

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین  
گروه آبشناسی

عنوان پایان نامه ارشد:

بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های  
کارستی پالنگان، کردستان

دانشجو:

زینب آقائی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر رمضان رضانی اومالی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

## دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم

گروه : آبشناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زینب آقائی

تحت عنوان:

بررسی هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان، کردستان

در تاریخ ۱۳۸۹/۲/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر رمضان رضانی اومالی		نام و نام خانوادگی : دکتر غلامحسین کرمی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر فرج الله فردوست		نام و نام خانوادگی دکتر غلامعباس کاظمی
			نام و نام خانوادگی : دکتر فرامرز دولتی ارده جانی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به

پدر، مادر آنان که بزرگترین حامیان زندگییم بودند.

و همسر عزیزم.

## تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ را سپاس می‌گوییم که به اینجانب توفیق داد تا بتوانم این تحقیق را به پایان برسانم و خدمتی هر چند ناچیز به جامعه علمی کشور تقدیم نمایم. بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ و بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر کرمی که در تهیه و تکمیل این پروژه راهنمایی‌های بسیار زیادی نمودند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر رضانی استاد مشاورم که راهنمایی‌های ارزنده به اینجانب نمودند کمال تشکر را دارم. از همکاری صمیمانه برادران عزیزم پیمان و بهنام که در کارهای صحرایی سختی‌های زیادی را تحمل کرده‌اند متشکرم. از تمامی کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای کردستان، در بخش مطالعات آب‌های زیرزمینی و آزمایشگاه آب، از خانم مهندس بهزادی نسب که کمک‌های زیادی نموده‌اند نیز نهایت تشکر و قدردانی را دارم. از تمامی اساتید و کارکنان محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نهایت قدردانی را دارم. همچنین از کلیه کسانی که به اینجانب در انجام این پروژه کمک کرده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

دانشجو تأیید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

## چکیده

منطقه پالنگان شامل بخشی از کوه‌های شاهو بوده که در ۵۵ کیلومتری شمال غربی شهر کامیاران (کردستان) واقع شده است. این کوه‌ها در نوار مشخصی از سنگ‌های ژوراسیک- کرتاسه و اولیگومیوسن قرار گرفته‌اند که از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی در بخش زاگرس مرتفع قرار می‌گیرد. جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها شامل هدایت الکتریکی، اسیدیت، آبدهی، درجه حرارت، مقدار دی‌اکسید کربن محلول، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در طی یک سال اندازه‌گیری گردید. علاوه بر این، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رودخانه تنگیور همزمان با چشمه‌ها اندازه‌گیری گردید. در مطالعات صورت گرفته بر روی شیمی آب چشمه‌ها مشخص گردید که ضریب تغییرات پارامترهای مورد مطالعه زیاد بوده است که بیانگر غالب بودن جریان مجرای در کارست‌های منطقه می‌باشد، تغییرات دبی به عنوان یک پارامتر مهم بسیار زیاد بوده و ضریب تغییرات آن ۸۲٪ می‌باشد، شاخه نزولی هیدروگراف دارای دو شیب  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  می‌باشد که به ترتیب برابر با  $2.8 \times 10^{-2}$  و  $8.1 \times 10^{-3}$  می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار  $\alpha_1$  بسیار بزرگ است که بیانگر تخلیه سریع می‌باشد و دلیل آن وجود مجاری بزرگ در سفره کارستی منطقه است. ضریب تغییرات دمای آب و هدایت الکتریکی در چشمه‌های مورد مطالعه نیز همانند با ضریب تغییرات بده بالا می‌باشد که همگی بیانگر مجرائی بودن سیستم کارستی می‌باشند. مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی پالنگان حدود ۲۱۹ کیلومتر مربع برآورد شده است. از ویژگی‌های این حوضه وجود دره‌های کارستی، فروچاله‌های فراوان در ارتفاعات و دشت‌های کارستی می‌باشد.

کلمات کلیدی: کارست، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، پالنگان، رودخانه تنگیور، سیستم مجرای.

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

آقائی ز،، کرمی غ،، و رمضانی اومالی ر. (۱۳۸۸) " بررسی کیفی رودخانه تنگیور، پالنگان، کردستان " کنفرانس بین المللی منابع آب با رویکرد منطقه‌ای ، دانشگاه صنعتی شاهرود.

آقائی ز،، کرمی غ،، و رمضانی اومالی ر. (۱۳۸۸) " بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمایی چشمه‌های کارستی پالنگان " بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین ، تهران.



## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسئله ..... ۱
- ۲-۱- هدف از مطالعه ..... ۲
- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه ..... ۴
- ۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- ۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۸
- ۱-۵-۱-۱- واحدهای ژوراسیک- کرتاسه ..... ۸
- ۱-۵-۱-۲- واحدهای کرتاسه بالایی- پالئوسن آغازی ..... ۹
- ۱-۵-۱-۳- واحدهای پالئوسن- ائوسن ..... ۱۰
- ۱-۵-۱-۴- واحدهای الیگوسن پایانی- میوسن ..... ۱۰
- ۱-۵-۱-۵- واحدهای کواترنری ..... ۱۱
- ۲-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ..... ۱۲
- ۶-۱- ژئومورفولوژی منطقه ..... ۱۵
- ۷-۱- هیدرولوژی منطقه ..... ۱۵
- ۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه ..... ۱۶

### فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته در سازندهای کارستی

- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۸
- ۲-۲- تعریف کارست ..... ۱۹
- ۳-۲- نفوذ در کارست ..... ۱۹
- ۴-۲- ارتباط تکتونیک با کارست ..... ۲۱
- ۵-۲- خصوصیات چشمه‌های کارستی ..... ۲۲
- ۶-۲- حوضه آبگیر در چشمه‌های کارستی ..... ۲۴
- ۷-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب در سفره‌های کربناته ..... ۲۵

### فصل سوم: روش انجام مطالعات

- ۱-۳- مقدمه ..... ۳۱

۳۲	۲-۳- تهیه نقشه زمین شناسی منطقه .....
۳۲	۳-۳- اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه های پالنگان .....
۳۲	۱-۳-۳- نمونه برداری .....
۳۳	۲-۳-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری .....
۳۳	الف) اندازه گیری دبی چشمه ها .....
۳۴	ب) اندازه گیری درجه حرارت .....
۳۴	ج) اندازه گیری هدایت الکتریکی .....
۳۴	د) اندازه گیری اسیدیته .....
۳۶	ه) اندازه گیری دی اکسید کربن محلول در آب .....
۳۷	۳-۳-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه .....
۳۷	الف) درصد خطای آزمایش .....
۳۸	ب) نسبت جذب سدیم .....
۳۸	ج) درصد سدیم .....
۳۸	د) سختی کل .....
۳۹	ه) قلیائیت .....
۳۹	و) کل جامد محلول .....
۳۹	۴-۳- تعیین محدوده حوضه آبرگیر چشمه های مورد مطالعه .....

### فصل چهارم: تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه های پالنگان

۴۱	۱-۴- مقدمه .....
۴۱	۲-۴- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه گیری شده .....
۴۲	۱-۲-۴- تغییرات زمانی دبی چشمه ها .....
۴۲	الف) منحنی فرود و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی لایه آبدار .....
۴۵	۲-۲-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب چشمه ها .....
۴۷	الف) رابطه هدایت الکتریکی و دبی .....
۴۷	۳-۲-۴- تغییرات زمانی اسیدیته آب چشمه ها .....
۴۹	۴-۲-۴- تغییرات زمانی دی اکسید کربن محلول در آب چشمه ها .....
۵۰	۵-۲-۴- تغییرات زمانی درجه حرارت آب چشمه ها .....
۵۱	۶-۲-۴- تغییرات زمانی کاتیون ها و آنیون های اصلی .....
۵۵	۳-۴- بررسی مقادیر پارامترهای محاسبه شده .....
۵۶	۱-۳-۴- نسبت کلسیم به منیزیم .....
۵۷	۲-۳-۴- کل مواد محلول جامد در آب .....

۵۸	..... ۳-۳-۴ سختی کل
۵۹	..... ۴-۳-۴ درصد سدیم و نسبت جذب سدیم
۵۹	..... ۵-۳-۴ نسبت سدیم به مجموع کاتیون ها و نسبت کلر به مجموع آنیون ها
۶۲	..... ۴-۴ محاسبه شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت
۶۴	..... ۵-۴ بررسی زون های غالب یونی آب چشمه‌ها با استفاده از نمودار پایپر
۶۵	..... ۶-۴ بررسی تیپ آب چشمه‌ها با استفاده از دیاگرام استیف
۶۷	..... ۷-۴ بررسی کیفیت آب چشمه‌ها از نظر کشاورزی
۶۸	..... ۸-۴ بررسی کیفیت آب چشمه‌ها از نظر شرب

### فصل پنجم: تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رودخانه تنگیور

۷۱	..... ۱-۵ مقدمه
۷۱	..... ۲-۵ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور
۷۵	..... ۳-۵ تغییرات زمانی اسیدیته آب رودخانه تنگیور
۷۷	..... ۴-۵ تغییرات زمانی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی
۷۸	..... ۵-۵ بررسی زون‌های غالب یونی آب رودخانه با استفاده از نمودار پایپر
۷۹	..... ۶-۵ بررسی تیپ آب رودخانه با استفاده از دیاگرام استیف
۸۰	..... ۷-۵ بررسی کیفیت آب رودخانه از نظر کشاورزی
۸۱	..... ۸-۵ تغییرات زمانی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی چشمه‌ها و رودخانه
۸۱	..... ۱-۸-۵ یون‌های غالب در نمونه‌های آب
۸۱	..... ۲-۸-۵ تغییرات برخی از نسبت‌های یونی بین چشمه‌ها و رودخانه
۸۱	..... الف) تغییرات $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$ با $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$
۸۳	..... ب) تغییرات $[NO_3^-]/[HCO_3^-]$ با $[Cl^-]/[HCO_3^-]$
۸۴	..... ج) تغییرات $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$ با $[Cl^-]/[HCO_3^-]$
۸۵	..... د) تغییرات $[Na]/[HCO_3^-]$ با $[K]/[HCO_3^-]$

### فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۸۶	..... ۱-۶ مقدمه
۸۷	..... ۲-۶ تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها
۸۷	..... ۳-۶ تغییرات زمانی دبی هدایت الکتریکی
۸۸	..... ۴-۶ تغییرات زمانی درجه حرارت
۸۸	..... ۵-۶ نوع جریان در سفره‌های کارستی منطقه پالنگان
۸۹	..... ۶-۶ لیتولوژی در سفره‌های کارستی پالنگان

۶-۷- ارتباط بین رودخانه تنگیور و چشمه‌های پالنگان ..... ۸۹

۶-۸- تعیین نرخ نفوذ در منطقه ..... ۸۹

۶-۹- پیشنهادها ..... ۹۰

منابع ..... ۹۱

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ..... ۳
- شکل ۱-۲- نمایی از چشمه‌های پالنگان ..... ۴
- شکل ۱-۳- نمایی از رودخانه تنگیور ..... ۴
- شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۷
- شکل ۱-۵- نقشه گسل‌های منطقه پالنگان ..... ۱۴
- شکل ۱-۲- حوضه آبگیر چشمه کارستی بیولاز (یوگسلاوی) ..... ۲۵
- شکل ۲-۲- سیستم‌های جریان کارستی ..... ۲۷
- شکل ۱-۳- اندازه‌گیری دبی در کانال بتونی ..... ۳۵
- شکل ۲-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی چشمه‌ها ..... ۳۵
- شکل ۳-۳- اندازه‌گیری اسیدیته چشمه‌ها ..... ۳۶
- شکل ۴-۳- محدوده حوضه آبگیر پالنگان ..... ۴۰
- شکل ۱-۴- هیدروگراف چشمه‌های پالنگان از مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸ ..... ۴۲
- شکل ۲-۴- منحنی فرود چشمه‌های پالنگان از مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸ ..... ۴۴
- شکل ۳-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ..... ۴۶
- شکل ۴-۴- رابطه تغییرات زمانی دبی- هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان ..... ۴۷
- شکل ۵-۴- روند تغییرات اسیدیته آب چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ..... ۴۸
- شکل ۶-۴- روند تغییرات  $pH - CO_2$  چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ..... ۴۹
- شکل ۷-۴- روند تغییرات  $pH - (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  چشمه‌های پالنگان ..... ۴۹
- شکل ۸-۴- روند تغییرات اسیدیته و درجه حرارت چشمه‌های پالنگان ..... ۴۹
- شکل ۹-۴- تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌های پالنگان ..... ۵۰
- شکل ۱۰-۴- روند تغییرات درجه حرارت آب چشمه‌های پالنگان ..... ۵۱
- شکل ۱۱-۴- روند تغییرات هدایت الکتریکی با سدیم و کلر چشمه‌های پالنگان ..... ۵۴
- شکل ۱۲-۴- روند تغییرات هدایت الکتریکی با کلسیم و منیزیم چشمه‌های پالنگان ..... ۵۴
- شکل ۱۳-۴- روند تغییرات هدایت الکتریکی با بی‌کربنات و سولفات چشمه‌های پالنگان ..... ۵۴
- شکل ۴-۱۴- رابطه بین کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی در چشمه‌های پالنگان ..... ۵۷
- شکل ۴-۱۵- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها چشمه‌های پالنگان ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۶- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها چشمه‌های پالنگان ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۷- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها با تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان ..... ۶۰

- شکل ۴-۱۸- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها با تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۹- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها با تغییرات دبی چشمه‌های پالنگان ..... ۶۱
- شکل ۴-۲۰- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها با تغییرات دبی چشمه‌های پالنگان ..... ۶۱
- شکل ۴-۲۱- تغییرات شاخص اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت در چشمه شیخ علاءالدین ..... ۶۲
- شکل ۴-۲۲- تغییرات شاخص اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت در چشمه سرحوض ..... ۶۲
- شکل ۴-۲۳- دیاگرام پایپر چشمه شیخ علاءالدین ..... ۶۴
- شکل ۴-۲۴- دیاگرام پایپر چشمه شیخ سرحوض ..... ۶۵
- شکل ۴-۲۵- دیاگرام استیف چشمه شیخ علاءالدین ..... ۶۶
- شکل ۴-۲۶- دیاگرام استیف چشمه سرحوض ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۷- نمودار ویلکاکس چشمه شیخ علاءالدین ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۸- نمودار ویلکاکس چشمه سرحوض ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۹- نمودار شولر چشمه شیخ علاءالدین ..... ۷۰
- شکل ۴-۳۰- نمودار شولر چشمه سرحوض ..... ۷۰
- شکل ۵-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور ..... ۷۲
- شکل ۵-۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۶ ..... ۷۲
- شکل ۵-۳- رابطه تغییرات زمانی دبی- هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور ..... ۷۴
- شکل ۵-۴- تغییرات هدایت الکتریکی با میزان بارندگی برای رودخانه تنگیور ..... ۷۵
- شکل ۵-۵- روند تغییرات اسیدیته آب رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ..... ۷۶
- شکل ۵-۶- روند تغییرات اسیدیته آب رودخانه تنگیور در یک دوره ۱۵ ساله ..... ۷۶
- شکل ۵-۷- دیاگرام پایپر رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸ ..... ۷۸
- شکل ۵-۸- دیاگرام استیف رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸ ..... ۷۹
- شکل ۵-۹- دیاگرام شولر رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸ ..... ۸۰
- شکل ۵-۱۰- تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۱- تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۲- تغییرات  $[NO_3^-]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۳- تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور ..... ۸۳

- شکل ۵-۱۴ - تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۵ - تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۶ - تغییرات  $[Na]/[HCO_3^-]$  با  $[K]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۷ - تغییرات  $[Na]/[HCO_3^-]$  با  $[K]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور ..... ۸۵

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و درجه حرارت در ایستگاه‌های پالنگان و کامیاران ..... ۵
- جدول ۱-۲- طبقه بندی اقلیمی بر اساس رابطه دمارتن ..... ۶
- جدول ۱-۳- گسل‌های رورانده و نرمال منطقه پالنگان ..... ۱۳
- جدول ۱-۲- ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در دو چشمه افشان و مجرایبی ..... ۲۸
- جدول ۱-۴- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه‌های پالنگان ..... ۴۶
- جدول ۲-۴- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه شیخ علاءالدین بر حسب ppm ..... ۵۲
- جدول ۳-۴- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه سرحوض بر حسب ppm ..... ۵۲
- جدول ۴-۴- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه شیخ علاءالدین بر حسب epm ..... ۵۳
- جدول ۵-۴- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه سرحوض بر حسب epm ..... ۵۳
- جدول ۶-۴- سایر پارامترهای محاسبه شده چشمه‌ها ..... ۵۵
- جدول ۷-۴- سایر پارامترهای محاسبه شده چشمه‌ها ..... ۵۶
- جدول ۸-۴- طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل (Todd 1980) ..... ۵۸
- جدول ۹-۴- شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت برای چشمه‌های پالنگان ..... ۶۳
- جدول ۱-۵- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل رودخانه تنگیور ..... ۷۳
- جدول ۲-۵- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه رودخانه تنگیور ..... ۷۳
- جدول ۳-۵- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی رودخانه تنگیور بر حسب ppm ..... ۷۷
- جدول ۴-۵- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی رودخانه تنگیور بر حسب epm ..... ۷۷





# فصل اول : مقدمه

## ۱-۱- بیان مسأله

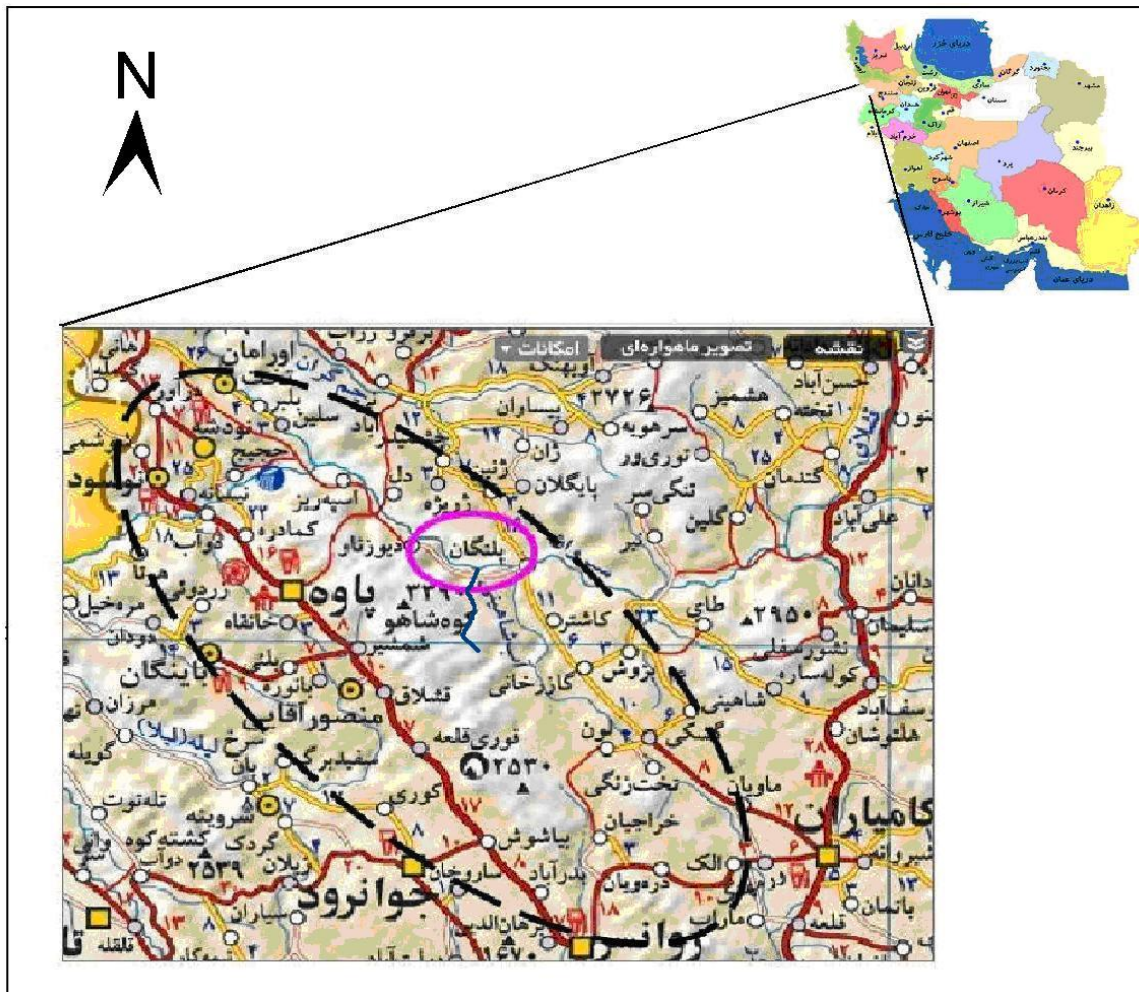
سنگ‌های کربناته (آهک، دولومیت و گچ‌ها) به خصوص سنگ‌های آهکی، سفره‌های کارستی مهمی را تشکیل می‌دهند. این قبیل سفره‌ها آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را فراهم می‌آورند (Ford and Williams 1989). درصد قابل توجهی از سنگ‌های رسوبی جهان را سنگ‌های کربناته تشکیل می‌دهند. در ایران حدود ۱۱ درصد سازندها را سنگ‌های کربناته تشکیل می‌دهد که این مقدار در کوه‌های زاگرس به حدود ۵۰ درصد بالغ می‌گردد (کرمی ۲۰۰۲). منطقه پالنگان در شمال غربی شهرستان کامیاران در استان کردستان قرار دارد و دارای آب و هوایی نیمه مرطوب می‌باشد. این منطقه بخشی از کوه‌های کارستی شاهو محسوب می‌شود به دلیل وسعت زیاد حوضه آبرگیر و نرخ تغذیه زیاد چشمه‌های بزرگی در منطقه وجود دارد که چشمه‌های کارستی پالنگان (سرحوض و شیخ علاءالدین) از مهمترین آن‌ها می‌باشد. عمده‌ترین رسوبات تشکیل دهنده این کوه‌ها از سازندهای آهکی ژوراسیک- کرتاسه معروف به سازند بیستون می‌باشد. رودخانه دائمی تنگیور از چشمه‌های آهکی دره تنگیور منشأ می‌گیرد و پس از گذشتن از روستای پالنگان به رودخانه سیروان ملحق می‌شود که آب آن بر اثر ورود فاضلاب‌های روستا و پساب استخرهای پرورش ماهی آلوده می‌شود. تاکنون مطالعه و تحقیقی پیرامون خصوصیات کمی و کیفی سفره کارستی منطقه پالنگان صورت نگرفته است، لذا به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان مطالعه و تحقیقی در محدوده کوه‌های شاهو صورت گرفته است تا خصوصیات کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی منطقه پالنگان مشخص شود.

## ۲-۱- هدف مطالعه

با نگاهی به تحقیقات انجام شده در منطقه کارستی شاهو، ملاحظه می‌شود که تاکنون مطالعه هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی جامعی در این منطقه کارستی مهم انجام نشده است. بنابراین، هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان به منظور بررسی منشأ و نوع جریان در این چشمه‌ها می‌باشد. برای نیل به این هدف، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های پالنگان و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رودخانه تنگیور (که از کارست‌های منطقه سرچشمه می‌گیرد) به مدت یک سال به صورت ماهانه اندازه‌گیری شده است (از مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸).

## ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

چشمه‌های کارستی پالنگان در محدوده شمال شرق کوه‌های شاهو در استان کردستان ظاهر شده‌اند. کوه‌های شاهو در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی واقع شده‌اند. این منطقه کوهستانی، که یک منطقه کارستی توسعه یافته می‌باشد، دارای وسعتی حدود ۷۵۰ کیلومتر مربع بوده و ارتفاع بلندترین قله آن ۳۳۲۰ متر می‌باشد. چشمه‌های کارستی مهمی از کوه‌های کارستی شاهو منشأ می‌گیرند که مهمترین آن‌ها شامل چشمه‌های تلوکسان و فلوز (واقع در روستای دیوزناو)، پالنگان، بل و روانسر می‌باشد. منطقه پالنگان در ۵۵ کیلومتری شمال غربی کامیاران (کردستان) با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالته کامیاران- پالنگان امکان پذیر می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. در شکل (۱-۲) نمایی از چشمه‌های پالنگان به نمایش در آمده است. رودخانه تنگیور که از بین چشمه‌های پالنگان و از وسط روستای پالنگان عبور می‌کند، از ارتفاعات منطقه سرچشمه می‌گیرد و منشأ اصلی آن چشمه-های پالنگان و آب‌های کارستی است که به این رودخانه تخلیه می‌شوند. این رودخانه پس از عبور از روستای پالنگان به رودخانه سیروان ملحق می‌شود و سپس وارد خاک عراق می‌شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن



شکل ۱-۲- نمایی از چشمه‌های پالنگان (سمت راست: چشمه سرحوض، سمت چپ: چشمه شیخ علاءالدین)



شکل ۱-۳- نمایی از رودخانه تنگیور

## ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی آب و هوای منطقه از متوسط ماهانه بارندگی در ایستگاه پالنگان با ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و متوسط درجه حرارت ایستگاه کامیاران با ارتفاع ۱۴۹۰ متر استفاده شده است (جدول ۱-۱). بر اساس دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۵۵) متوسط بارندگی ماهانه بین ۱ میلی متر در شهریور ماه تا ۸۸/۷ میلی متر در بهمن ماه متغیر است. متوسط ماهانه درجه حرارت هوا در دوره آماری سه ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۶) بین ۰/۶ - در بهمن ماه تا ۲۷/۹ درجه سانتی گراد در مرداد ماه می باشد. دمارتن (De Martonne) جهت تعیین اقلیم فرمول زیر را پیشنهاد نموده است (علیزاده و امیر احمدی ۱۳۸۲، نقل از خسروپناه ۱۳۸۷):

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

که در این رابطه  $P$  متوسط بارندگی سالانه (میلی متر) و  $T$  متوسط دمای سالانه ( $^{\circ}\text{C}$ ) است و  $I$  ضریب خشکی دمارتن می باشد. در منطقه پالنگان  $I$  برابر با ۲۴/۸ می باشد بر این اساس منطقه پالنگان دارای آب و هوایی نیمه مرطوب می باشد. بر اساس فرمول دمارتن ۶ نوع آب و هوا به شرح زیر طبقه بندی شده- اند (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۱- میانگین بارندگی (۱۳۵۵-۱۳۸۵) و درجه حرارت (۱۳۸۴-۱۳۸۶) در ایستگاه‌های پالنگان و کامیاران

زمان (ماه)	بارندگی ماهانه (بر حسب میلی متر)	متوسط درجه حرارت ماهانه (بر حسب درجه سانتی گراد)
فروردین	۸۶/۳	۱۰/۵
اردیبهشت	۵۵/۴	۱۵/۳
خرداد	۱۸/۹	۲۱/۱
تیر	۴/۵	۲۵/۹
مرداد	۱۰	۲۷/۹
شهریور	۱	۲۳/۶
مهر	۲۶/۱	۱۸/۲
آبان	۵۶/۲	۱۰/۸
آذر	۷۷/۳	۵/۴
دی	۷۵/۱	-۱/۶
بهمن	۸۸/۷	-۰/۶
اسفند	۸۵/۴	۶/۹

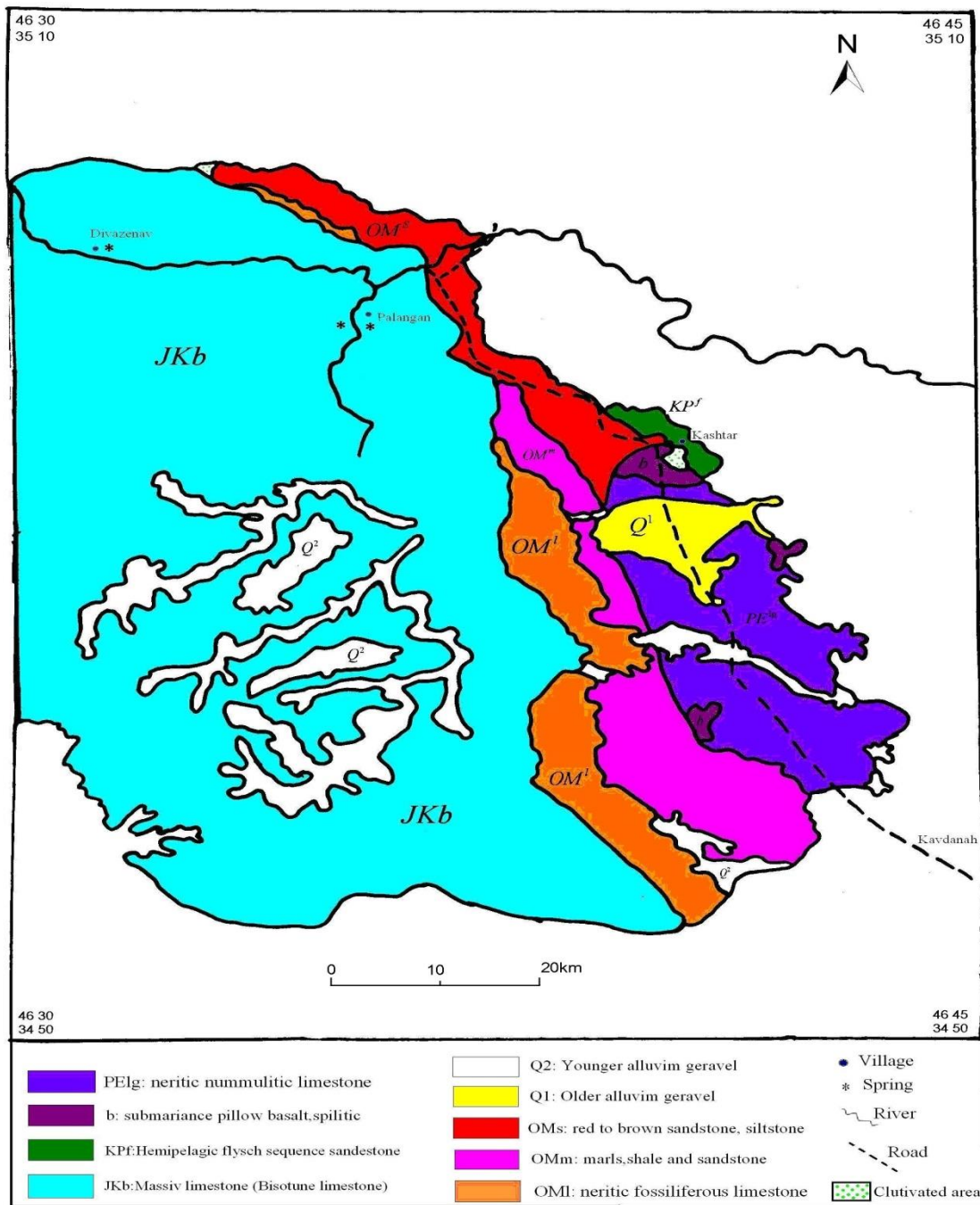
جدول ۲-۱ طبقه بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده و امیر احمدی ۱۳۸۲، نقل از خسروپناه ۱۳۸۷)

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

## ۱-۵- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

جایگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بخشی از رشته کوه‌های زاگرس به حساب می‌آید. مختصری در باره این رشته کوه‌ها ارائه می‌گردد:

بازشدن دریای سرخ موجب حرکت رو به شمال شرق صفحه عربی شده است. در اثر این حرکت برخوردی از نوع قاره‌ای- قاره‌ای بین صفحه عربی و ایران صورت گرفته است که این برخورد کماکان ادامه دارد. نتیجه این برخورد چین خوردگی، راندگی، کوتاه شدگی، ضخیم شدگی و برآمدگی مجموعه زاگرس در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی شده است. زاگرس از نظر الگوی ساختاری از شمال شرق به جنوب غرب شامل زون راندگی‌ها، کمربند چین خورده، فرو افتادگی دزفول و دشت آبادان می‌باشد (آقانباتی ۱۳۸۳). منطقه مورد نظر در زون زاگرس مرتفع یا زاگرس رورانده قرار گرفته است. پهنای زون زاگرس مرتفع بین ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر می‌باشد. مرز شمال شرقی زاگرس مرتفع به راندگی اصلی زاگرس و مرز جنوب غربی با یک راندگی مهم بسته می‌شود که از شمال کوه کی‌نو و جنوب دهنگان و کوه سبزو می‌گذرد. یکی از ویژگی‌های زاگرس مرتفع، وجود راندگی‌های فراوان است. شیب راندگی‌ها به سوی شمال شرقی است ولی مقدار جابجایی آن‌ها به خوبی مشخص نیست و تنها با راندگی سنگ‌های کامبرین بر روی ردیف‌های پلیوسن می‌توان به تصوری از مقدار جابجایی دست یافت (مطیعی ۱۳۷۴، نقل از آقانباتی ۱۳۸۳). با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تیژتیز و ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه شده است. شکل (۱-۴) نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. با عنایت به نقشه مزبور خصوصیات چینه‌شناسی و ساختاری منطقه به طور مختصر ارائه می‌شوند:



شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی بخش شمال غربی کوه‌های شاهو (برگرفته از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران و تیژتیژ)

### ۱-۵-۱- چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

اشاره شد که منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع واقع شده است. با عنایت به نقشه زمین شناسی منطقه واحدهای سنگی مهمی که در منطقه، رخنمون دارند از قدیم به جدید شامل واحدهای آهکی ژوراسیک- کرتاسه، واحدهای کرتاسه- پالئوسن، پالئوسن- ائوسن، الیگوسن- میوسن و



کواترنری می‌باشند. خصوصیات چینه نگاری این واحدها به شرح زیر است (برگرفته از نقشه‌های زمین شناسی منطقه):

#### ۱-۵-۱-۱- واحد ژوراسیک - کرتاسه

##### واحد آهک بیستون ( $Jk_b$ )

این واحد سنگی تنها شامل آهک است. پایین‌ترین لایه‌ها از آهک‌های زرد رنگ مایل به سفید و دانه‌های ریز تشکیل شده است. لایه‌های زیرین این بخش به شدت خرد و شکسته شده و با شکاف‌هایی که با کلسیت پر شده‌اند، همانند لایه‌های آواری، به نظر می‌رسند که دارای قطعات گوشه‌داری از یک آهک بلورین می‌باشند. آهک‌های توده‌ای را آهک‌های چینه‌ای می‌پوشانند که در میان چین‌های آن‌ها لایه‌های مارنی جای گرفته است و بخش بالایی این قسمت از دولومیت‌های خاکستری و آهک‌های دولومیتی خاکستری روشن تشکیل شده است که با چین‌های ضخیمی از آهک‌های سفید رنگ پایان می‌یابد در این واحد سنگی تقسیماتی به شرح زیر صورت گرفته است.

##### - تریاس بالایی

این لایه با یک همبری غیرعادی بر روی رادیولاریت‌های کرمانشاه قرار گرفته است. این واحد زیرین شامل ۳۰۰ متر آهک با لایه‌بندی ضخیم در پائین و آهک‌های توده‌ای در بالا است.

##### - ژوراسیک زیرین - میانی

بر روی آهک‌های تریاس بالا، ردیف‌های دولومیتی پدیدار می‌شود که به وسیله لایه‌های آهکی دنبال می‌شوند. این آهک‌ها در آغاز لایه لایه بوده و سپس تبدیل به طبقات توده‌ای می‌شوند. در این لایه‌ها رخساره‌های سنگریزه‌ای دانه‌ای (الیتی) و بیوآواری فراوانی قرار دارد. این سنگ‌ها نشان دهنده سن ژوراسیک زیرین - میانی (لیاس - دوگر) بوده و ضخامت آن به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌رسد.

##### - ژوراسیک بالائی

ردیف‌های آهکی این واحد با دگرشیمی قابل رویت به صورت آهک‌های ضخیمتری رو به بالا ادامه می‌یابد. رخساره سنگ شناسی این آهک‌ها تناوبی از آهک بیواسپاریت و آهک‌های ریز دانه (میکریت) است و دارای فسیل‌هایی چون دوکفه‌ای‌ها، روزنه‌داران بنتونیک و شکم‌پایان است.

#### - کرتاسه زیرین

نهشته‌های ژوراسیک بالا به طور تدریجی به کرتاسه زیرین تبدیل می‌شوند. این مجموعه دیواره‌ای به ارتفاع ۲۵۰۰ متر را می‌سازد که برجستگی‌های ضخیم و اصلی واحد آهک‌های بیستون را تشکیل می‌دهد. همه این مجموعه‌ها به صورت آهک‌های ریز دانه (بیومیکریت) با چینه‌های ضخیم همراه با افق‌هایی از آهک‌های درشت دانه‌تر است.

#### - کرتاسه بالائی

این افق‌ها، بالاترین بخش آهک‌های بیستون را تشکیل می‌دهد که با دگرشیمی کاملاً آشکاری به وسیله آهک‌های اولیگومیوسن پوشیده شده است.

### ۱-۵-۱-۲- واحدهای کرتاسه بالایی - پالئوسن آغازی

#### الف) توالی فلیشی ( $KP^f$ )

این واحد مجموعه بسیار متنوعی از سنگ‌های آهکی، ماسه سنگی، شیلی، کنگلومرایی، سنگ‌های آتشفشانی- آواری و مقداری گدازه را شامل می‌شود. این سنگ‌ها به شدت چین خورده و گسلی هستند و لایه‌بندی به طور عمده درهم ریخته‌ای را نشان می‌دهند. آثار محیط‌های توریدیتی نظیر ریزش‌های زیردریایی و حالت برشی و درهم ریخته رسوبات آهکی به وضوح قابل مشاهده‌اند. بدین ترتیب این مجموعه یک رخساره فلیشی است که کمی دگرگون شده است و شیل‌ها به صورت اسلیت و فیلیت درآمد و سنگ‌های آهکی تبلوری دوباره را تحمل کرده‌اند که در حد آغاز رخساره شیست سبز می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی- آواری به صورت میان لایه‌های کم ضخامت ظاهر می‌شوند.

#### ب) بازالت (b)

این واحد به طور کلی سنگ‌هایی را شامل می‌شود که دارای ترکیب بازالتی‌اند. بافت و ساخت این سنگ‌ها نشان از فوران آن‌ها در یک محیط آبی دارد. این بازالت‌ها در گستره وسیعی رخنمون دارند و با سنگ‌های مختلفی همجواری دارند. ساخت بالشی یکی از ساخت‌های آشکار و پایدار این بازالت‌ها است. کانی‌های اصلی این بازالت‌ها شامل الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز کلسیک می‌باشد. درجه دگرگونی در حد رخساره شیبست سبز است که با یک دگرشکلی ضعیف همراه است. آهک‌های قرمز بیومیکریتی به سن سنومانین- دانین این بازالت‌ها را می‌پوشاند. مجموعه این سنگ‌ها توسط آهک‌های قرمز و خاکستری دارای سنگواره پالئوسن پایانی- ائوسن میانی ( $PE^l$ ) پوشیده شده و قطعاتی از آن‌ها در واحدهای زیر این آهک‌ها دیده می‌شوند. بنابراین سن ائوسن را برای این واحد در نظر می‌گیرند.

#### ۱-۵-۱-۳- واحد پالئوسن - ائوسن

##### واحد ( $PE^{lg}$ )

این واحد شامل مجموعه‌ای از آهک‌های خاکستری رنگ است که به طور عمده توده‌ای سنگواره‌دار می‌باشند که واحد b را می‌پوشاند. مرز زیرین این واحد با بازالت‌های زیردریایی واضح و مشخص است و قطعاتی از بازالت‌ها در آهک‌های بخش قاعده‌ای این واحد دیده می‌شود. سن این واحد پالئوسن پایانی تا ائوسن پایانی است.

#### ۱-۵-۱-۴- واحدهای اولیگوسن پایانی - میوسن

این واحد با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی واحد آهکی بیستون قرار گرفته است که از سه واحد جداگانه زیر تشکیل شده است:

##### الف) واحد آهکی ( $OM^l$ )

این واحد آهک‌های کرم رنگ متوسط لایه تا ضخیم لایه سنگواره‌دار را شامل می‌شود که به گونه‌ای دگرشیب و با یک کنگلومرای قاعده‌ای کم ضخامت بر روی آهک‌های بیستون قرار می‌گیرد. شیب

طبقات این واحد به ۳۰ درجه می‌رسد. ماکروفسیل‌های بزرگی از مرجان‌ها، خارپوستان و دوکفه‌ای‌ها در این واحد دیده می‌شود. اندازه بعضی از این مرجان‌ها به بیش از یک متر می‌رسد. اکینولامپا و پکتن از ماکروفسیل‌های بارز این واحد هستند. سن اولیگوسن پایانی - میوسن آغازی به این واحد نسبت داده می‌شود. این واحد آهکی را معادل سازند قم می‌توان به شمار آورد.

### ب) واحد مارنی ( $OM^m$ )

این واحد مارن و ماسه سنگ‌های سبز و قرمز با میان لایه‌هایی از سنگ آهک‌های مارنی کرم رنگ سنگواره‌دار را شامل می‌شود. این واحد دارای شیب کم است و آهک‌های معادل سازند قم را می‌پوشاند و به صورت نواری با راستای کلی NW-SE رخنمون دارد. سن این واحد الیگومیوسن - میوسن می‌باشد.

### ج) واحد ماسه سنگی ( $OM^s$ )

این زیر واحد سنگی از ماسه سنگ، سیلتستون‌های قرمز تا قهوه‌ای تشکیل شده است و به طور فرعی مادستون و شیل همراه آنها دیده می‌شود.

## ۱-۵-۱-۵- واحدهای کواترنری

### الف) واحد ( $Q^1$ )

این واحد نهشته‌های آواری کواترنز که مخروطه افکنه‌های بزرگ قدیمی و انباشته‌های کنگلومرای پلی‌ژنتیک را شامل می‌شوند. این رسوبات سخت نشده و دارای شیب بسیار کم هستند.

### ب) واحد ( $Q^2$ )

این واحد رسوبات آبرفتی، تراس‌های جوان رودخانه‌ای و انباشته‌های آواری سخت نشده عهد حاضر را شامل می‌شود. با توجه به گستردگی این واحد و حاصلخیزی رسوبات آن، بخش اعظم این واحد برای کشت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

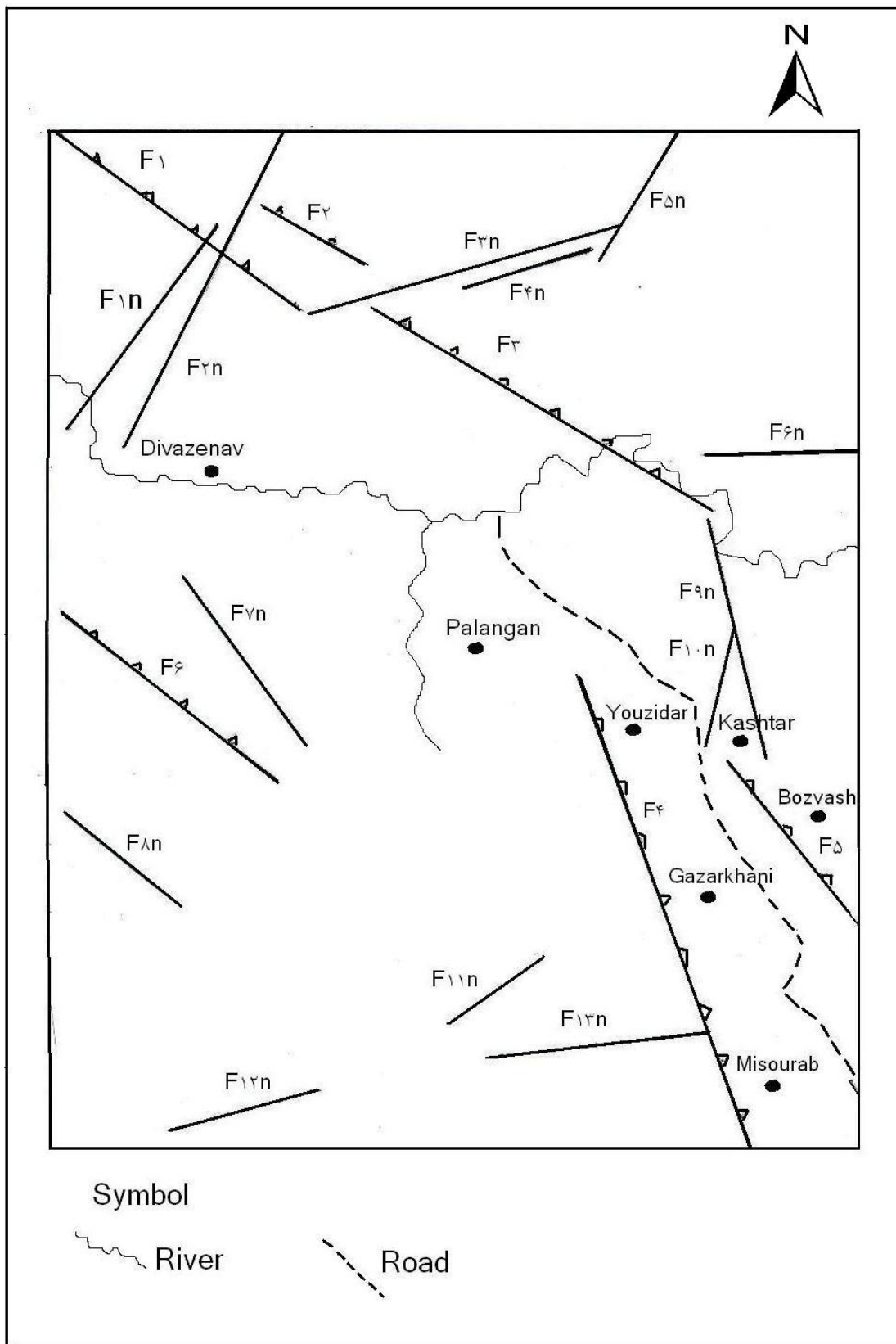
## ۱-۵-۲- زمین ساخت منطقه

منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع واقع شده است و از نظر ساختاری از خصوصیات این زون تبعیت می‌کند. زیرپهنه زاگرس مرتفع را به نام‌های زون راندگی‌ها، زاگرس رورانده، زاگرس داخلی و زون خرد شده یا فلسی شده نیز می‌نامند. زاگرس مرتفع نوار طویل و نسبتاً باریکی (به عرض ۱۰-۶۵ کیلومتر) است که در فاصله بین زمین درز یا گسل اصلی و گسل زاگرس مرتفع قرار گرفته است. زاگرس مرتفع بیشترین تغییر شکل‌ها را محتمل شده است و در شمال غرب آن لایه‌های به شدت چین و گسل خورده (فلسی شده) را می‌توان مشاهده کرد. شواهدی از دو فاز چین خورده در این زیرپهنه وجود دارد (فالکن ۱۹۷۴ نقل از آقانباتی ۱۳۸۳). فاز نخست در اواخر کرتاسه و فاز دوم در اواخر میوسن تا امروز صورت گرفته که شدت آن در پلیوسن بیشترین مقدار بوده است. این دو فاز چین خوردگی پیایی، چین‌هایی با دامنه بیش از ۵ هزار متر و طول موج بیش از ۸ هزار متر ایجاد کرده‌اند (مطیعی ۱۳۷۴ نقل از آقانباتی ۱۳۸۳). این چین‌ها روند NW-SE دارند و سطح محوری آن‌ها مورب و شیب صفحه‌ها به سوی NE است. این چین‌ها که به طور معمول از انواع بسته هستند، نسبت به چین‌های پیشین و پسین، از طریق روراندگی‌ها مرتبط می‌شوند و جهت راندگی آن‌ها به سوی جنوب غربی است. گسل‌های موجود در این زیرپهنه بیشتر روراندگی و به ندرت نرمال‌اند. شیب گسل‌های راندگی به سوی NE است. ریخت شناسی برجسته و همچنین افزایش ضخامت پوسته قاره‌ای در زاگرس مرتفع پیامد عملکرد راندگی‌هاست. از جمله دلایل تشکیل گسل‌های نرمال در این منطقه می‌توان به این دو نکته اشاره نمود که این گسل‌ها می‌توانند گسل‌های فرعی باشند و یا گسل‌های مرتبط با پدیده‌های ثقلی در ارتفاعات باشند. منطقه تحت تأثیر نیروهای زمین ساخت بشدت درهم شکسته و گسل خورده است. امتداد عمومی گسل‌ها همان امتداد زاگرس رورانده یعنی شمال غربی- جنوب شرقی است. البته گسل‌های فرعی دیگری نیز وجود دارند که با زاویه‌ای با گسل‌های اصلی در تماس‌اند و یا به موازات آن‌ها کشیده شده‌اند. به دلیل عملکرد شدید تکتونیک در منطقه چین‌های سالم به ندرت به چشم می‌خورد. امتداد و شیب لایه‌ها در جهات مختلف قرار گرفته‌اند. امتداد لایه‌ها غالباً شمال غربی - جنوب شرقی است و شیب آن‌ها به سمت جنوب غربی است. علاوه بر گسل‌ها، سیستم‌های درز و شکاف در سنگ‌های آهکی منطقه به خوبی قابل مشاهده است. شکل‌گیری این درز و شکاف‌ها علاوه بر تأثیر زمین ساخت شکننده در منطقه به سختی سنگ‌آهک نیز برمی‌گردد که به

دلیل استحکام در برابر این نیروها مقاومت کرده و نقش نیروهای زمین ساخت را تشدید می‌نماید. در منطقه مورد مطالعه گسل‌های متعددی وجود دارند (شکل ۱-۵) که مهمترین آن‌ها گسل‌های رورانده و نرمال می‌باشند که در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول ۱-۳- گسل‌های رورانده و نرمال منطقه پالنگان

نام گسل	طول گسل (km)	امتداد و شیب	مکانیسم	نام گسل	طول گسل (km)	امتداد و شیب	مکانیسم
$F_{n1}$	۶/۳	NE-SW SE	نرمال	$F_{n11}$	۳/۵	NE-SW NW	نرمال
$F_{n2}$	۹	NE-SW SE	نرمال	$F_{n12}$	۳	NE-SW NW	نرمال
$F_{n3}$	۸/۲	NE-SW SE	نرمال	$F_{n13}$	۵/۳	W-E	نرمال
$F_{n4}$	۳/۲	NE-SW SE	نرمال	F1	۷/۸	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n5}$	۳/۸	NE-SW SE	نرمال	F2	۳	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n6}$	۱/۵	NE-SW NW	نرمال	F3	۱۰	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n7}$	۳/۷	NW-SE NE	نرمال	F4	۲۳/۲	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n8}$	۳/۷	NE-SW NW	نرمال	F5	۷/۳	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n9}$	۳/۱	NE-SW SE	نرمال	F6	۷	NW-SE NE	رانندگی
$F_{n10}$	۵/۲	NW-SE NE	نرمال				



شکل ۱-۵- نقشه گسل‌های بخش شمال غربی (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کامپاران و تیژتیز)

## ۱-۶- ژئومورفولوژی منطقه

در مناطقی که سنگ‌های کربناته گسترش زیادی دارند، بررسی ژئومورفولوژیکی از ضروریات است. سنگ‌های آهکی به دلیل قابلیت انحلال بالا در ارتباط با عوامل مختلف اشکال ویژه‌ای که متفاوت از مناطق همجوار ایجاد می‌کنند که اصطلاحاً به آن کارست اطلاق می‌شود. از جمله این اشکال وجود تنگه‌های باریک و پرتگاه‌های (Scarps) بزرگ در منطقه می‌باشد که عمدتاً گسلی هستند. با توجه به اینکه حجم عمده سازنده‌های شاهو از سنگ‌آهک تشکیل شده است پدیده‌های کارستی از قبیل فروچاله (Sinkhole)، پولیه (Polje) در ارتفاعات کوه‌های شاهو مشاهده می‌شود. وجود چشمه‌های بزرگ پالنگان، روانسر، تلوکسان و قلوز نشانگر توسعه شبکه‌های کارستی به صورت مجاری بزرگ زیرزمینی در داخل این کوه‌ها می‌باشد.

## ۱-۷- هیدرولوژی منطقه

منابع آب سطحی در منطقه پالنگان شامل رودخانه‌های دائمی سیروان و تنگیور می‌باشند. رودخانه سیروان بزرگترین رودخانه استان کردستان می‌باشد که از جنوب غربی سنندج سرچشمه می‌گیرد. رودخانه سیروان از شمال به طرف جنوب حرکت کرده با دربرگرفتن چندین جریان آبی وارد شهرستان کامیاران شده سپس در محل روستای پالنگان رودخانه تنگیور نیز به آن ملحق می‌شود. رودخانه تنگیور با جهت شمال غربی از غرب کوه‌های شاهو سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز این رودخانه حدود ۲۱۹ کیلومتر مربع برآورد شده است. همچنین رودخانه‌های کوچک دیگری همچون رودخانه شاهینی و لون وجود دارد که وارد رودخانه تنگیور می‌شود. جریان پایه رودخانه سیروان در محدوده‌ای که از کوه‌های شاهو عبور می‌کند، به دلیل ورود حجم قابل توجهی از آب‌های کارستی به داخل آن، به طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند و در نهایت در منطقه نوسود وارد خاک عراق می‌شود و مهمترین منبع تأمین آب سد دربندیخان عراق را تشکیل می‌دهد. از ویژگی‌های آهک‌های منطقه نفوذپذیری بالا می‌باشد. بنابراین در مواقع بارندگی بخش اعظم بارش از آهک‌ها به طرق مختلف به داخل زمین نفوذ می‌کند و کمتر به صورت رواناب جاری می‌شود به گونه‌ای که جریان‌های سطحی مهمی در منطقه کوه‌های شاهو مشاهده نمی‌شود، لذا رودخانه‌های که در منطقه وجود دارند



از چشمه‌های منطقه نشأت می‌گیرند. بنابراین در کوه‌های شاهو به واسطه نفوذپذیری زیاد سیل خیزی وجود ندارد.

## ۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه

کوه‌های شاهو که بخشی از آن حوضه آبگیر چشمه‌های پالنگان را تشکیل می‌دهد، یک منطقه کارستی توسعه یافته است. بخش اصلی این سفره‌های کارستی از لایه‌های آهکی سازند بیستون تشکیل شده است. هیدروژئولوژی حوضه‌های کارستی تابع خصوصیات مختلف آن منطقه و پارامترهای موثر در گسترش و توسعه کارست می‌باشد. در سفره‌های کارستی منطقه پالنگان عامل لیتولوژی و تکتونیک نقش مهمی در تشکیل کارست دارند. حجم عمده آب‌های زیرزمینی در کوه‌های شاهو در چشمه‌های موجود منطقه در شرق و شمال شرق تخلیه می‌شود زیرا اولاً در قسمت‌های جنوب کوه-های شاهو شیب به طرف منطقه پالنگان می‌باشد و ثانیاً در همان مسیر گسل‌ها و شکستگی‌های متعددی وجود دارد که در حرکت آب‌های زیرزمینی به طرف منطقه پالنگان نقش عمده‌ای دارند. با توجه به اینکه حجم عمده سازندهای منطقه از تشکیلات آهکی (سازند بیستون) می‌باشد بنابراین حجم عمده نزولات جوی از طریق عوارض مختلف کارست به درون زمین نفوذ یافته و از طریق چشمه‌های کارستی و تخلیه مستقیم به داخل رودخانه دوباره به سطح زمین برمی‌گردد. با وجود ذخائر عظیم در سازندهای آهکی منطقه تاکنون بهره‌برداری از طریق چاه صورت نپذیرفته است. قسمت عمده تخلیه در آب‌های نفوذی در منطقه توسط چشمه‌های کارستی (چشمه‌های پالنگان، دیوزناو، روانسر) تخلیه می‌شود. عوارض کارستی در منطقه از جمله فروچاله‌ها و حفره‌های انحلالی مستقیماً سبب افزایش نفوذ بارش‌های جوی می‌شوند. به ویژه در ارتفاعات فروچاله‌ها با دریافت و ذخیره برف تا اواخر تابستان سبب افزایش تحول اشکال کارست و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شوند. در صورتی که بارش‌های جوی به صورت باران باشد عملاً پدیده‌های کارستی تقریباً تمام آن‌ها را به سفره‌های آب زیرزمینی هدایت می‌کنند. با توجه به مورفولوژی منطقه (از جمله وجود فروچاله‌های

فراوان و همچنین وجود گودی‌های مسدود) و همچنین وجود چشمه‌های بزرگ کارستی، کارست‌های منطقه به احتمال زیاد از نوع کارست‌های توسعه یافته می‌باشند.

# فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته در سازندهای کارستی

## ۲-۱- مقدمه

بشر سال‌ها قبل از سروکار داشتن با واژه کارست، با کارست مخصوصاً از طریق گسترش غارها آشنا بوده است. در زمان‌های ماقبل تاریخ، غارها محل زندگی بشر، ذخیره آب و حفاظت او بوده است. جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی در مقایسه با مناطق غیرکارستی کاملاً متفاوت می‌باشد و ویژگی‌های این جریان خصوصیات هیدروژئولوژیکی نواحی کارستی را بیان می‌کند. تقریباً منشأ تمام پدیده‌های سطحی و زیرزمینی که در نواحی کارستی تشخیص داده شده‌اند، به حضور و جریان آب وابسته است. چشمه‌های کارستی یکی از پدیده‌های بسیار مهم مورفولوژیکی کارست می‌باشد. با بررسی زمین‌شناسی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها شناخت اولیه‌ای از پدیده کارست در منطقه می‌توان به دست آورد. در این فصل، مختصری درباره کارست، نفوذ در کارست، ارتباط تکتونیک با کارست، خصوصیات چشمه‌های کارستی، تعیین حوضه آبخیز چشمه‌های کارستی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب در سفره‌های کارستی ارائه خواهد شد.

## ۲-۲- تعریف کارست

کارست عبارت است از گستره‌ای با مورفولوژی مشخص و یک سیستم زهکشی و زیرزمینی بزرگ که از انحلال بالای برخی از سنگ‌ها در آب‌های طبیعی حاصل می‌شود. نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه پیدا می‌کنند، و علاوه بر این بر روی سایر سنگ‌ها که دارای قابلیت انحلال می‌باشند (مانند سنگ گچ و نمک) در شرایط خاص ایجاد می‌شوند. مناطق کارستی به وسیله مجاری انحلالی، فروچاله‌ها (Sinkholes)، گودی‌های مسدود (Closed depressions)، غارها و دره‌های خشک مشخص می‌شوند (Karam, 2002).

## ۲-۳- نفوذ در کارست

جریان آب از سطح خاک به داخل زمین نفوذ (Infiltration) نامیده می‌شود. این آب ممکن است در داخل زمین به نفوذ عمقی (Percolation) خود ادامه دهد تا سرانجام وارد لایه‌های آبدار زیرزمینی شود و یا آن که فقط صرف مرطوب نمودن خاک شده و دوباره در اثر تبخیر و تعرق به اتمسفر برگشت نماید. نفوذ آب به داخل کارست و تغذیه لایه آبدار کارستی به سه طریق، نفوذ به داخل خاک، نفوذ از طریق درزه و شکاف‌ها و نفوذ به داخل فروچاله‌ها، صورت می‌گیرد. بخش عمده نفوذ در سنگ‌های آهکی از طریق مجاری انحلالی و درز و شکاف‌ها صورت می‌گیرد، ظرفیت نفوذ در این شکاف‌ها به عواملی از قبیل: میزان بازشدگی شکاف‌ها، فاصله بین شکاف‌ها، عمقی بودن شکاف‌ها، وجود و یا عدم وجود خاک و سنگریزه و شیب عمومی رخنمون سنگی بستگی دارد. نفوذ از طریق خاک بسیار کمتر است (کرمی، ۱۳۷۲).

بوردن و پاپاکیس (Burdon and Papakis, 1963) در بررسی تغذیه پوشش‌های آهکی نفوذ را به دو دسته تقسیم نمودند. ۱- نفوذ اولیه (Primary infiltration) نفوذ مستقیم بارندگی در آهک می‌باشد،

۲- نفوذ ثانویه (Secondary infiltration) بخشی از آب‌های جاری که پس از حرکت از سطح زمین و عبور از لایه‌های نفوذ ناپذیر در مسیر خود به آهک‌ها بر خورد می‌کند. آن‌ها بیان نمودند که میزان نفوذ در آهک‌ها ۱۰-۵ میلی‌متر در ساعت است و بنابراین به جز در شرایط غیر معمولی مقدار نفوذ از بارندگی بیشتر است.

بوگلی (Bogli, 1980) بیان نمود که یکی از منابع آب در سفره‌های کارستی، نفوذ از بستر رودخانه‌های می‌باشد که از آهک عبور می‌کنند. وی با انجام آزمایش ردیاب رنگی بر روی نهرها در حوضه سفره ادوارد (Edwards) مشاهده نمود که ماده ردیاب در چشمه‌های منطقه ظاهر می‌شوند که بیان‌کننده تغذیه سفره توسط رودخانه است.

تغذیه سفره‌های کارستی توسط مولفین مختلف به دو دسته تقسیم شده است. ۱- تغذیه نابرجا (Allogenic recharge) ۲- تغذیه برجا (Autogenic recharge). تغذیه نابرجا مربوط به جریان‌هایی هستند که از سنگ‌های غیر کارستی وارد حوضه کارستی می‌شوند. تغذیه برجا از نفوذ مستقیم بارش در سطح زمین‌های کارستی که از طریق فروچاله‌ها (Sinkholes)، چاه‌های عمودی (Vertical Shafts)، و شکستگی‌های باز صورت می‌گیرد (White 1988, Ford and Williams 1989). در مناطق مرتفع سفره‌های کربناته جایی که تغذیه آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد فروچاله‌ها به فراوانی یافت می‌شوند (White, 1988).

جانز و همکاران (Jones *et al.*, 2000) نفوذ را به دو دسته طبقه‌بندی نمودند. ۱- نفوذ مجزا (Discrete infiltration) در جایی که تغذیه غالب شده نفوذ به صورت ناپیوسته از طریق پدیده‌های کارستی مانند: دره‌های خشک و فروچاله‌ها صورت می‌گیرد. ۲- نفوذ افشان (Diffuse infiltration) نفوذ از طریق خاک صورت می‌گیرد.

فرآیند تغذیه در سیستم‌های کارستی به طریق مختلفی صورت می‌گیرد. ۱- آب باران از طریق محورهای زهکشی اصلی در هنگام بارندگی شدید، سریعاً در مجرای خروجی چشمه‌ها جریان می‌یابد. ۲- آبی که موقتاً در اپی کارست ذخیره شده، بعد از وقوع بارندگی سریعاً به چاه‌ها و مجاری‌های که به

شبکه زهکشی سیل متصل اند، وارد می شوند. ۳- آبی که موقتاً در اپی کارست ذخیره شده، به داخل توده سنگ نفوذ می کند. ۴- آب از مناطق تغذیه غیر کارستی به داخل توده سنگ نفوذ می کند (Dorfliger et al., 2004,2005).

## ۲-۴- ارتباط تکتونیک با کارست

عوامل تکتونیکی یکی از مهمترین عوامل تشکیل کارست در سازندهای آهکی و تغییر آن در طول زمان است. پدیده‌های ساختاری مانند گسل‌ها، درزه‌ها، چین خوردگی‌ها، امتداد و شیب سطوح لایه‌بندی و غیره هر یک به نوعی در فرآیند ایجاد و توسعه و تغییر کارست موثرند و بنابراین، یکی از اولین قدم‌های لازم در شناخت منابع آب کارست، شناخت رابطه‌ی کارستی شدن و سیستم ساختاری در یک منطقه می‌باشد. خرد شدن توده‌های سنگی در اثر نیروهای تکتونیکی عامل مهمی در کارستی شدن است (Milanovic, 1981).

فروچاله‌ها (Sinkholes) یکی از مهمترین اشکال مورفولوژی در نواحی کارستی است. شکل فروچاله‌ها و محل تشکیل آن‌ها در بیشتر موارد به وسیله تکتونیک تعیین می‌شود، از اینرو معمولاً در طول گسل‌های شناخته شده یافت می‌شوند. چون فروچاله‌ها اغلب در نزدیکی گسل‌ها تشکیل می‌شوند محور طویل آن‌ها معمولاً در جهت شکستگی‌های اصلی تکتونیکی منطقه می‌باشند (Milanovic, 1981).

احمدی‌پور (Ahmadipor, 1999) در بررسی هیدروژئولوژیکی حوضه الشتر در غرب ایران بیان نمودند که جریان آب زیرزمینی در این حوضه تحت تأثیر ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه است و محل خروج چشمه‌های کارستی منطقه در محل تقاطع و برخورد خطواره‌های موجود واقع شده است. بررسی خطواره‌ها و تفسیر آن‌ها می‌تواند نقش موثری در مطالعات کنترل جریان آب زیرزمینی در کارست داشته باشد.

## ۲-۵- خصوصیات چشمه‌های کارستی

در چند دهه اخیر مطالعات بسیاری بر روی شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی صورت گرفته است. در این مطالعات تعیین ضریب بده، حجم ذخیره دینامیکی لایه آبدار و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های آبدار کارستی حائز اهمیت بوده است. با تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌ها می‌توان ضریب بده (Discharge coefficient)، حجم ذخیره دینامیکی (Dynamic storage) و ارتفاع معادل ستون آب در لایه آبدار کارستی را محاسبه نمود.

میلانویچ (Milanovich, 1976) در مطالعه سفره کارستی امبلا (Ombla) در کشور یوگسلاوی منحنی فرود چشمه را تهیه نمود. این منحنی سه رژیم جریان را برای سفره کارستی نشان می‌دهد. ضرایب بده به ترتیب  $\alpha_1 = 0.13$ ،  $\alpha_2 = 0.0378$ ،  $\alpha_3 = 0.0058$  محاسبه شده است. در رژیم اول تخلیه مخزن از طریق مجاری بزرگ در حدود ۷ روز و رژیم دوم حدود ۱۳ روز طول کشیده است. ضریب  $\alpha_1$  خروج سریع آب از طریق کانال‌ها و غارها را نشان می‌دهد. ضریب  $\alpha_2$  نشان دهنده خروج آب از درزه‌ها و شکاف‌های بزرگ می‌باشد. ضریب  $\alpha_3$  خروج آب از ذخایری را نشان می‌دهد که بستگی به خصوصیات هیدروژئولوژیکی محلی دارند و بدون نظم در کل سفره کارستی پخش شده‌اند. این آب‌ها در محیط متخلخل حاصل از درزه‌ها (Fissure proosity)، مواد شنی و رسی که در کانال‌ها و غارهای فسیلی رسوب کرده‌اند و بخش‌های سیفونی کانال‌ها ذخیره شده‌اند.

کرانجک و همکاران (Karanjac et al., 1980) چشمه‌های کارستی زیادی را در محل سد اویمپینار (Oymapinar) در ترکیه مطالعه نمودند. ضرایب منحنی فرود از ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ در قسمت ابتدایی و از ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ در قسمت انتهایی منحنی فرود تغییر کرده است. با توجه به منحنی فرود سیستم آب زیرزمینی لایه آبدار کارستی را به سه گروه تقسیم‌بندی نموده‌اند. در قسمتی از منحنی فرود که ضریب از ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ تغییر می‌کند، جریان آب از طریق کانال‌های بزرگ کارستی، غارهای متصل به هم صورت می‌گیرد که زهکشی سریع صورت می‌گیرد و بعد از هر بارندگی سریعاً پر می‌شوند. قسمتی از منحنی فرود که ضریب از ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ تغییر می‌کند جریان آب از درزه‌ها و شکاف‌های متصل به

هم صورت می‌گیرد که نسبتاً سریع زهکشی می‌شوند. قسمتی از منحنی فرود که ضریب در حدود ۰/۰۱ می‌باشد، جریان آب از شکاف‌های کوچک، خلل و فرج و درزه‌ها صورت می‌گیرد که نسبتاً آهسته زهکشی می‌شوند.

رئییسی و دیگران (۱۳۷۲) منحنی‌های فرود چشمه شش‌پیر را نشان دادند که بیانگر دو ضریب تغییرات آبدهی و بنابراین دو رژیم آبدهی متفاوت ( $\alpha_1$  (۰/۰۰۸۲ - ۰/۰۰۹۲) و  $\alpha_2$  (۰/۰۰۲۸ - ۰/۰۰۰۸) می‌باشد. آن‌ها زمان را به سه دوره مجزا به نام  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  و دوره فصل تر (W) تقسیم کردند. در حالی که دوره‌های  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  منطبق با مدت و رژیم آبدهی می‌باشد. ۴۰ درصد کل جریان در رژیم  $\alpha_1$  توسط جریان سریع فروچاله‌ها و درزو شکاف‌های بزرگ مهیا می‌شود و بقیه جریان از آب‌های ذخیره شده در خلل و فرج می‌باشد (جریان پایه). در رژیم  $\alpha_2$  که منطبق با فصل خشک می‌باشد یعنی زمانی که توسط باران و آب حاصله از ذوب برف تغذیه‌ای صورت نمی‌گیرد، آب‌های ذخیره شده در خلل و فرج و شکاف‌های کوچک به تدریج به داخل کانال‌های بزرگ می‌ریزد و جریان پایه را به وجود می‌آورد. کانال بزرگ در رژیم دوم به عنوان یک مخزن در ذخیره آب عمل نمی‌کند و فقط یک مسیر جریان را مهیا می‌سازد.

کرمی (۱۳۷۲) سه دوره مجزا  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  و فصل تر (W) نیز در هیدروگراف چشمه برغان (فارس) مشاهده نمود. اما اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین ضریب آبدهی در دوره‌های ( $\alpha_1$  (۰/۰۰۵۶ - ۰/۰۰۶۴) و ( $\alpha_2$  (۰/۰۰۳۳ - ۰/۰۰۴۱) مشاهده نگردید. جریان پایه، ۷۰ درصد کل جریان را در رژیم  $\alpha_1$  و ۱۰۰ درصد را در رژیم  $\alpha_2$  تشکیل می‌دهد. چندین گسل آبخوان برغان را خرد کرده که خلل و فرج را توسعه داده و یک شبکه گسترده از راه‌های کوچک را به وجود آورده که مانع از عریض شدن کانال‌های کارستی اصلی می‌شوند.

همچنین رئییسی و کرمی (Raiesi and Karami, 1997) از خصوصیات هیدروگراف و هیدروشیمی در چشمه برغان برای تعیین نوع جریان استفاده کردند، به این نتیجه رسیدند که در این چشمه‌ها ضریب فروکش پایین بوده، که بیانگر زهکشی کند از طریق یک شبکه متراکم از شکستگی‌ها و حفرات



می‌باشد. همچنین تغییرات مربوط به هدایت الکتریکی و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در طول سال بالا نمی‌باشد. این مشاهدات بیانگر این است که نوع جریان غالب در تغذیه سفره‌ی کارستی برغان از نوع جریان افشان می‌باشد.

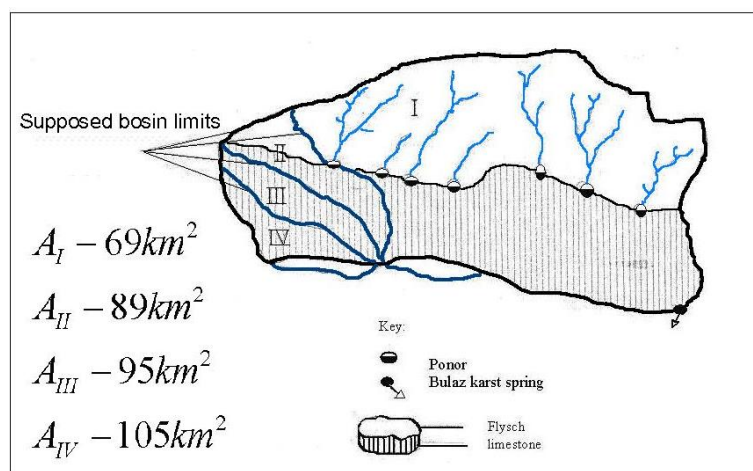
## ۲-۶- حوضه آبگیر در آبخوان‌های کارستی

برای تعیین دقیق مرزهای حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی، تحقیقات زمین‌شناسی مفصل و محاسبات هیدروژئولوژیکی وسیع مورد نیاز می‌باشد مساحت‌های حوضه آبگیر در کارست با توجه به تغییرات زمانی سطوح آب زیرزمینی متغیر است. فقط در شرایط استثنایی که در مرز بین حوضه‌ها لایه‌های نفوذناپذیر قرار گرفته باشند، خطوط حوضه آبگیر سطحی و زیر سطحی بر هم منطبق می‌شوند. اگر این مرز در لایه‌های آهکی نفوذپذیر قرار گرفته باشد، مرز حوضه ثابت نخواهد بود. قسمتی از مرز حوضه آبگیر درونی به طرف یک یا چند تا از چشمه‌ها و یا به طرف رودخانه جابجا می‌شود. موقعیت خط تقسیم آب به سطوح مختلف آب زیرزمینی با تغییر در زمان‌های مختلف بستگی دارد. در سطوح آب خیلی بالا (مثلاً بعد از بارندگی شدید)، کانالهای زیرزمینی در مناطق کارستی فعال می‌باشند که این خود موجب افزایش حوضه آبگیر می‌گردد (Bonacci, 1987).

تعیین حوضه آبگیر توپوگرافی آسان بوده در حالی که تعیین دقیق حوضه آبگیر هیدروژئولوژی دشوار می‌باشد. نسبت بین مساحت حوضه آبگیر توپوگرافی چشمه‌ها و تخمین مساحت حوضه آبگیر هیدروژئولوژی در کارست‌های دیناریک (یوگسلاوی) در محدوده بین  $2/3$  :  $1$  تا  $70$  :  $1$  قرار می‌گیرد (Corovic et al., 1985 نقل از Bonacci, 1987).

در مثالی از حوضه آبگیر چشمه کارستی بیولاز (Bulaz) در یوگسلاوی از روش بیلان هیدرولوژی جهت تعیین مساحت حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی استفاده شده است. شکل (۱-۲) چهار نمونه از مساحت‌های حوضه آبگیر به دست آمده با روش‌های هیدرولوژی را نشان می‌دهد (Magdalenic et al., 1986). در این ناحیه قسمتی از حوضه آبگیر به وسیله کارست و قسمتی دیگر

به وسیله لایه‌های فلیش پوشیده شده است. یک زون پونر (Ponor) جریانات سطحی را در تماس بین فیلش و کارست وارد آب‌های زیرزمینی می‌کند. آب رودخانه از چشمه بیولاز (Bulaz) سرچشمه می‌گیرد. که با آزمایشات ردیابی رنگی ارتباط بین پونرهای نزدیک و چشمه‌ها ثابت شد در حالی که رنگ تزریق شده به پونرهای دور دست‌تر ناپدید شده‌اند. هیدروژئولوژیست‌ها چهار حالت ممکن را برای تخمین مساحت حوضه آبخیز چشمه بیولاز (Bulaz) از ۶۹ کیلومترمربع تا ۱۰۵ کیلومترمربع در نظر گرفته‌اند.



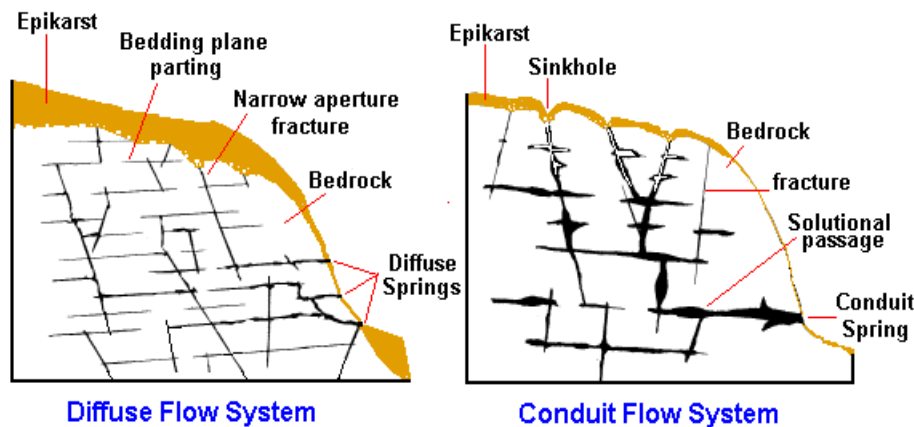
شکل ۲-۱- حوضه آبخیز چشمه کارستی بیولاز در یوگسلاوی (Magdalenic et al., 1986)

## ۲-۷- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب در سفره‌های کربناته

از مهمترین مطالعات در سفره‌های کارستی بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بررسی روند تغییرات آنها می‌باشد. با استفاده از این پارامترها می‌توان نوع سیستم جریان در این سفره‌ها را مشخص نمود. در زیر به خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در مناطق مختلف کارستی اشاره خواهد شد. بر اساس میزان گاز دی‌اکسیدکربن محلول در آب چشمه‌ها، لایه‌های آبدار کارستی به دو نوع جریان باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شوند. در سیستم دارای جریان باز، میزان گاز دی‌اکسیدکربن مورد نیاز جهت انحلال به طور مداوم از طریق ارتباط هوا با سطح آب در اختیار سیستم انحلال قرار می‌گیرد. در

حالی که در سیستم جریان بسته میزان دی‌اکسیدکربن محدود بوده و با مصرف دی‌اکسیدکربن موجود، واکنش انحلال آهک متوقف می‌گردد (Garrels and Christ, 1965).

سیستم کلی جریان آب در سفره‌های کارستی کربناته به دو نوع جریان افشان (Diffuse flow) و جریان مجرای (Conduit flow) تقسیم‌بندی شده است (شکل ۲-۲). در سیستم‌های با جریان افشان آب به صورت خطی (Laminar) از میان شکستگی‌های متصل به هم کوچکتر از یک سانتی‌متر حرکت می‌کند، در این نوع جریان خروجی چشمه‌ها متعدد، پراکنده و با آبدهی کم می‌باشند. ضریب هدایت هیدرولیکی (Hydraulic conductivity) این جریان‌ها یکنواخت می‌باشد همچنین تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندک می‌باشد. تغذیه سیستم به طور مستقیم از طریق درزه‌ها و شکاف‌های کوچک موجود در سنگ‌های کربناته و توده‌های خاک روی آنها صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل در این جریان‌ها کمتر از ۵ درصد می‌باشد در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها هیچ نوع پدیده ژئومورفولوژیکی کارستی از قبیل غار و فروچاله (Sinkhole) مشاهده نمی‌شود. در حالی که در سیستم‌های با جریان مجرای آب از درون مجاری و کانال‌های بزرگتر از یک سانتی‌متر به صورت متلاطم (Turbulent) حرکت می‌کند و معمولاً به صورت یک چشمه بزرگ تخلیه می‌شوند. ضریب هدایت هیدرولیکی این نوع جریان یکنواخت نمی‌باشد. تغذیه این جریان‌ها از طریق فروچاله‌ها و درزه‌های بزرگ موجود در سنگ‌های فاقد پوشش خاک و گیاه صورت می‌گیرد. ضریب تغییرات سختی کل برای جریان‌های مجرای در محدوده‌ی ۱۰-۲۴ درصد متغیر است. در جریان‌های افشان تغییرات مقدار مواد محلول نسبت به زمان به علت مدت زمان تماس بیشتر در مقایسه با جریان‌های مجرای کمتر بوده ولی کل مواد جامد محلول در آنها بیشتر می‌باشد. در چشمه‌های جریان افشان نسبت به کلسیت نزدیک اشباع، ولی چشمه‌های جریان مجرای شدیداً تحت اشباع می‌باشند (Karami, 2002).



شکل ۲-۲- سیستم‌های جریان کارستی (Karami 2002)

ترنن (Thrnan, 1972) تغییرات زمانی سختی کلسیم را در چشمه‌های سنگ‌آهک در نواحی از بریتانیا بررسی نمود. وی بیان نمود که در چشمه‌های که منبع تغذیه آن‌ها از طریق جریان سریع از میان فروچاله‌ها می‌باشد، تغییرات سختی کلسیم بالایی از خود نشان می‌دهند، در حالی که چشمه‌های که از طریق نفوذ افشان تغذیه می‌شوند تغییرات سختی کلسیم کمی از خود نشان می‌دهند.

جاکوبسون و لانگمویر (Jacobson and Langmuir, 1974) به بررسی نوع جریان در چشمه‌های منطقه پنسیلوانیای آمریکا پرداختند. آن‌ها با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و محاسبه ضریب تغییرات آن‌ها جریان کلی در چشمه‌های منطقه را به دو دسته افشان و مجرای تقسیم بندی نمودند (جدول ۱-۲). با توجه به جدول زیر، ضریب تغییرات همه پارامترها (به‌غیر از  $SO_4$  و  $Cl$ ) در چشمه‌های مجرای بیشتر از چشمه‌های افشان می‌باشد. ضریب تغییرات آبدهی بیشترین در صورتی که برای pH کمترین می‌باشد. به عقیده آن‌ها ضریب تغییرات دما بهترین شاخص برای تشخیص انواع جریان کارستی می‌باشد.

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

Variable	Conduit type	Diffuse type
<b>Temp ( °C )</b>	26.9	1.4
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	25.5	6.4
<b>Mg<sup>+2</sup></b>	27.6	2.0
<b>Total Hardness</b>	26.0	48
<b>Na<sup>+</sup></b>	25.9	24.3
<b>K<sup>+</sup></b>	16.0	98
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	28.6	2.7
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	12.7	17.8
<b>Cl<sup>-</sup></b>	17.7	29.0
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	32.0	19.9
<b>E.C</b>	23.0	6.2
<b>pH</b>	1.7	0.6
<b>Discharge</b>	175	26.3
<b>SIc</b>	18.4	16.1
<b>Pco<sub>2</sub></b>	8.7	2.4

کروت و لیبرا (Krothe and Libra, 1983) سیستم جریان آبهای زیرزمینی در منطقه کارستی

ایندیانا شمالی (آمریکا) بر اساس مطالعات هیدروشنیمی به دو گروه شیمیایی تقسیم بندی نمودند:

۱- مقادیر پایین TDS آب و تیپ  $Ca - HCO_3$ : در این تیپ آبها از درون مجاری بزرگ حرکت

می کنند و تغییرات زیادی را در غلظت یونی و اندیس اشباع و دمای آب از خود نشان می-

دهند. نوع سیستم جریان در این تیپ مجرای می باشد.

۲- مقادیر بالای TDS آب و تیپ  $Ca - SO_4$  و  $Na - Ca - SO_4 - Cl$ : در این تیپ آبها از درون

یک سیستم جریان افشان حرکت می کنند و تغییرات غلظت یونی، اندیس اشباع و تغییرات

دمایی کمتری را از آب از خود نشان می دهد.

اسکنلون و همکاران (Scanlon *et al.*, 1987) در منطقه اینر بلگراس (Inner Bluegrass) کنتاکی آمریکا نوع جریان آب در چشمه‌های کارستی را با توجه به درجه حرارت آب به دو دسته مجرای و افشان تقسیم نموده‌اند. درجه حرارت در چشمه‌های افشان بین ۹ تا ۱۱/۵ و در چشمه‌های مجرای بین ۹ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد در سال تغییر نموده است.

رئیزی و کرمی (Raeisi and Karami, 1996) در بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب‌های نفوذی بر روی شیمی چشمه‌های کارستی به این نتیجه رسیدند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی توابع منحصر به فرد مسیر جریان نیستند بلکه فاکتورهای حاکم بر آن‌ها می‌تواند به فاکتورهای خارجی و داخلی تقسیم بندی شوند. فاکتورهای خارجی بر روی مرزهای سیستم آبخوان عمل می‌کند و شامل نوع نزولات (برف، باران)، شدت، توزیع زمانی و مکانی نزولات، تغذیه متمرکز، درصد و عمق پوشش خاک، لیتولوژی سازند اطراف آبخوان، کیفیت آب ورودی به سیستم آبخوان، پوشش گیاهی و مرفولوژی منطقه می‌باشد. در حالی که فاکتورهای داخلی حاکم بر سیستم آبخوان می‌باشد که شامل، شکل، اندازه، ضخامت آبخوان، درصد توزیع فضاهای خالی (خلل و فرج، درز و شکاف و کانال)، لیتولوژی، اپی کارست و خصوصیات منطقه غیر اشباع می‌باشد. در سیستم‌های کارستی پیشرفته که دارای کانال‌های انحلالی بزرگ هستند، جریان عمدتاً به صورت مجرای است و نمودار هیدروشیمیایی چشمه‌های کارستی تحت تأثیر فاکتورهای داخلی و خارجی می‌باشد. در حالی - که در سیستم‌های کارستی با جریان غالب افشان، نمودار هیدروشیمیایی عمدتاً توسط فاکتورهای داخلی کنترل می‌شود.

در بررسی فاکتورهای که بر روی رفتار هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی کابرا-السید (Cabra-Alcaide) در جنوب اسپانیا (Spain) تأثیر می‌گذارند، این نتیجه به دست آمده است که ترکیبات شیمیایی آب‌های زیرزمینی در سفره‌های کارستی تنها وابسته به خصوصیات هیدروژئوشیمیایی محل و یا نوع جریان آب‌های زیرزمینی (افشان یا مجرای) نمی‌باشد، بلکه متأثر از خصوصیات هیدرودینامیکی سفره، اندازه حوضه، ضخامت منطقه نفوذ، هندسه سفره و شکاف‌ها و ساختارهای

کارستی می‌باشد. در این منطقه کارستی شش چشمه از لحاظ فیزیکی و شیمیایی بررسی شد. سیستم جریان آب‌های زیرزمینی به استثنای چشمه زارزا (Zarza) از نوع افشان می‌باشند. تغییر-پذیری چشمه مذکور در مقایسه با سایر چشمه‌ها زیاد می‌باشد. تغییرات تیپ آب‌های زیرزمینی به دو صورت  $Ca - HCO_3^-$  و  $Ca^{+2} - Mg^{+2} - HCO_3^-$  می‌باشد (Chicano et al., 2001). والدس و همکاران (Valdes et al., 2007) در بررسی کنترل ساختارهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در سفره گچی (Chalk aquifer)، منطقه هوت-نورماندی (Haute-Normandie) فرانسه غلظت یون‌های اصلی را اندازه‌گیری کردند، و بر اساس منشاء یون‌ها به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمودند:

۱- یون‌های با منشاء برجا ( $Ca^{+2}, HCO_3^-$ ) از انحلال گچ که به وسیله فشار جزئی دی‌اکسید-

کربن ( $Pco_2$ ) و pH کنترل می‌شود، حاصل می‌شوند. غلظت این یون‌ها همبستگی مثبت با

غلظت دی‌اکسیدکربن دارد و همبستگی منفی با pH دارد.

۲- یون‌های با منشاء نابرجا ( $Cl^-, Na^+, NO_3^-, SO_4^{2-}$ ) از ورودی‌های اتمسفر، فاکتورهای

آنتروپوژنیک (Anthropogenic)، همچون استفاده از زمین برای کشاورزی، فاضلاب‌های

خانگی و موقعیت دره رودخانه‌ها، و از ضخامت لایه‌های سطحی منشاء می‌گیرد.

در این طبقه‌بندی یون منیزیم ( $Mg^{+2}$ ) در هر دو گروه جای می‌گیرد. و در مسیر جریان آب درجه

کانی‌زایی و نسبت  $Mg/Ca$  افزایش پیدا می‌کند، زیرا زمان اقامت آب در سفره طولانی‌تر می‌شود

چون مرز سفره با گسل محدود شده است.

## فصل سوم: روش انجام مطالعات

### ۳-۱- مقدمه

در این فصل کلیه کارهایی که جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه-های کارستی پالنگان و رودخانه تنگیور طی این تحقیق صورت گرفته است به طور مختصر ارائه می-شود. به طور کلی کارهای انجام شده شامل موارد زیر است:

الف) تهیه نقشه زمین شناسی منطقه.

ب) اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه های پالنگان.

ج) بررسی و تجزیه و تحلیل خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چشمه ها، رودخانه و ارزیابی روند تغییرات زمانی این خصوصیات در یک سال آبی.

د) تعیین محل یا مساحت حوضه آبریز چشمه های مورد مطالعه.



### ۳-۲- تهیه نقشه زمین شناسی

با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تیژتیژ، ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، نقشه زمین‌شناسی منطقه پالنگان تهیه شده است. اطلاعات چینه‌شناسی موجود در این تحقیق از ورقه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تیژتیژ و کامیاران برگرفته شده است که در بخش زمین‌شناسی منطقه توضیح داده شد (شکل ۱-۴).

### ۳-۳- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های پالنگان

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمی آب چشمه‌های پالنگان و رودخانه از دو دهانه چشمه و رودخانه موجود در منطقه در طی یک سال آبی نمونه برداری شده است.

#### ۳-۳-۱- نمونه برداری

برای نمونه برداری از ظرف‌های پلاستیکی ۲۵۰ میلی لیتری استفاده شد و ظرف نمونه قبل از نمونه برداری سه مرتبه با آب چشمه‌ها شستشو داده شد. ظرف نمونه را از آب چشمه‌ها پر نموده درب نمونه را محکم بسته و پس از شماره گذاری به آزمایشگاه پارک علم و فن آوری استان سمنان (مرکز شاهرود) فرستاده شد تا مورد آنالیز شیمیایی قرار گیرد. در آزمایشگاه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محلول در آب که شامل یون‌های پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، نیترات، سولفات، کلر، بی‌کربنات و کربنات اندازه‌گیری شده است. در نمونه‌برداری برای جلوگیری از تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها در اثر تماس با محیط آزاد، نمونه‌برداری بایستی در دهانه خروجی چشمه و یا حداقل در نزدیکترین محل ممکن به دهانه خروجی چشمه انجام شود.

### ۳-۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

در محل نمونه‌برداری خصوصیات فیزیکی شامل آبدهی چشمه‌ها، درجه حرارت آب و خصوصیات شیمیایی شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (E.C.) و دی‌اکسیدکربن محلول در آب ( $CO_2$ ) اندازه‌گیری شده است. روش اندازه‌گیری این خصوصیات به طور مختصر ارائه می‌شود:

#### الف) اندازه‌گیری دبی چشمه‌ها

یکی از پارامترهای بسیار مهم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی چشمه‌ها مقدار دبی و تعیین تغییرات زمانی آن می‌باشد. طبق تعریف دبی عبارت است از حجم جریانی از آب که در واحد زمان از مقطعی عمود بر جریان، عبور می‌کند. اگر سرعت متوسط جریان ( $v$ ) و سطح مقطع جریان ( $A$ ) اندازه‌گیری شود، مقدار دبی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = A \cdot v \quad (1-3)$$

که در این رابطه  $Q$  دبی جریان عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $A$  سطح مقطع عمود بر جریان بر حسب متر مربع و  $v$  سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به اینکه در محل خروجی چشمه‌ها اندازه‌گیری دبی امکان پذیر نمی‌باشد این کار در داخل رودخانه و همچنین در محل کانال بتونی به طول ۶ متر انجام شده است (شکل ۳-۱). برای اندازه‌گیری سرعت از دستگاه مولینه (سرعت سنج) استفاده شده است. مولینه‌ای که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، مولینه آوت ساخت شرکت آذر آشنا می‌باشد. فرمول محاسبه سرعت برای این مولینه به صورت ذیل می‌باشد:

$$v = (0.24121 \times N) + 0.0115414 \quad (2-3)$$

که در رابطه فوق  $v$  سرعت جریان بر حسب متر در ثانیه و  $N$  تعداد دور گردش پروانه در واحد زمان (ثانیه) می‌باشد.

## ب) اندازه‌گیری درجه حرارت

از دیگر پارامترهای فیزیکی مهم دمای آب می‌باشد. تغییرات این پارامتر در ارزیابی نوع جریان در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مقدار درجه حرارت آب با استفاده از دماسنج جیوه‌ای در محل اندازه‌گیری شده است. دقت دماسنج مذکور برابر با ۰/۱ درجه سانتی‌گراد بوده است.

## ج) اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

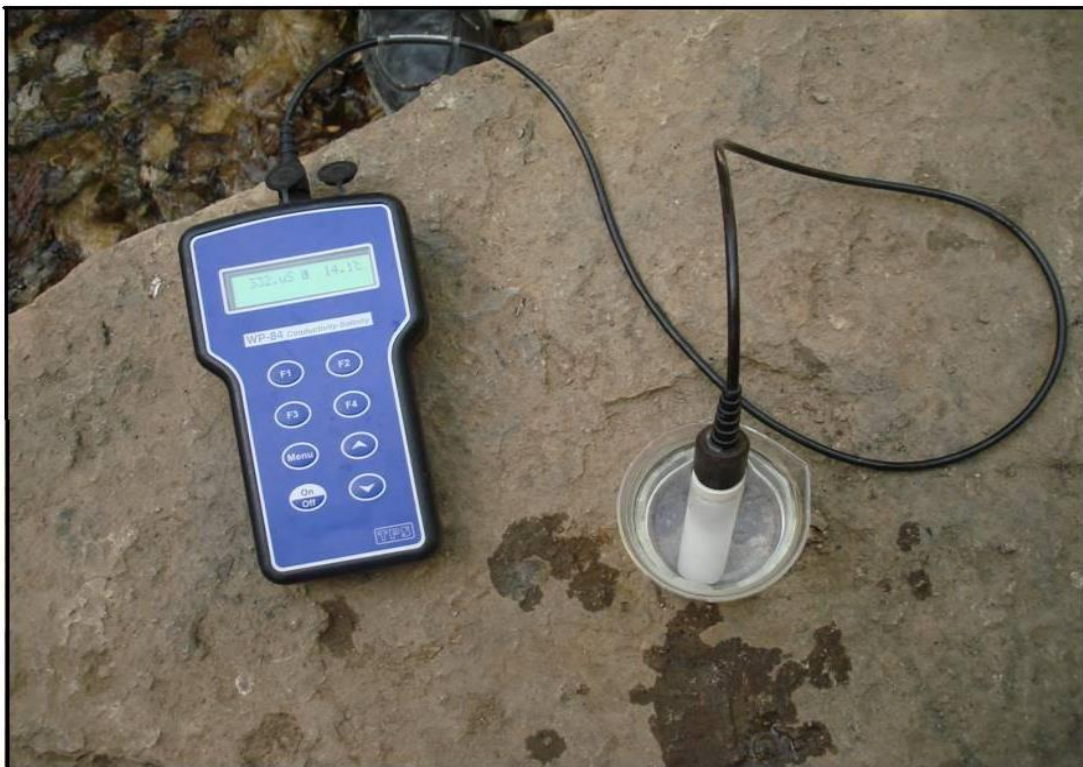
هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها و رودخانه در محل اندازه‌گیری شده است. از مهمترین خصوصیات شیمیایی آب هدایت الکتریکی می‌باشد زیرا با املاح جامد حل شده (TDS) در آب رابطه مستقیم دارد. مقدار هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها به وسیله دستگاه EC متر (Conductivity meter) مدل WP-84 اندازه‌گیری شده است. دقت دستگاه برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برابر با یک میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

## د) اندازه‌گیری اسیدیتته

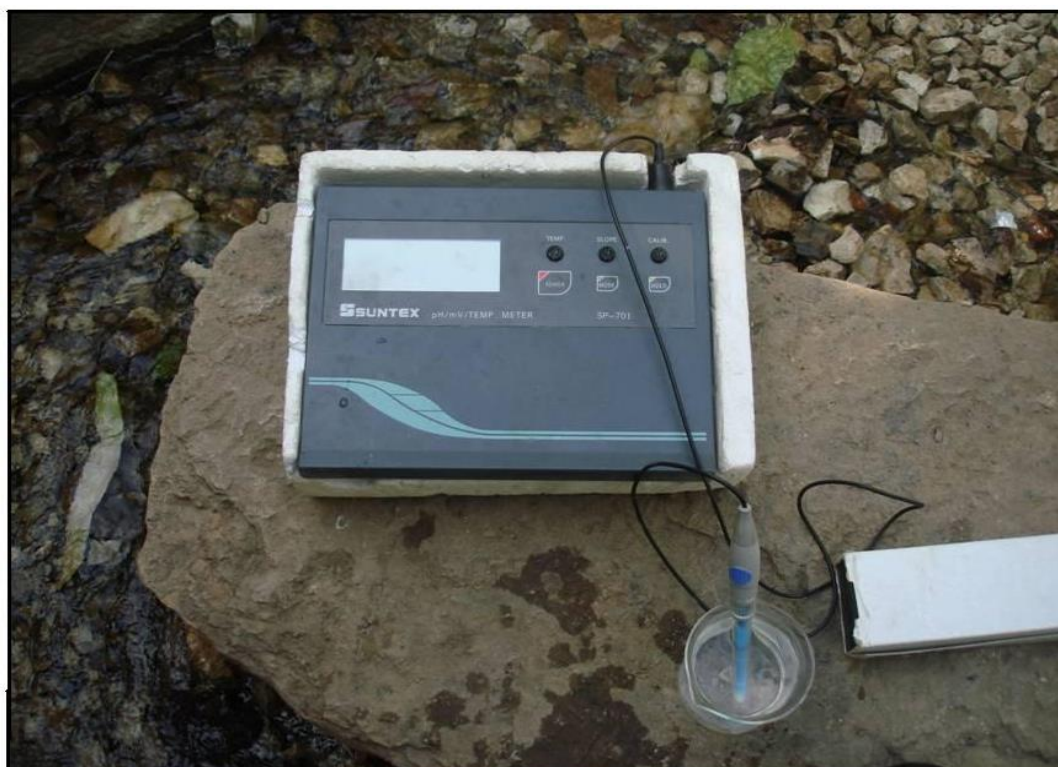
مقدار pH آب به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. هر چه قدر که مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب افزایش یابد، مقدار pH کم می‌شود. مقدار اسیدیتته در تجزیه و تحلیل داده‌ها، به ویژه در محاسبه اندیس اشباع کلسیت (*Sic*) و دولومیت (*Sid*) از اهمیت خاصی برخوردار است. به همین علت اسیدیتته آب چشمه‌ها در محل به وسیله دستگاه pH متر سانتکس (Suntex) مدل SP-701 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با ۰/۰۱ واحد می‌باشد.



شکل ۳-۱- اندازه‌گیری دبی در کانال بتونی



شکل ۳-۲- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی چشمه‌ها



شکل ۳-۳- اندازه‌گیری اسیدیته چشمه‌ها

#### ه) اندازه‌گیری دی‌اکسیدکربن محلول در آب

یکی از پارامترهای شیمیایی جهت تعیین نوع جریان در سفره‌های کارستی دی‌اکسیدکربن محلول در آب می‌باشد. برای اندازه‌گیری دی‌اکسیدکربن محلول از روش تیتراسیون استفاده شده است. ابتدا ۱۰۰ میلی لیتر از آب چشمه در داخل بشر ۲۰۰ میلی لیتری ریخته می‌شود و ۵ تا ۶ قطره شناساگر (Indicator) فنل فتالین به آن اضافه می‌شود. سپس همزمان با تکان دادن بشر، آنقدر به محلول مزبور سود (NaOH) استاندارد با نرمالیتته ۰/۰۲۲۷ اضافه می‌شود تا رنگ محلول پوست پیازی شود و این رنگ تا ۳۰ ثانیه پایدار بماند. اگر آب چشمه‌ها فقط با اضافه کردن شناساگر فنل فتالین قرمز رنگ شود (قبل از اضافه کردن سود)، نشانگر عدم وجود دی‌اکسیدکربن محلول در آب است. به منظور محاسبه مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب از فرمول زیر استفاده شده است:

$$CO_2(mg/L) = \frac{A \times N \times 4400}{V_w} \quad (3-3)$$

که در این رابطه  $A$  مقدار سود مصرفی بر حسب میلی لیتر،  $N$  نرمالیتتهی سود، و  $V_w$  حجم آب مورد آزمایش بر حسب میلی لیتر می باشد (Merk, 1970).

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

اندازه گیری کاتیون ها و آنیون های اصلی شامل یون های پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، نیترات، سولفات، کلر، بی کربنات و کربنات برای کلیه نمونه ها در آزمایشگاه پارک علم و فن آوری استان سمنان (شاهرود) انجام شده است. پس از دریافت نتایج آزمایشگاه پارامترهای آماری مانند، درصد خطای آزمایش، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم، کل املاح جامد محلول، سختی کل، قلیائیت، ضریب تغییرات و برخی از نسبت های یونی مانند نسبت  $Ca/Mg$ ، نسبت سدیم به مجموع کاتیون ها و نسبت کلر به مجموع آنیون ها محاسبه شد و نمودارهای شولر، ویلکوکس، پایپر و استیف برای آنها ترسیم گردید. جهت ترسیم نمودارهای کیفی مذکور از نرم افزار Rock Work 2006 استفاده شد. نمودارهای مربوط به برخی از نسبت های یونی از قبیل سدیم به مجموع کاتیون ها، کلر به مجموع آنیون ها و نمودارهای ترکیبی مختلف برای نمونه ها ترسیم شد.

### الف) درصد خطای آزمایش

برای محاسبه درصد خطای آزمایش از معادله زیر استفاده شده است:

$$\% Error = \frac{|\sum_{Cat} - \sum_{Ani}|}{\frac{\sum_{Cat} + \sum_{Ani}}{2}} \times 100 \quad (4-3)$$

که در آن  $\sum_{Cat}$  و  $\sum_{Ani}$  به ترتیب مجموع کاتیون ها و آنیون ها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر و  $\% Error$  درصد خطای آزمایش می باشد (کرمی، ۱۳۷۲).

### ب) نسبت جذب سدیم (Sodium adsorption ratio)

نسبت جذب سدیم یکی از پارامترهایی است که برای بیان مقدار سدیم موجود در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

که در این رابطه SAR بیانگر نسبت جذب سدیم می‌باشد و غلظت تمامی کاتیون‌ها بر حسب میلی-اکی‌والان بر لیتر بیان می‌شود (صداقت ۱۳۸۵).

### ج) درصد سدیم (Sodium percentage)

برای محاسبه درصد سدیم از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\% Na = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + Ca^{+2} + K^+ + Mg^{+2}} \times 100 \quad (6-3)$$

غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد (صداقت، ۱۳۸۵).

### د) سختی کل (Total Hardness)

برای محاسبه سختی کل نمونه‌های آب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$H = 2.5[Ca^{+2}] + 4.1[Mg^{+2}] \quad (7-3)$$

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

### ه) قلیائیت (Alkalinity)

برای محاسبه قلیائیت از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$A = [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] \quad (۸-۳)$$

که در آن A قلیائیت بر حسب (mg/L) و غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌گردد (صداقت، ۱۳۸۵).

### و) کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solids)

محاسبه کل جامدات محلول با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

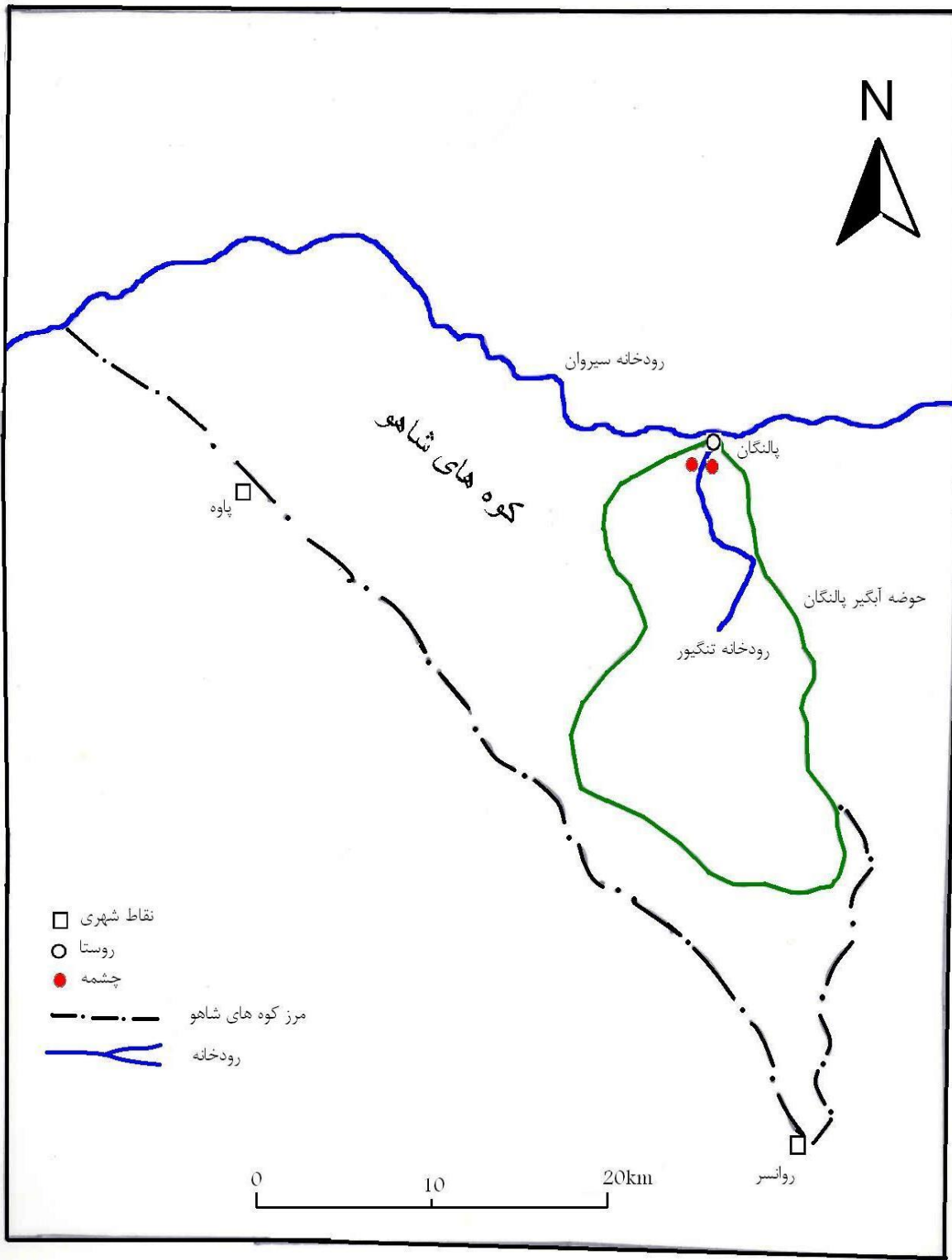
$$TDS = \sum Ions \quad (۹-۳)$$

در این رابطه TDS کل جامدات محلول در آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر و  $\sum Ions$  مجموع یون‌ها در نمونه آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

## ۳-۴- تعیین محدوده حوضه آبرگیر چشمه‌های مورد مطالعه

تعیین مساحت حوضه آبرگیر یا مساحت منطقه تغذیه آب‌های زیرزمینی برای چشمه‌های کارستی، برای تخمین آب‌های زیرزمینی، شناسایی منابع ممکن و جهت و سرعت انتقال آلودگی اهمیت فراوان دارد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، بیساران، جوانرود، پاره و گازارخانی و همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تیزتیز، ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ و همچنین استفاده از نرم افزار Global Mapper8 محدوده حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی پالنگان مشخص شده و مساحت آن حدود ۲۱۹ کیلومتر مربع برآورد شده است (شکل ۳-۴).





شکل ۳-۴- محدوده حوضه آبخیز پالنگان

# فصل چهارم: تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های پالنگان

## ۴-۱- مقدمه

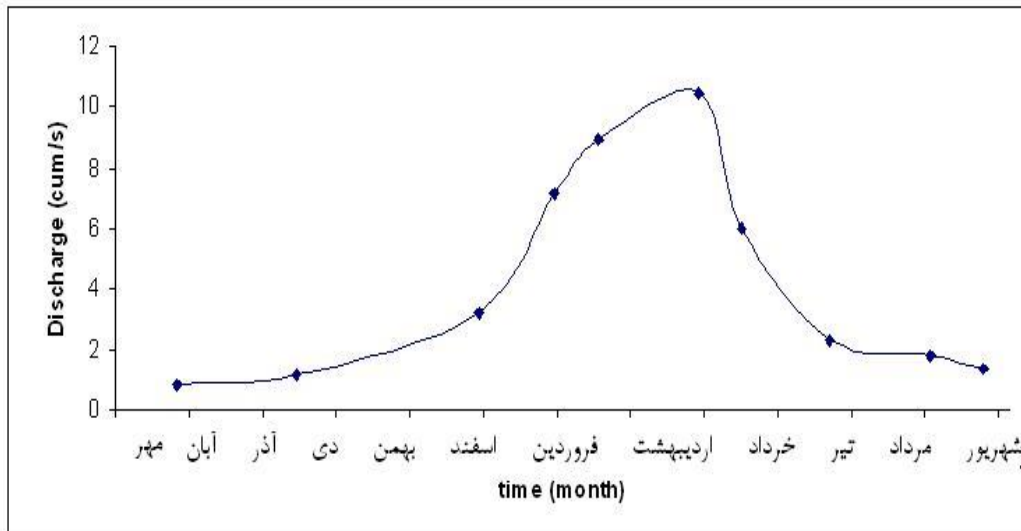
به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های پالنگان تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده در سال آبی ۸۷-۸۸ مورد بررسی قرار داده می‌شود.

## ۴-۲- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهایی که در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده‌اند شامل دبی، درجه حرارت آب، هدایت الکتریکی، اسیدیتته و دی‌اکسیدکربن محلول در آب می‌باشد. علاوه بر موارد فوق برای تمامی نمونه‌ها غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. مقادیر پارامترهای مذکور و همچنین میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامترها در جداول (۴-۱ الی ۴-۵) ارائه شده است. این تغییرات به طور مختصر تفسیر می‌شود:

#### ۴-۲-۱- تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها

تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها (هیدروگراف چشمه‌ها) در سال آبی ۸۸-۸۷ مورد مطالعه و بر اساس داده‌های (جدول ۴-۱) ترسیم شده است (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- هیدروگراف چشمه‌های پالنگان از مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸

همانطور که در این هیدروگراف مشاهده می‌شود، دبی چشمه‌ها در اواخر پاییز تا اواخر زمستان یک روند نسبتاً حطی را طی نموده و این افزایش از اسفند ماه تا اردیبهشت ۸۸ به صورت تدریجی افزایش می‌یابد و در اردیبهشت به بیشترین مقدار خود می‌رسد. از اردیبهشت ۸۸ تا تیر ۸۸ کاهش شدید و حطی در دبی مشاهده می‌گردد و پس از آن این روند کاهش ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که از آنجایی خروجی چشمه‌های سرحوض و شیخ علاءالدین به صورت متعدد و در دامنه پرشیب دره رودخانه تنگیور واقع شده است اندازه‌گیری دبی این چشمه به صورت جداگانه امکان پذیر نیست و به همین دلیل مجموع دبی آن‌ها در پایین دست چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است.

#### الف) منحنی فرود و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی لایه آبدار

به منظور بررسی کمی تخلیه آب و همچنین برآورد ضریب یا ضرایب دبی (Discharge coefficient) چشمه‌ها، منحنی فرود (Recession curve) چشمه‌ها با استفاده از داده‌های مربوط به هیدروگراف

چشمه‌ها تهیه شده است (شکل ۴-۲). منحنی فرود چشمه از دبی حداکثر پایان دوره تر آغاز شده و تا زمان افزایش مجدد دبی در شروع دوره تر بعدی ادامه می‌یابد و در این مدت دبی چشمه‌ها از آب-های ذخیره شده در سفره آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. این منحنی به صورت نیمه لگاریتمی است به این ترتیب که دبی در روی محور عمودی که لگاریتمی است در مقابل زمان ترسیم می‌شود که روند داده‌ها به صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته شده ایجاد شده به عنوان ضریب یا ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شوند. ضریب دبی از رابطه زیر به دست می‌آید (Milanovic 1976,1981 نقل از کرمی، ۱۳۷۲):

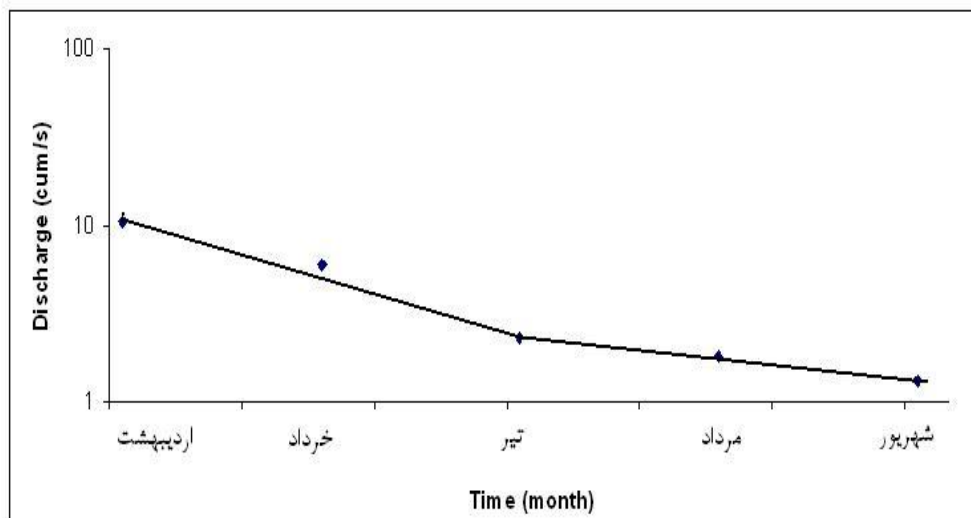
$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_1}{0.4343(t_1 - t_0)} \quad (۱-۴)$$

که در این رابطه،  $\alpha$  ضریب دبی،  $Q_0$  و  $Q_1$  دبی‌های چشمه بر حسب متر مکعب بر ثانیه به ترتیب در زمان‌های  $t_0$  و  $t_1$  می‌باشد.

ضریب دبی میزان توانایی سفره آب زیرزمینی در ذخیره سازی آب را نشان می‌دهد و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی می‌باشد. در سفره‌های کارستی توسعه یافته، منحنی فرود چشمه عمدتاً از سه رژیم با ضرایب بده متفاوت تشکیل می‌شود. در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد و در این حالت جریان متلاطم غالب است و حجم زیادی از آب از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود. در رژیم دوم، تأمین آب چشمه از طریق شکاف‌های مرتبط که به طور نسبتاً کمتری کارستی شده‌اند، صورت می‌گیرد. در رژیم سوم، آب چشمه از داخل خلل و فرج ریزتر و درزه و شکاف‌های با بازشدگی اندک تخلیه می‌شود (Milanovic 1976,1981).

با توجه به شکل (۴-۲) ملاحظه می‌شود که منحنی فرود چشمه‌های مورد مطالعه اساساً دارای دو شیب است و این شیب‌ها برابر  $\alpha_1 = 2.8 * 10^{-2}$  و  $\alpha_2 = 8.9 * 10^{-3}$  می‌باشد در این بررسی با توجه به منحنی فرود مربوط به چشمه‌ها، دو جریان آب زیرزمینی مشخص شده است. در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها و مجاری بزرگ صورت می‌گیرد و در این حالت جریان متلاطم غالب است و حجم زیادی از آب از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود در این حالت ذخیره سازی کمتر می‌-

باشد و مجاری توسعه زیادی پیدا کرده‌اند. در رژیم دوم جریان آب از درزه و شکاف‌های کوچک خارج می‌شود دبی خروجی کاهش پیدا می‌کند بیشتر ذخیره سازی صورت می‌گیرد و مجاری کمتر توسعه پیدا کرده‌اند.



شکل ۲-۲- منحنی فرود چشمه‌های پالنگان از مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸

برای تعیین حجم بده خروجی ( $V_v$ ) بر

$$V_v = 86400 \left( \frac{Q_{t_0} - Q_{t_1}}{\alpha} \right) \text{ زیر از رابطه}$$

استفاده می‌شود:

$$(۲-۴)$$

در رابطه فوق  $Q_{t_0}$ ،  $Q_{t_1}$ ، بده خروجی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه به ترتیب در زمان‌های  $t_0$ ،  $t_1$  و  $V_v$  حجم آب خروجی از لایه آبدار بر حسب متر مکعب می‌باشد (برای تبدیل واحد روز به ثانیه در  $۸۶۴۰۰$  ضرب شده است). چون منحنی فرود چشمه‌های پالنگان از دو رژیم آبدهی تشکیل شده، برای محاسبه حجم ذخیره دینامیکی سفره از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$V = 86400 \left( \frac{Q_{t_0} - Q_{t_1}}{\alpha_1} + \frac{Q_{t_1} - Q_{t_2}}{\alpha_2} \right) \quad (۳-۴)$$

همچنین حجم ذخیره دینامیکی را می‌توان با استفاده از محاسبه حجم زیر منحنی هیدروگراف چشمه‌ها محاسبه نمود. حجم ذخیره دینامیکی برای سفره کارستی منطقه پالنگان در طی یک سال آبی برابر با  $117.14 * 10^6$  متر مکعب می‌باشد.

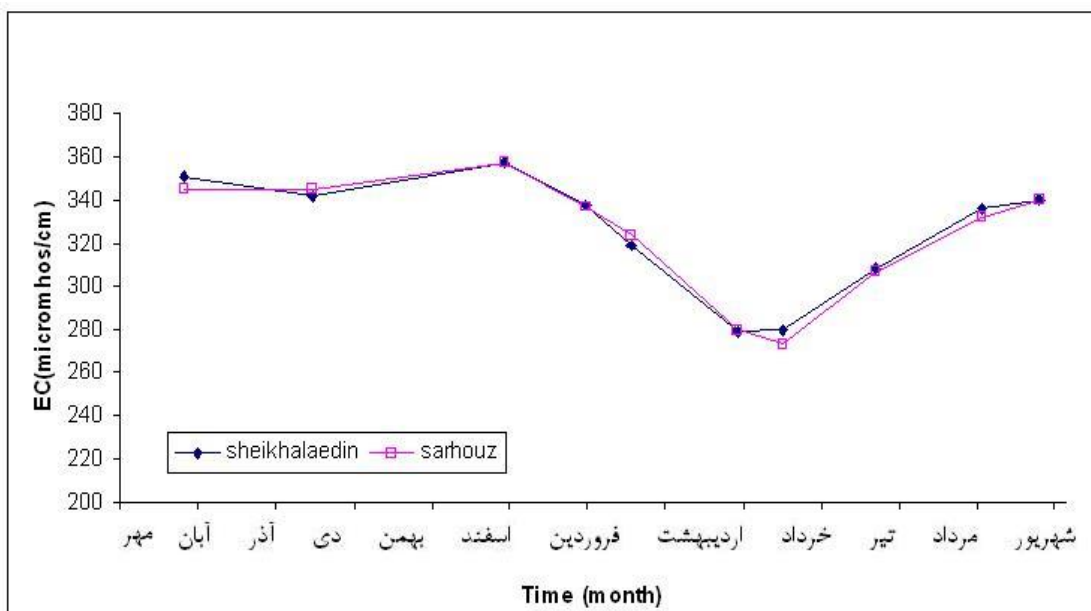
با تعیین مساحت حوضه آبرگیر چشمه (A)، ارتفاع ستون آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Torbarov 1975، نقل از کرمی، ۱۳۷۲):

$$h = \frac{V}{A} \quad (4-4)$$

در رابطه فوق A مساحت حوضه آبرگیر چشمه بر حسب متر مربع و V حجم کل آب خروجی بر حسب متر مکعب و h ارتفاع معادل ستون آب بر حسب متر می‌باشد. که برای چشمه‌های پالنگان برابر  $0/535$  متر می‌باشد.

#### ۴-۲-۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه‌ها

مقادیر هدایت الکتریکی چشمه‌ها در سال آبی ۸۷-۸۸ در مظهر چشمه‌ها اندازه‌گیری شده و نتایج به دست آمده در جدول (۴-۱) ارائه شده‌اند. به منظور بررسی مقدار تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌های پالنگان، میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند (جدول ۴-۱). با توجه به نتایج مندرج در این جدول و شکل (۴-۳) میزان تغییرات نسبتاً بالا است به این ترتیب که میانگین مقادیر هدایت الکتریکی آب چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب ۳۲۵ و ۳۲۴ میکروموس بر سانتی‌متر و انحراف از معیار به ترتیب  $28/4$  و  $28/4$  میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد و ضریب تغییرات آنها به ترتیب  $8/8$  و  $8/9$  درصد است. با مقایسه این ضریب تغییرات و ضریب تغییرات مربوط به سیستم‌های کارستی افشان و مجرای که به ترتیب کمتر از ۵ و بالاتر از ۵ درصد می‌باشد، ملاحظه می‌شود که در این چشمه‌ها سیستم مجاری و خلل و فرج هدایت کننده آب از سیستم جریان مجرائی تبعیت می‌کند.



شکل ۳-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

جدول ۴-۱- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

### الف) رابطه هدایت الکتریکی و دبی

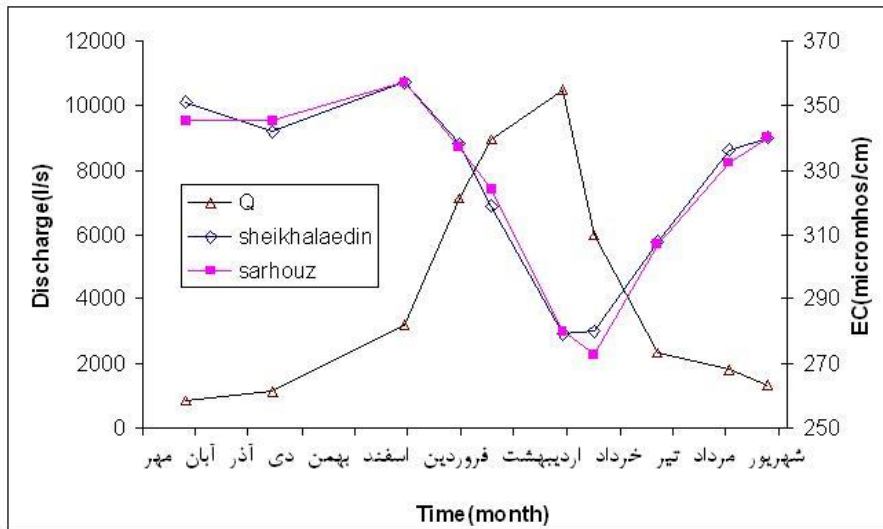
یکی از پارامترهایی که تغییرات آن را با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری می‌کنند تغییرات دبی می‌باشد. این تغییرات در شکل (۴-۴) قابل مشاهده می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهند. در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه‌های پالنگان افزایش می‌یابد، سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود و زمان اقامت آب در سفره آب‌زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب‌زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌-

Q (L/S)	EC (micro mhos/cm)		T(°C)		pH		CO <sub>2</sub> محلول	تاریخ
	شیخ‌علاء	سرحوض	شیخ‌علاء	سرحوض	شیخ‌علاء	سرحوض		
۸۳۹	۳۵۱	۳۴۵	۱۱/۵	۱۲	۸/۱	۸/۴	۹/۹	۱۳۸۷/۷/۲۵
۱۱۲۷	۳۴۲	۳۴۵	۱۲	۱۲	۸/۲	۸/۴	۸/۹	۱۳۸۷/۹/۱۴
۳۱۸۱	۳۵۷	۳۵۷	۱۱	۱۱	۸/۳	۸/۵	۸/۵	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۷۱۳۱	۳۳۸	۳۳۷	۱۰	۹	۸/۴	۸/۶	۸/۲	۱۳۸۷/۱۲/۲۹
۸۹۴۰	۳۱۹	۳۲۴	۱۰	۱۰	۸/۴	۸/۴	۷/۹	۱۳۸۸/۱/۱۸
۱۰۴۵۹	۲۷۹	۲۸۰	۱۰	۱۰	۷/۷	۷/۷	۹/۹	۱۳۸۸/۲/۲۸
۶۰۰۰	۲۸۰	۲۷۳	۱۰	۹/۵	۷/۹	۷/۹	۱۰/۱	۱۳۸۸/۳/۱۴
۲۳۲۲	۳۰۸	۳۰۷	۱۱/۵	۱۱/۵	۷/۷	۷/۷	۱۰/۹	۱۳۸۸/۴/۱۹
۱۸۰۰	۳۳۶	۳۳۲	۱۲/۵	۱۳/۵	۷/۶	۷/۶	۱۰/۹	۱۳۸۸/۵/۲۹
۱۳۲۰	۳۴۰	۳۴۰	۱۲/۸	۱۲/۸	۷/۴	۷/۳	۱۰/۹	۱۳۸۸/۶/۲۰
۳۵۳۸	۲۷/۸	۲۸/۴	۱/۱	۱/۵	۰/۴	۰/۵	۱/۲	St.Dev.
۴۳۱۲	۳۲۵	۳۲۴	۱۱/۱	۱۱/۱	۷/۹	۸/۱	۹/۷	Average
۸۲	۸/۶	۸/۸	۹/۸	۱۳/۳	۴/۶	۵/۷	۱۲/۱	C.V.%

یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر بر عکس می‌-

شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها افزایش پیدا می‌کند.



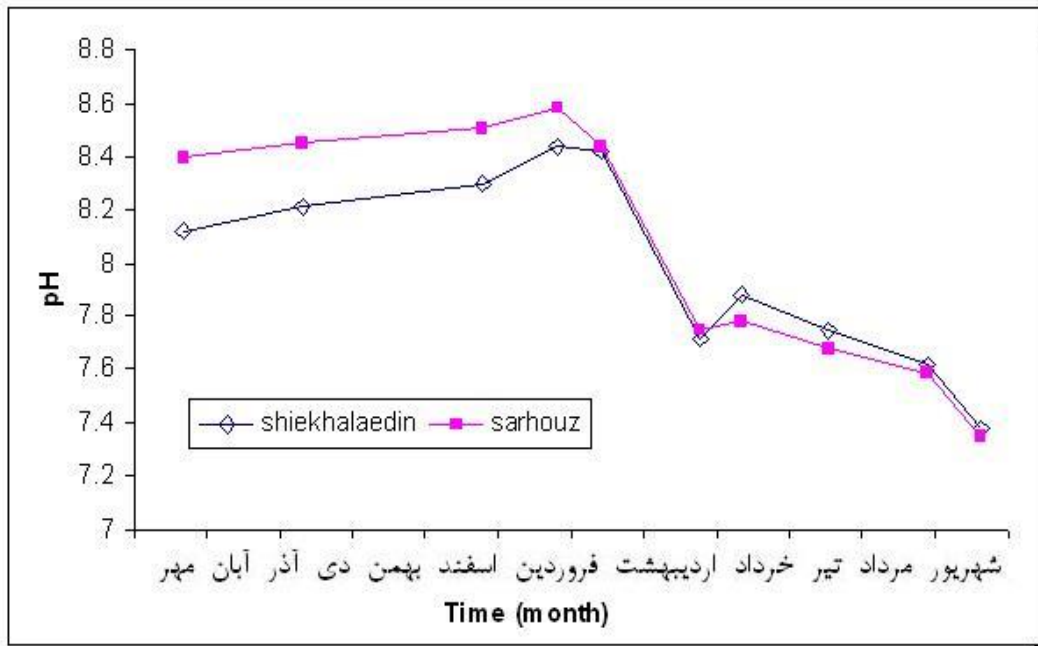


شکل ۴-۴- رابطه تغییرات زمانی دبی- هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

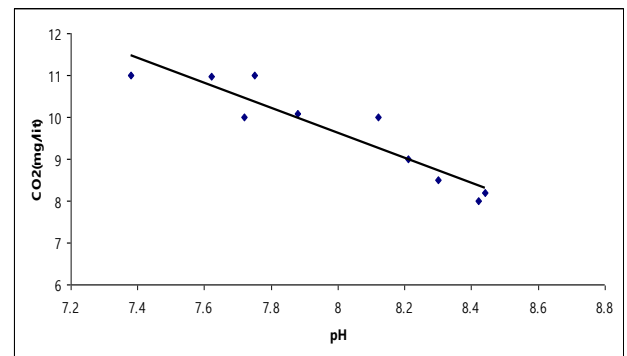
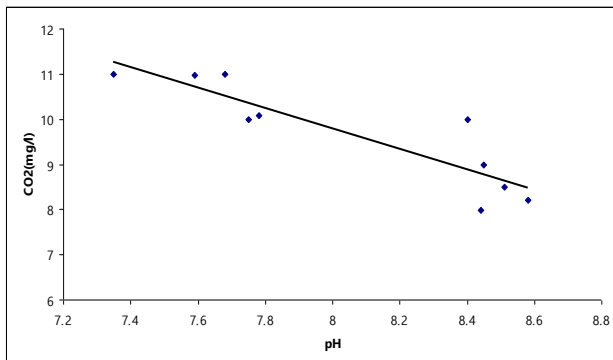
#### ۴-۲-۳- تغییرات زمانی اسیدیته آب چشمه‌ها

با عنایت به داده‌های ارائه شده در جدول (۴-۱)، تغییرات زمانی pH ترسیم شده است (شکل ۴-۵). به منظور ارزیابی کمی تغییرات pH، میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند که میانگین pH آب چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب ۷/۹ و ۸/۱ و انحراف از معیار به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۴۶ می‌باشد و ضریب تغییرات آن‌ها به ترتیب ۴/۶ و ۵/۷ درصد است. با عنایت به ضریب تغییرات نسبتاً بالای pH ملاحظه می‌شود که خصوصیات سیستم تغذیه کننده این چشمه‌ها به احتمال زیاد از نوع مجرای می‌باشد.

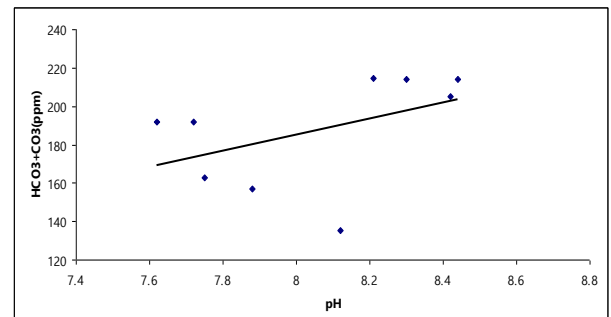
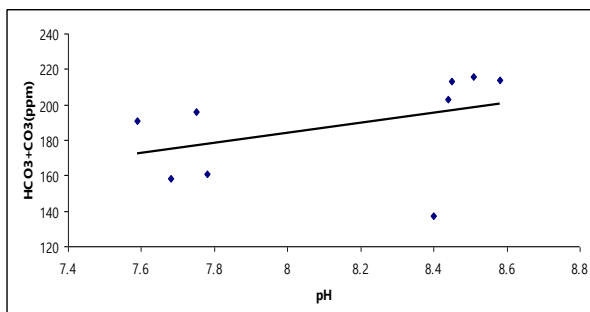
مقدار pH آب به عوامل مختلفی از قبیل میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است به این ترتیب که هرچه مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌های پالنگان افزایش یابد، مقدار pH آب چشمه‌ها کمتر می‌شود (شکل ۴-۶). با افزایش مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات چشمه‌های پالنگان مقدار pH آب چشمه‌ها نیز افزایش می‌یابد (شکل ۴-۷) و با افزایش درجه حرارت آب چشمه‌ها مقدار pH کم می‌شود (شکل ۴-۸). همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌کنیم تمام روندها برای هر دو چشمه یکسان می‌باشد.



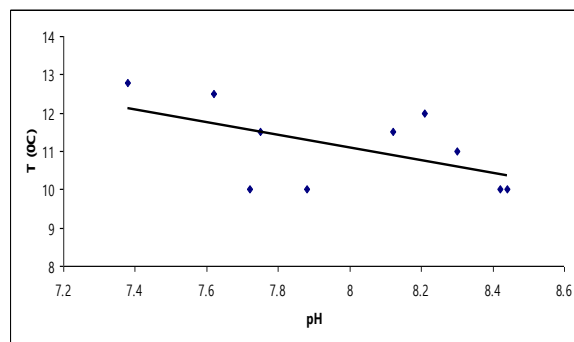
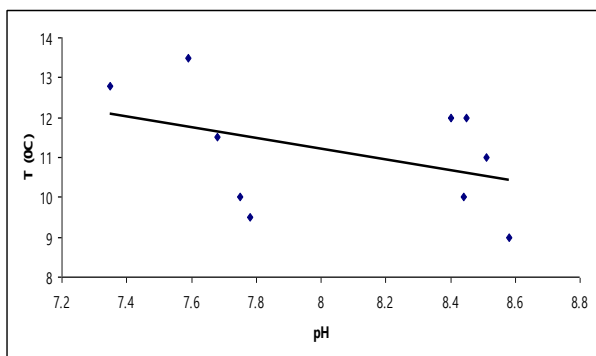
شکل ۴-۵- روند تغییرات اسیدیته آب چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۴-۶- روند تغییرات  $pH - CO_2$  چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



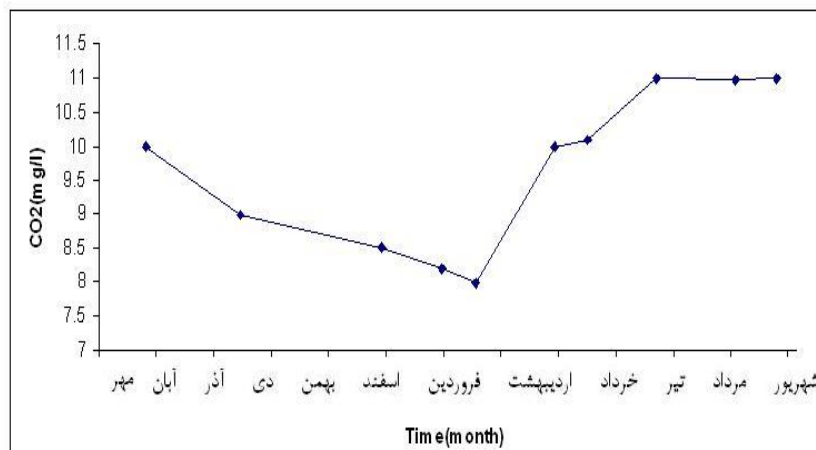
شکل ۴-۷- روند تغییرات  $pH - (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۴-۸- روند تغییرات اسیدیته و درجه حرارت چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

#### ۴-۲-۴- تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌ها

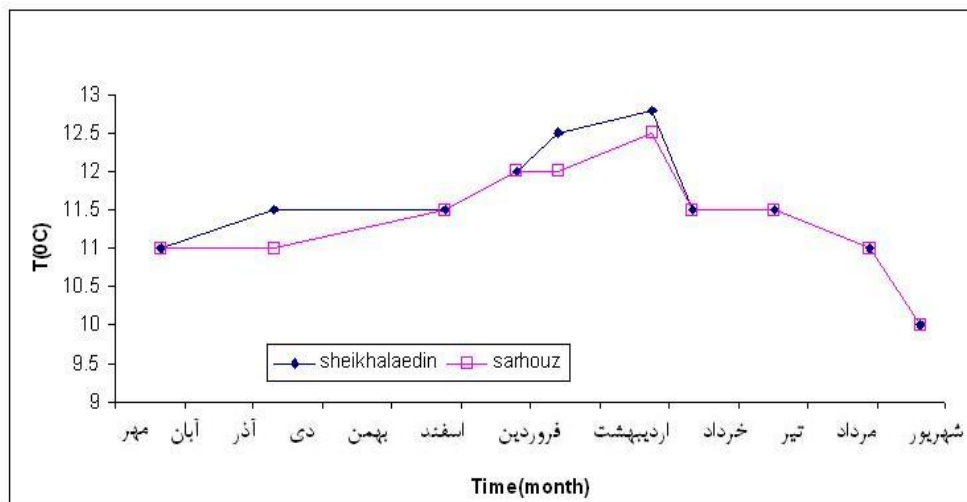
یکی از عوامل مهم در توسعه کارست، میزان دی‌اکسید کربن محلول در آب بارندگی و یا هوای خاک است. منشأ این گاز، اتمسفر زمین و یا هوای خاک است. مقدار فشار جزئی دی‌اکسید کربن در هوای خاک به مراتب بیشتر از مقدار آن در اتمسفر می‌باشد. ضریب تغییرات این پارامتر در سیستم‌های کارستی نوع افشان کمتر از ۵ درصد و در سیستم‌های کارستی مجرای بزرگتر از ۵ درصد است. مقادیر دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌های پالنگان در محل چشمه و به وسیله تیتراسیون آب با محلول سود اندازه‌گیری شده است ضریب تغییرات این پارامتر حدود ۱۲/۱ درصد است که بیانگر غالب بودن جریان مجرای در سفره آب زیرزمینی این چشمه‌هاست. شکل (۴-۹) تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹- تغییرات زمانی دی‌اکسید کربن محلول در آب چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

#### ۴-۲-۵- تغییرات زمانی درجه حرارت آب چشمه‌ها

درجه حرارت چشمه‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در مظهر چشمه‌ها اندازه‌گیری شده است. داده‌های مشاهده شده مربوط به درجه حرارت بیانگر تغییرات بسیار زیادی هستند (شکل ۴-۱۰). ضریب تغییرات درجه حرارت آب یکی از معیارهای مهم برای تفکیک جریان‌های افشان و مجرای نوع کارست می‌باشد. ضریب تغییرات درجه حرارت در چشمه‌هایی که سیستم تغذیه کننده چشمه از نوع افشان است بسیار اندک می‌باشد و در اغلب موارد کمتر از یک درصد است. میانگین مقادیر آب چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد و انحراف از معیار به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و ضریب تغییرات آنها به ترتیب ۶/۹ و ۶/۱ درصد است. با عنایت به بالا بودن ضریب تغییرات درجه حرارت در چشمه‌های کارستی مورد مطالعه، ملاحظه می‌شود که سیستم غالب تغذیه کننده در چشمه‌ها از نوع مجرای نوع است.



شکل ۴-۱۰- روند تغییرات درجه حرارت آب چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

#### ۴-۲-۶- تغییرات زمانی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی که از آنالیز نمونه‌های آب چشمه‌های پالنگان در آزمایشگاه هیدروشیمی پارک علم و فناوری سمنان بدست آمده‌اند، در جداول (۴-۲ و ۴-۳) و (۴-۴ و ۴-۵) به

ترتیب بر حسب میلی گرم در لیتر و میلی اکی والان در لیتر ارائه شده‌اند. همانطور که در جداول مربوطه مشاهده می‌گردد، تغییرات زمانی تمام کاتیون‌ها و آنیون‌ها نسبتاً بالا می‌باشند و با خصوصیات هیدروژن‌تولوزیکی سفره کارستی و دیگر پارامترها کاملاً همخوانی دارد. بالاترین ضریب تغییرات مربوط به یون نیترات است که مقدار آن برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر ۲۰۰ و ۲۰۸/۳ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که از دلایل بالا بودن ضریب تغییرات نیترات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. اول این که در این حوضه کارستی به علت توسعه شدید کارست و همچنین وجود فروچاله‌ها در منطقه، احتمالاً آلودگی نیترات در زمان تغذیه سفره از طریق این عوارض و سایر فضاهای انحلالی بزرگ وجود دارد دوم این که پایین بودن غلظت این یون نیز می‌تواند باعث بالا رفتن ضریب تغییرات آن شود، زیرا اندکی خطای اندازه‌گیری باعث ایجاد تغییرات نسبتاً زیاد می‌شود. با مقایسه ضریب تغییرات به دست آمده برای این آنیون و ضریب تغییرات آن در سیستم‌های کارستی افشان و مجرائی که به ترتیب کمتر از ۱۰ و بالاتر از ۱۰ درصد است، ملاحظه می‌شود که این ضریب تغییرات نیز بیانگر غالب بودن سیستم جریان کارستی مجرائی است.

جدول ۴-۲- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چشمه شیخ علاءالدین بر حسب میلی گرم بر لیتر

تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
۱۳۸۷/۷/۲۵	۴/۳	۱۲۸/۲	۶/۹	۱۳/۹	۶/۱	۱۲/۹۳	۷۰/۱۲	۳/۳	۰/۹
۱۳۸۷/۹/۱۴	۳/۸	۲۰۵/۵	۹	۱۴	۳/۶	۱۱/۷	۶۱	۲/۸	۰/۸
۱۳۸۷/۱۱/۲۸	۶	۲۰۶	۸	۱۳	۳/۹	۱۱/۵	۶۲	۳/۲	۰/۶
۱۳۸۷/۱۲/۲۹	۵/۵	۲۰۸	۶	۱۵	۴/۲	۱۲	۶۳	۳/۴	۱
۱۳۸۸/۱/۱۸	۵/۵	۱۹۸	۷	۱۳	۳/۴	۱۱	۶۱	۲/۷	۰/۸
۱۳۸۸/۲/۲۸	۴	۱۸۵	۷	۱۱/۵	۳/۱	۱۰/۵	۵۹	۲/۵	۰/۷
۱۳۸۸/۳/۱۴	۴/۵	۱۵۲	۵	۱۰	۲/۶	۸/۵	۴۸	۲/۱	۰/۵
۱۳۸۸/۴/۱۹	۴	۱۵۷	۶	۱۰/۵	۲/۷	۸/۸	۴۹	۲/۱	۰/۵
۱۳۸۸/۵/۲۹	۴	۱۸۵	۷	۱۱/۵	۳/۲	۱۰	۵۵	۲/۶	۰/۸
۱۳۸۸/۶/۲۰	۴/۴	۱۹۶	۷	۱۱	۲/۹	۱۰/۵	۶۱	۲/۴	۰/۹
<b>St.Dev.</b>	۲۷/۶	۲۸/۵	۱/۲	۱/۷	۱/۱	۹/۲	۷	۱/۶	۰/۲
<b>Average</b>	۱۳/۸	۱۸۰/۵	۶/۹	۱۲/۵	۳/۶	۱۳/۵	۵۸/۷	۳/۲	۰/۷
<b>C.V.%</b>	۲۰۰	۱۵/۸	۱۷/۴	۱۳/۶	۳۰/۶	۶۸/۲	۱۱/۹	۵۰	۲۸/۶

جدول ۳-۴- غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی چشمه سرحوض بر حسب میلی گرم بر لیتر

تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
۱۳۸۷/۷/۲۵	۴/۳	۱۲۸/۲	۹/۲	۱۲/۹	۶/۱	۱۱/۹۷	۷۱/۲۷	۳/۳	۰/۹
۱۳۸۷/۹/۱۴	۳/۸	۲۰۴	۹	۱۳/۵	۳/۵	۱۱/۶	۶۰	۲/۷	۰/۷
۱۳۸۷/۱۱/۲۸	۵/۵	۲۰۷	۹	۱۳	۳/۹	۱۱/۵	۶۲	۳/۲	۰/۶
۱۳۸۷/۱۲/۲۹	۴/۴	۲۰۷	۷	۱۴/۵	۴/۱	۱۱/۹	۶۲	۳/۴	۰/۹
۱۳۸۸/۱/۱۸	۴/۵	۱۹۶	۷	۱۳	۳/۳	۱۱	۶۰	۲/۶	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۸	۴	۱۸۹	۷	۱۲	۳/۲	۱۰/۸	۶۰	۲/۶	۰/۷
۱۳۸۸/۳/۱۴	۴	۱۵۴	۷	۱۰/۵	۲/۷	۸/۸	۴۸	۲/۱	۰/۶
۱۳۸۸/۴/۱۹	۳/۳	۱۵۲	۶	۱۰	۲/۶	۸/۵	۴۷	۲	۰/۵
۱۳۸۸/۵/۲۹	۳/۲	۱۸۴	۷	۱۱/۵	۳/۲	۱۰	۵۵	۲/۵	۰/۷
۱۳۸۸/۶/۲۰	۴/۴	۱۹۲	۸	۱۱/۵	۳/۱	۱۰/۵	۶۰	۲/۵	۰/۸
<b>St.Dev.</b>	۲۷/۶	۲۸/۶	۱/۲	۱/۵	۱/۱	۸/۶	۷/۵	۱/۶	۰/۱
<b>Average</b>	۱۳/۳	۱۸۰/۱	۷/۶	۱۲/۳	۳/۶	۱۳/۳	۵۸/۴	۳/۱	۰/۷
<b>C.V.%</b>	۲۰۸/۳	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۲/۲	۳۰/۵	۶۴/۷	۱۲/۸	۵۱/۶	۱۸/۶

جدول ۴-۴- غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی چشمه شیخ علاءالدین بر حسب میلی اکی والان بر لیتر

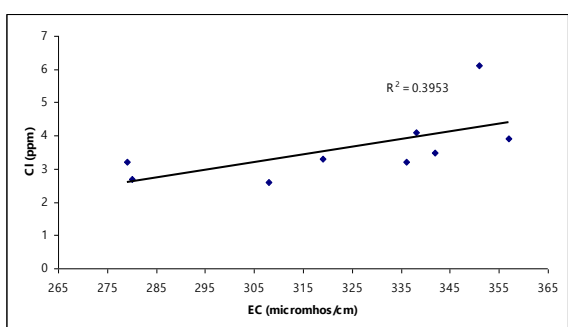
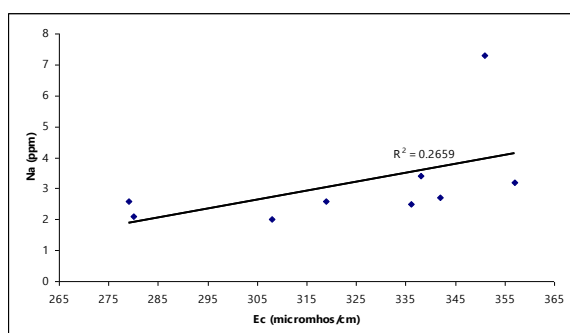
تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Error%
۱۳۸۷/۷/۲۵	۱/۴۱	۲/۱	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۱۷	۳/۱۲	۳/۵	۰/۳۲	۰/۰۲	۴۹/۴۶
۱۳۸۷/۹/۱۴	۰/۰۶	۳/۳۷	۰/۳	۰/۲۹	۰/۱	۰/۹۶	۳/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۷۲
۱۳۸۷/۱۱/۲۸	۰/۱	۳/۳۸	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۹۴	۳/۱	۰/۱۴	۰/۰۱	۱/۹۲
۱۳۸۷/۱۲/۲۹	۰/۰۹	۳/۴۱	۰/۲	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۹۹	۳/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۲	۴/۲۶
۱۳۸۸/۱/۱۸	۰/۰۹	۳/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۹	۳/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۲	۳/۹۹
۱۳۸۸/۲/۲۸	۰/۰۶	۳/۰۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۸۳	۲/۹۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۷/۳۷
۱۳۸۸/۳/۱۴	۰/۰۷	۲/۴۹	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۷	۲/۴	۰/۰۹	۰/۰۱	۶/۱۲
۱۳۸۸/۴/۱۹	۰/۰۶	۲/۵۷	۰/۲	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۷۲	۲/۴۵	۰/۰۹	۰/۰۱	۴/۶۸
۱۳۸۸/۵/۲۹	۰/۰۶	۳/۰۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۸۲	۲/۷۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۱/۰۹
۱۳۸۸/۶/۲۰	۰/۰۷	۳/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۸۳	۳/۰۵	۰/۱	۰/۰۲	۴/۶
<b>St.Dev.</b>	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۷۶	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۰۰۵	۱۵/۳۹
<b>Average</b>	۰/۲۲	۲/۹۶	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۱	۱/۱۱	۲/۹۳	۰/۱۴	۰/۰۱۷	۸/۸۴
<b>C.V.%</b>	۲۰۰	۱۵/۸۸	۱۷/۳۹	۱۱/۵۴	۳۰	۶۸/۴۷	۱۱/۹۳	۵۰/۷۱	۲۹/۴۱	۱۷۴/۱

جدول ۵-۴- غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی چشمه سرحوض بر حسب میلی اکی والان بر لیتر

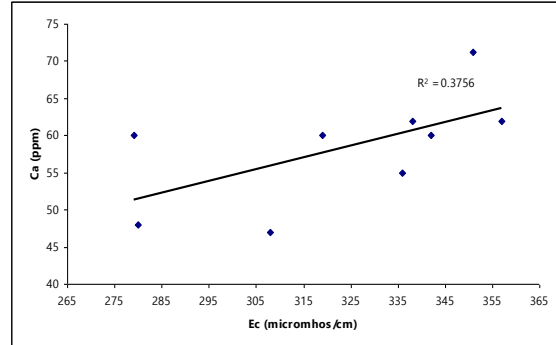
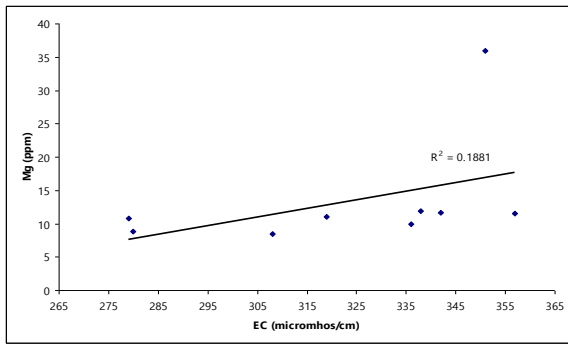
تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Error%
-------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------	------------------	------------------	-----------------	----------------	--------

۴۶/۹۸	۰/۰۲	۰/۳۲	۳/۵۶	۲/۹۶	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۳۱	۲/۱	۱/۴۱	۱۳۸۷/۷/۲۵
۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۱۲	۳	۰/۹۵	۰/۱	۰/۲۸	۰/۳	۳/۳۴	۰/۰۶	۱۳۸۷/۹/۱۴
۰/۹۵	۰/۰۱	۰/۱۴	۳/۱	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۳	۳/۳۹	۰/۰۹	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۳/۳۵	۰/۰۲	۰/۱۵	۳/۱	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۳	۰/۲۳	۳/۳۹	۰/۰۷	۱۳۸۷/۱۲/۲۹
۳/۷۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۳	۰/۹	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۲۳	۳/۲۱	۰/۰۷	۱۳۸۸/۱/۱۸
۷/۴۸	۰/۰۲	۰/۱۱	۳	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۲۳	۳/۱	۰/۰۶	۱۳۸۸/۲/۲۸
۳/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۹	۲/۴	۰/۷۲	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۲۳	۲/۵۲	۰/۰۶	۱۳۸۸/۳/۱۴
۴/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۲/۳۵	۰/۷	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۲	۲/۴۹	۰/۰۵	۱۳۸۸/۴/۱۹
۱/۹۱	۰/۰۲	۰/۱۱	۲/۷۵	۰/۸۲	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۳	۳/۰۱	۰/۰۵	۱۳۸۸/۵/۲۹
۵/۱۳	۰/۰۲	۰/۱۱	۳	۰/۸۷	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۶	۳/۱۴	۰/۰۷	۱۳۸۸/۶/۲۰
۱۴/۷۵	۰/۰۰۵	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۷۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۴۷	۰/۴۵	<b>St.Dev.</b>
۸/۰۴	۰/۰۱۷	۰/۱۳	۲/۹۲	۱/۱	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۲/۹۵	۰/۲۱	<b>Average</b>
۱۸۳/۴۳	۲۹/۴۱	۵۲/۳۸	۱۲/۶۸	۶۸/۵۴	۳۰	۱۱/۶۹	۱۶	۱۵/۹۳	۲۱۴/۳	<b>C.V.%</b>

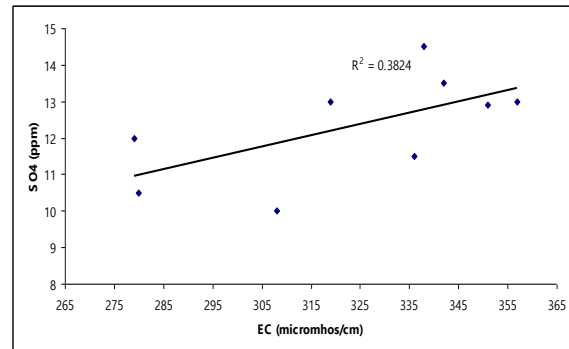
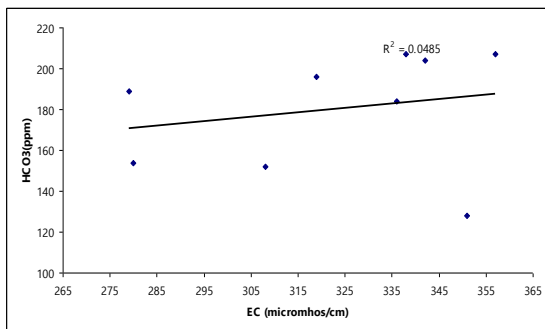
هدایت الکتریکی با املاح موجود در آب رابطه مستقیم دارد، به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌ها نمودار تغییرات یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات در برابر هدایت الکتریکی رسم شده است. شکل‌های (۴-۱۱، ۴-۱۲ و ۴-۱۳) این نمودارها را نشان می‌دهد. بر اساس نمودارهای ترسیم شده بین میزان هدایت الکتریکی و یون‌های مختلف همبستگی مثبت وجود دارد. یون‌های کلر، کلسیم، سولفات سدیم به ترتیب ذکر شده دارای همبستگی بیشتری نسبت به سایر یون‌ها با هدایت الکتریکی هستند.



شکل ۴-۱۱- روند تغییرات هدایت الکتریکی با سدیم و کلر چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۴-۱۲- روند تغییرات هدایت الکتریکی با کلسیم و منیزیم چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۴-۱۳- روند تغییرات هدایت الکتریکی با بی‌کربنات و سولفات چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

### ۴-۳- بررسی مقادیر پارامترهای محاسبه شده

با توجه به غلظت یون‌های اصلی، پارامترهایی از قبیل نسبت کلسیم به منیزیم ( $Ca/Mg$ )، کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (Total Hardness)، قلیائیت (Alkalinity)، نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها ( $Na/\Sigma cation$ )، نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها ( $Cl/\Sigma anion$ )، درصد سدیم ( $\%Na$ ) و درصد جذب سدیم (SAR) برای تمام نمونه‌ها محاسبه شده‌اند. مقادیر پارامترهای مذکور و همچنین میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامترها در جدول (۴-۶ و ۴-۷) ارائه شده است.

جدول ۴-۶- سایر پارامترهای محاسبه شده چشمه‌ها



Na%		SAR		TDS		Alkalinity		تاریخ
Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	
۴/۹	۴/۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۳۵۸/۶۵	۳۵۹/۱۴	۱۳۵/۱	۱۳۷/۴	۱۳۸۷/۷/۲۵
۳/۴	۳/۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۳۱۲/۲	۳۰۸/۸	۲۱۴/۵	۲۱۳	۱۳۸۷/۹/۱۴
۳/۶	۳/۷	۰/۱	۰/۱	۳۱۴/۲	۳۱۵/۷	۲۱۴	۲۱۶	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۴	۴	۰/۱	۰/۱	۳۱۸/۱	۳۱۵/۲	۲۱۴	۲۱۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۹

Ca/Mg		Na/sum Cation		cl/sum Anion		Hardnes		تاریخ
Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	Sheikh	Sarhouz	
۱/۱۲	۱/۲	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۳۳۰/۸۱۳	۳۲۵/۶۵۲	۱۳۸۷/۷/۲۵
۳/۱۸	۳/۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۲۰۰/۴۷	۱۹۷/۵۶	۱۳۸۷/۹/۱۴
۳/۳	۳/۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۲۰۲/۱۵	۲۰۲/۱۵	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۳/۱۸	۳/۲۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۲۰۶/۷	۲۰۳/۷۹	۱۳۸۷/۱۲/۲۹
۳/۳۹	۳/۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۱۹۷/۶	۱۹۵/۱	۱۳۸۸/۱/۱۸
۳/۵۵	۳/۳۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۱۹۰/۵۵	۱۹۴/۲۸	۱۳۸۸/۲/۲۸
۳/۴۳	۳/۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۱۵۴/۸۵	۱۵۶/۰۸	۱۳۸۸/۳/۱۴
۳/۴	۳/۳۶	۰/۰۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۱۵۸/۵۸	۱۵۲/۳۵	۱۳۸۸/۴/۱۹
۳/۵۳	۳/۳۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۱۷۸/۵	۱۷۸/۵	۱۳۸۸/۵/۲۹
۳/۷	۳/۴۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۱۹۵/۵	۱۹۳/۰۵	۱۳۸۸/۶/۲۰
۰/۸	۰/۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۵۱/۷۵	۵۰/۶۵	<b>St.Dev.</b>
۳/۱۲	۳/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۲۰۲/۲۴	۲۰۰/۶۱	<b>Average</b>
۲۵/۶۴	۲۲/۵۸	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۲۵/۵۹	۲۵/۲۵	<b>C.V.%</b>

جدو  
ل  
-۴  
-۷  
سایر  
پارام  
ترها

ی محاسبه شده چشمه‌ها

۳/۳	۳/۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۳۰۲/۴	۲۹۸/۱	۲۰۵	۲۰۳	۱۳۸۸/۱/۱۸
۳/۲	۳/۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۸۳/۳	۲۸۹/۳	۱۹۲	۱۹۶	۱۳۸۸/۲/۲۸
۲/۷	۲/۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۲۳۳/۲	۲۳۷/۷	۱۵۷	۱۶۱	۱۳۸۸/۳/۱۴
۳/۱	۲/۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۲۴۰/۶	۲۳۱/۹	۱۶۳	۱۵۸	۱۳۸۸/۴/۱۹
۳/۸	۳/۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۲۷۹/۱	۲۷۷/۱	۱۹۲	۱۹۱	۱۳۸۸/۵/۲۹
۳	۳/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۲۹۶/۱	۲۹۲/۸	۲۰۳	۲۰۰	۱۳۸۸/۶/۲۰
۰/۶	۰/۷	۰/۰۳	۰/۰۳۶	۳۹/۴۵	۳۹/۸۶	۲۹/۰۶	۲۸/۶۶	<b>St.Dev.</b>
۳/۵	۳/۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۲۹۳/۵۳	۲۹۲/۵۵	۱۸۷/۴	۱۷۸/۸۱	<b>Average</b>
۱۷/۱	۲۱/۷	۳۳/۳	۴۰	۱۳/۴۴	۱۳/۶۲	۱۵/۵۱	۱۶/۰۳	<b>C.V.%</b>

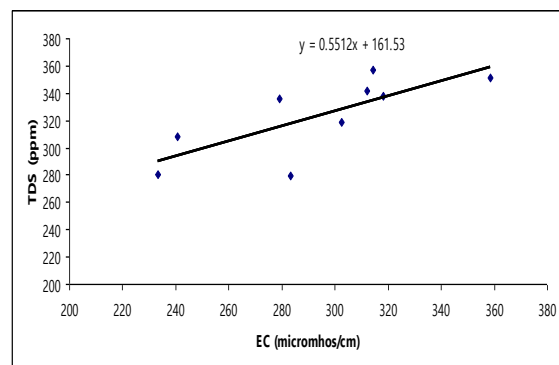
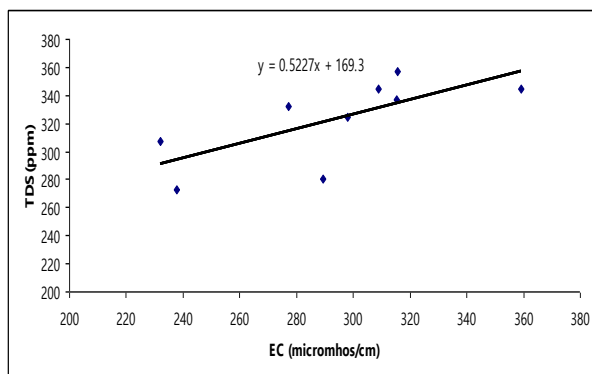
#### ۴-۳-۱- نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)

نسبت غلظت یون کلسیم به منیزیم در سفره‌های کارستی کربناته، شاخص بسیار مناسبی برای تشخیص سفره‌های کارستی آهکی از سفره‌های کارستی دولومیتی می‌باشد. به طور کلی نسبت‌های نزدیک به یک مربوط به سفره‌های کارستی دولومیتی و نسبت‌های بین ۲ تا ۱۰ مربوط به سفره‌های کارستی آهکی می‌باشند (White 1988, Longmuir 1971 نقل از کرمی ۱۳۸۳). در صورتی که نسبت‌های بالای ۱۰ در آب‌های کارستی مشاهده شود، نشانگر درصد خلوص بالاتر آهک و یا وجود کانی‌های ژیپس یا انیدرید در تشکیلات آهکی است. معمولاً نسبت‌های کمتر از یک در تشکیلات کربناته مشاهده نمی‌شود، به استثنای مواردی که فرار گاز دی اکسید کربن از آب زیرزمینی در لایه آبدار دولومیتی موجب رسوب آراگونیت یا کلسیت گردد و به این ترتیب غلظت یون منیزیم در آب بالا می‌رود. برای محاسبه این پارامتر، غلظت‌های دو کاتیون کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۴-۶) ملاحظه می‌گردد میانگین نسبت یون کلسیم به منیزیم برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۳/۱ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که جنس سفره آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه عمدتاً آهکی است. مقادیر انحراف از معیار برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۷

می‌باشد و ضریب تغییرات این پارامتر به ترتیب برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض برابر ۲۵/۶ و ۲۲/۶ درصد می‌باشد.

#### ۴-۳-۲- کل مواد جامد محلول در آب

کل مواد جامد محلول عبارت است از مجموع مقادیر تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار میانگین کل مواد جامد محلول در آب در طی یک سال نمونه برداری برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر با ۲۹۳/۵ و ۲۹۲/۵ میلی گرم در لیتر و مقادیر انحراف از معیار برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر با ۳۹/۵ و ۳۹/۹ و ضریب تغییرات این پارامتر برابر با ۱۳/۴ و ۱۳/۶ درصد می‌باشد. این پارامتر آماری هم تأیید کننده تغییرات زیاد مقدار کل مواد جامد محلول در آب چشمه‌های پالنگان می‌باشد. به منظور تعیین ارتباط بین میزان هدایت الکتریکی و کل املاح جامد محلول در آب نمودار تغییرات هدایت الکتریکی در برابر کل جامدات محلول ترسیم شد (شکل ۴-۱۴). همانطور که ملاحظه می‌گردد رابطه بین هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول رابطه‌ای خطی برقرار است و این مطلب بیانگر افزایش هدایت الکتریکی با افزایش میزان املاح موجود در آب می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- رابطه بین کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی در چشمه‌های پالنگان

#### ۴-۳-۳- سختی کل

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

با توجه به مقادیر سختی کل نمونه‌های آب چشمه‌های پالنگان (جدول ۴-۶)، ملاحظه می‌شود که میانگین سختی کل برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر با ۲۰۲/۲ و ۲۰۰/۶ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. مقادیر انحراف از معیار برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر با ۵۱/۷ و ۵۰/۶ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و ضریب تغییرات این پارامتر به ترتیب برابر با ۲۵/۶ و ۲۵/۲ درصد می‌باشد.

برای تعیین نوع آب بر اساس سختی از طبقه‌بندی رایج (Todd 1980) استفاده می‌گردد. در این طبقه‌بندی آب‌ها به ۴ گروه بر اساس میزان سختی کل تقسیم می‌گردند (جدول ۴-۸). با توجه به میانگین سختی کل نمونه‌های آب چشمه‌های پالنگان ملاحظه می‌شود که آب این چشمه‌ها در گروه آب‌های سخت (گروه ۳) قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۸- طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل (Todd, 1980)

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

#### ۴-۳-۴- درصد سدیم و نسبت جذب سدیم

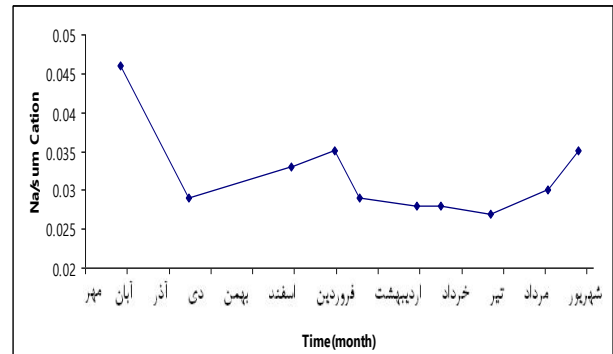
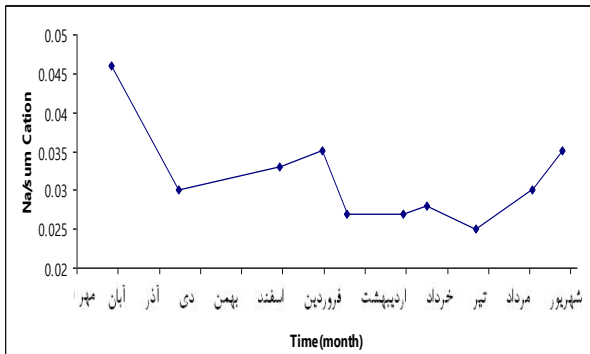
سدیم یکی از یون‌هایی است که به لحاظ کیفیت آب آبیاری بسیار حائز اهمیت است. چنانچه غلظت سدیم زیاد باشد، خواص فیزیکی خاک از قبیل نفوذپذیری، زهکشی و تهویه خاک به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کنند که این تغییرات بر روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. به منظور بیان مقدار سدیم موجود در آب آبیاری از دو پارامتر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم استفاده می‌شود.

میزان تغییرات، میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات درصد سدیم و نسبت جذب سدیم در جدول (۴-۷) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد میانگین مقدار درصد سدیم و نسبت جذب سدیم برای نمونه‌های آب چشمه‌های پالنگان در دوره آماری یک ساله به ترتیب برابر با ۰/۰۹ و ۳/۵ می‌باشد. با توجه به تغییرات این دو پارامتر مشاهده می‌شود که مقادیر آن‌ها بسیار زیاد بوده و مقادیر انحراف از معیار و ضریب تغییرات درصد سدیم به ترتیب ۰/۶ و ۱۷/۱ درصد و برای نسبت جذب سدیم به ترتیب برابر با ۰/۰۳ و ۳۳/۳ درصد می‌باشند.

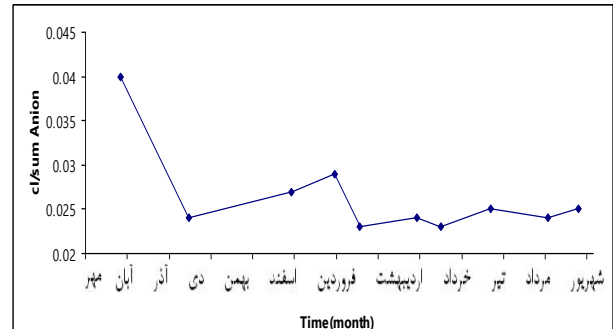
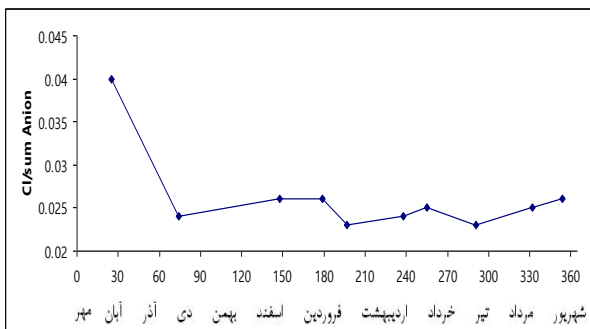
#### ۴-۳-۵- نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها و نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها

همانطور که قبلاً ذکر شد برای کلیه نمونه‌ها نسبت‌های سدیم به مجموع کاتیون‌ها و کلر به مجموع آنیون‌ها محاسبه شده و در جدول (۴-۶) ارائه شده است. شکل‌های (۴-۱۵ و ۴-۱۶) به ترتیب نسبت یون سدیم به مجموع کاتیون‌ها و نسبت یون کلر به مجموع آنیون‌ها را نشان می‌دهد. روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها مانند روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها می‌باشد. روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها و نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض با تغییرات هدایت الکتریکی رابطه نسبتاً مستقیم داشته (شکل‌های ۴-۱۷ و ۴-۱۸) و با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۴-۱۹ و ۴-۲۰). به عبارت ساده تر، با افزایش دبی جریان خروجی از چشمه‌ها سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب‌زیرزمینی می‌شود. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه غلظت یون‌ها در آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که

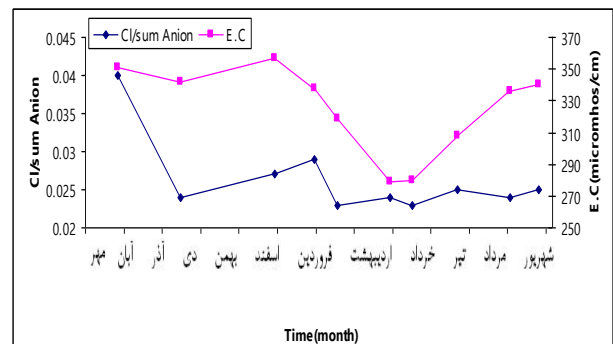
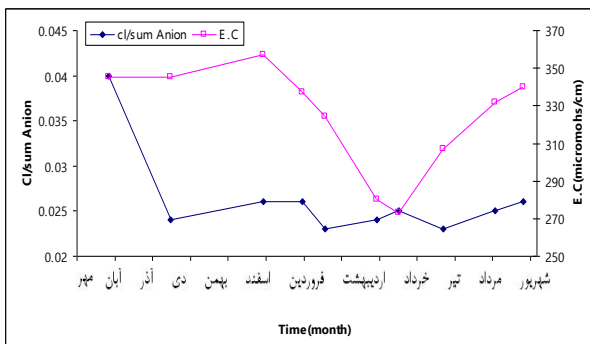
دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر بر عکس می‌شوند و در غلظت یون‌ها در آب چشمه‌ها افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۴-۱۵- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

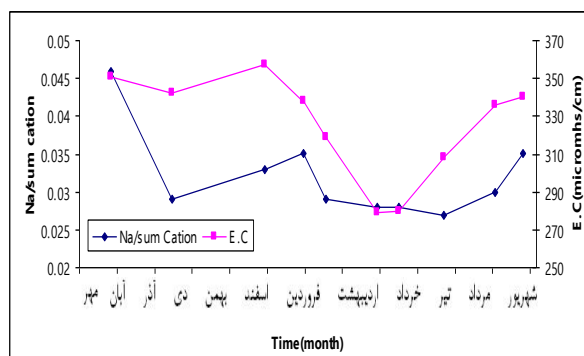
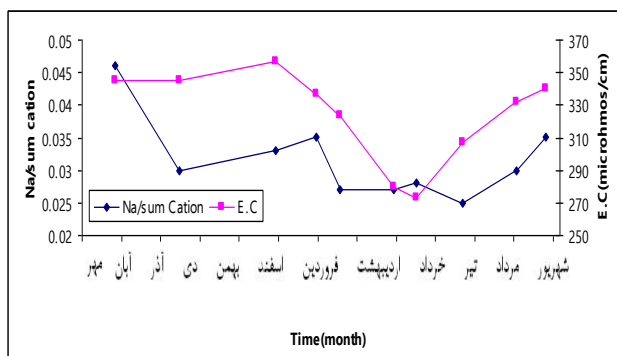


شکل ۴-۱۶- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

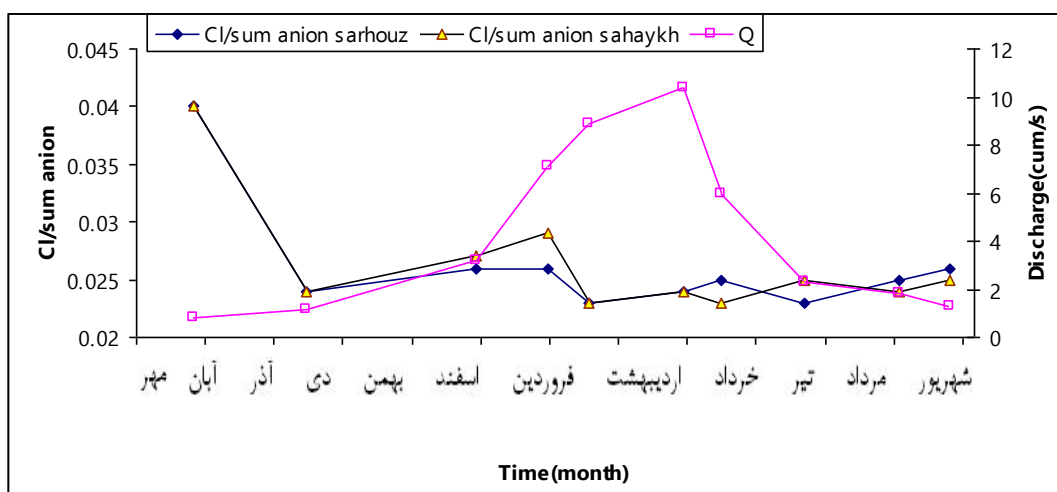


شکل ۴-۱۷- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها با تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-

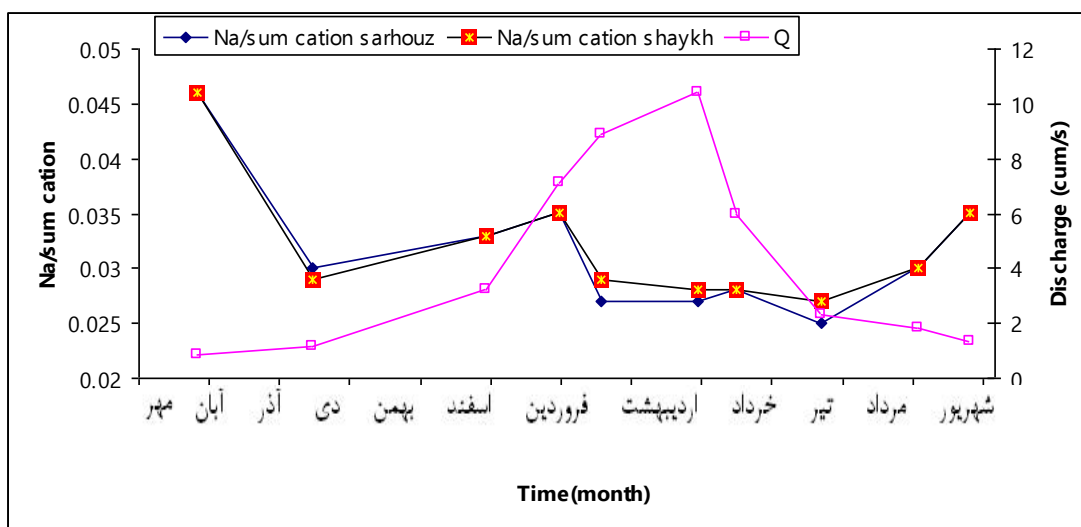
۱۳۸۷



شکل ۴-۱۸- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها با تغییرات هدایت الکتریکی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



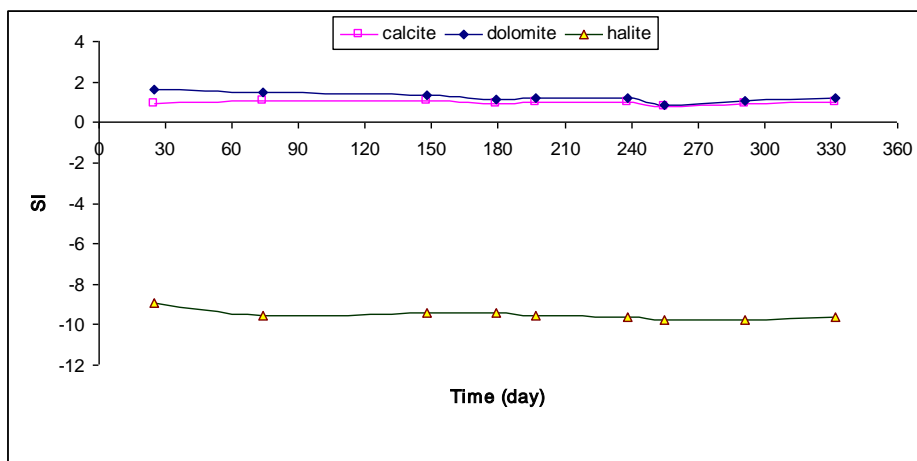
شکل ۴-۱۹- روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها با دبی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۴-۲۰- روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها با دبی چشمه‌های پالنگان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

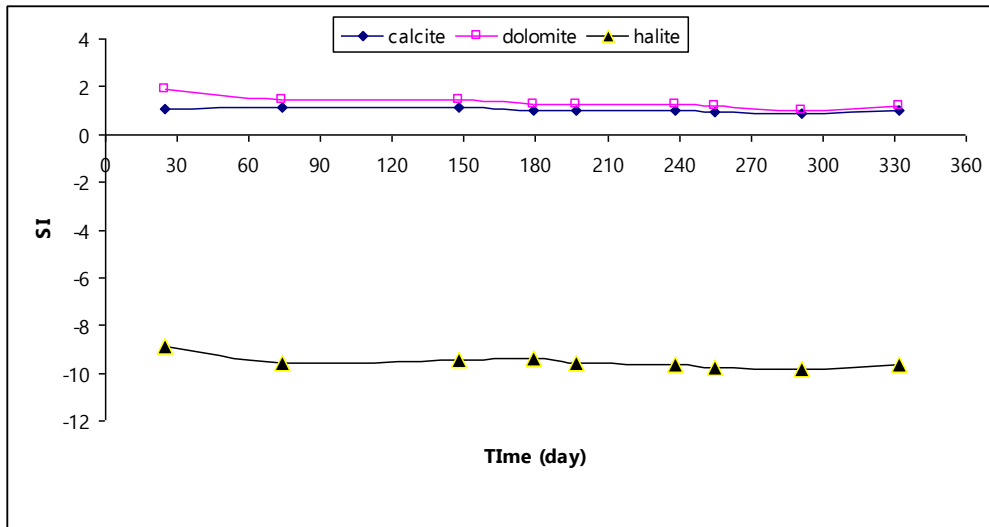
#### ۴-۴- محاسبه شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت

به منظور محاسبه شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت در منطقه پالنگان از نرم افزار (PHREEQC) استفاده شد (جدول ۴-۹). نتایج این بررسی نشان داد که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت برای تمامی نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه مثبت بوده و بیانگر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این دو عنصر است. علت اشباع بودن کلسیت و دولومیت در منطقه وجود سازند آهکی بیستون می‌باشد این امر باعث می‌شود که آب‌های زیرزمینی منطقه از لحاظ شاخص‌های اشباع کلسیت و دولومیت اشباع باشند. هم چنین مقادیر شاخص اشباع هالیت در منطقه نشان می‌دهد که آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نسبت به هالیت غیر اشباع است (شکل‌های ۴-۲۱ و ۴-۲۲). میانگین مقدار شاخص اشباع کلسیت برای چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض به ترتیب برابر با ۱ و ۱/۰۱ می‌باشد، برای دولومیت برابر ۱/۲۳ و ۱/۳۲ و برای هالیت برای هر دو چشمه برابر ۹/۵- می‌باشد.



شکل ۴-۲۱- تغییرات شاخص اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت در چشمه شیخ علاءالدین





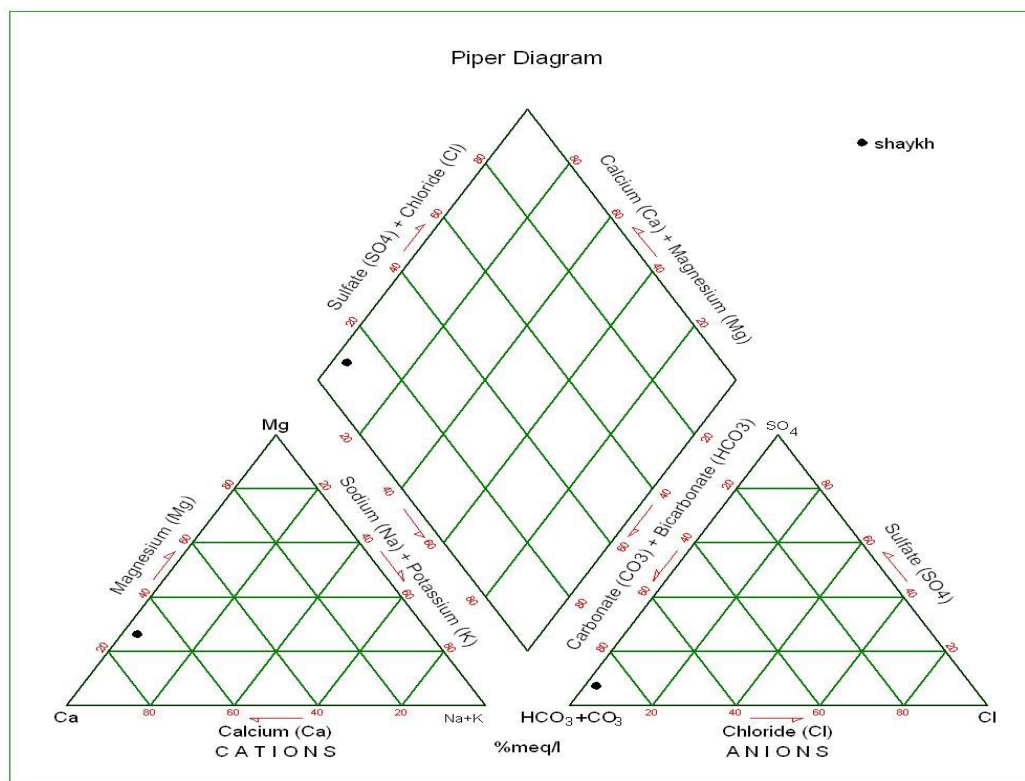
شکل ۴-۲۲- تغییرات شاخص اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت در چشمه سرخوض

جدول ۴-۹- شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت و هالیت برای چشمه‌های پالنگان

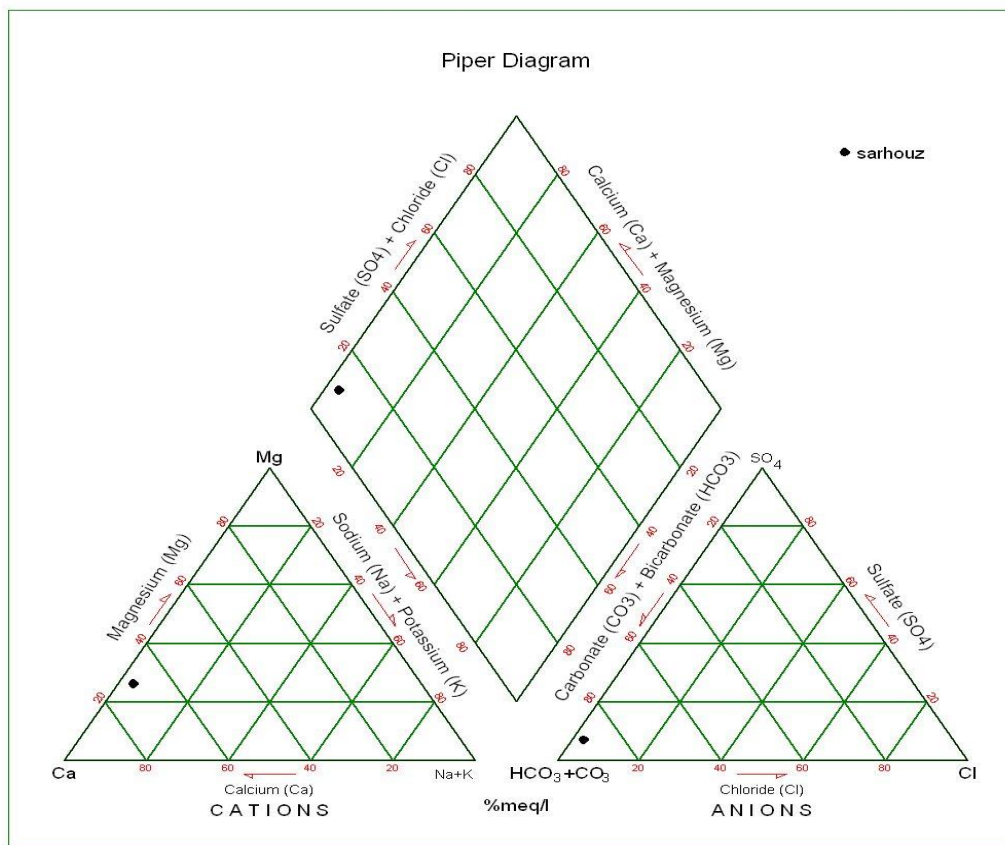
$SI_c$		$SI_d$		$SI_h$		تاریخ
sheikh	sarhouz	sheikh	sarhouz	sheikh	sarhouz	
۰/۹۴	۱/۰۷	۱/۶۵	۱/۸۸	۸/۹-	۸/۹-	۱۳۸۷/۷/۲۵
۱/۱	۱/۱	۱/۴۵	۱/۴۴	۹/۵۳-	۹/۵۶-	۱۳۸۷/۹/۱۴
۱/۰۶	۱/۱۱	۱/۳۴	۱/۴۴	۹/۴۴-	۹/۴۴-	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۰/۹۴	۱	۱/۱۱	۱/۲۵	۹/۳۸-	۹/۳۹-	۱۳۸۷/۱۲/۲۹
۱	۱	۱/۲۳	۱/۲۳	۹/۵۷-	۹/۶-	۱۳۸۸/۱/۱۸
۱	۱	۱/۲۴	۱/۲۴	۹/۶۴-	۹/۶۱-	۱۳۸۸/۲/۲۸
۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۸۷	۱/۱۷	۹/۷۹-	۹/۷۷-	۱۳۸۸/۳/۱۴
۰/۹	۰/۸۹	۱/۰۴	۱/۰۳	۹/۷۷-	۹/۸۱-	۱۳۸۸/۴/۱۹
۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۹/۶۱-	۹/۶۲-	۱۳۸۸/۵/۲۹
۰/۹۴	۱/۰۷	۱/۶۵	۰/۲	۸/۹-	۰/۳	۱۳۸۸/۶/۲۰
۰/۱	۰/۱	۰/۲	۱/۳	۰/۲	۹/۵-	<b>St.Dev.</b>
۱	۱	۱/۲	۱۵/۴	۹/۵-	۳/۱-	<b>Average</b>
۱۰	۱۰	۱۶/۶	۱/۸۸	۲/۱-	۸/۹-	<b>C.V.%</b>

#### ۴-۵- بررسی زون‌های غالب یونی آب چشمه‌ها با استفاده از نمودار پایپر

یکی از کاربردی‌ترین نمودارهایی که جهت بررسی تیپ آب مورد استفاده قرار می‌گیرد دیاگرام مثلثی پایپر است. شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها از طریق دیاگرام پایپر به خوبی مشخص می‌شود زیرا نمونه‌هایی که دارای خصوصیات مشابه هستند به صورت گروهی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. همچنین از نمودار پایپر جهت تعیین تیپ آب، انحلال یا رسوبگذاری، اختلاط بین دو نوع آب و تبادل یونی استفاده می‌کنند. با توجه به موقعیت قرارگیری نمونه‌های آب در دیاگرام پایپر در هر دو چشمه نتیجه‌گیری می‌شود که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای کلسیم، منیزیم و بیکربنات بالایی می‌باشد و آب‌هایی با سختی موقت هستند (شکل‌های ۴-۲۳ و ۴-۲۴). بر اساس این دیاگرام تمام نمونه‌ها دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند و در آنها غلبه با اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی می‌باشد.



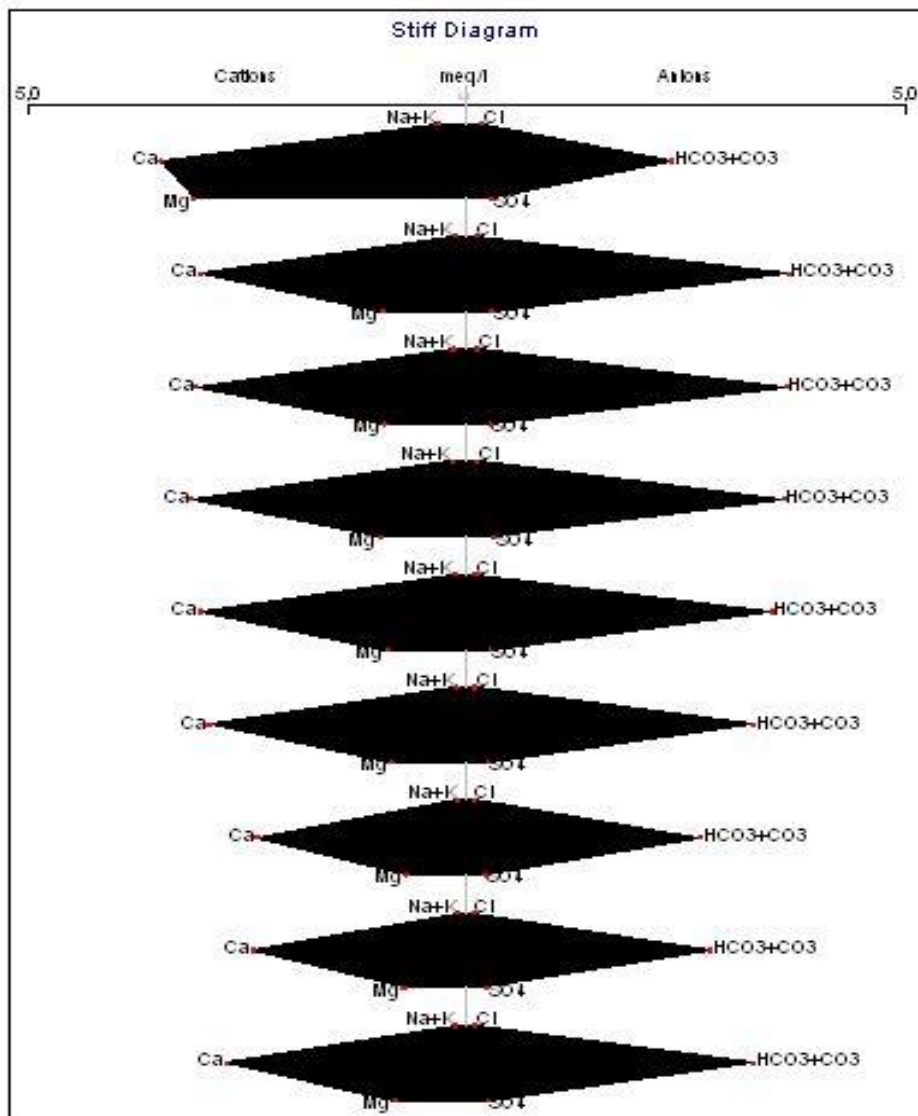
شکل ۴-۲۳- دیاگرام پایپر چشمه علاءالدین



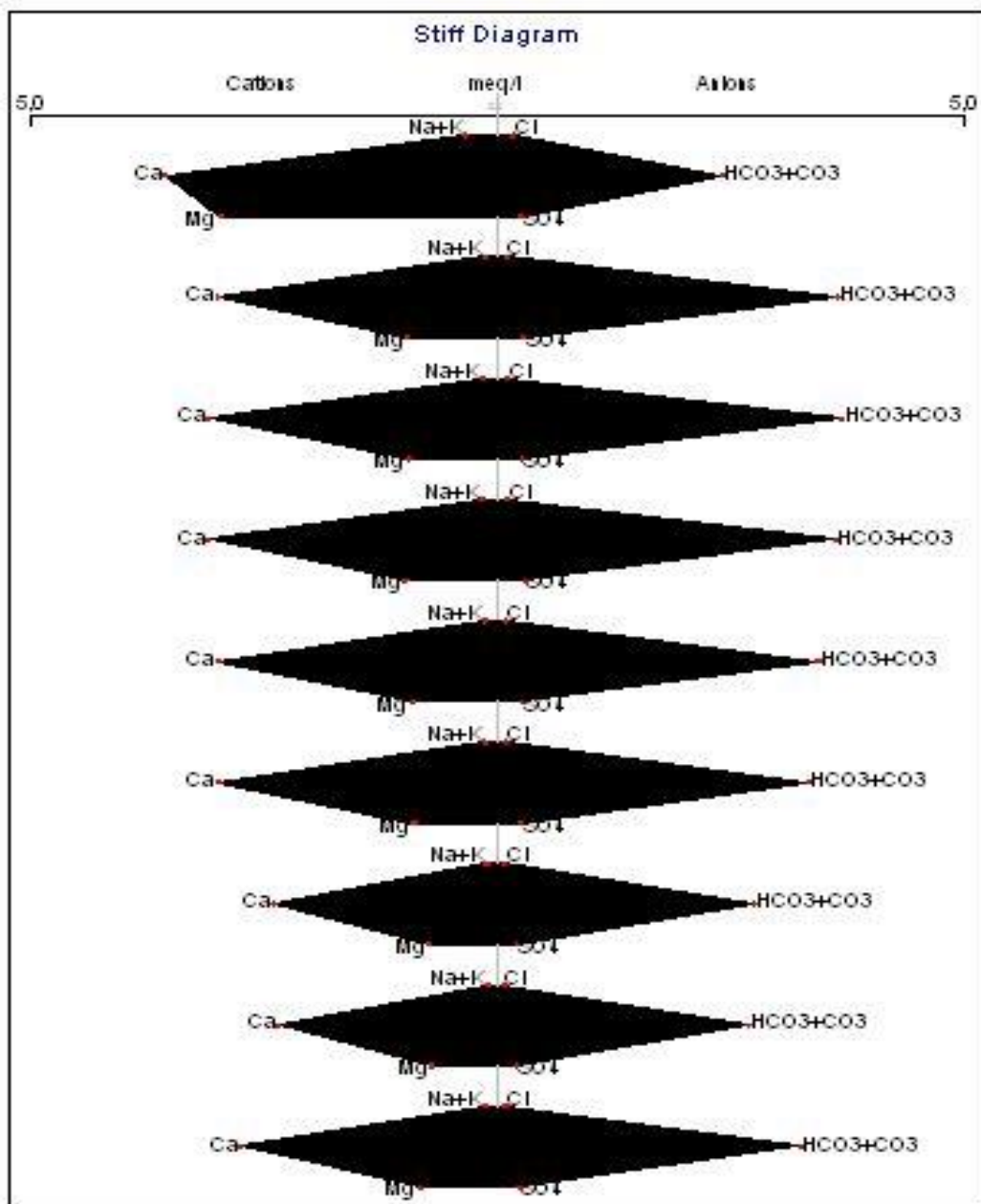
شکل ۴-۲۴- دیاگرام پایپر چشمه شیخ سرحوض

#### ۴-۶- بررسی تیپ آب چشمه‌ها با استفاده از دیاگرام استیف

استفاده از دیاگرام استیف یکی از بهترین روش‌ها جهت تعیین تیپ نمونه‌های آب می‌باشد. اندازه و شکل حاصل از این نمودار، تقریباً متناسب با کل محتوی یونی است. همچنین از این نمودار جهت تشخیص سنگ منشاءهای مختلف نیز استفاده می‌شود. شکل‌های (۴-۲۵) و (۴-۲۶) نمودار استیف ترسیم شده برای نمونه‌های آب چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل‌ها مشخص است اکثر نمونه‌ها دارای آنیون غالب بیکربنات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشند و به عبارت دیگر دارای تیپ بیکربنات کلسیک می‌باشند.



شكل ٢٥-٤- دياگرام استيف چشمه شيخ علاءالدين



شکل ۴-۲۶- دیاگرام استیف چشمه سرحوض

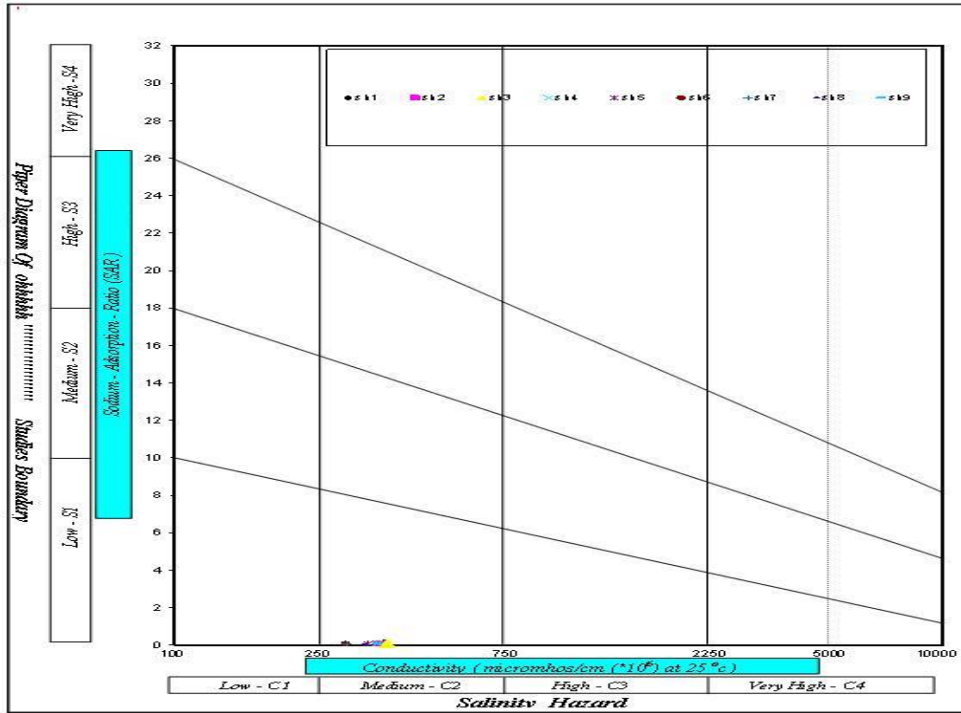
#### ۴-۷- بررسی کیفیت آب چشمه‌ها از نظر کشاورزی

مهمترین معیار طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثرند بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازد. با استفاده از برنامه chemistry نمودار ویلکوکس برای چشمه‌های پالنگان ترسیم

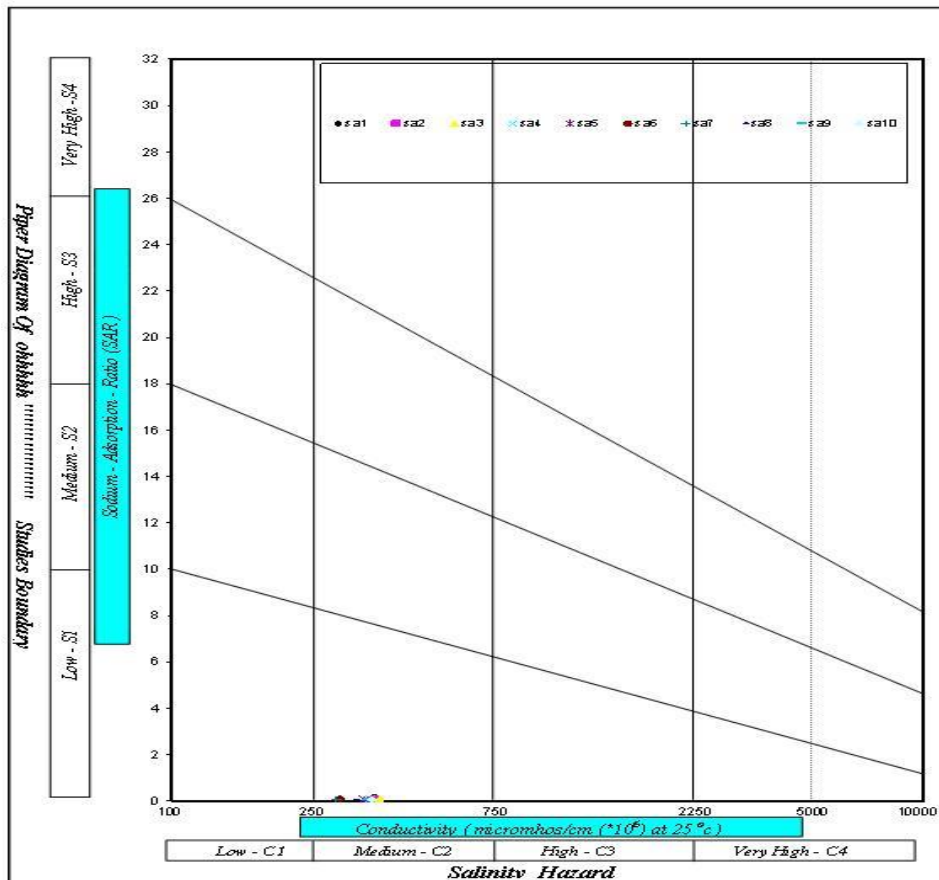
شده است (شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸). در این نمودار آب آبیاری بر اساس دو معیار S.A.R (خطر سدیم) و هدایت الکتریکی ویژه (خطر شوری) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود. آب‌های رده  $C_1S_1$  بهترین و آب‌های رده  $C_4S_4$  بدترین آب برای استفاده در آبیاری است. آب هر دو چشمه در رده  $C_2S_1$  قرار می‌گیرد و برای کشاورزی مناسب می‌باشد.

#### ۴-۸- بررسی کیفیت آب چشمه‌ها از نظر شرب

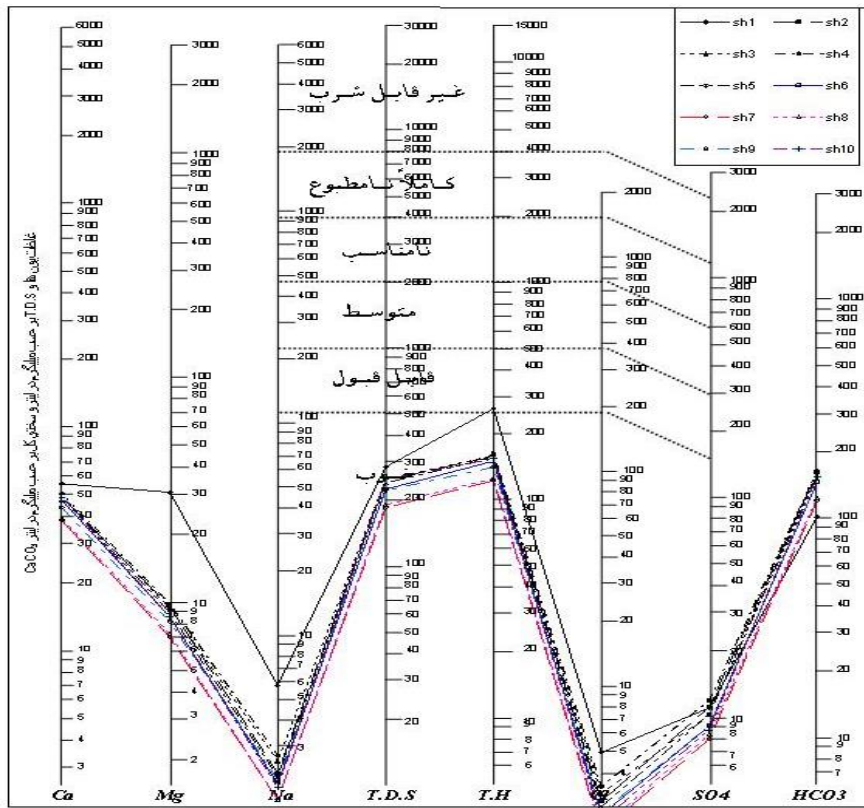
آب آشامیدنی باید فاقد رنگ، طعم و بو باشد و به لحاظ عناصر و مواد شیمیایی موجود در آن در محدوده مجاز که توسط سازمان‌های بهداشتی تعیین می‌شود قرار گیرد. به منظور تعیین کیفیت آب چشمه‌های پالنگان از نظر شرب از دیاگرام شولر استفاده شد که شکل‌های (۴-۲۹) و (۴-۳۰) این دیاگرام را برای نمونه‌های مربوط به چشمه شیخ علاءالدین و سرحوض نشان می‌دهد. بر اساس دیاگرام ترسیم شده میزان عناصر محلول در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در هر دو چشمه از حد مجاز تجاوز نمی‌کند و لذا در رده خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرد.



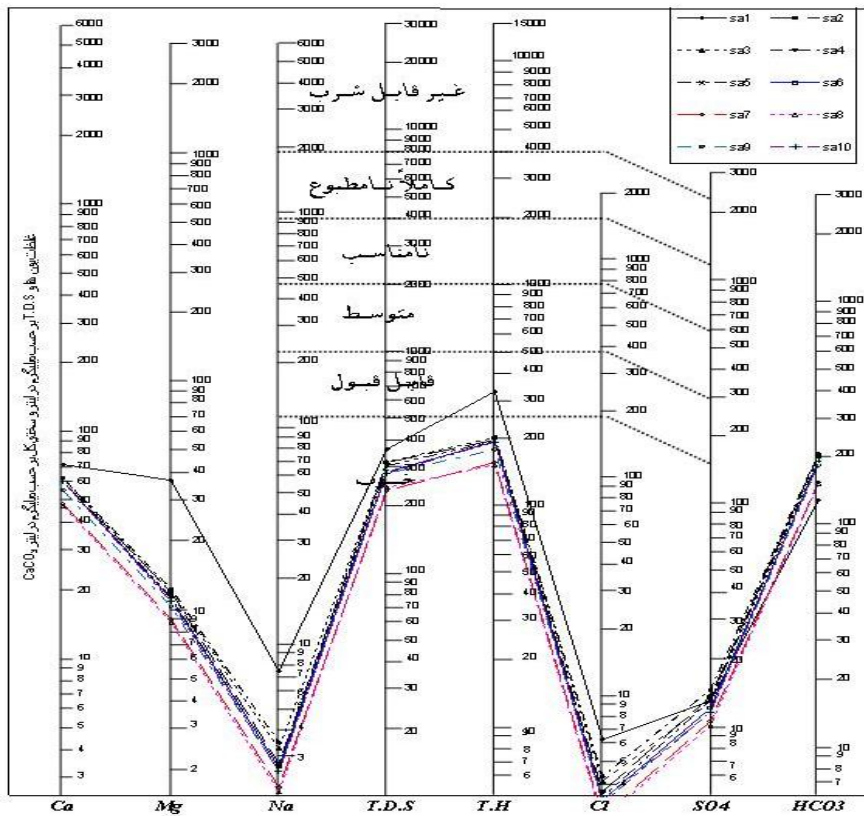
شکل ۴-۲۷- نمودار ویلکاکس چشمه علاءالدین



شکل ۴-۲۸- نمودار ویلکاکس چشمه سرخوس



شکل ۴-۲۹- نمودار شولر چشمه شيخ علاءالدين





## فصل پنجم: تجزیه و تحلیل خصوصیات

### فیزیکی و شیمیایی رودخانه تنگیور

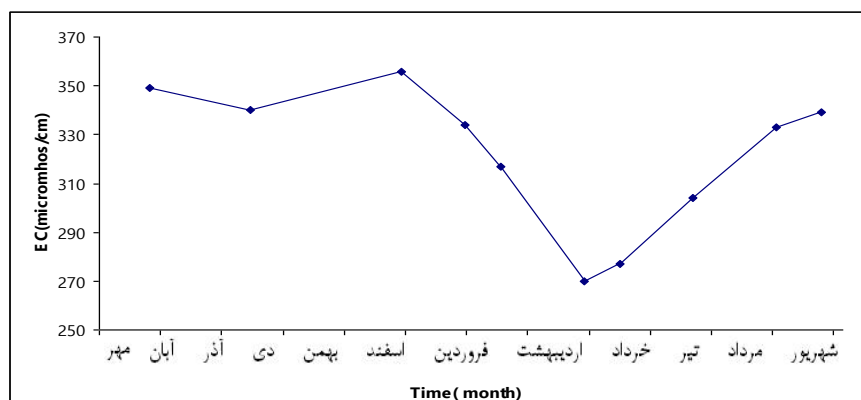
#### ۵-۱- مقدمه

به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رودخانه تنگیور، تغییرات زمانی پارامترهای هدایت الکتریکی و اسیدیته به عنوان دو پارامتر مهم در طی یک سال در محل اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. مقادیر پارامترهای مذکور و همچنین میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامترها در جداول (۵-۱ و ۵-۲) ارائه شده است. این تغییرات به طور مختصر ارائه خواهد شد:

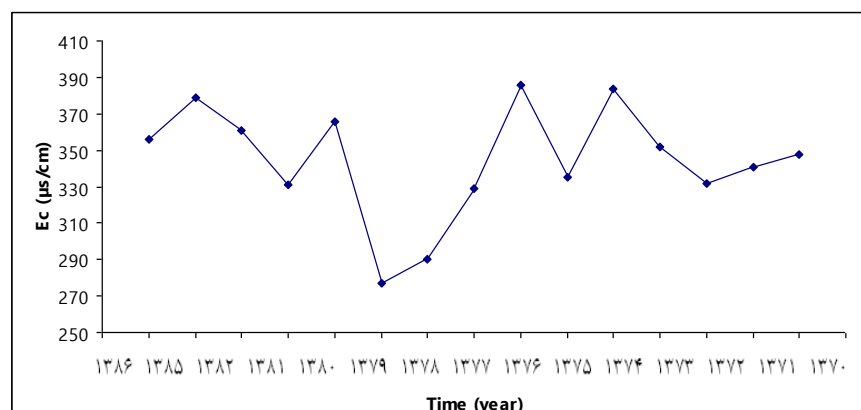
#### ۵-۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در رودخانه تنگیور

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۸-۸۷ در محل اندازه‌گیری شده و داده‌های این پارامتر در (جدول ۵-۱) مشاهده می‌شوند. به منظور بررسی مقدار تغییرات هدایت الکتریکی در رودخانه تنگیور، میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند. با توجه به نتایج مندرج در این جدول و شکل (۵-۱) میزان تغییرات نسبتاً بالا است. به این ترتیب که میانگین هدایت الکتریکی آب رودخانه تنگیور ۳۲۱ میکروموس بر سانتی‌متر و

انحراف از معیار  $29/5$  میکروموس بر سانتی متر می باشد و ضریب تغییرات  $9/2$  درصد است. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی برای رودخانه تنگیور در (شکل ۵-۱) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود میزان هدایت الکتریکی آب رودخانه پایین و می توان نتیجه گرفت عاری از هر گونه آلودگی بوده و آب رودخانه همان آب چشمه های کارستی منطقه می باشد. همچنین تغییرات سالانه (آمار ۱۵ ساله) هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور را که توسط شرکت آب منطقه ای کردستان اندازه گیری شده است (جدول ۵-۲) مورد بررسی قرار می دهیم. میانگین آن در یک دوره ۱۵ ساله برابر با  $344$  میکروموس بر سانتی متر و انحراف از معیار  $31/2$  میکروموس بر سانتی متر می باشد و ضریب تغییرات  $9/1$  درصد است. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی برای رودخانه تنگیور در (شکل ۵-۲) ارائه شده است.



شکل ۵-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۵-۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور در سال های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۶

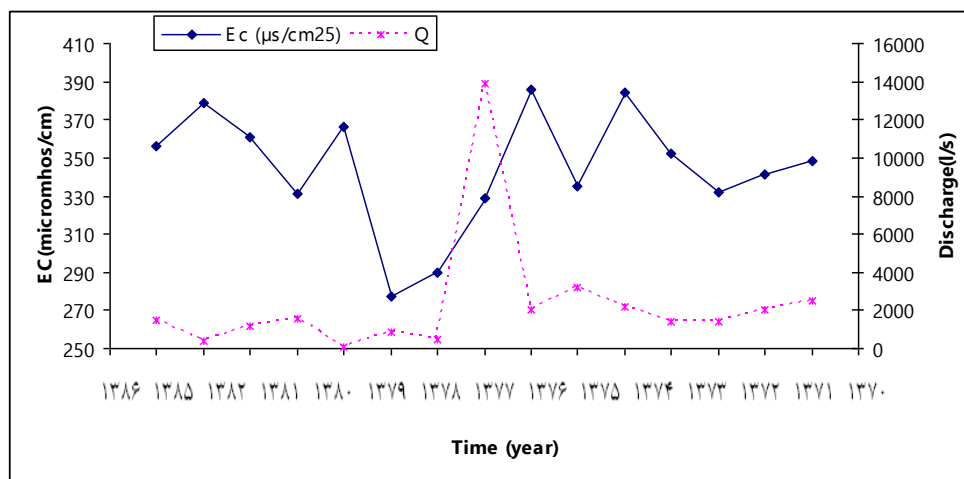
جدول ۵-۱- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

pH	EC (micro mhos/cm)	تاریخ (ماه)
۸/۲	۳۴۹	۱۳۸۷/۷/۲۵
۸/۳۳	۳۴۰	۱۳۸۷/۹/۱۴
۸/۲۵	۳۵۶	۱۳۸۷/۱۱/۲۸
۸/۴	۳۳۴	۱۳۸۷/۱۲/۲۹
۸/۳۸	۳۱۷	۱۳۸۸/۱/۱۸
۸/۶۸	۲۷۰	۱۳۸۸/۲/۲۸
۷/۹	۲۷۷	۱۳۸۸/۳/۱۴
۷/۸	۳۰۴	۱۳۸۸/۴/۱۹
۷/۵۲	۳۳۳	۱۳۸۸/۵/۲۹
۷/۵	۳۳۹	۱۳۸۸/۶/۲۰
۰/۴	۲۹/۵	St.Dev.
۸/۱	۳۲۱	Average
۴/۹	۹/۲	C.V.%

جدول ۵-۲- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه رودخانه تنگیور در یک دوره ۱۵ ساله

pH	EC (micro mhos/cm)	Q (l/sec)	تاریخ (سال)
۸/۳	۳۵۶	۱۴۵۳	۱۳۸۶/۱/۷
۸/۳	۳۷۹	۳۹۲	۱۳۸۵/۱۲/۳
۸/۴	۳۶۱	۱۲۰۵	۱۳۸۲/۱/۸
۸/۳۵	۳۳۱	۱۵۴۳	۱۳۸۱/۱/۲۵
۸/۴	۳۶۶	۵۷۳	۱۳۸۰/۹/۲۷
۸/۴	۲۷۷	۸۷۹	۱۳۷۹/۱/۳۰
۸/۴۵	۲۹۰	۴۹۵	۱۳۷۸/۱/۲۹
۸/۲۵	۳۲۹	۱۳۸۶۸	۱۳۷۷/۱/۱۰
۸/۵	۳۸۶	۲۰۱۹	۱۳۷۶/۱/۱۷
۸/۳	۳۳۵	۳۲۱۱	۱۳۷۵/۱/۲۷
۸/۴	۳۸۴	۲۱۷۰	۱۳۷۴/۱/۲۴
۸/۳	۳۵۲	۱۴۰۶	۱۳۷۳/۱/۱۶
۸/۴	۳۳۲	۱۳۹۳	۱۳۷۲/۱/۲۱
۸/۳۵	۳۴۱	۲۰۵۱	۱۳۷۱/۱/۳۰
۸/۴	۳۴۸	۲۴۶۹	۱۳۷۰/۱/۱۶
۰/۱	۳۱/۲	۳۳۰۴/۸	St.Dev.
۸/۴	۳۴۴	۲۳۰۶/۸	Average
۱/۲	۹/۱	۱۴۳/۳	C.V.%

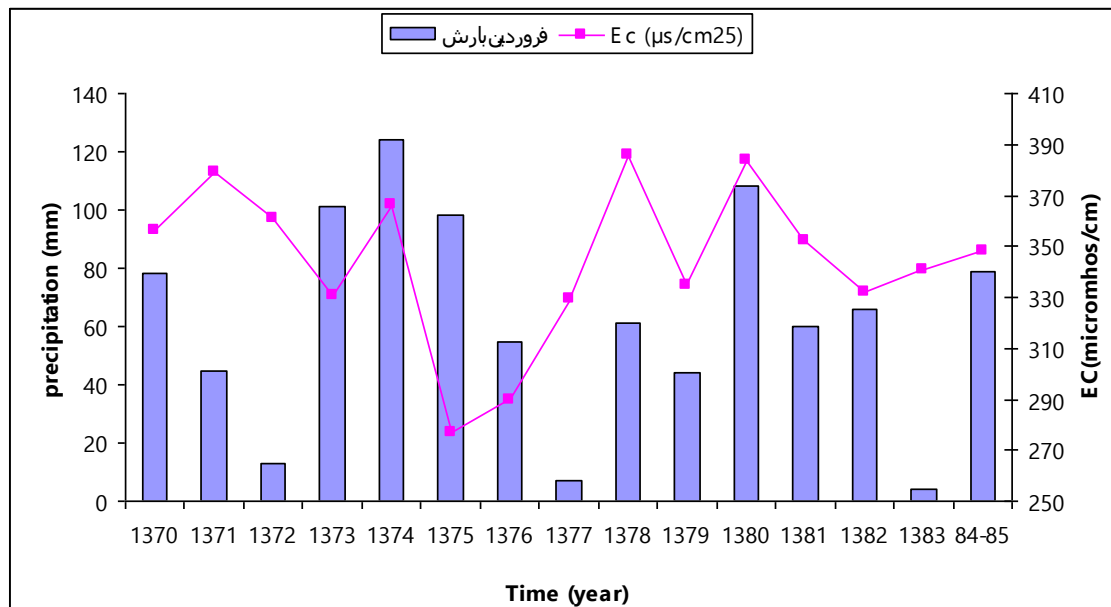
یکی از پارامترهایی که تغییرات آن را با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری می‌کنند تغییرات دبی می‌باشد. این تغییرات در شکل (۳-۵) قابل مشاهده می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه تنگیور با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهند. در زمانی که دبی رودخانه، که آب خروجی از سازندهای کارستی منطقه می‌باشد، افزایش می‌یابد بیانگر این است که سرعت حرکت آب در سفره‌های کارستی منطقه سریع‌تر می‌شود و زمان اقامت آب در سفره آب-زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب‌زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان رودخانه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر بر عکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب رودخانه افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳-۵- تغییرات زمانی دبی و هدایت الکتریکی در رودخانه تنگیور در یک دوره ۱۵ ساله

هدایت الکتریکی یکی از پارامترهای بسیار مهم کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و شرب می‌باشد. در این جا نحوه تغییرات سالیانه این پارامتر (تغییرات هدایت الکتریکی فروردین ماه) برای رودخانه تنگیور به همراه تغییرات بارش فروردین ماه در سال‌های مختلف بررسی خواهد شد (شکل ۴-۵). همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌کنیم با افزایش بارندگی در هر سال هدایت الکتریکی کاهش

می‌یابد و با کاهش بارندگی هدایت الکتریکی هم افزایش می‌یابد. که بیانگر این است که هدایت الکتریکی در رودخانه کاملاً متأثر از جریان ورودی (مقدار بارش) به کارست‌های منطقه می‌باشد.

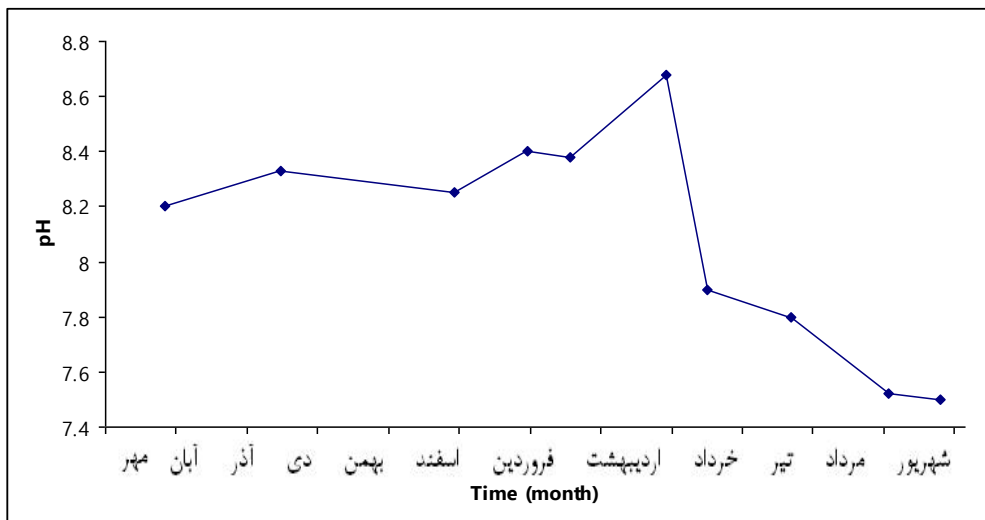


شکل ۵-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و بارندگی برای رودخانه تنگیور از ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۴

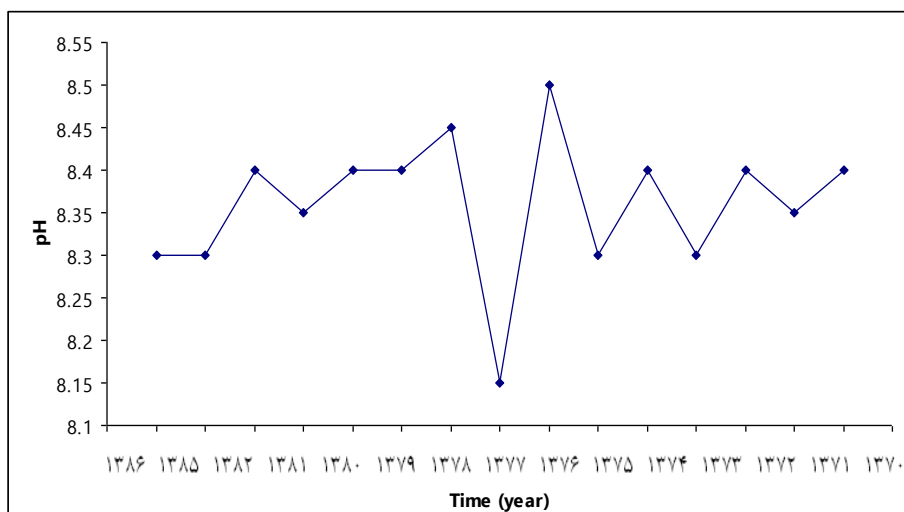
### ۵-۳- تغییرات زمانی اسیدیته آب رودخانه تنگیور

با عنایت به داده‌های ارائه شده در جدول (۵-۱)، تغییرات زمانی pH ترسیم شده است (شکل ۵-۵). به منظور ارزیابی کمی تغییرات pH، میانگین، انحراف از معیار و ضریب تغییرات این پارامتر در طول دوره آماری محاسبه شده‌اند که میانگین مقادیر pH آب رودخانه تنگیور ۸/۱ و انحراف از معیار ۰/۴ می‌باشد و ضریب تغییرات آن ۴/۹ درصد است. همچنین این تغییرات در یک دوره ۱۵ ساله بررسی شده است (شکل ۵-۶). همانطور که در فصل چهار اشاره شد مقدار pH آب به عوامل مختلفی از قبیل میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. به این ترتیب که هرچه مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب افزایش یابد، مقدار pH آب کمتر می‌شود. با افزایش مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات مقدار pH آب نیز افزایش

می‌یابد و با افزایش درجه حرارت آب مقدار pH کم می‌شود. همانطور که مشاهده می‌کنیم با شروع ماه‌های سرد pH آب رودخانه افزایش می‌یابد و با شروع ماه‌های گرم pH آب کاهش می‌یابد.



شکل ۵-۵- روند تغییرات اسیدیته آب رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



شکل ۵-۶- روند تغییرات اسیدیته آب رودخانه تنگیور در یک دوره ۱۵ ساله

## ۴-۵- تغییرات زمانی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی که از آنالیز نمونه‌های آب رودخانه تنگیور در آزمایشگاه هیدروشیمی پارک علم و فناوری سمنان بدست آمده‌اند، در جداول (۳-۵) و (۴-۵) به ترتیب بر حسب میلی گرم در لیتر و میلی اکی والان در لیتر ارائه شده‌اند. همانطور که در جداول مربوطه مشاهده می‌گردد، میزان تغییرات تمام کاتیون‌ها و آنیون‌ها بسیار بالا بالاترین ضریب تغییرات مربوط به یون نیترات است که علت آن در بخش چشمه‌ها بیان شده است.

جدول ۳-۵- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی رودخانه تنگیور بر حسب میلی گرم بر لیتر

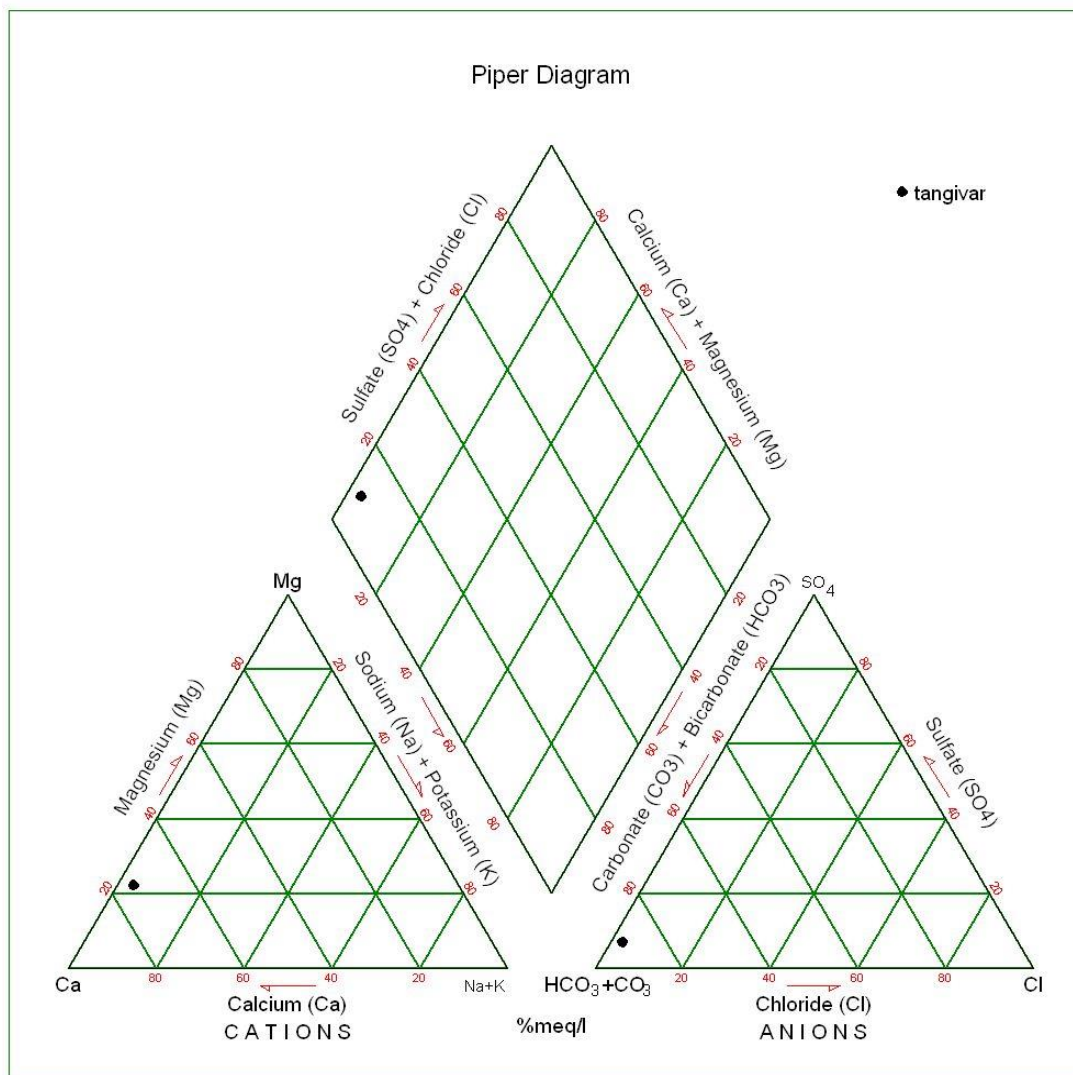
تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
۱۳۸۸/۱/۱۸	۹	۱۸۴	۵	۱۲	۳/۳	۱۰/۳	۵۸	۲/۷	۰/۸
۱۳۸۸/۲/۲۸	۱۰	۱۴۹	۷	۱۰	۲/۸	۸	۴۶	۲/۴	۰/۷
۱۳۸۸/۳/۱۴	۱۳	۱۵۰	۶	۱۰/۵	۲/۸	۸/۵	۴۶	۲/۴	۰/۸
۱۳۸۸/۴/۱۹	۱۵	۱۸۳	۵	۱۱	۳/۲	۹	۵۲	۲/۷	۰/۸
۱۳۸۸/۵/۲۹	۱۳	۱۹۱	۷	۱۳/۵	۳/۶	۱۱	۵۸	۲/۹	۰/۶
۱۳۸۸/۶/۲۰	۱۱	۱۹۵	۶	۱۳	۳/۶	۱۱	۶۰	۳	۰/۷
<b>St.Dev.</b>	۲/۲۳	۲۰/۵	۰/۹۸	۱/۴	۰/۳۶	۱/۳۱	۶/۲۸	۰/۲۵	۰/۱
<b>Average</b>	۱۱/۸۳	۱۷۵/۳۳	۶	۱۱/۶۷	۳/۲۲	۹/۶۳	۵۳/۳۳	۲/۶۸	۰/۷۳
<b>C.V.%</b>	۱۸/۸۴	۱۱/۶۹	۱۶/۳۳	۱۱/۹۹	۱۱/۱۸	۱۳/۶	۱۱/۷۷	۹/۳۳	۱۰/۹۵

جدول ۴-۵- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی رودخانه تنگیور بر حسب میلی اکی والان بر لیتر

تاریخ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Error%
۱۳۸۸/۱/۱۸	۰/۱۴	۳/۰۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۸۵	۲/۹	۰/۱۲	۰/۰۲	۵/۸۲
۱۳۸۸/۲/۲۸	۰/۱۶	۲/۴۴	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۶۶	۲/۳	۰/۱	۰/۰۲	۱/۲۹
۱۳۸۸/۳/۱۴	۰/۲۱	۲/۴۶	۰/۲	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۷	۲/۳	۰/۱	۰/۰۲	۱/۵۹
۱۳۸۸/۴/۱۹	۰/۲۴	۳	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۷۴	۲/۶	۰/۱۲	۰/۰۲	۶/۹۳
۱۳۸۸/۵/۲۹	۰/۲۱	۳/۱۳	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۱	۰/۹	۲/۹	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۵
۱۳۸۸/۶/۲۰	۰/۱۸	۳/۲	۰/۲	۰/۲۷	۰/۱	۰/۹	۳	۰/۱۳	۰/۰۲	۲/۵
<b>St.Dev.</b>	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱	۰/۳۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۲/۶۹
<b>Average</b>	۰/۱۹	۲/۸۷	۰/۲	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۷۹	۲/۶۷	۰/۱۲	۰/۰۲	۳/۰۶
<b>C.V.%</b>	۲۱/۰۵	۱۱/۸۵	۱۵	۱۲/۵	۱۱/۱۱	۱۲/۶۶	۱۱/۶۱	۱۱/۶۷	۲۰	۸۷/۹۱

## ۵-۵- بررسی زون‌های غالب یونی آب رودخانه با استفاده از نمودار پایپر

جهت بررسی زون‌های غالب کاتیون و آنیون آب رودخانه همانند چشمه‌ها با استفاده از نرم افزار RockWare نمودار پایپر ترسیم شده است. با توجه به موقعیت قرار گیری نمونه‌های آب در دیاگرام پایپر نتیجه گیری می‌شود که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات بالایی می‌باشد و آب‌هایی با سختی موقت هستند (شکل ۵-۷) بر اساس این دیاگرام تمام نمونه‌ها دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند و در آن‌ها غلبه با اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی می‌باشد.

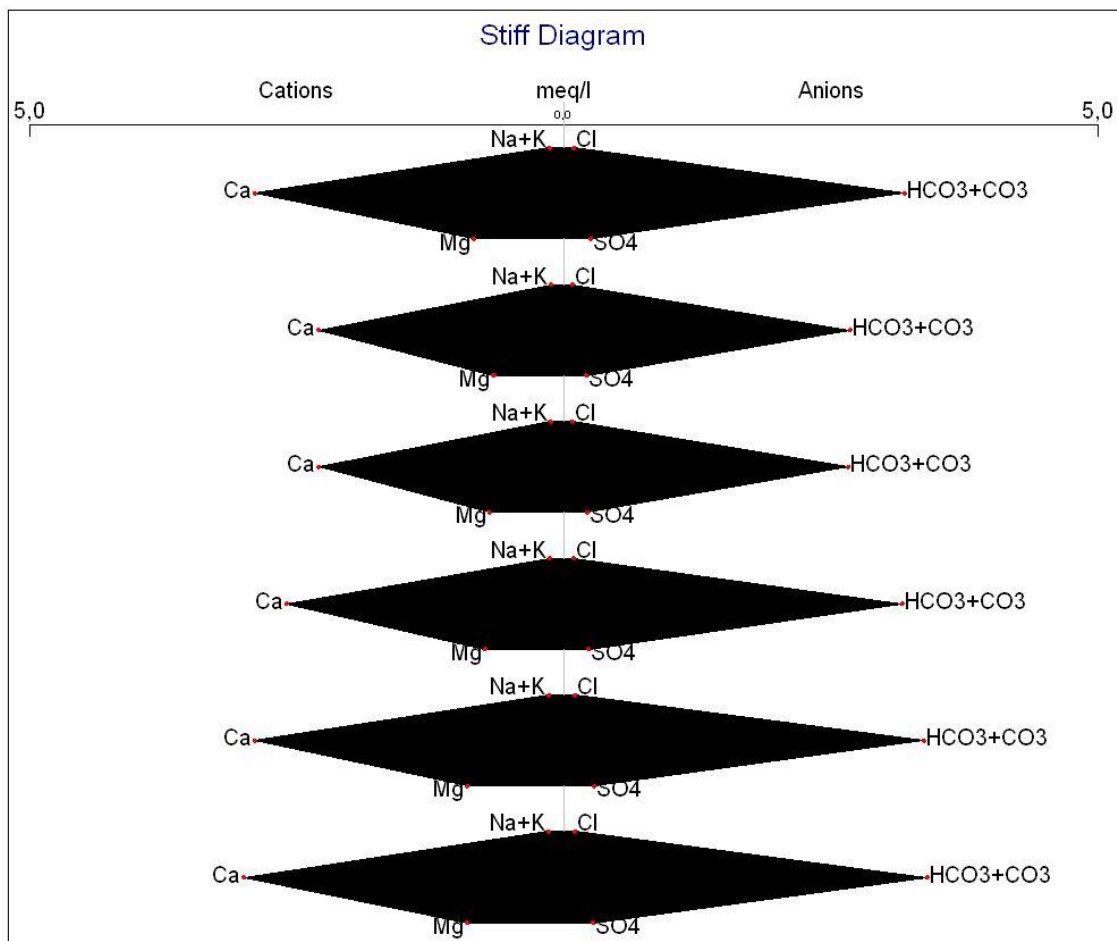


شکل ۵-۷- دیاگرام پایپر رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸



## ۵-۶- بررسی تیپ آب رودخانه با استفاده از دیاگرام استیف

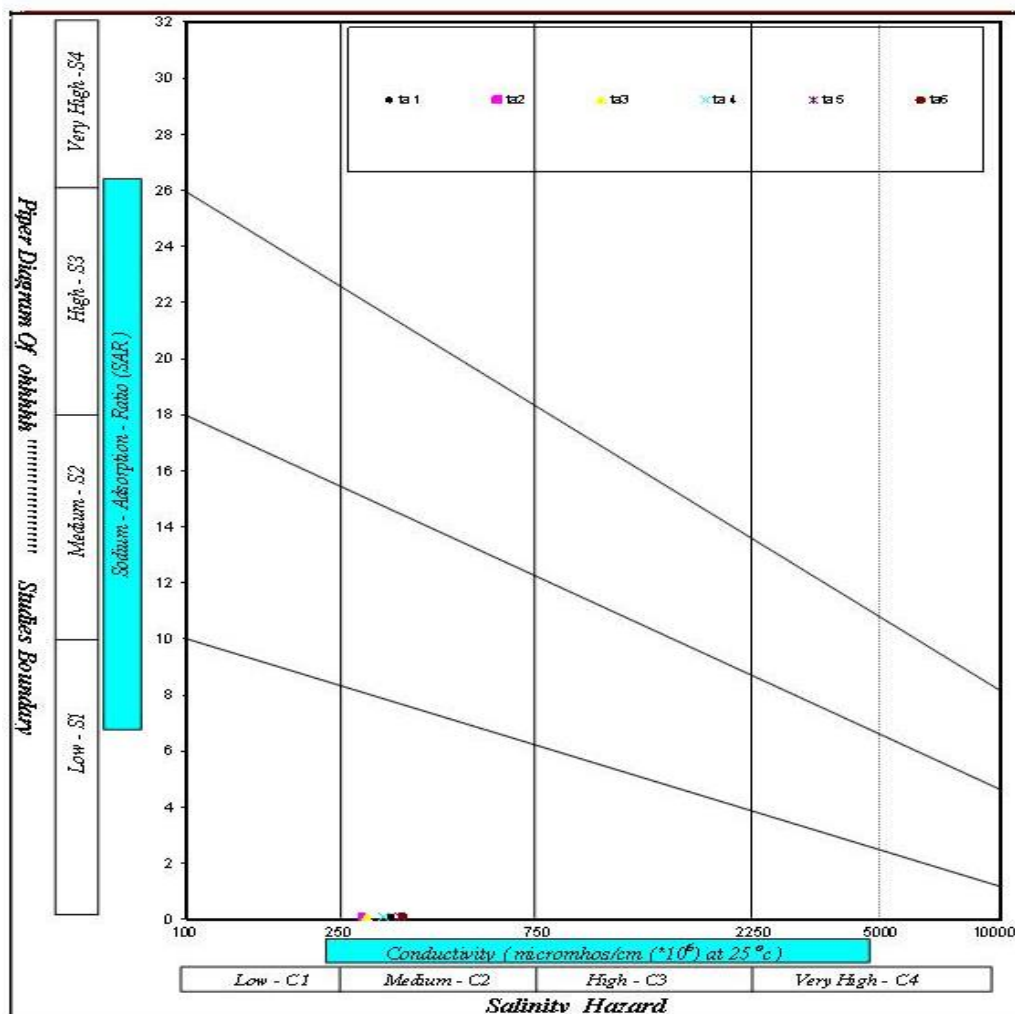
جهت تعیین تیپ نمونه‌های آب رودخانه با استفاده از نرم افزار RockWare دیاگرام استیف رسم شده است. اندازه و شکل حاصل از این نمودار، تقریباً برابر با کل محتوی یونی است. شکل (۵-۸) نمودار استیف ترسیم شده برای نمونه‌های آب رودخانه تنگیور را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است تمامی نمونه‌ها دارای آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشند و به عبارت دیگر دارای تیپ بی‌کربنات کلسیک می‌باشند.



شکل ۵-۸- دیاگرام استیف رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸

## ۵-۷- بررسی کیفیت آب رودخانه از نظر کشاورزی

مهمترین معیار طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثرند بلکه درجه تناسب آب از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک را مشخص می‌نمایند. با استفاده از برنامه chemistry نمودار ویلکوکس برای رودخانه تنگیور ترسیم شده است (شکل ۵-۹). در این نمودار آب آبیاری بر اساس دو معیار S.A.R (خطر سدیم) و هدایت الکتریکی ویژه (خطر شوری) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود. آب‌های رده  $C_1S_1$  بهترین و آب‌های رده  $C_4S_4$  بدترین آب برای استفاده در آبیاری است. آب رودخانه تنگیور در رده  $C_2S_1$  قرار می‌گیرد و برای کشاورزی مناسب می‌باشد.



شکل ۵-۹- دیاگرام ویلکوکس رودخانه تنگیور در سال آبی ۸۷-۸۸

## ۵-۸- تغییرات زمانی آنیون ها و کاتیون های اصلی چشمه و رودخانه

با توجه به اینکه بخش عمده آب رودخانه تنگیور از چشمه های سرحوض، شیخ علاءالدین و سایر چشمه های منطقه پالنگان و بخش باقیمانده آن از تخلیه آهکها در مسیر رودخانه ناشی می شود. بنابراین به منظور بررسی تغییرات زمانی و رفتار چشمه ها و رودخانه به طور ماهانه از آب چشمه ها و رودخانه نمونه گیری شده است که در این جا به تجزیه و تحلیل این پارامترها و ارتباط بین رودخانه و چشمه ها پرداخته می شود.

### ۵-۸-۱- یون های غالب در نمونه های آب

در طی یک سال آبی در نمونه های آب چشمه ها آنیون بی کربنات بیش از ۸۵ درصد آنیون ها و کاتیون کلسیم بیش از ۷۵ درصد کاتیون ها را تشکیل می دهند در رودخانه نیز آنیون بی کربنات بیش از ۸۵ درصد آنیون ها و کاتیون کلسیم بیش از ۷۵ درصد کاتیون ها را تشکیل می دهند بنابراین یکسان بودن منشأ آب رودخانه و چشمه ها مورد تأیید قرار می گیرد.

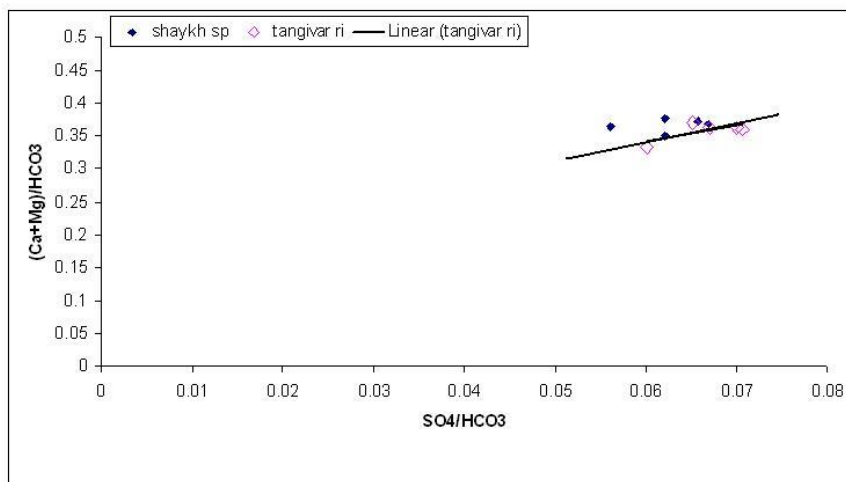
### ۵-۸-۲- تغییرات برخی از نسبت های یونی بین رودخانه و چشمه ها

در این قسمت تغییرات برخی از نسبت های یونی در نمونه های آب چشمه ها و رودخانه به منظور بررسی ارتباط بین آب رودخانه و چشمه ها مورد بررسی قرار می گیرد.

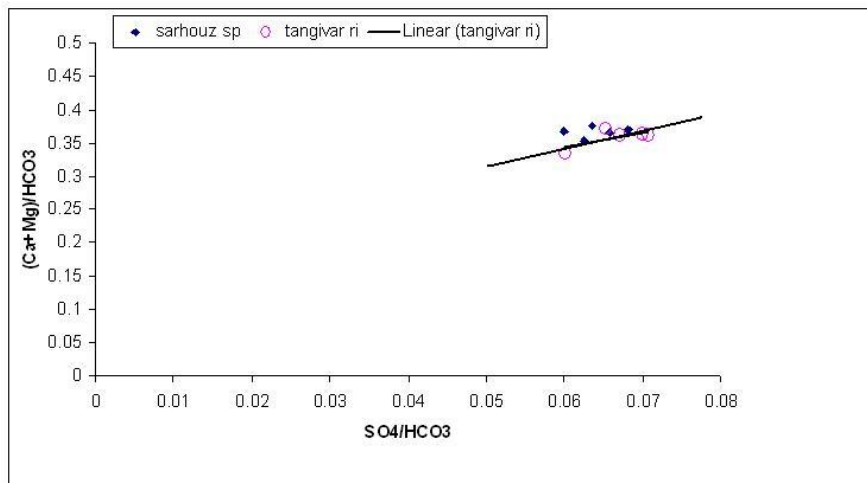
الف) تغییرات نسبت های  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$

یکی از نسبت های مهم برای بررسی ارتباط و یا عدم ارتباط نمونه های آب تغییرات نسبت های  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$  در نمونه های آب می باشد. اگر آب چشمه ها با رودخانه در ارتباط باشند و دارای یک منشأ یکسان باشند روند این تغییرات یکسان خواهد بود. در صورتی که بین آب رودخانه و چشمه ها هیچگونه ارتباط هیدرولیکی نباشد روند تغییرات نسبت های یونی بالا در رودخانه با چشمه ها متفاوت خواهد بود. به این منظور این نسبت ها برای هر کدام از چشمه های پالنگان با رودخانه تنگیور ترسیم شده است (شکل های ۵-۱۰ و ۵-۱۱). همانطور که در شکل های زیر مشاهده می کنیم روند تغییرات زمانی این پارامترها در هر دو چشمه با رودخانه یکسان می باشد. تغییرات هم در چشمه ها و هم در رودخانه به صورت نقطه ای می باشد. با توجه به نحوه

تغییرات این پارامترها می‌توان به این نتیجه رسید که آب رودخانه که از آب‌های خروجی از کارست-های منطقه سرچشمه می‌گیرد با چشمه‌های کارستی منطقه پالنگان دارای یک منشأ مشترک می‌باشد و بین آب رودخانه و چشمه‌ها اختلاط صورت می‌گیرد.



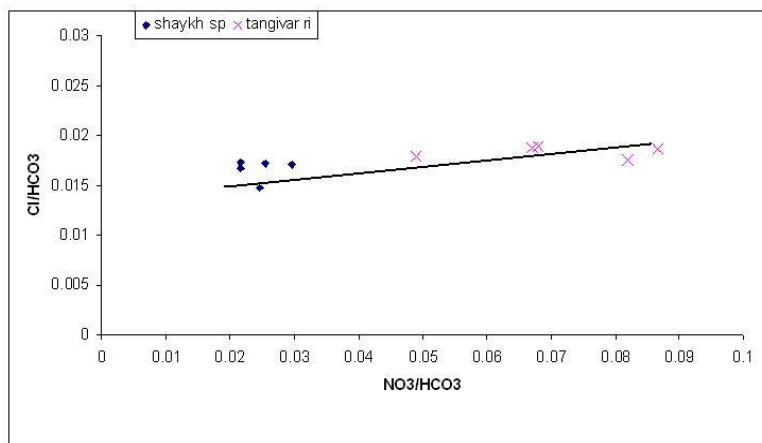
شکل ۵-۱۰- تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور



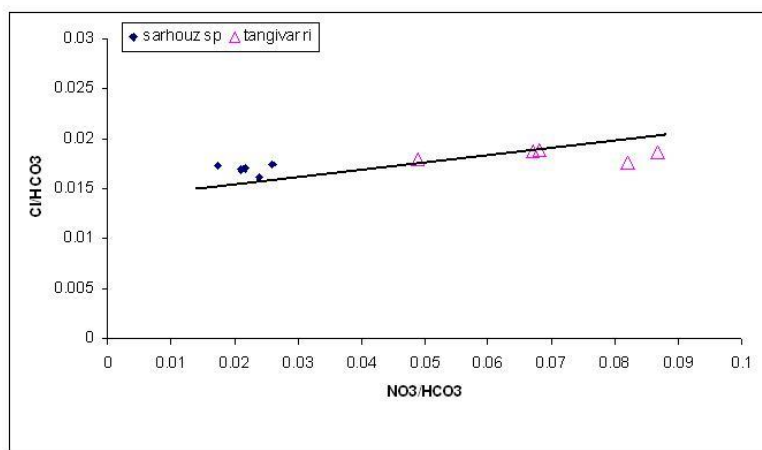
شکل ۵-۱۱- تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور

ب) تغییرات نسبت‌های  $[NO_3^-]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$

با توجه به این که غلظت نیترات در آب چشمه‌ها پایین می‌باشد. ولی مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده در آب رودخانه تنگیور اندکی بیشتر از چشمه‌ها می‌باشد. همانطور که در شکل‌های (۵-۱۲ و ۵-۱۳) مشاهده می‌کنیم روند تغییرات در رودخانه به صورت خطی و در چشمه‌ها به صورت نقطه‌ای می‌باشد. از این نسبت می‌توان چنین نتیجه گرفت که غلظت نیترات در آن‌ها متفاوت بوده و نیترات در رودخانه به دلیل آلودگی غلظتش بیشتر شده است.



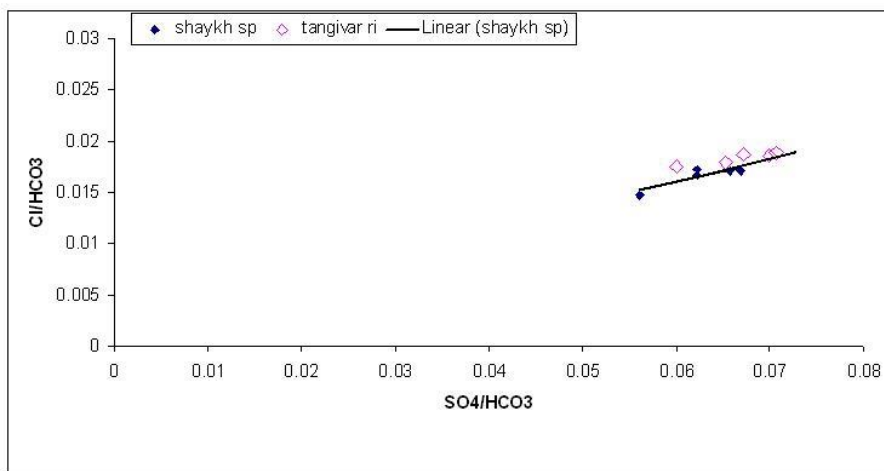
شکل ۵-۱۲ - تغییرات  $[NO_3^-]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه علاءالدین و رودخانه تنگیور



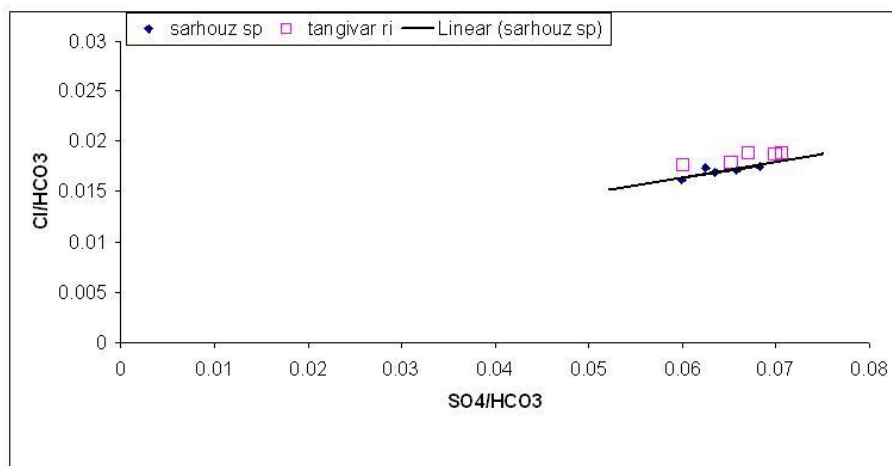
شکل ۵-۱۳ - تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور

ج) تغییرات نسبت‌های  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$

یکی دیگر از این پارامترها تغییرات نسبت‌های  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در نمونه‌های آب می‌باشد. اگر آب چشمه‌ها با رودخانه در ارتباط باشند و دارای یک منشأ یکسان باشند روند این تغییرات نیز یکسان خواهد بود. در صورتی که بین آب رودخانه و چشمه‌ها هیچگونه ارتباط هیدرولیکی نباشد روندها متفاوت می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۵-۱۴ و ۵-۱۵) مشاهده می‌کنیم که آب رودخانه و چشمه‌ها دارای یک منشأ یکسان می‌باشند



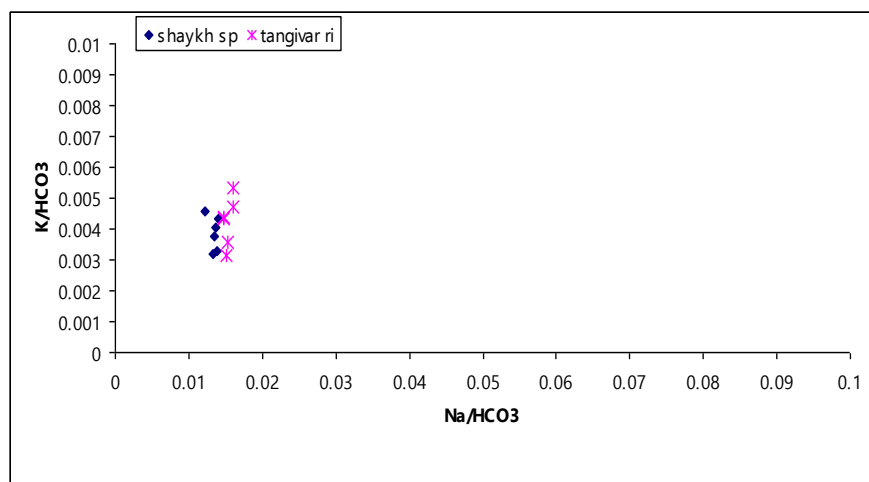
شکل ۵-۱۴ - تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور



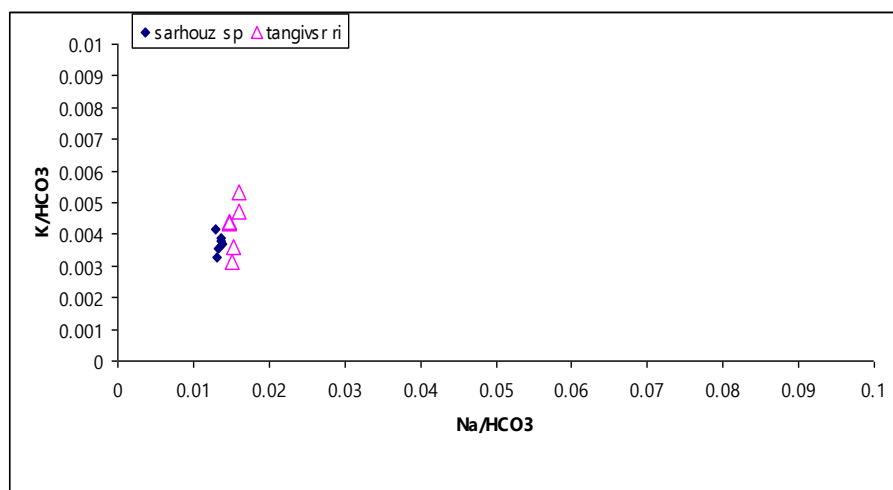
شکل ۵-۱۵ - تغییرات  $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$  با  $[Cl^-]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور

د) تغییرات نسبت‌های  $[Na]/[HCO_3^-]$  با  $[K]/[HCO_3^-]$

همچنین از تغییرات نسبت‌های سدیم به بی‌کربنات با پتاسیم به بی‌کربنات برای این بررسی نیز استفاده شد. که تغییرات این پارامتر هم مشابه با سایر پارامترهای ذکر شده بالا بود که بیانگر ارتباط بین رودخانه و چشمه‌ها می‌باشد (شکل‌های ۱۶-۵ و ۱۷-۵).



شکل ۱۶-۵ - تغییرات  $[Na]/[HCO_3^-]$  با  $[K]/[HCO_3^-]$  در چشمه شیخ علاءالدین و رودخانه تنگیور



شکل ۱۷-۵ - تغییرات  $[Na]/[HCO_3^-]$  با  $[K]/[HCO_3^-]$  در چشمه سرحوض و رودخانه تنگیور

## فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

### ۶-۱- مقدمه

همانطور که قبلاً بیان شد جهت بررسی خصوصیات هیدروژنولوزیکی و هیدروژنوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان، برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در محل اندازه‌گیری شد و از نمونه های آب مربوط به چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض موجود در منطقه و رودخانه تنگیور در طی یک سال (مهر ماه ۱۳۸۷ تا شهریور ماه ۱۳۸۸) آنالیز شیمیایی به عمل آمد. با توجه به نتایج بدست آمده ضریب تغییرات تمام پارامترها چشمه‌ها بالا می‌باشد. بالا بودن ضریب تغییرات تمام پارامترها با خصوصیات هیدروژنولوزیکی سفره‌های کارستی از نوع مجرای کاملاً همخوانی دارد. در حوضه آبگیر چشمه‌ها گودی‌های مسدود و فروچاله‌ها ی فراوان وجود دارد بنابراین این خصوصیات مورفولوژیکی نیز تأیید دیگری بر مجرای بودن جریان است. در ذیل به این تغییرات اشاره می‌شود:



## ۶-۲- تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها

یکی از پارامترهای بسیار مهم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی چشمه‌ها مقدار دبی و تعیین تغییرات زمانی آن می‌باشد. تغییرات دبی چشمه‌های پالنگان بسیار زیاد می‌باشد، روند تغییرات آبدهی به این صورت است که در اواخر پاییز شروع به افزایش نموده و در اردیبهشت ماه به اوج می‌رسد و در اواخر بهار روبه کاهش است به طوری که در اوایل پاییز به حداقل میزان خود می‌رسد. تغییرات زیاد دبی به نوع سیستم جریان آب مربوط می‌شود. با توجه به آن که سیستم جریان در چشمه‌ها مجرای می‌باشد آبدهی بعد از قله سیلابی سریعاً کاهش پیدا کرده، این کاهش ناشی از وجود مجاری بزرگ بوده که آب به سرعت در آن‌ها عبور می‌کند.

## ۶-۳- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی

از مهمترین خصوصیات شیمیایی آب هدایت الکتریکی می‌باشد زیرا با املاح جامد حل شده در آب رابطه مستقیم دارد. تغییرات زمانی هدایت الکتریکی با خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره‌های کارستی و همچنین با تغییرات زمانی دبی چشمه‌ها همخوانی دارند. تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چشمه‌های شیخ علاءالدین و سرحوض با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهند. در زمانی که دبی جریان خروجی از چشمه‌های پالنگان افزایش می‌یابد، سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود و زمان اقامت آب در سفره آب‌زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب‌زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از چشمه کاهش می‌یابد تمام موارد فوق‌الذکر بر عکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها افزایش پیدا می‌کند. تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌های پالنگان نسبتاً بالا بوده و با تغییرات مربوط به چشمه‌های کارستی مجرای همخوانی دارد.

## ۴-۶- تغییرات زمانی درجه حرارت

از دیگر پارامترهای فیزیکی مهم دمای آب می‌باشد. که ضریب تغییرات آن یکی از معیارهای مهم برای تفکیک جریان‌های افشان و مجرای در کارست می‌باشد. ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه‌های پالنگان بالا بوده و بیانگر غالب بودن سیستم جریان مجرای در چشمه‌ها می‌باشد. تغییرات زمانی درجه حرارت آب چشمه‌ها با تغییرات زمانی دبی رابطه نسبتاً مستقیمی را نشان می‌دهد به این ترتیب که هرچه دبی چشمه‌ها بیشتر شود درجه حرارت آب چشمه‌ها نیز بیشتر می‌شود. علت این امر به این قرار است که در هنگام دبی اوج چشمه بخشی از آب چشمه از بخش‌های سطحی‌تر سفره آب زیرزمینی در مجاورت تأمین می‌شود و از آنجایی که درجه حرارت این آب‌ها اندکی بالاتر می‌باشد باعث افزایش نسبی درجه حرارت آب چشمه‌ها می‌شوند و در دبی‌های کمتر، آب چشمه از قسمت‌های دوردست حوضه که نسبتاً مرتفع‌تر هستند تأمین می‌شود که به طور نسبی درجه حرارت آب این مناطق اندکی پایین‌تر است.

## ۴-۵- نوع جریان در سفره‌های کارستی منطقه پالنگان

برای تعیین نوع جریان در سفره‌های کارستی از تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه‌ها استفاده می‌شود. تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه‌های پالنگان زیاد می‌باشد به طوری که ضریب تغییرات تمام پارامترها بیانگر غالب بودن جریان مجرائی در سفره کارستی این چشمه‌ها می‌باشد. بنابر این آب در داخل سفره کارستی پالنگان از داخل مجاری، درزه و شکاف‌های با بازشدگی نسبتاً زیاد (بزرگتر از یک سانتی متر) عبور می‌کند.

## ۶-۶- لیتولوژی در سفره‌های کارستی منطقه پالنگان

یکی از شاخص‌هایی که برای تشخیص سفره‌های کارستی آهکی از سفره‌های کارستی دولومیتی استفاده می‌شود، نسبت غلظت یون کلسیم به منیزیم در سفره‌های کارستی کربناته است. به طور کلی نسبت‌های نزدیک به یک مربوط به سفره‌های کارستی دولومیتی و نسبت‌های بین ۲ تا ۱۰ مربوط به سفره‌های کارستی آهکی می‌باشند. در صورتی که نسبت بالای ۱۰ در آب‌های کارستی مشاهده شود، نشانگر درصد خلوص بالاتر آهک و یا وجود کانی‌های ژیپس یا انیدریت در تشکیلات آهکی است. میانگین نسبت یون کلسیم به منیزیم برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۳/۱ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که لیتولوژی سفره آب زیرزمینی آهک می‌باشد.

## ۶-۷- ارتباط بین چشمه‌های پالنگان و رودخانه تنگیور

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی از مهمترین معیارها برای مشخص نمودن آمیختگی بین چشمه‌ها و رودخانه می‌باشد. با توجه به روند یکسان تغییرات زمانی پارامترهایی همچون هدایت الکتریکی، اسیدیته و مقدار آنیون و کاتیون‌های اصلی و همچنین برخی از نسبت‌های یونی می‌توان نتیجه گرفت که بین رودخانه و چشمه‌ها ارتباط هیدرولیکی برقرار است و دارای یک منشأ مشترک می‌باشند.

## ۶-۸- تعیین نرخ نفوذ در منطقه

با توجه به ارتفاع معادل آب در سفره کارستی پالنگان که حدود ۵۳۵ میلی‌متر در سال می‌باشد و با عنایت به اینکه بارندگی منطقه در سال آبی مورد نظر ۶۲۵ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین میزان نفوذ در آهک‌های حوضه آبرگیر منطقه ۸۵ درصد بدست آمده است. که درص نفوذ را با استفاده از فرمول ذیل محاسبه نمودیم:

$$I = \frac{h}{p} \times 100$$

معادله (۱-۶)

در این رابطه I نرخ نفوذ بر حسب درصد، h ارتفاع معادل ستون آب بر حسب میلی‌متر و P بارندگی بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

## ۹-۶- پیشنهادها

- پیشنهادهای زیر جهت بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های کیفی و کمی منابع آب منطقه ارائه می‌گردد:
- ۱- با توجه به خصوصیات کیفی آب چشمه‌ها و تغییرات آن‌ها مصرف آب چشمه‌ها برای شرب و بهداشت و احداث کارخانه‌های آب معدنی در منطقه پیشنهاد می‌شود.
  - ۲- کیفیت آب چشمه‌ها و رودخانه برای توسعه کشاورزی در منطقه پالنگان، توسعه بیشتر شیلات در منطقه و صنعت مناسب خواهد بود.
  - ۳- با توجه آبدهی بالا در چشمه‌های منطقه و وجود چشمه‌های بزرگ در منطقه، جهت جلوگیری از هدر رفتن این منابع الهی احداث سدهای بزرگ در منطقه پیشنهاد می‌شود.
  - ۴- با توجه به وسیع بودن حوضه آبرگیر منطقه پالنگان جهت تعیین دقیق حوضه آبرگیر و همچنین برآورد میزان نفوذ در حوضه آبرگیر پالنگان به یک مطالعه جامع و کامل بیان در منطقه نیاز می‌باشد.
  - ۵- یکی از روش‌هایی که جهت تعیین ارتباط بین آب چشمه و رودخانه استفاده می‌شود مطالعات ایزوتوپی می‌باشد که پیشنهاد می‌شود در آینده به عنوان یک کار تحقیقاتی انجام شود.

## منابع فارسی:

- ۱- آقائباتی، ع، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران" چاپ اول، انتشارات صنوبر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲- خسرو پناه، ا، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی چشمه گل رامیان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۳- صداقت، م، (۱۳۸۵) "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)" چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۴- قربانی، م. ص، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "نقش اشکال کارستی در تحول ناهمواری‌های شاهو (از گردنه نعل شکن تا دره رودخانه سیروان)"، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ۵- کرمی، غ. ح، (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی رابطه بین عوامل نفوذ آب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- ۶- کرمی، غ. ح، (۱۳۸۳): "بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان"، گزارش طرح پژوهشی. بخش زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- نقشه توپوگرافی، بیساران، مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، شماره ۵۳۵۹.
- ۸- نقشه توپوگرافی، پاوه، مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، شماره ۵۲۶۰.
- ۹- نقشه توپوگرافی، جوانرود، مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، شماره ۵۲۵۹.
- ۱۰- نقشه توپوگرافی، گازارخانی، مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، شماره ۵۲۵۹.
- ۱۱- نقشه زمین شناسی، کامیاران، مقیاس ۱۰۰۰۰۰ : ۱ سازمان زمین شناسی کشور.
- ۱۲- نقشه زمین شناسی، تیزتیز، مقیاس ۱۰۰۰۰۰ : ۱ سازمان زمین شناسی کشور.
- ۱۳- نقشه زمین شناسی، سنندج، مقیاس ۲۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان زمین شناسی کشور.
- ۱۴- عکس‌های هوایی منطقه، مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح.

## منابع انگلیسی:

- 1- Ahmadipor, M.R (1999) "karst terraines in Iran-Example frome Lorestsn" .Acta Carsologica.28,pp.213-224.
- 2- Bogli, A. (1980). "Karst hydrology and physical speleology". Springer, Berlin, Hadelberg New York, 149.
- 3- Burdon, D. J. and Papakis, N. (1963). "Handbook of karst hydrology. U. N., Athens"
- 4- Bonacci, O., (1987) "Karst hydrology with special reference to the Dinaric karst" 179.
- 5- Chicano,M.L., *et al.*, (2001) "Factors which determine the hydrogeochemical behaviour of karstic springs" A case study from the Betic Cordilleras, SpainJournal of Hydrology.
- 6- Dorfliger, N., Aquilina, L. (2005) "Recharge processes in karstic systems investigated throughn the correlation of chemical and Isotopic composition of rain and spring waters" Journal of Hydrology.
- 7- Frod, D.C., and Williams, P.W., (1989) "Karst geomorphology and hydrology" champan and Hall, Londaan.
- 8- Garrels, R.M., and Christ, C.L., (1965) "Solution minerals and equilibria" Harper and Row, New York, pp.450.
- 9- Jacobson, R.L., Langmuir.D.,(1974) "Controls on the quality variation of some carbonate spring water".Journal of Hydrology 23,pp 247-265.
- 10- Jones, I.C., Banner,J.L., (2002) "Estimating recharge threshold in tropical karst island aquifer" Journal of Hydrology.131-143.
- 11 -Karanjac, J., (1980) "Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis"Oymapiner Dam Project,Turkey. Journal of Hydrology.203-217.
- 12- Krothe, N.C., Libera, E.S., (1983) "A four-component mixing model for water in a karst terrain in south-central Indian"
- 13- Merk, E., (1970) "The testing of water,a selection of chemical methods for partical use"5 th ed., Darmstadt,Germany,107.
- 14- Milanovic, p., (1981) "Karst hydrogeology" WRP,Colorado. U.S.A.,434.

- 15- Milanovic, p., (1976) "Water regime in deep karst, case study of ombla spring drainage area" Proc,U.S.Yogsol. Symp. DUBrovinc, 165-191.
- 16- Raeisi, E., Karami, G.H., (1997) "Hydrochemographs of Barghan karst spring as indicators of aquifer characteristics " Journal of Cave and Karst studies 59, pp.112-118.
- 17- Raeisi, E., Karami, G.H., (1996) "The governing factors of the physico-chemical characteristics of Sheshpir karst spring" Carbonates and Evaporates 11, pp.162-169.
- 18- Scanlon, B.R., Thraikill, D., (1987) "Evaluation of moisture flux from chloride data in desert soil " Journal of Hydrology 128:137-156.
- 19- Ternan, J.L., (1972) "Comments on the use of a calcium hardness variability index in the study of carbonate aquifer" with reference to the central pennines England. Journal of Hydrology 1,pp.317-321.
- 20- Todd, D.K., (1980) "Ground water hydrology" Jhon Wiley and Sons.New York, pp 539.
- 21- Valdes, D., *et al.*, (2007) "A spatial analysis of structural controls on karst groundwater geochemistry at a regional scale" Journal of Hydrology.340,244-255.
- 22- White, W.B., (1988) "Geomorphology and Hydrology of karst terrains" Oxford University Press. New York ,pp.464 .

## Abstract

The Palangan area is a part of of Shahu mountains situated 55 kilometers northwest of Kamyaran city (Kurdistan). These mountains lie in a distinct band of rocks Jurassic-Cretaceous and Oligomiosen that is known as High Zagros zone. In order to study the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of Palangan karst springs, physical and chemical characteristic of springs including electrical conductivity, acidity, discharge, temperature, dissolved carbon dioxide and major anions and cations were measured during a water year. In addition, physical and chemical properties of the Tangivar river were measured simultaneously with the springs. Evaluating the chemistry of springs show that the variation of most studied parameters is high which indicate the main flow system in karst region is conduit. The variation coefficient of has been very high 82%, The falling limb of hydrograph includes two slopes, i.e.  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  which are  $2.8 \cdot 10^{-2}$  and  $8.1 \cdot 10^{-3}$ , respectively. As it can be seen the value of  $\alpha_1$  is very large which indicates a rapid discharge due to existence of large conduits in the karstic aquifers. The variation coefficient of water temperature and electrical conductivity in the studied springs is like variation coefficient of discharge which all of them illustrate a conduit system. The catchment area of Palangan karst springs is about 219 square kilometres which is characterised by the existence of karst valleys, sinkholes and karst plains.

Keywords: Karst, hydrogeology, hydrogeochemistry, Palangan, Tangivar river , conduit system.





Shahrood University of Technology

**Faculty of Earth Sciences  
Hydrogeology**

Hydrogeological and Hydrogeochemical investigation on  
Palangan karst springs, Kordestan.

**Zeinab Aghaei**

**Supervisor:**

**Dr. Gholam Hossein Karami**

**Advisor:**

**Dr. Ramazan Ramazani Omali**

**April 2010**