

## مقاله پژوهشی

# شناسایی فرآیندهای کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت اسدآباد با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی و آماری

سجاد مرادی نظر پور\*<sup>۱</sup>، هادی جعفری<sup>۲</sup>، مصطفی صفری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷

۱- دانشجوی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- مدیر مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای همدان

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک s.moradi989@yahoo.com

## چکیده

دشت اسدآباد در غرب استان همدان قرار گرفته از مهمترین منابع آبی منطقه را می‌توان نام برد و بیشترین بخش مصارف آبی شهری، کشاورزی و صنعتی از این محل تامین می‌گردد. با در نظر گرفتن تاثیرگذاری سازندهای زمین شناسی و همچنین فعالیت انسان‌ها بر کیفیت آبخوان‌ها، مطالعه هیدروژئوشیمیایی این آبخوان‌ها می‌تواند دیدگاه روشن‌تری از نحوه تاثیرگذاری این عوامل بر منابع آبی این دشت فراهم آورد. در این راستا با استفاده از ۳۲ نمونه آب تهیه شده در خرداد سال ۱۳۹۶ که توسط سازمان آب منطقه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته است، اقدام به بررسی دقیق هیدروژئوشیمی منطقه و منشا تغییرات شیمی آبخوان با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمی و آماری شد. با توجه به حضور سازندهای آهکی در منطقه و عامل مهم در تکامل و تاثیرگذاری بر آبخوان می‌توان به فرایند هوازگی و انحلال سنگ اشاره کرد که با توجه به سازندهای موجود، هوازگی و انحلال سنگ‌های آهکی را می‌توان متاثر از این عوامل در نظر گرفت، به طوری که با توجه به نمودارهای پایپر و استیف و نتایج نسبت‌های یونی و تعادل جرمی و با در نظر گرفتن رخساره کربنات-کلسیک به دو عامل کنترل کننده شیمی آب در این آبخوان می‌توان اشاره نمود، همچنین نتایج حاصل از بررسی داده‌ها توسط روش تحلیل عاملی، دو عامل موثر بر آبخوان نتیجه‌گیری شد. عامل اول (۵۵٪/۸) انحلال سنگ‌های کربناته که با همبستگی بالای یون‌های (کربنات، کلسیم و منیزیم) همراه است و عاملی دوم (۲۴٪/۲) که وزن کمتری جهت کنترل کیفیت آبخوان دارد مربوط به انحلال سنگ‌های تبخیری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسدآباد، آبخوان، تحلیل عاملی، پایپر، هیدروژئوشیمی،

## Identification of Controller Processes of Groundwater Quality of Asadabad aquifer by Using Geochemical Statistical Technique

Sajjad Moradi Nazar Poor<sup>1\*</sup>, Hadi Jafari<sup>2</sup>, Mostafa Ssafari<sup>3</sup>

Received: April 16, 2020

Accepted: April 10, 2021

1-M.Sc. Student of Hydrogeology, Faculty of Geology Sciences, Shahrood University of Technology

2-Assoc. Prof. of Hydrogeology, Faculty of Geology Sciences, Shahrood University of Technology

3-Head of Groundwater Studies Group, Hamedan Regional Water Company

\*Corresponding Author, Email: s.moradi1989@yahoo.com

### Abstract

Groundwater is the most important for agriculture, drinking and industry. On the other hand, the quality of groundwater is the other essential aspect for human. The quality of groundwater overall depend on a few factors such as geological information and human activities. In this study, the quality of the groundwater of Asadabad aquifer was surveyed by using statistical and hydro geochemical methods. Asadabad aquifer is located in the west of Iran, which is about 926 kilometers square. Thirty water samples were prepared in June of 2017. The samples were transferred to the hydrogeochemical Shahrood University lab. The factor analysis methods and hydrochemical methods were used to find the main component which influences groundwater. Additionally, the proposed method was used to cluster the groundwater of the Asadabad aquifer. The hydrochemical methods showed that dolomite information is the main factor that affects groundwater quality. Additionally, there are results of factor analysis in which the main component (weathering of carbonate rock) is the biggest quota from others. Using the results of factor analysis, hydrochemical surveying and the proposed method, groundwater was clustered in four areas, which are unique in water chemistry. The carbonate formation is the dominant set in the area. Using the statistical method and hydrochemical survey, the most important component, which affects groundwater, is the weathering of carbonate rock. Four areas are the output of the proposed method which used the result of the factor analyses and hydrochemical methods.

**Keywords:** Asadabad, Aquifer, Factor analysis, Hydrochemistry, Piper.

### مقدمه

فاضلابهای صنعتی رو برو هستند و برای مهار این آلودگی‌ها هزینه‌های هنگفتی را متحمل میشوند. تعیین و شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات کیفیت آب، می‌تواند در حل بسیاری از مسائل مدیریتی از جمله ارائه راهکارهای مناسب جهت ارتقا یا حفظ کیفیت آبخوان‌ها کمک کند. همانطور که گفته شد در بحث کیفیت آب مطالعات بسیاری در سراسر ایران و جهان انجام گرفته است. همچنین ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در یک آبخوان می‌تواند از سازند های زمینشناسی، ترکیب آب های تغذیه کننده و فرایند های هیدرو شیمیایی حاکم بر لایه های آبدار تاثیر بپذیرد (اندرو و همکاران ۲۰۰۵)، لذا با بررسی فرایندهای هیدروشیمیایی آبخوان میتوان به عوامل

با رشد و توسعه جوامع بشری و افزایش سطح بهداشت در دهه‌های اخیر مطالعات کیفی منابع آب اهمیت بیشتری پیدا کرده‌است به طوری که سالانه مطالعات فراوانی در سراسر دنیا در زمینه کیفیت منابع آب انجام میگردد. عوامل متعددی بر ترکیب شیمیایی آب تأثیر می‌گذارند که مهمترین آنها عبارتند از: تبخیر، اختلاط آبها، تبادل کاتیونی، انحلال کانیها، اکسیداسیون، احیا و رسوب کانیهای ثانویه (آپولو و همکاران ۲۰۰۵). اما گاهی عوامل دیگری که غالباً به دلیل دخالت انسان در طبیعت می‌باشد یا به طور کلی عواملی انسانی، تغییر دهنده کیفیت آبها میباشدند. بسیاری از کشورهای در حال توسعه با مشکلات آلودگی منابع آب ناشی از ورود

کنترل کننده شیمی آب پی برد. با استفاده از روش های مختلف می توان داده های اندازه گیری شده را مورد پردازش قرار داده و سپس نتایج را جهت تعیین و رسیدن به مقصود تفسیر نمود. از روش های مورد استفاده می توان نمودار های استیو را نام برد که جهت بررسی و مقایسه نمونه ها برای تشخیص منشأ آنها مورد استفاده قرار میگیرد (اصغری مقدم و همکاران ۲۰۰۸) و یا

استفاده از نمودارها بر روی نقشه و تعیین روند تغییرات شیمیایی، همچنین با استفاده از نمودار های دو متغیره جهت تعیین منشأ شیمی آب و استفاده از روش های آماری که از مهمترین آنها، تحلیل عاملی که یک روش آماری چند متغیره در شناخت عوامل موثر با ساده کردن مجموعه های پیچیده ای که بین پارامترهای مختلف وجود دارد می تواند با ساده سازی روابط عوامل اصلی موثر به بررسی آبخوان اقدام نمود (لیو و همکاران ۲۰۰۳). در مطالعات انجام شده در این زمینه به بررسی هیدروشیمیایی آبخوان بازالتی و کارستی منطقه باکو که توسط اصغری مقدم و همکاران (۲۰۰۸) انجام پذیرفت منجر به مطالعه ناهنجاریهای با استفاده از روش های ترسیمی و موازنه جرم به منشأ آذرین در این منطقه شد و یا در پژوهشی دیگر توسط قره محمودلو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از نمودار های ترکیبی به تشخیص دو منبع تغذیه آبخوان دشت سیدان - فاروق دست یافتند و یا در پژوهشی دیگر، اسچورچ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی علت کاهش TDS در آبخوانی در کشور سوئیس، علت رقیق شدگی آب زیرزمینی توسط رودخانه مورد مطالعه قرار گرفت و یا در مطالعاتی فرایندهای هیدروشیمیایی موثر بر آبخوان کوه دشت (ایران) توسط اسچورچ و همکاران (۲۰۰۰) به آلودگی آبخوان با شورابه ای نفتی می توان اشاره کرد. در بسیاری از موارد واکنش های شیمیایی بین آب و سنگ یکی از مهم ترین عوامل موثر بر پارامترهای هیدروشیمیایی می باشد در ادامه برزگر و همکاران (۲۰۱۷) فرایندهای

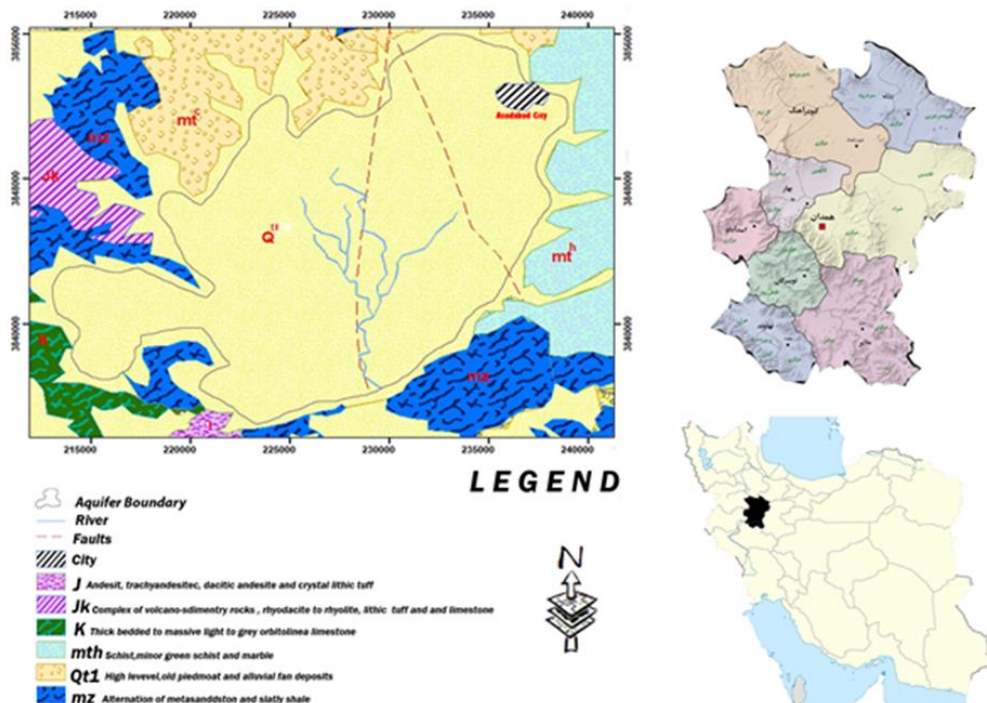
هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر آب زیرزمینی آبخوان مرند را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که انحلال و هوازنگی سنگهای مختلف، تعویض یونی معکوس و فعالیتهای کشاورزی، عمده عوامل مؤثر بر کیفیت آب منطقه هستند. عزیزی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه شوری آبخوان ساحلی یوننا در آبخوان ساحلی آبرفتیهای عهد حاضر پرداخته و شسته شدن املاح و تبخیر را از جمله عوامل مؤثر در شوری آب زیرزمینی مطرح نموده اند. خاسگا و همکاران (۲۰۱۳) برای بررسی منشأ شوری در آبخوان ساحلی توسعه یافته در سنگ آهک کرتاسه، در ساحل غربی دریای مدیترانه (جنوب فرانسه) از ترکیب روش های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی استفاده کردند. گوپینت و همکاران (۲۰۱۸) ویژگیهای هیدروشیمیایی و شوری آبهای زیرزمینی را در محدوده Nagapattinam هند مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که نفوذ آب شور، تبادل کاتیونی و عوامل انسان زاد، عوامل مؤثر بر شیمی آبخوان ساحلی منطقه مورد مطالعه هستند. همچنین مطالعه آنها نشان داد که حوضچه نمک و تأثیرات کشاورزی، از دیگر منابع شوری می باشند. محققان در سراسر جهان از روشها و تکنیکهای مختلفی برای درک و تجزیه و تحلیل فرآیندهای مؤثر بر تغییر کیفیت آبها استفاده میکنند. از جمله این روشهای هیدروشیمیایی مختلف، استفاده از نسبتها و نمودارهای دو یا چند متغیره یونی، استفاده از تکنیکهای ایزوتوپی و تحلیل های آماری را می توان بیان کرد. در راستای برداشتن گامی برای پایش کیفی آب آبخوانهای کشور، پژوهش حاضر به منظور شناسایی فرآیندهای کنترل کننده کیفیت آب آبخوان دشت اسداباد انجام پذیرفته است. دشت اسداباد یکی از قطبهای مهم کشاورزی در استان همدان است و با توجه به اینکه آبخوان ساحلی، تنها منبع تأمین کننده آب جهت مصارف مختلف این منطقه می باشد، بررسی و پایش مداوم کیفیت آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت اسدآباد یکی از دشت‌های استان همدان است که از لحاظ تامین آب شرب و مصرف بخش کشاورزی و صنایع تولیدی موجود در این محدوده حائز اهمیت می‌باشد. دشت اسدآباد با وسعتی در حدود ۹۲۶ کیلومتر مربع جزو حوزه آبریز علیای کرخه محسوب می‌شود، این دشت در موقعیت جغرافیایی  $34^{\circ} 16' E$  تا  $48^{\circ} 47' E$  طول شرقی و  $34^{\circ} 52' N$  تا  $34^{\circ} 35' N$  عرض شمالی و با ارتفاع میانگین ۱۶۰۰ متر از سطح

دریا در ۵۵ کیلومتری غرب شهرستان همدان قرار دارد. از رودخانه‌های مهم در این دشت می‌توان به رودخانه شهاب، دربندرود، خنداب و حبشی اشاره نمود، و از مهمترین ارتفاعات مهم در این منطقه می‌توان به کوه‌های کرکسین، آلموبلاق و لوجار اشاره کرد. محدوده مطالعاتی دشت اسدآباد از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در زون سنندج - سیرجان جای می‌گیرد، در شمال دشت اسدآباد، دشت



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

کوردیوریت، شیبست به سن پیش از تریاس پایانی و تریاس بالا-ژوراسیک تعلق دارند و همچنین در جنوب و غرب این دشت می‌توان به سازندهای تناوبی از متاسندستون و شیل اشاره نمود (شکل ۱).

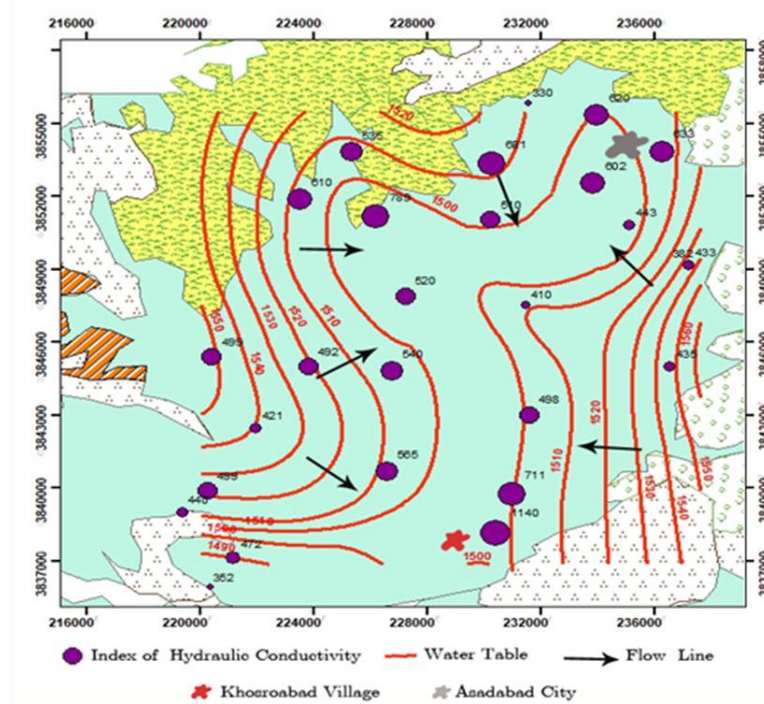
### روش انجام تحقیق

جهت بررسی هیدروشیمی آبخوان دشت اسدآباد با استفاده از نتایج آنالیز ۳۲ نمونه از آبخوان اقدام به بررسی شد. این

چهاردولی قرار دارد که تامین‌کننده آب رودخانه دربندرود می‌باشد و با توجه به ورود این رودخانه به دشت اسدآباد و سازندهای تأثیر گذار بر این رودخانه در دشت چهاردولی، که شامل واحدهای دولومیتی، آهکی و متاریولیتی می‌باشند می‌تواند بر هیدروشیمی آب‌زیرزمینی منطقه تأثیر فراوانی داشته باشد. در شرق دشت اسدآباد و حوضه تأمین‌کننده رودخانه خنداب سازندهایی پگماتیته، گرانودیوریت،

نرم افزار Aq.qa استفاده شد. با توجه به نقشه هم پتانسیل آبخیززمینی و جهت حرکت جریان از ارتفاعات شمال، غرب و شرق دشت اسداباد به طوری که مسیر جریان به داخل دشت امتداد داشته و بر خلاف شیب ارتفاع دشت (شرق، شمال و غرب به سمت جنوب) تمامی جریان از دشت تخلیه نمی گردد و به سمت مرکز دشت تغییر مسیر می دهد، می توان اینگونه بیان داشت که دلیل انحراف جریان به سمت مرکز دشت احتمالاً به علت برداشت از چاه های بهره برداری در میانه دشت می باشد و همچنین دلیل بالا بودن سطح آب در جنوب دشت تغذیه آبخوان توسط رودخانه قره چای می باشد که در ادامه به تفصیل از ارتباط این رودخانه با آبخوان صحبت به عمل خواهد آمد (شکل ۲).

نمونه ها در آزمایشگاه سازمان آب منطقهای جهت تعیین یونهای اصلی ( $Ca^{++}$ ,  $Na^+ K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{++}$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $HCO_3^-$ ) و EC, pH مورد آنالیز قرار گرفته است با استفاده از نرم افزار GIS اقدام به رسم نقشه های هم پتانسیل آب های زیرزمینی و هم ارزش EC و یون های اصلی برای درک فرایندهای حاکم بر مسیر حرکت جریان آب زیر زمینی شد، سپس از نمودارهای دومتغیره جهت تعیین فرایندهای متاثر بر این آبخوان استفاده و همچنین جهت درک بهتر این فرایندها از روش های آماری همانند تحلیل آماری و محاسبه همبستگی بین عوامل در نرم افزار SPSS استفاده شد، جهت درک بهتر تغییرات از نرم افزار Surfer و برای اندیس اشباع از نرم افزار PHREEQC و برای گراف های هیدروشیمیایی از



شکل ۲- نقشه هم پتانسیل آهای زیر زمینی، خطوط جریان و اندیس هدایت الکتریکی.

از روش های آماری بسیار پرکاربرد برای تعیین عامل های موثر بر یک پدیده و یا رخداد می باشد که در این تحقیق جهت تعیین عوامل تاثیرگذار آبخوان استفاده شده است. به طوری که در روش تحلیل عاملی داده ها با استفاده از چرخش واریانس تعداد متغیرها به حداقل ترین تعداد خود می رسند.

### روش فاکتور عاملی

برای بررسی هیدروشیمی آبخوان روش های آماری مختلفی وجود دارد که میتوان به خوشه بندی سلسه مراتبی (CA)، تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (FCA)، تحلیل عاملی (FA) اشاره کرد. در این بین روش تحلیل عاملی یکی

واحدهای آهکی، دولومیتی به سمت رسوبات و آبرفت‌های عهد حاضر منطقه مقدار هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد، همچنین مقدار هدایت الکتریکی در بعضی مناطق افزایش یافته و از روند ذکر شده تبعیت نمی‌کند یکی از این مناطق روستای خسروآباد قرار دارد شاهد افزایش هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی می‌باشیم که علت افزایش را می‌توان حضور رودخانه‌ای دانست که آب در مسیر آن به علت شیب اندک زمین، با سرعت کمی حرکت می‌کند که فرصتی را جهت نفوذ آب به داخل آبخوان ایجاد می‌نماید. به طوریکه هانسلو (۱۹۹۵) بیان داشته در نتیجه سرعت پایین جریان آبی‌رزمینی و افزایش زمان ماندگاری سبب افزایش انحلال یون‌ها می‌شود. لازم به ذکر است روند افزایش یون‌های اصلی با افزایش هدایت الکتریکی که در مناطق دشت هم خوانی دارد که با اصل چپوتاروف مطابق می‌کند و بیان می‌کند که مقدار یون‌های اصلی در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد به شکلی که در مناطقی که آبخوان تغذیه می‌شود مقدار یون‌های اصلی کم بوده و سپس در مسیر جریان و به هنگام خروج از دشت این مقدار افزایش می‌یابد، لازم به ذکر است که این روند در هنگامیکه رودخانه در بندرود، آبخوان دشت اسدآباد را تغذیه می‌کند و به علت سازند های کربناته و عبور این رودخانه از روستاهای دشت چهاردولی شاهد افزایش مقدار یون‌های اصلی و EC، pH در بطن ورود این رودخانه در نمونه‌های موجود در این قسمت دشت اسدآباد شده‌است. همچنین یکی از دلایل بالا بودن مقادیر یون‌های اصلی علاوه بر انتهای مسیر جریان و تکامل هیدروشیمیایی در میانه دشت و محدوده شهری اسدآباد می‌باشد (شکل ۲).

### بررسی شاخص اشباع شدگی

به عبارتی شاخص اشباع پارامتری است برای تعیین حالت تعادل آب در رابطه با کانی‌های معینی در آبخوان به کار گرفته می‌شود (هم ۱۹۹۸) و این شاخص به نوع مواد محلول، اسیدیته، دما، و کل مواد جامد محلول تغییر می‌نماید این شاخص به صورت ذیل محاسبه می‌گردد (معادله ۱)

$$SI = \log \frac{Lap}{Ksp} \quad [1]$$

در این رابطه IAP ضریب فعالیت یونی و Ksp ضریب انحلال پذیری می‌باشد. اگر  $SI=0$  محلول اشباع و در تعادل است،  $SI>0$  محلول فوق اشباع است و امکان رسوب گذاری

به طوری که تفسیر داده‌ها آسان می‌شود. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار SPSS اقدام به استفاده از این روش شد. همچنین از رابطه همبستگی جهت بدست آوردن بهترین رابطه بین مولفه‌ها و تاییدی بر خروجی تحلیل خروجی فاکتور عاملی برای دریافت عوامل تاثیر گذار بر هیدروشیمی آب منطقه انجام شد.

### روش عوامل محیطی تاثیر گذار

در این روش که توسط توسط مرادی و همکاران (۲۰۱۸) ارائه شده با استفاده از نتایج تحلیل عاملی و همبستگی اقدام به تعیین عوامل موثر بر هیدروشیمی آبخوان می‌شود به طوری که در ادامه پس از انتخاب یکی از عاملها جهت تعیین رخساره‌های آبی منطقه بر اساس تاثیر آن عامل بر هیدروشیمی آبخوان در مناطق مختلف انجام می‌پذیرد. در ابتدا تمامی نمونه‌ها (مولفه‌های فاکتور اصلی که در این پژوهش انحلال سنگ های کربناته می‌باشند) طیف بندی (منظور از طیف، تعیین فاصله بین مقادیر است که در جدول ۵ ذکر شده است و اختصاص درجه یا امتیاز به هر فاصله می‌باشد) می‌شوند. سپس نتایج حاصل در یک دستگاه مختصاتی چند بعدی (در این تحقیق در دستگاه ۴ بعدی انجام پذیرفته است) ترسیم می‌شود. در ادامه پس از پلات همه نمونه‌ها (پس از تشکیل گروه‌های مختلف) اقدام به استخراج نمونه‌ها از هر گروه می‌شود و سپس بر روی نقشه همه نمونه‌ها ترسیم می‌شوند. که در شکل ۷ نتیجه این روش در این پژوهش آورده شده است. در ادامه جهت استخراج شباهت‌های نمونه‌ای هر گروه با روش نسبت‌های یونی اقدام به مقایسه و تفسیر داده‌ها می‌شود. این روش می‌تواند تاثیر هر عامل انتخابی توسط پژوهشگر را بر کل هیدروشیمی آبخوان به نمایش گذارد.

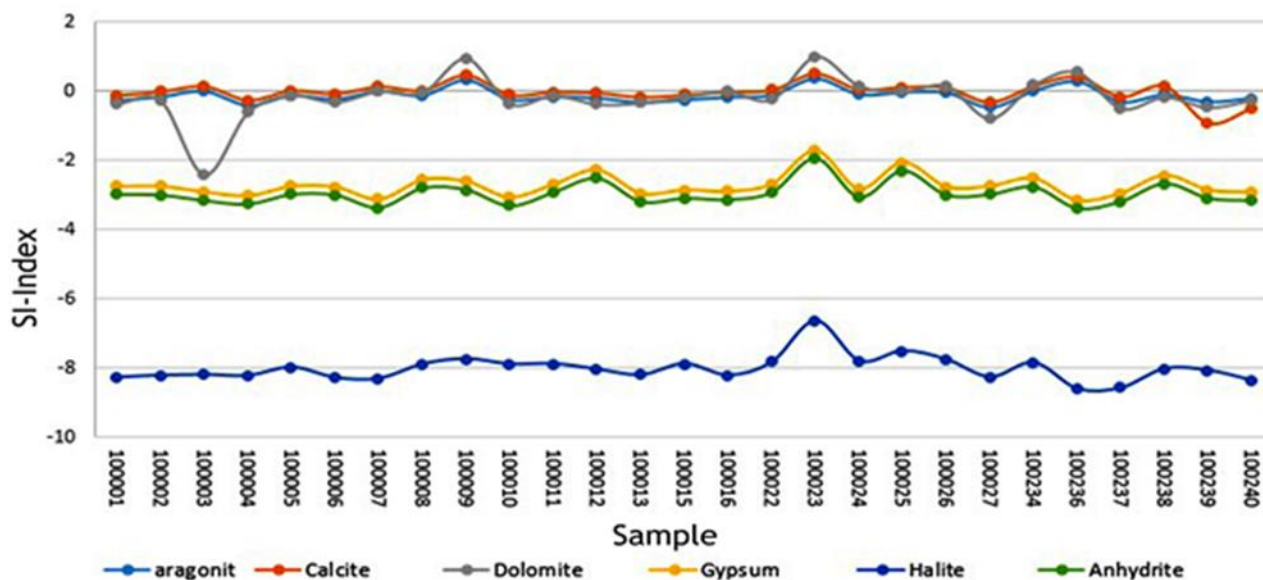
### نتایج و بحث

#### بررسی روند تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی

روند تغییرات هدایت الکتریکی در مسیر جریان افزایش می‌یابد. اصولاً نفوذ پذیری کم، زمان مجاورت آبی‌رزمینی را با مواد اطراف زیاد کرده و در نتیجه آب زیرزمینی با داشتن فرصت بیشتر برای انحلال شورتر می‌شود (اصغری مقدم و همکاران ۲۰۰۸) از نقشه هم ارزش یون‌های اصلی و هدایت الکتریکی این گونه برداشت می‌شود که در مناطق تغذیه در

استفاده از نتایج آنالیزنمونها و استفاده از نرم افزار Phreeqc و با توجه به ترسیم نقشه هم

وجود دارد، در مواقعهایی که  $SI < 0$  محلول تحت اشباع توانایی بیشتری جهت حل فاز جامد رشکلا دارد (هانسلو ۱۹۹۵). با



شکل ۳- شاخص اشباع در نمونه های آب زیر زمینی.

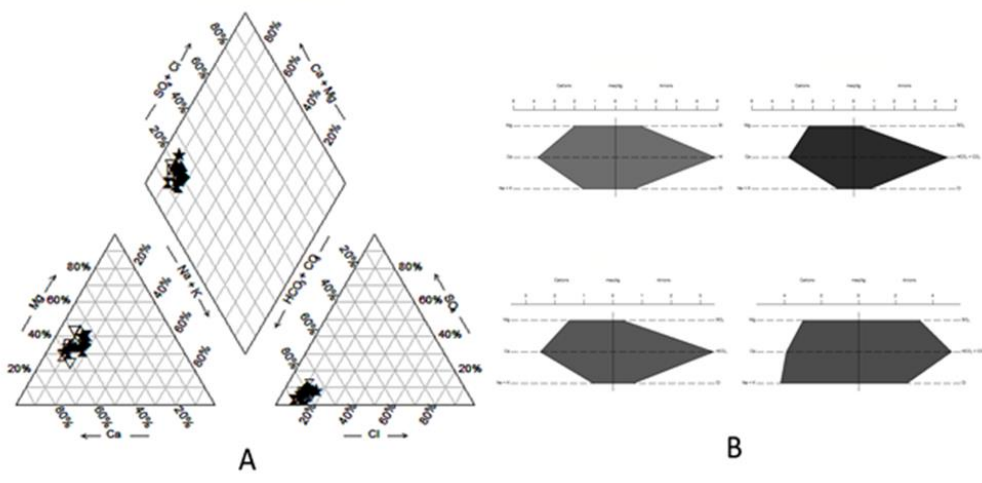
### گراف های هیدروشیمی منطقه

گراف های هیدروشیمی جهت تعیین رخساره های هیدروشیمیایی آب های زیرزمینی که تعیین کننده ماهیت ژئوشیمی جریان آب های زیرزمینی و تکامل انواع آن و برای نمایش نمونه های آب به طور همزمان از نمودار پایپر استفاده می شود (ونیش و همکاران ۱۹۹۶ و پایپر ۱۹۹۴)، در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Aq.qa گراف های پایپر ترسیم شد. طبق نمودار پایپر دشت اسدآباد دارای رخساره های  $Ca-HCO_3$  و  $Na-HCO_3$  می باشد که با سازندهای دولومیت و آهکی زمین شناسی منطقه ارتباط دارد، به طوری که رخساره کربنات سدیک مربوط به جنوب آبخوان واقع در روستای خسروآباد و به منطقه تخلیه آبخوان تعلق دارد (شکل ۲). این رخسارها در تیپ آب شیرین که از نظر سختی در رده سبک قرار دارند، جای می گیرند. مقدار TDS در دامنه ۲۱-۷۴۰  $mg L^{-1}$  متغیر می باشد (شکل ۵-A)

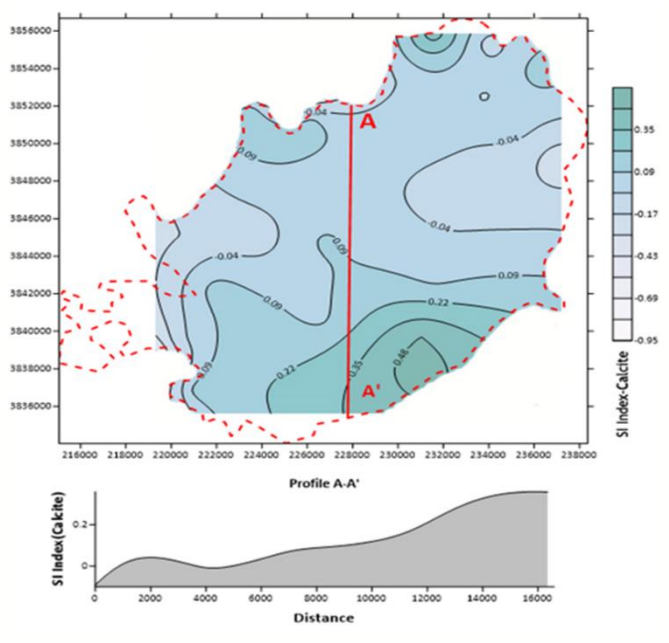
ارزش اندیس اشباع برای کانیهای کلسیت و دولومیت، آراگونیت این سه کانی از محل تغذیه تحت اشباع و در مسیر جریان آب به تعادل و فوق اشباع می رسد و همچنین برای کانی ژپس، انیدریت و هالیت اندیس اشباع، همواره تحت اشباع می باشد ولی در مسیر جریان این اندیس برای این سه کانی مثبت تر و به تعادل نزدیک می شود که بیانگر فقدان کانی های تبخیری در مسیر جریان می باشند، با توجه به نقشه هم ارزش یون های اصلی که در مسیر جریان افزایش میابند که مطابق با نقشه های هم ارزش اندیس اشباع بوده که نشان از به تعادل رسیدن محلول و فوق اشباع شدن آن در مسیر جریان می باشد، به طوری که این امر با افزایش مسافت طی شده آب زیرزمینی در آبرفت، زمان ماندگاری بیشتر در نتیجه فرصت کافی جهت انحلال کانی های کربناته در دسترس، را توجیه مینمایید (میرسجاد فخری و همکاران ۲۰۱۲) (شکل ۴).

کننده آب و شناخت تکاملی بر مبنای پارامترهای TDS , Na/Na+Ca پراخته شد (رونالد ۱۹۷۰) با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی‌های انجام شده ، در آبخوان دشت اسداباد مکانیسم کنترل کننده آب تحت تاثیر فرایند هوازدگی سنگها است با توجه به لیتولوژی منطقه هوازدگی و انحلال سنگ های

همچنین دیاگرام استیف که برای تشخیص سنگ منشا استفاده می‌شود، بکار گرفته شد (هانسلو ۱۹۹۵)، و با استناد به نمودار استیف ترسیم شده برای آبخوان اسداباد، کانی‌های کربناته را می‌توان به عنوان عامل تاثیر گذار بر این آبخوان دانست. در ادامه جهت عوامل موثر بر شیمی آب با استفاده از نمودار گیبس جهت شناخت مکانیسم‌های کنترل



شکل ۴- نقشه هم ارزش شاخص اشباع و پروفیل عرضی تغییرات شاخص اشباع کانی کلسیت.



شکل ۵- A نمودار پایپر B نمودار استیف.

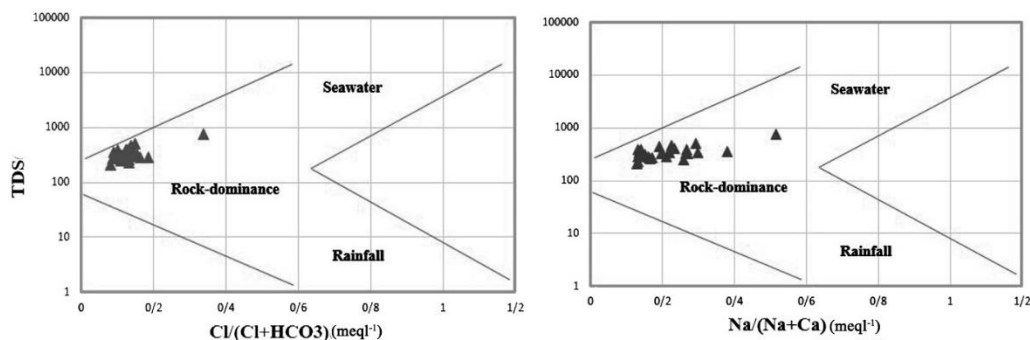
یکی از روش‌های تفسیر فرایند های موثر بر کیفیت آب زیر زمینی استفاده از تریسم آنالیز حاصل از نمونه‌ها بر روی

دولومیتی و آهکی عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب در این آبخوان میباشد (شکل ۶). نمودارهای ترکیبی، تعادل جرمی



نمودارهای دو متغیره جهت تعیین منشأ و اختلاط آب‌های زیرزمینی می‌باشد (مایزر ۲۰۰۴). همچنین از روش تعادل جرمی جهت بدست آوردن منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌ها و از نسبت های یونی جهت بررسی ژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی استفاده میشود (هانسلو ۱۹۹۵). در کنار این روش جهت تعیین فرایندهای موثر بر ترکیب آبهای زیرزمینی از نمودارهای ترکیبی یون  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^-$ ,  $Mg^{++}$ ,  $SO_4^{--}$  در مقابل یکدیگر با نسبت‌های مختلف و همچنین دو متغیره کل یون‌ها در برابر TDI استفاده شد. با توجه به تفسیر این نمودارها، در صورتی که نسبت سدیم به کلر برابر با یک باشد نشاندهنده منشأ انحلال هالیت و اگر این مقدار از یک بیشتر باشد منشأ یون سدیم می‌تواند از آلیت یا تبادل یونی مستقیم در محیط باشد و اگر نسبت بین یون کلر و سدیم کمتر از یک باشد نشان‌دهنده تبادل یونی معکوس می‌باشد. (هانسلو ۱۹۹۵ و مایزر ۲۰۰۴) با توجه به نمودار (شکل A-۷) ترسیم شده آبخوان دشت اسدآباد بیشتر نمونه با نسبت یک قرار می‌گیرند و افزایش می‌یابند که نشان دهنده انحلال هالیت در مسیر جریان می‌باشد و همچنین بعضی از نمونه‌ها در زیر این نسبت قرار می‌گیرند که احتمال تبادل یونی در آن منطقه را افزایش می‌دهند. و با توجه به نسبت  $Na/Na+Cl$  در اکثر نمونه‌ها برابر ۰/۵ می‌باشد که نشان دهنده انحلال هالیت بوده و در برخی از نمونه که در جدول تعادل جرمی قرار گرفته شده نشان از تبادل یونی مستقیم با یونهای کلسیم و سدیم شده است (جدول ۱).

همچنین از نسبت یون  $Cl$  در برابر مجموع آنیون‌ها هوازدهگی سنگ‌ها که هوازدهگی بیکربنات‌ها می‌باشد عامل کنترل کننده شیمی آب و از نمودار کلسیم در برابر TDI این گونه برمی‌یابد که با افزایش TDI مقدار کلسیم به طور خطی افزایش می‌یابد (شکل ۷-D) و همچنین از نسبت  $Ca/Ca+SO_4$  که تمامی نمونه مقدار این نسب بالاتر از ۰/۵ می‌باشد که نشان دهنده انحلال کربنات‌ها می‌باشد. افزایش خطی منیزیم در برابر TDI و نسبت یونی  $Mg/Ca+Mg$  که تمامی نمونه ها کمتر از ۰/۵ قرار می‌گیرند که نشان از هوازدهگی و انحلال دولومیت و سنگ آهک دارد (شکل ۷-B) و همچنین از نمودار  $Ca+Mg$  در برابر  $HCO_3$  این انحلال تایید میشود. افزایش خطی یون کلر در برابر TDI نشان از انحلال هالیت دارد و باعث شوری آب زیرزمینی می‌شود و نه انحلال ژپیس و از نسبت  $HCO_3/Sum\ Anions$  که اکثر نمونه برابر و بیشتر است ۰/۸ است نشان دهنده کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی توسط انحلال کربنات‌ها و نه انحلال ژپیس می‌باشد، و از نسبت یون  $Mg+Ca$  در برابر  $HCO_3$  و قرار گرفتن نمونه بر روی خط ۱/۴ (شکل ۷-C) در این نمودار میتوان نتیجه گرفت که سنگهای دولومیتی تعیین کننده نوع سنگی که هوازده شده در این آبخوان می‌باشند. باتوجه به نتایج حاصل از نمودارهای ترکیبی و نسبت‌های یونی، عامل کنترل کننده شیمی آب انحلال سنگ های کربناته است و همچنین انحلال هالیت و تبادل یونی نیز در آبخوان صورت پذیرفته است.



شکل ۶- نمودارهای گیبس.

جدول ۱- خلاصه داده‌های آماری هیدرو شیمیایی.

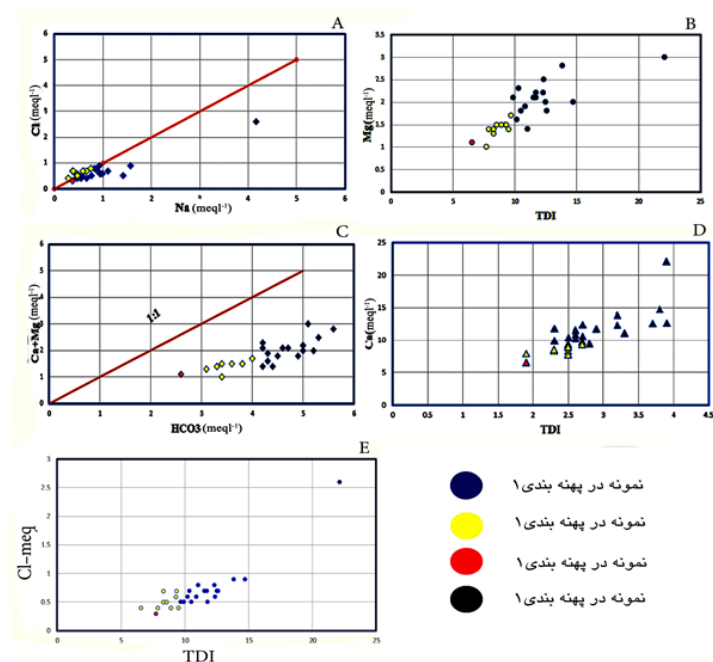
	Mg/Mg+Ca	Ca/Ca+SO <sub>4</sub>	Cl/Sum Anions	HCO <sub>3</sub> /Sum Anions	Na	Mg	Ca	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
میانگین	0.3891	0.8737	0.1170	0.8026	2.7704	1.8185	2.7704	0.6741	4.2519	0.4504
کمترین	0.28	0.54	0.07	0.46	1.90	1.00	1.90	0.30	2.60	0.12
بیشترین	0.48	0.95	0.23	0.89	3.90	3.00	3.90	2.60	5.60	3.30

## تحلیل عاملی

جدول ۲- نتایج تجزیه عوامل.

(پس از چرخش واریمکس)

	عامل	
	1	2
SO <sub>4</sub>	0.436	<u>0.883</u>
Cl	0.510	<u>0.828</u>
HCO <sub>3</sub>	<u>0.983</u>	-0.076
pH	-0.17	0.387
K	<u>0.674</u>	0.534
Na	0.547	<u>0.766</u>
Mg	0.863	0.214
Ca	<u>0.728</u>	0.285
TDS	<u>0.806</u>	0.573



شکل ۷- نسبت‌های یونی.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین داده‌های هیدرو شیمیایی.

	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	pH	K	Na	Mg	Ca
SO <sub>4</sub>	1.000							
Cl	<u>.946</u>	1.000						
HCO <sub>3</sub>	.361	.433	1.000					
pH	.252	.270	-.193	1.000				
K	<u>.759</u>	<u>.826</u>	.622	.044	1.000			
Na	<u>.930</u>	<u>.914</u>	.493	.261	<u>.744</u>	1.000		
Mg	.542	.637	<u>.829</u>	-.038	<u>.749</u>	.640	1.000	
Ca	.596	.615	<u>.713</u>	-.089	.655	.502	.485	1.000
TDS	<u>.858</u>	<u>.889</u>	<u>.748</u>	.062	<u>.839</u>	<u>.869</u>	<u>.831</u>	.756

توجه به ضریب همبستگی پیرسون در این متغیرها (جدول ۳)، افزایش این یون‌ها با افزایش EC, TDS نشان دهنده واکنش سنگ و آب و همچنین شباهت ژئوشیمیایی رفتار عمده این عناصر به یکدیگر است (کلانتری و همکاران ۲۰۱۷) به طوری که تاثیرگذاری آبخوان را توسط انحلال سنگ‌های

جهت آسان‌سازی فهم عوامل موثر بر هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی که خصوصیات آبخوان را کنترل می‌کند و تشخیص سهم هر کدام از این موارد میتوان از تحلیل عاملی استفاده نمود (جولیف، ۱۹۸۸ و یوسینوف، ۱۹۸۹) و ارتباط قوی میان یون‌های EC, HCO<sub>3</sub>, Mg, K, Ca, TDS بوده و با

نمونه‌های مشترکی که در هر دسته بندی متمایز شده را در جدول ۵ در چهار گروه تعیین شد. بر اساس نتایج بدست آمده چهار پهنه در آبخوان مشخص شد که پهنه یک دارای سه زیر گروه می‌باشد. که با توجه به نسبت های یونی، شرایط حاکم بر انحلال کانی‌های مختلف در هر گروه مشخص شده است، به-طوری که تفاوت در مقدار نسبت  $Na/Cl$  و  $Mg+Ca/HCO_3$  و  $Ca/SO_4$  در تقسیم بندی موثر بوده است (جدول ۵). پهنه-های مشخص شده با این روش با روند جریان و تکامل شیمی آب همخوانی داشته، به طوری که روند شاخص اشباع و نمایش گروه بندی بر روی نسبت های یونی (شکل ۷) گواه بر این ادعا می‌باشد. با توجه به این استدلال که گروه بندی انجام شده در پهنه دو و پلات نمونه‌های این گروه بر روی نقشه و نتایج حاصل حضور نمونه‌ها را در منطقه تغذیه آبخوان با سازندهای شیبیستی دولومیتی را نمایش می‌دهد. گروه یک: نمونه‌های این گروه در مرحله تکامل در مسیر جریان و در میانه دشت را تشکیل می‌دهد. گروه سوم بسیار شبیه گروه دو می‌باشد با این تفاوت که نسبت  $Na$  به  $Cl$  آن بیشتر از گروه دو بوده که نشان از وجود منشأ دیگری برای سدیم می‌باشد، و همچنین عامل دیگر

آهکی بیان می‌نماید، در ادامه در عامل دو ارتباط قوی بین یون های  $Na, SO_4, Cl$  نشان‌دهنده انحلال هالیت و سولفات سدیم می‌باشد با توجه به نسبت‌های یونی و نتایج حاصل از تحلیل عاملی، فرضیه امکان انحلال کانی‌های تبخیری و کربناته در مسیر جریان را افزایش می‌دهد. به طور کلی عامل یک و دو نشان‌دهنده روند کلی آب‌زیرزمینی و تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب آبخوان اسدآباد می‌باشد که به این عوامل زمین زاد گفته می‌شوند (جدول ۲)

### روش گروه بندی عوامل محیطی

با توجه به بررسی نرمال بودن داده ها و آنالیز همبستگی داده‌های موجود و با استفاده از روش ارائه شده توسط (مرادی و همکاران ۲۰۱۸) اقدام به پهنه بندی و تست آنالیز داده‌ها در آبخوان اسدآباد و ترسیم گروه‌ها با شرایط مختلف هیدروشیمی موجود در این آبخوان شد. با در نظر گرفتن همبستگی موجود و نظر کارشناسی پارامتر EC و غلظت یون‌های موجود پس از درجه بندی (جدول ۴) در دستگاه مختصات چهار بعدی جهت گروه بندی و پلات و سپس اعضاء هر گروه مشخص گردید، در مرحله بعد

جدول ۴- مقادیر درجه بندی شده.

مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها در درجه بندی انجام شده ( $meq L^{-1}$ )	
$Ca^{2+}$	$0=<x>1.45("1"), 1.46=<x>2.91("2"), 2.92=<x>4.36("3")$
$Mg^{2+}$	$0=<x>1.75("1"), 1.76=<x>3.6("2"), 3.7=<x>8.3("3")$
$HCO_3$	$0=<x>1.9("1"), 2=<x>3.9("2"), 4=<x>8("3")$
TDS	$0=<x>200("1"), 201=<x>400("2"), 401=<x>800("3")$

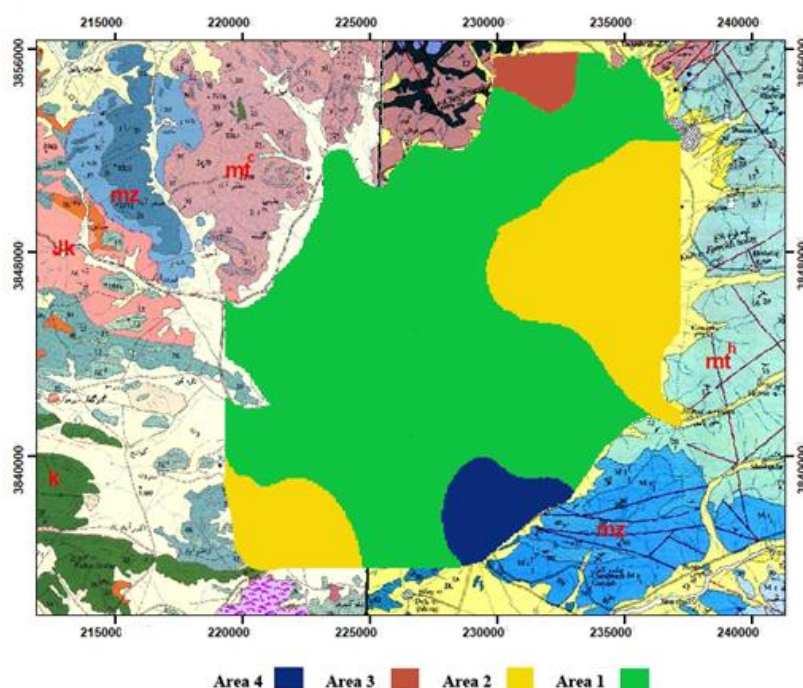
تفاوت در مقدار TDS در این دو گروه را نشان می‌دهد. نمونه های موجود در گروه چهار که بیشترین مقدار غلظت یونها را دار می‌باشد در بخش انتهایی مسیر جریان قرار دارند. این افزایش غلظت یون‌ها را می‌توان از حضور نمونه ها در انتهایی مسیر جریان آبخوان (که با نقشه جهت جریان مطابقت دارد) و یا به دلیل افزایش زمان ماندگاری آب موجود در رودخانه قرهچای که دشت را زهکشی

می‌نماید (به علت شیب کم توپوگرافی که باعث افزایش نفوذ آب ها در این منطقه می‌شود). می‌توان دانست. و علاوه بر این حضور سازند شیلی در این منطقه را عامل دیگر بالابردن مقادیر یون های در این نمونه‌ها میتوان ذکر کرد (شکل ۸). با توجه به پهنه بندی صورت گرفته، چهار محیط متفاوت از نظر انحلال کانی‌ها در این مناطق را به وجود

آبخوان دشت اسدآباد در غرب کشور و در غرب استان همدان قرار گرفته که تامین کننده آب مصارف کشاورزی، صنعت و شرب این شهرستان می باشد. تاکنون هیچ گونه بررسی بر روی هیدروشیمی این آبخوان صورت نگرفته است، بنابراین به منظور تأثیر سازندهای زمین شناسی و عوامل انسان زاد اقدام به بررسی هیدروشیمیایی این آبخوان گردید. با توجه به برداشت آب از این آبخوان مسیر

می آورند که از محیط با منطقه تغذیه به وسیله آب های با شاخص های انحلال تحت اشباع که در ابتدای مسیر جریان قرار گرفته اند تا پهنه میانی دشت که نشانه دهنده تکامل در مسیر جریان می باشد را تشکیل می دهند (شکل های ۴-۹).

### نتیجه گیری کلی



شکل ۹- پهنه بندی انجام شده با استفاده از روش عوامل تأثیر گذار.

جدول ۵- نتایج حاصل از گروه بندی محیطی تأثیر گذار.

ناحیه ۱	گروه ۱-۱	$350 < EC < 700$	$Na/Cl = 1.51$
		$4 < HCO_3 < 5.2$	$Ca/HCO_3 = 0.57$
		$0.1 < SO_4 < 0.68$	$Ca + Mg/HCO_3 = 3$
		$2.3 < Ca < 2.9$	$Ca/SO_4 = 0.08$
		$0.5 < Na < 1.56$	$Na + Cl/EC = 0.8$
		$0.4 < Cl < 0.78$	
		$1.7 < Mg < 3.6$	
		$200 < TDS < 400$	

گروه ۲-۱۵	500<EC<800 4<HCO <sub>3</sub> <5.6 0.3<SO <sub>4</sub> <1.23 3.2<Ca<3.8 0.75<Na<1.56 0.79<Cl<2.34 1.4<Mg<2.8 460<TDS<512	Na/Cl = 1.14 Ca/HCO <sub>3</sub> = 0.6 Ca+Mg/HCO <sub>3</sub> = 3.8 Ca/SO <sub>4</sub> =0.15 Na+Cl/EC=1.02
	گروه ۳-۱۵	500<EC<800 4<HCO <sub>3</sub> <5.6 0.3<SO <sub>4</sub> <1.23 3.2<Ca<3.8 0.6<Na<1.1 0.6<Cl<0.7 1.9<Mg<2.1 300<TDS<400
ناحیه ۲	350<EC<490 2.6<HCO <sub>3</sub> <4 0.2<SO <sub>4</sub> <0.34 1.4<Ca<2.9 0.2.9<Na<0.6.7 0.4<Cl<0.7 1.1<Mg<1.7 300<TDS<400	Na/Cl = 0.83 Ca/HCO <sub>3</sub> = 0.71 Ca+Mg/HCO <sub>3</sub> = 2.83 Ca/SO <sub>4</sub> =0.12 Na+Cl/EC=0.48
	ناحیه ۳	EC=330 4<HCO <sub>3</sub> <5.2 0.1<SO <sub>4</sub> <0.3 1.4<Ca<2.9 0.3<Na<0.77 0<Cl<0.78 0<Mg<1.75 211=TDS
ناحیه ۴	Ec=1140 HCO <sub>3</sub> =5.1 SO <sub>4</sub> =3.3 Ca=3.9 Na=4.6 Cl=2.6 Mg=3 TDS=741	Na/Cl = 1.6 Ca/HCO <sub>3</sub> = 0.73 Ca+Mg/HCO <sub>3</sub> = 1.35 Ca/SO <sub>4</sub> =0.84 Na+Cl/EC=4.16

منشا تغذیه و در مسیر جریان افزایش میابد. با توجه با نقشه هم ارزش یون های اصلی و پامترهای موجود میتوان نتیجه گرفت که طبق اصل چیبوتاروف در مسیر جریان و با توجه به شاخصهای اشباع و نقشه هم ارزش این شاخصها، روند تکامل آب در مسیر افزایش می یابد. با توجه با گراف های پایپر و گیبس و نسبتهای یونی و سازندهای موجود در این

جریان در جهت های مختلف توسعه پیدا کرده است. به طوری که مسیر جریان با توجه به شیب هیدرولیکی به خارج از دشت جریان داشته و همچنین به مسیر دیگری که به علت تراکم بالای برداشت توسط چاهای کشاورزی در میانه دشت که باعث انحراف مسیر جریان به داخل دشت میشود اشاره کرد، و از طرف دیگر با توجه به نقشه هم ارزش EC از ۳۳۰ میکروزیمنس بر متر تا ۱۱۴۰ میکروزیمنس بر متر

چهارپهنه در این آبخوان وجود داشته که دارای نمونه‌های یکسان آبی بوده که پس از مشخص کردن این نمونه‌ها در نمودارهای مختلف تاییدی بر این ادعا می‌باشد و از نتایج تحلیل عاملی می‌توان نتیجه گرفت، عامل اصلی هیدروشیمی آبخوان انحلال سنگ‌های کربناته می‌باشد

منطقه می‌توان بیان داشت که عامل مهم در کنترل کننده شیمی آبخوان هوازگی سنگها به طوری که هوازگی و انحلال سنگ‌های کربناته با تیپ کربنات-کلسیک می‌باشد و با توجه به نسبت های یونی تبادل یونی در این آبخوان هم موثر بوده است. براساس روش گروه‌بندی محیطی تاثیرگذار بر آبخوان

#### منابع مورد استفاده

- Azizi F, Asghari Moghadam A and Nazemi AH, 2017. Evaluation of groundwater salinity and explanation of ion origin in coastal aquifer of Malekan plain using ion ratios. *Ecology* 43:457-437. (In Persian with English abstract).
- Appelo CAJ and Postma D, 2004. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. CRC press.
- Asghari Moghadam A and Fijani E, 2008. Hydrogeological and hydrochemical studies of basaltic and karstic aquifers of Mako region in connection with geological formations of the region. *Geosciences* 67:13-2. (In Persian with English abstract).
- Barzegar R, Moghaddam AA and Tziritis E, 2017. Hydrogeochemical features of groundwater resources in Tabriz plain-northwest of Iran. *Applied Water Science* 7(7):3997-4011.
- Fakhri M, Asgari mogadam A, Vaezi B and Najeab M, 2013. Hydrogeochemistry and hydrogeology of Marand plain aquifer-Tabriz 163. (In Persian with English abstract).
- Gopinath S, Srinivasamoorthy K, Vasanthavigar M, Saravanan K, Prakash R, Suma CS and Senthilnathan D, 2018. Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in parts of Nagapattinam district of Tamil Nadu and the Union Territory of Puducherry, India. *Carbonates and Evaporites* 33 1:1-13.
- Garah Mohamadlu M, Jandaghi N, Zareh A and Mehrabi H, 2018. Hydrogeochemical study of groundwater aquifer in Seydan-Farooq plain, Fars province. *Echohydrology* 5:1253-1241 (In Persian with English abstract).
- Hem JD, 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd ed. US Geological Survey Water-Supply Paper, 2254.
- Hounslow A, 1995. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC press.
- Hadipoor Hfjani Z, Naseri HR and Alijani F, 2018. Hydrogeochemical processes of Kuhdasht aquifer. *Hydrogeology* 3:46-32 (In Persian with English abstract).
- Jolliffe IT, 1985. Principal component analysis. The Varimax criterion for analytical rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23b:187-200
- Kazakis N, Pavlou A, Vargemezis G, Voudouris KS, Soulios G, Pliakas F and Tsokas G, 2016. Seawater intrusion mapping using electrical resistivity tomography and hydrochemical data. An application in the coastal area of eastern Thermaikos Gulf Greece. *Science of the Total Environment* 543:373-387.
- Liu C.W, Lin K.H, Kuo Y.M, 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment* 313(1-3:77-89.
- Mazor E, 2005. *Global Water Dynamics Shallow and Deep Groundwater Petroleum Hydrology Hydrothermal Fluids and landscaping*. Marcel Dekker. Inc. New York. 416 p
- Moradi S and Jafari H, 2018. Determining the area of pressurized aquifer in Chahardoli plain of Assadabad. The Third National Conference of Iranian Hydrology, 20-25 August, (In Persian with English abstract).
- Piper AM, 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical Union Transaction, Hydrology* 54:914-923
- Ronald J, 1970. *Circulation in the Amazon River Estuary and Adjacent Atlantic Ocean*, GIBBS Press.
- Schürch M and Vuataz F.D, 2000. Groundwater components in the alluvial aquifer of the alpine Rhone River valley, Bois de Finges area, Wallis Canton, Switzerland. *Hydrogeology Journal* 8(5):549-563.
- Usunoff EJ and Guzmán-Guzmán A, 1989. Multivariate analysis in hydrochemistry: an example of the use of factor and correspondence analyses. *Groundwater*. 27(1):27-3.