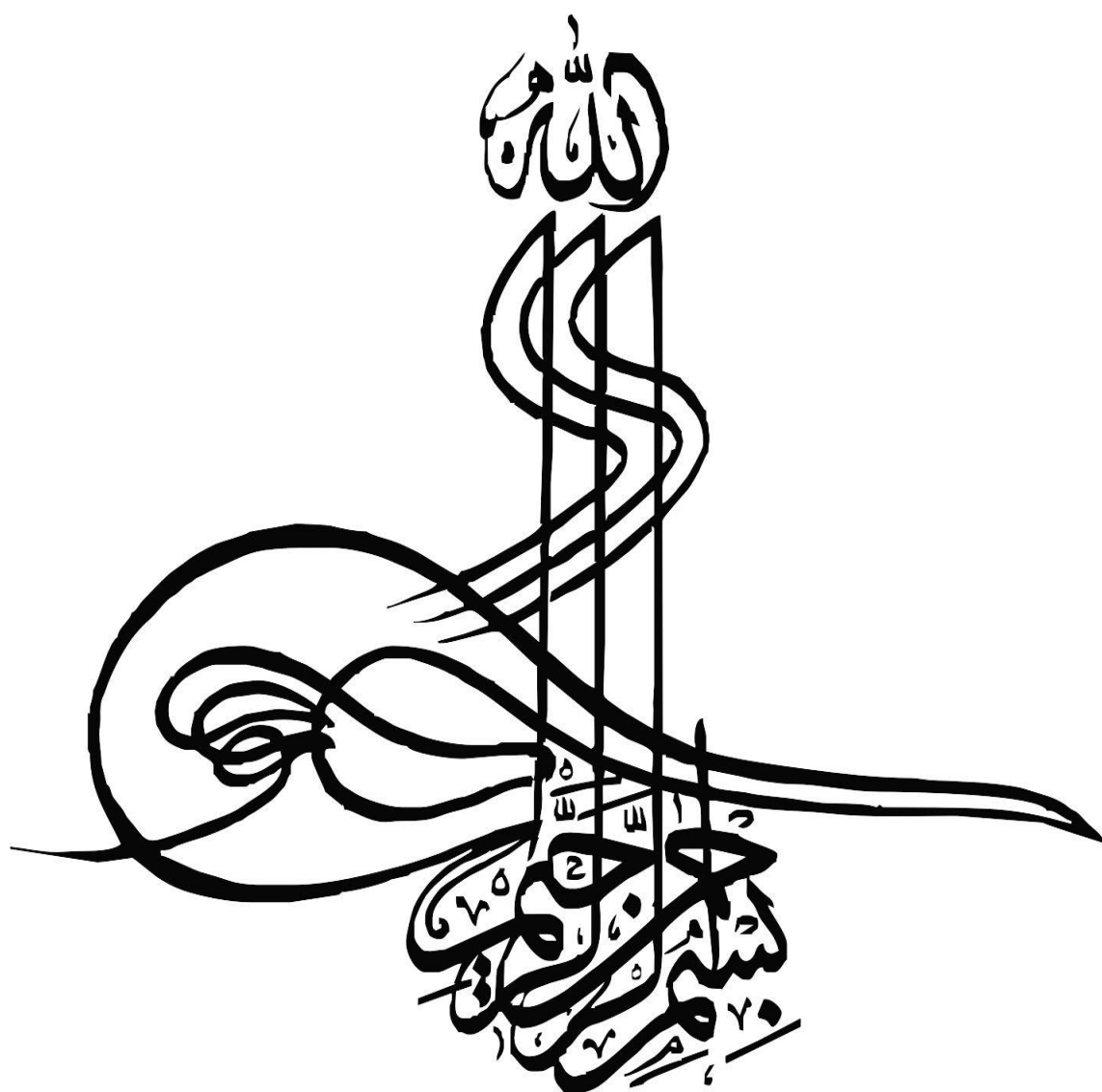






دانشکده: علوم زمین  
گروه: آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی  
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

## بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس با منابع آب مجاور (استان چهارمحال و بختیاری)

رقیه خسروی سوادجانی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر عزیزا... طاهری

خردادماه ۱۳۹۰

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

(۱) خسروی، ر.، کرمی، غ.، فاضلی فارسانی، ع.، بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس، (۱۳۸۹)، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه ارومیه.

(۲) خسروی، ر.، کرمی، غ.، طاهری، ع.، بررسی هیدروژئوشیمیایی چاه‌های کارستی منطقه تنگ آهن سمیرم (۱۳۹۰)، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.

"تقدیم به تو عزیزتر از هر چه هست

تقدیم به تو که در برابر اراده‌ات ناتوان‌ترینم

و تقدیم به تو که تنها تو میدانی و بس"

تقدیم به مادرم،

رفیق و همراه همیشه‌ام،

مهربانترین هدیه خداوند در زندگیم،

که بهتر از هر کسی ارزش وجودی‌ام را به من شناساند،

تقدیم به پدرم کسی که دسترنج دستان خسته‌اش همیشه بوی خدا می‌دهد

و تقدیم به استاد عزیزم دکتر حسین وزیری مقدم که برایم بهترین است.

تقدیر و تشکر:

"خداوند! بیش از همه از تو سپاسگزارم که مرا آنگونه که شایسته خداوندیت بود یاری فرمودی" لازم می‌دانم از تمام عزیزانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند از صمیم قلب تشکر نمایم. از خداوند مهر آفرین و پاک می‌خواهم یاریم کند تا آنطور که شایسته است مراتب سپاس را به جای آورم. در ابتدا از زحمات بی‌دریغ و صبر و شکیبایی خانواده‌مهربانم، از راهنمایی‌های استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر غلام‌حسین کرمی و نیز راهنمایی و مشاوره اساتید محترم دکتر عزیزالله طاهری و مهندس عبدالله فاضلی فارسانی، از اساتید بزرگوار که از محضرشان آموختم آقایان دکتر غلام‌عباس کاظمی، فرامرز دولتی ارده‌جانی، ناصر حافظ‌ی مقدم و حمید طاهری شهر آئین صمیمانه تشکر می‌نمایم. همچنین از آقایان دکتر غلام‌عباس کاظمی و هادی جعفری که دآوری پژوهش حاضر را بر عهده گرفتند بینهایت سپاسگذارم.

از همکاری و همراهی صمیمانه کلیه همکاران و عزیزان در شرکت‌های آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری، آب منطقه‌ای استان اصفهان، آبفای مرکزی استان اصفهان، آبفای شهرستان شهرضا و سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری نهایت تشکر را دارم.

با تشکر ویژه از همکاری صمیمانه آقایان مهندس فاضلی، مهندس صبا و نیز خانم مهندس ایزدی (حفاظت آبهای زیرزمینی آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری) و خانم مهندس زمانی (رئیس بخش مطالعات آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری)، مهندس مرتضوی (ریاست مدیریت بهره‌برداری آبفای مرکزی استان اصفهان)، مهندس صالح (ریاست آبفای شهرضا)، مهندس عبدالکریم فاطمی (مدیریت بهره‌برداری آبفای شهرضا) و مهندس مدرسی (حراست آبفای شهرضا).

با تشکر ویژه از همراهی و زحمات ارزشمند برادر عزیزم جناب آقای محمد خسروی. با تشکر از دوست‌ترین دوستانم خانم‌ها فاطمه ابراهیمی، مهدالسادات نصرالله‌زاده، زینب اخوان ثالث، رقیه ملکی، نسیم مسلمی عقیلی و آقایان ارسطو مینویی، علی نجاتی‌پور و سید محمد موسوی خفّری. و در نهایت از دو تن که صبورانه با من همکاری نمودند خانم مهندس فارسی (دفتر دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود) و جناب آقای بلالی (دفتر حفاظت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری) بینهایت سپاسگذارم. از خدای بزرگ، سلامتی و سعادت همیشگی برای تمامی این عزیزان خواستارم و اقرار می‌کنم:

"مهربانی‌هایتان برآیم فراموش ناهند بود"

رقیه خسروی سوادجانی

## چکیده

در دو دهه اخیر حفاظت و مدیریت صحیح منابع آب موجود در آبخوان‌های کارستی، به دلیل اهمیت ویژه آن‌ها در تامین آب شرب، مورد توجه بسیار بوده است. هدف از این تحقیق بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های کارستی تامین آب شرب شهرستان شهرضا می‌باشد. در این پژوهش، بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی آبخوان در محدوده حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب انجام شده است.

برای محاسبه حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس ابتدا با استفاده از وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه محدوده احتمالی حوضه آبرگیر چشمه ترسیم گردید. سپس با استفاده از روش بیلان و وضعیت هیدروژئولوژیکی و توسعه کارست در منطقه، درصد نفوذ حدود ۶۰ درصد برآورد شد. در نهایت با توجه به این که حجم ذخیره دینامیک چشمه در سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸، ۲/۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است، محدوده حوضه آبرگیر اولیه اصلاح گردید.

به جهت بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چشمه و چاه‌های مورد مطالعه، به طور همزمان خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای ارزیابی غلظت یون‌های اصلی و وضعیت هیدروژئوشیمیایی چشمه و چاه‌ها، از چشمه ۱۴ بار و از چاه‌ها ۷ بار (در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹) نمونه‌برداری انجام شده است. نتایج حاصله بیانگر این است که میانگین هدایت الکتریکی چشمه در مقایسه با چاه‌ها به طور قابل توجهی کمتر می‌باشد. همچنین غلظت یون‌های اصلی و نسبت‌های یونی در چشمه با چاه‌ها تفاوت‌های معنی‌داری را شامل می‌شود.

بررسی ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم مربوط به چشمه و نزدیکترین چاه‌های آب که به صورت همزمان در یک نوبت اندازه‌گیری شده است نشان می‌دهد که آب چشمه نسبت به نمونه‌های آب مربوط به چاه‌ها غنی‌تر می‌باشد. بنابراین جریان آب زیرزمینی از سوی چشمه به سمت چاه‌ها بعید به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: آبخوان کارستی امام‌قیس، چشمه امام‌قیس، چاه‌های آب شرب شهرضا، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، ایزوتوپ.

## فهرست مطالب

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: مقدمه .....                                                                  | ۱  |
| ۱-۱- بیان مساله و هدف از انجام تحقیق .....                                            | ۱  |
| ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه .....                                                     | ۲  |
| ۳-۱- اقلیم و آب و هوای منطقه .....                                                    | ۲  |
| ۴-۱- زمین شناسی منطقه .....                                                           | ۶  |
| ۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه .....                                                         | ۶  |
| ۲-۴-۱- زمین شناسی ساختاری منطقه .....                                                 | ۱۰ |
| ۳-۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه .....                                                       | ۱۲ |
| ۵-۱- هیدرولوژی منطقه .....                                                            | ۱۵ |
| ۶-۱- هیدروژئولوژی منطقه .....                                                         | ۱۵ |
| ۱-۶-۱- چشمه های تخلیه کننده آبخوان کارستی امام قیس .....                              | ۱۵ |
| ۲-۶-۱- چاه های پیزومتری .....                                                         | ۱۵ |
| ۳-۶-۱- چاه های آب شرب شهرضا .....                                                     | ۱۷ |
| فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته .....                                                 | ۲۵ |
| ۱-۲- تعریف و اهمیت کارست .....                                                        | ۲۵ |
| ۲-۲- فرآیند انحلال در کارست های کربناته .....                                         | ۲۵ |
| ۳-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان های کارستی با مطالعه چشمه های کارستی .....         | ۲۷ |
| ۴-۲- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان های کارستی .....                          | ۳۰ |
| ۱-۴-۲- تکامل هیدروژئوشیمیایی آب های کارستی .....                                      | ۳۱ |
| ۲-۴-۲- آنیون ها و کاتیون های اصلی و تیپ آب در آب های کارستی .....                     | ۳۴ |
| ۳-۴-۲- شاخص اشباع .....                                                               | ۳۶ |
| ۵-۲- بررسی ارتباط هیدرولیکی در آبخوان های کارستی با استفاده از وضعیت هیدروژئولوژیکی و |    |
| هیدروژئوشیمیایی آن ها .....                                                           | ۳۷ |
| ۶-۲- کاربرد ایزوتوپ های پایدار آب در مطالعه آبخوان های کارستی .....                   | ۴۰ |
| ۷-۲- مرز تقسیم آب های زیرزمینی در آبخوان های کارستی .....                             | ۴۲ |
| ۱-۷-۲- عوامل موثر بر موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی .....                                | ۴۳ |
| فصل سوم: روش انجام کار .....                                                          | ۴۶ |
| ۱-۳- مقدمه .....                                                                      | ۴۶ |
| ۲-۳- جمع آوری اطلاعات و مروری بر مطالعات پیشین .....                                  | ۴۶ |
| ۳-۳- بررسی زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه زمین شناسی .....                  | ۴۷ |

### ۳-۴- بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های

آب شرب شهرضا (از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹) ..... ۴۸

۳-۴-۱- نمونه‌برداری ..... ۴۸

۳-۴-۲- اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه و چاه‌ها در صحرا ..... ۵۰

۳-۴-۳- اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی در آزمایشگاه ..... ۵۲

۳-۴-۴- محاسبه درصد خطای آزمایش ..... ۵۲

۳-۴-۵- محاسبه ضرایب اشباع ..... ۵۲

### فصل چهارم: ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۵۳

۴-۱- مقدمه ..... ۵۳

۴-۲- تغییرات زمانی آبدهی چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۵۴

۴-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۵۸

۴-۴- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چشمه امام‌قیس ..... ۶۰

۴-۵- تغییرات زمانی  $pH$  آب در چشمه امام‌قیس ..... ۶۱

۴-۶- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چشمه امام‌قیس ..... ۶۲

۴-۷- پارامترهای کیفی محاسبه شده برای چشمه امام‌قیس ..... ۶۳

۴-۸- ارزیابی تیپ آب در چشمه امام‌قیس ..... ۶۴

۴-۹- ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در چشمه امام‌قیس ..... ۶۵

### فصل پنجم: ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۶۷

۵-۱- مقدمه ..... ۶۷

۵-۲- ارزیابی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چاه‌های آب شرب ..... ۷۳

۵-۲-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن ..... ۷۳

۵-۲-۲- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن ..... ۷۵

۵-۲-۳- تغییرات زمانی  $pH$  چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن ..... ۷۶

۵-۲-۴- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چاه‌ها ..... ۷۸

۵-۲-۵- ارزیابی تیپ آب در چاه‌ها ..... ۷۸

۵-۲-۶- ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در چاه‌ها ..... ۸۰

### فصل ششم: ارزیابی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین چشمه کارستی

امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۸۲

۶-۱- مقدمه ..... ۸۲

۶-۲- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از خصوصیات هیدروژئولوژیکی ..... ۸۲

۶-۲-۱- وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی ..... ۸۲

۶-۲-۲- وضعیت توسعه کارست ..... ۸۴

|     |                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------|
| ۸۶  | ۳-۲-۶- بیلان هیدروژنولوژیکی                                       |
| ۹۱  | ۳-۶- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از خصوصیات هیدروژنوشیمیایی |
| ۹۲  | ۱-۳-۶- نسبت‌های یونی                                              |
| ۹۴  | ۲-۳-۶- استفاده از شاخص‌های اشباع                                  |
| ۹۴  | ۳-۳-۶- استفاده از میانگین غلظت یون‌های اصلی و همبستگی آنها با هم  |
| ۹۷  | ۴-۳-۶- استفاده از نمودارهای ترکیبی                                |
| ۹۷  | ۵-۳-۶- استفاده از تیپ آب و نمودار پایپر                           |
| ۹۹  | ۴-۶- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب   |
| ۱۰۳ | فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات                                  |
| ۱۰۳ | ۱-۶- نتیجه‌گیری                                                   |
| ۱۰۵ | ۲-۷- پیشنهادات                                                    |
| ۱۰۷ | منابع                                                             |

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۲
- شکل ۲-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۷
- شکل ۳-۱- به هم ریختگی و خردشدگی شدید آهک‌ها در منطقه مورد مطالعه ..... ۹
- شکل ۴-۱- گسترش کارست در امتداد شکستگی‌ها و درزه‌ها و تشکیل کارن در شمال کوه نثارعباسی ..... ۱۳
- شکل ۵-۱- چاه کارستی در دامنه جنوبی کوه نثار عباسی ..... ۱۴
- شکل ۶-۱- فروچاله‌های در نزدیکی خط‌الرأس کوه نثارعباسی ..... ۱۴
- شکل ۷-۱- فضا‌های انحلالی غاری شکل مشاهده شده در سازندهای کارستی اطراف چشمه امام‌قیس ..... ۱۴
- شکل ۸-۱- لاگ زمین‌شناسی چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۱۸
- شکل ۱-۳- سرریز مستطیلی نصب شده برای محاسبه دبی چشمه امام‌قیس ..... ۵۰
- شکل ۱-۴- هیدروگراف چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۵۵
- شکل ۲-۴- تغییرات آبدی چشمه و بارندگی روزانه ایستگاه هواشناسی امام‌قیس ..... ۵۶
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۵۶
- شکل ۳-۴- گسترش فضا‌های انحلالی در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس ..... ۵۷
- شکل ۴-۴- آثار زهکشی سطحی سریع در حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۵۷
- شکل ۵-۴- منحنی فرود چشمه کارستی امام‌قیس در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ ..... ۵۸
- شکل ۶-۴- تغییرات زمانی آبدی و هدایت الکتریکی چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۵۹
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۵۹
- شکل ۷-۴- تغییرات زمانی درجه حرارت آب و دبی چشمه امام‌قیس ..... ۶۰
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۰
- شکل ۸-۴- وجود استخر آب در محل خروجی چشمه امام‌قیس ..... ۶۱
- شکل ۹-۴- تغییرات زمانی  $pH$  و دبی چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۶۱
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۱
- شکل ۱۰-۴- تغییرات زمانی غلظت آنیون‌های اصلی چشمه امام‌قیس ..... ۶۳
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۳
- شکل ۱۱-۴- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌های اصلی چشمه امام‌قیس ..... ۶۳
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۳
- شکل ۱۲-۴- نمودار استیف مربوط به چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۶۴
- شکل ۱۳-۴- نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های تهیه شده از چشمه امام‌قیس ..... ۶۵
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۵
- شکل ۱-۵- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۷۳
- از آذر ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ ..... ۷۳
- شکل ۲-۵- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۷۶
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا مرداد ۱۳۸۹ ..... ۷۶
- شکل ۳-۵- تغییرات زمانی  $pH$  آب در چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۷۸
- از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ ..... ۷۸

شکل ۵-۴- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های آب شرب شهرضا

- از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ ..... ۷۹
- شکل ۵-۵- نمودار استیف برای نمونه‌های چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۸۰
- شکل ۵-۶- نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب تهیه شده از چاه‌های آب شرب شهرضا ..... ۸۱
- شکل ۶-۱- نیمرخ زمین‌شناسی در امتداد NW-SE در محدوده آبخوان کارستی امام‌قیس ..... ۸۵
- شکل ۶-۲- نیمرخ زمین‌شناسی کوه نسا عباسی و توسعه کارست در بخش‌های مختلف آن ..... ۸۸
- شکل ۶-۳- رابطه بارندگی و ارتفاع در ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به محدوده مورد مطالعه ..... ۹۰
- شکل ۶-۴- موقعیت تقریبی حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس ..... ۹۱
- شکل ۶-۵- مقایسه میانگین نسبت‌های یونی در چشمه و چاه‌های شماره (۱) و (۲) ..... ۹۳
- شکل ۶-۶- میانگین ضرایب اشباع برای چشمه و چاه‌های شماره (۱) و (۲) ..... ۹۶
- شکل ۶-۷- غلظت میانگین  $(HCO_3 + SO_4)$  و  $(Ca + Mg)$  در چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۹۸
- شکل ۶-۸- نمودار ترکیبی تبادل یونی در نمونه‌های چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۹۸
- شکل ۶-۹- مقایسه نمودار استیف برای نمونه‌های مربوط چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۹۸
- شکل ۶-۱۰- مقایسه موقعیت قرارگیری نمونه‌های مربوط به چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۹۹
- شکل ۶-۱۱- موقعیت نمونه‌های تهیه شده از چشمه و چاه‌ها نسبت به (GMWL) ..... ۱۰۱

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱- مقادیر میانگین بارندگی ماهیانه و سالیانه در ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس ..... ۴
- جدول ۱-۲- توزیع فصلی بارندگی در ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس ..... ۵
- جدول ۱-۳- مقادیر میانگین دمای ماهیانه و سالیانه در ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس ..... ۵
- جدول ۱-۴- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ..... ۶
- جدول ۱-۵- چشمه‌های اطراف آبخوان امام‌قیس ..... ۱۶
- جدول ۱-۶- چاه‌های پیزومتري دشت‌های شمالی و شمال‌غرب اطراف آبخوان کارستی امام‌قیس ..... ۱۶
- جدول ۱-۷- مشخصات چاه شماره (۱) آب شرب شهرضا ..... ۱۹
- جدول ۱-۸- مشخصات چاه شماره (۲) آب شرب شهرضا ..... ۲۰
- جدول ۱-۹- مشخصات چاه شماره (۳) آب شرب شهرضا ..... ۲۰
- جدول ۱-۱۰- مشخصات چاه شماره (۴) آب شرب شهرضا ..... ۲۱
- جدول ۱-۱۱- مشخصات چاه شماره (۵) آب شرب شهرضا ..... ۲۲
- جدول ۱-۱۲- مشخصات چاه شماره (۶) آب شرب شهرضا ..... ۲۳
- جدول ۱-۱۳- مشخصات چاه شماره (۷) آب شرب شهرضا ..... ۲۴
- جدول ۱-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۵۴
- جدول ۲-۴- غلظت یون‌های اصلی در چشمه امام‌قیس از آذر ۱۳۸۸ تا آذر ۱۳۸۹ ..... ۶۲
- جدول ۳-۴- پارامترهای کیفی محاسبه شده برای چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ ..... ۶۴
- جدول ۱-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۱) آب شرب شهرضا ..... ۶۸
- جدول ۲-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۲) آب شرب شهرضا ..... ۶۹
- جدول ۳-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۳) آب شرب شهرضا ..... ۷۰
- جدول ۴-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۵) آب شرب شهرضا ..... ۷۱
- جدول ۵-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۷) آب شرب شهرضا ..... ۷۱
- جدول ۱-۶- ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به حوضه آبریز چشمه امام‌قیس ..... ۸۹
- جدول ۲-۶- میانگین نسبت‌های یونی در چشمه و چاه‌های آب شرب ..... ۹۲
- جدول ۳-۶- میانگین شاخص‌های اشباع در چشمه و چاه‌های آب شرب ..... ۹۶
- جدول ۴-۶- میانگین غلظت یون‌های اصلی در چشمه و چاه‌های آب شرب ..... ۹۵
- جدول ۵-۶- مقادیر همبستگی یون‌های اصلی در چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۹۵
- جدول ۶-۶- مقادیر اندیس ایزوتوپ‌های اکسیژن (۱۸) و دوتریم مربوط به نمونه‌های چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) ..... ۱۰۱

## فصل اول: مقدمه

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

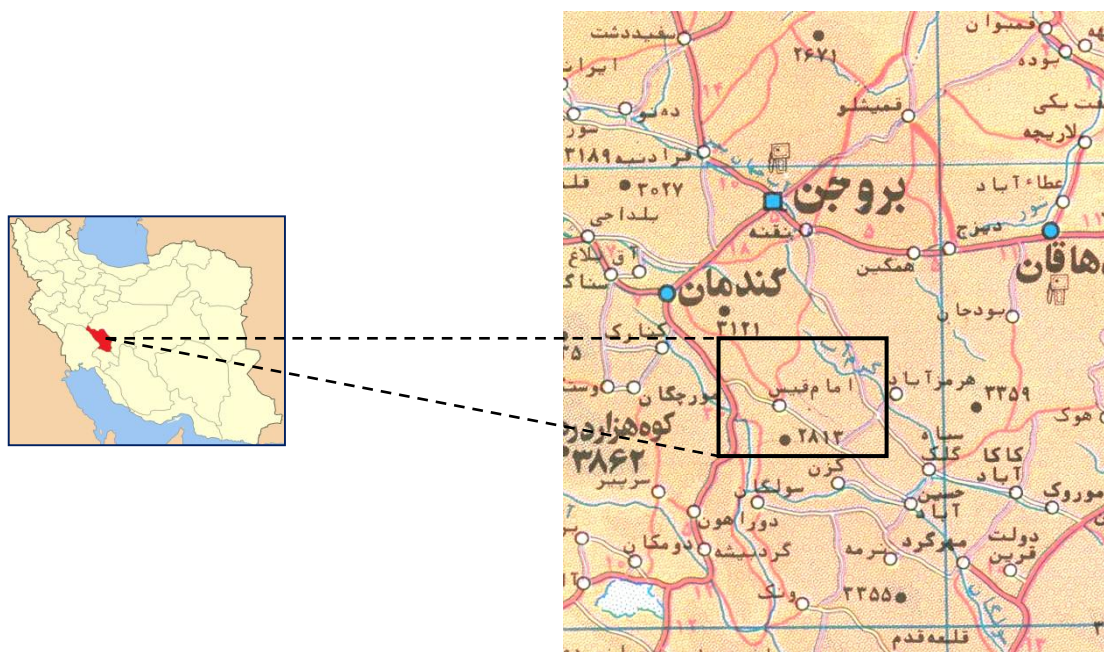
آبخوان کارستی امام‌قیس در ارتفاعات آهکی شمال روستای امام‌قیس (کوه نسا‌رباسی)، از توابع شهرستان بروجن و در جنوب آن، واقع شده است. چشمه‌علی امام‌قیس (واقع در جنوب آبخوان و شرق روستای امام‌قیس) بخش قابل توجهی از آب‌های زیرزمینی تغذیه شده به این آبخوان کارستی را تخلیه می‌کند. این چشمه از چشمه‌های معروف و پر آب ناحیه بروجن است. سنگ‌های آهکی آبخوان کارستی مذکور در محدوده‌ی حوضه آگیر چشمه‌علی امام‌قیس به طور قابل توجهی کارستی شده‌اند به گونه‌ای که در این منطقه علاوه بر توسعه فضا‌های انحلالی و وجود زون‌های تراوا، فروچاله‌ها (Sinkholes) و چاه‌های کارستی (Kars tic shafts) نیز مشاهده می‌شوند.

با توجه به حفر و بهره‌برداری از تعدادی چاه آهکی در محدوده شرق آبخوان کارستی امام‌قیس در سال ۱۳۸۳ و همچنین کاهش آبدهی چشمه در سال‌های اخیر، تاکنون مطالعه جامعی در خصوص وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدروژئولوژیکی بین حوضه آگیر این چشمه و چاه‌های مذکور انجام نشده است. بنابراین، هدف اصلی از انجام این تحقیق "تعیین محدوده حوضه آگیر چشمه مذکور و بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی این حوضه با منابع آب مجاور به ویژه چاه‌های کارستی مذکور" می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، بایستی وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره کارستی منطقه مورد نظر، درجه کارستی شدن آهک‌ها، نوع سیستم جریان آب زیرزمینی در آهک‌ها، محدوده حوضه آگیر چشمه و ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی منابع آب مجاور با چشمه مذکور مورد بررسی قرار گیرد.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب بروجن واقع شده است و ارتفاعات آهکی نسا‌عباسی در شمال روستای امام‌قیس را در بر می‌گیرد. ارتفاعات مذکور آبخوان کارستی امام‌قیس را تشکیل می‌دهند که در محدوده شرقی آن‌ها چاه‌های آب شرب شهرضا احداث گردیده است. منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده‌ی آسفالتی درجه یک بروجن-لردگان میسر است که در کیلومتر ۲۵ جاده آسفالتی گندمان-لردگان یک جاده‌ی آسفالتی درجه دو به سمت روستای امام‌قیس جدا می‌شود. شکل (۱-۱)

موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه

## ۱-۳- اقلیم و آب و هوای منطقه

منظور از اقلیم یک ناحیه مجموعه شرایط جوی حاکم در آن ناحیه و نیز تغییرات این شرایط در طول زمان می‌باشد. جهت بررسی آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه اقدام به جمع‌آوری مهمترین پارامترهای هوا-اقلیم در ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس (نزدیکترین ایستگاه به منطقه

مورد مطالعه) گردید. این پارامترها شامل میانگین بارندگی ماهیانه، میانگین بارندگی سالیانه، میانگین دمای ماهیانه و میانگین دمای سالیانه می‌باشند.

ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی در ارتفاع ۲۴۰۰ متر از سطح آزاد دریاها در سال ۱۳۳۶ احداث و آغاز به کار نموده است. آمار ۳۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۹) مربوط به میانگین بارندگی ماهیانه و سالیانه ایستگاه امام‌قیس در جدول (۱-۱) ارائه شده است.

براساس اطلاعات مندرج در جدول (۱-۱) ملاحظه می‌شود میانگین بارندگی سالیانه در این ایستگاه ۵۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. براساس این آمار ۳۰ ساله میانگین و درصد بارندگی فصلی در ایستگاه مذکور برآورد شده و نتایج در جدول (۲-۱) ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده حدود ۷۸/۳ درصد بارندگی در این منطقه در فصل‌های پاییز و زمستان صورت می‌گیرد که در بخش‌های مرتفع، بخش اعظم آن به صورت برف می‌باشد. با گرم‌تر شدن هوا در این ناحیه در فصل‌های پاییز و زمستان و نیز اوایل بهار، بخش عمده برف‌ها ذوب می‌گردد. آب‌های ناشی از ذوب برف به داخل آبخوان کارستی انتقال یافته و در آن ذخیره می‌شوند.

به دلیل کم بودن میانگین دمای سالیانه و نیز توسعه قابل توجه پدیده‌های کارستی در محدوده حوضه آبریز چشمه کارستی امام‌قیس می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیش از هشتاد درصد بارش‌های جوی در این محدوده به درون آبخوان تغذیه می‌شوند. این مسئله در محاسبه بیلان اجمالی هیدروژئولوژیکی و تعیین محدوده حوضه آبریز چشمه کارستی امام‌قیس که در این تحقیق انجام شده است، دارای اهمیت بسیار می‌باشد.

همچنین آمار ۳۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۹) مربوط به میانگین درجه حرارت ماهیانه و سالیانه ایستگاه امام‌قیس در جدول (۳-۱) ارائه شده است. براساس اطلاعات مندرج در جدول (۳-۱) میانگین دمای سالیانه در این منطقه ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین میانگین حداقل دمای مطلق ۱۹- و میانگین حداکثر مطلق ۳۳/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه به ترتیب دی‌ماه و مردادماه می‌باشند. منطقه مورد مطالعه براساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (De Martonne 1909) دارای ضریب خشکی ۲۸/۷ می‌باشد و در گروه اقلیم‌های نسبتاً

مربوط قرار می‌گیرد. دمارتن جهت تعیین اقلیم مناطق مختلف معادله (۱-۱) را پیشنهاد نموده است (علیزاده، ۱۳۸۱):

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

در این رابطه P میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر) و T متوسط دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. براساس معادله دمارتن اقلیم‌های مختلف در ۶ گروه طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱-۴).

جدول ۱-۱- مقادیر میانگین بارندگی ماهیانه و سالیانه در ایستگاه هواشناسی امام‌قلیس

| سالیانه | اسفند | بهمن  | دی    | آذر   | آبان  | مهر  | شهریور | مرداد | تیر  | خرداد | اردیبهشت | فروردین | سال     |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|------|-------|----------|---------|---------|
| ۴۹۲/۳   | ۶۵/۴  | ۱۴۹/۰ | ۵۵/۷  | ۵۳/۱  | ۱۴/۴  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۴۹/۰     | ۱۰۵/۷   | ۱۳۵۹    |
| ۵۷۷/۴   | ۱۱۷/۱ | ۸۴/۷  | ۶۳/۵  | ۷۶/۵  | ۱۴/۷  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۱۶/۷     | ۲۰۴/۲   | ۱۳۶۰    |
| ۶۵۱/۵   | ۱۴۴/۰ | ۵۵/۴  | ۱۴۴/۵ | ۱۷/۰  | ۱۹۹/۰ | ۲۸/۵ | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۳/۰      | ۵۴/۱    | ۱۳۶۱    |
| ۴۰۶/۹   | ۱۶۱/۷ | ۴۷/۰  | ۶۲/۸  | ۲۴/۸  | ۲/۲   | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۵۱/۷     | ۵۶/۷    | ۱۳۶۲    |
| ۴۶۲/۷   | ۳۷/۰  | ۵۵/۲  | ۹۸/۳  | ۲۶/۰  | ۴۸/۰  | ۷/۹  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۷۳/۴     | ۱۱۶/۹   | ۱۳۶۳    |
| ۳۷۹/۴   | ۱۰۴/۰ | ۶۳/۰  | ۳۰/۰  | ۱۰۷/۲ | ۱۴/۲  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۶/۰      | ۵۵/۰    | ۱۳۶۴    |
| ۸۵۲/۹   | ۱۵۰/۰ | ۶۹/۰  | ۶۴/۰  | ۱۷۰/۹ | ۱۰۰/۴ | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۱۴۳/۴    | ۱۵۵/۲   | ۱۳۶۵    |
| ۵۶۸/۸   | ۱۴۷/۰ | ۷۹/۰  | ۱۲۲/۴ | ۲۴/۰  | ۴۴/۶  | ۱۴/۴ | ۰/۰    | ۱۸/۴  | ۰/۰  | ۰/۰   | ۲/۰      | ۱۱۷/۰   | ۱۳۶۶    |
| ۴۷۱/۰   | ۶۲/۰  | ۱۰۳/۰ | ۹۹/۰  | ۶۰/۰  | ۷۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۵۷/۰     | ۲۰/۰    | ۱۳۶۷    |
| ۵۹۵/۰   | ۴۶/۰  | ۱۲۰/۰ | ۵۷/۰  | ۲۶۸/۰ | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۳۶/۰     | ۶۸/۰    | ۱۳۶۸    |
| ۳۳۸/۰   | ۱۰۱/۰ | ۸۶/۰  | ۱۰۴/۰ | ۲۳/۰  | ۰/۰   | -    | -      | -     | ۰/۰  | ۰/۰   | ۲/۰      | ۲۲/۰    | ۱۳۶۹    |
| ۶۱۷/۰   | ۹۹/۰  | ۵۵/۰  | ۷۶/۰  | ۲۳۱/۰ | ۰/۰   | ۵۷/۰ | ۰/۰    | ۰/۰   | ۶/۰  | ۰/۰   | ۰/۰      | ۹۳/۰    | ۱۳۷۰    |
| ۹۵۳/۰   | ۲۸۱/۰ | ۱۰۱/۰ | ۲۵۲/۰ | ۱۲۰/۰ | ۳/۰   | ۰/۰  | ۶/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۶/۰   | ۱۰۴/۰    | ۸۰/۰    | ۱۳۷۱    |
| ۳۶۶/۰   | ۶۷/۰  | ۸۴/۰  | ۳۰/۰  | ۳۵/۰  | ۶۶/۰  | ۰/۰  | ۷/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۳/۰   | ۵۰/۰     | ۲۴/۰    | ۱۳۷۲    |
| ۷۴۷/۰   | ۷۱/۰  | ۱۰۲/۰ | ۵۲/۰  | ۲۶۱/۰ | ۱۴۱/۰ | ۱۴/۰ | ۰/۹    | ۰/۰   | ۹/۰  | ۰/۰   | ۴۵/۹     | ۵۰/۲    | ۱۳۷۳    |
| ۶۴۶/۰   | ۱۹۳/۰ | ۱۲۳/۰ | ۱۴۳/۰ | ۵۷/۰  | ۰/۰   | ۴/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۵۸/۰  | ۳۲/۰     | ۳۶/۰    | ۱۳۷۴    |
| ۳۶۷/۵   | ۱۰۰/۰ | ۱۶/۰  | ۵۹/۰  | ۲۸/۰  | ۰/۰   | ۶/۰  | ۴/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۲/۰   | ۴۵/۰     | ۱۰۷/۵   | ۱۳۷۵    |
| ۸۹۳/۵   | ۱۹۸/۰ | ۲۰۷/۰ | ۱۳۵/۰ | ۱۲۴/۰ | ۲۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۳/۰  | ۰/۰   | ۲۷/۰     | ۱۷۹/۵   | ۱۳۷۶    |
| ۶۱۱/۵   | ۲۳۸/۰ | ۱۰۱/۵ | ۱۰۳/۰ | ۱۷/۰  | ۰/۰   | ۳۰/۰ | ۳/۰    | ۷/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۹/۰      | ۱۰۳/۰   | ۱۳۷۷    |
| ۳۹۴/۰   | ۴۴/۰  | ۱۲۵/۰ | ۶۵/۰  | ۴۸/۰  | ۴۴/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۱۶/۰ | ۰/۰   | ۱۰/۰     | ۴۲/۰    | ۱۳۷۸    |
| ۲۸۰/۰   | ۹۱/۰  | ۶۴/۰  | ۴۵/۰  | ۱۰۱/۰ | ۴۶/۰  | ۲/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۰/۰      | ۳۱/۰    | ۱۳۷۹    |
| ۶۸۲/۵   | ۳۳/۰  | ۸۱/۰  | ۱۱۳/۰ | ۳۵۹/۵ | ۳۴/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۲۵/۰     | ۳۷/۰    | ۱۳۸۰    |
| ۷۶۱/۰   | ۱۱۸/۰ | ۱۳۱/۰ | ۳۲/۰  | ۱۸۱/۰ | ۶۵/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۱۱/۰     | ۲۲۳/۰   | ۱۳۸۱    |
| ۶۵۴/۰   | ۹۹/۰  | ۱۴۷/۰ | ۲۰۳/۰ | ۴۲/۰  | ۳/۰   | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۶۳/۰     | ۹۷/۰    | ۱۳۸۲    |
| ۸۳۵/۰   | ۱۲۳/۰ | ۹۷/۰  | ۱۷۹/۰ | ۱۹۰/۰ | ۸۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۲۸/۰     | ۱۳۸/۰   | ۱۳۸۳    |
| ۸۳۹/۰   | ۱۶/۰  | ۳۷۷/۰ | ۳۰۱/۰ | ۳۳/۰  | ۵۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۵/۰   | ۰/۰  | ۶/۰   | ۱۲/۰     | ۳۹/۰    | ۱۳۸۴    |
| ۷۵۰/۰   | ۱۲۱/۰ | ۱۸۲/۰ | ۸۶/۰  | ۹۴/۰  | ۸۵/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۴۵/۰     | ۱۳۷/۰   | ۱۳۸۵    |
| ۴۹۱/۰   | ۱۷/۰  | ۸۳/۰  | ۷۹/۰  | ۸۸/۰  | ۶/۰   | ۱/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۱۵/۰  | ۱۰/۰     | ۱۹۲/۰   | ۱۳۸۶    |
| ۳۹۵/۰   | ۱۰۶/۰ | ۱۰۵/۰ | ۵۱/۰  | ۲۷/۰  | ۶۸/۰  | ۰/۰  | ۵/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۰/۰      | ۳۳/۰    | ۱۳۸۷    |
| ۵۹۴/۰   | ۶۶/۰  | ۱۵۳/۰ | ۱۱/۰  | ۱۸۳/۰ | ۷۹/۰  | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۹/۰  | ۴/۰   | ۱۷/۰     | ۷۲/۰    | ۱۳۸۸    |
| -       | -     | -     | -     | -     | ۰/۰   | ۰/۰  | ۲/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۲۲/۰     | ۱۱۱/۰   | ۱۳۸۹    |
| ۵۹۲/۱   | ۱۰۷/۲ | ۱۰۸/۲ | ۹۷/۲  | ۹۹/۰  | ۴۱/۸  | ۵/۳  | ۰/۹    | ۱     | ۱/۲  | ۳/۰   | ۳۲/۱     | ۹۰/۳    | میانگین |
| ۹۵۳/۰   | ۲۸۱/۰ | ۳۷۷/۰ | ۳۰۱/۰ | ۳۵۹/۵ | ۱۹۹/۰ | ۵۷/۰ | ۷/۰    | ۱۸/۴  | ۱۶/۰ | ۵۸/۰  | ۱۴۳/۴    | ۲۲۳/۰   | حداکثر  |
| ۳۳۸/۰   | ۱۶/۰  | ۱۶/۰  | ۱۱/۰  | ۱۷/۰  | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰    | ۰/۰   | ۰/۰  | ۰/۰   | ۰/۰      | ۲۰/۰    | حداقل   |

جدول ۱-۲- توزیع فصلی بارندگی در ایستگاه هواشناسی - اقلیم‌شناسی امام‌قلیس

| فصل     | بارندگی (میلی‌متر) | درصد بارندگی سالیانه |
|---------|--------------------|----------------------|
| بهار    | ۱۲۵/۲              | ۲۱/۱                 |
| تابستان | ۳/۳                | ۰/۶                  |
| پاییز   | ۱۵۱/۱              | ۲۵/۵                 |
| زمستان  | ۳۱۲/۶              | ۵۲/۸                 |

جدول ۱-۳- مقادیر میانگین دمای ماهیانه و سالیانه (درجه سانتی‌گراد) در ایستگاه هواشناسی - اقلیم‌شناسی امام‌قلیس

| سالانه | اسفند | بهمن | دی   | آذر  | آبان | مهر  | شهریور | مرداد | تیر  | خرداد | اردیبهشت | فروردین | سال     |
|--------|-------|------|------|------|------|------|--------|-------|------|-------|----------|---------|---------|
| ۱۰/۷   | ۴/۳   | -۰/۲ | -۱/۳ | ۱/۴  | ۷/۴  | ۱۳/۱ | ۱۸/۷   | ۲۱/۵  | ۲۱/۰ | ۱۸/۷  | ۱۴/۳     | ۹/۱     | ۱۳۵۹    |
| ۹/۶    | -۰/۲  | -۳/۳ | -۰/۴ | ۲/۱  | ۷/۵  | ۱۱/۳ | ۱۸/۶   | ۲۰/۶  | ۲۱/۶ | ۱۶/۶  | ۱۲/۶     | ۷/۷     | ۱۳۶۰    |
| ۹/۳    | -۱/۸  | -۵/۶ | -۳/۴ | -۲/۲ | ۴/۵  | ۱۲/۷ | ۱۹/۰   | ۲۳/۶  | ۲۱/۶ | ۱۹/۸  | ۱۵/۷     | ۸/۲     | ۱۳۶۱    |
| ۱۰/۲   | ۲/۸   | -۳/۰ | -۲/۲ | ۲/۵  | ۶/۷  | ۱۲/۹ | ۱۹/۲   | ۲۳/۰  | ۲۲/۳ | ۱۹/۱  | ۱۳/۱     | ۵/۷     | ۱۳۶۲    |
| ۱۰/۲   | ۲/۰   | ۱/۲  | -۲/۶ | ۲/۴  | ۶/۵  | ۱۱/۸ | ۱۹/۷   | ۲۲/۵  | ۲۱/۰ | ۱۷/۵  | ۱۱/۲     | ۸/۸     | ۱۳۶۳    |
| ۱۰/۴   | ۲/۱   | -۱/۴ | ۰/۰  | ۱/۴  | ۷/۳  | ۱۳/۵ | ۱۸/۸   | ۲۱/۴  | ۲۲/۷ | ۱۸/۲  | ۱۲/۰     | ۸/۵     | ۱۳۶۴    |
| ۹/۳    | ۱/۹   | -۰/۱ | -۴/۲ | -۱/۰ | ۶/۶  | ۱۴/۵ | ۱۶/۲   | ۲۰/۵  | ۲۱/۶ | ۱۷/۰  | ۱۱/۴     | ۷/۶     | ۱۳۶۵    |
| ۱۰/۳   | ۱/۷   | -۲/۸ | ۰/۴  | ۳/۲  | ۸/۷  | ۱۲/۶ | ۱۸/۷   | ۲۰/۶  | ۲۱/۲ | ۱۸/۲  | ۱۴/۹     | ۶/۲     | ۱۳۶۶    |
| ۹/۹    | ۲/۷   | -۸/۰ | -۵/۷ | ۳/۳  | ۸/۶  | ۱۴/۴ | ۱۸/۹   | ۲۲/۰  | ۲۱/۵ | ۱۸/۲  | ۱۳/۵     | ۸/۹     | ۱۳۶۷    |
| -      | ۳/۹   | -۲/۵ | -۱/۰ | -    | -    | ۱۲/۴ | ۱۹/۹   | ۲۱/۱  | ۲۲/۴ | ۱۸/۵  | ۱۲/۰     | ۶/۸     | ۱۳۶۸    |
| -      | ۳/۰   | -۰/۷ | -۲/۲ | ۴/۲  | -    | -    | -      | -     | -    | ۱۹/۵  | ۱۳/۹     | ۶/۴     | ۱۳۶۹    |
| ۱۰/۰   | -۰/۵  | -۵/۰ | -۴/۱ | ۲/۹  | ۸/۶  | ۱۳/۴ | ۲۰/۹   | ۲۳/۶  | ۲۲/۰ | ۱۶/۶  | ۱۳/۷     | ۸/۵     | ۱۳۷۰    |
| ۹/۹    | ۲/۶   | -۱/۷ | -۱/۷ | ۲/۵  | ۸/۷  | ۱۳/۳ | ۱۷/۱   | ۲۱/۸  | ۲۲/۱ | ۱۶/۹  | ۱۱/۶     | ۵/۶     | ۱۳۷۱    |
| ۱۰/۹   | ۳/۸   | ۰/۱  | ۳/۰  | ۵/۰  | ۸/۷  | ۱۳/۵ | ۱۹/۶   | ۲۱/۳  | ۲۱/۰ | ۱۷/۰  | ۱۱/۱     | ۶/۲     | ۱۳۷۲    |
| ۱۱/۰   | ۳/۳   | ۰/۷  | ۰/۸  | ۱/۷  | ۸/۲  | ۱۳/۰ | ۱۸/۸   | ۲۵/۱  | ۲۲/۶ | ۱۸/۳  | ۱۲/۶     | ۷/۶     | ۱۳۷۳    |
| ۱۰/۳   | ۲/۹   | -۱/۳ | -۳/۶ | ۰/۲  | ۹/۷  | ۱۳/۷ | ۲۰/۳   | ۲۲/۸  | ۲۲/۰ | ۱۶/۸  | ۱۲/۲     | ۸/۳     | ۱۳۷۴    |
| ۱۰/۹   | ۳/۲   | -۲/۵ | ۱/۹  | ۴/۵  | ۸/۷  | ۱۴/۵ | ۱۹/۹   | ۲۱/۲  | ۲۰/۹ | ۱۸/۲  | ۱۳/۲     | ۷/۵     | ۱۳۷۵    |
| ۱۰/۴   | ۲/۷   | -۱/۲ | -۳/۵ | ۱/۶  | ۸/۱  | ۱۵/۵ | ۱۸/۹   | ۲۳/۹  | ۲۲/۶ | ۱۷/۷  | ۱۲/۸     | ۵/۵     | ۱۳۷۶    |
| ۱۲/۱   | ۲/۸   | ۱/۱  | ۵/۷  | ۷/۶  | ۹/۵  | ۱۴/۷ | ۱۹/۳   | ۲۱/۶  | ۲۲/۱ | ۱۸/۱  | ۱۳/۵     | ۹/۷     | ۱۳۷۷    |
| ۱۱/۲   | ۲/۶   | -۲/۸ | ۱/۷  | ۳/۷  | ۸/۹  | ۱۴/۴ | ۱۹/۹   | ۲۲/۵  | ۲۲/۳ | ۱۸/۵  | ۱۳/۹     | ۸/۹     | ۱۳۷۸    |
| ۱۱/۴   | ۴/۲   | ۰/۱  | ۱/۱  | ۲/۶  | ۷/۷  | ۱۴/۰ | ۲۰/۰   | ۲۱/۴  | ۲۲/۷ | ۱۷/۹  | ۱۴/۷     | ۱۰/۴    | ۱۳۷۹    |
| ۱۱/۹   | ۵/۴   | ۰/۰  | ۱/۱  | ۳/۳  | ۹/۲  | ۱۵/۴ | ۲۰/۲   | ۲۲/۳  | ۲۳/۸ | ۱۸/۴  | ۱۴/۵     | ۹/۶     | ۱۳۸۰    |
| ۱۱/۱   | ۳/۸   | ۱/۲  | -۰/۱ | ۲/۹  | ۸/۱  | ۱۵/۸ | ۲۰/۴   | ۲۱/۷  | ۲۱/۳ | ۱۸/۱  | ۱۳/۴     | ۷/۶     | ۱۳۸۱    |
| ۱۱/۲   | ۵/۴   | -۱/۰ | ۰/۲  | ۳/۴  | ۸/۵  | ۱۴/۴ | ۱۹/۲   | ۲۲/۸  | ۲۲/۸ | ۱۷/۰  | ۱۲/۴     | ۸/۸     | ۱۳۸۲    |
| ۹/۹    | ۴/۳   | -۴/۰ | -۵/۱ | ۱/۷  | ۸/۵  | ۱۳/۸ | ۱۹/۴   | ۲۲/۷  | ۲۰/۷ | ۱۷/۳  | ۱۲/۴     | ۷/۴     | ۱۳۸۳    |
| ۱۱/۳   | ۵/۴   | ۱/۰  | -۳/۵ | ۶/۰  | ۸/۰  | ۱۴/۹ | ۱۹/۷   | ۲۲/۴  | ۲۳/۲ | ۱۶/۹  | ۱۲/۹     | ۸/۶     | ۱۳۸۴    |
| ۱۰/۳   | ۲/۶   | -۱/۹ | -۵/۵ | -۱/۳ | ۹/۰  | ۱۴/۷ | ۱۸/۷   | ۲۲/۵  | ۲۲/۸ | ۱۸/۵  | ۱۴/۶     | ۸/۸     | ۱۳۸۵    |
| ۱۰/۹   | ۶/۱   | -۲/۰ | -۶/۰ | ۴/۰  | ۹/۴  | ۱۴/۱ | ۱۹/۴   | ۲۱/۷  | ۲۳/۱ | ۱۸/۹  | ۱۴/۳     | ۸/۰     | ۱۳۸۶    |
| ۱۱/۷   | ۵/۵   | ۱/۳  | ۱/۴  | ۲/۳  | ۷/۳  | ۱۴/۸ | ۱۹/۲   | ۲۲/۳  | ۲۲/۶ | ۱۸/۹  | ۱۳/۹     | ۱۰/۸    | ۱۳۸۷    |
| ۱۱/۳   | ۷/۹   | ۲/۵  | ۰/۳  | ۱/۱  | ۸/۹  | ۱۳/۵ | ۱۹/۶   | ۲۳/۱  | ۲۱/۸ | ۱۷/۶  | ۱۲/۸     | ۶/۶     | ۱۳۸۸    |
| -      | -     | -    | -    | ۲/۰  | ۹/۰  | ۱۶/۳ | ۲۰/۳   | ۲۱/۷  | ۲۳/۲ | ۱۹/۳  | ۱۲/۸     | ۹/۲     | ۱۳۸۹    |
| ۱۰/۶   | ۳/۲   | -۱/۴ | -۱/۳ | ۲/۵  | ۸/۲  | ۱۳/۹ | ۱۹/۳   | ۲۲/۲  | ۲۲/۱ | ۱۸/۰  | ۱۳/۲     | ۸/۰     | میانگین |
| ۱۲/۱   | ۷/۹   | ۲/۵  | ۵/۷  | ۷/۶  | ۹/۷  | ۱۶/۳ | ۲۰/۹   | ۲۵/۱  | ۲۳/۸ | ۱۹/۸  | ۱۵/۷     | ۱۰/۸    | حداکثر  |
| ۹/۳    | -۱/۸  | -۸/۰ | -۶/۰ | -۲/۲ | ۴/۵  | ۱۱/۳ | ۱۶/۲   | ۲۰/۵  | ۲۰/۷ | ۱۶/۶  | ۱۱/۱     | ۵/۵     | حداقل   |

جدول ۱-۴- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن

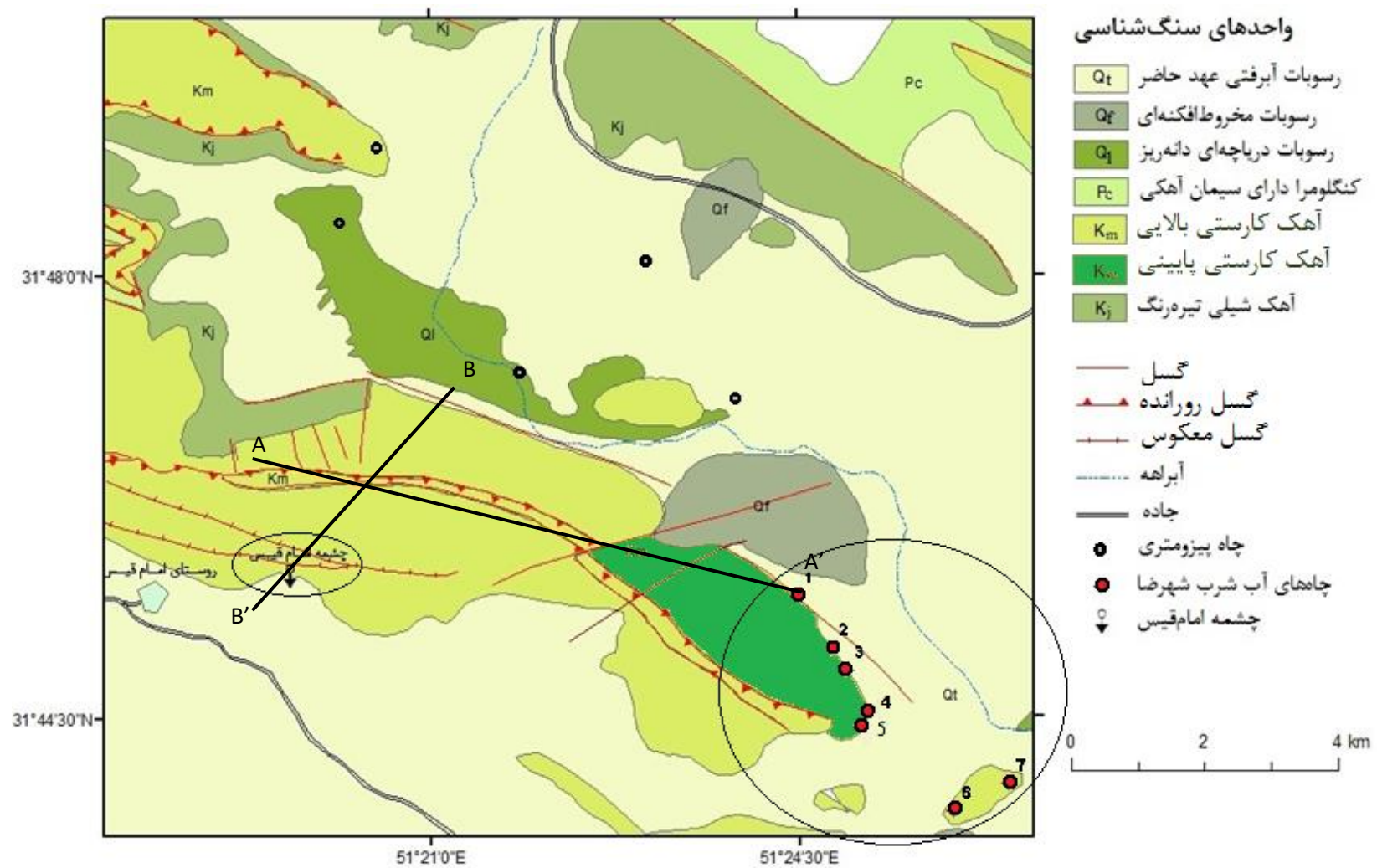
| نام اقلیم        | خشک           | نیمه خشک     | مدیترانه‌ای  | نیمه مرطوب   | مرطوب        | بسیار مرطوب    |
|------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| محدوده ضریب خشکی | کوچتر از ۱۰/۰ | ۱۰/۰ تا ۱۹/۹ | ۲۰/۰ تا ۲۳/۹ | ۲۴/۰ تا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

#### ۱-۴- زمین شناسی منطقه

محدوده‌ی مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی در بخشی از زون زمین‌شناسی سنندج-سیرجان و در مرز بلافصل با زون زاگرس مرتفع قرار دارد. گسل اصلی زاگرس مرز جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد که تاثیر بسیار زیادی بر وضعیت زمین‌ساختاری منطقه داشته است. گسل مذکور که گاهی به نام راندگی اصلی زاگرس نیز خوانده می‌شود، منطقه‌ای گسلیده و خردشده است که گاهی پهنای آن تا چند کیلومتر نیز می‌رسد. در نواحی که گسل اصلی زاگرس از دسته گسل‌های متعدد تشکیل می‌یابد، مرز بین زون‌های سنندج-سیرجان و زاگرس مرتفع، به عنوان زون تدریجی (Transitional zone) معرفی می‌گردد که در این حالت می‌توان واحدهای سنگ‌چینه‌ای هر دو زون را در کنار یکدیگر مشاهده نمود. به دلیل نیروهای فشارشی شدیدی که به ناحیه‌ی برخورد اعمال گردیده، غالباً واحدهای سنگ‌چینه‌ای به شدت خرد و گسلیده شده‌اند و گاهی واحدهای سنگ‌چینه‌ای دو زون زاگرس مرتفع و سنندج-سیرجان با یکدیگر ادغام گردیده‌اند. شکل (۱-۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

##### ۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه

به طور کلی واحدهای سنگ‌چینه‌ای مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه به سه گروه واحدهای سنگ‌چینه‌ای ژوراسیک-کرتاسه، واحدهای سنگ‌چینه‌ای کرتاسه و واحدهای رسوبی عهد حاضر تقسیم می‌شوند. هر کدام از تقسیمات واحدهای سنگی نیز به نوبه خود دارای زیر واحدهای مختلفی می‌باشند. در ادامه توضیحات مختصری در مورد وضعیت چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی این واحدها ارائه خواهد شد. واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه که براساس سن به صورت مختصر معرفی می‌گردند شامل:



شکل ۱-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از مطالعات پایه زمین‌شناسی تامین آب شرب شهرضا، ۱۳۷۲)

#### الف- آهک‌های شیلی ژوراسیک-کرتاسه ( $K_j$ )

این واحد شامل آهک‌های مارن و شیلی خاکستری تا تیره رنگ می‌باشد. در قسمت‌های بالایی این رسوبات به صورت بین‌لایه‌ای، ماسه‌های آهکی و کنگلومرای آهکی مشاهده می‌شود که حکایت از تغییر شرایط حاکم در حوضه رسوبگذاری و کاهش عمق آن دارد. همچنین در آن‌ها باندهای آندزیتی نیز قابل مشاهده است. مرز زیرین آهک‌های شیلی در منطقه مورد مطالعه رخنمون نداشته و مرز بالایی آن نیز با سطح تماس گسله در همبری با اسلیت‌های ژوراسیک قرار می‌گیرد. گسترش این آهک‌ها در بخش‌های شمال غرب محدوده مورد مطالعه (شمال کوه نسا‌رباسی) اندک است و به صورت تپه ماهورهای کم‌ارتفاع در این ناحیه برونزد دارند. در بخش‌های آهکی‌تر این طبقات آثار ناچیزی از فرآیند کارستی شدن قابل مشاهده است و به طور کلی از دیدگاه توسعه‌ی پدیده‌ی کارست قابلیت اندکی دارا می‌باشند.

ب- آهک‌های کرتاسه‌ی پایینی ( $K_m$ ): این واحد شامل آهک‌های مقاوم خاکستری و گاهی تیره رنگ است که به طور پراکنده دارای ندول‌های چرت می‌باشند. در برخی نواحی این واحد سنگی به واحدهای مارنی و دولومیتی تبدیل شده است. از نظر سنگ‌شناسی این واحد قابل تقسیم به دو بخش پایینی و بالایی می‌باشد. بخش پایینی از آهک‌های مارنی و دولومیتی تیره رنگ نازک لایه و بخش بالایی از آهک‌های خاکستری رنگ ضخیم لایه تا توده‌ای تشکیل شده است. تفکیک این دو بخش از یکدیگر به دلیل خردشدگی شدید و به هم ریختگی‌های تکتونیکی سنگ‌های آهکی در طی بررسی‌های صحرایی مگر در چند مورد محدود امکان پذیر نمی‌باشند (شکل ۱-۳). به همین دلیل در نقشه‌ی زمین‌شناسی از یکدیگر جدا نشده و یک واحد زمین‌شناسی در نظر گرفته شده‌اند. به دلیل مقاومت زیاد این واحد و به ویژه بخش‌های بالایی آن در برابر فرسایش، این واحد سنگی صخره‌ساز بوده و گاهی پرتگاه‌هایی (Scarps) را نیز به وجود آورده است. در محدوده‌ی مورد مطالعه تقریباً تمامی کوه‌ها و ارتفاعات موجود در بخش‌های شمالی گسل اصلی زاگرس از این واحد تشکیل شده‌اند. مرز زیرین واحد سنگی مذکور به دلیل شدید بودن حرکات تکتونیکی در این ناحیه، در همه جا گسلی است. شدت حرکات تکتونیکی سبب شده تا آهک‌های کرتاسه خردشدگی شدیدی داشته باشند، به حدی که لایه‌بندی در آن‌ها به دشواری قابل تشخیص است. این امر به ویژه در نزدیکی گسل اصلی زاگرس

(جنوب منطقه) چشمگیرتر است. از نشانه‌های خردشدگی شدید می‌توان به رگه‌های فراوان کلسیتی در این سنگ‌ها اشاره نمود. فازهای تکتونیکی موثر در ناحیه موجب شده تا آهک‌های کرتاسه به طور پراکنده و ناهمگن مرمی شوند. سن بخش پایینی این واحد براساس مطالعات انجام شده به کرتاسه‌ی زیرین (Aptian-Albian) نسبت داده می‌شود و سن بخش بالایی که دارای فسیل‌های رودیست و اربیتولین می‌باشد، احتمالاً اوایل کرتاسه‌ی بالایی است. شکل (۱-۳) آهک‌های به شدت خرد شده جنوب منطقه (نزدیکی چشمه امام‌قیس) را نشان می‌دهد که در آن‌ها تشخیص لایه‌بندی در سازند آهکی به دلیل به هم ریختگی زیاد لایه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد.



شکل ۱-۳- به هم ریختگی و خردشدگی شدید آهک‌ها در منطقه مورد مطالعه

ج- نهشته‌های جوان (کواترنری): این گروه که شامل نهشته‌های عهد حاضر می‌باشد از چهار واحد رسوبی زیر تشکیل شده است:

۱- رس‌های آهکی سفید تا سبز رنگ (نهشته‌های دریاچه‌ای) (Q<sub>1</sub>): این رسوبات به صورت تپه‌ماهور هایی کم ارتفاع و سفید رنگ در شمال کوه نسا رعباسی رخنمون دارند. جنس این نهشته‌ها غالباً رس های آهکی سفید تا سبز رنگ می‌باشد که گاهی در آن عدسی‌های درشت دانه آهکی نیز قابل مشاهده است. این رسوبات در اکثر مناطق با آبرفت‌های جوان‌تر پوشانده شده اند. در مناطق خارج از محدوده مورد مطالعه (غرب منطقه‌ی سیاه‌گلک)، این نهشته‌ها به صورت رس‌های قهوه‌ای حاوی دوکفه‌ای‌های کوچک و باندهای رسی تیره همراه با آثار زغالی فراوان قابل مشاهده می‌باشند. باندهای رسی تیره بیانگر وجود شرایط احیایی در محیط رسوبی به هنگام رسوب‌گذاری می‌باشند.

در جنوب منطقه‌ی تنگ‌آهن و شرق منطقه مورد مطالعه قله‌های کنگلومرایی بزرگ (در حد ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) و در محدوده پیراسفنه لایه‌های رسوبی آهکی آب شیرین را نیز می‌توان در این رسوبات مشاهده نمود. بنابراین با توجه به شرایط بیان شده به نظر می‌رسد که این رسوبات از نوع نهشته‌های دریاچه‌ای دانه‌ریز و از نظر هیدروژئولوژیکی نفوذناپذیر می‌باشند. ضخامت این نهشته‌ها با توجه به افقی بودن آن‌ها و براساس مطالعات زمین‌شناسی بیش از صد و پنجاه متر و براساس مطالعات ژئوفیزیکی حدود دویست و پنجاه متر برآورد شده است.

۲- آبرفت‌های دشت گرماب ( $Q_t$ ): این رسوبات شامل گراول، ماسه و مقادیر فراوانی رس می‌باشند. به دلیل وجود رس فراوان در این رسوبات، از نفوذپذیری کمی برخوردار هستند. احتمالاً مقادیر فراوان رس موجود در این آبرفت‌ها از فرسایش آهک‌های شیلی، آهک‌های مارنی و اسلیت‌ها حاصل گردیده است. به علت وجود نهشته‌های غیرقابل نفوذ در زیر این رسوبات، معمولاً پس از بارندگی‌های شدید و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، چشمه‌های کوچک و موقت به تعداد فراوان در نواحی مختلف دشت شکل می‌گیرند.

۳- مخروط‌افکنه‌های آبرفتی قدیمی: این رسوبات مخروط‌افکنه‌های قدیمی هستند که از نظر جنس شبیه آبرفت‌های دشت بوده ولی در مقایسه با آن‌ها درشت‌دانه‌تر می‌باشند و از مقادیر کمتر رس برخوردار هستند. این نهشته‌ها که زمانی محل رسوب‌گذاری آبرفت‌ها بوده‌اند در حال حاضر بالاتر از سطح اساس فرسایش رودخانه‌ها قرار گرفته و در معرض فرسایش می‌باشند.

۴- مخروط‌افکنه‌های آبرفتی جوان: این واحد از رسوبات منطقه از نظر جنس و اجزاء تشکیل دهنده با مخروط‌افکنه‌های قدیمی مشابه می‌باشد. اما به دلیل اینکه هم اکنون آبراهه‌ها بر روی آن‌ها جاری می‌باشند و رسوبات آبرفتی رودخانه‌ها بر روی آن‌ها رسوب می‌کنند، از مخروط‌افکنه‌های قدیمی تفکیک شده‌اند. مخروط‌افکنه‌های جوان دارای نفوذپذیری و آبدهی بیشتری می‌باشند.

#### ۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختاری منطقه

همانطور که ذکر شد از نظر زمین‌شناسی بخش وسیعی از محدوده‌ی مورد مطالعه در زون ساختاری سندج-سیرجان قرار می‌گیرد. وجود گسل‌های فراوان به صورت راندگی و روراندگی از ویژگی‌های

مهم زون ساختاری مذکور می‌باشد. تغییر شکل‌های ساختاری در این زون با جابه‌جایی گسترده بلوک‌ها و خردشدگی شدید سازندهای منطقه همراه بوده است. خردشدگی‌های کوه‌های شمال روستای امام‌قیس به حدی است که تشخیص لایه‌بندی در این بخش‌ها دشوار و یا حتی در برخی موارد غیرممکن است.

روند اصلی پدیده‌های ساختاری در این ناحیه به موازات روند گسل اصلی زاگرس N130 می‌باشد که در واقع نشان‌دهنده‌ی هماهنگی و مشابهت در نیروهای موثر بر روند ساختاری زون زاگرس و سنندج-سیرجان و منطقه مورد مطالعه می‌باشد. فاز کوهزایی لارامید موثرترین فاز کوهزایی از نظر تغییرات ساختاری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به طوری که راندگی‌ها و روراندگی‌های اصلی منطقه مربوط به این فاز کوهزایی می‌باشند.

#### الف- گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه

راندگی‌ها و گسل‌های معکوس امام‌قیس: در دامنه‌ی جنوبی کوه نسا‌عباسی، گسل‌های معکوسی وجود دارند که دارای امتداد N90-110 هستند و شیبی به سمت جنوب دارند. طول این گسل‌ها حداکثر به ده کیلومتر می‌رسد. این گسل‌ها موجب راندگی آهک‌های کرتاسه پایینی به طرف شمال آبخوان امام‌قیس شده‌اند. راندگی‌های کوه نسا‌عباسی احتمالاً بر اثر فاز تکتونیکی پاسادنین و حرکات گسل اصلی زاگرس به وجود آمده‌اند. پس از آن آهک‌های رورانده‌ی کوه نسا‌عباسی تحت تاثیر راندگی‌های تنگ‌آهن-آیک (مربوط به قبل از پلیوسن) قرار گرفته‌اند. این راندگی‌ها سبب خرد و برشی شدن شدید کوه نسا‌عباسی در بخش‌های شمال و شمال‌شرق شده است. به علت برشی شدن شدید منطقه اندازه‌گیری شیب و امتداد گسل‌های مزبور امکان‌پذیر نبوده است.

گسل سیاه‌گلک-قورتپه‌سی: این گسل از دامنه‌ی شمالی ارتفاعات نسا‌عباسی شروع شده و تا دامنه شمالی ارتفاعات شرق سیاه‌گلک ادامه می‌یابد. گسل سیاه‌گلک-قورتپه‌سی دارای امتداد N105-135 بوده و در برخی مناطق به وسیله‌ی گسل‌های دیگر منطقه دچار جابه‌جایی شده است. گسل مذکور در در شمال کوه نسا‌عباسی سبب فروافتادگی‌های تکتونیکی شده است و عامل اصلی تشکیل کوه‌های کوچکی مانند کوه قورتپه‌سی در شمال کوه نسا‌عباسی، می‌باشد. طول این گسل بیست و پنج کیلومتر بوده و خارج از محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

ولی از آنجایی که در بخشی از طول خود تاثیرات ساختاری بسیاری بر آبخوان کارستی امام قیس داشته است، معرفی گردید.

گسل راستگرد حیدرآباد: کوه‌های نسا‌عباسی و لران دارای روند یکسانی می‌باشند اما نسبت به هم جابه‌جایی‌های راستگردی دارند. جابه‌جایی مذکور به دلیل حرکات راستگرد گسل حیدرآباد می‌باشد. این گسل از جنوب مزرعه‌ی حیدرآباد شروع شده و تا شرق کوه لران قابل پیگیری است. روند این گسل N90 می‌باشد و طول آن حدود ده کیلومتر می‌باشد.

#### ب- وضعیت درزه‌های منطقه مورد مطالعه

در این بخش به بررسی وضعیت درزه‌های موجود در آبخوان امام‌قیس پرداخته می‌شود که به طور مفصل در مطالعات زمین‌شناسی طرح تامین آب شرب شهرضا بررسی شده است. در مطالعه مذکور به منظور بررسی وضعیت درزه‌ها در این آبخوان سه ایستگاه درزه‌نگاری انتخاب گردیده که در هر ایستگاه صد برداشت از امتداد و شیب درزه‌ها به عمل آمده است. نتیجه مطالعه مذکور در این بخش ارائه خواهد شد. مطابق با این مطالعه چهار دسته درزه در آبخوان امام‌قیس شناسایی شد:

دسته اول: بیشترین درزه‌های برداشت شده که امتداد و شیب آن‌ها 40-70/65-85 می‌باشند.

دسته دوم: قطب درزه‌های مزبور در ناحیه‌ی شمال‌غرب کنتور دیاگرام متمرکز است و به طور کلی دارای دامنه‌ی تغییرات ناچیزی هستند. امتداد و شیب آن‌ها 213/65 می‌باشد.

دسته سوم: امتداد و شیب این درزه‌ها به طور کلی 123/83 است. درزه‌های پرشیبی هستند و شیب آن‌ها از ۶۵ تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند. همچنین امتداد درزه‌ها از N25 تا N65 تغییر می‌کند.

دسته‌ی چهارم: این دسته بیانگر درزه‌هایی است که تمرکز قطب‌های آن‌ها در غرب کنتور دیاگرام می‌باشد و دامنه‌ی تغییرات آن‌ها اندک می‌باشد. درزه‌های این گروه نسبتاً پرشیب بوده و شیب آن‌ها بین ۵۰ تا ۷۰ درجه تغییر می‌کند (مطالعات زمین‌شناسی تامین آب شرب شهرضا، اسفند ۱۳۷۶).

#### ۱-۴-۳- ژئومورفولوژی منطقه

ارتفاعات نسا‌عباسی و کوه لران در ادامه کوه ابولکری واقع شده‌اند و بلندی‌های دیوار مانندی هستند که بخش غربی دشت گرماب را به دو بخش تقسیم کرده‌اند. این کوه‌ها به دلیل جابه‌جایی راستگردی

که نسبت به هم دارند به صورت پیوسته نمی‌باشند. به طور کلی ارتفاع این کوه‌ها به طرف شرق منطقه کاهش می‌یابد. بلندترین قله‌های این ارتفاعات ۲۹۷۰ متر در کوه نسا‌عباسی و ۲۸۱۲ متر در کوه لران می‌باشد. در دامنه شمالی ارتفاعات مذکور کوه‌های کم ارتفاع و گاه منفردی مانند کوه قورته‌سی با ارتفاع ۲۴۸۴ متر مشاهده می‌شود. محدوده‌ی مورد مطالعه از دیدگاه ژئومورفولوژیکی شامل کوه‌های مرتفع و صخره‌مانندی است که دارای دیواره‌های بسیار پرشیب (Scarp) می‌باشند. به دلیل عملکرد گسل‌های متعدد منطقه، ارتفاعات مذکور دارای ارتباط منظمی با یکدیگر نبوده و نسبت به هم جابه‌جایی دارند (مانند کوه لران و نسا‌عباسی).

ارتفاعات آهکی منطقه به طور قابل ملاحظه‌ای کارستی شده‌اند. گرایک (Grike) (شکل ۱-۴)، چاه کارستی (Shaft) (شکل ۱-۵) و فروچاله (Sinkhole) (شکل ۱-۶) اشکال کارستی مشاهده شده در محدوده مورد مطالعه می‌باشند. در کوه نسا‌عباسی به علت خردشدگی شدید سنگ‌های آهکی، کارنها به خوبی شکل گرفته‌اند و چنین به نظر می‌رسد که توسعه کارست در این قسمت از مناطق اطراف آن بیشتر بوده است. از دیگر پدیده‌های کارستی مشاهده شده دره‌های دارای عرض کم و دیواره‌های پرشیب هستند. این دره‌ها حاصل انحلال و فرسایش خطی آهک‌ها در امتداد گسل‌ها بوده و بیانگر گسترش کارست بر اثر عوامل تکتونیکی می‌باشند. این دره‌ها در دامنه شمالی کوه نسا‌عباسی مشاهده می‌شوند. همچنین در ارتفاعات نسا‌عباسی فضا‌های انحلالی نسبتاً بزرگی با قطر حدود ۱ تا ۱/۵ متر و عمق حداکثر ۱ متر مشاهده می‌شوند (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۴- گسترش کارست در امتداد شکستگی‌ها و دره‌ها و تشکیل گرایک در شمال کوه نسا‌عباسی



شکل ۱-۵- چاه کارستی در دامنه جنوبی کوه نسا رعباسی



شکل ۱-۶- فروچاله‌ای در نزدیکی خط‌الراس کوه نسا رعباسی



شکل ۱-۷- فضاهای انحلالی غاری شکل مشاهده شده در سازندهای کارستی اطراف چشمه امام‌قیس

## ۱-۵- هیدرولوژی منطقه

در منطقه مورد مطالعه رودخانه مهمی وجود ندارد. از آنجایی که ارتفاعات آهکی منطقه از نظر توسعه پدیده‌های کارستی بسیار پیشرفته می‌باشند و نیز به دلیل اینکه بارش‌های صورت گرفته در ارتفاعات منطقه غالباً به صورت برف می‌باشد و به درون آبخوان تغذیه می‌شوند، بنابراین امکان تشکیل رواناب سطحی و سیلاب در منطقه وجود ندارد. در فصل تر رودخانه‌های کوچک و فصلی مانند رودخانه هرمزآباد بر روی آبرفت‌های دشت‌های شمالی آبخوان شکل می‌گیرند.

## ۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه

هدف از این مطالعه بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی امام‌قیس و بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی منابع آب موجود در این آبخوان می‌باشد. در ادامه به معرفی منابع آب موجود در آبخوان امام‌قیس پرداخته می‌شود.

### ۱-۶-۱- چشمه‌های تخلیه کننده آبخوان کارستی امام‌قیس

آبخوان امام‌قیس از طریق چشمه‌های متعددی تخلیه می‌شود که تخلیه متوسط سالیانه چشمه‌های این آبخوان حدود ۱۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است (مطالعات پایه تامین آب شرب شهرضا، شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۷۲). چشمه‌های تخلیه کننده آبخوان امام‌قیس و آبدی میانگین آن‌ها در جدول (۱-۵) ارائه شده است. مهمترین چشمه‌ای که آب‌های موجود در این آبخوان را تخلیه می‌نماید، چشمه‌علی امام‌قیس (متوسط آبدی ۹۰ لیتر بر ثانیه) می‌باشد که در این تحقیق تحت عنوان چشمه کارستی امام‌قیس بر روی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی حوضه آبریز آن و چاه‌های آب شرب شهرضا بررسی‌هایی انجام شده است.

### ۱-۶-۲- چاه‌های پی‌زومتری

در مطالعات تامین آب شرب شهرضا نه حلقه چاه پی‌زومتری در محدوده گرماب‌دشت سمیرم (شامل دشت‌های شمال و شمال‌شرق آبخوان امام‌قیس) جهت بررسی تغییرات زمانی سطح ایستابی در این

دشت احداث گردید. در جدول (۱-۶) موقعیت و ارتفاع دهانه آن‌ها از سطح دریای آزاد ارائه گردیده است. در حال حاضر تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های مذکور به صورت ماهیانه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان جهت بررسی وضعیت سطح ایستابی در دشت مذکور اندازه‌گیری می‌شوند.

جدول ۱-۵- چشمه‌های اطراف آبخوان امام‌قیس

| ردیف | نام چشمه       | نوع چشمه | میانگین آبدهی سالانه (لیتر بر ثانیه) |
|------|----------------|----------|--------------------------------------|
| ۱    | چشمه علی       | کارستی   | ۱۲۰                                  |
| ۲    | دروغزن         | کارستی   | ۳۰                                   |
| ۳    | همه‌ناز        | کارستی   | ۲۵                                   |
| ۴    | حاج صمد        | کارستی   | ۱۴                                   |
| ۶    | سنگی           | کارستی   | ۳                                    |
| ۷    | جوب‌کل‌حسن     | آبرفتی   | ۱۵                                   |
| ۸    | چشمه خسرو      | آبرفتی   | ۱۲                                   |
| ۹    | آقا مراد       | آبرفتی   | ۸                                    |
| ۱۰   | چشمه ده        | آبرفتی   | ۶                                    |
| ۱۱   | دره جانباز آقا | آبرفتی   | ۴                                    |
| ۱۲   | دره پایین      | آبرفتی   | ۴                                    |
| ۱۳   | عباس‌قلی‌خان   | آبرفتی   | ۴                                    |
| ۱۴   | لهبید          | آبرفتی   | ۴                                    |

جدول ۱-۶- چاه‌های پیزومتری دشت‌های شمالی و شمال غرب اطراف آبخوان کارستی امام‌قیس

| ردیف | نام چاه پیزومتری | مختصات (UTM)                                          | ارتفاع دهانه چاه از سطح دریای آزاد (متر) |
|------|------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| ۱    | پیراسفنه         | utm <sub>x</sub> =544766<br>utm <sub>y</sub> =3508979 | ۲۲۹۲                                     |
| ۲    | گرم‌آباد         | utm <sub>x</sub> =545700<br>utm <sub>y</sub> =3515638 | ۲۳۵۰                                     |
| ۳    | علی‌آباد         | utm <sub>x</sub> =542636<br>utm <sub>y</sub> =3518566 | ۲۳۷۴                                     |
| ۴    | چشمه قنبر        | utm <sub>x</sub> =537748<br>utm <sub>y</sub> =3516534 | ۲۳۸۶                                     |
| ۵    | تل‌ارمنی         | utm <sub>x</sub> =534504<br>utm <sub>y</sub> =3516901 | ۲۳۸۹                                     |
| ۶    | دوباعرب          | utm <sub>x</sub> =532358<br>utm <sub>y</sub> =3520217 | ۲۴۴۵                                     |
| ۷    | بی‌بی‌اختر       | utm <sub>x</sub> =131807<br>utm <sub>y</sub> =3519099 | ۲۴۱۰                                     |
| ۸    | قور تپسی         | utm <sub>x</sub> =536422<br>utm <sub>y</sub> =3518557 | ۲۴۲۹                                     |
| ۹    | بهرامی           | utm <sub>x</sub> =547395<br>utm <sub>y</sub> =3511237 | ۲۳۳۸                                     |

### ۱-۶-۳- چاه‌های آب شرب شهرضا

در مطالعات تامین آب شرب شهرضا، به منظور ارزیابی دقیق آبخوان‌های کارستی واقع در منطقه گرماب‌دشت شانزده حلقه چاه اکتشافی در این آبخوان‌ها حفر گردید. هفت حلقه چاه از این چاه‌ها از نظر توان آبدهی مناسب تشخیص داده شده و در سال ۱۳۸۳ به بهره‌برداری کامل رسیدند. از مجموع هفت حلقه چاه اکتشافی-بهره‌برداری پنج چاه در حاشیه شمال شرق و شرق آبخوان کارستی امام‌قیس و دوتای دیگر در محدوده آبخوان کارستی لران (جنوب آبخوان امام‌قیس) حفر گردیده‌اند. در این بخش به معرفی برخی از خصوصیات مهم مجموع هفت چاه کارستی آب شرب شهرضا مانند ساختار چاه و نیز برخی خصوصیات این چاه‌ها در هنگام احداث پرداخته خواهد شد. کلیه اطلاعات ارائه شده برگرفته از گزارش نهایی مرحله اول مطالعات پایه طرح آبرسانی به شهرضا که در اسفند ۱۳۷۶ توسط شرکت مهندسی مشاور مه‌اب‌قدس تهیه شده است، می‌باشند. شکل (۱-۸) لاگ زمین‌شناسی چاه‌های آب شرب شهرضا را نشان می‌دهد. در ادامه این چاه‌ها معرفی خواهند شد.

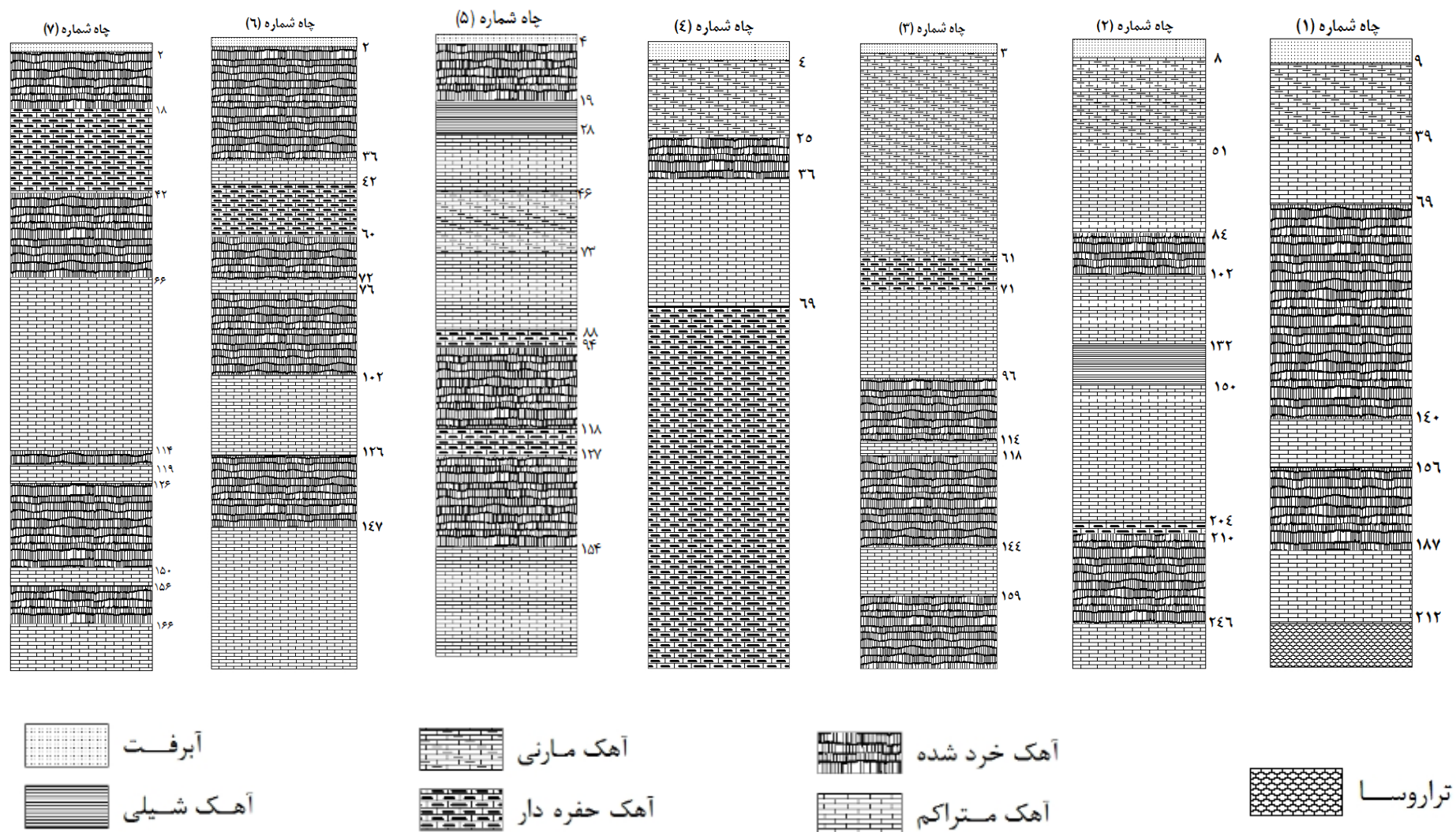
#### - چاه شماره (۱)

چاه شماره یک در شمال‌شرق آبخوان امام‌قیس حفر شده است و موقعیت آن در شکل (۱-۲) در آبخوان کارستی امام‌قیس نشان داده شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۱) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۷) ارائه شده است.

در هنگام حفاری چاه شماره یک سطح برخورد به آب در عمق ۱۳۵ متری سطح زمین گزارش شده است. در پایان حفاری گمانه (عمق ۲۲۴ متر)، سطح آب در عمق ۶۳ متری قرار می‌گیرد که بیانگر شرایط تحت فشار برای لایه آبدار کارستی در این بخش از آبخوان می‌باشد. در حین عملیات گمانه‌زنی و با به کارگیری سیستم هوا-مکش (Air-Lift)، در اعماق ۱۵۶ تا ۱۸۷ متری لایه‌های آهکی به شدت خرد شده و اشباع از آب (با فشار مناسب) تشخیص داده شد که این لایه‌ها بیشترین سهم را در تامین آبدهی چاه دارا می‌باشند.

#### - چاه شماره (۲)

چاه شماره دو در شمال‌شرق آبخوان امام‌قیس حفر شده است (شکل ۱-۲). برخی از مهمترین خصوصیات این چاه در جدول (۱-۸) ارائه شده است. در هنگام حفاری چاه شماره (۲) سطح



شکل ۱-۸- لاگ زمین‌شناسی چاه‌های آب شرب شهرضا

برخورد به آب در عمق ۲۰۴ متری سطح زمین گزارش شده است که در پایان حفاری (عمق ۲۵۲ متر) سطح آب در گمانه در عمق ۶۰ متری قرار می‌گیرد که بیانگر تحت فشار بودن لایه آبدار در این بخش از آبخوان می‌باشد. پس از برخورد به سطح آب ادامه حفاری تا انتهای گمانه مزبور با بهره‌گیری سیستم هوا-مکش انجام شده است.

### - چاه شماره (۳)

چاه شماره سه در شمال شرق آبخوان امام‌قیس حفر شده و موقعیت آن در شکل (۱-۲) در این آبخوان مشخص شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۳) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۹) ارائه شده است. در هنگام حفاری چاه شماره (۳) سطح برخورد به آب در عمق ۶۰ متری سطح زمین گزارش شده است و تا پایان حفاری (۱۷۸ متر) سطح آب در گمانه تغییرات محسوسی نداشته است که بیانگر آزاد بودن لایه آبدار در این بخش از آبخوان می‌باشد. با توجه به برخورد به فضاهای انحلالی وسیع و نیز نتایج حاصل از عملیات کاروتاز، آبخوان آهکی اشباع از آب و بسیار خرد شده در اعماق ۶۰ تا ۷۰ متری، اعماق ۱۰۰ تا ۱۴۰ متری و نیز ۱۵۹ متری تا انتهای گمانه شناسایی شد.

جدول ۱-۷- مشخصات چاه شماره (۱) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =538377<br>utm <sub>y</sub> =3513198 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۵۵                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۲۲۴                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۸                                                     | قطر گمانه (inch)                    |
| ۲۲۴                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۱۳۵                                                   | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۶۳                                                    | عمق سطح ایستابی (m)                 |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۶۴                                                    | طول لوله جدار غیرمشبک (m)           |
| ۱۵۶                                                   | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۲۵                                                    | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۴/۰۷/۰۳                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۴/۰۸/۲۷                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

جدول ۱-۸- مشخصات چاه شماره (۲) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =538903<br>utm <sub>y</sub> =3513799 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۶۲                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۲۵۲                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۱۲                                                    | قطر گمانه (inch)                    |
| ۲۱۰                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۲۰۴                                                   | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۶۰                                                    | عمق سطح ایستابی (m)                 |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۶۰                                                    | طول لوله جدار غیرمشبک (m)           |
| ۱۵۰                                                   | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۶۰                                                    | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۵/۰۷/۲۴                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۵/۰۹/۲۷                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

جدول ۱-۹- مشخصات چاه شماره (۳) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =539148<br>utm <sub>y</sub> =3512455 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۶۲                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۱۷۸                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۸                                                     | قطر گمانه (inch)                    |
| ۱۷۰                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۶۰                                                    | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۶۰                                                    | عمق سطح آب پس از اتمام حفر چاه (m)  |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۵۵                                                    | طول لوله جدار غیرمشبک (m)           |
| ۱۱۵                                                   | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۵۰                                                    | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۴/۰۳/۲۷                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۴/۰۶/۱۶                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

#### – چاه شماره (۴)

چاه شماره چهار در شمال شرق آبخوان امام قیس حفر شده است و موقعیت آن در شکل (۲-۱) در آبخوان امام قیس مشخص شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۴) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۱۰) ارائه شده است. در هنگام حفاری چاه شماره (۴) سطح برخورد به آب در عمق ۶۹ متری سطح زمین گزارش شده است که تا پایان حفاری (۱۶۰ متر) تغییرات محسوسی نداشته است که بیانگر آزاد بودن لایه آبدار در این بخش از آبخوان می باشد. نکته جالب توجه در مورد این چاه این است که در حین حفاری گمانه در عمق ۱۶۰ متری به دلیل فشار زیاد آب و عدم توانایی ادامه کار با سیستم چکش به ناچار حفر گمانه متوقف شده است.

جدول ۱-۱۰- مشخصات چاه شماره (۴) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =539809<br>utm <sub>y</sub> =3511563 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۶۱                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۱۶۰                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۸                                                     | قطر گمانه (inch)                    |
| ۱۶۰                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۶۹                                                    | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۶۹                                                    | عمق سطح آب پس از اتمام حفر چاه (m)  |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۶۰                                                    | طول لوله جدار غیرمشبک (m)           |
| ۱۰۰                                                   | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۱۲۳                                                   | دبی لحظه ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۴/۰۸/۲۷                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۴/۱۰/۰۳                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

#### – چاه شماره (۵)

چاه شماره پنج در شمال شرق آبخوان امام قیس حفر شده است و موقعیت آن در شکل (۲-۱) در آبخوان امام قیس مشخص شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۵) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۱۱) ارائه شده است. در هنگام حفاری چاه شماره (۵) سطح برخورد به آب

در عمق ۸۸ متری سطح زمین گزارش شده است که بلافاصله تا عمق ۶۸ متری بالا آمده است و بیانگر تحت فشار بودن لایه آبدار در این بخش از سفره می‌باشد. طی عملیات گمانه‌زنی و با به کارگیری سیستم هوا-مکش، در اعماق ۹۴-۸۸ و ۱۱۸-۱۲۷ متری لایه آهکی و به شدت خرد شده حفره‌دار و اشباع از آب (با فشار مناسب) مشخص شده است.

#### - چاه شماره (۶)

چاه شماره (۶) در جنوب شرق آبخوان امام‌قیس که در آبخوان کارستی لران (حاشیه شمالی کوه لران) حفر شده است و موقعیت آن در شکل (۱-۲) مشخص شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۶) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۱۲) ارائه شده است. در هنگام حفاری چاه شماره (۶) سطح برخورد به آب در عمق ۶۵ متری سطح زمین گزارش شده است که در پایان حفاری (۱۹۰ متر) سطح آب در گمانه در عمق ۵۲ متری قرار می‌گیرد که بیانگر تحت فشار بودن لایه آبدار در این بخش از آبخوان می‌باشد. در حین عملیات گمانه‌زنی و با به کارگیری سیستم حفاری هوا-مکش، در اعماق ۷۲-۶۳، ۱۰۲-۷۸ و نیز ۱۳۸-۱۲۶ متری لایه‌های آهکی و به شدت خرد شده و اشباع از آب (با فشار مناسب) تشخیص داده شد.

جدول ۱-۱۱- مشخصات چاه شماره (۵) آب شرب شهرضا

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| utm=539852<br>utmy=3511270 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۶۹                       | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۱۸۳                        | عمق گمانه (m)                       |
| ۱۲                         | قطر گمانه (inch)                    |
| ۱۶۰                        | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                       | قطر چاه (inch)                      |
| ۸۸                         | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۶۸                         | عمق سطح آب پس از اتمام حفر چاه (m)  |
| ۱۴                         | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۶۰                         | طول لوله جدار غیر مشبک (m)          |
| ۱۱۰                        | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۶۲                         | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۵/۰۴/۱۰                 | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۵/۰۷/۰۲                 | تاریخ اتمام حفاری                   |

جدول ۱-۱۲- مشخصات چاه شماره (۶) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =3509795<br>utm <sub>y</sub> =540876 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۴۵                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۱۹۰                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۱۲                                                    | قطر گمانه (inch)                    |
| ۱۳۰                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۶۵                                                    | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۵۲                                                    | عمق سطح آب پس از اتمام حفر چاه (m)  |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۵۰                                                    | طول لوله جدار غیر مشبک (m)          |
| ۸۰                                                    | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۷۰                                                    | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۵/۰۹/۰۳                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۶/۰۲/۱۷                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

#### چاه شماره (۷) -

چاه شماره هفت در جنوب شرق آبخوان امام‌قیس و در یک بازمانده تکتونیکی از آبخوان کارستی لران (حاشیه شمالی کوه لران) در کنار چاه شماره (۶) حفر شده است و موقعیت آن در شکل (۲) نشان داده شده است. برخی از مهمترین خصوصیات چاه شماره (۷) مانند خصوصیات ساختاری آن در جدول (۱-۱۳) ارائه شده است.

در هنگام حفاری چاه شماره (۷) سطح برخورد به آب در عمق ۱۱۶ متری سطح زمین گزارش شده است که بلافاصله سطح آب در گمانه تا عمق ۵۳ متری بالا آمده است که این شرایط بیانگر تحت فشار بودن لایه آبدار در این بخش از آبخوان می‌باشد. پس از ۱۸۰ متر گمانه‌زنی در آهک و به کارگیری سیستم هوا-مکش، آبخوان آهکی به شدت خرد شده و اشباع از آب (با فشار مناسب) مشخص شدند و مراحل بعدی احداث چاه ادامه یافت.

جدول ۱-۱۳- مشخصات چاه شماره (۷) آب شرب شهرضا

|                                                       |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| utm <sub>x</sub> =541812<br>utm <sub>y</sub> =3510008 | مختصات محل حفر چاه                  |
| ۲۳۴۲                                                  | ارتفاع دهانه چاه از دریای آزاد (m)  |
| ۱۸۰                                                   | عمق گمانه (m)                       |
| ۱۲                                                    | قطر گمانه (inch)                    |
| ۱۶۶                                                   | عمق چاه (m)                         |
| ۱۷/۵                                                  | قطر چاه (inch)                      |
| ۱۱۶                                                   | عمق برخورد به آب (m)                |
| ۵۳                                                    | عمق سطح آب پس از اتمام حفر چاه (m)  |
| ۱۴                                                    | قطر لوله جدار (inch)                |
| ۵۰                                                    | طول لوله جدار غیر مشبک (m)          |
| ۱۱۶                                                   | طول لوله جدار مشبک (m)              |
| ۶۲                                                    | دبی لحظه‌ای در زمان احداث (lit/sec) |
| ۱۳۷۶/۰۶/۱۰                                            | تاریخ شروع حفاری                    |
| ۱۳۷۵/۰۸/۰۱                                            | تاریخ اتمام حفاری                   |

## فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

### ۲-۱- تعریف و اهمیت کارست

کارست گستره‌ای با مورفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ است که از انحلال سنگ‌های دارای قابلیت انحلال بالا در آب‌های طبیعی، مانند سنگ‌های کربناته و ژئوپس به وجود می‌آید. اشکال ژئومورفولوژیکی مانند مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و غارها از ویژگی‌های خاص نواحی کارستی می‌باشند (Jenning 1985 White 1988). در برخی نواحی از کشورهایی مانند چین، ترکیه، ایران و ایالات متحده‌ی آمریکا آب‌های کارستی مهم‌ترین منبع تامین‌کننده‌ی آب مورد نیاز در مصارف گوناگون می‌باشند. سازندهای کربناته کارستی حدود یازده درصد از مساحت کل ایران (۱۸۵۰۰۰ کیلومتر مربع) را به خود اختصاص داده‌اند که این نسبت در رشته‌کوه‌های زاگرس به حدود پنجاه و پنج درصد می‌رسد (Raeisi 2004). آب‌های زیرزمینی موجود در آبخوان‌های کارستی در حال حاضر آب مورد نیاز یک چهارم از کل جمعیت جهان را تأمین می‌کنند (Ford and Williams 2007).

### ۲-۲- فرآیند انحلال در کارست‌های کربناته

پهنه‌های کارستی پس از میلیون‌ها سال انحلال مداوم در سنگ‌های دارای قابلیت انحلال شکل می‌گیرند. واکنش کربنات‌ها و آب‌های طبیعی نقش عمده‌ای در کنترل ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی دارد (Ford and Williams 2007). افزایش غلظت یون‌های  $Ca^{2+}$  و  $HCO_3^-$  علت اصلی افزایش مقدار کل املاح محلول (TDS) در آب‌های کارستی می‌باشد (Charmoille et al. 2009).

کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های کربناته شامل کلسیت و آراگونیت با ترکیب شیمیایی  $CaCO_3$  و نیز دولومیت با ترکیب شیمیایی  $MgCa(CO_3)_2$  می‌باشند که معمولاً در ساختارهای بلورشناسی هندسی تریگونال و ارتورومبیک متبلور می‌شوند (موسوی حرمی ۱۳۸۵).



$$K_{Calcite} = [Ca^{2+}] + [CO_3^{2-}] = 3.3 \times 10^{-9} \quad \text{معادله (۲-۲)}$$

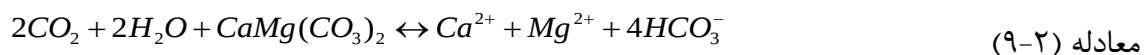
$$K_{Aragonite} = [Ca^{2+}] + [CO_3^{2-}] = 4.6 \times 10^{-9} \quad \text{معادله (۳-۲)}$$

در معادلات بالا میزان انحلال‌پذیری دو کانی کلسیت و آراگونیت در آب‌های طبیعی با یکدیگر مقایسه شده است (Appelo and Postma 1999). از معادلات بالا چنین برمی‌آید که انحلال‌پذیری آراگونیت در آب‌های طبیعی بیشتر از کلسیت می‌باشد. محلول جامد (Solid solution) میان دو کانی کلسیت و مگنیزیت که در سنگ‌های کربناته بسیار متداول می‌باشد، کلسیت منیزیم‌دار نام دارد. این گروه از کانی‌های کربناته به صورت کلسیت با منیزیم پایین (کمتر از ۵ درصد مول منیزیم) و کلسیت با منیزیم بالا (۵ تا ۳۰ درصد مول منیزیم) در سنگ‌های آهکی یافت می‌شوند (موسوی حرمی ۱۳۸۵). قابلیت انحلال‌پذیری کلسیت در آب خالص (فاقد دی‌اکسیدکربن محلول) بسیار اندک و حدود ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است (Ford and Williams 2007). قابلیت انحلال‌پذیری کانی‌های سازنده‌ی سنگ‌های کربناته، با انحلال دی‌اکسیدکربن در آب‌های طبیعی، در حد قابل توجهی افزایش می‌یابد (Roques 1962, 1964). انحلال دی‌اکسیدکربن جو در آب باران و یا انحلال دی‌اکسیدکربن حاصل از اکسید شدن مواد آلی موجود در خاک و تنفس ریشه‌ی گیاهان در آب‌های نفوذ یافته به آبخوان‌ها، می‌توانند منشأ عمده دی‌اکسیدکربن محلول در آب‌های زیرزمینی باشند (Appelo and Postma 1999).

معمولاً در کارست‌های مناطق مرتفع کوهستانی سرد و خشک لایه خاک سطحی وجود ندارد. با این حال انحلال به صورت گسترده‌ای در سازندهای کربناته رخ می‌دهد. زیرا به دلیل سردی هوا دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر قابلیت انحلال بسیار بالایی در آب باران دارد. در این نواحی رواناب سطحی سرشار از دی‌اکسیدکربن شده و انحلال پهنه‌های کارستی از سطح زمین شروع و تا رسیدن به اعماق و مجاری انحلالی زیرزمینی ادامه می‌یابد. به دلیل بازشدگی انحلالی گسترده درزه‌ها و شکاف‌ها

و نیز وجود کانال‌های سریع‌الانتقال در آبخوان‌های کارستی مناطق کوهستانی مرتفع و فاقد پوشش خاک، محدودیتی در دی‌اکسیدکربن لازم جهت انحلال سنگ‌های کارستی در اعماق آبخوان وجود ندارد (Frisia and Borsato 2009).

معادله واکنش کانی کلسیت و دولومیت در آب‌های دارای دی‌اکسیدکربن محلول در ادامه ارائه شده است (Ford and Williams 2007):



عوامل متعددی در انحلال سنگ‌های کربناته دخالت دارند که در زیر به برخی از آن‌ها به صورت مختصر اشاره شده است:

- ۱- فشار جزئی دی‌اکسیدکربن محلول در آب‌های زیرزمینی که افزایش آن موجب کاهش pH محیط شده و در نتیجه میزان انحلال‌پذیری کربنات‌ها در آب افزایش می‌یابد.
- ۲- دما که کاهش آن باعث افزایش قابلیت انحلال دی‌اکسیدکربن در آب می‌شود و در نتیجه میزان انحلال‌پذیری کربنات‌ها افزایش می‌یابد.
- ۳- هدایت الکتریکی آبی که در مجاورت سنگ کربناته قرار دارد. با افزایش هدایت الکتریکی آب‌های کارستی، میزان انحلال‌پذیری کربنات‌ها در آن کاهش می‌یابد.
- ۴- سرعت جریان آب که افزایش آن باعث افزایش میزان تلاطم و آشفته‌گی در محیط آبخوان شده و میزان انحلال کربنات‌ها نیز در نتیجه آن افزایش می‌یابد.

## ۳-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی با مطالعه چشمه‌ها

خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی شامل مواردی از قبیل مرزهای هیدروژئولوژیکی آبخوان، میزان توسعه‌ی کارست، مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی، نوع سیستم ورودی و تغذیه به آبخوان، وضعیت سازند کارستی نسبت به سازندهای مجاور خود و شیب هیدرولیکی در بخش‌های مختلف آبخوان عوامل مهم تعیین‌کننده جهت، سرعت و نوع جریان غالب در آبخوان‌های کارستی می‌باشند. مطالعه‌ی هیدروژئولوژی آبخوان‌های کارستی به دلیل ناهمگنی بسیار در خصوصیات هیدرودینامیکی و محدود بودن چاه‌های قابل دسترس جهت انجام مشاهدات هیدروژئولوژی در این آبخوان‌ها دشوار می‌نماید (Romanov 2003, Mohammadi and Field 2009).

برای ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی روش‌های مختلفی ممکن است مورد استفاده قرار بگیرد. بررسی توام تغییرات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی در یک دوره‌ی زمانی (مانند یک سال آبی) یکی از روش‌های رایج، نسبتاً کم‌هزینه و مطمئن ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی می‌باشد.

مطالعه آبخوان‌های کارستی براساس روش‌هایی که مبنای آن‌ها بررسی هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌باشد، به این جهت که هیدروگراف چشمه بیانگر پاسخ تمام اجزای آبخوان (با خواص هیدرودینامیکی بسیار متفاوت) به فرآیندهای هیدرولیکی مختلف (مانند تغذیه و یا تخلیه که در آبخوان کارستی اتفاق می‌افتد و در تغییرات زمانی آبدهی چشمه نمود می‌یابند) می‌باشد، بر سایر روش‌های شناسایی آبخوان‌های کارستی مانند آزمون پمپاژ که فقط حجم کوچکی از سفره ناهمگن را در برمی‌گیرند، ارجحیت دارند (Jeannin and Sauter 1998, Kiraly 2002, Kovacs et al. 2005).

تغییرات آبدهی چشمه‌ها معمولاً با تغییر در مقدار یون‌های محلول در آب، هدایت الکتریکی، دما، نسبت‌های ایزوتوپی و مقدار مواد معلق موجود در آب (کدورت) همراه می‌باشند. مطالعات سیستماتیک آبخوان‌های کارستی براساس تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی از حدود پنج دهه‌ی قبل آغاز شده است و زمینه‌های متعددی توسط محققین مختلف ارائه شده است. از میان مطالعات انجام شده یکی از کارهای جالب توجهی که بعداً توسط محققین بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است تقسیم‌بندی جریان در آبخوان‌های کارستی به دو سیستم مجرای و افشان می‌باشد که توسط وایت و اسمیت (White and Schmitdt 1966) ارائه شده است. این تقسیم‌بندی توسط محققین بسیاری مورد استفاده و تاثیر قرار گرفته است.

برای مثال اتکینسون (Atkinson 1977) در مطالعات خود در منطقه‌ی مندپ هیلز (Mendip Hills) انگلستان دریافت که سیستم جریان در اکثر آبخوان‌های کارستی ترکیبی از سیستم‌های جریان مجرای و افشان است و آب در مجاری انحلالی بزرگ، شکستگی‌ها و فضاهای بسیار کوچک جریان می‌یابد. همچنین کول و فورد (Cowell and Ford 1983) با بررسی تغییرات دمایی چشمه‌های کارستی جنوب انتاریو (Ontario) کانادا نشان دادند که دامنه‌ی تغییرات دمای آب در طول یک سال آبی در چشمه‌های کارستی با سیستم جریان مجرای (حدود ۵/۹ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از

چشمه‌های کارستی افشان (حدود ۱/۳۲ درجه سانتی‌گراد) است و در نتیجه تغییرات دما را به عنوان معیاری برای تشخیص سیستم جریان غالب در آبخوان‌های کارستی بیان نمودند.

رئیزی و همکاران (Raeisi *et al.* 2006) نشان دادند که در چشمه‌های کارستی با سیستم غالب افشان همزمان با تغییرات زمانی آبدهی چشمه کارستی در فصول مختلف سال، تغییرات اندکی در خواص شیمیایی آب‌های خروجی از چشمه مشاهده می‌شود. در مقابل در خواص شیمیایی آب خروجی از چشمه‌های کارستی مجرای تغییرات زیادی مشاهده می‌شود. زیرا در آبخوان‌های با جریان غالب مجرای زمان ماندگاری آب کوتاه (حدود چند ساعت یا چند روز) می‌باشد و برای اینکه آب‌های جدید وارد شده به آبخوان و سنگ‌های تشکیل دهنده آبخوان کارستی از نظر شیمیایی به تعادل برسند، کافی نمی‌باشد.

در این میان نظرات مخالف و نیز متناقضی وجود دارد که قابل توجه می‌باشند. برای مثال باکالوویکز (Bakalowickz 1977) استفاده از ضریب تغییرات متغیرهای شیمیایی برای تعیین سیستم جریان در آبخوان کارستی را ناکارآمد دانسته است. اسکانلون و تراکیل (Scanlon and Thrailkill 1987) با استفاده از معیارهای پژوهشگران قبلی خود و با بررسی سیستم‌های جریانی در منطقه کنتاکی مرکزی (Central Kentucky)، به این نتیجه رسیدند که ارتباطی میان خصوصیات شیمیایی آب چشمه و خصوصیات فیزیکی آبخوان کارستی وجود ندارد. رئیزی (Raeisi *et al.* 1993) با استفاده از معیارهای ارائه شده توسط پژوهشگران قبل از خود به مطالعه‌ی سیستم جریان چشمه‌ی کارستی شش‌پیر در استان پارس پرداخت اما نتایج متناقضی بدست آورد.

تعیین مسیرهای جریان و منشأ تغذیه از طریق بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ایزوتوپی چشمه‌های کارستی رواج بسیاری داشته است. در این مطالعات معمولاً از تغییرات شیمیایی و ایزوتوپی برای جداسازی جریان پایه از جریان سریع و یا سیلابی در چشمه‌های کارستی استفاده می‌شود. بخشی از آبدهی چشمه که از نفوذ سریع تغذیه از طریق مجاری انحلالی و درز و شکاف‌های بزرگ به آبخوان تامین می‌شود، اصطلاحاً جریان سریع (Quick flow) نامیده می‌شود. همچنین بخشی از آبدهی چشمه که از خروج آب‌های کارستی ذخیره شده در فضاها متن سنگ تامین می‌شود، جریان پایه (Base flow) نامیده می‌شود (Lakey and Krothe 1996).

تغییرپذیری خواص شیمیایی و فیزیکی چشمه‌های کارستی به نحوه‌ی تغذیه چشمه بستگی دارد. تغذیه می‌تواند به صورت متمرکز از طریق آب‌های ورودی به فروچاله‌ها و یا به صورت افشان از سطح آبخوان انجام شود. به طور مثال ورسینگتون و همکاران (Worthington et al. 1992) با بررسی تغییرات پارامتر سختی (Hardness) سی و نه چشمه کارستی در شش کشور مختلف به این نتیجه رسیدند که هفتاد و پنج درصد تغییرات این پارامتر به وسیله انواع تغذیه (افشان و یا متمرکز) قابل توجیه و تفسیر است.

رئیزی و کرمی (Raeisi and Karami 1997) پیشنهاد کرده‌اند که برای استفاده از خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه‌های کارستی جهت تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی ابتدا باید تاثیر عوامل خارجی موثر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه حذف شوند و سپس عوامل داخلی تاثیرگذار بر خصوصیات آبخوان کارستی مورد بررسی قرار گیرند.

## ۲-۴- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی

بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی به جهت ارزیابی جریان غالب، زمان ماندگاری آب در بخش‌های مختلف آبخوان، رابطه‌ی میان بخش‌های مختلف آبخوان با یکدیگر، رابطه‌ی آبخوان با منابع آب سطحی و زیرزمینی مجاور خود، مکانیسم تخلیه و تغذیه و نیز انتقال آلودگی، انجام می‌شوند (Moral et al. 2008, Wu et al. 2009).

ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر سه عامل اصلی شامل الف- نوع و جنس سنگ‌هایی که آب در حین جریان با آن‌ها در تماس است، ب- شرایط محیطی (دما و فشار) و ج- شرایط جریان (سرعت جریان) می‌باشند (Bakalowickz 1977). تاثیر عوامل مذکور در درجات مختلف، انواع آب‌ها را که در زمان و مکان از نظر خواص هیدروژئوشیمیایی متغیر هستند به وجود می‌آورند (Mohammadi 2009).

کیفیت اولیه‌ی آب تغذیه شده به آبخوان کارستی، نفوذ آب‌هایی که برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده شده‌اند به داخل آبخوان‌های کارستی و اختلاط آب‌های سطحی و زیرزمینی از عوامل موثر بر ترکیب و تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی می‌باشند (Kattan 2001, Wu et al. 2009).

آبخوان‌های کارستی از نظر خصوصیات هیدرولیکی ناهمگن می‌باشند و این ناهمگنی در توزیع دمای، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی، ترکیب شیمیایی آب‌های کارستی، درجه کارستی‌شدن، جریان غالب در آبخوان و زمان ماندگاری آب در بخش‌های مختلف نیز مشاهده می‌شود. در ادامه برخی از پارامترهای مهم در ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی معرفی و مورد بحث قرار خواهند گرفت.

## ۲-۴-۱- تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های کارستی

ترکیب شیمیایی سنگ‌های سازنده آبخوان، دما و زمان ماندگاری آب در آبخوان (دمای اتمسفر در محل تغذیه و شیب دمای در اعماق مختلف آبخوان) معیارهای مهمی برای تعیین وضعیت تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی می‌باشند. ترکیب شیمیایی آب‌های کارستی کربناته نتیجه انحلال نسبت‌های مختلفی از دو کانی کلسیت و دولومیت است. فرآیند انحلال کلسیت و دولومیت با یکدیگر مشابه است با این تفاوت که کلسیت بسیار سریعتر از دولومیت (در دما و فشار یکسان) در آب حل می‌شود. به طور مثال تحقیقات وایت (White 1988) نشان داد که کلسیت پس از مدت ۱۰ روز و یا حتی کمتر با آب‌های تازه و تحت اشباع به حالت تعادل می‌رسد. اما دولومیت شاید ماه‌ها یا حتی سال‌ها برای رسیدن به این تعادل شیمیایی فرصت نیاز داشته باشد. به همین دلیل معمولاً در طبیعت آب‌های خروجی از چشمه‌های کارستی نسبت به کلسیت اشباع می‌باشند، درحالی که نسبت به دولومیت تحت اشباع هستند. همچنین علت اصلی غالب بودن تیپ هیدروژئوشیمیایی  $Ca-HCO_3$  در نزدیکی ناحیه تغذیه آبخوان‌های کارستی، نیز به دلیل اختلاف در سرعت انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت در آب‌های کارستی می‌باشد (Langmuir 1997, Drever 1997).

اختلاف در سرعت انحلال کلسیت و دولومیت سبب می‌شود تا نسبت منیزیم به کلسیم ( $Mg/Ca$ ) از بالادست به سمت پایین‌دست جریان در آب‌های سطحی و زیرزمینی آشکارا افزایش یابد. بنابراین نسبت مذکور می‌تواند به عنوان معیاری برای تعیین زمان ماندگاری آب‌های کارستی در آبخوان استفاده شود (Scanlon 1989, Moral et al. 2008).

برخی از محققان نسبت  $Mg/Ca$  را در آب‌های کارستی مربوط به نسبت کلسیت به دولومیت موجود در سنگ‌های تشکیل دهنده آبخوان کارستی می‌دانند (White 1988). به طور مثال لانگمویر

(Langmuir 1971) در بررسی نسبت پایین  $Mg/Ca$  در آب چشمه‌ای در یکی از مناطق کارستی پنسیلوانیا نتیجه می‌گیرد که جنس سنگ‌های تشکیل دهنده آبخوان، آهکی می‌باشند. همچنین مقادیر بالای مشاهده شده این نسبت در آب‌های پمپاژ شده از چاه‌های آب همان منطقه را ناشی از جنس دولومیتی آبخوان در محدوده چاه‌ها بیان می‌کند.

اگرچه در طبیعت توالی‌های کربناته از نسبت‌های متفاوتی از آهک و دولومیت تشکیل شده‌اند و معمولاً دولومیت همراه آهک وجود دارد (Langmuir 1997) اما در توالی‌های خالص آهکی حضور اندکی منیزیم در ساختمان کلسیت می‌تواند برای بیان علت نسبت بالای  $Mg/Ca$  کافی باشد. بنابراین نسبت بالای دولومیت به کلسیت، نمی‌تواند همواره توجیه کننده بالا بودن نسبت  $Mg/Ca$  در آب‌های کارستی باشد.

فرآیندهای شیمیایی به ترتیب وقوع در یک آبخوان کربناته شامل انحلال گاز دی‌اکسیدکربن در آب، انحلال کلسیت، انحلال نامتجانس (Incongruent dissolution) دولومیت، رسوب و جدایش مجدد دولومیت از آب (Dedolomitization)، خروج دی‌اکسیدکربن محلول از آب و در نتیجه آن رسوب و جدایش کلسیت می‌باشد (Moral et al. 2008).

انحلال نامتجانس دولومیت زمانی رخ می‌دهد که آب‌های کارستی از نظر کلسیت در حالت فوق‌اشباع قرار داشته باشند. در این زمان در حالی که انحلال دولومیت همچنان ادامه می‌یابد، انحلال کلسیت متوقف شده و در بین درزو شکاف‌های سنگ‌های تشکیل‌دهنده آبخوان رسوب می‌نماید. بنابراین غلظت یون‌های کلسیم محلول در آب‌های کارستی به سرعت کاهش می‌یابد و در عوض غلظت نسبی یون‌های کربنات و منیزیم در آب افزایش می‌یابد (Appelo and Postma 1999). روند و توالی مراحل تکامل هیدروژئوشیمیایی ذکر شده همیشه به صورت پیوسته نبوده و تحت تاثیر عوامل داخلی و خارجی مانند ورود آب‌های جدید به آبخوان و اختلاط آن‌ها با آب‌های قبلی و یا تغییرات هدایت هیدرولیکی در بخش‌های مختلف آبخوان‌های کارستی دچار تغییراتی می‌شود.

درجه حرارت آب پارامتر بسیار مهمی در تفسیر فرآیند انحلال کلسیت و دولومیت در آب‌های کارستی می‌باشد (Moral et al. 2008). برخی محققان عقیده دارند با افزایش درجه حرارت در آب‌های طبیعی از این جهت که سبب خروج گاز دی‌اکسیدکربن محلول در آب می‌شود، سرعت انحلال دولومیت در

آب کاهش می‌یابد (Langmuir 1997). اما برخی دیگر نیز عقیده دارند که سرعت انحلال دولومیت در دماهای اندک کاهش می‌یابد (Herman and White 1985). زیرا سرعت انحلال کانی‌های مختلف با کاهش دما کاهش می‌یابد (Kenoyer and Bowser 1992).

همچنین دمای آب پارامتر بسیار مهمی در تعیین منشأ و زمان ماندگاری آب در آبخوان‌ها، تکامل هیدروژئوشیمیایی و جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد (Moral et al. 2008).

دمای آب‌های زیرزمینی ارتباط مستقیمی با میانگین دمای هوا در ناحیه تغذیه دارد و توزیع آن در بخش‌های مختلف منطقه غیراشباع آبخوان‌های کارستی تا حد زیادی تحت تاثیر گرادیان دمایی در اتمسفر قرار دارد. مثلاً در بخش‌هایی که ناحیه تغذیه آبخوان از نظر توپوگرافی مرتفع می‌باشد، آب‌های کارستی خروجی از آن‌ها سردتر و دارای تکامل هیدروژئوشیمیایی اندکی می‌باشند و معمولاً تیپ  $Ca - HCO_3$  از خود نشان می‌دهند. در حالی که در آب‌های کارستی که ناحیه تغذیه آن‌ها در ارتفاعات کمتری قرار دارند، آب خروجی از چشمه‌ها گرم‌تر و دارای تکامل هیدروژئوشیمیایی بیشتری می‌باشند و تیپ  $Ca - Mg - HCO_3$  از خود نشان می‌دهند (Gunn 1983, Moral et al. 2008).

در آبخوان‌های کارستی که زون غیراشباع ضخامت زیادی دارد و جریان غالب از نوع افشان می‌باشد، یک لایه‌بندی دمایی در امتداد عمق آبخوان به وجود می‌آید که با یک لایه‌بندی هیدروژئوشیمیایی (متناسب با دمای محیط آبخوان) نیز همراه می‌باشد. بنابراین آن دسته از آب‌های کارستی که از نظر هیدروژئوشیمیایی تکامل یافته‌تر می‌باشند، دارای دما، محتوای منیزیم و نسبت  $Mg / Ca$  بیشتری نسبت به آب‌های کارستی دارای درجه تکامل هیدروژئوشیمیایی کمتر می‌باشند. بنابراین پارامترهای مذکور را می‌توان برای ارزیابی درجه تکامل هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای جریان آب‌های کارستی مورد استفاده قرار داد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش دمای آب‌های کارستی نسبت  $Mg / Ca$  نیز افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درجه حرارت آب، انحلال دولومیت با سرعت بیشتری انجام می‌شود (Moral et al. 2008).

به طور مثال کاردنال و همکاران (Cardenal et al. 1994) دمای آب‌های زیرزمینی را به عنوان معیاری مهم و کارآمد برای تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و تکامل هیدروژئوشیمیایی در آبخوان کارستی در بتیک کردیلرا (Betic Cordillera) واقع در جنوب اسپانیا، بیان می‌کنند.

نتایج تحقیقات در آبخوان ماسه‌سنگی تریاس شرق میانه (East Midland Teriassic Aquifer) نشان داد، دمای آب‌های خروجی از آبخوان می‌توانند به عنوان معیاری برای افزایش عمق چرخش آب‌های زیرزمینی، درجه تکامل هیدروژئوشیمیایی و زمان ماندگاری آب در آبخوان در نظر گرفته شود (Edmunds and Smedley 2000).

در منطقه سیرا دسگرا (Sierra de Segura) واقع در جنوب اسپانیا، در حین نفوذ آب‌های زیرزمینی و حرکت رو به پایین آن‌ها به سمت اعماق بیشتر آبخوان، افزایش دمای آب‌های کارستی سبب می‌شود تا در حالی که کلسیت رسوب می‌نماید، شاخص اشباع دولومیت به طور قابل توجهی افزایش یابد (Moral et al. 2008).

## ۲-۴-۲- آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و تیپ آب در آب‌های کارستی

آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی که معمولاً در بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های کارستی غلظت آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود به ترتیب شامل آنیون‌های بیکربنات، کلر، سولفات و نیتрат و نیز کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می‌باشند (Ford and Williams 2007).

تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در تقسیم نمونه‌های آب به رخساره‌های مختلف هیدروژئوشیمیایی هنگام مطالعه آبخوان‌های کارستی، ضروری می‌باشد. همچنین این یون‌ها می‌توانند به عنوان ابزار قدرتمندی جهت تعیین منشأ مواد محلول و نیز توصیف تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی در مسیر جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی از بالادست به سمت پایین‌دست جریان، غلظت یون‌های اصلی موجود در آب افزایش می‌یابد (Wu et al. 2009).

برای نمونه‌گیری و تعیین غلظت یون‌های اصلی بهتر است از منابع آب مورد مطالعه مانند چاه و چشمه به صورت همزمان و در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام شود (Mohammadi 2009). وجود یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در آب‌های کارستی معمولاً ناشی از انحلال رسوبات تبخیری، نفوذ آب شور دریا و یا آب‌های قدیمی و شور به درون آبخوان کارستی و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند. وجود آنیون نیترات در آب‌های کارستی می‌تواند از منشأهای مختلفی مانند نشت از مخازن گندزدایی،

اکسید شدن نیتروژن ارگانیکی و یا استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در کشاورزی باشد (Reberski *et al.* 2009).

مهمترین منشأ سولفات در آب‌های کارستی می‌تواند انحلال ژیپس، اکسید شدن سولفیدهای فلزی (معمولاً پیریت)، اختلاط آب شور دریا و آب‌های زیرزمینی در کارست‌های ساحلی، باران اسیدی و کودهای شیمیایی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Pavicic *et al.* 2006).

تیپ آب‌ها براساس آنیون‌ها و کاتیون‌هایی که بیشترین غلظت را در بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی دارا می‌باشند، تعیین می‌شود. گاهی آب‌های کارستی تنها یک تیپ غالب از خود نشان می‌دهند. مانند آب‌های کارستی دره نیتانی (Nittany) در پنسیلوانیا که تنها تیپ هیدروژئوشیمیایی  $Ca - Mg - HCO_3$  را نشان می‌دهند (Langmuir 1971).

گاهی نیز چند تیپ هیدروژئوشیمیایی در آبخوان‌های کارستی مشاهده می‌شود. مانند آب‌های کارستی منطقه کارستی بلواگراس (Bluegrass) در کنتاکی مرکزی که براساس غلظت یون‌های اصلی به سه تیپ  $Ca - Mg - HCO_3$ ،  $Na - HCO_3$  و  $Na - Cl$  تقسیم شده‌اند (Scanlon 1989).

تکامل هیدروژئوشیمیایی عامل تعیین‌کننده‌ای در وضعیت تیپ آب‌های کارستی می‌باشد. در مسیر جریان آب زیرزمینی که آب‌ها از نظر هیدروژئوشیمیایی تکامل بیشتری می‌یابند، تیپ غالب آب‌ها نیز دچار تغییراتی می‌شوند. به طور مثال بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی در حوضه آبگیر چشمه‌ای در استان شانگدانگ (Shangdong) چین نشان داد که تیپ غالب آب‌های کارستی منطقه مورد مطالعه  $Ca - HCO_3$  می‌باشد. اما در مسیر جریان و در برخی از نقاط آبخوان به تیپ غالب  $Ca - HCO_3 - SO_4$  تغییر می‌کند. همچنین در این آبخوان کارستی در مناطقی که سرعت جریان آب آهسته‌تر می‌باشد، مقدار کل مواد جامد محلول در آب و غلظت یون‌های اصلی افزایش می‌یابد. اما در محل تخلیه آب‌های زیرزمینی که سرعت جریان آب بیشتر از بخش‌های دیگر آبخوان می‌باشد (هدایت هیدرولیکی بیشتر)، محتوای کل مواد جامد محلول و یون‌های اصلی موجود در آن کاهش می‌یابد (Xu Huizhen *et al.* 2006).

گاهی تیپ‌های متفاوت آب که در آبخوان‌های کارستی مشاهده می‌شوند، می‌توانند بیانگر وجود شرایط هیدروژئولوژیکی مختلف در سرتاسر آبخوان باشند. به طور مثال اسکانلون (Scanlon 1989) در

بررسی تیپ آب و نتایج آزمون پمپاژ در آبخوان کارستی واقع در منطقه بلواگراس (Bluegrass) کنتاکی مرکزی به این نتیجه رسید که هدایت هیدرولیکی بخش‌هایی از آبخوان که در آن‌ها تیپ  $Ca-Mg-HCO_3$  غالب می‌باشد، بیشتر از بخش‌های دیگری است که دارای تیپ غالب  $Na-HCO_3$  و  $Na-C$  می‌باشند. همچنین با مقایسه تغییرپذیری خواص شیمیایی سه تیپ مختلف آب در منطقه مذکور نتیجه گرفت که آب‌های دارای تیپ  $Ca-Mg-HCO_3$  نسبت به سایر تیپ‌های آب موجود در آبخوان، تغییرات زمانی بیشتری نشان می‌دهند. در نتیجه هدایت هیدرولیکی بیشتر و تغییرات زمانی بیشتر در غلظت یون‌های اصلی و کل مواد جامد محلول در آب نشان می‌دهند که زمان ماندگاری آب عامل اولیه و بسیار مهمی بر وقوع تیپ‌های مختلف آب می‌باشد.

انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت به عنوان تشکیل دهنده‌های اصلی آبخوان‌های کارستی کربناته، مهمترین فرآیند هیدروژئوشیمیایی تاثیرگذار در شکل‌گیری تیپ‌های غالب  $Ca-HCO_3$  و  $Ca-Mg-HCO_3$  در آب‌های کارستی می‌باشد. تیپ غالب  $Ca-HCO_3$  نسبت به تیپ غالب  $Ca-Mg-HCO_3$  معمولاً در اعماق کمتری از آبخوان‌های کارستی مشاهده می‌شود و اغلب نسبت به کانی دولومیت در حالت تحت اشباع قرار دارد. در حالی که تیپ غالب  $Ca-Mg-HCO_3$  همواره شاخص اشباع دولومیت بیشتری دارا می‌باشند.

## ۲-۴-۳- شاخص اشباع

میزان اشباع شدگی آب نسبت به یک کانی خاص را به وسیله‌ی شاخص اشباع (Saturation index) آن کانی بیان می‌کنند. شاخص اشباع استاندارد کانی‌های مختلف به صورت لگاریتم نسبت اکتیویته یونی محصولات (Ion activity product) ناشی از انحلال کانی در محلول به اکتیویته یونی همان محصولات در شرایط تعادل بیان می‌شود (Langmuir 1971):

$$SI = \log(IAP / K_{eq}) \quad \text{معادله (۲-۱۰)}$$

در معادله (۲-۱۰) SI شاخص اشباع، IAP اکتیویته یونی محصول ناشی از انحلال کانی در محلول و  $K_{eq}$  اکتیویته یونی محصولات ناشی از انحلال کانی مورد نظر، زمانی که شرایط تعادلی در محلول وجود دارد، می‌باشند. منظور از اکتیویته یونی در واقع غلظت موثر آن یون بوده که در واکنش شرکت

می‌نماید. زمانی که محلول در شرایط تحت اشباع قرار داشته باشد، اکتیویته یونی کمتر از مقدار آن در شرایط تعادل می‌باشد. اما زمانی که محلول فوق اشباع باشد، اکتیویته یونی آن بیشتر از مقدار آن در حالت تعادل می‌باشد (Appelo and Postma 1999).

بنابراین اگر مقدار شاخص اشباع کانی‌ها مانند کلسیت و دولومیت در حدود صفر باشد، آب از نظر این کانی‌ها در حالت تعادل قرار داشته و اشباع می‌باشد که در طبیعت بسیار نادر است. اگر شرایط فوق اشباع در نمونه‌ها برقرار باشد می‌تواند بیانگر شرایط ته‌نشینی این کانی‌ها از آب باشد و در شرایط تحت اشباع انحلال آن‌ها همچنان با سرعت‌های متفاوت ادامه می‌یابد (Langmuir 1971). ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت و دولومیت که اجزاء اصلی تشکیل دهنده آبخوان‌های کارستی کربناته می‌باشند معیار بسیار مناسبی جهت تعیین زمان ماندگاری و نیز جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشند (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹).

## ۲-۵- بررسی ارتباط هیدرولیکی در آبخوان‌های کارستی با استفاده از وضعیت

### هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آن‌ها

مطالعه آبخوان‌های کارستی به دلیل ناهمگنی بسیار آن‌ها اغلب دشوار و پیچیده می‌باشد. بنابراین لازم است هنگام مطالعه این آبخوان‌ها از چند روش مختلف استفاده نمود تا بتوان در مورد خصوصیات آبخوان با قطعیت بیشتری اظهار نظر نمود. به طور مثال با بررسی همزمان خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی می‌توان ارتباط منطقی‌تری میان نتایج بدست آمده برقرار نمود (Reberski et al. 2009).

بسیاری از مطالعات انجام شده در آبخوان‌های کارستی مختلف نشان می‌دهند رفتار هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی در بخش‌ها و اعماق مختلف با یکدیگر تفاوت نشان می‌دهند. عمق پارامتر بسیار مهمی در ارزیابی خواص هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی می‌باشد. به طور کلی با افزایش عمق در زون اشباع آبخوان‌های کارستی، میزان توسعه و بازشدگی فضاهای انحلالی کارستی کاهش می‌یابد. این مسئله سبب کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش زمان ماندگاری آب‌های کارستی در اعماق آبخوان‌های کارستی می‌شود. با افزایش زمان ماندگاری آب‌های

کارستی علاوه بر افزایش مواد جامد محلول در آب، نسبت یونی  $Mg / Ca$  نیز افزایش می‌یابد و تیپ غالب آب تغییر می‌کند (Ford and Williams 2007).

گاهی نیز عوامل ساختاری مانند گسل‌ها و نیز لایه‌های نفوذناپذیر شیلی و مارن تاثیر بسیار زیادی بر وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی دارند. در ادامه مثال‌هایی در بیان اهمیت و تاثیر این عوامل بر وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های کارستی ارائه خواهد شد.

در منطقه لینکولن‌شیر (Lincolnshire) انگلستان توزیع غیریکنواخت میان‌لایه‌های نفوذناپذیر شیلی در بین واحدهای کارستی آهکی سبب شده است تا در برخی قسمت‌ها که لایه‌های شیلی وجود دارند، آبخوان کارستی محبوس و در بخش‌هایی که لایه‌های مذکور وجود ندارند، آزاد باشد. با اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی آب‌های کارستی منطقه مورد مطالعه تیپ آب در بخش‌های آزاد آبخوان  $Ca - Mg - HCO_3$  و در بخش‌های محبوس،  $Na - HCO_3$  و یا  $Na - Cl$  تشخیص داده شد (Lawrence et al. 1976).

اسکانلون (Scanlon 1989) نیز با بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی آب‌های کارستی منطقه کارستی بلوآگراس (Bluegrass) در کنتاکی مرکزی سه تیپ مختلف آب شامل  $Ca - Mg - HCO_3$ ،  $Na - HCO_3$  و  $Na - Cl$  شناسایی نمود. وی علت مشاهده تیپ‌های مختلف آب در اعماق مختلف آبخوان کارستی مورد مطالعه را اختلاف در زمان ماندگاری آب‌های کارستی به دلیل وجود ناپیوستگی‌ها و میان‌لایه‌های افقی شیلی بیان می‌کند. لایه‌های نفوذناپذیر مذکور سرعت و عمق چرخش آب‌های زیرزمینی را در آبخوان کنترل می‌کنند.

همچنین در برخی از نواحی زون زاگرس چین‌خورده در ایران، در سازند کارستی و کربناته آسماری به دلیل وجود میان‌لایه‌های مارنی نفوذناپذیر چند آبخوان مجزا با خصوصیات هیدروژئوشیمیایی کاملاً متفاوت تشکیل شده است (کریمی وردنجان ۱۳۸۹).

قابل ذکر است که آهک‌های فاقد تخلخل ثانویه مانند درز و شکاف و یا تخلخل انحلالی همانند شیل و مارن از نظر هیدروژئولوژیکی نفوذناپذیر می‌باشند (Ford and Williams 2007).

نیروهای تشکیل دهنده گسل‌ها معیار مهمی در تعیین وضعیت هیدروژئولوژیکی آن‌ها می‌باشد. به طور مثال گسل‌های معکوس که در اثر نیروهای فشارشی به وجود می‌آیند، معمولاً از دیدگاه هیدروژئولوژیکی در مقابل جریان آب‌های زیرزمینی نفوذناپذیر می‌باشند و باعث جدایش هیدرولیکی در بخش‌های مختلف آبخوان‌ها می‌شوند. اما در گسل‌های نرمال یا عادی که بر اثر نیروهای کششی ایجاد می‌شوند، آب‌های زیرزمینی با سرعت بیشتری نسبت به دیگر بخش‌های آبخوان در اطراف و امتداد آن‌ها جریان می‌یابند.

به طور مثال زو هایزن و همکاران (Xu Huizhen *et al.* 2006) با بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی حوضه آبگیر یک چشمه کارستی در استان شانگدانگ (Shangdong) چین به این نتیجه رسیدند که گسل‌های درون حوضه آبگیر چشمه نفوذپذیر می‌باشند، زیرا تیپ آب در بخش‌های مختلف حوضه آبگیر چشمه کارستی تفاوت چندانی نشان نمی‌دهد. اما به دلیل اینکه گسل‌های محصورکننده حوضه آبگیر چشمه مورد مطالعه نفوذناپذیر می‌باشند، تیپ آب در محدوده حوضه‌های آبگیر مجاور آن با یکدیگر تفاوت بسیار دارند.

کالیسپری و همکاران (Kalisperi *et al.* 2008) جهت بررسی عوامل موثر بر کیفیت آبخوان کارستی ساحلی واقع در حوضه آبگیر رودخانه گروپوتاموس (Gropotamos) واقع در بخش کرت (Crete) کشور یونان غلظت یون‌های اصلی و ایزوتوپ‌های پایدار آب را در بخش‌های مختلف آبخوان مذکور اندازه‌گیری نمودند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که دو تیپ آب شامل  $Ca-HCO_3$  و  $Na-Cl$  در آبخوان وجود دارد. همچنین بررسی‌های ایزوتوپی نشان دادند که آب‌های دارای تیپ  $Na-Cl$ ، از نظر ایزوتوپی بسیار غنی‌تر از تیپ  $Ca-HCO_3$  می‌باشند. آن‌ها برای تفسیر نتایج بدست آمده وضعیت زمین‌شناسی منطقه را به طور کامل بررسی کردند و نتیجه گرفتند که نمونه‌های دارای تیپ  $Na-Cl$ ، در اثر اختلاط آب دریا و آب‌های تازه آبخوان به وجود آمده‌اند. اما علت اصلی اختلاط آب‌ها در این آبخوان وجود گسل‌های نرمال و ممتدی بودند که در امتداد آن‌ها آب‌های شور و سنگین دریا به سمت آبخوان کارستی جریان می‌یافت.

ریبرسکی و همکاران (Reberski *et al.* 2009) نیز گسل‌های موجود در منطقه کارست‌های دیناریک را مهمترین عوامل موثر بر جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان شناسایی نمودند. در این ناحیه که

دارای روند شمال غرب-جنوب شرقی می باشد، گسل های به موازات روند آبخوان کارستی که در اثر مکانیسم فشارشی به وجود آمده اند، مانند سدی در مقابل جریان عمل می کنند. اما در امتداد و اطراف گسل های عمود بر روند اصلی آبخوان که بر اثر نیروهای کششی به وجود آمده اند و گسل های نرمال یا عادی می باشند، فضای مناسبی برای هدایت سریع تر جریان آب های زیرزمینی فراهم می باشد.

## ۲-۶- کاربرد ایزوتوپ های پایدار آب در مطالعه آبخوان های کارستی

ملکول های آب و نسبت های ایزوتوپی اتم های تشکیل دهنده آن ها، آثار فرآیندهای هواشناسی به وجود آورنده خود را حفظ نموده و در مراحل مختلف چرخه هیدرولوژی انتقال می دهند. بنابراین می توانند اطلاعات مفیدی در مورد منشأ باران ها و نیز سن آب های زیرزمینی موجود در آبخوان ها فراهم کنند (Cook and Herczeg 2000). فصل بارندگی، عرض جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم ترکیب ایزوتوپی باران ها را تحت تاثیر قرار می دهند. ردیابی آب های زیرزمینی به وسیله ایزوتوپ های اکسیژن  $^{18}O$  و دوتریم ( $^2H$ ) (ایزوتوپ های پایدار آب) اطلاعات بسیار مفیدی در مورد مسیرهای جریان آب زیرزمینی، منشأ تغذیه و مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان کارستی ارائه می دهند. از دلایل اصلی کاربرد گسترده مطالعات ایزوتوپی در بررسی آبخوان های کارستی این است که توزیع آن ها در آب های کارستی در حقیقت بیانگر وضعیت ایزوتوپی آب های موجود در تمام بخش های مختلف و ناهمگن آبخوان می باشند. تفریق ایزوتوپی (Isotopic fractionation) پایه و اساس مطالعات ایزوتوپی آب های زیرزمینی می باشد. در این فرآیند، ایزوتوپ های مختلف یک عنصر به وسیله واکنش های ترمودینامیکی مختلف (که این واکنش ها سبب ایجاد اختلاف در سرعت واکنش اجزاء مختلف ملکولی می شوند)، تفریق می گردند (Kendall and Mc Donnell 1998).

واکنش های فیزیکی و شیمیایی که در طی آن ها ایزوتوپ های پایدار آب تفریق می شوند، می توانند تحت شرایط الف- تعادلی و ب- غیر تعادلی صورت گیرند. در شرایط تعادلی سرعت واکنش های رفت و برگشت هر ایزوتوپ معین، یکسان است. تعادل ایزوتوپی بین دو فاز به معنای این نیست که دو فاز دارای نسبت های یکسانی از ایزوتوپ های سبک و سنگین می باشند، بلکه بیانگر این است که نسبت این ایزوتوپ ها در طول یک واکنش در دمای معین، همچنان ثابت باقی می ماند. یک فرآیند

ترمودینامیکی کاملاً شناخته شده تفریق ایزوتوپی در شرایط تعادلی، میعان آب درون ابر می‌باشد (Kendall and McDonnell 1998). در این واکنش فیزیکی، ایزوتوپ‌های سنگین‌تر آب وارد فاز مایع می‌شوند در حالی که ایزوتوپ‌های سبک‌تر در فاز بخار (ابر) باقی می‌مانند.

عواملی مانند یخ‌زدن سریع آب، اضافه و یا حذف شدن واکنش‌دهنده‌ها و حضور واکنش‌دهنده‌های بیولوژیکی سبب می‌شوند تا سرعت واکنش‌های رفت و برگشت تفریق ایزوتوپی با یکدیگر برابر نباشند و شرایط غیرتعادلی ایجاد شود (Cook and Herczeg 2000). در چرخه آب فرآیند غیرتعادلی تفریق ایزوتوپی در هنگام تبخیر از آب‌های سطحی اتفاق می‌افتد (Gonfiantini 1986).

تفریق ایزوتوپی تا حد بسیار زیادی به دمای محیط، بستگی دارد. برای مثال تفریق دوتریم بین دو فاز مایع و بخار، از حدود ۱۰۶ در هزار در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به ۲۷ در هزار در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (Clark and Fritz 1997). آب‌های زیرزمینی به صورت پیش‌رونده‌ای از ایزوتوپ‌های پایدار و سنگین اکسیژن و هیدروژن بر اثر تبخیرهای صورت گرفته از آبخوان‌ها در مسیر جریان آب، غنی‌تر می‌شوند (Gonfiantini 1986).

خط جهانی آب‌های جوی (Global Meteoric Water Line) که وضعیت ایزوتوپ‌های پایدار آب را در تمامی نقاط جهان نشان می‌دهد، مرجع بسیار مهمی در ارزیابی وضعیت ایزوتوپ‌های پایدار آب به صورت ناحیه‌ای می‌باشد (Craig 1961). معادله (۱۱-۲) معادله خط جهانی آب‌های جوی است که در آن عدد هشت شیب خط و اصطلاحاً مازاد دوتریم (Deuterium excess) نامیده می‌شود و مقدار  $d$  در خط جهانی آب‌های جوی ۱۰ می‌باشد.

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + d \quad \text{معادله (۱۱-۲)}$$

مقدار  $d$  بسته به منشأهای مختلف بارندگی در نواحی مختلف متفاوت است (Froelich et al. 2002). نسبت ایزوتوپ‌های پایدار آب به صورت ناحیه‌ای بیانگر شرایط جوی مختلف حاکم در ناحیه منشأ بارش‌های جوی می‌باشند و به وسیله خط آب‌های جوی ناحیه‌ای (Local meteoric water line) توصیف می‌شوند. براساس وضعیت خط ایزوتوپ‌های پایدار آب‌های ناحیه‌ای جوی نسبت به وضعیت خط جهانی آب‌های جوی می‌توان تاثیر عواملی مانند فصل بارش، عرض جغرافیایی، ارتفاع، آب و هوا و

اقلیم ناحیه مورد مطالعه بر وضعیت ایزوتوپ‌های پایدار (اکسیژن ۱۸ و دوتریم) آب‌های جوی و زیرزمینی (دارای منشأ جوی)، قابل شناسایی می‌باشند (Clark and Fritz 1997).

## ۲-۷- مرز تقسیم آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی

مرز تقسیم آب زیرزمینی مرزی است گذرا میان دو حوضه‌ی آبگیر زیرزمینی که جهت جریان در دو سوی آن متفاوت است. این مرز در واقع یک سطح پیچیده و سه بعدی است که موقعیت آن با افزایش عمق آبخوان و گذر زمان تغییر می‌کند. مرز تقسیم آب زیرزمینی را در پهنه‌های غیرکارستی مانند دشت‌های آبرفتی معمولاً منطبق بر مرز تقسیم آب‌های سطحی فرض می‌کنند. اما در مطالعات کارست تنها به عنوان یک پیش فرض قابل قبول است. زیرا در مطالعات دقیق انجام شده در بسیاری از حوضه‌های آبگیر کارستی جهان مشاهده شده است که مرز تقسیم آب‌های سطحی و زیرزمینی بر یکدیگر منطبق نمی‌باشند. همچنین موقعیت مرزهای تقسیم آب زیرزمینی در پاسخ به تغییرات ایجاد شده در شرایط جریان در آبخوان‌ها به صورت جانبی جابه‌جا می‌شوند (Ford and Williams 2007). تعیین موقعیت مرز تقسیم آب زیرزمینی از این جهت که تغییرات محلی آن در طول زمان ممکن است سبب تغییر الگوهای جریان در آبخوان‌ها شوند، در مدیریت حوضه‌های آبگیر زیرزمینی اهمیت بسیار دارد (Alley et al. 2002, Neff 2006). مرز تقسیم آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زیر تعیین می‌گردد:

- با استفاده از نقشه‌ی پیزومتری و تعیین مرزهایی که جریان در دو طرف آن دارای سمت و سوی مختلف است.
- آزمایشات ردیابی به وسیله‌ی مواد رنگی و یا ایزوتوپ‌های کمیاب

ترایکیل (Thraikill 1985) در مطالعات خود در بلواگراس (Bluegrass) کنتاکی مرکزی با استفاده از آزمایشات ردیابی به وسیله‌ی مواد رنگی، حوضه‌های آبگیر باریک و کوچکی در آبخوان کارستی شناسایی نمود که در نقشه‌های پیزومتری قابل تشخیص و جدایش نبوده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای تعیین دقیق‌تر مرز تقسیم آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی، علاوه بر استفاده از نقشه‌های پیزومتری، می‌توان از آزمایشات ردیابی نیز استفاده نمود.

از طرفی همیشه نقشه‌های پیزومتری نمی‌توانند برای تعیین جهت واقعی جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی مورد استفاده قرار گیرند.

## ۲-۷-۱- عوامل موثر بر موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی

سطح آب زیرزمینی در پاسخ به اضافه شدن و یا برداشت آب از آبخوان‌ها، تغییر می‌کند. این تغییرات موقعیت مرز تقسیم آب زیرزمینی را نیز تحت تاثیر قرار داده و جابه‌جا می‌کند. از فعالیت‌های بشر که ممکن است موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار دهند می‌توان به مواردی از قبیل پمپاژ آب‌های زیرزمینی، احداث کانال‌های آبرسانی، معدن‌کاری، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی اشاره نمود. هر کدام از این عوامل ممکن است در عرض چند ماه و یا چندین ماه تاثیر خود را نشان دهند. همچنین عوامل طبیعی که ممکن است موقعیت خط تقسیم محلی و یا ناحیه‌ای آب‌های زیرزمینی را تغییر دهند شامل تغییرات طولانی مدت (دهه، قرن و یا میلیون‌ها سال) در مقدار و نحوه‌ی بارش (برف، باران و یا دیگر اشکال بارش) در یک ناحیه، فعال شدن دوباره‌ی مناطق یخچالی و یا آب شدن مناطق یخچالی است که معمولاً با تغییر رژیم و جهت جریان در آبخوان‌ها همراه هستند (Sheets and Simonson 2006).

### - تاثیر پمپاژ از آب زیرزمینی بر موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی

پمپاژ طولانی مدت از یک آبخوان سبب تغییر جهت اولیه و طبیعی جریان آب‌های زیرزمینی شده و به سمت محل چاه‌های پمپاژ انحراف می‌یابد. در نتیجه این انحراف در جهت جریان، مرز تقسیم آب زیرزمینی در طول زمان از موقعیت اولیه خود نسبت به محل چاه‌های پمپاژ فاصله می‌گیرد. به طور مثال پمپاژ از چاه‌های عمیق حفر شده در یک آبخوان کارستی در منطقه‌ی شیکاگو و میلواکی (Chicago and Milwaukee) تاثیر بسیاری بر سطح آب زیرزمینی و جابه‌جایی مرز تقسیم آب زیرزمینی در این آبخوان داشته است (Sasman et al. 1960, Sheets et al. 2005). همچنین پمپاژ آب زیرزمینی از آبخوان‌های ماسه‌سنگی عمیق جنوب شرق ایالت ویسکونسن آمریکا سبب جابه‌جایی چند مایلی خط تقسیم آب زیرزمینی نسبت به موقعیت اولیه خود در این آبخوان‌ها شده است (Kenneth 2007).

## - تاثیر فرآیند تغذیه بر موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی

میزان تغذیه انجام شده در مقیاس ناحیه‌ای، تابعی از توپوگرافی، توزیع بارندگی در سطح ناحیه، دمای هوا و کاربری زمین می‌باشد (Walton 1965). هرگاه پارامترهای موثر بر تغذیه در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف بر اثر فعالیت‌های بشری و طبیعی تغییر کنند، ممکن است سطح آب زیرزمینی و موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی نیز دچار تغییر شوند. بررسی تغییرات بلندمدت تغذیه در حوضه‌های بزرگ کارستی کار بسیار پیچیده و دشواری می‌باشد (Alley et al. 2002, Neff 2006). اگر فرآیند تغذیه تمام سطح آبخوان را به‌طور یکسان تحت تاثیر قرار دهد (یعنی این فرآیند در سطح تمام بخش‌های آبخوان به‌طور یکسان انجام شود)، بنابراین بر اثر تغییرات فرآیند تغذیه سطح آب زیرزمینی به‌طور یکسان در تمام سطح آبخوان نوسان می‌کند و موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی ثابت باقی می‌ماند (Sheets and Simonson 2006). از طرفی فرآیند تغذیه خود تحت تاثیر مستقیم نفوذپذیری بخش‌های مختلف آبخوان قرار دارد. به‌طور مثال بررسی‌های انجام شده در آبخوان کارستی جودا (Judea) در اسرائیل نشان داد که در این آبخوان موقعیت مرز تقسیم آب زیرزمینی به وسیله توزیع ناهمگن دو پارامتر نفوذپذیری و تغذیه کنترل می‌شود (Kafri and Arad 1978). معمولاً در آبخوان‌های کارستی سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از آبخوان که دارای نفوذپذیری کمی می‌باشند، بالاتر از بخش‌هایی قرار می‌گیرد که دارای نفوذپذیری بیشتری می‌باشند (البته این مسئله زمانی قابل قبول است که تغذیه به‌صورت کاملاً یکسان در سطح تمام بخش‌های آبخوان صورت پذیرد). همچنین انتظار می‌رود در بخش‌هایی از آبخوان که امکان تغذیه بیشتری وجود دارد، سطح آب زیرزمینی نیز بالاتر از بخش‌های دیگر آبخوان قرار گیرد. نوع بارش، میزان توسعه فرایندهای کارستی، ارتفاع محل تغذیه، وضعیت توپوگرافی و شیب و عوامل بسیار دیگری می‌توانند تعیین‌کننده تغذیه انجام شده به آبخوان‌های کارستی باشند. بررسی تاثیرات متقابل دو پارامتر تغذیه و نفوذپذیری که معمولاً در آبخوان‌های کارستی توزیع ناهمگن دارند و موقعیت مرز تقسیم آب زیرزمینی را کنترل می‌نمایند، بسیار دشوار می‌باشد.

مطالعات ایبرتز (Eberts 1999) در جنوب غرب آهایو (Ohio) نشان داد کاهش تغذیه در آبخوان‌های سیلورین-دونین منطقه و در نتیجه پایین افتادن سطح آب زیرزمینی در این آبخوان‌ها سبب تغییر در

الگوی جریان آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مآمی (Maumee) شده است. همچنین موقعیت خط تقسیم آب زیرزمینی ناحیه‌ای در این آبخوان‌ها در اثر پایین افتادگی شدید سطح آب زیرزمینی تغییر کرده است.

حساسیت‌سنجی (Sensitivity analyses) در مدلی که برای جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان کارستی ادواردز (Edwards aquifer) تهیه شده بود (این آبخوان از نظر توسعه فرآیند کارستی شدن بسیار پیشرفته می‌باشد)، نشان داد آبدهی چشمه بارتون (Barton) که این آبخوان را زهکشی می‌کند، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات در فرآیند تغذیه در مقایسه با پمپاژ آب‌های زیرزمینی از آن آبخوان نشان می‌دهد (Scanlon et al. 2003). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در هر منطقه میزان تاثیر پمپاژ آب زیرزمینی و یا تغییرات تغذیه بر وضعیت و موقعیت مرز تقسیم آب زیرزمینی بستگی به شرایط هیدروژئولوژیکی آن آبخوان دارد. پس لازم است در هنگام تعیین مرز تقسیم آب زیرزمینی و نیز بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن به صورت کاملاً دقیق و با در نظر داشتن شرایط هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی، مورد ارزیابی قرار گیرند.

## فصل سوم: روش انجام کار

### ۳-۱- مقدمه

در این فصل تمامی مراحل مطالعات و بررسی‌های انجام شده در این تحقیق جهت تعیین وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس با چاه‌های آب شرب شهرضا خود به تفصیل بیان شده است. به منظور به نتیجه رسیدن این تحقیق مراحل زیر انجام شده است:

الف- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و مطالعات پیشین انجام شده در مورد چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا از سازمان‌ها و شرکت‌های مرتبط

ب- بررسی‌های زمین‌شناسی شامل زمین‌شناسی کارست، ژئومورفولوژی کارست، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری آبخوان کارستی امام‌قیس و تهیه نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

پ- بررسی هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

ت- بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس و منابع آب مجاور آن با توجه به نتایج بدست آمده

در این فصل، هر کدام از مراحل انجام تحقیق به طور مفصل شرح داده خواهند شد.

### ۳-۲- جمع‌آوری اطلاعات و مروری بر مطالعات پیشین

در راستای هدف این تحقیق اطلاعاتی که در ادامه عنوان خواهند شد، جمع‌آوری گردید که در مراحل بعدی کار مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

۱- آمار هیدرولوژیکی مربوط به ایستگاه هوا-اقلیم‌شناسی امام‌قیس (نزدیکترین ایستگاه به محدوده مورد مطالعه) مانند میانگین بارندگی ماهیانه و سالیانه و میانگین دمای سالیانه این ایستگاه مربوط به سال‌های آبی بعد از سال آبی ۴۳-۱۳۴۲ از سازمان هواشناسی چهارمحال و بختیاری.

۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بروجن از سازمان زمین‌شناسی کل کشور، نقشه‌های توپوگرافی یک ۱:۵۰۰۰۰ محدوده‌ی مورد مطالعه (ورقه‌های دوراهان، ونک، بروجن و بلداجی) از سازمان نقشه‌برداری کل کشور و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه که در سال ۱۳۴۶ توسط سازمان نقشه‌برداری کل کشور تهیه شده است.

۳- گزارش مطالعات زمین‌شناسی و مطالعات پایه (گزارشات نهایی) تامین آب آشامیدنی شهرضا از سازندهای آهکی منطقه گرماب‌دشت سمیرم که در سال‌های ۷۶-۱۳۷۲ توسط شرکت مه‌باب قدس تهیه شده و در بخش مطالعات شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان نگهداری می‌شود.

۴- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری‌های کیفی انجام شده در طول سال‌های پس از بهره‌برداری (بهره‌برداری از چاه‌های آب شرب شهرضا در سال ۱۳۸۳ آغاز گردیده است) چاه‌های آب شرب شهرضا از شرکت‌های آب و فاضلاب مرکزی استان اصفهان و نیز آب و فاضلاب شهرستان شهرضا و نیز جمع‌آوری اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری‌های کیفی و کمی از خواص فیزیکوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس از شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری

### ۳-۳- بررسی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه زمین‌شناسی

به منظور بررسی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه اقدامات زیر انجام شد:

الف- بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی منطقه و نیز شناسایی موقعیت‌های مهم مانند موقعیت منابع آب موجود در آبخوان کارستی امام‌قیس و راه‌های دسترسی به منطقه با استفاده از نرم‌افزار Google Earth 5 و بدست آوردن شناخت کلی از وضعیت کلی منطقه.

ب- مطالعه کامل و دقیق گزارش زمین‌شناسی و مطالعات پایه تامین آب شرب شهرضا و استفاده از بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه که در این مطالعات مفصلاً به آن‌ها پرداخته شده است.

پ- بازدید از منطقه و ارزیابی آن با دیدگاه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی کارست (مانند چینه‌شناسی و ژئومورفولوژی آبخوان کارستی، بررسی اشکال کارستی موجود در آبخوان و تعیین میزان توسعه کارست، زمین‌شناسی ساختاری و تاثیر آن بر فرآیند کارستی شدن در آبخوان و بررسی مرزهای هیدروژئولوژیکی آبخوان) و نیز بررسی مطالعات قبلی انجام شده.

ت- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با توجه به نتایجی که طی مطالعات مراحل قبل مختلف بدست آمده است.

### ۳-۴- بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس و

#### چاه‌های آب شرب شهرضا (از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹)

برای بررسی نوع و جهت جریان آب زیرزمینی، موقعیت احتمالی مرز تقسیم آب زیرزمینی، محدوده حوضه آبریز زیرزمینی چشمه امام‌قیس و در نهایت وضعیت ارتباط هیدرولیکی چشمه امام‌قیس با چاه‌های آب شرب شهرضا مطالعات هیدروژئولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی در این منابع آب آبخوان کارستی امام‌قیس انجام شده است. بخشی از این مطالعات در صحرا و بخشی دیگر در آزمایشگاه انجام شده‌اند. در ادامه مراحل انجام شده جهت بررسی وضعیت ارتباط هیدرولیکی (وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی) چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا ذکر می‌گردد.

#### ۳-۴-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از منابع آب مانند چشمه و چاه فرآیندی بسیار اساسی بوده و به منظور دستیابی به نتایج بایستی به شکل صحیح انجام شود. در نمونه‌برداری رعایت برخی نکات ضروری می‌باشد. مواردی مانند ظرف نمونه، محل نمونه‌برداری، بازه زمانی صرف شده میان برداشت نمونه‌ها و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق مربوط به هر کدام از نمونه‌ها، نحوه برداشت و نمونه‌برداری تکراری برای کنترل عملکرد آزمایشگاه همه در نیل به این هدف تاثیرگذار می‌باشند. در این مطالعه جهت بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی میان چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا، این منابع آب مورد نمونه‌برداری‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی قرار گرفته‌اند. برای اینکه نتایج آزمایشات نمونه‌برداری‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی چشمه قابل مقایسه با نمونه‌های گرفته شده از چاه‌ها باشند، نمونه‌برداری از چشمه و چاه‌ها به صورت همزمان و در یک روز انجام شده است. در ادامه نحوه نمونه‌برداری و شرایط آن در نمونه‌برداری‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی بیان خواهند شد.

الف- نمونه‌برداری هیدروژئوشیمیایی از منابع آب: به جهت بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه و چاه‌های آب شرب، از آن‌ها نمونه‌برداری هیدروژئوشیمیایی صورت گرفته است. در هر نمونه‌برداری از بطری‌های پلاستیکی مخصوص با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر استفاده شده است. هنگام

نمونه‌برداری از چشمه، ظرف پلاستیکی و درپوش آن سه مرتبه با آب چشمه شستشو داده شده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی در عمق ۲۰ سانتی‌متری از آب پر شده تا هیچگونه حباب هوایی در آن ایجاد نشود و نیز آب در محل برداشت از چشمه گل‌آلوده نگردد. علاوه بر آن سعی شده تا نمونه‌ها از نزدیکترین محل به خروجی چشمه برداشته شوند. در مجموع ماهی یک بار و در مواقع پرآبی و تغییرات بالای آبدهی چشمه، ماهی دو بار از چشمه امام‌قیس نمونه‌گیری صورت گرفته است.

مجموعاً هفت بار از چاه‌های آب شرب شهرضا همزمان با نمونه‌برداری از چشمه امام‌قیس، نمونه‌گیری صورت گرفت. معمولاً از مجموع هفت چاه آب شرب حداکثر شش‌تای آن‌ها روشن و در حال پمپاژ بوده‌اند. جهت نمونه‌برداری از چاه‌ها با هماهنگی قبلی نگهبان چاه‌ها در محل حضور یافته و نمونه‌برداری از محل شیر نمونه‌گیری انجام شده است. قبل از نمونه‌گیری برای حذف اثرات انشعابات که تا هنگام نمونه‌گیری خشک بوده‌اند، اجازه داده می‌شد تا به مدت ۱۰ دقیقه آب از محل شیر نمونه‌گیری خارج شود. سپس ظرف بزرگی را که قبلاً سه بار با آب چاه شستشو داده شده بود از آب آن پر نموده و پس از چند لحظه که آب در آن به حالت آرامش می‌رسید، ظرف نمونه در داخل آن پر از آب می‌شد. بطری‌های مملو از آب چشمه و چاه‌های آب به آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود ارسال شده و حداکثر تا چهل و هشت ساعت بعد مورد آزمایش قرار گرفتند.

ب- نمونه‌برداری/ایزوتوپی منابع آب: به جهت بررسی مطمئن‌تر وضعیت ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا به بررسی وضعیت ایزوتوپی آب‌های چشمه و دو چاه نزدیکتر به آن (چاه شماره ۱ و ۲) پرداخته شده است. به این منظور همزمان با یک مرحله نمونه‌برداری هیدروژن و اکسیژن، نمونه‌هایی از چشمه مورد مطالعه و دو چاه (۱) و (۲) آب شرب شهرضا در ظرف‌های مخصوص شیشه‌ای با درپوش‌های مخصوص و بسیار محکم و حجم ۵۰ میلی‌لیتر تهیه شد. در هنگام نمونه‌گیری ظرف‌های نمونه و درپوش آن‌ها قبل از برداشت نمونه در آب چشمه و چاه شستشو داده شد و نیز دقت بسیار زیادی به عمل آمد تا ظرف‌های نمونه پس از پر شدن از آب دارای هیچگونه حباب هوا نباشد زیرا وجود حباب هوا در نمونه آب تاثیر بسیار زیادی در ایجاد خطا در نتیجه آزمایشات ایزوتوپی دارد. سه ظرف نمونه مملو از آب چشمه و چاه‌های شماره (۱) و (۲) با فاصله چند روزه جهت آزمایشات ایزوتوپی به ژاپن (دانشگاه کوماموتو، Kumamoto) فرستاده شدند.

### ۳-۴-۲- اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه و چاه‌ها در صحرا

برخی از خواص چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا در محل صحرا اندازه‌گیری شده‌اند که شامل:

الف- *اندازه‌گیری آبدهی چشمه*: یکی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی که در صحرا اندازه‌گیری می‌شود، دبی چشمه می‌باشد. دبی عبارت است از حجم آبی که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می‌کند.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

در معادله (۱-۳) سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه، دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه و سطح مقطع بر حسب مترمربع در نظر گرفته می‌شوند. اندازه‌گیری دبی در چشمه امام‌قیس با استفاده از سرریزی با ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ضخامت ۵ میلی‌متر انجام شده است. این سرریز توسط شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری بر روی کانالی که آب چشمه از طریق آن به مزارع روستای امام‌قیس انتقال می‌یابد احداث شده است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- سرریز مستطیلی که برای محاسبه دبی چشمه امام‌قیس بر روی کانال جریان احداث شده است.

دبی عبوری از یک سرریز مستطیلی با استفاده از معادله (۲-۳) محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b (2g)^{0.5} h^{1.5} \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

این معادله براساس معادله برنولی (Bernoulli equation) پایه‌گذاری شده است. در این معادله  $c_d$  ثابت دبی سرریز است که به وسیله آزمایشات واسنجی (Calibration) تعیین می‌شود. همچنین  $h$  ارتفاع سطح آب بر روی سرریز (بر حسب متر)،  $q$  دبی جریان (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)،  $b$  (عرض سرریز بر حسب متر) و  $g$  شتاب گرانش زمین (بر حسب متر مربع بر ثانیه) می‌باشد.

ب- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی: از مهمترین اندازه‌گیری‌های صحرایی، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی منابع آب می‌باشد که ارتباط مستقیمی با مقدار مواد جامد محلول در آب، (Total dissolved solids) دارد. بنابراین هدایت الکتریکی چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب همزمان با هر بار نمونه‌گیری از این منابع در صحرا اندازه‌گیری شد. به این منظور از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (EC meter) مدل ۵۰۱۵۰ که محصول کارخانه HACH آمریکا می‌باشد استفاده شده است. دقت اسمی این دستگاه برای مقادیر پایین هدایت الکتریکی (کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) ۰/۱-۰ و در مقادیر بالاتر (بیش از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) ۱۰-۱ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

پ- اندازه‌گیری  $pH$ :  $pH$  آب چشمه و چاه‌ها نیز در صحرا همزمان با نمونه‌برداری، بوسیله  $pH$  متر اندازه‌گیری شده است. این ویژگی از آب‌ها به عواملی مانند دی‌اکسیدکربن محلول در آب، میزان آنیون‌های کربنات و بیکربنات و دمای آب وابسته است. هر قدر میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آب بیشتر باشد میزان  $pH$  آن کمتر می‌شود. تعیین  $pH$  برای محاسبه مقدار ضریب اشباع شدگی آب نسبت به کانی‌های مختلف ضروری است. در این تحقیق برای اندازه‌گیری  $pH$  از دستگاه  $pH$  متر محصول کارخانه Suntex کشور تایوان مدل SP-70 استفاده شده است. دقت اسمی این دستگاه ۰/۱ می‌باشد. این دستگاه قبل از اندازه‌گیری با کمک محلول‌های بافر ۴ و ۷ واسنجی (Calibration) شده است. کالیبره نبودن دستگاه  $pH$  متر سبب ایجاد خطا در اندازه‌گیری  $pH$  آب می‌شود.

ت- اندازه‌گیری دما: دما نیز یکی از ویژگی‌های مهم در مطالعه منابع آب کارستی و تعیین نوع جریان سفره است که در صحرا و همزمان با نمونه‌برداری و اندازه‌گیری سایر پارامترها (EC و  $pH$ ) اندازه‌گیری شده است.

ث- اندازه‌گیری دی‌اکسیدکربن محلول: این پارامتر از ویژگی‌های بسیار مهم منابع آب کارستی است که برای تفسیر نوع جریان در سفره و نیز اندازه‌گیری ضریب اشباع‌شدگی آب نسبت به کانی‌های

مختلف و نسبت آنیون‌های کربنات و بیکربنات کلسیم و سایر ترکیبات کربن در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ویژگی در صحرا و با تیترا نمودن آب چشمه و چاه با محلول ۰/۱ نرمال سود همزمان با نمونه‌گیری اندازه‌گیری شده است.

### ۳-۴-۳- اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی در آزمایشگاه

به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه و چاه‌ها به آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود ارسال شده و در این آزمایشگاه کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیون‌های کربنات، کلر، نیترات و سولفات با روش‌های شیمی تر اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی انجام شده در آزمایشگاه براساس میلی گرم بر لیتر و میلی‌اکی‌والان بر لیتر ارائه شده‌اند. با استفاده از نتایج بدست آمده پارامترهایی مانند ضرایب اشباع و نسبت‌های یونی محاسبه شده است. همچنین براساس غلظت یون‌های اصلی بدست آمده مواردی مانند تیپ آب و موقعیت آن‌ها در نمودارهای مهم آب‌شناسی مانند نمودار پایپر بررسی شده است.

### ۳-۴-۴- محاسبه درصد خطای آزمایش

برای محاسبه درصد خطای آزمایش از رابطه زیر استفاده می‌شود که در آن غلظت یون‌های اصلی براساس میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند.

$$Error(\%) = \frac{(\sum Cations - \sum Anions)}{(\sum Cations + \sum Anions)} * 100 \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

### ۳-۴-۵- محاسبه ضرایب اشباع

به منظور تعیین ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شده است.

## فصل چهارم: ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی

### چشمه کارستی امام‌قیس

#### ۴-۱- مقدمه

همانطور که قبلاً نیز ذکر گردید، چشمه کارستی امام‌قیس با آبدهی متوسط حدود ۹۰ لیتر در ثانیه (در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹) بزرگترین چشمه‌ای است که بخشی قابل توجهی از آب‌های کارستی موجود در آبخوان کارستی امام‌قیس از طریق آن تخلیه می‌شود. ارتفاع محل ظهور این چشمه حدود ۲۲۶۱ متر بالاتر از سطح آزاد دریاها می‌باشد.

با توجه به هدف اصلی این تحقیق که بررسی وضعیت ارتباط هیدرولیکی (وجود و یا عدم وجود) میان چشمه امام‌قیس و منابع آب مجاور آن (چاه‌های آب شرب شهرضا) می‌باشد ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این چشمه در دستور کار قرار گرفت. به این منظور خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس، از آذر ۱۳۸۸ تا آذر ۱۳۸۹ مقادیر هدایت الکتریکی، درجه حرارت، اسیدیته و دبی جریان در محل چشمه ۱۴ بار اندازه‌گیری شده‌اند.

در فاصله زمانی فوق‌الذکر، ۱۴ بار از چشمه امام‌قیس نمونه‌برداری شده و نمونه‌ها برای تعیین غلظت یون‌های اصلی به آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود منتقل شده‌اند. جدول (۴-۱) مقادیر پارامتر-های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی امام‌قیس را نشان می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر انحراف معیار، میانگین و ضریب تغییرات پارامترهای مذکور نیز در جدول (۴-۱) ارائه شده‌اند. براساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری آبدهی چشمه امام‌قیس در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ مساحت حوضه آبرگیر چشمه اندازه‌گیری شده است که در فصل ششم به طور کامل به آن پرداخته خواهد شد.

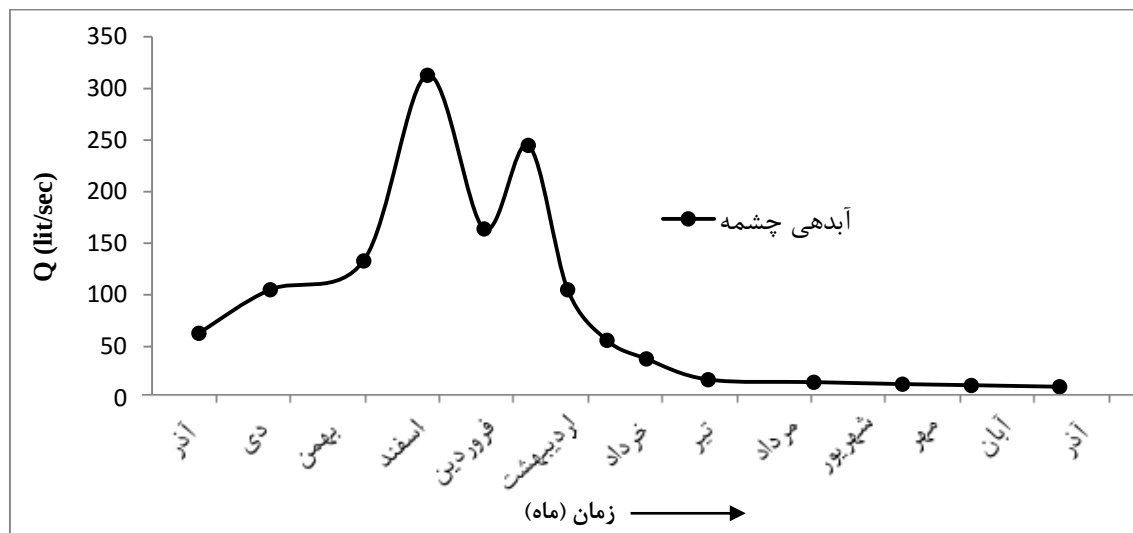
جدول ۴-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه کارستی امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

| تاریخ اندازه‌گیری | دبی چشمه<br>(lit/sec) | هدایت الکتریکی<br>( $\mu\text{mhos/cm}$ ) | pH   | درجه حرارت آب<br>(°C) |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------------------|------|-----------------------|
| ۱۳۸۸/۰۹/۱۹        | ۶۳                    | ۳۰۰                                       | ۸/۲۰ | ۱۱/۹                  |
| ۱۳۸۸/۱۰/۱۸        | ۱۰۵                   | ۳۱۰                                       | ۷/۷۲ | ۱۲/۰                  |
| ۱۳۸۸/۱۱/۲۶        | ۱۳۳                   | ۳۱۹                                       | ۷/۸۰ | ۱۳/۲                  |
| ۱۳۸۸/۱۲/۲۲        | ۳۱۳                   | ۳۴۷                                       | ۷/۶۴ | ۱۲/۷                  |
| ۱۳۸۹/۰۱/۱۶        | ۱۶۴                   | ۳۱۱                                       | ۷/۸۲ | ۱۲/۴                  |
| ۱۳۸۹/۰۲/۰۳        | ۲۴۵                   | ۳۲۹                                       | ۸/۳۲ | ۱۲/۳                  |
| ۱۳۸۹/۰۲/۱۹        | ۱۰۵                   | ۳۳۰                                       | ۸/۰۰ | ۱۲/۳                  |
| ۱۳۸۹/۰۳/۰۴        | ۵۶                    | ۳۲۷                                       | ۷/۳۴ | ۱۲/۵                  |
| ۱۳۸۹/۰۳/۲۰        | ۳۸                    | ۳۲۱                                       | ۷/۳۹ | ۱۲/۷                  |
| ۱۳۸۹/۰۴/۱۴        | ۱۸                    | ۳۲۰                                       | ۷/۸۲ | ۱۲/۸                  |
| ۱۳۸۹/۰۵/۲۶        | ۱۵/۵                  | ۳۲۹                                       | ۷/۹۲ | ۱۲/۶                  |
| ۱۳۸۹/۰۷/۰۱        | ۱۳/۶                  | ۳۲۹                                       | ۸/۱۵ | ۱۲/۲                  |
| ۱۳۸۹/۰۷/۲۹        | ۱۲/۵                  | ۳۲۹                                       | ۸/۴۱ | ۱۱/۸                  |
| ۱۳۸۹/۰۹/۰۷        | ۱۱                    | ۳۱۲                                       | ۸/۵۶ | ۱۱/۴                  |
| انحراف معیار      | ۹۳/۹۹                 | ۱۱/۶۷                                     | ۰/۳۶ | ۰/۴۶                  |
| میانگین           | ۹۲/۳۳                 | ۳۲۲/۳۶                                    | ۷/۹۴ | ۱۲/۳۴                 |
| ضریب تغییرات (%)  | ۱۰۱/۸۰                | ۳/۶۲                                      | ۴/۵۸ | ۳/۷۷                  |

#### ۴-۲- تغییرات زمانی آبدهی چشمه کارستی امام‌قیس

یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی چشمه‌های کارستی تغییرات زمانی آبدهی چشمه می‌باشد. این تغییرات همواره به عنوان معیاری مهم برای ارزیابی نوع جریان در آبخوان‌های کارستی تغذیه کننده چشمه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۴-۱) هیدروگراف چشمه امام‌قیس در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. براساس اطلاعات مندرج در جدول (۴-۱) ملاحظه می‌شود که ضریب تغییرات دبی چشمه بسیار بالا و برابر با ۱۰۱ درصد می‌باشد. ضریب تغییرات بسیار بالای دبی چشمه امام‌قیس بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبرگیر چشمه می‌باشد. شکل (۴-۲) هیدروگراف چشمه امام‌قیس همراه با بارندگی روزانه ایستگاه امام‌قیس را در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ نشان می‌دهد.

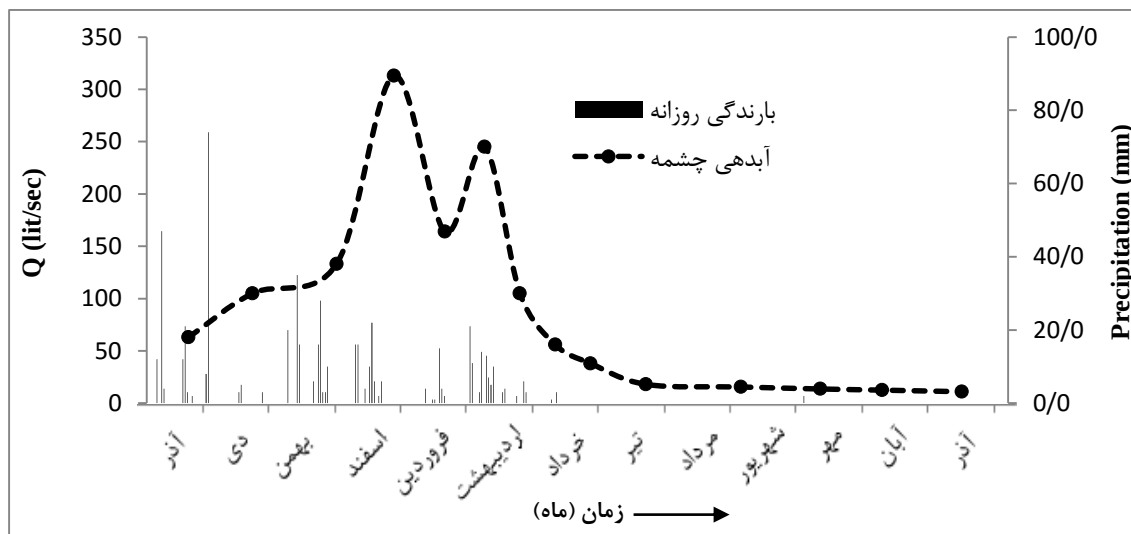
با عنایت به شکل (۴-۲) ملاحظه می‌شود که تغییرات زمانی دبی چشمه امام‌قیس به طور قابل توجهی تحت تاثیر بارندگی‌های موثر منطقه بوده است.



شکل ۴-۱- هیدروگراف چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

از آنجایی که بارندگی‌های آذرماه و بهمن‌ماه به صورت برف می‌باشد، اگرچه دبی چشمه به صورت تدریجی افزایش یافته است ولیکن دبی اوج مشخصی در هیدروگراف چشمه ظاهر نشده است. در اسفندماه ۱۳۸۸ با گرم شدن هوا و ذوب سریع‌تر برف‌ها و همچنین وقوع باران‌های متعدد، علاوه بر سهم آن‌ها در نفوذ، این باران‌ها با ظرفیت گرمایی بالایی که دارند باعث ذوب شدن برف‌های انباشته شده (Snowpacks) در حوضه آبرگیر چشمه می‌شوند و در نتیجه میزان نفوذ آب به داخل آبخوان کارستی به طور قابل توجهی زیاد می‌شود. از آنجایی که اختلاف ارتفاع بین سیستم ورودی و خروجی از این آبخوان نسبتاً زیاد و نیز فاصله مربوطه کوتاه است، شیب هیدرولیکی جریان بالا می‌باشد. بنابراین، با توجه به شیب هیدرولیکی بالا و وسعت نسبتاً کم حوضه آبرگیر، نفوذ قابل توجه آب در اسفندماه ۱۳۸۸ موجب می‌شود تا در مدت کوتاهی یعنی اواخر اسفندماه ۱۳۸۹ یک نقطه اوج بسیار مشخصی در هیدروگراف چشمه ظاهر شود که بیشترین دبی چشمه را در طول دوره مطالعه شامل می‌شود. با توجه به ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان کارستی (شیب هیدرولیکی بالا و وسعت نسبتاً کم حوضه آبرگیر)، دبی چشمه در مدت نسبتاً کوتاهی کاهش پیدا می‌کند.

وجود بارندگی‌های پراکنده و نسبتاً اندک اواخر فروردین‌ماه ۱۳۸۹ قادر به ایجاد یک دبی اوج مشخص



شکل ۴-۲- تغییرات آبدهی چشمه و بارندگی روزانه ایستگاه هواشناسی امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

در هیدروگراف چشمه نشده است و تنها منجر به جلوگیری از افت بیشتر آب در آبخوان کارستی شده است. بارندگی‌های قابل ملاحظه‌ای که در اواسط اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۹ به وقوع پیوسته است باعث افزایش مجدد آبدهی چشمه شده است. به این ترتیب که یک نقطه اوج مشخص دیگری در اواخر اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۹ در هیدروگراف چشمه ایجاد شده است. از این نقطه اوج به بعد دبی چشمه شروع به کاهش نموده است و بارندگی‌های اندک اوایل و اواخر خردادماه ۱۳۸۹، از روند کاهشی دبی چشمه امام‌قیس در شاخه نزولی جلوگیری نکرده‌اند. با عنایت به بازدیدهای صحرایی انجام شده، ملاحظه شد که عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته از قبیل فروچاله (Sinkhole) و چاه (Shaft) در منطقه وجود دارد و فضاهای انحلالی توسعه شدیدی در حوضه آبگیر پیدا کرده‌اند.

شکل (۳-۴) توسعه شدید فضاهای انحلالی در آهک‌های تشکیل دهنده حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر شیب هیدرولیکی بالا و وسعت نسبتاً کم حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس که قبلاً اشاره شد، یکی دیگر از دلایل مهم پاسخ سریع آبخوان کارستی امام‌قیس به جریان‌های ورودی، توسعه یافتگی بالای کارست در حوضه آبگیر چشمه می‌باشد. شکل (۴-۴) آثار زهکشی سریع را در حوضه آبگیر چشمه ناشی از توسعه شدید کارست نشان می‌دهد.

با توجه به هیدروگراف چشمه منحنی فرود (Recession curve) آن ترسیم شده است. همانطور که شکل (۵-۴) نشان می‌دهد دو شیب مختلف در منحنی فرود چشمه مشاهده می‌شود.



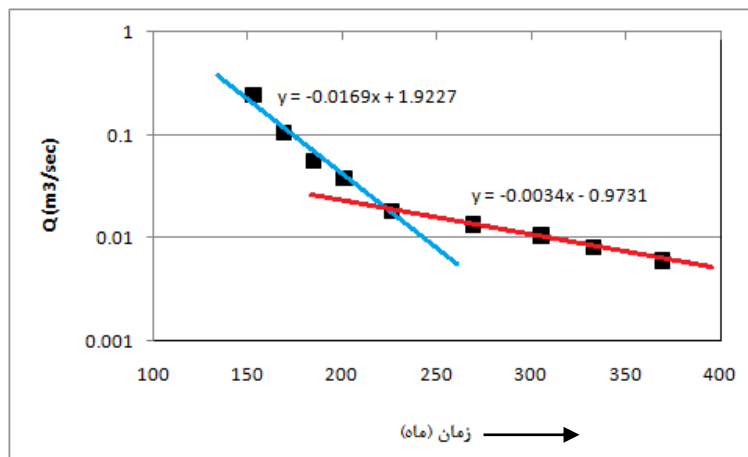
شکل ۴-۳- گسترش فضاهاى انحلالی در حوضه آبگیر چشمه امام قیس



شکل ۴-۴- آثار زهکشی سطحی سریع در حوضه آبگیر چشمه کارستی امام قیس

در بخش اول (شیب زیاد) قسمت عمده تخلیه چشمه از طریق مجاری انحلالی بزرگ و شکستگی‌های با بازشدگی زیاد (بزرگتر از یک سانتیمتر) انجام می شود. این قبیل مجاری ذخیره‌سازی نسبتاً کم ولی قابلیت انتقال بسیار بالایی را شامل می شوند. در بخش دوم منحنی فرود، تخلیه چشمه عمدتاً مربوط به آبی است که از خلل و فرج موجود در توده سنگ و همچنین از مجاری و شکستگی‌های با بازشدگی کم خارج می شود. این بخش بر خلاف بخش اول، دارای قابلیت انتقال اندک ولی ذخیره‌سازی نسبتاً

بالا می‌باشد. برای محاسبه ضرایب بده چشمه امام‌قیس، با توجه به شیب‌های مختلف منحنی فرود، از معادله (۱-۴) استفاده شده است.



شکل ۴-۵- منحنی فرود چشمه کارستی امام‌قیس در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹

$$\alpha = \frac{\log Q_{t_0} - \log_t}{0.4343(t_0 - t)} \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

که در آن  $\alpha$  ضریب بده چشمه،  $Q_{t_0}$  دبی چشمه در زمان  $t_0$  (زمان شروع فروکش) و  $Q_t$  دبی چشمه در زمان  $t$  از شروع فروکش می‌باشد. براساس محاسبات انجام شده، ضرایب بده در چشمه کارستی امام‌قیس در طول دوره فروکش به ترتیب برابر ۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۳۴ می‌باشد. به عبارت دیگر، نرخ فروکش در بخش اول منحنی فرود چشمه امام‌قیس حدود ۵ بار از نرخ فروکش در بخش دوم منحنی فرود بیشتر است.

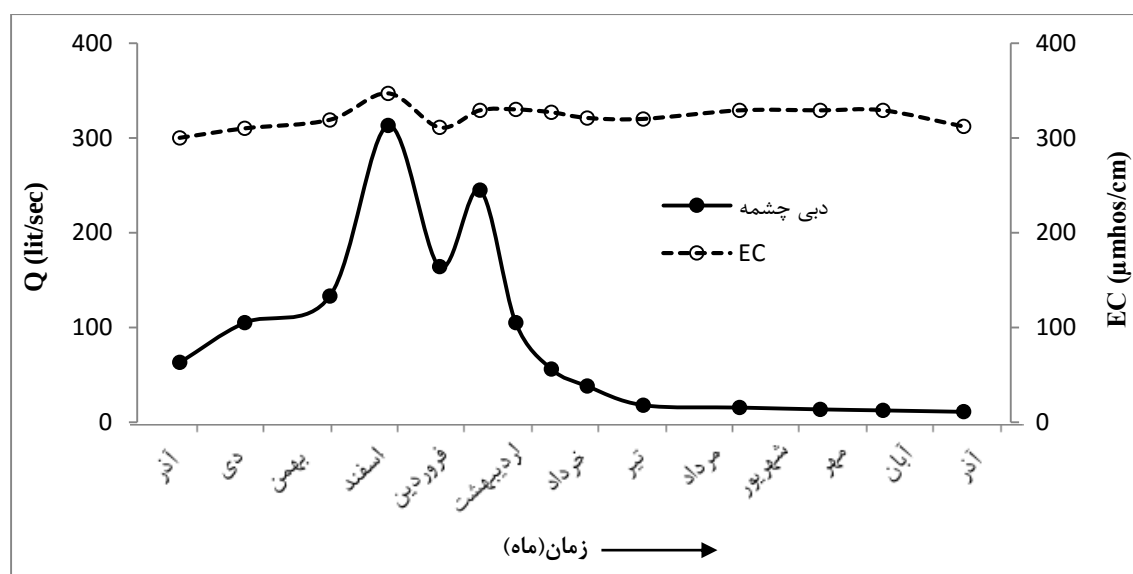
#### ۴-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه کارستی امام‌قیس

پارامتر هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی به دلیل اینکه رابطه مستقیمی با غلظت کل املاح محلول در آب دارد، از اهمیت بسیار زیادی در مطالعات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی برخوردار می‌باشد. این پارامتر مهم کیفی در چشمه‌های کارستی علاوه بر این که به طور قابل توجهی تحت تاثیر لیتولوژی حوضه آگیر کارستی و درجه توسعه یافتگی آبخوان کارستی می‌باشد، در بسیاری از آبخوان‌ها متأثر از تغییرات دبی چشمه نیز می‌باشد. تغییرات زمانی در چشمه‌های کارستی به خصوصیات سیستم کارستی مانند مساحت حوضه آگیر، درصد جریان مجرای و توسعه‌ی کارست

بستگی دارد. چشمه‌ها براساس زمان ماندگاری آب زیرزمینی در آبخوان به سه گروه تقسیم می‌شوند. اولین گروه چشمه‌هایی هستند که در آن هدایت الکتریکی با وجود تغییرات دبی چشمه همچنان ثابت باقی می‌ماند. شاید علت اصلی چنین رفتاری در این گروه از چشمه‌ها، وجود یک مخزن زیرزمینی بزرگ باشد که امکان اختلاط کامل آب‌های جدید ورودی به آبخوان با آب‌های قدیمی‌تر را به وجود می‌آورد. بنابراین با وجود تغییرات میزان آبدهی چشمه هدایت الکتریکی چشمه تغییرات چندانی نمی‌کند.

گروه دوم آنهایی هستند که در آن‌ها با افزایش دبی، هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد و به دلیل وجود سیستم جریان پیستونی در آبخوان‌های کارستی با توسعه یافتگی کم است.

گروه سوم چشمه‌ها رابطه‌ای معکوس میان تغییرات دبی و هدایت الکتریکی ویژه نشان می‌دهند که معمولاً آبخوان‌های کارستی توسعه یافته با مجاری انحلالی بزرگ را زهکشی می‌کنند. به دلیل وجود مجاری انحلالی بزرگ، سریعاً به بارندگی‌ها پاسخ گفته و باعث می‌شود تا همزمان با افزایش دبی هدایت الکتریکی در آن‌ها کاهش یابد. با توجه به مطالب ذکر شده، تغییرات زمانی هدایت الکتریکی همراه با تغییرات زمانی آبدهی چشمه در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود و نیز با عنایت به ضریب تغییرات ناچیز هدایت الکتریکی (جدول ۴-۱)، می‌توان نتیجه گرفت مقدار تغییرات سالانه این پارامتر نسبتاً ناچیز می‌باشد.

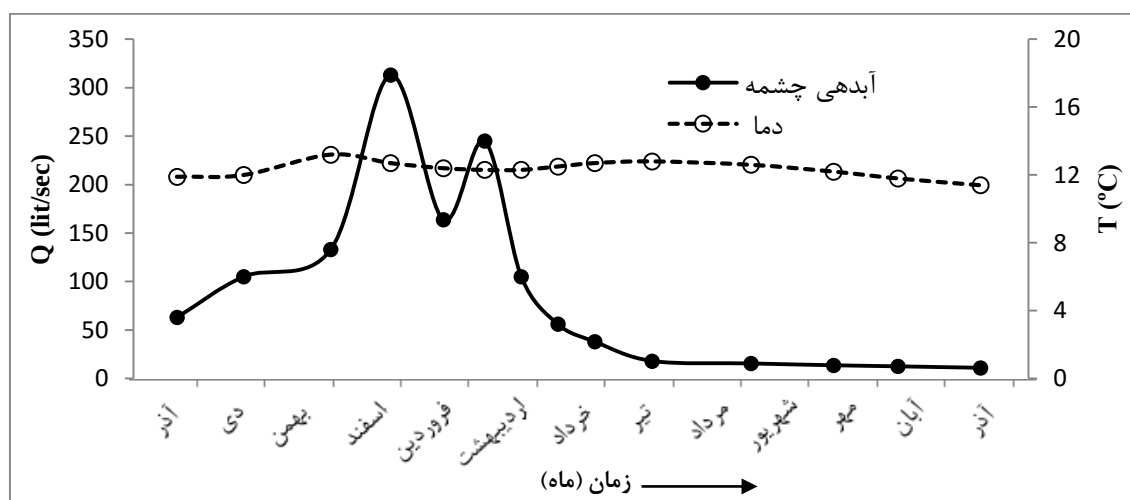


شکل ۴-۶- تغییرات زمانی آبدهی و هدایت الکتریکی چشمه کارستی امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

از دلایل مهم تغییرات نسبتاً ناچیز هدایت الکتریکی در چشمه کارستی امام‌قیس، می‌توان به کوچک بودن حوضه آبگیر چشمه، نقش مهم مجاری انحلالی و شکستگی‌ها در ذخیره‌سازی و انتقال آب در آبخوان کارستی امام‌قیس و احتمالاً لیتولوژی نسبتاً همگن آهک‌های تشکیل دهنده آبخوان اشاره نمود. در هر حال تغییرات اندک هدایت الکتریکی چشمه کارستی امام‌قیس را می‌توان به این صورت تفسیر نمود که با افزایش آبدهی چشمه به طور نسبتاً اندکی هدایت الکتریکی نیز افزایش یافته است. این افزایش به ویژه در دبی اوج چشمه به طور مشخص‌تری مشاهده می‌شود. علت افزایش نسبی هدایت الکتریکی چشمه به خاطر انحلال نمک‌های به جا مانده از تبخیر آب در خاک‌های موجود در محدوده اطراف فروچاله‌ها (Sinkholes) و همچنین نمک‌های باقیمانده از تبخیر آب در مواد هوازده موجود در ورودی درزه‌ها، شکستگی‌ها و فضاها انحلالی می‌باشد. در واقع این نمک‌ها در آب‌های نفوذی به داخل آبخوان حل شده و باعث افزایش نسبی هدایت الکتریکی آن‌ها می‌شوند.

#### ۴-۴- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چشمه امام‌قیس

تغییرات زمانی درجه حرارت آب، از خصوصیات فیزیکی مهم چشمه‌های کارستی برای ارزیابی نوع جریان غالب در آبخوان‌های کارستی می‌باشد (Jacobson and Langmuir 1974). تغییرات زمانی درجه حرارت چشمه‌های کارستی معمولاً با تغییرات زمانی دبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل (۴-۷) تغییرات زمانی درجه حرارت آب و دبی چشمه امام‌قیس را نشان می‌دهد.



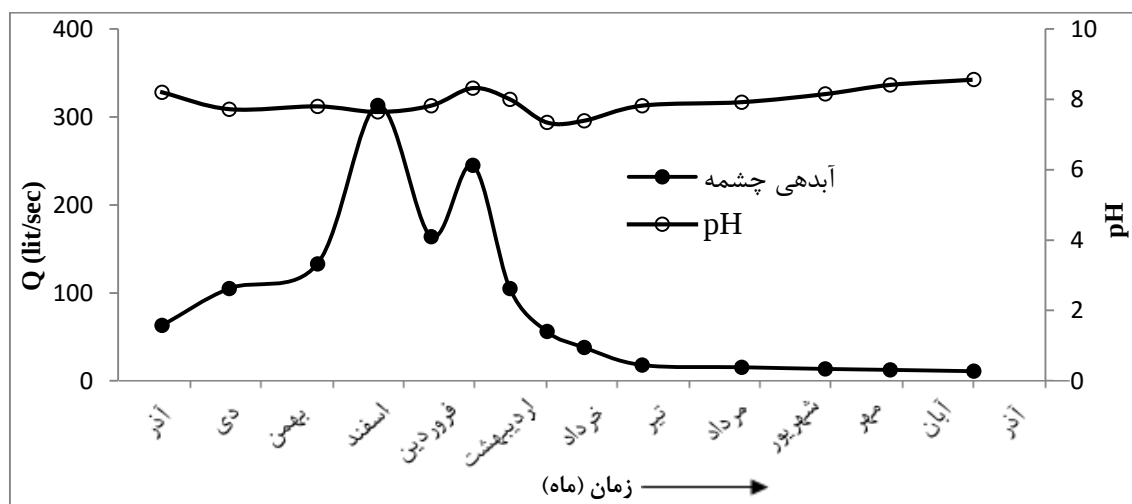
شکل ۴-۷- تغییرات زمانی درجه حرارت آب و دبی چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹



شکل ۴-۸- وجود استخر آب در محل خروجی چشمه امام قیس

#### ۴-۵- تغییرات زمانی $pH$ آب در چشمه امام قیس

$pH$  آب یکی دیگر از پارامترهایی است که در محل چشمه اندازه گیری می شود.  $pH$  در چشمه های کارستی معمولاً در محدوده قلیایی قرار می گیرد که دلیل آن بالا بودن نسبی غلظت یون بی کربنات در این آب ها می باشد. شکل (۴-۹) تغییرات زمانی  $pH$  و دبی چشمه امام قیس را نشان می دهد.



شکل ۴-۹- تغییرات زمانی  $pH$  و دبی چشمه کارستی امام قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

همانطور که ملاحظه می شود تغییرات زمانی  $pH$  در این چشمه نسبتاً کم می باشد و مقدار  $pH$  به طور متوسط حدود ۷/۹ می باشد. به هر حال تغییرات اندکی در مقادیر  $pH$  آب چشمه امام قیس

مشاهده می‌شود که احتمالاً این تغییرات اندک به دلیل کالیبره نبودن  $pH$  متر و نیز اندازه‌گیری این پارامتر در محل خروجی آب از آبخوان به خاطر وجود استخر آب در آن محل می‌باشد.

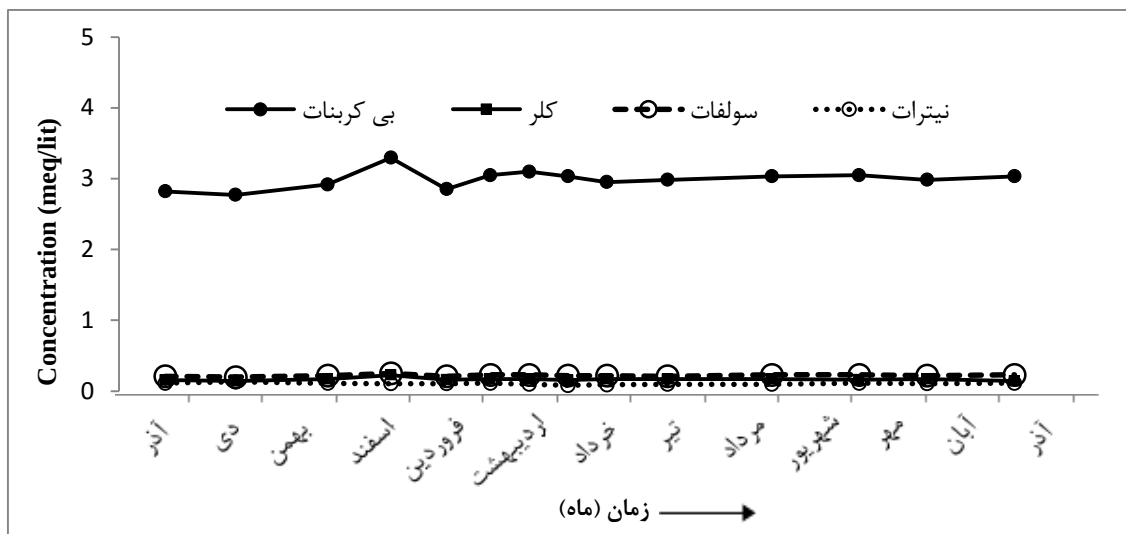
#### ۴-۶- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چشمه امام‌قیس

در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ تعداد ۱۴ بار از آب چشمه امام‌قیس نمونه‌برداری شده و برای تمام نمونه‌ها غلظت یون‌های اصلی و همچنین خطای آزمایش در جدول (۴-۲) ارائه شده است. با استفاده از نتایج مندرج در جدول مذکور، تغییرات زمانی آنیون‌های و کاتیون‌ها اصلی به ترتیب در شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) ترسیم شده‌اند.

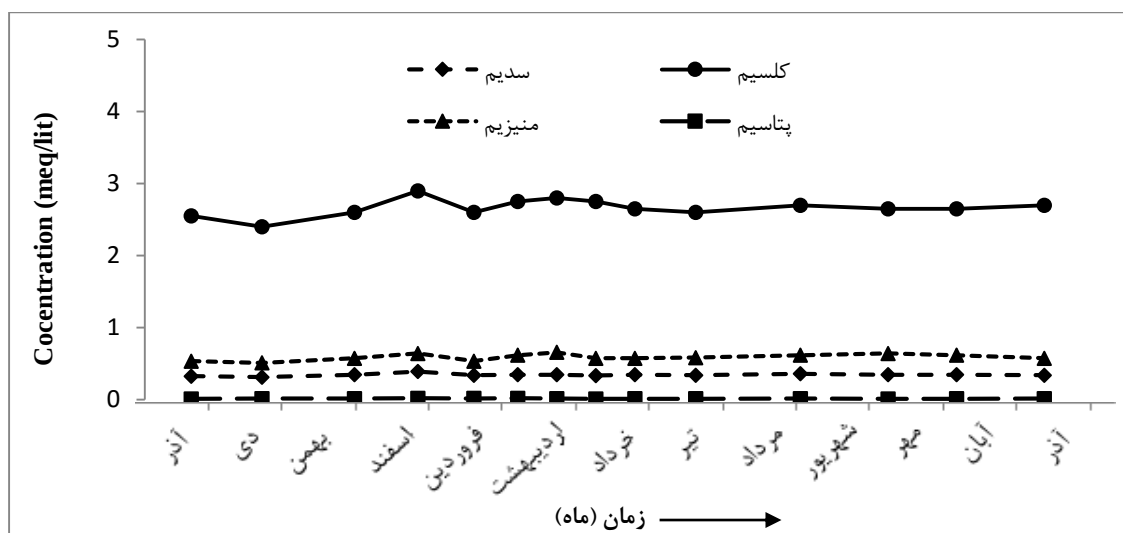
همانطور که در شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) قابل مشاهده است بیشترین تغییرات زمانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها به ترتیب مربوط به کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد که روند تغییرات زمانی آن‌ها کم و بیش با روند تغییرات هدایت الکتریکی همخوانی دارد. در هر حال، تغییرات زمانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها اندک و دلایل آن همان مواردی است که درباره تغییرات اندک هدایت الکتریکی چشمه ذکر گردید.

جدول ۴-۲- غلظت یون‌های اصلی در چشمه کارستی امام‌قیس از آذر ۱۳۸۸ تا آذر ۱۳۸۹

| خطای<br>آزمایش<br>(%) | آنیون‌ها (meq/lit)      |                 |               |                    |                  | کاتیون‌ها (meq/lit)      |              |               |                  |                  | تاریخ<br>اندازه‌گیری |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|---------------|------------------|------------------|----------------------|
|                       | $\Sigma \text{ Anions}$ | $\text{NO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{HCO}_3^-$ | $\Sigma \text{ Cations}$ | $\text{K}^+$ | $\text{Na}^+$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Ca}^{2+}$ |                      |
| ۰/۹۷                  | ۳/۲۹                    | ۰/۱۱            | ۰/۱۵          | ۰/۲۱               | ۲/۸۲             | ۳/۴۲                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۳          | ۰/۵۳             | ۲/۵۵             | ۱۳۸۸/۰۹/۱۹           |
| ۰/۰۷                  | ۳/۲۴                    | ۰/۱۳            | ۰/۱۴          | ۰/۲۰               | ۲/۷۷             | ۳/۲۳                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۱          | ۰/۵۱             | ۲/۴۰             | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸           |
| ۰/۸۶                  | ۳/۴۲                    | ۰/۱۱            | ۰/۱۷          | ۰/۲۲               | ۲/۹۲             | ۳/۵۴                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۵          | ۰/۵۸             | ۲/۶۰             | ۱۳۸۸/۱۱/۲۶           |
| ۱/۴۰                  | ۳/۸۶                    | ۰/۱۰            | ۰/۲۲          | ۰/۲۵               | ۳/۲۹             | ۳/۶۵                     | ۰/۰۲         | ۰/۳۹          | ۰/۶۴             | ۲/۹۰             | ۱۳۸۸/۱۲/۲۲           |
| ۱/۲۵                  | ۳/۳۲                    | ۰/۱۰            | ۰/۱۶          | ۰/۲۱               | ۲/۸۵             | ۳/۴۹                     | ۰/۰۲         | ۰/۳۴          | ۰/۵۳             | ۲/۶۰             | ۱۳۸۹/۰۱/۱۶           |
| ۱/۲۳                  | ۳/۵۶                    | ۰/۱۱            | ۰/۱۷          | ۰/۲۳               | ۳/۰۵             | ۳/۷۴                     | ۰/۰۲         | ۰/۳۵          | ۰/۶۲             | ۲/۷۵             | ۱۳۸۹/۰۲/۰۳           |
| ۱/۵۵                  | ۳/۶۰                    | ۰/۱۰            | ۰/۱۷          | ۰/۲۳               | ۳/۱۰             | ۳/۸۳                     | ۰/۰۲         | ۰/۳۵          | ۰/۶۶             | ۲/۸۰             | ۱۳۸۹/۰۲/۱۹           |
| ۱/۳۳                  | ۳/۴۸                    | ۰/۰۸            | ۰/۱۵          | ۰/۲۲               | ۳/۰۳             | ۳/۶۷                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۳          | ۰/۵۸             | ۲/۷۵             | ۱۳۸۹/۰۳/۰۴           |
| ۱/۱۴                  | ۳/۴۳                    | ۰/۰۹            | ۰/۱۷          | ۰/۲۲               | ۲/۹۵             | ۳/۵۹                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۵          | ۰/۵۸             | ۲/۶۵             | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰           |
| ۰/۵۷                  | ۳/۴۶                    | ۰/۱۰            | ۰/۱۷          | ۰/۲۱               | ۲/۹۸             | ۳/۵۴                     | ۰/۰۲         | ۰/۳۴          | ۰/۵۸             | ۲/۶۰             | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴           |
| ۱/۱۱                  | ۳/۵۳                    | ۰/۱۰            | ۰/۱۷          | ۰/۲۳               | ۳/۰۳             | ۳/۶۹                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۶          | ۰/۶۲             | ۲/۷۰             | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶           |
| ۰/۶۹                  | ۳/۵۵                    | ۰/۱۱            | ۰/۱۶          | ۰/۲۳               | ۳/۰۵             | ۳/۶۵                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۵          | ۰/۶۴             | ۲/۶۵             | ۱۳۸۹/۰۷/۰۱           |
| ۱/۱۳                  | ۳/۴۷                    | ۰/۱۰            | ۰/۱۷          | ۰/۲۲               | ۲/۹۸             | ۳/۶۳                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۵          | ۰/۶۲             | ۲/۶۵             | ۱۳۸۹/۰۷/۲۹           |
| ۰/۸۴                  | ۳/۵۱                    | ۰/۱۱            | ۰/۱۴          | ۰/۲۳               | ۳/۰۳             | ۳/۶۳                     | ۰/۰۱         | ۰/۳۴          | ۰/۵۸             | ۲/۷۰             | ۱۳۸۹/۰۹/۰۷           |
| ۰/۷۴۶                 | ۰/۱۵۲                   | ۰/۰۱۲           | ۰/۰۲۰         | ۰/۰۱۳              | ۰/۱۳۰            | ۰/۱۴۶                    | ۰/۰۰۳        | ۰/۰۱۷         | ۰/۰۴۴            | ۰/۱۲۰            | انحراف معیار         |
| ۰/۸۰۰                 | ۳/۴۸۰                   | ۰/۱۰۵           | ۰/۱۶۶         | ۰/۲۲۱              | ۲/۹۹۰            | ۳/۵۹۳                    | ۰/۰۱۴        | ۰/۳۴۵         | ۰/۵۹۰            | ۲/۶۶۴            | میانگین              |
| ۹۳/۴                  | ۴/۴                     | ۱۱/۵            | ۱۲/۰          | ۵/۹                | ۴/۴              | ۴/۱                      | ۲۳/۲         | ۵/۱           | ۷/۵              | ۴/۵              | ضریب تغییرات (%)     |



شکل ۴-۱۰- تغییرات زمانی غلظت آنیون‌های اصلی چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹



شکل ۴-۱۱- تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌های اصلی چشمه امام‌قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

#### ۴-۷- پارامترهای کیفی محاسبه شده برای چشمه امام‌قیس

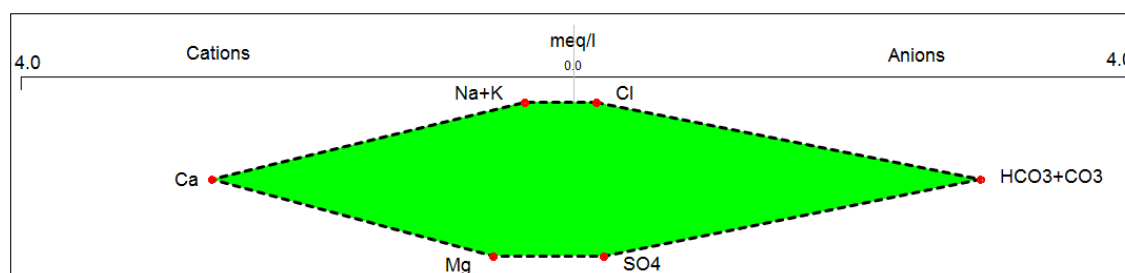
با عنایت به نتایج اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، مقادیر شاخص‌های اشباع (کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت)، سختی، نسبت  $Ca/Mg$ ، نسبت جذب سدیم و نسبت‌های یونی مختلف برای تمام نمونه‌ها محاسبه شده و نتایج در جدول (۴-۳) ارائه شده است. برخی از پارامترهای کیفی ارائه شده در جدول (۴-۳) مانند نسبت  $Ca/Mg$  و نیز شاخص‌های اشباع در تفسیر وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی اهمیت بسیار دارند.

جدول ۴-۳- پارامترهای کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های تهیه شده از چشمه از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

| $\frac{Cl}{\sum anions}$ | $\frac{Na}{\sum cations}$ | SAR   | $\frac{Ca}{Mg}$ | سختی<br>( $\frac{mg}{lit} CaCO_3$ ) | شاخص‌های اشباع |       |        |       | تاریخ اندازه‌گیری |
|--------------------------|---------------------------|-------|-----------------|-------------------------------------|----------------|-------|--------|-------|-------------------|
|                          |                           |       |                 |                                     | کلسیم          | سدیم  | کربنات | کلرید |                   |
| ۰/۰۴۷                    | ۰/۰۹۵                     | ۰/۲۶۳ | ۴/۷۷            | ۱۵۴                                 | -۸/۹۱          | -۲/۶۱ | ۰/۳۰   | ۰/۵۲  | ۱۳۸۸/۰۹/۱۹        |
| ۰/۰۴۵                    | ۰/۰۹۷                     | ۰/۲۶۰ | ۴/۷۰            | ۱۴۵                                 | -۸/۹۷          | -۲/۶۵ | -۰/۶۹  | ۰/۰۲  | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸        |
| ۰/۰۵۲                    | ۰/۰۹۸                     | ۰/۲۷۶ | ۴/۵۱            | ۱۵۸                                 | -۸/۸۵          | -۲/۵۹ | -۰/۳۶  | ۰/۱۷  | ۱۳۸۸/۱۱/۲۶        |
| ۰/۰۶۱                    | ۰/۰۹۹                     | ۰/۲۹۴ | ۴/۵۲            | ۱۷۶                                 | -۸/۶۸          | -۲/۵۰ | -۰/۵۲  | ۰/۰۹  | ۱۳۸۸/۱۲/۲۲        |
| ۰/۰۵۰                    | ۰/۰۹۷                     | ۰/۲۷۱ | ۴/۸۶            | ۱۵۶                                 | -۸/۷۳          | -۲/۶۱ | ۰/۴۰   | ۰/۱۷  | ۱۳۸۹/۰۱/۱۶        |
| ۰/۰۴۸                    | ۰/۰۹۳                     | ۰/۲۶۸ | ۴/۴۶            | ۱۶۸                                 | -۸/۸۵          | -۲/۵۶ | ۰/۷۰   | ۰/۷۰  | ۱۳۸۹/۰۲/۰۳        |
| ۰/۰۴۸                    | ۰/۰۹۱                     | ۰/۲۶۵ | ۴/۲۵            | ۱۷۲                                 | -۸/۸۵          | -۲/۵۵ | ۰/۱۲   | ۰/۴۰  | ۱۳۸۹/۰۲/۱۹        |
| ۰/۰۴۴                    | ۰/۰۸۷                     | ۰/۲۶۰ | ۴/۷۷            | ۱۷۲                                 | -۸/۹۰          | -۲/۵۷ | -۱/۲۵  | -۰/۲۶ | ۱۳۸۹/۰۳/۰۴        |
| ۰/۰۵۲                    | ۰/۰۹۷                     | ۰/۲۷۴ | ۴/۶۰            | ۱۶۱                                 | -۸/۸۵          | -۲/۵۸ | -۱/۱۷  | -۰/۲۳ | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰        |
| ۰/۰۵۰                    | ۰/۰۹۶                     | ۰/۲۶۹ | ۴/۴۵            | ۱۵۹                                 | -۸/۸۶          | -۲/۶۱ | -۰/۳۱  | ۰/۱۹  | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴        |
| ۰/۰۴۹                    | ۰/۰۹۸                     | ۰/۲۸۱ | ۴/۳۷            | ۱۶۵                                 | -۸/۸۳          | -۲/۵۶ | -۰/۰۸  | ۰/۳۱  | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶        |
| ۰/۰۴۶                    | ۰/۰۹۵                     | ۰/۲۷۱ | ۴/۱۳            | ۱۶۴                                 | -۸/۸۷          | -۲/۵۷ | ۰/۳۷   | ۰/۵۲  | ۱۳۸۹/۰۷/۰۱        |
| ۰/۰۴۹                    | ۰/۰۹۶                     | ۰/۲۷۲ | ۴/۲۹            | ۱۶۳                                 | -۸/۸۵          | -۲/۵۹ | ۰/۸۱   | ۰/۷۵  | ۱۳۸۹/۰۷/۲۹        |
| ۰/۰۴۴                    | ۰/۰۹۳                     | ۰/۲۶۵ | ۴/۶۹            | ۱۶۳                                 | -۸/۸۹          | -۲/۵۷ | ۱/۰۶   | ۰/۸۹  | ۱۳۸۹/۰۹/۰۷        |
| ۰/۰۰۴                    | ۰/۰۰۳                     | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۲            | ۸/۲۷                                | ۷/۱            | ۰/۰۳  | ۰/۷۰   | ۰/۳۵  | انحراف معیار      |
| ۰/۰۴۹                    | ۰/۰۹۵                     | ۰/۲۷۱ | ۴/۶۹            | ۱۶۳/۰۶                              | -۸/۸۴          | -۲/۵۸ | -۰/۱۰  | ۰/۳۰  | میانگین           |
| ۰/۰۸۹                    | ۳/۲                       | ۳/۳   | ۵/۰             | ۵/۰                                 | -۰/۸           | ۱/۳   | ۶۹۳    | ۱۱۵/۱ | ضریب تغییرات (%)  |

#### ۴-۸- ارزیابی تیپ آب در چشمه امام‌قیس

تیپ آب یا فرمول یونی آب بیانگر آنیون (به ویژه) و کاتیون غالب در آب می‌باشد. با عنایت به اینکه در تمام اندازه‌گیری‌های انجام شده آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشد، تیپ آب در چشمه کارستی امام‌قیس از نوع بی‌کربناته-کلسیک می‌باشد. به منظور بررسی دقیق‌تر تیپ آب و مقایسه یون‌های مختلف با یکدیگر، نمودار استیف (Stiff) برای میانگین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها تهیه شده است. شکل (۴-۱۲) نمودار استیف چشمه امام‌قیس را نشان می‌دهد.

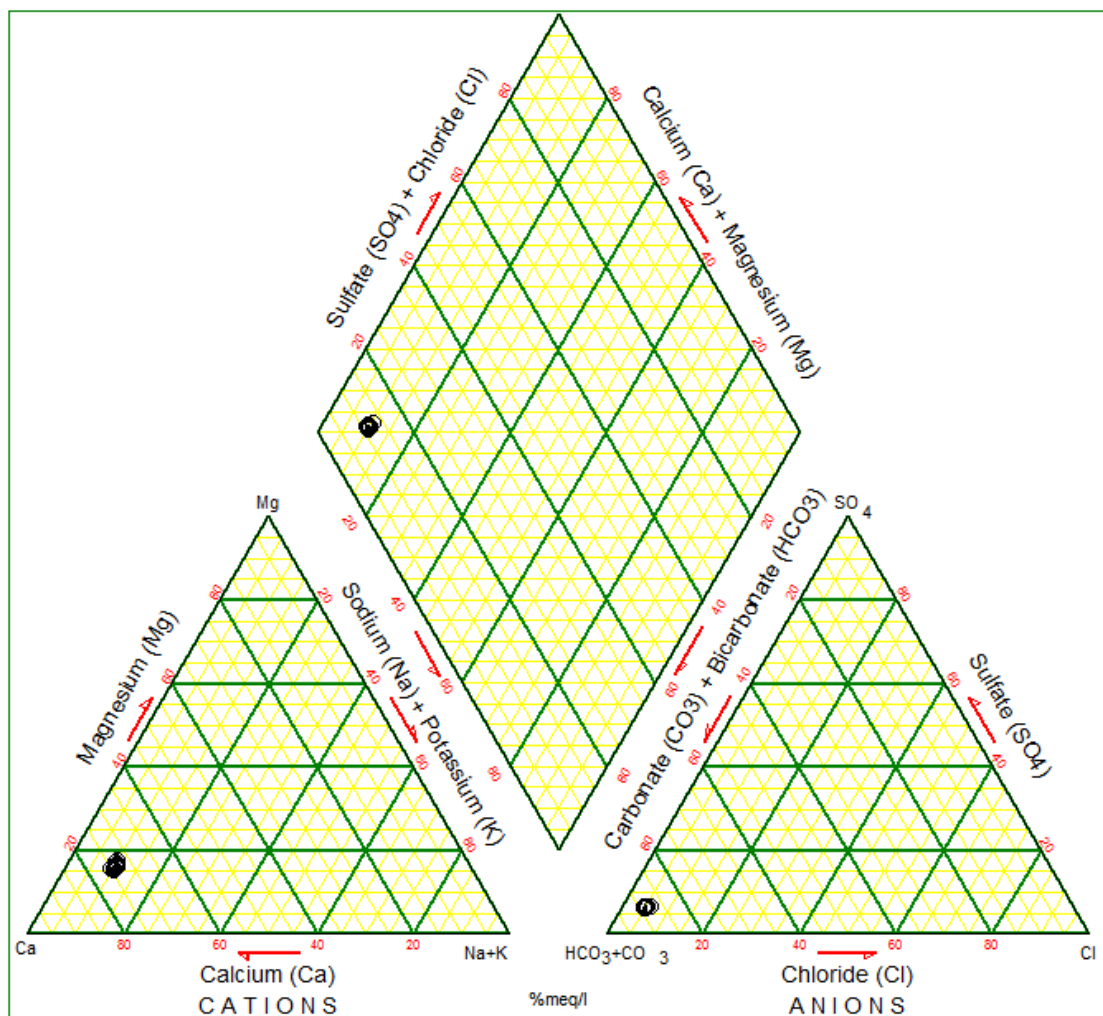


شکل ۴-۱۲- نمودار استیف مربوط به چشمه کارستی امام‌قیس

همانطور که در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است آنیون بی کربنات و کاتیون کلسیم به ترتیب به عنوان آنیون و کاتیون غالب در مقابل یکدیگر در نمودار استیف خودنمایی می کنند.

#### ۴-۹- ارزیابی زون های غالب کاتیونی و آنیونی در چشمه امام قیس

زون های غالب کاتیونی و آنیونی در حقیقت بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف یا اسیدهای قوی و همچنین غالب بودن عناصر قلیایی یا قلیایی خاکی می باشد. البته در بعضی از آب ها هیچ زون غالب کاتیونی و یا آنیونی ممکن است مشاهده نشود. به منظور ارزیابی زون های غالب کاتیونی و آنیونی از نمودار سه خطی پایپر (Piper) استفاده شده است. شکل (۴-۱۳) نمودار پایپر مربوط به نمونه های تهیه شده از چشمه امام قیس را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۳- نمودار پایپر مربوط به نمونه های تهیه شده از چشمه امام قیس از آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹

با توجه به شکل (۴-۱۳) مشاهده می‌شود که برای چشمه اسیدهای ضعیف (کربنات و بی‌کربنات)، حدود ۹۰ درصد و عناصر قلیایی خاکی (کلسیم و منیزیم) نیز حدود ۹۰ درصد از زون‌های آنیونی و کاتیونی را شامل می‌شوند. این چنین درصدی بالایی از اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی، معمولاً در پهنه‌های کارستی کربناته‌ای دیده می‌شود که دارای درجه خلوص بالایی باشند. یعنی جنس آهک‌های تشکیل دهنده آبخوان کارستی امام‌قیس در محدوده حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس از نوع آهک‌های با خلوص بالا می‌باشد.

## فصل پنجم: ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

### چاه‌های آب شرب شهرضا

#### ۵-۱- مقدمه

در راستای هدف اصلی این تحقیق که بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا می‌باشد، اندازه‌گیری تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ انجام شده است. نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چاه‌ها به تفصیل در این فصل ارائه و بررسی خواهند شد.

برای هر بار نمونه‌برداری از چاه‌های آب شرب شهرضا، می‌بایست هماهنگی‌های همه جانبه‌ای با اداره آب و فاضلاب مرکزی استان اصفهان و حراست این سازمان و همچنین اداره آب و فاضلاب شهری شهرستان شهرضا انجام می‌شد که یکی از مراحل دشوار و وقت‌گیر این مطالعه بوده است. مجموعاً هفت بار (همزمان با نمونه‌برداری از چشمه امام‌قیس و در یک روز) از چاه‌های مذکور نمونه‌برداری انجام شده است. از مجموع هفت چاه معمولاً دو چاه در هر نوبت نمونه‌برداری خاموش بوده و از آن‌ها نمونه‌برداری صورت نگرفته است. لازم به توضیح است چاه‌های شماره (۴) و (۶) آب شرب شهرضا در اکثر مواقع اندازه‌گیری و نمونه‌برداری خاموش بوده‌اند و به همین دلیل تعداد دفعات کمی از آن‌ها نمونه‌برداری شده و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. بنابراین از ارائه نتایج اندازه‌گیری مربوط به این دو چاه صرف نظر شده است. کلیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مربوط به چاه‌های (۱)، (۲)، (۳)، (۵) و (۷) آب شرب شهرضا به ترتیب در جداول (۵-۱)، (۵-۲)، (۵-۳)، (۵-۴) و (۵-۵) ارائه شده است.

جدول ۵-۱- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره (۱) آب شرب شهرضا

| ضریب تغییرات (%) | میانگین | انحراف معیار | تاریخ اندازه‌گیری |            |            |            |            |            | پارامتر                            |
|------------------|---------|--------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------------|
|                  |         |              | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶        | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴ | ۱۳۸۹/۰۲/۰۴ | ۱۳۸۹/۱۱/۲۷ | ۱۳۸۸/۱۰/۲۰ | ۱۳۸۸/۰۹/۱۹ |                                    |
| ۵/۹              | ۴۶۴     | ۲۷           | ۴۶۳               | ۴۴۰        | ۴۲۳        | ۴۷۷        | ۴۹۲        | ۴۸۷        | هدایت الکتریکی (μmhos/cm)          |
| ۱/۷              | ۷/۹۴    | ۰/۱۴         | ۷/۸۱              | ۷/۸۴       | ۸/۰۷       | ۸/۰۱       | ۷/۷۹       | ۸/۱۰       | pH                                 |
| ۳/۸              | ۱۲/۰    | ۰/۵          | ۱۲/۶              | ۱۲/۳       | ۱۱/۵       | ۱۱/۵       | ۱۲/۶       | ۱۱/۷       | درجه حرارت (°C)                    |
| ۲/۰              | ۳/۳۷    | ۰/۰۷         | ۳/۳۵              | ۳/۳۰       | ۳/۳۰       | ۳/۳۵       | ۳/۴۵       | ۳/۴۵       | Ca <sup>2+</sup>                   |
| ۴/۱              | ۱/۰۶    | ۰/۰۴         | ۱/۰۳              | ۱/۰۰       | ۱/۰۵       | ۱/۰۷       | ۱/۱۱       | ۱/۱۰       | Mg <sup>2+</sup>                   |
| ۴/۹              | ۰/۷۸۰   | ۰/۰۳۸        | ۰/۸۱              | ۰/۷۵       | ۰/۷۲       | ۰/۸۰       | ۰/۸۱       | ۰/۸۰       | Na <sup>+</sup>                    |
| ۴۶/۹             | ۰/۰۳۱   | ۰/۰۱۴        | ۰/۰۴۳             | ۰/۰۳۱      | ۰/۰۳۳      | ۰/۰۳۱      | ۰/۰۴۱      | ۰/۰۳۸      | K <sup>+</sup>                     |
| ۳/۲              | ۳/۲۷    | ۰/۱۰         | ۳/۲۳              | ۳/۱۵       | ۳/۱۶       | ۳/۳۱       | ۳/۳۹       | ۳/۳۶       | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      |
| ۳/۱              | ۱/۴۸۳   | ۰/۰۵         | ۱/۴۹              | ۱/۴۴       | ۱/۴۴       | ۱/۴۶       | ۱/۵۵       | ۱/۵۲       | Cl <sup>-</sup>                    |
| ۴/۵              | ۰/۱۵    | ۰/۰۱         | ۰/۱۷              | ۰/۱۴       | ۰/۱۴       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      |
| ۸/۱              | ۰/۰۱    | ۰/۰۱         | ۰/۱۳              | ۰/۱۲       | ۰/۱۵       | ۰/۱۳       | ۰/۱۲       | ۰/۱۳       | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>       |
| ۱۳/۴             | ۲/۹     | ۰/۴          | ۳/۳               | ۳/۴        | ۲/۶        | ۲/۵        | ۳/۰        | ۲/۶        | خطا (%)                            |
| ۲/۸              | ۳۶۷     | ۱۰/۴۳        | ۳۶۵/۱             | ۳۵۳/۸      | ۳۵۶/۵      | ۳۶۸/۷      | ۳۷۹/۷      | ۳۷۶/۶      | کل مواد جامد محلول (mg/lit)        |
| ۴/۲              | ۰/۵۳    | ۰/۰۲         | ۰/۵۵              | ۰/۵۱       | ۰/۴۹       | ۰/۵۴       | ۰/۵۴       | ۰/۵۳       | SAR                                |
| ۳۱/۲             | ۰/۵۳    | ۰/۰۲۱        | ۰/۰۰۲۴            | ۰/۰۰۲۲     | ۰/۰۰۱۳     | ۰/۰۰۱۶     | ۰/۰۰۲۷     | ۰/۰۰۱۳     | P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm)  |
| ۲/۴              | ۲۲۱     | ۵/۴          | ۲۱۸/۸             | ۲۱۴/۶      | ۲۱۷/۵      | ۲۲۰/۸      | ۲۲۷/۹      | ۲۲۷/۵      | سختی (mg / lit CaCO <sub>3</sub> ) |
| ۳/۲              | ۰/۱۵    | ۰/۰۰۵        | ۰/۱۶              | ۰/۱۵       | ۰/۱۴       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | Na/Σ cations                       |
| ۱/۰              | ۰/۳     | ۰/۰۰۳        | ۰/۳۰              | ۰/۳۰       | ۰/۲۹       | ۰/۲۹       | ۰/۳۰       | ۰/۲۹       | Cl/Σ anions                        |
| ۲/۷              | ۳/۱۸    | ۰/۰۹         | ۳/۳               | ۳/۳        | ۳/۱        | ۳/۱        | ۳/۱        | ۳/۱        | Ca/Mg                              |
| ۳۰/۴             | ۰/۴۲    | ۰/۱۳         | ۰/۳۰              | ۰/۳۱       | ۰/۵۲       | ۰/۴۸       | ۰/۳۱       | ۰/۵۹       | کلسیت                              |
| ۹۴/۳             | ۰/۲۷۵   | ۰/۲۶         | ۰/۰۳              | ۰/۰۴       | ۰/۴۸       | ۰/۴۱       | ۰/۰۷       | ۰/۶۲       | دولومیت                            |
| -۰/۸۶            | -۲/۷۰   | ۰/۰۲۳        | -۲/۶۸             | -۲/۷۳      | -۲/۷۳      | -۲/۷۱      | -۲/۶۸      | -۲/۶۹      | ژئیس                               |
| -۰/۴             | -۷/۵۶   | ۰/۰۳         | -۷/۵۵             | -۷/۵۹      | -۷/۶۱      | -۷/۵۶      | -۷/۵۳      | -۷/۵۴      | هالیت                              |

جدول ۵-۲- پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده چاه شماره (۲) آب شرب شهرضا

| پارامتر                            | تاریخ اندازه‌گیری             |            |            |            |            |            |            |            | انحراف معیار | میانگین | ضریب تغییرات (%) |
|------------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|---------|------------------|
|                                    | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸                    | ۱۳۸۸/۱۲/۳۱ | ۱۳۸۹/۰۲/۰۲ | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰ | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴ | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶ | ۱۳۸۹/۰۶/۰۹ | ۱۳۸۹/۰۷/۰۷ |              |         |                  |
| هدایت الکتریکی (μmhos/cm)          |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| pH                                 |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| درجه حرارت (°C)                    |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| غلظت کاتیون‌ها<br>(meq/lit)        | Ca <sup>2+</sup>              | ۳/۴۰       | ۳/۴۵       | ۳/۶۵       | ۳/۸۵       | ۳/۸۵       | ۰/۱۹       | ۳/۶۴       | ۳/۴۰         | ۵/۲     |                  |
|                                    | Mg <sup>2+</sup>              | ۱/۰۷       | ۱/۱۳       | ۱/۰۹       | ۱/۲۷       | ۱/۲۵       | ۰/۰۹       | ۱/۱۵       | ۷/۷          | ۷/۷     |                  |
|                                    | Na <sup>2+</sup>              | ۱/۰۰       | ۱/۰۶       | ۱/۰۴       | ۱/۱۹       | ۱/۳۱       | ۰/۱۲       | ۱/۱۱       | ۱۰/۷         | ۱۰/۷    |                  |
|                                    | K <sup>+</sup>                | ۰/۰۵       | ۰/۰۲۶      | ۰/۰۴۶      | ۰/۰۶       | ۰/۰۸۲      | ۰/۰۱۹      | ۰/۰۵۲      | ۳۷/۲         | ۳۷/۲    |                  |
| غلظت آنیون‌ها<br>(meq/lit)         | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | ۳/۳۳       | ۳/۴۱       | ۳/۵۴       | ۳/۷۰       | ۳/۷۹       | ۰/۱۷       | ۳/۵۵       | ۴/۹          | ۴/۹     |                  |
|                                    | Cl <sup>-</sup>               | ۱/۹۱       | ۱/۹۷       | ۲/۰۳       | ۲/۱۱       | ۲/۲۰       | ۰/۱۰       | ۲/۰۴       | ۴/۹          | ۴/۹     |                  |
|                                    | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | ۰/۱۵       | ۰/۱۶       | ۰/۱۶       | ۰/۱۸       | ۰/۲۰       | ۰/۰۲       | ۰/۱۷       | ۱۱/۲         | ۱۱/۲    |                  |
|                                    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | ۰/۱۳       | ۰/۱۴       | ۰/۱۴       | ۰/۱۳       | ۰/۱۲       | ۰/۰۰۸      | ۰/۱۳۲      | ۶/۲          | ۶/۲     |                  |
| خطا (%)                            |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| کل مواد جامد محلول (mg/lit)        |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| SAR                                |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm)  |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| سختی (mg / lit CaCO <sub>3</sub> ) |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| Na/Σ cations                       |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| Cl/Σ anions                        |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| Ca/Mg                              |                               |            |            |            |            |            |            |            |              |         |                  |
| ضرایب اشباع                        | کلسیت                         | ۰/۳۱       | ۰/۵۲       | ۰/۶۵       | ۰/۲۷       | ۰/۴۴       | ۰/۱۶       | ۰/۴۱       | ۳۹/۰         | ۳۹/۰    |                  |
|                                    | دولومیت                       | ۰/۰۷       | ۰/۵۲       | ۰/۷۴       | ۰/۰۲       | ۰/۳۷       | ۰/۳۲       | ۰/۲۸       | ۱۱۴/۴۵       | ۱۱۴/۴۵  |                  |
|                                    | ژپس                           | ۰/۷۰       | ۰/۶۷       | ۰/۶۷       | ۰/۶۷       | ۰/۵۹       | ۰/۰۵       | ۰/۶۴       | ۰/۰۸         | ۰/۰۸    |                  |
|                                    | هالیت                         | ۰/۳۵       | ۰/۳۱       | ۰/۳۱       | ۰/۳۱       | ۰/۲۴       | ۰/۰۶       | ۰/۲۸۳      | ۰/۰۸۵        | ۰/۰۸۵   |                  |

جدول ۵-۳- پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه شماره (۳) آب شرب شهرضا

| ضرب تغییرات (%) | میانگین | انحراف معیار | تاریخ اندازه گیری |            |            |            |            |            | پارامتر                            |                             |
|-----------------|---------|--------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------------|-----------------------------|
|                 |         |              | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶        | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴ | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰ | ۱۳۸۹/۰۲/۰۲ | ۱۳۸۸/۱۲/۲۱ | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸ |                                    |                             |
| ۳/۷             | ۴۴۲     | ۱۶/۶         | ۴۶۸               | ۴۵۲        | ۴۴۸        | ۴۳۵        | ۴۲۷        | ۴۲۵        | هدایت الکتریکی (μmhos/cm)          |                             |
| ۲/۰             | ۷/۸۳    | ۰/۱۶۱        | ۷/۷۹              | ۷/۶۳       | ۷/۷۰       | ۷/۹۸       | ۸/۰۵       | ۷/۸۶       | pH                                 |                             |
| ۴/۷             | ۱۵/۲    | ۰/۷۱         | ۱۶/۳              | ۱۵/۶       | ۱۵/۲       | ۱۴/۷       | ۱۴/۷       | ۱۴/۴       | درجه حرارت (°C)                    |                             |
| ۱/۳             | ۲/۹     | ۰/۰۳۸        | ۳/۰۰              | ۲/۹۵       | ۲/۹۵       | ۲/۹۰       | ۲/۹۵       | ۲/۹۰       | Ca <sup>2+</sup>                   | غلظت کاتیون ها<br>(meq/lit) |
| ۱/۸             | ۰/۰۸    | ۰/۰۲۰        | ۱/۰۷              | ۱/۰۹       | ۱/۱۱       | ۱/۰۹       | ۱/۰۹       | ۱/۰۵       | Mg <sup>2+</sup>                   |                             |
| ۴/۷             | ۰/۷۴    | ۰/۰۳۵        | ۰/۸۰              | ۰/۷۴       | ۰/۷۶       | ۰/۷۳       | ۰/۷۳       | ۰/۷۰       | Na <sup>+</sup>                    |                             |
| ۱۶/۹            | ۰/۰۳۴   | ۰/۰۰۶        | ۰/۰۴۳             | ۰/۰۳۳      | ۰/۰۳۸      | ۰/۰۲۸      | ۰/۰۳۱      | ۰/۰۳۱      | K <sup>+</sup>                     |                             |
| ۲/۵             | ۲/۸۸    | ۰/۰۷۲        | ۲/۹۸              | ۲/۹۲       | ۲/۹۲       | ۲/۸۷       | ۲/۸۲       | ۲/۷۹       | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | غلظت آنیون ها<br>(meq/lit)  |
| ۲/۵             | ۱/۴۷    | ۰/۰۳۷        | ۱/۵۲              | ۱/۴۸       | ۱/۴۹       | ۱/۴۶       | ۱/۴۶       | ۱/۴۱       | Cl <sup>-</sup>                    |                             |
| ¼               | ۰/۲۱    | ۰/۰۰۸        | ۰/۲۱۷             | ۰/۲۰۸      | ۰/۲۱۴      | ۰/۲۰۴      | ۰/۱۹۶      | ۰/۱۹۸      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      |                             |
| ۴/۷             | ۰/۱۳    | ۰/۰۰۶        | ۰/۱۲۷             | ۰/۱۲۱      | ۰/۱۲۹      | ۰/۱۳۷      | ۰/۱۳۷      | ۰/۱۲۹      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>       |                             |
| ۲۵/۲            | ۲/۱۷    | ۰/۵۵         | ۱/۷۳              | ۲/۵۵       | ۲/۴۳       | ۱/۲۸       | ۲/۳۵       | ۲/۶۸       | خطا (%)                            |                             |
| ۲/۳             | ۳۳۸/۰   | ۷/۹۱         | ۳۴۷/۵             | ۳۳۸/۶      | ۳۴۰/۸      | ۳۴۳/۳      | ۳۳۲/۱      | ۳۲۵/۷      | کل مواد جامد محلول (mg/lit)        |                             |
| ۴/۲             | ۰/۵۳    | ۰/۰۲۲        | ۰/۵۶              | ۰/۵۲       | ۰/۵۳       | ۰/۵۱       | ۰/۵۱       | ۰/۵۰       | SAR                                |                             |
| ۳۶/۶            | ۰/۰۰۲   | ۰/۰۰۱        | ۰/۰۰۲۵            | ۰/۰۰۳۴     | ۰/۰۰۲۹     | ۰/۰۰۱۵     | ۰/۰۰۱۳     | ۰/۰۰۱۹     | P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm)  |                             |
| ۱/۱             | ۲۰۱     | ۲/۲          | ۲۰۳               | ۲۰۲        | ۲۰۲        | ۱۹۹        | ۲۰۲        | ۱۹۷        | سختی (mg / lit CaCO <sub>3</sub> ) |                             |
| ۳/۰             | ۰/۱۵    | ۰/۰۰         | ۰/۱۶              | ۰/۱۵       | ۰/۱۶       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | ۰/۱۵       | Na/Σ cations                       |                             |
| ۰/۶             | ۰/۳۱    | ۰/۰۰         | ۰/۳۱              | ۰/۳۱       | ۰/۳۱       | ۰/۳۱       | ۰/۳۲       | ۰/۳۱       | Cl/Σ anions                        |                             |
| ۲/۰             | ۲/۷۱    | ۰/۰۶         | ۲/۸۰              | ۲/۶۹       | ۲/۶۶       | ۲/۶۷       | ۲/۷۱       | ۲/۷۵       | Ca/Mg                              |                             |
| ۵۶/۸            | ۰/۲۶    | ۰/۱۵         | ۰/۲۵              | ۰/۰۷       | ۰/۱۳       | ۰/۳۹       | ۰/۴۵       | ۰/۲۵       | کلسیت                              | ضرایب اشباع                 |
| ۳۷۰/۰           | ۰/۰۸    | ۰/۲۸         | ۰/۰۷              | -۰/۲۹      | -۰/۱۶      | ۰/۳۳       | ۰/۴۶       | ۰/۰۵       | دولومیت                            |                             |
| -۰/۷۰           | -۲/۶۰   | ۰/۰۱۸        | -۲/۵۹             | -۲/۶۱      | -۲/۵۹      | -۲/۶۲      | -۲/۶۳      | -۲/۶۳      | ژپیس                               |                             |
| -۰/۳۵           | -۷/۶۰   | ۰/۰۲۶        | -۷/۵۵             | -۷/۵۹      | -۷/۵۸      | -۷/۶۰      | -۷/۶۰      | -۷/۶۳      | هالیت                              |                             |

جدول ۴-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه شماره (۵) آب شرب شهرضا

| ضریب تغییرات (%) | میانگین | انحراف معیار | تاریخ اندازه گیری |            |            |            |            |            |            | پارامتر                                             |                             |
|------------------|---------|--------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
|                  |         |              | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶        | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴ | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰ | ۱۳۸۹/۰۲/۰۲ | ۱۳۸۸/۱۲/۲۱ | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸ | ۱۳۸۸/۰۹/۱۹ |                                                     |                             |
| ۲/۱              | ۴۲۹     | ۹/۰          | ۴۲۹               | ۴۳۵        | ۴۳۸        | ۴۳۶        | ۴۲۷        | ۴۲۳        | ۴۱۵        | هدایت الکتریکی (μmhos/cm)                           |                             |
| ۲/۲              | ۷/۸۸    | -۰/۱۷۳       | ۷/۶۴              | ۷/۸۴       | ۷/۷۴       | ۷/۹۲       | ۸/۰۹       | ۷/۸۲       | ۸/۱۱       | pH                                                  |                             |
| ۷/۱              | ۱۴/۳    | ۱/۰۱         | ۱۵/۰              | ۱۵/۱       | ۱۵/۶       | ۱۴/۲       | ۱۴/۳       | ۱۳/۶       | ۱۲/۶       | درجه حرارت (°C)                                     |                             |
| ۱/۱              | ۳/۳۷    | -۰/۰۴        | ۳/۳۰              | ۳/۳۵       | ۳/۴۰       | ۳/۴۰       | ۳/۳۵       | ۳/۳۷       | ۳/۴۰       | Ca <sup>2+</sup>                                    | غلظت کاتیون‌ها<br>(meq/lit) |
| ۲/۴              | ۱/۱۴    | -۰/۰۳        | ۱/۱۰              | ۱/۱۴       | ۱/۱۵       | ۱/۱۴       | ۱/۱۴       | ۱/۱۵       | ۱/۱۹       | Mg <sup>2+</sup>                                    |                             |
| ۱/۲              | -۰/۹۳   | -۰/۰۱        | -۰/۹۱             | -۰/۹۲      | -۰/۹۴      | -۰/۹۵      | -۰/۹۳      | -۰/۹۳      | -۰/۹۳      | Na <sup>+</sup>                                     |                             |
| ۱۰/۱             | -۰/۰۳۲  | -۰/۰۰۳       | -۰/۰۳۶            | -۰/۰۲۸     | -۰/۰۳۶     | -۰/۰۳۱     | -۰/۰۳۳     | -۰/۰۲۸     | -۰/۰۳۳     | K <sup>+</sup>                                      |                             |
| ۱/۳              | ۲/۹۶    | -۰/۰۴        | ۲/۹۳              | ۲/۹۸       | ۳/۰۳       | ۲/۹۸       | ۲/۹۳       | ۲/۹۲       | ۲/۹۵       | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                       | غلظت آنیون‌ها<br>(meq/lit)  |
| ۱/۴              | ۱/۹۳    | -۰/۰۳        | ۱/۹۳              | ۱/۹۴       | ۱/۹۷       | ۱/۹۴       | ۱/۹۲       | ۱/۸۹       | ۱/۹۱       | Cl <sup>-</sup>                                     |                             |
| ۲/۱              | -۰/۲۳۳  | -۰/۰۰        | -۰/۲۲۵            | -۰/۲۳۳     | -۰/۲۴۰     | -۰/۲۳۳     | -۰/۲۲۹     | -۰/۲۳۷     | -۰/۲۳۳     | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                       |                             |
| ۵/۱              | -۰/۱۳   | -۰/۰۰۶       | -۰/۱۲             | -۰/۱۳      | -۰/۱۳      | -۰/۱۴      | -۰/۱۳      | -۰/۱۲      | -۰/۱۲      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                        |                             |
| ۲۱/۳             | ۲/۹     | -۰/۰۶        | ۲/۷               | ۲/۲        | ۲/۵        | ۲/۷        | ۲/۶        | ۳/۹        | ۳/۵        | خطا (%)                                             |                             |
| ۱/۲              | ۳۷۲     | ۴/۳          | ۳۶۸               | ۳۷۳        | ۳۸۰        | ۳۷۵        | ۳۷۰        | ۳۶۸        | ۳۷۲        | کل مواد جامد محلول (mg/lit)                         |                             |
| -۰/۸             | -۰/۶۲   | -۰/۰۰۵       | -۰/۶۲             | -۰/۶۲      | -۰/۶۲      | -۰/۶۳      | -۰/۶۳      | -۰/۶۲      | -۰/۶۲      | SAR                                                 |                             |
| ۳۸/۴             | ۲/۱     | -۰/۸         | ۳/۳               | ۲/۲        | ۲/۸        | ۱/۸        | ۱/۲        | ۲/۲        | ۱/۰        | P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm) *10 <sup>-3</sup> |                             |
| ۱/۴              | ۲۲۵/۴   | ۳/۱          | ۲۲۰/۰             | ۲۲۴        | ۲۲۷        | ۲۲۷        | ۲۲۴        | ۲۲۶        | ۲۲۹        | سختی (mg / lit CaCO <sub>3</sub> )                  |                             |
| -۰/۷             | -۰/۱۷۰  | -۰/۰۰۱       | -۰/۱۷۱            | -۰/۱۷۰     | -۰/۱۷۰     | -۰/۱۷۲     | -۰/۱۷۱     | -۰/۱۷۰     | -۰/۱۶۸     | Na/Σ cations                                        |                             |
| -۰/۴             | -۰/۳۷   | -۰/۰۰۱       | -۰/۳۷۰            | -۰/۳۶۷     | -۰/۳۶۷     | -۰/۳۶۷     | -۰/۳۶۸     | -۰/۳۶۵     | -۰/۳۶۷     | Cl/Σ anions                                         |                             |
| ۱/۶              | ۲/۹۴    | -۰/۰۵        | ۲/۹۹              | ۲/۹۵       | ۲/۹۵       | ۲/۹۹       | ۲/۹۵       | ۲/۹۳       | ۲/۸۵       | Ca/Mg                                               |                             |
| ۴۶/۴۲            | -۰/۳۵   | -۰/۱۶        | -۰/۱۱             | -۰/۳۲      | -۰/۲۴      | -۰/۳۹      | -۰/۵۵      | -۰/۲۸      | -۰/۵۵      | کلسیت                                               | ضرایب اشباع                 |
| ۱۴۹/۹            | -۰/۲۱   | -۰/۳۲        | -۰/۲۶             | -۰/۱۷      | -۰/۰۲      | -۰/۲۹      | -۰/۶۱      | -۰/۰۵      | -۰/۶۰      | دولومیت                                             |                             |
| -۰/۴۶            | -۲/۵۲   | -۰/۰۱        | -۲/۵۴             | -۲/۵۲      | -۲/۵۱      | -۲/۵۲      | -۲/۵۳      | -۲/۵۱      | -۲/۵۱      | ژئپس                                                |                             |
| -۰/۱۱            | -۷/۳۸   | -۰/۰۱        | -۷/۳۹             | -۷/۳۸      | -۷/۳۷      | -۷/۳۷      | -۷/۳۸      | -۷/۳۹      | -۷/۳۸      | هالیت                                               |                             |

جدول ۵-۵- پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه شماره (۷) آب شرب شهرضا

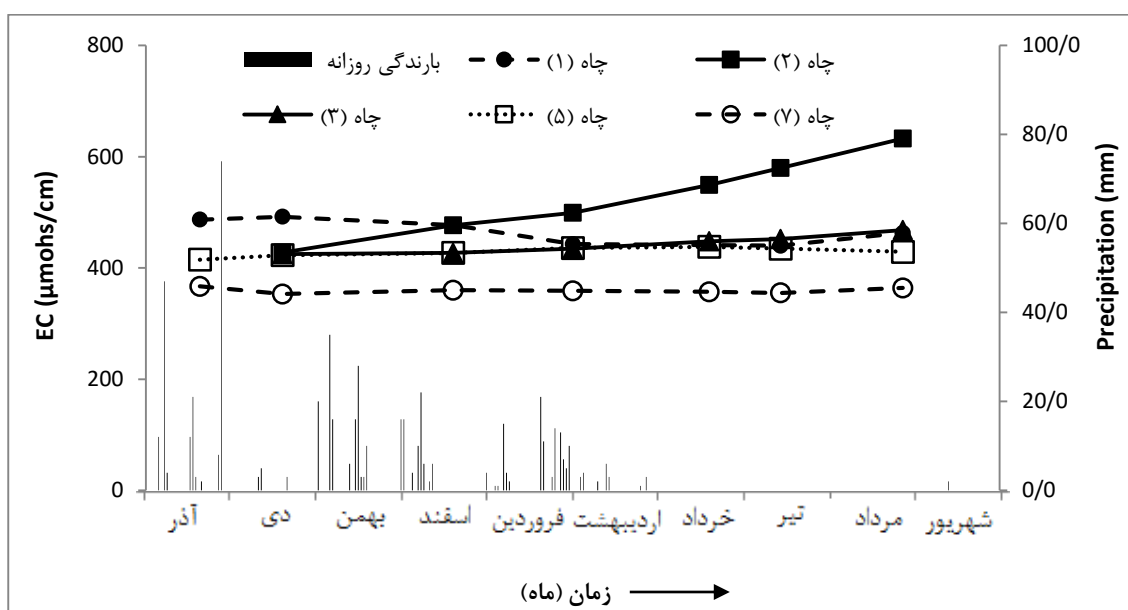
| پارامتر                            | تاریخ اندازه گیری             |            |            |            |            |            |            |       | انحراف معیار | میانگین | ضریب تغییرات (%) |
|------------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|--------------|---------|------------------|
|                                    | ۱۳۸۹/۰۵/۲۶                    | ۱۳۸۹/۰۴/۱۴ | ۱۳۸۹/۰۳/۲۰ | ۱۳۸۹/۰۲/۰۳ | ۱۳۸۸/۱۲/۲۱ | ۱۳۸۸/۱۰/۱۸ | ۱۳۸۸/۰۹/۱۹ |       |              |         |                  |
| هدایت الکتریکی (μmhos/cm)          | ۳۶۷                           | ۳۵۳        | ۳۶۰        | ۳۵۹        | ۳۵۷        | ۳۵۵        | ۳۶۴        | ۴/۹   | ۳۵۸/۵        | ۱/۴     |                  |
| pH                                 | ۸/۰۹                          | ۷/۸۴       | ۸/۰۵       | ۷/۹۵       | ۷/۷۱       | ۷/۹۲       | ۷/۶۶       | ۰/۱۶۲ | ۷/۸۸۹        | ۲/۱     |                  |
| درجه حرارت (°C)                    | ۱۴/۳                          | ۱۳/۹       | ۱۳/۶       | ۱۳/۸       | ۱۴/۴       | ۱۴/۰       | ۱۴/۲       | ۰/۲۹  | ۱۴/۰۳        | ۲/۰     |                  |
| غلظت کاتیون ها (meq/lit)           | Ca <sup>2+</sup>              | ۲/۹۵       | ۲/۹۵       | ۲/۹۵       | ۳/۰۰       | ۲/۹۰       | ۲/۹۵       | ۰/۰۳۴ | ۲/۹۶         | ۱/۲     |                  |
|                                    | Mg <sup>2+</sup>              | ۰/۸۵       | ۰/۸۲       | ۰/۸۴       | ۰/۸۸       | ۰/۸۶       | ۰/۷۷       | ۰/۰۳۶ | ۰/۸۳         | ۳/۴     |                  |
|                                    | Na <sup>+</sup>               | ۰/۶۲       | ۰/۶۰       | ۰/۶۱       | ۰/۶۱       | ۰/۵۹       | ۰/۵۹       | ۰/۰۲  | ۰/۵۹         | ۳/۴     |                  |
|                                    | K <sup>+</sup>                | ۰/۰۲۳      | ۰/۰۱۸      | ۰/۰۲۳      | ۰/۰۳۳      | ۰/۰۳۶      | ۰/۰۴۱      | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۳۱        | ۳۰/۴    |                  |
| غلظت آنیون ها (meq/lit)            | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | ۲/۸۲       | ۲/۸۰       | ۲/۸۲       | ۲/۷۹       | ۲/۷۵       | ۲/۷۲       | ۰/۰۳۷ | ۲/۷۹         | ۱/۳     |                  |
|                                    | Cl <sup>-</sup>               | ۱/۱۰       | ۱/۰۸       | ۱/۱۰       | ۱/۰۷       | ۱/۰۶       | ۱/۰۷       | ۰/۰۲  | ۱/۰۷         | ۲/۰     |                  |
|                                    | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | ۰/۱۸       | ۰/۱۷       | ۰/۱۸       | ۰/۱۸       | ۰/۱۸       | ۰/۱۸       | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۸         | ۵/۱     |                  |
|                                    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | ۰/۱۴       | ۰/۱۳       | ۰/۱۴       | ۰/۱۴       | ۰/۱۳       | ۰/۱۲       | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۳         | ۶/۴     |                  |
| خطا (%)                            |                               |            |            |            |            |            |            |       |              |         |                  |
| کل مواد جامد محلول (mg/lit)        | ۳۱۲                           | ۳۰۹        | ۳۱۲        | ۳۱۲        | ۳۰۸        | ۳۰۱        | ۳۱۰        | ۴/۱   | ۳۰۹/۲        | ۱/۳     |                  |
| SAR                                | ۰/۴۵                          | ۰/۴۳       | ۰/۴۴       | ۰/۴۴       | ۰/۴۳       | ۰/۴۱       | ۰/۴۳       | ۰/۰۱۲ | ۰/۴۳         | ۲/۹     |                  |
| P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm)  | ۰/۰۰۱                         | ۰/۰۰۲      | ۰/۰۰۱      | ۰/۰۰۲      | ۰/۰۰۳      | ۰/۰۰۲      | ۰/۰۰۳      | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۲        | ۳۵/۶    |                  |
| سختی (mg / lit CaCO <sub>3</sub> ) | ۱۸۹/۷                         | ۱۸۸/۵      | ۱۸۹/۰      | ۱۹۳/۹      | ۱۹۳/۱      | ۱۸۳/۵      | ۱۸۷/۷      | ۳/۴۶  | ۱۸۹/۳        | ۱/۸     |                  |
| Na/Σ cations                       | ۰/۱۳۹                         | ۰/۱۳۶      | ۰/۱۳۸      | ۰/۱۳۵      | ۰/۱۳۲      | ۰/۱۳۰      | ۰/۱۳۴      | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۳         | ۲/۳     |                  |
| Cl/Σ anions                        | ۰/۲۶                          | ۰/۲۶       | ۰/۲۶       | ۰/۲۷       | ۰/۲۶       | ۰/۲۶       | ۰/۲۵       | ۰/۰۰  | ۰/۲۶         | ۰/۷     |                  |
| Ca/Mg                              | ۳/۴۸                          | ۳/۵۸       | ۳/۵۱       | ۳/۴۱       | ۳/۴۷       | ۳/۷۵       | ۳/۶۶       | ۰/۱۲  | ۳/۵۵         | ۳/۳     |                  |
| ضرایب اشباع                        | کلسیت                         | ۰/۴۹       | ۰/۲۴       | ۰/۴۴       | ۰/۳۵       | ۰/۱۱       | ۰/۳۰       | ۰/۰۷  | ۰/۲۹         | ۵۵/۲    |                  |
|                                    | دولومیت                       | ۰/۴۳       | ۰/۱۰       | ۰/۳۱       | ۰/۱۴       | ۰/۳۴       | ۰/۰۱       | ۰/۴۵  | ۰/۳۲         | -       |                  |
|                                    | هالیت                         | -۷/۸۰      | -۷/۸۲      | -۷/۸۰      | -۷/۸۱      | -۷/۸۳      | -۷/۸۶      | -۷/۸۳ | -۷/۸۲        | -۷/۲۷   |                  |
|                                    | ژپس                           | -۲/۶۶      | -۲/۶۷      | -۲/۶۶      | -۲/۶۴      | -۲/۶۵      | -۲/۶۶      | -۲/۶۱ | -۲/۶۵        | -۲/۷۵   |                  |

## ۵-۲- ارزیابی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چاه‌های آب شرب

در این بخش نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ و نیز تغییرات زمانی آن‌ها به طور مفصل ارائه خواهد شد.

### ۵-۲-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن

هدایت الکتریکی یکی از مهمترین پارامترهای کیفی است که تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر عوامل درونی آبخوان مانند جنس و درجه خلوص واحدهای تشکیل دهنده آبخوان، زمان ماندگاری آب در آبخوان و همچنین تغییرات کمی و کیفی آب‌های تغذیه کننده آبخوان می‌باشد. شکل (۵-۱) نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی را در چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. جهت بررسی تاثیر بارندگی و تغذیه بر تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، مقادیر بارندگی روزانه در ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس نیز در نمودار مذکور ترسیم شده است.



شکل ۵-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹

انحراف معیار هدایت الکتریکی و ضریب تغییرات هدایت الکتریکی چاه شماره (۱) در مدت اندازه‌گیری به ترتیب حدود ۲۷/۳ میکروموس بر سانتی‌متر و ۵/۹ درصد می‌باشد که نشان دهنده تغییرات اندک هدایت الکتریکی در طول مدت اندازه‌گیری می‌باشد. میانگین هدایت الکتریکی این چاه ۴۶۴

میکروموس بر سانتی متر می باشد. همانطور که در شکل (۵-۱) مشخص است، هدایت الکتریکی در چاه شماره (۱) در فصل تر که آب های ناشی از ذوب برف و بارندگی به درون آبخوان تغذیه می شود کمتر بوده و پس از مدتی از گذشت فصل تر و در طول فصل خشک به مرور هدایت الکتریکی چاه افزایش می یابد که کاملاً طبیعی می باشد.

انحراف معیار هدایت الکتریکی و ضریب تغییرات آن برای چاه شماره (۲) در طول مدت اندازه گیری به ترتیب حدود  $74/3$  میکروموس بر سانتی متر و  $14/1$  درصد می باشد. میانگین هدایت الکتریکی این چاه  $528$  میکروموس بر سانتی متر می باشد. تغییرات هدایت الکتریکی در چاه شماره (۲) روند افزایشی با گذشت زمان و دور شدن از فصل تر نشان می دهد. روند افزایشی هدایت الکتریکی در زمان هایی که نزولات جوی به درون آبخوان تغذیه می شوند کندتر می باشد. تغییرات هدایت الکتریکی در این چاه نسبت به سایر چاه های مورد مطالعه در این تحقیق بیشتر است.

انحراف معیار و ضریب تغییرات هدایت الکتریکی برای چاه شماره (۳) در طول مدت اندازه گیری به ترتیب حدود  $16/6$  و  $3/7$  درصد می باشد. میانگین هدایت الکتریکی این چاه  $442$  میکروموس بر سانتی متر می باشد. روند تغییرات هدایت الکتریکی در چاه شماره (۳) در طول مدت اندازه گیری به صورت افزایشی است. اما این روند برای چاه (۳) بسیار کندتر از چاه (۲) است. در این چاه روند افزایش هدایت الکتریکی با فاصله گرفتن از فصل تر شدت بیشتری نشان می دهد.

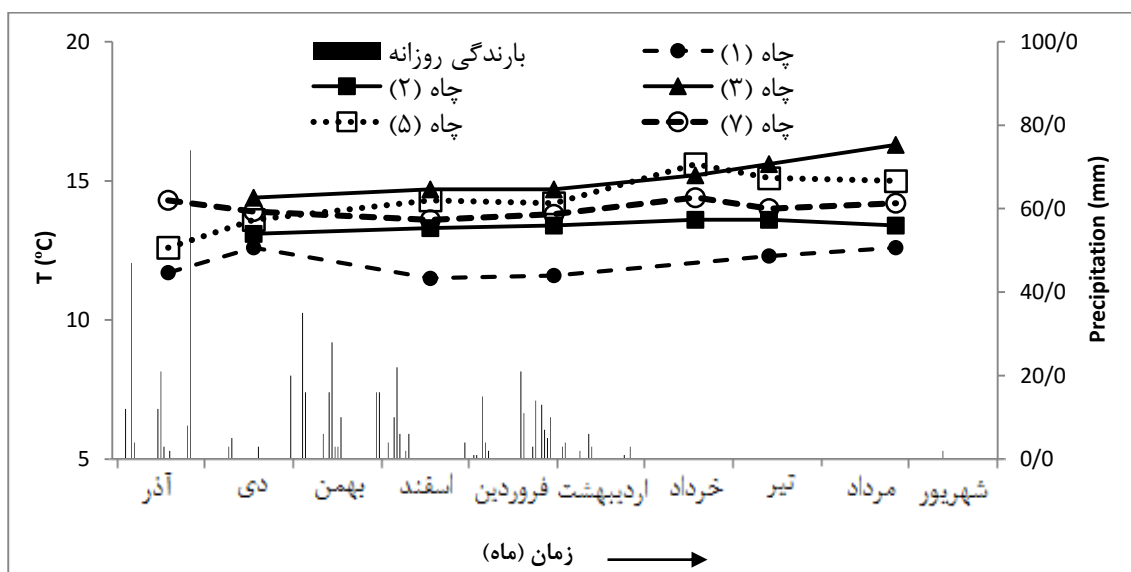
انحراف معیار و ضریب تغییرات هدایت الکتریکی برای چاه شماره (۵) در طول مدت اندازه گیری به ترتیب حدود  $9/0$  میکروموس بر سانتی متر و  $2/1$  درصد می باشد. میانگین هدایت الکتریکی در این چاه  $430$  میکروموس بر سانتی متر می باشد. تغییرات هدایت الکتریکی در چاه شماره (۵) در طول مدت اندازه گیری بسیار ناچیز می باشد و با فاصله گرفتن از فصل تر روند خاصی از خود نشان نمی دهد. انحراف معیار و ضریب تغییرات هدایت الکتریکی برای چاه شماره (۷) در طول مدت اندازه گیری به ترتیب حدود  $7/7$  میکروموس بر سانتی متر و  $2/4$  درصد می باشد. میانگین هدایت الکتریکی در این چاه  $322$  میکروموس بر سانتی متر می باشد. همانطور که در شکل (۱۸) مشخص است در این چاه تغییرات بسیار کمی در هدایت الکتریکی در طول دوره اندازه گیری مشاهده می شود. همچنین مقدار هدایت الکتریکی در این چاه کمتر از چاه های دیگر است.

به طور کلی می‌توان گفت روند تغییرات هدایت الکتریکی در هر چاه تا حدودی با چاه‌های دیگر متفاوت است. همچنین میزان تغییرات هدایت الکتریکی در هر چاه مقدار خاصی را نشان می‌دهد. به طور مثال چاه شماره (۲) در طول دوره مطالعه تغییرات بسیار شدیدی را در مقدار هدایت الکتریکی نشان می‌دهد. در حالی که چاه‌های (۵) و (۷) تغییرات بسیار ناچیزی را در مقدار هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. (با توجه به فاصله افقی کم چاه‌ها از یکدیگر که به طور میانگین کمتر از ۵۰۰ متر می‌باشند) رفتارهای بسیار متفاوت چاه‌ها از نظر تغییرات هدایت الکتریکی در طول دوره اندازه‌گیری بیانگر نقش لایه‌های مختلف کارستی در تأمین آبدی هر چاه می‌باشد. با عنایت به ناهمگنی آبخوان کارستی، اختلاف کیفیت آب در لایه‌های مختلف مورد انتظار است. علاوه بر این اختلاف در ضخامت لایه آبدار می‌تواند عامل مهمتری در تفسیر میزان تغییرات در هر چاه باشد. به این صورت که هر چه ضخامت لایه آبدار کمتر باشد تغییرات هدایت الکتریکی در آن بیشتر می‌باشد. بنابراین در چاه دو که ضخامت لایه آبدار بسیار بیشتر از سایر چاه‌ها است، تغییرات هدایت الکتریکی بیشتر می‌باشد.

#### ۵-۲-۲- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن

درجه حرارت آب نیز از پارامترهای مهم در مطالعات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی می‌باشد. همانطور که در فصل دوم بیان شد، میزان تغییرات درجه حرارت آب در یک آبخوان کارستی بستگی به میزان توسعه فرآیند کارستی شدن در آبخوان، عمق آبخوان و سیستم جریان غالب در آن بستگی دارد. همچنین میزان تغییرات زمانی دمای هوا نیز پارامتر بسیار مهمی در ارزیابی میزان تغییرات درجه حرارت آب در آبخوان‌های کارستی به شمار می‌رود. به طور مثال در آبخوان‌های عمیق و بزرگ که دارای حوضه آبریز بزرگی می‌باشند، میزان تغییرپذیری دمای آبخوان اندک می‌باشد و تحت تاثیر تغییرات دمای هوا در منطقه قرار نمی‌گیرند. همچنین آبخوان‌هایی که از نظر فرآیندهای کارستی توسعه یافته می‌باشند، تغییرات زمانی و مکانی زیادی در مقدار درجه حرارت آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهند. نقش گسل‌ها و مجاری انحلالی بزرگ در انتقال سریع آب‌های زیرزمینی در جهت قائم و افقی در آبخوان‌های کارستی نیز بر تغییرات درجه حرارت آب‌های کارستی موجود در آبخوان تاثیرگذار می‌باشند و سبب افزایش تغییرپذیری درجه حرارت آب در آبخوان در طول زمان می‌شوند.

شکل (۵-۲) تغییرات درجه حرارت آب چاه‌های آب شرب شهرضا را در طول دوره اندازه‌گیری نشان می‌دهد. جهت بررسی تاثیر فرآیند تغذیه بر تغییرات درجه حرارت آب در چاه‌ها در مدت اندازه‌گیری، بارندگی روزانه در ایستگاه هوا-اقلیم‌شناسی امام‌قیس نیز در این شکل ترسیم شده است. همانطور که شکل (۵-۲) نشان می‌دهد، تغییرات درجه حرارت آب نسبتاً اندک است. به این ترتیب که ضریب تغییرات این پارامتر در مجموع پنج چاه مورد مطالعه به طور متوسط حدود ۳/۹ درصد است. میانگین درجه حرارت آب چاه‌ها از حدود ۱۲/۰ درجه سانتی‌گراد (در چاه شماره یک) و حدود ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد (در چاه شماره سه) متغیر است. با توجه به نتایج ذکر شده ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری این پارامتر نسبتاً کم است و تغییرات اندکی که وجود دارد به زمان اندازه‌گیری درجه حرارت، ناهمگنی آبخوان و یا خطاهای اندازه‌گیری مربوط می‌شود.



شکل ۵-۲- تغییرات زمانی درجه حرارت آب در چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مرداد ۱۳۸۹

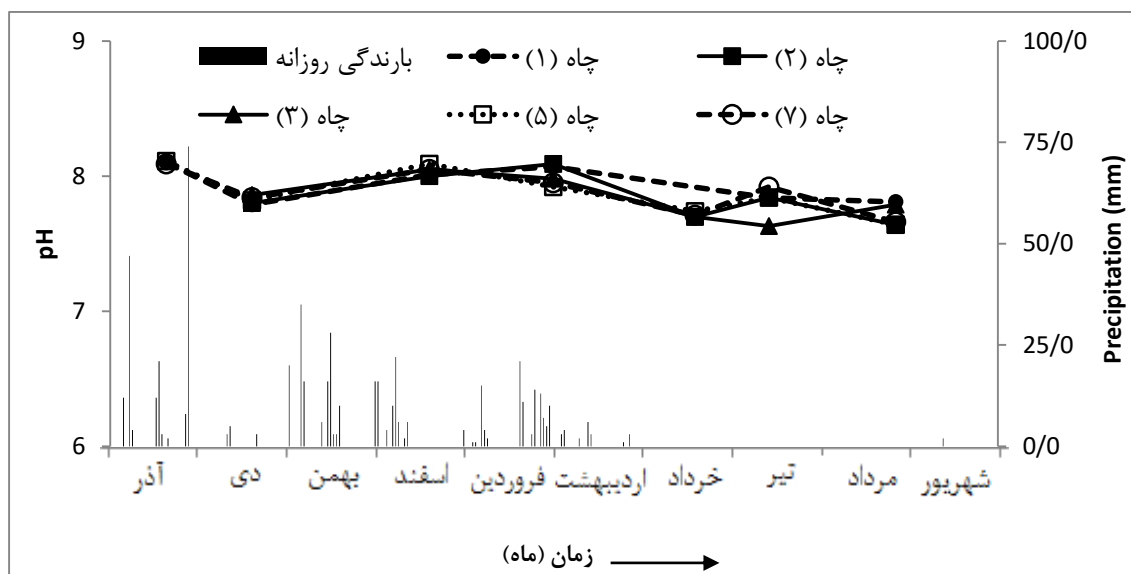
### ۵-۲-۳- تغییرات زمانی $pH$ چاه‌ها و تاثیر بارندگی روزانه بر آن

مقدار  $pH$  در آبخوان‌های کارستی معمولاً در محدوده قلیایی قرار می‌گیرد که دلیل آن بالا بودن نسبی غلظت یون بی‌کربنات در این آب‌ها می‌باشد. تغذیه به وسیله بارندگی‌های فصلی، بر  $pH$  آب در آبخوان‌های کارستی تاثیر می‌گذارد. در کارست‌های مرتفع کوهستانی فاقد پوشش خاک، آب‌های تغذیه شده به آبخوان از طریق این بارش‌ها، معمولاً نسبت به آب‌های قدیمی‌تر موجود در آبخوان،

دارای دی‌اکسیدکربن محلول بیشتری می‌باشند. زیرا در جریان انحلال کربنات‌ها در آبخوان کارستی، گاز دی‌اکسیدکربن محلول در آب مصرف شده و فشار این گاز در آبخوان افت می‌کند. به ویژه اگر در آبخوان کارستی از نظر تأمین دی‌اکسیدکربن شرایط بسته حاکم باشد و در تأمین آن برای انحلال کربنات‌ها در آبخوان محدودیت وجود داشته باشد. بنابراین انتظار می‌رود با ورود آب‌های جدید حاصل از بارندگی که حاوی دی‌اکسیدکربن محلول بیشتر به آبخوان،  $pH$  آب‌های موجود در آن کاهش یابد. علاوه بر تغییرات فشار گاز دی‌اکسیدکربن محلول در آب، عواملی وجود دارند که بر تغییرات  $pH$  آب تأثیر شدیدتری دارند. مثلاً تغییرات اندک در غلظت سولفات‌ها و کلریدهای محلول در آب‌های سبب افزایش یا کاهش غلظت اسیدهای بسیار قوی می‌شود که بر  $pH$  آب تأثیر قابل توجه‌تری دارند. در این بخش تغییرات زمانی  $pH$  و تأثیر بارندگی روزانه بر تغییرات آن در چاه‌های آب شرب شهرضا بررسی خواهد شد. شکل (۳-۵) تغییرات زمانی  $pH$  چاه‌های آب شرب شهرضا را در طول دوره اندازه‌گیری نشان می‌دهد. همچنین جهت بررسی میزان و نحوه تأثیر فرآیند تغذیه بر تغییرات  $pH$  در چاه‌ها در طول مدت اندازه‌گیری، بارندگی روزانه ایستگاه هواشناسی-اقلیم‌شناسی امام‌قیس نیز در این شکل ترسیم شده است. همانطور که شکل (۳-۵) نشان می‌دهد، تغییرات  $pH$  آب چاه‌ها در طول دوره اندازه‌گیری نسبتاً اندک است. به این ترتیب که ضریب تغییرات این پارامتر به طور متوسط حدود ۲/۰ درصد است. میانگین  $pH$  آب چشمه‌ها از حدود ۷/۸۴ (در چاه شماره سه) و حدود ۷/۹۰ درجه سانتی‌گراد (در چاه شماره هفت) متغیر است. ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری این پارامتر در چاه‌های مورد مطالعه نسبتاً کم است و تغییرات اندکی که وجود دارد به زمان اندازه‌گیری  $pH$ ، ناهمگنی آبخوان و یا خطاهای اندازه‌گیری مربوط می‌شود.

محدوده تغییرات  $pH$  برای تمامی چاه‌ها از ۷/۶۰ تا ۸/۲۰ در تغییر می‌باشد. در فصل تر تغییرات  $pH$  در چاه‌ها مشابه می‌باشد. اما با فاصله گرفتن از فصل تر و در هنگام فصل خشک که آب‌های جدید حاصل از بارندگی به آبخوان وارد نمی‌شود، روند تغییرات زمانی این پارامتر در چاه‌های مختلف متفاوت است.

اندازه‌گیری  $pH$  در محل نمونه‌برداری معمولاً به دلیل کالیبره نبودن دستگاه  $pH$  متر، خروج گاز دی‌اکسیدکربن محلول در آب (degassing) و عوامل دیگر با خطا همراه است.



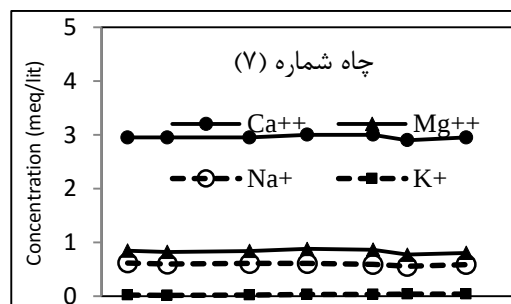
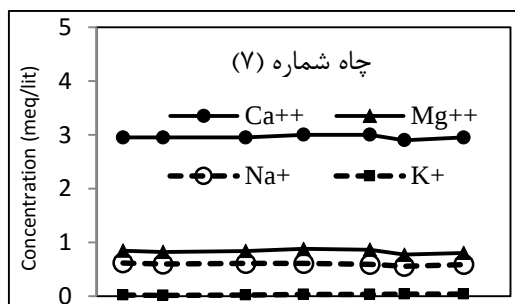
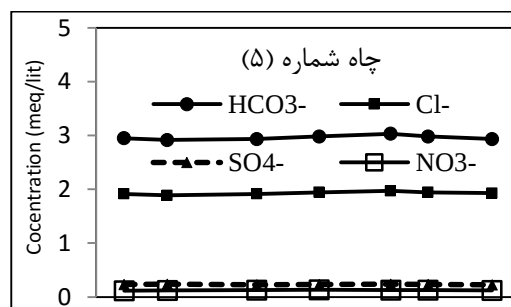
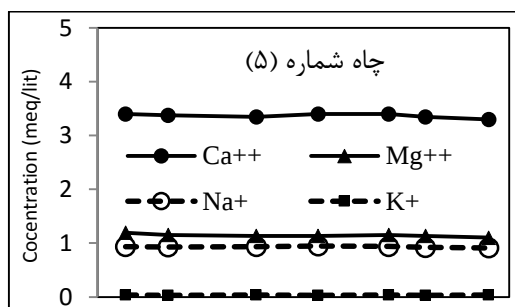
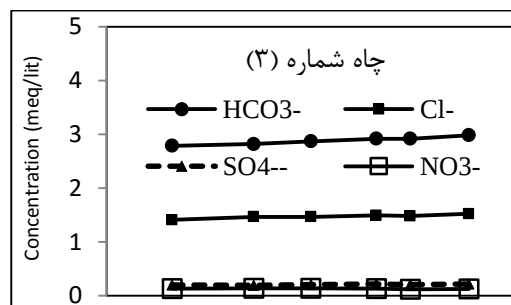
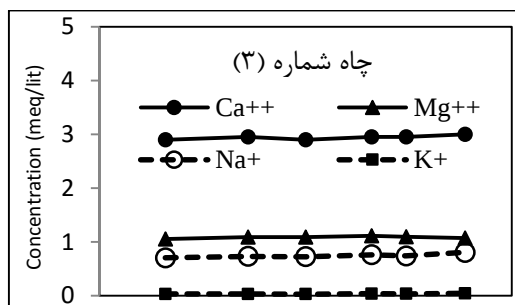
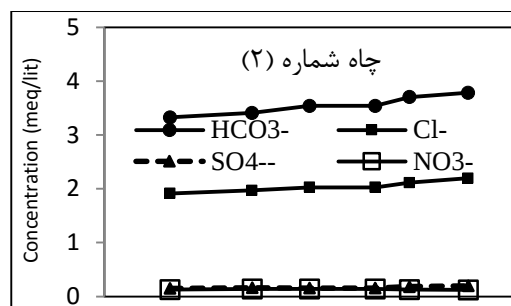
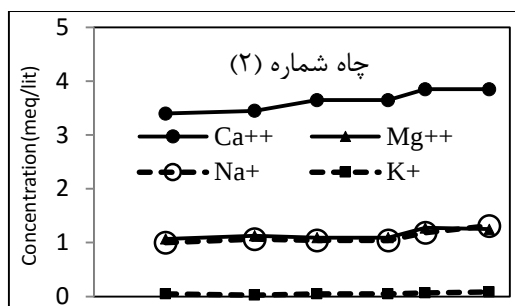
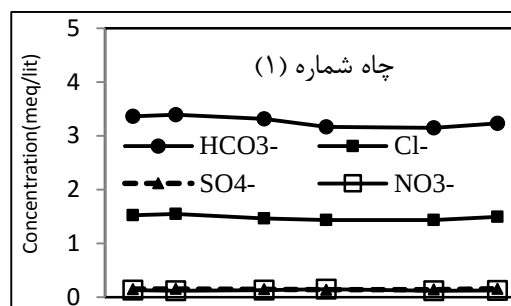
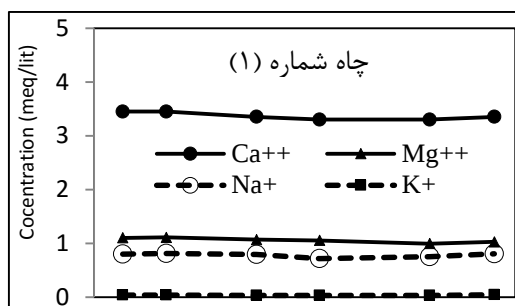
شکل ۳-۵- تغییرات زمانی  $pH$  آب در چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹

#### ۴-۲-۵- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چاه‌ها

شکل (۴-۵) تغییرات زمانی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های آب شرب شهرضا که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند، نشان می‌دهد. تغییرات بسیار ناچیزی در غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در طول دوره اندازه‌گیری مشاهده می‌شود. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در سر چاه (شکل ۵-۱) و روند تغییرات زمانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی اندازه‌گیری شده در این تحقیق اختلاف زیادی نشان نمی‌دهند. علت پایین بودن تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به یکسان بودن لیتولوژی آهک‌های منطقه و غالب بودن سیستم جریان افشان در این محدوده از آبخوان کارستی می‌باشد.

#### ۵-۲-۵- ارزیابی تیپ آب در چاه‌ها

تیپ آب یا فرمول یونی آب بیانگر آنیون (به ویژه) و کاتیون غالب در آب می‌باشد. به منظور ارزیابی تیپ آب‌ها معمولاً از نمودار استیف (Stiff) استفاده می‌شود. شکل (۵-۵) نمودار استیف چاه‌های کارستی آب شرب شهرضا را نشان می‌دهد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد برای تمام نمونه‌ها آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشد، بنابراین تیپ آب در تمامی چاه‌های آب شرب شهرضا بی‌کربنات کلسیم می‌باشد. لازم به ذکر است که نمودار استیف علاوه بر تعیین تیپ آب، الگوی

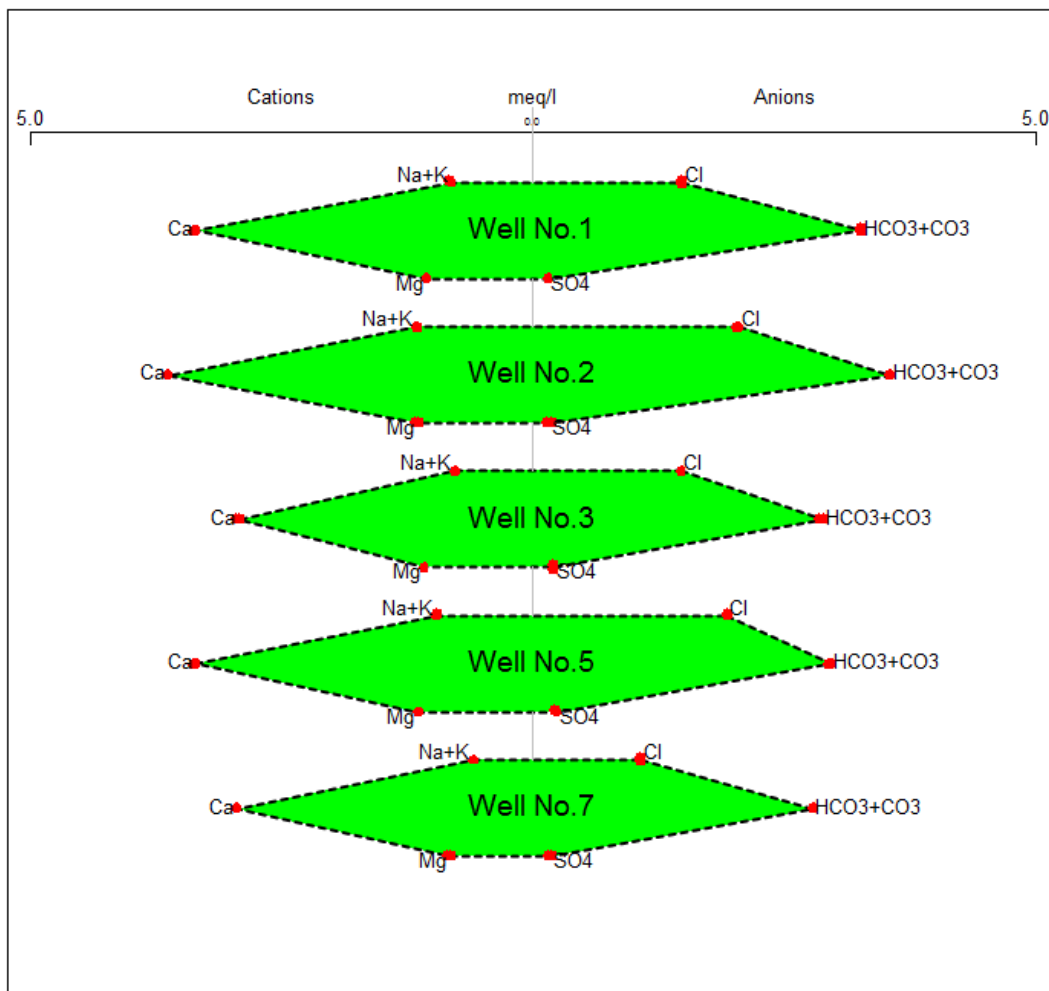


مردادماه ۱۳۸۹-آذرماه ۱۳۸۸

مردادماه ۱۳۸۹-آذرماه ۱۳۸۸

شکل ۴-۵- تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های آب شرب شهرضا از آذرماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹

نمودار یک بیان ترسیمی خوب از مقادیر یون‌های مختلف نسبت به هم ارائه می‌دهد که می‌تواند برای مشابه بودن یا عدم تشابه نمونه‌های آب مورد مطالعه به کار گرفته شود.



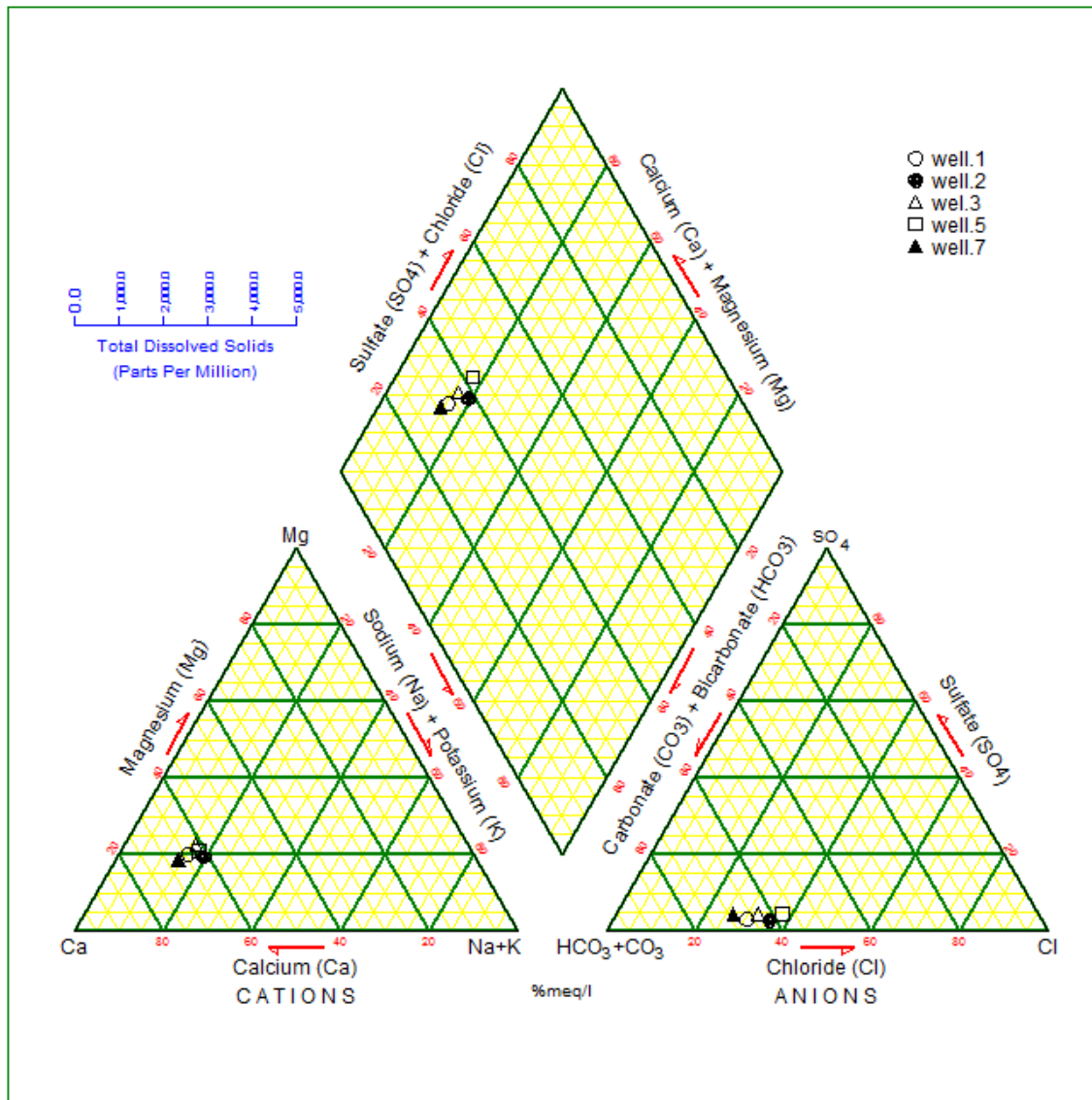
شکل ۵-۵- نمودار استیف برای نمونه‌های چاه‌های آب شرب شهرضا

## ۵-۲-۶- ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در چاه‌ها

زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در حقیقت بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف یا اسیدهای قوی و همچنین غالب بودن عناصر قلیایی یا قلیایی خاکی می‌باشد. البته در بعضی از آب‌ها هیچ زون غالب کاتیونی و یا آنیونی ممکن است مشاهده نشود. به منظور ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در چاه‌های آب شرب شهرضا از نمودار سه خطی پایپر (Piper) استفاده شده است.

شکل (۵-۶) نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های آب شرب شهرضا را نشان می‌دهد. نمونه‌ها دارای بی‌کربنات، منیزیم و کلسیم بالا و سولفات و سدیم پایین می‌باشند. همه نمونه‌ها در

گوشه چپ لوزی قرار دارند و حاکی از تیپ بی کربناته و بالا بودن غلظت قلیایی‌های دوزرفیتی کلسیم و منیزیم است که نشان دهنده سخت بودن آب‌ها می‌باشند.



شکل ۵-۶- نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب تهیه شده از چاه‌های آب شرب شهرضا

# فصل ششم: ارزیابی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا

## ۶-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، پرداخته خواهد شد. برای ارزیابی وجود و یا عدم وجود این ارتباط از سه معیار اصلی شامل ۱- وضعیت هیدروژئولوژیکی، ۲- هیدروژئوشیمیایی و ۳- ایزوتوپ‌های پایدار آب در حوضه آگیر چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا استفاده شده است.

## ۶-۲- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از خصوصیات هیدروژئولوژیکی

جهت ارزیابی ارتباط هیدرولیکی چشمه و چاه‌های مورد مطالعه براساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه، وضعیت ۱- زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی، ۲- توسعه کارست و ۳- بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بررسی شده است که نتایج آن در ادامه مطالب ارائه خواهد گردید.

## ۶-۲-۱- وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی

ارتفاعات و سطح اساس فرسایش در یک ناحیه، دو عامل مهم ژئومورفولوژیکی در تعیین موقعیت محل تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی می‌باشند. به طور کلی جهت غالب جریان آب زیرزمینی در مقیاس

ناحیه‌ای به وسیله این دو فاکتور ژئومورفولوژیکی تعیین می‌شود (White 1969). همچنین از دیدگاه تئوری جهت جریان آب زیرزمینی تحت تاثیر پارامترهای هیدرولیکی و شرایط مرزی تعیین می‌شود (Király 2002). وضعیت ژئومورفولوژیکی آبخوان کارستی امام‌قیس به شدت تحت تاثیر گسل‌های موجود در آن قرار دارد. بنابراین نقش گسل‌ها در مطالعه وضعیت هیدروژئولوژیکی این آبخوان دارای اهمیت بسیار می‌باشد. گسل‌های موجود در آبخوان کارستی امام‌قیس از نظر هیدروژئولوژیکی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

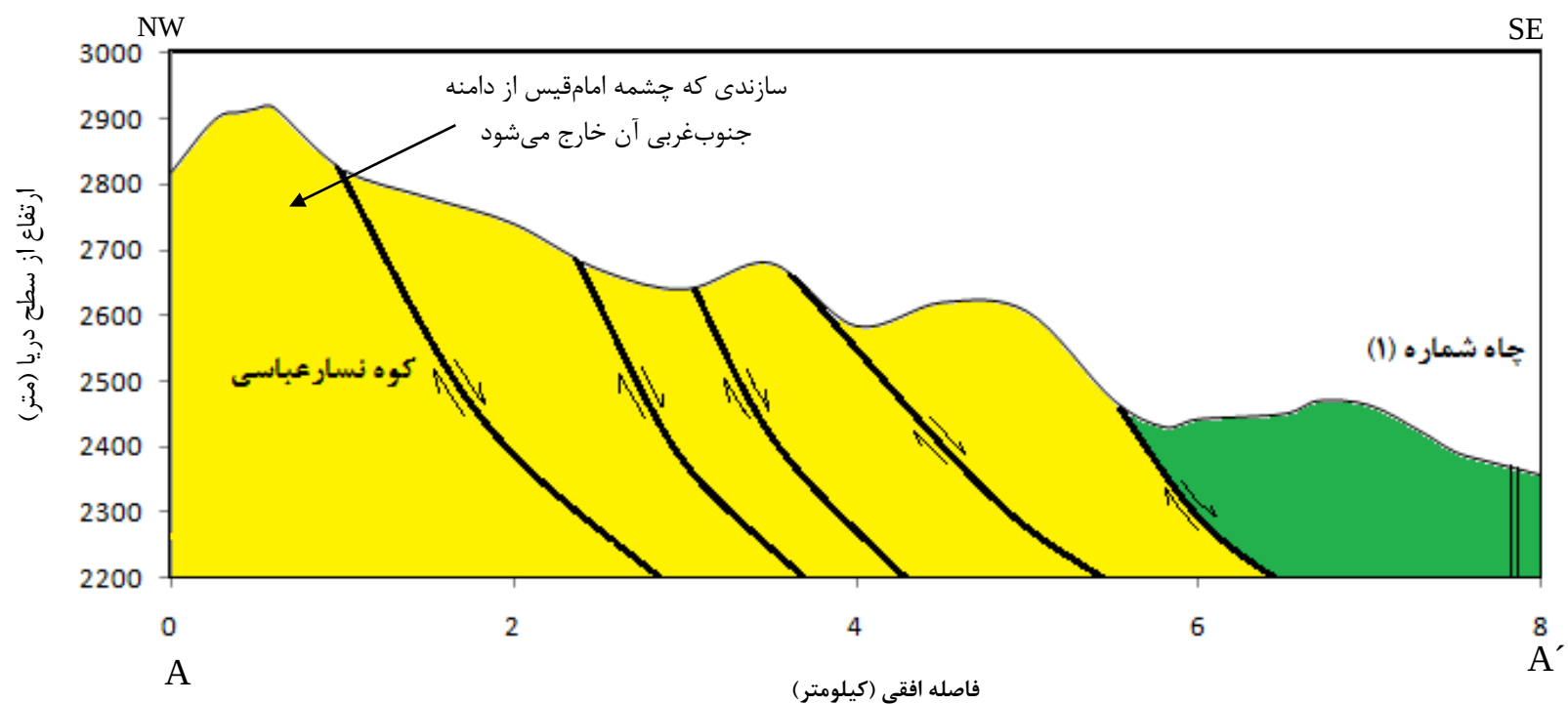
الف- گسل‌هایی که از نظر هیدروژئولوژیکی نفوذناپذیر می‌باشند: این دسته از گسل‌ها که امتدادشان به موازات امتداد آبخوان می‌باشد، بخشی از گسل اصلی زاگرس بوده و در اثر نیروهای فشارشی (حاصل از برخورد صفحه عربستان به صفحه ایران مرکزی) به وجود آمده‌اند. بنابراین سازوکاری مشابه با گسل اصلی زاگرس (گسل‌هایی معکوس و دارای شیب به سمت جنوب‌غرب) دارند. بر اثر نیروهای فشارشی، در امتداد آن‌ها لایه نفوذناپذیر تحت عنوان گوژ گسلی، تشکیل می‌شود. همچنین درزه‌ها و شکاف‌های موجود در نزدیکی آن‌ها در اثر انحلال فشاری از سیمان‌های ثانویه کلسیتی پر شده‌اند. بنابراین از نظر هیدروژئولوژیکی مانند سدی در مقابل جریان آب زیرزمینی عمل می‌کنند. گسل بزرگ واقع در خط الرأس کوه نسا‌رباسی که آبخوان کارستی امام‌قیس به وسیله آن به دو بخش دامنه شمال‌شرقی و دامنه جنوب‌غربی تقسیم شده است، جزء دسته گسل‌های نفوذناپذیر می‌باشد. فرو چاله‌های مشاهده شده در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس بر روی این گسل شکل گرفته و به سمت چشمه امام‌قیس امتداد یافته‌اند.

ب- گسل‌هایی که از نظر هیدروژئولوژیکی نفوذپذیر می‌باشند: این دسته از گسل‌ها دارای امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غرب می‌باشند و همزمان با گسل‌های دسته اول و در اثر نیروهای کششی موازی با امتداد اصلی آبخوان به وجود آمده‌اند. این گسل‌ها نرمال بوده و جابه‌جایی‌های راستگردی نیز دارند. در گسل‌های نرمال بین دیواره‌ها فاصله وجود دارد و خردشدگی زیادی در اطراف آن‌ها رخ می‌دهد. بنابراین در امتداد آن‌ها جریان آب‌های زیرزمینی با سرعت قابل توجهی انجام می‌شود. مثال بارز این دسته از گسل‌ها در منطقه، گسلی است که نه تنها باعث جدایش ارتفاعات نسا‌رباسی و لران از یکدیگر شده، بلکه باعث جابه‌جایی راستگرد این ارتفاعات نسبت به یکدیگر نیز شده است.

در آبخوان امام‌قیس با توجه به موقعیت چشمه امام‌قیس و فروچاله‌های مشاهده شده در خط الرأس کوه نسا‌رباسی که شیب واضحی به سمت چشمه دارند و نیز رفتار چشمه کارستی امام‌قیس (جریان غالب مجرای) ارتباط این فروچاله‌ها و چشمه امام‌قیس کاملاً واضح است. بنابراین تصور می‌شود مجاری کارستی در امتداد محل تقاطع گسل‌های نرمال و لایه‌بندی‌ها در دامنه جنوبی که شرایط مناسب‌تری جهت توسعه کارست وجود داشته است، شکل گرفته‌اند. محدوده‌ای از آبخوان که در آن چاه‌های آب شرب شهرضا قرار دارد، به وسیله یک گسل نرمال در محدوده گردنه اژدهایی از محدوده حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس در کوه نسا‌رباسی جدا شده‌اند. وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی آبخوان کارستی امام‌قیس در شکل (۶-۱) ترسیم گردیده است. با توجه به این شکل وجود ارتباط هیدرولیکی میان حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا بعید به نظر می‌رسد زیرا جریان آب‌های کارستی در محدوده آبخوان به سمت فروافتادگی‌ها (که به دلیل عملکرد گسل‌های نرمال در محدوده آن‌ها هدایت هیدرولیکی آبخوان بسیار بیشتر از نواحی اطراف است) هدایت می‌گردد. بنابراین در محدوده گردنه اژدهایی وجود یک مرز تقسیم آب زیرزمینی باعث جدایش ارتباط هیدرولیکی میان محدوده چاه‌های آب شرب شهرضا و حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس می‌گردد.

#### ۶-۲-۲- وضعیت توسعه کارست

در طی بازدیدهای صحرایی انجام شده در این تحقیق، تفاوت‌های آشکاری از نظر توسعه فرآیندهای کارستی در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس و محدوده‌ی چاه‌ها در آبخوان امام‌قیس مشاهده شد. به عنوان مثال در حوضه آبگیر چشمه و در خط الرأس کوه نسا‌رباسی فروچاله‌هایی کاملاً توسعه یافته و نیز چاه‌های کارستی عمیق مشاهده می‌شود. در حالیکه در محدوده‌ی چاه‌های آب شرب آثاری از اشکال کارستی مذکور مشاهده نمی‌شود. همچنین بازشدگی انحلالی کارن‌ها در محدوده‌ی حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس بسیار بیشتر از محدوده‌ی چاه‌ها می‌باشد. وجود اشکال کارستی توسعه یافته در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس نشان دهنده‌ی توسعه بیشتر کارست‌ها در این بخش از آبخوان، نسبت به محدوده چاه‌های آب شرب می‌باشد. از عوامل مهم ایجادکننده اختلاف در میزان توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه و محدوده چاه‌ها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:



❖ شیب لایه ها به سمت جنوب غرب می باشد.

واحدهای رسوبی مشاهده شده در این نیمرخ بر اساس سن شامل:

آهک های ضخیم لایه



آهک های نازک لایه با میان لایه های دولومیتی، شیل و مارن



شکل ۶-۱- نیمرخ زمین شناسی در امتداد NW-SE در محدوده آبخوان کارستی امام قیس

۱- سنگ‌شناسی: آهک‌های کارستی حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس نسبت به آهک‌های موجود در محدوده چاه‌ها درجه خلوص بالاتری داشته‌اند.

۲- لایه‌های نفوذناپذیر: در محدوده چاه‌ها وجود میان‌لایه‌های شیل و مارن سبب محدود شدن عمق چرخش آب‌های زیرزمینی و توسعه فرآیندهای کارستی در محدوده چاه‌ها شده است. اما در محدوده حوضه آبگیر چشمه میان‌لایه‌های مذکور به نسبت کمتری وجود دارند.

۳- عملکرد گسل‌ها: گسل‌های موازی با گسل اصلی زاگرس سبب کاهش ارتباط هیدرولیکی دامنه‌های جنوب‌غربی و شمال‌شرقی کوه نسا‌عباسی شده‌اند و توسعه کارست در این دو بخش به صورت متفاوتی انجام شده است. ارتباط هیدرولیکی دو بخش مذکور آبخوان، به گسل‌های نرمال و عمود بر امتداد گسل اصلی زاگرس محدود شده است.

۴- شیب توپوگرافی: در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس شیب توپوگرافی کمتری نسبت به محدوده‌ای از آبخوان که چاه‌ها در آن قرار دارند، وجود دارد. شیب توپوگرافی کمتر، سبب افزایش نفوذ نزولات جوی به درون آبخوان می‌شود. نفوذ بیشتر سبب انحلال بیشتر در حوضه آبگیر چشمه شده است.

شکل (۶-۲) نیم‌رخ ساختمانی کوه نسا‌عباسی را نشان می‌دهد. در این شکل توسعه شدید کارست و دامنه جنوب‌غربی (محدوده حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس) و نیز توسعه اندک فرآیندهای توسعه کارست در بخش شمال‌شرقی به عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، لیتولوژی ارتباط داده شده است. علاوه بر شواهد صحرایی، نتایج بررسی هیدروژئوشیمیایی نیز توسعه کمتر کارست در محدوده چاه‌ها را نسبت به حوضه آبگیر چشمه تایید می‌کند.

### ۳-۲-۶- بیان هیدروژئولوژیکی

در این بخش نحوه تعیین تقریبی مساحت و مرزهای هیدروژئولوژیکی حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس (با استفاده از روش بیان هیدروژئولوژیکی معکوس) ارائه خواهد شد. حوضه آبگیر زیرزمینی، مخزن بزرگ آب زیرزمینی است که به وسیله‌ی مرزهای هیدروژئولوژیکی در درجات کم و یا زیاد از مخزن‌های آب زیرزمینی مجاور خود جدا شده است. تعیین دقیق حوضه آبگیر و مرزهای هیدروژئولوژیکی آن، از دشوارترین بخش‌های مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های

کارستی می‌باشد (Bonacci and Zivaljevic, 1993). اما همواره تعیین تقریبی حوضه آبرگیر چشمه‌ها با توجه به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها می‌تواند راهگشای بسیاری از مسائل مطرح در مدیریت منابع آب و حوضه‌های آبرگیر باشد. مساحت و وضعیت هندسی حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی در زمان‌های مختلف با توجه به تغییر شرایط تغذیه و تخلیه در محدوده حوضه آبرگیر تغییر می‌کند (Ford and Williams, 2007).

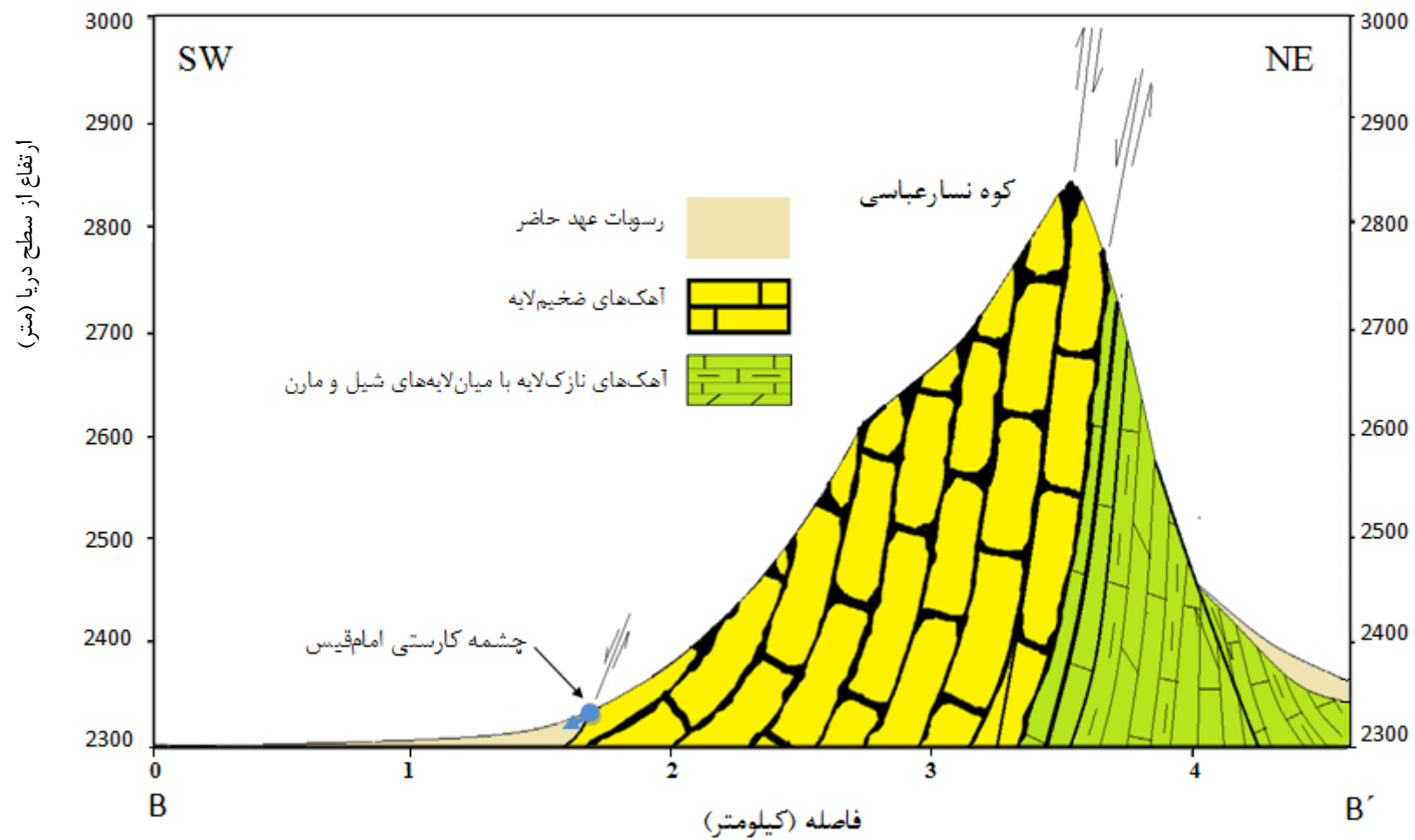
بیان هیدروژئولوژیکی، محاسبه‌ی مقدار ورودی، خروجی و تغییر در ذخیره آبخوان در طول یک دوره زمانی خاص (که معمولاً یک سال آبی است)، می‌باشد. در زمان شروع و خاتمه یک سال آبی، تغییر ذخیره آبخوان در کمترین مقدار خود قرار دارد (Raeisi 2008). در این تحقیق به جهت تخمین حوضه آبرگیر چشمه کارستی امام‌قیس مراحل زیر انجام شده است:

الف- محاسبه حجم ذخیره دینامیک چشمه کارستی امام‌قیس از آذر ۱۳۸۸ تا آذر ۱۳۸۹: حجم آب ذخیره شده در منطقه اشباع بالای سطح خروجی چشمه حجم دینامیک چشمه نامیده می‌شود (Manngin 1975). در صورتیکه در فصل خشک، در یک چشمه همچنان شرایط جریان پایه برقرار بماند (تغذیه‌ای به آبخوان صورت نگیرد)، حجم ذخیره دینامیک چشمه به تدریج تخلیه شده تا چشمه کاملاً خشک شود. اگر میزان تخلیه از چشمه به صورت تابعی از زمان ترسیم شود، حجم ذخیره دینامیک در هر زمان  $t$  معادل با مساحت زیر منحنی محصور در بازه زمانی  $t$  تا زمانی که تخلیه به صفر برسد، می‌باشد. در مقیاس نیمه لگاریتمی این منحنی یک خط راست است و دارای شیب  $-\alpha$  است.  $-\alpha$  ضریب فروکش نامیده می‌شود. مایلت (Maillet 1905) معادله‌ی زیر را به عنوان معادله‌ی این خط بیان کرده است:

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \text{معادله (۱-۶)}$$

در این معادله  $Q$  نرخ تخلیه بر حسب مترمکعب بر ثانیه در زمان  $t$ ،  $Q_0$  نرخ تخلیه در  $t = 0$  می‌باشد. برای محاسبه حجم ذخیره دینامیک چشمه امام‌قیس از روش ارائه شده توسط رئیسی (۱۳۷۶) استفاده شده است. در این روش منحنی فرود سال قبل از بیان ترسیم شده و با استفاده از منحنی فرود چشمه مقدار حجم ذخیره دینامیک در ابتدای سال بیان ( $S_1$ ) محاسبه می‌شود.

برای انتهای سال بیان نیز حجم ذخیره دینامیک ( $S_2$ ) به همین ترتیب محاسبه می‌شود.



شکل ۶-۲- نیمرخ زمین‌شناسی کوه نسا رعباسی و توسعه کارست در بخش‌های مختلف آن

مقدار حجم آب تخلیه شده از طریق چشمه در سال بیلان که ناشی از بارندگی‌های صورت گرفته در سال اندازه‌گیری بیلان می‌باشد ( $Q_B$ ) از رابطه زیر بدست می‌آید:

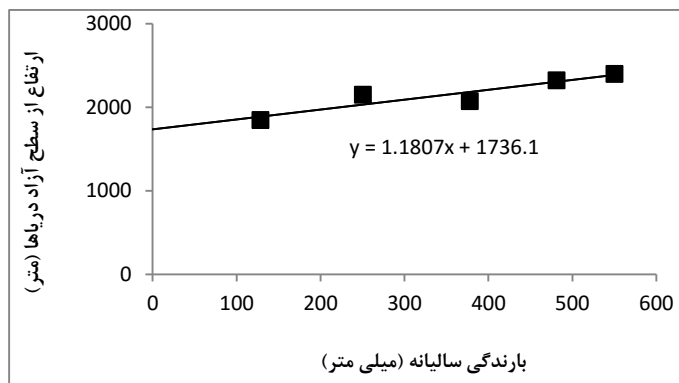
$$Q_B = Q_M - (S_1 - S_2) \quad \text{معادله (۲-۶)}$$

در رابطه بالا  $Q_M$  میزان حجم کل تخلیه انجام شده از چشمه در سال اندازه‌گیری بیلان می‌باشد. چشمه کارستی امام‌قیس در آغاز و پایان سال اندازه‌گیری بیلان دارای آبدهی اندکی (حدود ۶ لیتر بر ثانیه) بوده است. با توجه به ضریب فروکش جریان پایه این چشمه (۰/۰۰۳۴) مقدار  $(S_1 - S_2)$  حدود ۰/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. همچنین حجم تخلیه صورت گرفته از چشمه امام‌قیس در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ (سال اندازه‌گیری بیلان)، حدود ۲/۷ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است. طبق رابطه (۱-۱) مقدار حجم تخلیه انجام شده چشمه امام‌قیس ناشی از بارندگی‌های سال بیلان حدود ۲/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد.

ب- تعیین رابطه بارندگی و ارتفاع در محدوده حوضه آبریز چشمه امام‌قیس: برای تعیین میانگین بارندگی در سطح حوضه آبریز چشمه امام‌قیس، رابطه میان ارتفاع و بارندگی سالیانه در چند ایستگاه نزدیک به محدوده مورد مطالعه جمع‌آوری شد (جدول ۱-۶). پس از آن با توجه به شکل (۳-۶) رابطه میان بارندگی سالیانه و ارتفاع ایستگاه‌های مذکور بدست آمد تا با استفاده از آن میانگین بارندگی سالیانه در سطح حوضه آبریز چشمه برآورد شود. ارتفاع میانگین برای حوضه آبریز چشمه امام‌قیس حدود ۲۷۵۰ متر و براساس نتایج بدست آمده میانگین بارندگی سالیانه در کل حوضه حدود ۶۰۰ میلی‌متر برآورد گردید.

جدول ۱-۶- ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده در تعیین بارندگی در سطح حوضه آبریز آبخوان کارستی امام‌قیس

| نام ایستگاه | بارندگی (mm) | ارتفاع (m) |
|-------------|--------------|------------|
| امام‌قیس    | ۵۴۸/۳        | ۲۴۰۰       |
| بلداجی      | ۳۷۷/۷        | ۲۰۷۳       |
| عدالت       | ۴۸۱/۳        | ۲۳۲۳       |
| شهرضا       | ۱۲۸/۳        | ۱۸۴۵       |
| همگین       | ۲۵۰/۲        | ۲۱۵۰       |



شکل ۶-۳- رابطه بارندگی و ارتفاع در ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به محدوده مورد مطالعه

پ- تخمین ضریب نفوذ در محدوده حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس: ضریب نفوذ یا ثابت تغذیه یک پارامتر هیدروژئولوژیکی مهم در محاسبه بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. این پارامتر به عوامل متعددی مانند شدت، میزان و نوع نزولات جوی، توسعه کارست، پوشش خاک و شیب توپوگرافی بستگی دارد. برآورد ضریب نفوذ در پهنه‌های کارستی با استفاده از روش‌های رایج در برآورد نفوذ در پهنه‌های آبرفتی مانند محاسبات بیلان، مدل‌های عددی و سایر روش‌ها که شرایط خاص موجود در پهنه‌های کارستی را در نظر نمی‌گیرند، نتایج اشتباه و غیر واقعی بدست می‌دهند. بنابراین یک دید کارشناسی تجربی و مقایسه منطقه مورد مطالعه با سایر مناطقی که قبلاً ضریب نفوذ در آن‌ها تعیین شده است کمک بیشتری به تعیین دقیق‌تر این پارامتر در محدوده مورد مطالعه می‌کند. جهت تعیین ضریب نفوذ بارش‌های صورت گرفته در سطح حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس، بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی در بازدیدهای صحرایی انجام شد. وجود پدیده‌های کارستی مانند فروچاله‌ها (در راس کوه نسا رعباسی)، وجود درز و شکاف‌های فراوان با بازشدگی‌های انحلالی و کارن در سرتاسر حوضه آبرگیر، بیانگر توسعه یافتگی فرآیندهای کارستی در بخش‌های مختلف حوضه آبرگیر چشمه می‌باشند. همچنین در ایستگاه اقلیم‌شناسی امام‌قیس میزان ۶۹ درصد از بارندگی سالانه به صورت باران و ۳۱ درصد باقیمانده به صورت برف می‌باشد. با افزایش ارتفاع در محدوده حوضه آبرگیر نسبت برف به باران افزایش می‌یابد و به دلیل سردی هوا مقدار اندکی از برف انباشته شده در ارتفاعات حوضه آبرگیر تحت تاثیر فرآیندهای تبخیر و تصعید قرار گرفته و از دسترس خارج می‌شوند. بنابراین بیش از ۹۰ درصد بارش‌های برف صورت گرفته در سطح حوضه به درون آبخوان نفوذ می‌یابند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، نتیجه گرفته شد که به طور متوسط حدود ۶۰ درصد کل بارش‌های (برف و باران) صورت

گرفته در منطقه به درون آبخوان نفوذ می‌یابد. بنابراین در فاصله زمانی آذرماه ۱۳۸۸ تا آذرماه ۱۳۸۹ حدود ۳۶۰ میلی‌متر از کل بارش‌های منطقه (۶۰۰ میلی‌متر) به درون آبخوان (در محدوده حوضه آگیر چشمه امام‌قیس) نفوذ یافته است.

ت- تخمین مساحت حوضه آگیر چشمه / امام‌قیس: برای تخمین مساحت حوضه آگیر چشمه کارستی امام‌قیس از رابطه زیر استفاده شده است:

$$A = \frac{Q_B}{I.P} \quad \text{معادله (۲-۶)}$$

در این معادله،  $A$  مساحت حوضه آگیر،  $I$  ضریب نفوذ و  $P$  متوسط بارندگی منطقه می‌باشد. مساحت حوضه آگیر چشمه کارستی امام‌قیس در سال اندازه‌گیری بیلان حدود ۷ کیلومتر مربع برآورد گردید که با توجه به نتایج بدست آمده و نیز وضعیت هیدروژئولوژیکی و ژئومورفولوژیکی محدوده حوضه آگیر چشمه کارستی امام‌قیس در شکل (۴-۶) ترسیم شده است.



شکل ۴-۶- موقعیت تقریبی حوضه آگیر چشمه کارستی امام‌قیس که براساس وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان مورد مطالعه و با استفاده از نرم افزار Google Eearth ترسیم گردیده است (تصویر به صورت سه بعدی می‌باشد).

### ۳-۶- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از خصوصیات هیدروژئوشیمیایی

با توجه به اینکه رفتار هیدروژئوشیمیایی چاه‌های آب شرب شهرضا یکسان می‌باشد، در این بخش برای ارزیابی ارتباط هیدرولیکی این چاه‌ها و چشمه امام‌قیس، خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دو چاه شماره (۱) و (۲) (که به حوضه آگیر چشمه نزدیکتر می‌باشند)، با چشمه مقایسه می‌گردند.

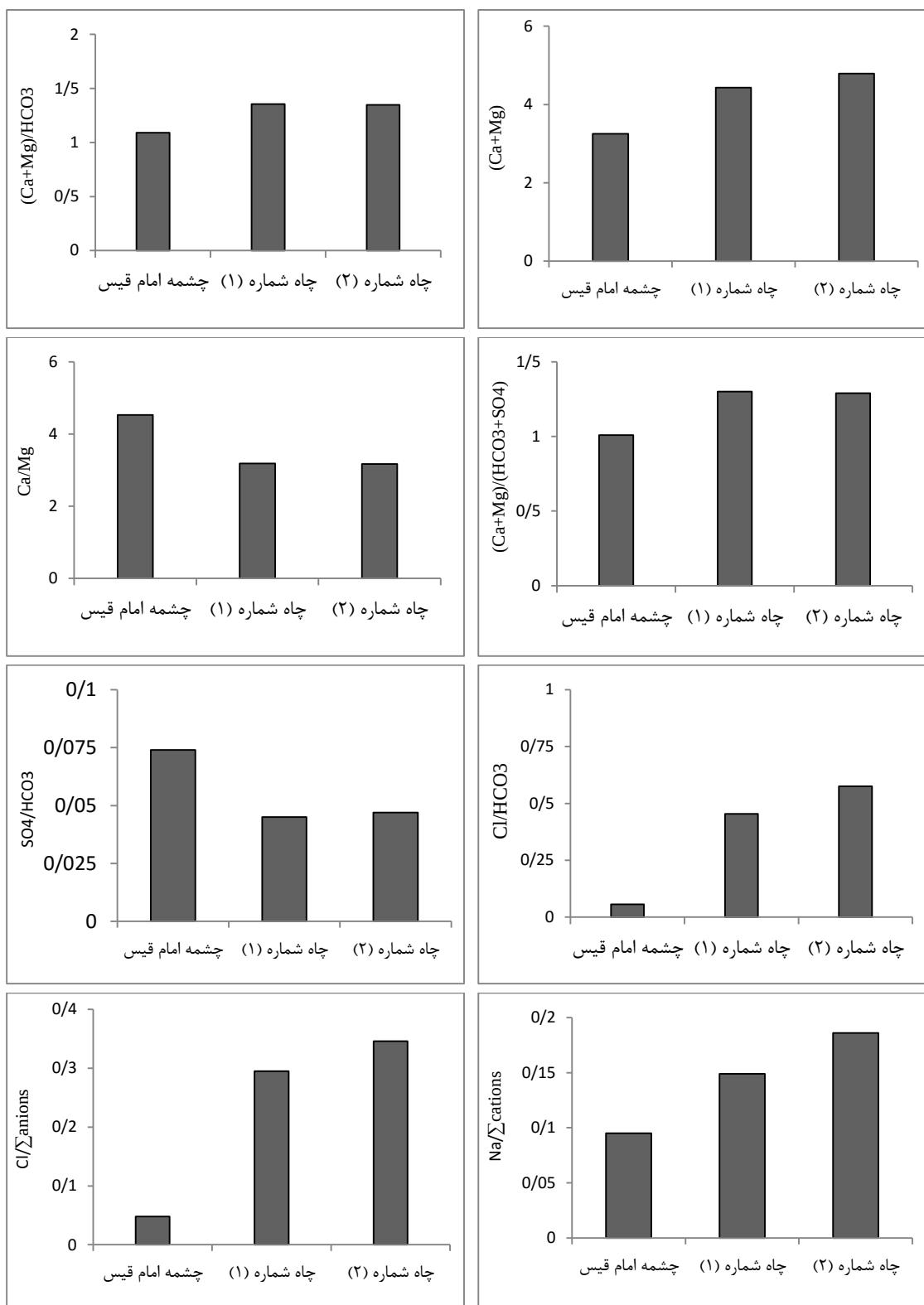
### ۶-۳-۱- نسبت‌های یونی

میانگین نسب‌های یونی برای چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا در طول دوره اندازه‌گیری محاسبه و در جدول (۶-۲) ارائه شده است.

جدول ۶-۲- میانگین نسبت‌های یونی در چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا در طول دوره اندازه‌گیری

| چشمه امام‌قیس | چاه (۷) | چاه (۵) | چاه (۳) | چاه (۲) | چاه (۱) | میانگین نسبت‌های یونی (meq/lit) |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|
| ۳/۲۳          | ۳/۷۹    | ۴/۵۱    | ۴/۰۳    | ۴/۷۹    | ۴/۴۳    | $Ca + Mg$                       |
| ۱/۰۸          | ۱/۳۶    | ۱/۵۲    | ۱/۴۰    | ۱/۳۵    | ۱/۳۶    | $Ca + Mg/HCO_3$                 |
| ۱/۰۱          | ۱/۲۸    | ۱/۴۱    | ۱/۳۰    | ۱/۲۹    | ۱/۳۰    | $(Ca + Mg/HCO_3 + SO_4)$        |
| ۴/۵۶          | ۳/۵۵    | ۲/۹۴    | ۲/۷۲    | ۳/۱۷    | ۳/۱۸    | $Ca/Mg$                         |
| ۰/۰۵۷         | ۰/۳۸۵   | ۰/۶۵۱   | ۰/۵۱۲   | ۰/۵۷۵   | ۰/۴۵۴   | $Cl/HCO_3$                      |
| ۰/۰۷۴         | ۰/۰۶۵   | ۰/۰۷۹   | ۰/۰۷۲   | ۰/۰۴۷   | ۰/۰۴۵   | $SO_4/HCO_3$                    |
| ۰/۰۹۶         | ۰/۱۳۵   | ۰/۱۷۰   | ۰/۱۵۴   | ۰/۱۸۶   | ۰/۱۴۸   | $Na/\Sigma cations$             |
| ۰/۰۴۹         | ۰/۲۵۷   | ۰/۳۶۷   | ۰/۳۱۴   | ۰/۳۴۶   | ۰/۲۹۵   | $Cl/\Sigma anions$              |

جهت مقایسه بهتر نسبت‌های یونی میان چشمه و چاه‌ها، هیستوگرام مقادیر نسبت‌های یونی چشمه و چاه‌های شماره (۱) و (۲) (شکل ۶-۵) ترسیم شده‌اند. همانطور که در شکل (۶-۵) قابل مشاهده است، اختلاف نسبتاً زیادی میان نسبت‌های یونی مختلف مربوط به چشمه و چاه‌ها مشاهده می‌شود. به طور مثال نسبت‌های یونی  $(Ca + Mg/HCO_3)$  و  $(Ca + Mg/HCO_3 + SO_4)$  در چشمه نزدیک به یک است که بیانگر انحلال کلسیت در حوضه آبرگیر آن می‌باشد. در حالی که این دو نسبت یونی در چاه‌ها بیشتر از یک می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی انحلال غالب کلسیت و دولومیت است. از طرفی هم در چشمه و هم در چاه‌ها مقادیر نسبت‌های یونی  $(Ca + Mg/HCO_3)$  و  $(Ca + Mg/HCO_3 + SO_4)$  اختلاف زیادی با یکدیگر نشان نمی‌دهند. این مسئله بیانگر نبود ژئوپس در هر دو بخش از آبخوان می‌باشد. هرچند افزایش زمان ماندگاری آب به دلیل عدم توسعه یافتگی کارست در محدوده چاه‌ها، می‌تواند بیانگر علت کمتر بودن نسبت  $Ca/Mg$  در چاه‌ها نسبت به چشمه باشد، اما دولومیتی‌تر بودن آهک‌های تشکیل دهنده آبخوان در محدوده چاه‌ها نیز در کاهش نسبت مذکور تاثیر بسیار دارد.



شکل ۶-۵- مقایسه میانگین نسبت‌های یونی در چشمه امام‌قیس و چاه‌های شماره (۱) و (۲) آب شرب شهرضا

مقادیر نسبت‌های یونی  $(Cl/HCO_3)$ ،  $(Na/\Sigma cations)$  و  $(Cl/\Sigma anions)$  در چاه‌ها بسیار بیشتر از چشمه می‌باشد. شاید بتوان گفت به دلیل پایین افتادن سطح آب در محدوده چاه‌ها، آب‌های

زیرزمینی از محدوده آبرفت‌های شمال آبخوان (مخصوصاً در فصل خشک) به سمت محدوده چاه‌ها جریان می‌یابند. این آب‌ها به دلیل فعالیت‌های کشاورزی در آبرفت‌ها و استفاده از کودهای شیمیایی دارای مقادیر بالایی از کلر، سدیم و پتاسیم می‌باشند که باعث افزایش غلظت این یون‌ها در محدوده چاه‌ها می‌شود.

### ۶-۳-۲- استفاده از میانگین غلظت یون‌های اصلی و همبستگی آن‌ها با هم

مقادیر میانگین غلظت یون‌های اصلی مربوط به چاه‌های آب شرب شهرضا و چشمه امام‌قیس در طول مدت اندازه‌گیری در جدول (۴-۶) ارائه شده است. با توجه به مقادیر غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های (۱) و (۲) و چشمه امام‌قیس مقادیر کمتر غلظت یون‌های مختلف برای چشمه مشاهده می‌شود. مقادیر همبستگی غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های شماره (۱) و (۲) آب شرب شهرضا و چشمه امام‌قیس در جدول (۵-۶) ارائه شده است. با توجه به مندرجات جدول مذکور، بیشترین همبستگی میان غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس و چاه شماره (۱) در آنیون‌های کلر و بیکربنات و نیز در کاتیون‌های سدیم و کلسیم مشاهده می‌شود. اما بیشترین همبستگی میان غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های مربوط به چاه شماره (۱) و چاه شماره (۲) در آنیون‌های بیکربنات و کلر و نیز در کاتیون‌های کلسیم و منیزیم مشاهده می‌شود. با مقایسه‌ی مقادیر همبستگی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در چاه‌های شماره (۱)، (۲) و چشمه امام‌قیس، همبستگی یون‌های کلسیم، منیزیم و کربنات در نمونه‌های مربوط به چاه‌های (۱) و (۲) با هم نسبت به چشمه امام‌قیس بیشتر است.

### ۶-۳-۳- استفاده از شاخص‌های اشباع

میانگین شاخص‌های اشباع در طول دوره اندازه‌گیری برای چشمه و چاه‌های آب شرب شهرضا در جدول (۳-۶) ارائه شده است. با توجه به مندرجات جدول مذکور هیستوگرام مربوط به ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و هالیت ترسیم شده است (شکل ۶-۶). مشاهده می‌شود که مقادیر ضرایب اشباع کانی‌های کلسیت و دولومیت برای چاه‌ها بیشتر از چشمه می‌باشد. چاه‌ها نسبت به دو کانی مذکور در حالت فوق اشباع قرار دارند در حالی که چشمه نسبت به

کانی کلسیت فوق اشباع و نسبت به دولومیت تحت اشباع می‌باشد. ضرایب بیشتر شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت و دولومیت در چاه‌ها به دلیل زمان ماندگاری بیشتر آب در این محدوده از آبخوان می‌باشد. نمونه‌های مربوط به چاه‌ها و چشمه نسبت به دو کانی ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. با مقایسه مقادیر شاخص‌های اشباع هالیت در چاه‌های شماره (۱) و (۲) با مقادیر مشابه آن در چشمه مشاهده می‌شود که با اختلاف قابل توجه‌تری چشمه نسبت به کانی هالیت تحت اشباع تر می‌باشند.

جدول ۳-۶- میانگین غلظت یون‌های اصلی در چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا در طول دوره اندازه‌گیری

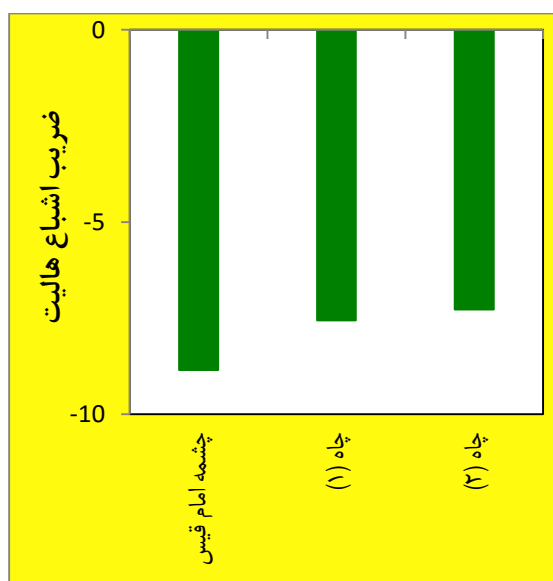
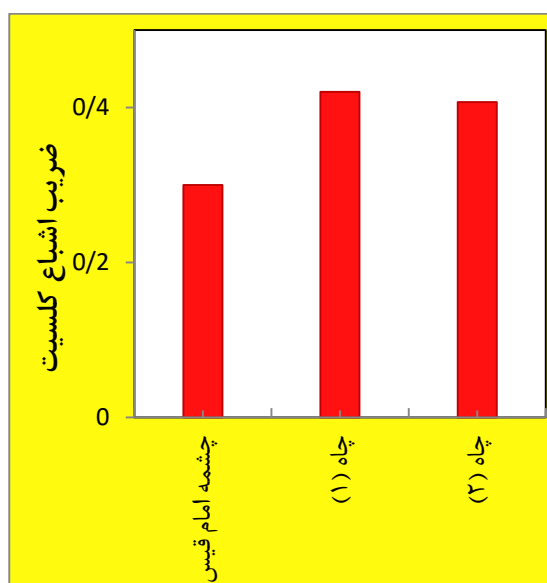
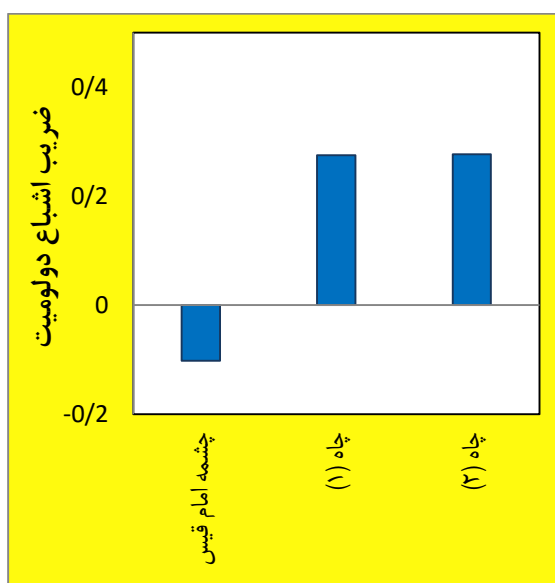
| چشمه امام‌قیس | چاه (۷) | چاه (۵) | چاه (۳) | چاه (۲) | چاه (۱) | میانگین غلظت یون‌های اصلی |                          |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------|--------------------------|
| ۲/۶۶          | ۲/۹۶    | ۳/۳۷    | ۲/۹۴    | ۳/۶۴    | ۳/۳۷    | $Ca^{2+}$                 | کاتیون‌ها<br>(meq / lit) |
| ۰/۵۹          | ۰/۸۳    | ۱/۱۴    | ۱/۰۸    | ۱/۱۵    | ۱/۰۶    | $Mg^{2+}$                 |                          |
| ۰/۳۵          | ۰/۵۹    | ۰/۹۳    | ۰/۷۴    | ۱/۱۱    | ۰/۷۸    | $Na^{+}$                  |                          |
| ۰/۰۱۵         | ۰/۰۳۱   | ۰/۰۳۲   | ۰/۰۳۴   | ۰/۰۵۲   | ۰/۰۳۱   | $K^{+}$                   |                          |
| ۲/۹۹          | ۲/۷۹    | ۲/۹۶    | ۲/۸۸    | ۳/۵۵    | ۳/۲۷    | $HCO_3^{-}$               | آنیون‌ها<br>(meq / lit)  |
| ۰/۱۷          | ۱/۰۷    | ۱/۹۳    | ۱/۴۷    | ۲/۰۴    | ۱/۴۸    | $Cl^{-}$                  |                          |
| ۰/۲۲۰         | ۰/۱۸۱   | ۰/۲۳۳   | ۰/۲۰۶   | ۰/۱۶۸   | ۰/۱۴۸   | $SO_4^{2-}$               |                          |
| ۰/۱۰۴         | ۰/۱۳۳   | ۰/۱۲۷   | ۰/۱۳۰   | ۰/۱۳۲   | ۰/۱۲۹   | $NO_3^{-}$                |                          |

جدول ۴-۶- مقادیر همبستگی یون‌های اصلی در چاه‌های (۱) و (۲) آب شرب شهرضا و چشمه امام‌قیس

| یون اصلی    | چشمه امام‌قیس-چاه (۱) | چشمه امام‌قیس-چاه (۲) | چاه (۱)-چاه (۲) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| $Ca^{2+}$   | ۰/۵۴                  | ۰/۲۶                  | ۰/۶۹            |
| $Mg^{2+}$   | ۰/۱۳                  | ۰/۰                   | ۰/۶۸            |
| $Na^{+}$    | ۰/۶۳                  | ۰/۰۰                  | ۰/۰۲            |
| $K^{+}$     | ۰/۰۰                  | ۰/۲۵                  | ۰/۰۲            |
| $HCO_3^{-}$ | ۰/۴۱                  | ۰/۱۲                  | ۰/۵۴            |
| $Cl^{-}$    | ۰/۴۸                  | ۰/۰۳                  | ۰/۲۰            |
| $SO_4^{2-}$ | ۰/۱۷                  | ۰/۰۰                  | ۰/۱۰            |
| $NO_3^{-}$  | ۰/۲۱                  | ۰/۱۰                  | ۰/۲۸            |

جدول ۵-۶- میانگین شاخص‌های اشباع در چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا در طول دوره اندازه‌گیری

| چشمه امام‌قیس | چاه (۷) | چاه (۵) | چاه (۳) | چاه (۲) | چاه (۱) | میانگین شاخص‌های اشباع |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|
| ۰/۲۳          | ۰/۲۸    | ۰/۳۵    | ۰/۲۶    | ۰/۴۱    | ۰/۴۲    | کلسیت                  |
| -۰/۴۱         | ۰/۰۴    | ۰/۲۱    | ۰/۰۸    | ۰/۲۸    | ۰/۲۸    | دولومیت                |
| -۸/۸۵         | -۷/۸۲   | -۷/۳۸   | -۷/۵۹   | -۷/۲۸   | -۷/۵۶   | هالیت                  |



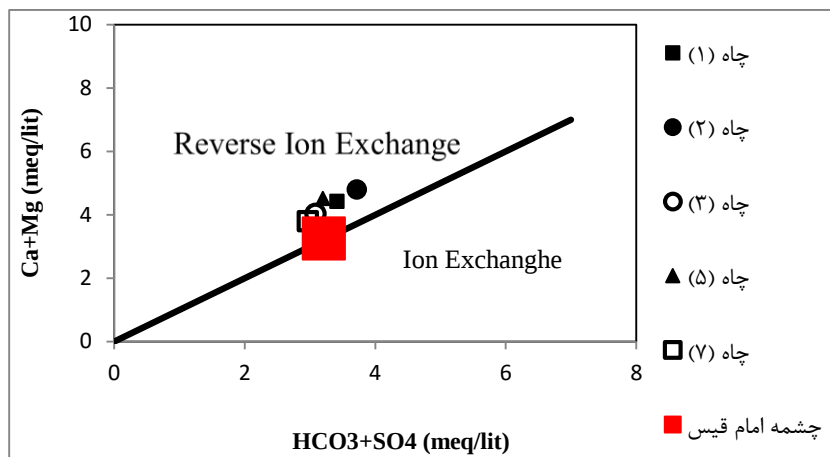
شکل ۶-۶- میانگین ضرایب اشباع سه کانی کلسیت، دولومیت و هالیت برای چشمه امام‌قیس و چاه‌های شماره (۱) و (۲) آب شرب شهرضا

### ۶-۳-۴- استفاده از نمودارهای ترکیبی

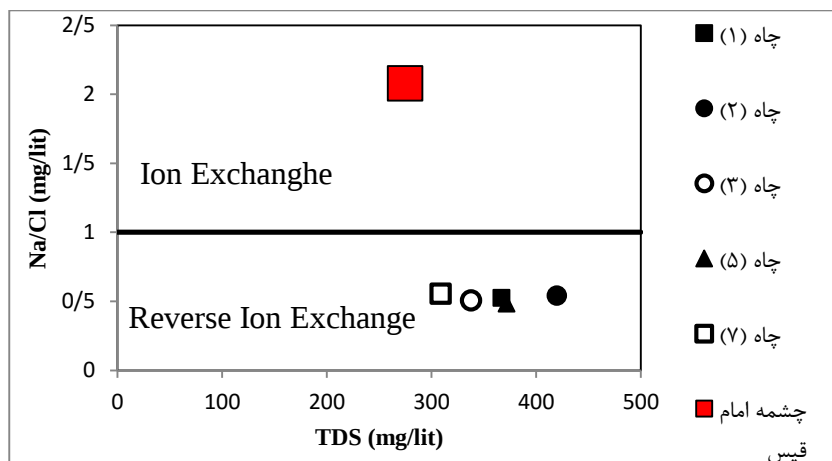
نمودارهای ترکیبی براساس غلظت یون‌های اصلی (TDI) ترسیم می‌شوند. این نمودارها برای شناخت منابع تغذیه‌کننده و اختلاط آب‌های زیرزمینی کاربرد دارند (Mazor 2004). شکل (۶-۷) نمودار دو متغیره ( $HCO_3 + SO_4$ ) در مقابل ( $Ca + Mg$ ) نشان داده شده است. خط ۱:۱ نشان دهنده‌ی فرآیندهای انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس است. اگر غلظت نمونه‌هایی که بر روی این خط قرار می‌گیرند کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد، انحلال کلسیت و دولومیت و در صورتی که بیشتر از ۱۰ باشد، انحلال ژپس غالب است. در نمونه‌های که در پایین و بالای خط قرار می‌گیرند، به ترتیب فرآیند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس غالب می‌باشد (Mazor 2004). بنابراین در چشمه امام‌قیس با توجه به اینکه بر روی خط ۱:۱ قرار دارد انحلال غالب، انحلال کلسیت و دولومیت است و فرآیند تبادل یونی صورت می‌گیرد. اما در مورد چاه‌ها که بر روی خط ۱:۱ قرار نمی‌گیرند و غلظتی کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر دارند می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر انحلال کلسیت و دولومیت موارد دیگری (مانند نفوذ آب‌های استفاده شده در کشاورزی به آبخوان) نیز بر وضعیت هیدروژئوشیمیایی آن‌ها موثر هستند و نیز اینکه تبادل یونی معکوس در آن‌ها در حال وقوع است. شکل (۶-۸) نمودار ترکیبی جهت تعیین وضعیت تبادل یونی در نمونه‌های چاه‌های آب شرب شهرضا و چشمه کارستی امام‌قیس را نشان می‌دهد. طبق نمودار مذکور در نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس فرآیند تبادل یونی و در نمونه‌های مربوط به چاه‌های آب شرب شهرضا تبادل یونی معکوس رخ می‌دهد.

### ۶-۳-۵- استفاده از تیپ آب و نمودار پایپر

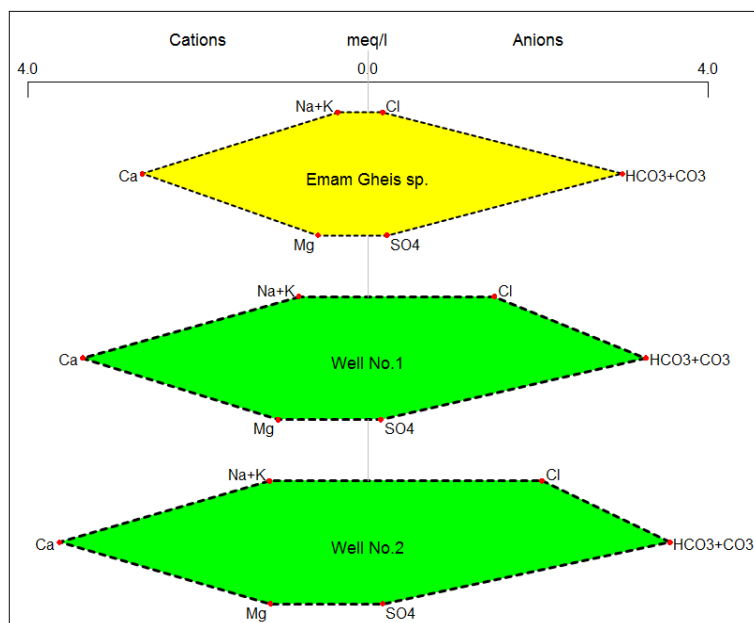
جهت بررسی شباهت و یا تفاوت تیپ آب در چاه‌های شماره (۱) و (۲) آب شرب شهرضا و چشمه کارستی امام‌قیس نمودار استیف مربوط به آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به شکل (۲۸) می‌توان گفت تیپ آب در چاه‌های شماره (۱) و (۲) با یکدیگر شباهت بسیار زیادی دارد. اما تیپ آب در چشمه کارستی امام‌قیس با تیپ آب در این دو چاه تفاوت آشکاری نشان می‌دهند. تفاوت غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در چاه‌ها و چشمه امام‌قیس سبب اختلاف تیپ آب میان آن‌ها شده است. در شکل (۲۹) وضعیت نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب در نمودار



شکل ۶-۷- غلظت میانگین ( $HCO_3 + SO_4$ ) و ( $Ca + Mg$ ) در چاه‌های آب شرب شهرضا و چشمه امام‌قیس

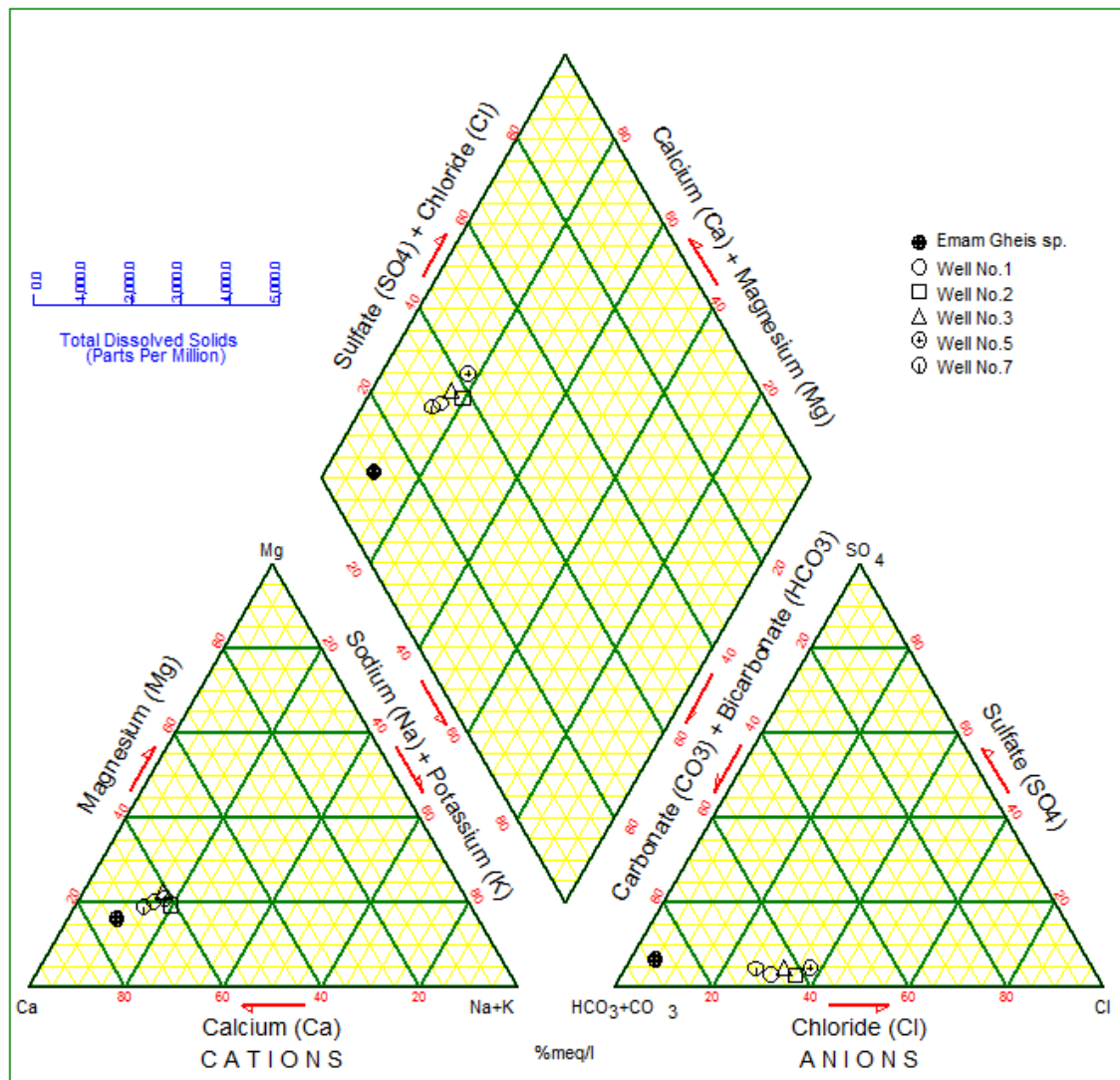


شکل ۶-۸- نمودار ترکیبی جهت تعیین وضعیت تبادل یونی در نمونه‌های چاه‌های آب شرب شهرضا و چشمه امام‌قیس



شکل ۶-۹- مقایسه نمودار استیف برای نمونه‌های مربوط چشمه امام‌قیس و چاه‌های (۱) و (۲) آب شرب شهرضا

پایپر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به شکل مذکور وضعیت چشمه در نمودار پایپر تفاوت بسیار زیادی با چاه‌های آب شرب شهرضا نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۰- مقایسه موقعیت قرارگیری نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شهرضا در نمودار پایپر

## ۶-۴- بررسی ارتباط هیدرولیکی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب

ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن به طور گسترده‌ای در مطالعات هیدروژئولوژیکی برای تفکیک منابع آب، تشخیص مسیرهای جریان و زمان ماندگاری آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها به کار می‌روند (Clark and Fritz 1997, Falcone et al., 2008). ایزوتوپ‌های دوتریم ( $^2H$ ) و اکسیژن ۱۸ ( $^{18}O$ )، ایزوتوپ‌های پایدار آب می‌باشند. برای بیان فراوانی ایزوتوپ‌ها از نسبت‌های ایزوتوپی استفاده می‌شود

که در مورد ایزوتوپ‌های پایدار آب بیانگر نسبت تعداد اتم‌های ( $^2H$ ) بر تعداد کل اتم‌های هیدروژن و یا ( $^{18}O$ ) به تعداد کل اتم‌های اکسیژن موجود در نمونه آب می‌باشد. نسبت‌های ایزوتوپی در طول چرخه آب بر اثر فرآیندهای مختلف تغییر می‌کنند که با استفاده از این تغییرات امکان ردیابی و تعیین منشأ آب فراهم می‌شود. برای مقایسه نسبت‌های ایزوتوپی نمونه‌های آب مختلف، از انحراف ایزوتوپی نسبت به یک نمونه استاندارد که معمولاً آب متوسط اقیانوس استاندارد وین (VSMOW) می‌باشد، استفاده می‌شود. معادله (۱-۱) نحوه تعیین اندیس ایزوتوپی نمونه آب را نشان می‌دهد:

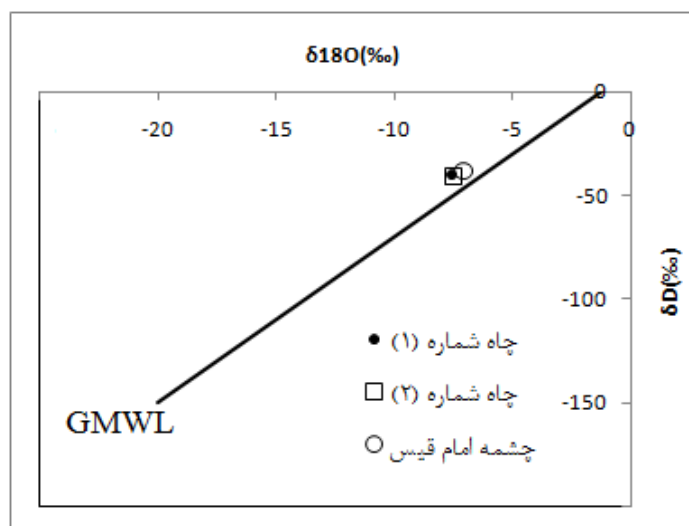
$$\delta_{sample} = 1000 * \frac{R_{sample} - R_{standard}}{R_{standard}} \quad \text{معادله (۲-۶)}$$

نسبت ایزوتوپی بدست آمده به صورت قسمت در هزار بیان می‌شود. مقادیر نسبت ایزوتوپی برای نمونه‌ها حاصل از بارش به دلیل غنی‌تر بودن نمونه آب اقیانوس‌ها عموماً منفی می‌باشند. از نظر ایزوتوپی هرچه نسبت ایزوتوپی نمونه‌ها منفی‌تر باشند، نمونه آب از نظر ایزوتوپی سبک‌تر است. با ورود آب‌های جدید به آبخوان‌ها مقادیر نسبت ایزوتوپی این آب‌ها با مقدار نسبت ایزوتوپی آب‌های قدیمی‌تر به تعادل رسیده و مقدار متوسطی نشان می‌دهند (Plata et al., 2001). تهی‌شدگی از نظر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در نمونه‌های آبی مشاهده می‌شود که از ارتفاعات تغذیه شده و دارای دمای کمی می‌باشند (Clark and Fritz 1997, Einsiedl et al. 2009, Land Huff, 2010). مقادیر اندیس‌های ایزوتوپی ( $^2H$ ) و ( $^{18}O$ ) مربوط به چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا که در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند، در جدول (۱) ارائه شده است. موقعیت نمونه‌های تهیه شده از چشمه امام‌قیس و چاه‌های شماره (۱) و (۲) آب شرب شهرضا نسبت به خط آب‌های جوی جهانی در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود نمونه‌های تهیه شده از چشمه و چاه‌های (۱) و (۲) به خط آب‌های جوی جهانی نزدیک می‌باشند که نشان دهنده منشأ جوی این آب‌های کارستی می‌باشد. مقایسه مقادیر  $\delta^{18}O$  و  $\delta D$  در نمونه‌های مربوط به چشمه امام‌قیس و چاه‌های شماره (۱) و (۲) نشان می‌دهد که نمونه‌های مربوط به چاه‌ها از نظر ایزوتوپی سبک‌تر از نمونه آب مربوط به چشمه امام‌قیس می‌باشند. با توجه به این که آبخوان کارستی امام‌قیس به دلیل وجود لایه‌های شیل و مارن و نیز آهک متراکم، در محدوده چاه‌ها محبوس می‌باشد، می‌توان چنین اظهار نظر نمود که آب‌های نفوذی در این محدوده از آبخوان پس از ورود به لایه‌های آبدار محبوس تا

حد بسیار زیادی از تاثیر فرآیندهای ترمودینامیکی موثر بر وضعیت نسبت ایزوتوپ‌های پایدار آب (مانند تبخیر) به دور بوده‌اند.

جدول ۶-۶- مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن (۱۸) و دوتریم مربوط به نمونه‌های چشمه امام‌قیس و چاه‌های (۱) و (۲)

| نمونه         | $\delta D$ | $\delta^{18}O$ |
|---------------|------------|----------------|
| چشمه امام‌قیس | -۳۸/۳      | -۷/۱           |
| چاه شماره (۱) | -۴۰/۳      | -۷/۶           |
| چاه شماره (۲) | -۴۰/۸      | -۷/۵           |



شکل ۶-۱۱- موقعیت نمونه‌های تهیه شده از چشمه امام‌قیس و چاه‌های ۱ و ۲ نسبت به خط آب‌های جوی جهانی (GMWL)

بنابراین اندیس ایزوتوپی ایزوتوپ‌های پایدار آب در آن‌ها نزدیک به اندیس ایزوتوپی در آب‌های اولیه نفوذ یافته به آبخوان می‌باشند. اما در حوضه آبرگیر چشمه کارستی امام‌قیس به دلیل توسعه گسترده فرآیندهای کارستی و نبود لایه‌های محبوس‌کننده در این محدوده، آب‌های کارستی فرورو تحت تاثیر فرآیندهای ترمودینامیکی مختلف قرار گرفته‌اند و بنابراین از نظر ایزوتوپی غنی شده و سنگین‌تر از آب‌های کارستی موجود در محدوده چاه‌ها می‌باشند. نکته قابل توجه این است که زمان برداشت نمونه‌های ایزوتوپی اواسط مردادماه ۱۳۸۹ می‌باشد که فاصله زمانی قابل توجهی از فصل تر و تغذیه آبخوان به وسیله بارش‌های جوی دارد. بنابراین زمان کافی برای غنی‌شدن آب‌های کارستی از نظر ایزوتوپی وجود داشته است که در چشمه امام‌قیس به دلیل وجود شرایط خاص هیدروژئولوژیکی در

حوضه آبخیز زیرزمینی آن و نیز تبخیر بیشتر (به دلیل رو به آفتاب بودن محدوده حوضه آبخیز چشمه) قابل مشاهده است. اما در چاه‌ها بنا به شرایط هیدروژئولوژیکی و نیز تبخیر کمتر (به دلیل پشت به آفتاب بودن دامنه شمال شرقی در طول سال) این غنی‌شدگی به نسبت بسیار کمتری رخ داده است.

## فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل نتایج حاصل از کلیه مراحل تحقیق انجام شده در ارزیابی ارتباط هیدرولیکی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا به طور خلاصه ارائه خواهد گردید. همچنین سعی شده است تا پیشنهادات مفیدی جهت مدیریت بهتر آبخوان کارستی امام‌قیس ارائه شود.

### ۶-۱- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج حاصله از این تحقیق شامل وضعیت هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا، تعیین حوضه آبریز چشمه و ارزیابی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی چشمه و چاه‌های موردنظر می‌باشد که به طور مختصر ارائه می‌گردد.

#### الف- وضعیت هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، دما و غلظت یون‌های اصلی در چشمه امام‌قیس بسیار ناچیز می‌باشد. میانگین هدایت الکتریکی در آن حدود ۳۲۲ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. هدایت الکتریکی چشمه همزمان با افزایش آبدهی چشمه در فصل تر کمی افزایش نشان می‌دهد که به دلیل انحلال نمک‌های به جا مانده از تبخیر آب در خاک‌های موجود در اطراف فروچاله‌ها و نیز مواد هوازده موجود در درزه‌ها و شکستگی‌ها می‌باشد. در نمونه‌های آب چشمه یون‌های بیکربنات و کلسیم بیشترین غلظت را در میان یون‌های اصلی به خود اختصاص می‌دهند. تیپ آب در چشمه کارستی امام‌قیس از نوع  $Ca-HCO_3$  می‌باشد. همچنین اسیدهای ضعیف (کربنات و بی‌کربنات) حدود ۹۰ درصد و عناصر قلیایی خاکی (کلسیم و منیزیم) حدود ۹۰ درصد از زون‌های غالب آنیونی و کاتیونی را شامل می‌شوند که بیانگر درجه خلوص بالای آهک‌های تشکیل‌دهنده حوضه آبریز چشمه می‌باشند. چشمه

کارستی امام‌قیس نسبت به کلسیت در حالت اشباع، نسبت به دولومیت تحت اشباع تا فوق اشباع و برای ژئوپس و هالیت تحت اشباع می‌باشد. در نمونه‌های آب مربوط به چشمه انحلال کلسیت و دولومیت غالب است و تبادل یونی صورت می‌گیرد. متوسط دمای آب در این مدت برای چشمه حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، دما و غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های آب شرب مورد مطالعه در این تحقیق اندک می‌باشد. در نمونه‌های آب تهیه شده از چاه‌ها، یون‌های بیکربنات و کلسیم بیشترین غلظت را در میان یون‌های اصلی به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین تیپ آب در این بخش از آبخوان نیز  $Ca-HCO_3$  می‌باشد. نمونه‌های مربوط به این چاه‌ها از نظر کلسیت در حالت فوق‌اشباع، دولومیت، اشباع و فوق‌اشباع و از نظر ژئوپس و هالیت در حالت تحت‌اشباع قرار دارند. نسبت‌های یونی و نیز نمودارهای ترکیبی نشان دهنده انحلال غالب کلسیت و دولومیت و تبادل یونی معکوس در این محدوده از آبخوان است.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهند نمونه‌های مربوط به چاه‌ها نسبت به نمونه‌های چشمه دارای درجه بالاتری از تکامل هیدروژئوشیمیایی می‌باشند، زیرا دارای هدایت الکتریکی، دما، نسبت  $Mg/Ca$  و شاخص اشباع دولومیت بیشتری می‌باشند.

#### ب- تعیین تقریبی حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آن

با توجه به وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی آبخوان مورد مطالعه، محدوده تقریبی حوضه آبرگیر چشمه امام‌قیس ترسیم گردید. حجم ذخیره دینامیک چشمه امام‌قیس در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ که با اندازه‌گیری آبدهی چشمه به صورت حداقل ماهی یکبار اندازه‌گیری شده است، حدود ۲/۴ میلیون مترمکعب برآورد گردید. همچنین براساس وضعیت هیدروژئولوژیکی و توسعه کارست در محدوده حوضه آبرگیر چشمه ضریب نفوذ در آن حدود ۶۰ درصد برآورد گردید. براساس نتایج به دست آمده مساحت حوضه آبرگیر چشمه در این سال آبی حدود ۷ کیلومترمربع برآورد گردید. سپس با در نظر گرفتن مساحت حوضه آبرگیر بدست آمده، مجدداً حوضه آبرگیر چشمه به صورت دقیق‌تری ترسیم گردید. ضریب تغییرات (حدود ۱۰۱ درصد) آبدهی چشمه و نسبت‌های آبدهی حداقل، میانگین و

حداکثر در این چشمه به ترتیب برابر ۱:۱۵:۵۲ است که قابل توجه می‌باشند. بنابر تغییرات زیاد آبدهی و نیز توسعه پدیده‌های کارستی مانند فروچاله‌ها و چاه‌های کارستی در محدوده حوضه آبگیر چشمه، نوع جریان غالب در آن از نوع مجرای تشخیص داده شد.

### ج- ارزیابی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب شهرضا

عملکرد گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه تاثیر بسیار زیادی بر وضعیت هیدرژئولوژیکی آبخوان کارستی داشته است. بر اثر عملکرد گسل‌های نرمال، فروافتادگی میان محدوده حوضه آبگیر چشمه کارستی امام‌قیس و محدوده چاه‌های آب شرب به وجود آمده است. با توجه به اثر این فروافتادگی در کنترل جهت جریان آب زیرزمینی که سبب هدایت آن به سمت فروافتادگی مذکور می‌شود، ارتباط هیدرولیکی بین چشمه امام‌قیس و چاه‌های آب شرب بعید به نظر می‌رسد.

مقایسه وضعیت توسعه کارست در محدوده چاه‌های آب شرب شهرضا و حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس نشان می‌دهد به دلیل درجه خلوص بالاتر آهک‌ها و شیب توپوگرافی کمتر در محدوده حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس نسبت به محدوده چاه‌ها، کارست‌ها در محدوده حوضه آبگیر چشمه توسعه یافته‌تر می‌باشند. علت اصلی تفاوت‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه و چاه‌ها مانند اختلاف در غلظت یون‌های اصلی، نسبت‌های یونی و ضرایب اشباع به اختلاف در توسعه کارست و اختلاف در زمان ماندگاری آب در محدوده چشمه و چاه‌ها، مربوط می‌شود.

### ۶-۲- پیشنهادها

پیشنهادهای ارائه شده جهت مدیریت بهتر آبخوان کارستی امام‌قیس شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱- با عنایت به این که کیفیت آب چشمه کارستی امام‌قیس از نظر شرب بسیار عالی می‌باشد و در تامین آب شرب و کشاورزی روستای امام‌قیس نقش به سزایی دارد، بررسی وضعیت کیفی و کمی این چشمه در سال‌های آتی به صورت منظم‌تر و دقیق‌تری پیشنهاد می‌گردد.

- ۲- همچنین بررسی دقیق‌تر وضعیت هیدرودینامیکی چاه‌های کارستی آب شرب شهرضا و چشمه کارستی امام‌قیس جهت بررسی میزان همبستگی تغییرات سطح آب برای ارزیابی مطمئن‌تر وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی میان منابع آب ذکر شده انجام شود.
- ۳- جهت بررسی علل اصلی کاهش آبدهی چشمه امام‌قیس ارزیابی وضعیت هیدروشیمیایی و هیدرولیکی چاه‌های موجود در دشت‌های آبرفتی شمال آبخوان امام‌قیس و نیز مقایسه این موارد با چشمه امام‌قیس صورت گیرد.
- ۴- با توجه به توسعه بسیار زیاد کارست در حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس و نیز ریسک‌پذیری بالای این آبخوان در مقابل آلودگی‌های مختلف انسان‌ساز و طبیعی پیشنهاد می‌شود، محافظت حوضه آبگیر چشمه امام‌قیس از منابع ایجادکننده این آلودگی‌ها در هنگام آغاز فعالیت‌های مختلف که می‌توانند بر وضعیت کمی و کیفی این چشمه تاثیر گذار باشند، در اولویت قرار گیرد.

## منابع

- تاکر م.ای، (۲۰۰۱)، سنگ‌شناسی رسوبی (چاپ پنجم)، ترجمه موسوی حرمی ر. و محبوبی ا، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، (۱۳۸۵).
- عزیزاده ا، (۱۳۸۳)، اصول هیدرولوژی کاربردی (چاپ هفدهم)، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
- مهندسین مشاور مهتاب قدس (۱۳۷۲)، گزارش مرحله دوم مطالعات پایه زمین‌شناسی تامین آب شرب شهرضا.
- مهندسین مشاور مهتاب قدس (۱۳۷۶)، گزارش نهایی مطالعات پایه تامین آب شرب شهرضا.
- نقشه توپوگرافی شیت‌های بروجن، دوراهان، بلداجی و ونک، (۱۳۷۲)، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری کل کشور.
- نقشه زمین‌شناسی بروجن، (۱۳۵۷)، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریمی وردنجانی ح، (۱۳۸۹)، هیدروژئولوژی کارست، مفاهیم و روش‌ها (چاپ اول)، انتشارات ارم شیراز.

- Alley W.M., Healy R.W., LaBaugh J.W., Reilly T.E., (2002), “*Flow and storage in groundwater systems*”, Science, v. 296, p. 1985–1990
- Amadi U.M.P., (1985), “*Flow pattern and changes in the chemistry of the groundwater from the Karst Planes of Southern Indiana, U.S.A.*” Karst Water Resources, IAHS Publ.no. 161: 433-448.
- Appelo C.A.J., Postma D., (1999), “*Geochemistry, groundwater and pollution*” Balkema Publishers, Rotterdam.
- Atkinson T.C., (1977), “*Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain)*” Journal of Hydrology 35: 95-110.
- Bakalowicz M., (1977), “*Etude du degre d’organisation des coulements souterrains dans les aquifers carbonates par une methode hydrogeochimique novella*” Compte Rendus Academie des Sciences Paris, Series D , 284, p. 2463-6.
- Bakalowicz M., (2005) “*Karst groundwater: a challenge for new resources*” Hydrogeology Journal 13:148–160.
- Baily-Comte V., Jourde H., Pistre S., (2009), “*Conceptualization and classification of groundwater-surface water hydrodynamic interactions in karst watersheds: A case of the karst watershed of the Coulazou river (southern France)*” Journal of Hydrology, 376: 456-462, Doi. : 10.1016/j.jhydrol.2009.07.053.
- Bonacci O., Magdalenic A., (1993), “*The catchment area of the Sv. Ivan karst spring in Istria (Croatia)*” Groundwater, Vol. 31, No. 5: 767-773.
- Bonacci B., (1987), “*Karst hydrology with special reference to the Dinaric Karst*” New York: Springer.
- Bonacci B., (1999), “*Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja*” Hydrological Sciences, 44(3): 373-386.
- Bradbury Kenneth R., (2007), “*Where is the deep groundwater divide in the southeastern Wisconsin?*”, Geological Society of America Abstracts with Programs, Vol. 39, No. 6, p. 134.
- Cardenal J., Benavente J., Cruz-Sanjulia’n J.J., (1994), “*Chemical evolution of groundwater in triassic gypsum-bearing carbonate aquifers (Las Alpujarras, southern Spain)*”, Journal Hydrology, 161, 3–30.
- Charmoille A., Binet S., Bertrand C., Guglielmi Y., Mudery J., (2009), “*Hydraulic interactions between fractures and bedding planes in a carbonate*

*aquifer studied by means of experimentally induced water table fluctuations*”  
Hydrogeology Journal, 17(7): 1607-1616.

- Clark I. D., Fritz P., (1997), “*Environmental Isotopes in Hydrogeology*”, Lewis Publishers, New York, 328 p.
- Cook P. G., Herczeg A. L., (2000), “*Environmental tracers in subsurface hydrology*”, Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 p.
- Craig H., 1961., “*Isotopic variations in natural waters*”, Science, 133 (1702-1703).
- Cowell D.W. , Ford D.C., (1983) “*Karst hydrology of the Bruce Peninsula*” Ontario, Canada, In: Back W., LaMoreaux P. E., and Stringfield, V. T. Symposium Processes in Karst Hydrology, Journal of Hydrology 61: 163-168.
- Drever, J.I., (1997), “*The Geochemistry of Natural Waters. Prentice-Hall, Englewood Cliffs*”, New Jersey. 437 p.
- Eberts S.M., (1999), “*Water levels and ground-water discharge, regional aquifer system of the Midwestern Basins and Arches Region, in parts of Indiana, Ohio, Illinois, and Michigan*”, U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-725, 3 sheets, scale 1:2,000,000.
- Ford D., and Williams P., (2007), “*Karst Hydrogeology and Geomorphology*” John Wiley&Sons, Ltd.
- Frisia S., Borsato A., (2009), “*Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes*”, Elsevier B.V., p. 269-318, Doi:10.1016/S0070-4571(09)06106-8.
- Froehlich K., Gibson J. J., Aggarwal P., (2002), “*Deuterium excess in precipitation and its climatological significance, In: Study of environmental change using isotope techniques*”, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 54-65.
- Gonfiantini R., (1986), “*Environmental isotopes in lake studies*”, In: Fritz, P. & Fontes, J. Ch., eds., Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol 2, The Terrestrial Environment, B, Elsevier, Amsterdam, pp. 113-168.
- Gunn J., (1983), “*Point recharge of limestone aquifers. A model from New Zealand karst*” Journal of Hydrology, 61, 19–29.
- Herman J.S., White W.B., (1985), “*Dissolution kinetics of dolomite: effects of lithology and fluid flow velocity*”, Geochim. Cosmochim. Acta 49, 2017–2026.

- Jacobson R.L., Langmuir D., (1974), “Controls on the quality variations of some carbonate spring waters” *Journal of Hydrology* 23: 247-265.
- Jennings, J.N., (1985), “*Karst Geomorphology*”, Basil Blackwell, Glasgow, UK, 293 pp.
- Jeannin P.Y., Sauter M., (1998), “Analysis of karst hydrodynamic behavior using global approaches” A review. *Bulletin d’Hydrogeologie* (Neuchatel), 16: 31-48.
- Kafri U., Arad A., (1978), “Paleohydrology and migration of the groundwater divide in regions of tectonic instability in Israel”, *Geology Society Am Bulletin*, 89: 1723-1735.
- Kalisperi D., Parisi S., Collins P., Kershaw S., Lydakish-SimantirisN., Mongelli G., Paternoster M., Sdao F., Soupios P., (2008), “Groundwater resource quality in the north-central coastal aquifer of Crete, Greece, from hydrochemical and isotopic analysis” *Proceeding GIRE3D Conference*, Agadir 24-26 march 2010, Morocco.
- Kattan Z., (2001), “Use of hydrochemistry and environmental isotopes for evaluation of groundwater in the Paleogene limestone aquifer of the Ras Al-Ain area (Syrian Jezireh)”, *Journal Environ Geol* 41(1/2):128–144.
- Kendall C., McDonnell J. J., (1998), “Isotope Tracers in Catchment Hydrology”, Elsevier, Amsterdam, 839 p.
- Kenoyer G. J., Bowser C.J., (1992), “Groundwater chemical evolution in a sandy silicate aquifer in northern Wisconsin. 2. Reaction modeling”, *Water Resour Res* 28:591–600.
- Kiraly L., (2002), “Karstification and groundwater flow, in *Evolution of karst: from Prekarst to Cessation*” ZRC SAZU, Postojna-Ljubljana, pp.155-90.
- Kovacs A., Perrochet P., Kiraly L., Jeannin P. Y., (2005), “A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis”, *Journal of Hydrology* 303 (1–4), 152–164.
- Lakey B., Kroth N.C., (1996), “Stable isotopic variation of storm discharge from a perennial karst spring”, *Indiana. Water Resources Reserches*, 32(3): 721-731.
- Hem J.D., (1985), “Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water”, U.S.G.S. Water Supply Paper, p. 2254, 263.
- Langmuir, D., (1971), “The geochemistry of some carbonate ground waters of Central Pennsylvania”, *Geochem., Cosmochim. Acta*, 35, 1023—1045.

- Langmuir D., (1997), “ *Aqueous Environmental Geochemistry*”, Prentice-Hall, Inc. 600pp.
- Lawrence A.R., Lloyd J.W., Marsh J.M., (1976), “*Hydrogeochemistry and groundwater mixing in part of the Lincolnshire limestone aquifer*”, England. Ground Water. V. 14, No, 5, pp. 320-327.
- Mandel S., Gilboa Y., Mercado A., (1972), “*Groundwater flow in calcareous aquifers in the vicinity of Barselona, Spain*” Bolletin of International Association of Hydrological Science, XVII: 77-83.
- Markovic T., Larva O., Mraz V., (2010), “*Integrated hydrochemical assessment of the carbonate aquifer of the Ivanščica Mountain*” XXXVIII IAH Congress, 377:1492-1500.
- Mohammadi Z., and Raeisi E., (2007), “ *Hydrogeological uncertainties in delineation of leakage at karst dam sites, the Zagros Region, Iran*”, Journal of Cave and Karst Studies, vol. 69, no. 3, p. 305–317.
- Mohammadi Z., (2009), “*Assessing hydrochemical evolution of groundwater in limestone terrain via principal component analysis*”, Environ Earth Sci (2009) 59:429–439.
- Mohammadi Z., Field, M., (2009) “*On the Temporal Behavior of Karst Aquifers, zagros Region, Iran: A Geostatistical Approach*” Journal of Cave and Karst Studies, 71(3): 210–226.
- Moral F., Cruz-Sanjulian J.J., Olias M., (2008), “*Geochemical evolution of groundwater in the carbonate aquifers of Sierra de Segura (Betic Cordillera, Southern Spain)*” Journal of Hydrology, 360: 281-296, Doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.012.
- Padilla A., Pulidobosch A., Mangin A., (1994), “*Relative importance of baseflow and quickflow from hydrographs of karst spring*”, Groundwater 32(2): 267-277.
- Neff B.P., Piggott A.R., Sheets R.A., (2006), “*Estimation of shallow groundwater recharge in the Great Lakes Basin*”, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005–5284, 22 p.
- Pavic'ic' A., Terzic' J., Berovic' N., (2006), “*Hydrogeological relations of the Golubinka Karst Spring in Ljubac' Bay, Dalmatia, Croatia*”, Geology Croatia 59:123–135.
- Raeisi E., Pezeshkpoor P., and Moor F., (1993), “*Characteristics of karst aquifer as indicated by temporal changes of the springs physicochemical parameters*” Iranian Journal of Science and Technology, vol. 17, p. 17-28.

- Raeisi E., Karami G., (1996), “*The governing factors of the physicochemical characteristics of Sheshpeer karst spring*” Iran. Carbonate and Evaporates, v. 11, no. 2: 162-169.
- Raeisi E., and Karami G., (1997), “*Hydrochemographs of Berghan Karst Spring as Indicators of Aquifer Characteristics*” Journal of Cave and Karst Studies, 59(3): 112-118.
- Raeisi E., (2004), “*Iran cave and karst*”, in Gunn, J., ed., Encyclopedia of Cave and Karst: New York, Fitzroy Dearborn, p. 460–461.
- Raeisi E., Groves G., Meiman J., (2006), “*Effects of partial and full pipe flow on hydrochemographs of Logsdon river, Mammoth Cave Kentucky USA*”, Journal of Hydrology (2007) 337, 1– 10., Doi:10.1016/j.jhydrol.2006.11.015.
- Raeisi E., (2008), “*Ground-water storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries*”, Journal of Cave and Karst Studies, v. 70, no. 1.: 62-70.
- Reberski J.L., Kapelj S., Terzic J., (2009), “*An estimation of groundwater type and hydrological and hydrogeochemical parameters: a case study of the Gacka river springs*” Geologia Croatica 62/3, Doi: 10.4154/gc.2009.15, p. 157-178.
- Renken R.A., Cunningham K.J., Shapiro A.M., Harvey R.W., Zygnerski M.R., Metge D.W., Wacker M.A., (2008), “*Pathogen and chemical transport in the karst limestone of the Biscayne aquifer: Revised conceptualization of groundwater flow*” Water Resource Research, Vol, 44, W08429, Doi: 10.1029/2007WR006058.
- Romanov D., Gabrovsek F., Dreybrodt W., (2003), “*The impact of hydrochemical boundary conditions on the evolution of limestone karst aquifers*” Journal of Hydrology, 272: 240-253, DOI:10.1016/S0022-1694(03)00058-1.
- Roques, H., (1962), “*Considerations theoriques sur la chimie des carbonates*”, Annales de Speleologie, 17, 1-41, 241-84, 463-7.
- Roques, H., (1964), “*Contribution a l’etude statique et cintique des systems gaz carbonic-eau-carbonate*”, Annales de Speleologie, 19, 255-484.
- Sasman R.T., Ludwigs R.S., Benson C.R., Kirk J.R., (1960), “*Water-level decline and pumpage during 1959 in deep wells in the Chicago region, Illinois*” Illinois State Water Survey Circular 79, 37 p.
- Scanlon B.R., Thraikill J., (1987), “*Chemical similarities among physically distinct spring types in a karst trrain*” Journal Hydrology, 89: 259-279.

- Scanlon, B.R., (1989), “*Physical controls on hydrochemical variability in the Inner Bluegrass Karst Region of Central Kentucky*” Bureau of Economic Geology, the University of Texas at Austin, p. 639-646.
- Scanlon B.R., Mace R.E., Barrett M.E., Smith B., (2003), “*Can we simulate regional groundwater flow in karst system using equivalent porous media models? Case study, Barton Springs Edwards aquifer*” USA., Journal of Hydrology, 276: 137-158.
- Sheets R.A., Dumouchelle D.H., Feinstein D.T., (2005), “*Ground-water modeling of pumping effects near regional ground-water divides and river/aquifer systems—Results and implications of numerical experiments*”, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005–5141, 34 p.
- Sheets R.A., L.A. Simonson, (2006), “*Compilation of Regional Ground-Water Divides for Principal Aquifers Corresponding to the Great Lakes Basin*”, United States, Scientific Investigations Report 2006–5102.
- Shuster E.T., White W.B., (1971), “*Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing aquifers*” Journal of Hydrology, v. 14, p. 93-128.
- Todd D.K., Mays L.W., (2005), “*Groundwater Hydrology*”, John Wiley & Sons, New York, 636p.
- Thrailkil J., (1985), “*Flow in a limestone aquifer as determined from water tracing and water levels in wells*”, Journal of Hydrology, Vol. 78. Pp. 123-136.
- Walton W.C., (1965), “*Ground-water recharge and runoff in Illinois*” Illinois State Water Survey Report of Investigations 48, 55 p.
- White W.B., (1969), “*Conceptual model for carbonate aquifers*”, Ground-Water, v. 7, no. 3: 15-21.
- White W.B., Schmidt V.A., (1966), “*Hydrology of a karst area in East-Central West-Virginia*” Water Resour-Res., v. 2: 549-560.
- White WB. (1988) “*Geomorphology and hydrology of karst Terrainns*” Oxford University Press, Oxford.
- Worthington S.R.H., Davies G.J. and Quinlan J.F., (1992), “*Geochemistry of springs in temperate carbonate aquifers: recharge type explains most of the variation*” Colloque d’Hydrologie en Pays Calcaire et en Milieu Fissure (5<sup>th</sup>, Neuchatel, Switzerland), Proceedings, Annales Sientifiques de l’Universite de Besancon, Geology-Memoires Hors Serie, 11: 341-347.

- Wu P., Tang C., Zhu L., Liu C., Cha X., Tao X., (2009), “*Hydrogeochemical characteristics of surface water and groundwater in the karst basin, southwest China*” Hydrological Processes, John Wiley & Sons, Ltd, Doi: 10.1002/hyp.7332.
- Yanxin W., Qinghai G., Chunli S., Teng M., (2006), “*Strontium isotope characterization and major ion geochemistry of karst water flow, Shentou, northern China*” Journal of Hydrology 328: 592– 603.

## **Abstract**

In recent decades protection and proper management of water resources in karstic aquifers has been considered because of their important role in providing drinking water. The purpose of this study is the investigation of the presence or lack of hydraulic connection between the Emam-Gheis karstic spring and drinking water wells of Shahreza. In this study, hydrogeology, hydrogeochemistry and isotopic investigations are done in the catchment area of Emam Gheis karstic spring and water wells.

To determine the catchment area of Emam-Gheis spring firstly, according to geology and geomorphology conditions the probable catchment area was drawn. Then, according to hydrogeologic conditions and karst development, the penetration index was estimated at 60 percent. According to the volume of dynamic recharge of spring in this water year, which is estimated about  $2.4 \text{ Mm}^3$ , primary calculated catchment area was corrected.

To investigate spring and wells hydrogeochemical properties, their physicochemical properties were measured. Also for hydrogeochemical analyses, sampling were carried out 14 times from spring and seven times from wells. The results show that the electrical conductivity in spring is significantly lower than wells. Also, the major ion concentrations and ion ratios in spring and water wells show significant differences.

Stable isotope analyses of spring and nearest wells water samples, sampled simultaneously, showed that the spring water sample is heavier than well water samples. Therefore, the ground water flow from spring toward wells seems unlikely.

**Keywords:** Emam-Gheis Karst aquifer, Emam-Gheis karst spring, Shahreza drinking water wells, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Stable isotopes.



Shahrood University Of Technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Enviromental Geology Group

M.Sc. Thesis

Investigating the presence or lack of hydraulic connection  
Between catchment area of karst Emam-Gheis spring  
(Chaharmahal and Bakhtiari) and adjacent aquifers

**Roghaye Khosravi Savadejani**

Supervisor:  
Dr. G.H. Karami

Advisor:  
Dr. A.A. Taheri

June 2011