>Mean</b>	<i>413.31</i>	<i>615.56</i>	<i>13.25</i>	<i>7.56</i>	<i>4.05</i>
<b>St.Dev.</b>	<i>16.16</i>	<i>8.77</i>	<i>0.18</i>	<i>0.13</i>	<i>0.31</i>
<b>C.V. (%)</b>	<i>3.91</i>	<i>1.42</i>	<i>1.38</i>	<i>1.66</i>	<i>7.70</i>

جدول ۵-۲- غلظت کاتیونها و آنیونهای اصلی بر حسب ppm

Date	Ion Concentration (ppm)							
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
1383/01/20	220	36	63	7.2	20	56	16	73
1383/02/04	220	34	61	6.0	20	56	18	71
1383/03/05	210	34	61	6.2	15	54	18	66
1383/03/22	205	35	65	8.4	10	54	16	62
1383/05/01	220	36	63	9.2	10	58	16	65
1383/05/20	210	34	59	7.6	10	56	19	63
1383/06/16	215	36	58	6.0	15	50	18	67
1383/07/04	225	35	52	6.4	15	54	17	64
1383/08/03	210	36	59	7.6	10	56	14	62
1383/08/24	210	33	55	6.4	10	54	16	69
1383/09/19	220	34	57	6.1	20	56	14	71
1383/10/14	225	35	59	6.0	10	58	16	64

جدول ۵-۳- غلظت، میانگین، انحراف معیار، وضرب تغییرات کاتیونها و آنیونهای اصلی

Date	Ion Concentration (epm)								
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	% Error
1383/01/20	3.61	0.75	1.77	0.116	0.67	2.8	1.33	3.17	5.5
1383/02/04	3.61	0.71	1.72	0.096	0.67	2.8	1.50	3.09	8.3
1383/03/05	3.44	0.71	1.72	0.100	0.57	2.7	1.50	2.87	7.8
1383/03/22	3.36	0.73	1.83	0.135	0.50	2.7	1.33	2.69	2.6
1383/05/01	3.61	0.75	1.77	0.148	0.57	2.9	1.33	2.83	3.1
1383/05/20	3.44	0.71	1.66	0.122	0.50	2.8	1.58	2.74	10.1
1383/06/16	3.52	0.75	1.63	0.096	0.50	2.5	1.50	2.91	6.1
1383/07/04	3.69	0.73	1.46	0.103	0.50	2.7	1.42	2.78	6.2
1383/08/03	3.44	0.75	1.66	0.123	0.57	2.8	1.17	2.69	1.8
1383/08/24	3.44	0.69	1.55	0.103	0.50	2.7	1.33	3.00	11.3
1383/09/19	3.61	0.71	1.61	0.098	0.67	2.8	1.17	3.09	5.4
1383/10/14	3.69	0.73	1.66	0.097	0.50	2.9	1.33	2.78	4.9
<b>Mean</b>	<i>3.54</i>	<i>0.73</i>	<i>1.67</i>	<i>0.11</i>	<i>0.56</i>	<i>2.76</i>	<i>1.38</i>	<i>2.89</i>	<i>6.1</i>
<b>St. Dev.</b>	<i>0.11</i>	<i>0.02</i>	<i>0.10</i>	<i>0.02</i>	<i>0.07</i>	<i>0.11</i>	<i>0.13</i>	<i>0.16</i>	<i>2.9</i>
<b>C.V. (%)</b>	<i>3.10</i>	<i>2.96</i>	<i>6.11</i>	<i>15.49</i>	<i>12.76</i>	<i>3.93</i>	<i>9.50</i>	<i>5.69</i>	<i>47.7</i>

جدول ۴-۵- میانگین، انحراف معیار، و ضریب تغییرات پارامترهای محاسبه شده

Date	Ca/Mg	TDS	Total Hardness	%Na	SAR
1383/01/20	2.1	496.4	206.6	43.4	2.2
1383/02/04	1.9	489.9	214.9	41.8	2.1
1383/03/05	1.8	469.8	199.9	40.6	2.0
1383/03/22	2.0	465.6	195.8	40.1	1.9
1383/05/01	2.2	489.9	211.6	40.0	1.9
1383/05/20	1.8	468.8	219.0	38.5	1.9
1383/06/16	1.7	469.6	199.9	42.1	2.1
1383/07/04	1.9	472.6	190.72	40.3	1.9
1383/08/03	2.4	465.6	198.2	40.5	1.9
1383/08/24	2.0	462.3	210.8	42.7	2.1
1383/09/19	2.4	482.2	198.2	43.8	2.2
1383/10/14	2.2	481.6	211.6	39.7	1.9
<b>Mean</b>	<i>2.03</i>	<i>472.88</i>	<i>204.80</i>	<i>41.11</i>	<i>2.01</i>
<b>St. Dev.</b>	<i>0.24</i>	<i>13.22</i>	<i>8.78</i>	<i>1.62</i>	<i>0.12</i>
<b>C.V.</b>	<i>11.68</i>	<i>2.79</i>	<i>4.29</i>	<i>3.95</i>	<i>0.03</i>

# فصل ششم: خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی چشمه‌علی

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی حوضه آبخیز و خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره کارستی چشمه‌علی دامغان، با انجام بازدیدهای صحرایی مواردی از قبیل درجه انحلال آهک‌ها، خاکهای کارستی و مکانیزم نفوذ آب به داخل کارست، و وضعیت هیدروژئولوژیکی سفره کارستی این چشمه مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۶-۱- درجه انحلال آهک‌ها

انحلال سنگ‌های کربناته (اعم از آهکی و دولومیتی) علت اصلی پدیده کارستی شدن آنها در سطح و در زیر سطح زمین می‌باشد. در مورد سنگهای آهکی، واکنش انحلال آنها را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

اجزای سیستم فوق شامل یونهای بی‌کربنات، کربنات، کلسیم، هیدروژن و اسید کربنیک می‌باشد. فراوانی این اجزاء به PH آب بستگی دارد. در آبهای کارستی PH در محدوده ۷ تا ۸/۵ متغیر است و به همین دلیل یون بی‌کربنات در این سیستم به صورت غالب وجود دارد و یونهای کربنات و اسید کربنیک در آن بسیار اندک است (Drever, 1988). عوامل زیادی بر انحلال سنگهای کربناته و به عبارت دیگر توسعه پدیده کارست تأثیر می‌گذارند. بارش، درجه حرارت، فشار جزئی دی‌اکسیدکربن، پستی و بلندی، تکتونیک، لیتولوژی و چینه‌شناسی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توسعه کارست هستند.

شواهد مختلف در حوضه آبخیز چشمه‌علی دامغان بیانگر درجه کارستی شدن نسبتاً کم آهک‌های چشمه علی می‌باشد. مهم‌ترین این شواهد عدم وجود گودی‌های مسدود، فروچاله و شکستگی‌ها و حفرات انحلالی بزرگ در حوضه آبخیز چشمه می‌باشد. علاوه بر این درزه‌ها و شکستگی‌های انحلالی موجود در حوضه آبخیز چشمه در مسیر یا مسیرهای خاصی متمرکز نشده‌اند بلکه این قبیل درزه‌ها و شکستگی‌های انحلالی به طور

نسبتاً یکنواختی در کل حوضه آبگیر چشمه توزیع شده‌اند. شکل ۱-۶ تصویری از درزه‌ها و شکستگی‌های انحلالی موجود در منطقه، که دارای بازشدگی نسبتاً کمی هستند، را نشان می‌دهد.

## ۲-۶- خاکهای کارستی منطقه

خاکهای کارستی موجود در حوضه آبگیر چشمه‌علی دامغان با توجه به ضخامت خاک فعال به دو دسته تقسیم می‌شوند. نوع خاک در این دو دسته مختلف بوده و خصوصیات متفاوتی را شامل می‌شوند. دسته اول، خاکهایی‌اند که ضخامت خاک فعال در آنها نسبتاً زیاد بوده و خاک فعال شامل افق‌های A و B می‌باشد. این خاکها با توجه به خصوصیتی که دارند در دسته خاکهای قهوه‌ای (Brown soils) قرار می‌گیرند. گسترش این خاکها در منطقه بسیار اندک است که عمدتاً در منطقه با ارتفاع نسبتاً کم در شمال غرب چشمه‌علی واقع شده‌اند و به مقدار خیلی کم به صورت پراکنده در مناطق مرتفع ولیکن مسطح حوضه آبگیر قرار گرفته‌اند.

گروه دوم، خاکهایی‌اند که ضخامت خاک فعال در آنها نسبتاً کم بوده است و در تمام این خاکها، خاک فعال تنها شامل افق A می‌شود که معمولاً ضخامت ناچیزی را شامل می‌شود. این قبیل خاک تکامل پروفیلی ندارند و در حقیقت در مراحل اولیه تشکیل خاک می‌باشند. نظر به این که قسمت خاک فعال در این قبیل خاکها بر روی افق C و یا مستقیماً بر روی سنگ مادری قرار گرفته باشد، به ترتیب در دسته خاکهای ریگوسل (Regosols) و خاکهای لیتوسل (Lithosols) قرار می‌گیرند. هم خاکهای ریگوسل و هم خاکهای لیتوسل دارای نفوذپذیری بسیار بالایی هستند و این قبیل خاکها، به استثنای مناطق پر شیب در تمام حوضه آبگیر چشمه‌علی وجود دارند. این خاکها در قسمت اعظم منطقه یکپارچه نبوده و به صورت بخش‌های کوچک و بزرگی در بین رخنمون‌های سنگی قرار گرفته‌اند. ضخامت خاکهای ریگوسل و لیتوسل نسبتاً اندک است و معمولاً از کمتر از ۱۰ تا حدود ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. شکل ۲-۶ خاکهای کارستی را که بین رخنمون‌های سنگی واقع شده‌اند را نشان می‌دهد. وجود خاکهای کارستی در حوضه آبگیر چشمه به دو طریق مقدار ورود مواد آلاینده به داخل سفره آب زیرزمینی کارستی را می‌کاهند. اول این که موجودات ذره‌بینی موجود در خاکها (به ویژه باکتری‌ها) فضولات حیوانی را تجزیه کرده و از میزان آلاینده‌گی آنها می‌کاهند. دوم اینکه بخش عمده حوضه آبگیر چشمه را خاک فرا گرفته است و هم‌چنین نفوذپذیری این خاکها بسیار زیاد می‌باشد. بنابراین قسمت عمده آبهای نفوذی به داخل سفره آب زیرزمینی کارستی، از این



خاکها عبور کرده و سپس وارد مجاری و شکستگی‌های کارستی می‌شوند. بنابراین خاک به صورت یک صافی آبهای نفوذی را تصفیه می‌کند و آلودگی‌های احتمالی موجود در آبهای نفوذی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

## ۶-۳- هیدروژئولوژی منطقه

همانطور که در فصل دوم ذکر شد در منطقه مورد مطالعه سازندهای شمشک، دلیچای، لار، و آهکهای کرتاسه به ترتیب از قدیم به جدید رخنمون دارند. در این فصل خصوصیات هیدروژئولوژیکی این سازندها به طور مختصر ارائه می‌شود.

### الف- خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند شمشک

سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل مجموعه ای از ماسه سنگ، شیل، سیلتستون، مارن و آهک های مارنی با بین لایه ای های زغال می باشد. این مجموعه به لحاظ هیدروژئولوژیکی، مجموعه ای غیرقابل نفوذ است و به همین دلیل می تواند به عنوان یک سد طبیعی در برابر جریان آب زیر زمینی عمل نماید. در منطقه مورد مطالعه همین خصوصیت یکی از دلیل مهم ظهور چشمه علی دامغان در منطقه می باشد.

### ب- خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند دلیچای

سازند دلیچای در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل آهک های نازک لایه و به مقدار جزئی تر شامل آهک های مارنی و لایه های محدودی از مارن می شود (شکل ۲-۶). این مجموعه (به ویژه آهک های نازک لایه) به لحاظ هیدروژئولوژیکی، مجموعه ای است که در آن درزه ها و شکستگی های انحلالی به طور محدودی ایجاد شده اند. به عبارت دیگر پدیده کارستی شدن (Karstification) به طور نسبتاً محدودی در این مجموعه رخ داده است. البته فعالیت های تکتونیکی شدید منطقه، که باعث ایجاد گسل های متعدد و شکستگی های فراوان در منطقه شده است، پتانسیل این مجموعه را برای کارستی شدن افزایش داده است. این سازند بخش نسبتاً کوچکی از حوضه آبخیز چشمه را شامل می شود که عمدتاً در مجاورت چشمه و

همچنین در تپه ماهورهای موجود در حاشیه ارتفاعات واقع شده است. در حقیقت آهک های نازک لایه این سازند بخش کوچکی از لایه آبدار کارستی منطقه را شامل می شود.

### ج- خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند لار

سازند آهکی لار در منطقه مورد مطالعه، همانند با دیگر مناطق در رشته کوه البرز، از آهکهای ضخیم لایه تا توده ای تشکیل شده است. بنابراین به لحاظ هیدروژئولوژیکی رفتار این سازند در نقاط مختلف رشته کوه البرز کم و بیش یکسان می باشد. در منطقه مورد مطالعه همانند با مقطع تیپ، این سازند شامل آهک های ضخیم لایه تا آهک های توده ای می شوند (شکل ۲-۷). این آهک ها به لحاظ هیدروژئولوژیکی، مجموعه ای است که پتانسیل بسیار بالایی برای کارستی شدن دارد. به همین دلیل در این سازند درزه ها و شکستگی های انحلالی به طور قابل توجهی گسترش یافته اند و در بعضی از نقاط حوضه حفرات بزرگ انحلالی و حتی غار ایجاد شده است. به عبارت دیگر پدیده کارستی شدن به طور نسبتاً خوبی در این مجموعه رخ داده است. لازم به ذکر است که اگرچه در این منطقه یکی از دلایل محدود کننده پدیده کارستی شدن اندک بودن نسبی مقدار نزولات آسمانی است ولیکن به دلیل فعالیت های تکتونیکی شدید منطقه این محدودیت تا حدودی جبران شده است و باعث ایجاد درزه ها و شکستگی های انحلالی (به طور گسترده) و حفرات بزرگ انحلالی و غار به طور محدودتر شده است. همانطور که نقشه زمین شناسی منطقه (شکل ۲-۴) نشان می دهد این سازندها که بسیار چهره ساز (Ridge-builder) می باشد، بخش اصلی حوضه آبرگیر چشمه را شامل می شود که از غرب به شرق امتداد یافته است. در حقیقت آهک های ضخیم لایه تا توده ای این سازندها بخش اساسی لایه آبدار کارستی منطقه را شامل می شوند.

## فصل هفتم: نتیجه‌گیری

با توجه به مطالبی که در بخش‌های ۵ و ۶ گفته شد، نتایج بدست آمده از این مطالعات به صورت زیر خلاصه می‌شود:

### ۷-۱- سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه‌علی

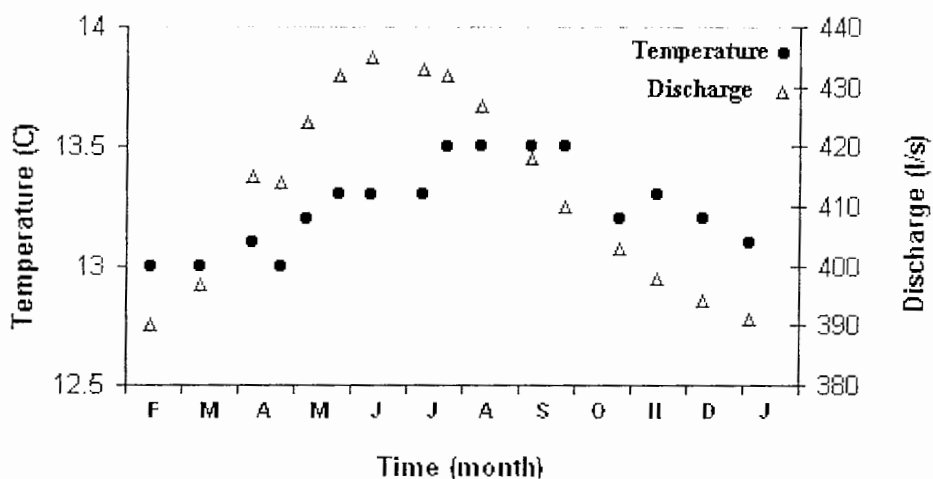
با عنایت به بازدید های صحرایی، در حوضه آبرگیر چشمه علی پدیده‌های مهم ژئومورفولوژیکی کارستی از قبیل گودهای مسدود (Closed depression)، فروچاله‌ها (Sinkholes)، غارها، حفرات و مجاری انحلالی توسعه یافته وجود ندارند. در هر حال درزه‌ها و شکستگی‌های انحلالی با بازشدگی نسبتاً کم تقریباً در تمام رخنمون‌های سنگی حضور دارند. این قبیل درزه‌ها و شکستگی‌ها در مسیر یا مسیرهای خاصی متمرکز نشده‌اند و به طور نسبتاً یکنواختی در سرتاسر رخنمون‌های سنگی توزیع شده‌اند. ظرفیت نفوذ این درزه‌ها و شکستگی‌ها به عواملی از قبیل میزان بازشدگی آنها، فاصله بین آنها، عمیق بودن آنها، وجود یا عدم وجود خاک، سنگریزه و کانی‌های ثانویه در داخل آنها، طول آنها و شیب عمومی منطقه بستگی دارد. علیرغم تأثیرگذاری پارامترهای مذکور بر روی ظرفیت نفوذ درزه‌ها و شکستگی‌ها، متوسط ظرفیت نفوذ آنها در مناطق مختلف حوضه آبرگیر چشمه که شیب عمومی یکسانی دارند تغییرات زیادی را شامل نمی‌شود. در حقیقت مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده ظرفیت نفوذ درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در حوضه آبرگیر چشمه، شیب عمومی رخنمون‌های سنگی می باشد. در حوضه آبرگیر چشمه‌علی، به استثنای مناطق پر شیب، خاکهای ریگوسل و لیتوسل به صورت محدوده‌های نسبتاً وسیع و یا به صورت غیریکپارچه در بین برونزدهای سنگی حضور دارند. این خاکها نفوذپذیری بسیار بالایی را شامل می‌شوند و نقش مهمی در میزان تغذیه سفره کارستی ایفاد می‌نمایند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که سیستم ورودی در حوضه آبرگیر

چشمه‌علی دامغان به درزه‌ها و شکستگی‌های با بازشدگی نسبتاً اندک که به طور کم و بیش یکنواختی در تمام رخنمون‌ها سنگی وجود دارند و همچنین خاکهای کارستی از نوع ریگوسل و لیتوسل که تراوایی بالایی دارند، محدود می‌شود.

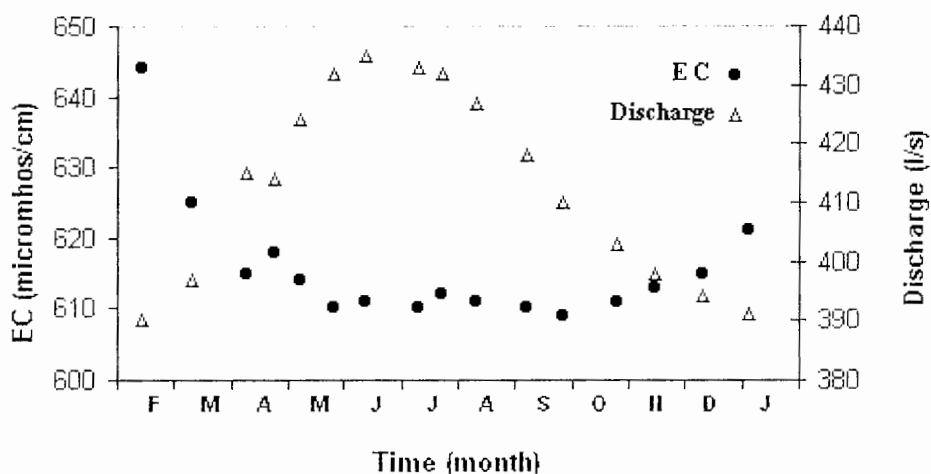
## ۲-۷- تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌علی

به منظور ارزیابی تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌علی دامغان، مقادیر ضریب تغییرات تمام پارامترها به طور جداگانه با استفاده از میانگین و انحراف از معیار آنها محاسبه شده‌اند و در جداول ۵-۱ و ۵-۲ ارائه شده‌اند. همانطور که جداول ۵-۱ و ۵-۲ نشان می‌دهند، ضریب تغییرات مربوط به تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه نسبتاً پایین هستند. به این ترتیب که کمترین مقدار ضریب تغییرات مربوط به درجه حرارت و هدایت الکتریکی چشمه می‌باشد که به ترتیب برابر با  $1/38$  و  $1/42$  درصد می‌باشد و بالاترین ضریب تغییرات مربوط به یون نیترات است که مقدار آن  $15/49$  درصد می‌باشد. بالا بودن ضریب تغییرات نیترات به پایین بودن غلظت این یون مربوط می‌شود. به این ترتیب که خطاهای اندک ناشی از اندازه‌گیری این یون در مقابل مقادیر اندک این یون قابل ملاحظه می‌شوند و موجب بالا رفتن ضریب تغییرات آن می‌شوند. علاوه بر پایین بودن ضریب تغییرات تمام پارامترها، تغییرات زمانی اندک این پارامترها (به ویژه درجه حرارت، هدایت الکتریکی و دبی که با دقت نسبتاً زیادی اندازه‌گیری شده‌اند) با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره کارستی همخوانی بسیار خوبی را نشان می‌دهند. تغییرات اندک دبی چشمه به این ترتیب است که در اواخر فصل زمستان دبی چشمه شروع به افزایش می‌کند و در اواخر بهار به حداکثر خودش می‌رسد و سپس به صورت تدریجی دبی کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که دبی اوج ایجاد شده در اواخر فصل بهار دو ویژگی را شامل می‌شود. اول اینکه این دبی اوج در مقایسه با دوره‌هایی که دارای حداقل دبی هستند اختلاف قابل توجهی را شامل نمی‌شود. دوم اینکه افزایش دبی در شاخه صعودی هیدروگراف و کاهش دبی در شاخه نزولی هیدروگراف بسیار تدریجی است و دبی اوج جزئی ایجاد شده نسبتاً طولانی مدت می‌باشد. تمام این ویژگی‌ها با خواص هیدروژئولوژیکی سفره کارستی چشمه‌علی و شکل حوضه آبریز آن همخوانی دارد. تغییرات زمانی پارامترهای درجه حرارت و هدایت الکتریکی چشمه نیز با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره کارستی و در نتیجه با تغییرات زمانی دبی چشمه همخوانی بسیار خوبی را نشان

می‌دهند. شکل‌های ۱-۷ و ۲-۷ تغییرات زمانی درجه حرارت و هدایت الکتریکی را با تغییرات زمانی دبی مقایسه می‌کنند. همانطور که شکل ۱-۷ نشان می‌دهد، تغییرات زمانی درجه حرارت با تغییرات زمانی دبی رابطه نسبتاً مستقیمی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که هرچه دبی چشمه بیشتر است درجه حرارت آب چشمه نیز بیشتر است. علت این امر به این قرار است که در هنگام دبی اوج چشمه بخشی از آب چشمه از بخش‌های سطحی‌تر سفره آب زیرزمینی تأمین می‌شود که درجه حرارت نسبی آنها اندکی بالاتر می‌باشد و در دبی‌های کمتر (مثل اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز)، آب چشمه از قسمت‌های نسبتاً عمیق‌تر تخلیه می‌شود که به طور نسبی درجه حرارت آب این مناطق اندکی پایین‌تر است. بر طبق شکل ۲-۷، ملاحظه می‌شود که تغییرات زمانی هدایت الکتریکی با تغییرات زمانی دبی رابطه معکوسی را نشان می‌دهد. چنین رفتاری به این دلیل است که هرچه دبی چشمه بیشتر باشد سرعت تخلیه آب نیز بیشتر است و در نتیجه زمان ماندگاری آب در سفره آب زیرزمینی کمتر می‌باشد که این امر به نوبه خود باعث کاهش انحلال مواد سفره و ورود آنها به داخل آب می‌شود و بالعکس برای مواردی که دبی چشمه کمتر باشد.



شکل ۱-۷ - رابطه تغییرات زمانی درجه حرارت با تغییرات زمانی دبی



شکل ۷-۲ - رابطه تغییرات زمانی هدایت الکتریکی با تغییرات زمانی دبی

### ۷-۳- نوع جریان در سفره‌های کارستی

مطالعات زیادی در زمینه تعیین نوع جریان در سفره‌های کارستی انجام شده است که در اغلب آنها از تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر این در بعضی از مطالعات به خصوصیات سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه نیز توجه شده است. تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه‌علی به طور قابل توجهی اندک می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات تمام پارامترها بیانگر غالب بودن جریان افشان در سفره کارستی این چشمه می‌باشد. علاوه بر تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه که همگی به اتفاق تأییدکننده جریان افشان در سفره آب زیرزمینی چشمه هستند، خصوصیات سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه (عدم وجود گودی‌های مسدود، عدم وجود فروچاله، عدم وجود درزه‌ها و شکستگی‌ها انحلالی بزرگ و عمیق، و وجود خاک‌های ریگوسل و لیتوسل که در بخش قابل توجهی از حوضه آبرگیر چشمه گسترش دارند) نیز بیانگر غالب بودن جریان افشان در سفره کارستی چشمه‌علی دامغان می‌باشد. بنابراین آب در داخل سفره کارستی چشمه‌علی از داخل مجاری و درزه‌ها و شکستگی‌های با بازشدگی کم (معمولاً کمتر از ۱ سانتی‌متر) عبور می‌کند و این شبکه انتقال‌دهنده آب در سرتاسر سفره کارستی مورد مطالعه توزیع شده‌اند.

## ۷-۴- لیتولوژی غالب در سفره کارستی چشمه علی

همانطور که در بخش های قبل ذکر شد، نسبت غلظت یون کلسیم به یون منیزیم در سفره های کارستی کربناته، شاخص بسیار مناسبی برای تشخیص سفره های کارستی آهکی از سفره های کارستی دولومیتی است. به طور کلی نسبت های نزدیک به یک مربوط به سفره های کارستی دولومیتی و نسبت های بین ۲ تا ۱۰ مربوط به سفره های کارستی آهکی می باشند. در صورتیکه نسبت های بالای ۱۰ در آب های کارستی مشاهده شود. نشانگر درصد خلوص بالاتر آهک و یا وجود کانی های ژیپس یا انیدرید در تشکیلات آهکی است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۴-۵، ملاحظه می شود که میانگین نسبت کلسیم به منیزیم برای نمونه های اندازه گیری شده برابر با ۲/۰۳ می باشد بنابراین می توان نتیجه گرفت که جنس سفره آب زیرزمینی عمدتاً آهکی است.

## ۷-۵- پیشنهادات و نیاز به مطالعات بیشتر

در این فصل به طور خلاصه پیشنهاداتی در خصوص نتایج بدست آمده از این مطالعه و هم چنین موارد مهمی که باید مورد توجه مطالعات بعدی باشند، ذکر می شوند.

### الف- پیشنهادات

الف- در این مطالعه نتایج مفیدی در خصوص وضعیت هیدروژئولوژیکی لایه آبدار کارستی چشمه علی دامغان بدست آمده است، این نتایج می تواند به عنوان راهکاری برای مناطقی که از نظر هیدروژئولوژیکی با منطقه مورد مطالعه مشابهت دارند، به ویژه آن دسته از سفره های کارستی که آب های زیرزمینی آنها به جای تخلیه از طریق چشمه به سفره های آبرفتی مجاور آنها وارد می شوند بکار رود.

ب- خصوصیات کیفی آب چشمه و تغییرات آنها و همچنین تغییرات زمانی دبی چشمه می تواند برای بسیاری از اهداف از جمله مصارف شرب، کشاورزی، صنعتی و احداث پروژه های بزرگ آبی نظیر سد مورد توجه باشد.

ج- نتایج حاصله از این تحقیق می تواند مورد استفاده آموزشی برای دانشجویان دوره های تحصیلات تکمیلی قرار گیرد.

### ب- نیاز به مطالعات بیشتر

الف- به منظور بررسی دقیقتر رفتار هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه علی دامغان، لازم است که بعضی از پارامترهای مهم فیزیکی و شیمیایی این چشمه (از قبیل درجه حرارت آ، هدایت الکتریکی، و آبدهی چشمه) برای یک یا دو سال آبی دیگر ادامه یابد.

ب- به منظور برآورد میزان نفوذ در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان، لازم است که یک مطالعه جامع بیلان در این حوضه انجام شود.



Ahmadipour, M. R. 1999. Karst terrains in Iran – Example from Lorestan. *Acta Carsologica* **28**:213-224.

Atkinson, T. C. 1977. Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (great Britain). *J. Hydrol.* **35**:93-110.

Drew, D. P., A. M. Burke, and D. Daly. 1996. Assessing the extent and degree of karstification in Ireland. Pages 37-47 in *Proceedings of international conference on karst-fractured aquifers – vulnerability and sustainability*. Katowice-Ustron, Poland.

Ford, D. C., and P. W. Williams. 1989. *Karst geomorphology and hydrology*. Chapman and Hall, London.

Jennings, J. N. 1985. *Karst geomorphology*, 2 edition. Basil Blackwell, Oxford

Osiensky, J. L., R. E. Williams, B. Williams, and G. Johnson. 2000. Evaluation of drawdown curves derived from multiple well aquifer tests in heterogeneous environments. *Mine Water and the Environment* **19**:30-55.

Paillet, F. L., and R. S. Reese. 2000. Integrating borehole logs and aquifer tests in aquifer characterization. *Ground Water* **38**:713-725.

Prat, P. C., E. E. Alonso, C. Delahaye, A. Gens, and I. Carol. 1994. Safety evaluation of an arch dam founded on fractured rock based on a 3D nonlinear analysis with joint elements. Pages 211-220 in E. Bourdarot, editor. *Dam Fracture and damage*, Proc. workshop, Chambéry, France.

Quinlan, J. F., P. L. Smart, G. M. Schindel, E. C. Alexander, A. J. Edwards, and A. R. Smith. 1991. Recommended administrative/regulatory definition of karst aquifer, principles for classification of carbonate aquifers, practical evaluation of vulnerability of karst aquifers, and determination of optimum sampling frequency at springs. Pages 573-635 in *third conference*

on hydrogeology, ecology, monitoring, and management of ground water in karst terranes. National Ground Water Association, Dublin, Ohio.

Raeisi, E., and G. Karami. 1996. The governing factors of the physico-chemical characteristics of Sheshpir karst spring, Iran. *Carbonates and Evaporates* **11**:162–169.

Raeisi, E., and G. Karami. 1997. Hydrochemographs of Berghan karst spring as indicators of aquifer characteristics. *J. of Cave and Karst Studies* **59**:112 – 118.

Reynaud, A., Y. Guglielmi, J. Mudry, and C. Mangan. 1999. Hydrochemical approach to the alterations of the recharge of karst aquifer consecutive to along pumping period: Example taken from Pinchinade Graben (Mouans-Sartouy, French Riviera). *Ground Water* **37**:414-417.

Riley, M. S., R. S. Ward, and R. B. Greswell. 2001. Converging flow tracer tests in fissured limestone. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* **34**:283-297.

Rorabaugh, M. J. 1953. Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* **79**:23 pp.

Rouleau, A., and J. E. Gale. 1987. Stochastic discrete fracture simulation of groundwater flow into an underground excavation. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* **24**:99-112.

Rovey-II, C. W. 1994. Assessing flow systems in carbonate aquifers using scale effects in hydraulic conductivity. *Environmental Geology* **24**:244-253.

Rovey-II, C. W., and D. S. Cherkauer. 1995. Scale dependency of hydraulic conductivity measurements. *Ground Water* **33**:769-780.

Sahimi, M. 1995. *Flow and transport in porous media and fractured rock: from classical methods to modern approaches*. Weinheim, New York.

Samani, N., and M. Pasandi. 2001. Derivative-assisted evaluation of a heterogeneous aquifer. Pages 395-399 *in* Seiler and Wohnlich, editors. *New Approaches Characterising Groundwater Flow*, Swets and Zeitlinger Lisse.

Sanchez-vila, X., P. M. Meier, and J. Carrera. 1999. Pumping test in heterogeneous aquifers: an analytical study of what can be obtained from their interpretation using Jacob's method. *Water Resour. Res.* **35**:943-952.