

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵، تابستان ۱۳۹۶

## بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و طبقه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات برای مصارف مختلف با استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی

جمیل روزرخ<sup>\*۱</sup>

[jamilrozrokh@yahoo.com](mailto:jamilrozrokh@yahoo.com)

اصغر اصغری مقدم<sup>۲</sup>

عطالله ندیری<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۲

### چکیده

زمینه و هدف: در دشت هرزندات به دلیل کمبود بارندگی همواره یکی از چالش‌ها برای فعالیت‌های انسانی، کمبود منابع آب و یا نبود منابع مناسب است. هدف از این پژوهش بررسی هیدروژئوشیمی، ناپهنجاری‌های هیدروژئوشیمیایی و تعیین کاربری (مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت) آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه است.

روش بررسی: با توجه به منابع محدود آبی در دشت هرزندات، ۱۶ نمونه آب زیرزمینی از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات جمع‌آوری شده که نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل شیمیایی آن‌ها با روش‌های استاندارد صورت گرفته است.

یافته‌ها: نتایج دیاگرام پایپر نشان می‌دهد که تیپ آب شور در منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات تیپ غالب می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص اشباع کانی‌های اصلی آب زیرزمینی، تعامل آب و سنگ و حالت اشباع و فوق اشباع بودن نسبت به کانی‌های دولومیت، کلسیت و آراگونیت را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی کیفی انجام شده، آب‌های منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر شرب در محدوده‌ی متوسط تا کاملاً نامطبوع هستند و از نقطه نظر کشاورزی در رده‌ی آب‌های شور قرار گرفته و جهت آبیاری نامناسب هستند. از لحاظ مصارف صنعتی نیز برخی از منابع آب دارای خاصیت رسوب‌گذاری و بخشی نیز خورنده هستند، ولی اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی دارای خصوصیت پوسته‌گذاری بوده و جهت مصارف صنعتی نامناسب می‌باشند.

نتیجه‌گیری: نتایج این بررسی حاکی از آن است که اغلب آب‌های کیفیت پایین از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در بخش‌های مرکزی و شمالی دشت وجود دارند. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از نمودار گیبس، فرآیندهایی مانند هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده-ی سنگ و تبخیر بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت هرزندات مؤثر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، هیدروژئوشیمی، دشت هرزندات، طبقه‌بندی کیفی.

\*۱- (مسوول مکاتبات): کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- استادیار هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

## **Investigation of hydrogeochemical characteristics and qualitative classification of Harzandat plain groundwater resources for various purposes, using hydrochemical methods**

**Jamil Rozrokh** <sup>1\*</sup>

[jamilrozrokh@yahoo.com](mailto:jamilrozrokh@yahoo.com)

**Asghar Asghari Moghaddam** <sup>2</sup>

**Ata Allah Nadiri** <sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Inadequency of water resources or lack of appropriate resources have been among the challenges for human activities in the Harzandat plain due to shortage of rainfall. The purpose of this study was to evaluate geochemistry and hydrogeochemical anomalies and to determine groundwater usage (different uses for drinking, agriculture and industry) in the study area.

**Method:** Due to the limited water resources in Harzandat plain, 16 groundwater samples were collected from wells, springs and qanats that sampling, and chemical analysis was carried out using standard procedures.

**Findings:** The results of the Piper diagram show that the dominant type of groundwater is saline water in Harzandat plain. Calculation of the saturation index shows the interaction between water and rock and the state of saturation and super saturation relative to dolomite, calcite and aragonite minerals. According to the qualitative classification, the water in the study area falls within the range of moderate level, and from the agriculture view point it is brackish water and unsuitable for irrigation. For industrial uses, some of the water resources have incrustation properties and they are partly corrosive, but most of the groundwater samples taken from the study area had incrustation properties and were unsuitable for industrial purposes.

**Conclusion:** The results indicated the poor quality of drinking water, agriculture and industry in the central and northern parts of the plain. Also, based on the results from the Gibbs diagram, processes such as chemical weathering of mineral constituents of rock and evaporation influence the quality of groundwater in Harzandat plain.

**Keywords:** Groundwater; Hydrogeochemistry; Harzandat plain; Qualitative classification.

---

1- MSc of Hydrogeology, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. \* (Corresponding Author)

2- Professor of Hydrogeology, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Associate Professor of Hydrogeology, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

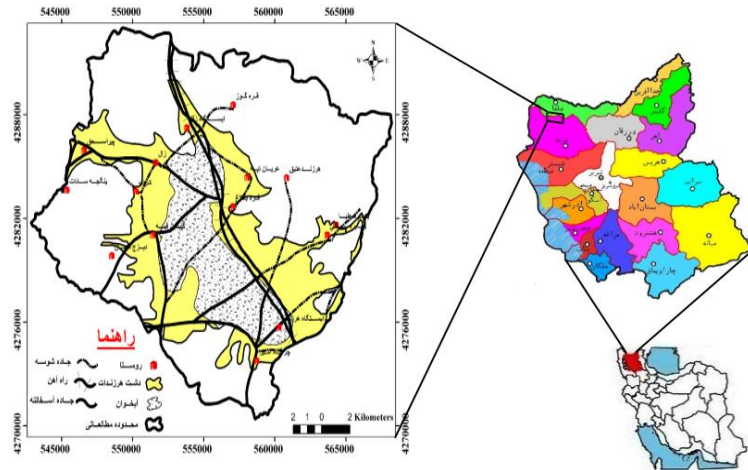
## مقدمه

در دسترس بودن منابع آب یکی از چالش‌های مهم زندگی بشری است. باران و برف که دارای املاح بسیار کم می‌باشند در طی جاری شدن بر روی سطح زمین و یا پیوستن به آب‌های زیرزمینی دچار تغییراتی می‌گردند. این تغییرات می‌تواند ناشی از واکنش آب با سنگ و یا تأثیرات حاصل از فعالیت‌های انسانی باشد (۱). در سراسر جهان توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی بستگی به در دسترس بودن منابع آب پایدار دارد (۲). مناسب بودن آب برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت با توجه به کیفیت آب تعیین می‌شوند. کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین-شناسی مسیر و غیره تغییر می‌کند. باید به این مطلب توجه داشت که تمام فعالیت‌های انسانی در هر مکانی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در ارتباط با آب است و کمبود آب و تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی ناشی از فعالیت‌های طبیعی و انسانی بوده، بنابراین مطالعه و بررسی کیفی منابع آب جهت حفظ کیفیت آن‌ها ضروری می‌باشد. شناخت فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر محیط می‌تواند به ما در شناخت فرآیندهای شیمیایی آب که بر کیفیت آب اثر می‌گذارند کمک اساسی نماید (۳). این مطالعه بر روی آبخوان دشت هرزندات متمرکز شده است که یکی از آبخوان‌های در معرض خطر می‌باشد، بطوری‌که سطح آب زیرزمینی در این آبخوان بطور قابل توجهی به علت برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی افت نموده است. ادامه این روند، علاوه بر کاهش کمیت می‌تواند سبب کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه شود، بنابراین حفاظت و نظارت بر روی کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی، اساسی‌ترین عامل جهت محفوظ ماندن و از بین نرفتن آبخوان دشت هرزندات می‌باشد. بیشتر روش‌های به کار رفته در مطالعات کیفی آب زیرزمینی، روش‌های گرافیکی هستند که نتایج حاصل از تجزیه‌ی نمونه‌های آب را توسط نمودارهای مختلفی مانند نمودارهای پایپر، شولر و ویلکوکس ارائه می‌کنند (۴). مطالعه‌ای تحت عنوان هیدروژئوشیمی و طبقه‌بندی منابع آب زیرزمینی محدوده‌ی شهر Ishwardi در منطقه‌ی Pabna در کشور بنگلادش، نشان می‌دهد که در این محدوده‌ی

مطالعاتی مقدار غلظت ترکیبات کلیایی خاکی ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) در منابع آب زیرزمینی این منطقه غالب و غلظت اسیدهای بی‌کربنات کم می‌باشد که بر این اساس تیپ آب‌های زیرزمینی در این حوضه تیپ منیزیم-بی‌کربنات و کلسیم-کربنات طبقه بندی شده است. از نظر ژنزی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه به هر دو گروه کلراید نرمال، سولفات نرمال و کربنات نرمال تا گروه فوق کربنات تعلق دارد. براساس EC، SAR و RC، آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با داشتن خطر کلیایی پایین و خطر شوری متوسط برای مصارف کشاورزی از نظر کیفی خوب تا بسیار خوب متغیر می‌باشند (۵). هدف از این مطالعه بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت هرزندات، تعیین انواع تیپ‌های آب، طبقه‌بندی کیفی آب جهت مصارف مختلف (شرب، کشاورزی و صنعت)، تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی و توصیف تکامل شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. به همین منظور از دشت هرزندات، اقدام به برداشت ۱۶ نمونه‌ی آب شده و در ادامه به بررسی‌های دقیق‌تر آن پرداخته می‌شود تا مشخص گردد کیفیت هر یک از منابع موجود در چه سطحی می‌باشند.

## منطقه مورد مطالعه

دشت هرزندات یکی از دشت‌های استان آذربایجان شرقی است و از نظر تقسیمات هیدروژئولوژیکی، قسمتی از حوضه آبریز خزر و زیر حوضه رودخانه ارس محسوب می‌شود (شکل ۱). مساحت کل این محدوده مطالعاتی حدود ۳۴۷ کیلومتر مربع، وسعت دشت هرزندات ۱۴۶/۷ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان دشت هرزندات ۷۸/۶ کیلومتر مربع می‌باشد. عبور راه‌آهن تبریز- جلفا و جاده آسفالتی مرنده- جلفا از داخل دشت امکان دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه را امکان پذیر کرده است. مطالعات هیدروژئولوژی دشت هرزندات نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر اقلیمی بر اساس اقلیم نمای آمبرژه، دارای اقلیم خشک و سرد بوده است (۶)، بطوری‌که به استناد خلاصه آمار ایستگاه پهناور و چرچر متوسط درجه حرارت سالانه این منطقه در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالانه برابر ۲۱۹ میلی‌متر می‌باشد (۷).



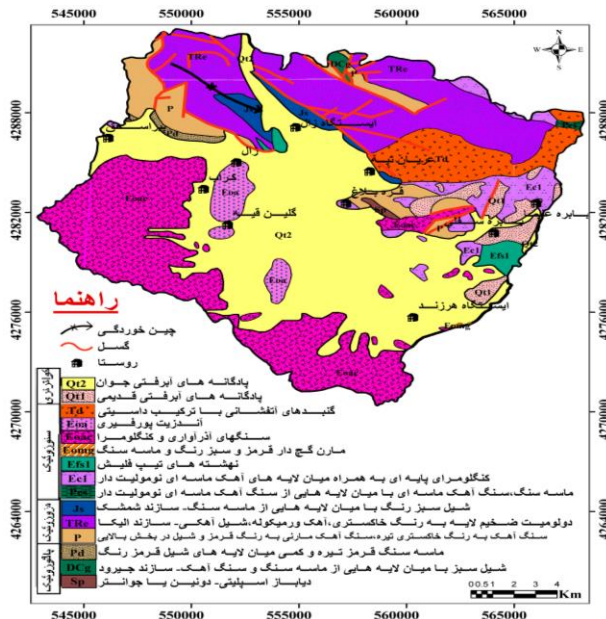
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه راه‌های ارتباطی دشت هرزندات

Figure 1 - Geographical location and road map of the plain of Harzandat

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

دولومیتی (سازند الیکا) در بخش شمالی و شمال شرقی دشت شده است. محدوده‌ی مطالعاتی هرزندات از نظر چینه شناسی شامل رسوبات دونین تا عهد حاضر است و دارای سازندهای الیکا (آهک و دولومیت)، شمشک (شیل سبز رنگ با میان لایه-هایی از ماسه سنگ) و جیروند (شیل با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و سنگ آهک) می‌باشد که در بخش شمالی دشت واقع شده‌اند و غالباً منطقه‌ی مورد مطالعه از توف، رسوبات پیروکلاستیک، آهک و رسوبات آبرفتی تشکیل شده است (۹). سازند الیکا (آهک و دولومیت) و رسوبات آذرآواری از نظر تخلخل و نفوذ پذیری حایز اهمیت هستند (شکل ۲).

منطقه مورد مطالعه که در شمال غربی واحد زمین ساختی البرز- آذربایجان قرار گرفته است، دارای روند عمومی با راستای شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد (۸). فعالیت‌های شدید ولکانیکی ترشیری از اواسط ائوسن آغاز می‌گردد و همراه با نفوذ ولکانیک‌های داسیتی الیگوسن وسعت زیادی از بخش شرقی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. به علت چین خوردگی و گسل خوردگی شدید در منطقه، گسترش سیستم درزه و شکاف در برخی از سازندها خوب بوده است به گونه‌ای که گسترش این سیستم و عوامل مؤثر دیگر باعث گسترش پدیده کارستی شدن در برخی از سازندهای آهکی و



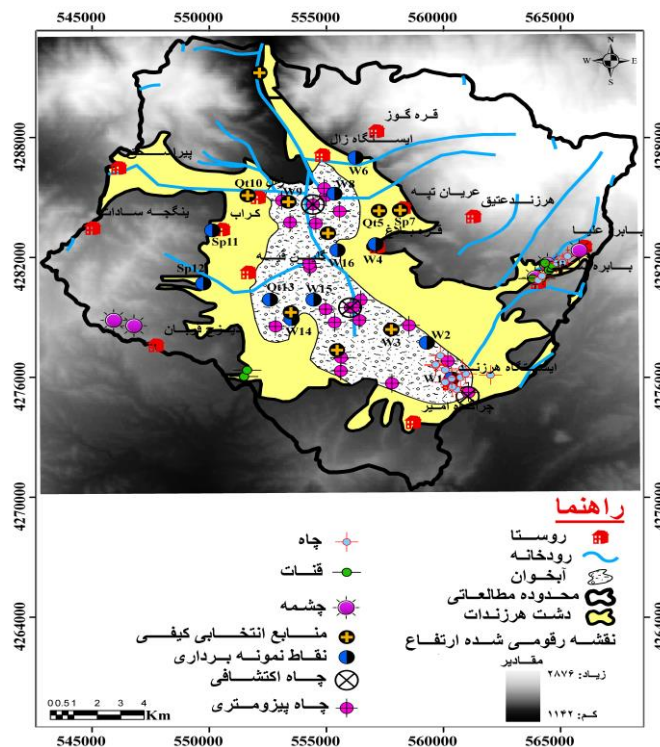
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 2- Geological map of the studied area

### هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات

که این سنگ کف در برخی از نقاط دشت در سطح زمین برون-زد دارد. بر اساس نقشه‌های هم تراز سطح ایستابی مشخص گردید که جهت جریان آب زیرزمینی از حاشیه جنوب شرقی به طرف شمال دشت می‌باشد. تنها منبع تأمین آب شرب دشت هرزندات منابع آب زیرزمینی می‌باشد. افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب زیرزمینی و کمبود بارندگی در چند سال اخیر باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است، به گونه‌ای که در ۱۰ سال گذشته (۱۳۸۰-۱۳۹۰) به‌طور متوسط سطح آب زیرزمینی به میزان ۲/۳ متر افت کرده است، از این رو دشت هرزندات از سال ۱۳۸۱ به بعد دشت ممنوعه اعلام گردید (۷).

آبخوان دشت هرزندات، آبخوانی غیر همگن و آزاد می‌باشد که در قسمت‌های شمالی دشت به علت گسترش پهنه‌های رسی، آبخوان محبوس تشکیل گردیده که گسترش آن کم بوده و از نظر منابع آبی فقیر می‌باشد (۹). بر اساس داده‌های آماری سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ در دشت هرزندات، ۱۵ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق، ۱۴ حلقه چاه بهره‌برداری کم عمق و تعداد ۹ دهنه چشمه و ۱۰ رشته قنات از طریق درزه و شکاف، منابع آب زیرزمینی منطقه را زهکشی می‌کنند. هم‌چنین در منطقه مورد مطالعه تعداد سه حلقه چاه اکتشافی همراه با ۲۲ حلقه چاه پیزومتری، حفر و مورد آزمایش پمپاژ قرار گرفته‌اند (شکل ۳). بررسی سنگ کف آبخوان دشت هرزندات نشان می‌دهد که در بیشتر نقاط دشت، جنس آن از نوع مارن و رسوبات رسی است



شکل ۳- نقشه منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات بر روی نقشه رقومی شده ارتفاع منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure 3- Map of Groundwater Resources of Harzandat Plain on a Digitalized Map of the Study Area Height

### مواد و روش‌ها

#### نمونه برداری و آزمایش نمونه‌ها

آب چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات برداشت شده در مهر ماه سال ۱۳۹۲ استفاده شد که موقعیت آن‌ها در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. پارامترهای کیفی مورد نظر آب که شامل کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و نیترات می‌باشند، توسط روش‌های استاندارد (۱۰) برای نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت

روش‌ها و مراحل انجام کار در دو بخش عملیات صحرائی و تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده، ارایه شده‌اند. لذا برای رسیدن به یک ایده‌ی مناسب، با توجه به محدود بودن منابع آب موجود در منطقه از اطلاعات منابع آبی ۱۶ نمونه‌ی

گرم بر لیتر می‌باشد (۱۱). از نظر سازمان بهداشت جهانی، pH قابل قبول برای آب شرب در بازه ۶/۵-۸ قرار دارد. در این منطقه تنها دو نمونه‌ی ۲ و ۳ با مقادیری به ترتیب معادل ۶/۳۵ و ۶/۴، پایین‌تر از این بازه قرار می‌گیرند. مقادیر pH منابع آب- زیرزمینی دشت هرزندات از ۶/۳۵ تا ۸/۸ متغیر و مقدار میانگین آن‌ها معادل ۷/۷۶ می‌باشد (جدول ۱). با توجه به این مطالب می‌توان مشاهده نمود که بیشتر نمونه‌ها دارای pH در حدود قلیایی می‌باشند. این امر می‌تواند در نتیجه‌ی آلودگی‌های انسانی ایجاد شده در روستاهای اطراف دشت هرزندات باشد که در بالا دست محل نمونه‌برداری واقع شده‌اند. هم‌چنین در مورد سایر نمونه‌ها که دارای pH در حدود خنثی هستند نیز می‌توان گفت که به دلیل این‌که در منطقه به حد کافی ترکیبات دارای کربنات کلسیم وجود دارد pH در حدود ۷ باقی مانده است. بر اساس نظر سازمان بهداشت جهانی مقدار پتاسیم موجود در آب شرب باید کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد. حدود پتاسیم در نمونه‌ها از ۰/۶ تا ۳۸/۵ میلی‌گرم بر لیتر متغیر که کمتر از حدود استاندارد است. این امر به خاطر نبود یا کمبود سازندهای پتاسیم‌دار در طبیعت و تمایل پتاسیم به ثابت شدن توسط کانی‌های رسی می‌باشد (۱۲ و ۱۳). برای سایر یون‌ها و عناصری که غلظت آن‌ها از حدود استاندارد سازمان بهداشت جهانی بیشتر شده‌اند، شرایط به شرح زیر می‌باشد:

شده، در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شده- اند. تعیین غلظت عناصر کلر، کلسیم و منیزیم، کربنات و بی- کربنات به روش تیتراسیون، تعیین غلظت عناصر نیترات و سولفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل Spectro 40 و تعیین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه Flame Fotometer مدل ۴۱۰ ساخت کارخانه شروود صورت گرفته است. اندازه‌گیری pH توسط دستگاه pH سنج ساخت کارخانه تستو در صحرا و نیز در آزمایشگاه انجام شده است. دقت این pH سنج ۰/۰۰۱ می‌باشد. قبل از اندازه‌گیری، دستگاه توسط محلول‌های بافر آمونیاکی با pH حدود ۴ و ۷ کالیبره شد، علاوه بر این هدایت الکتریکی (EC) و کل موادجامد محلول (TDS) نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری گردیدند. سختی کل (TH)، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (%Na) از روی دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده، محاسبه شدند. تعادل یونی برای نمونه‌ها، محاسبه که این مقدار برای تمام نمونه‌ها کمتر از ۵٪ بود. بر این اساس، نتایج آنالیزها قابل قبول و قابل اعتماد برآورد شد. هم‌چنین در این پژوهش، از روش آماری ضریب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نمودارهای پایپر، شولر، ویلکوکس، گیبس و شاخص‌های اشباع برای تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی استفاده شد. لذا برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نقشه‌ها و دیاگرام‌ها از نرم افزارهای Aquachem 4.0 ، Water Stability ، SPSS V.19 ، PHREEQC 2.18 ، Analyzer و GIS 9.3 استفاده گردید.

### نتایج و بحث

#### توصیف شیمیایی نمونه‌ها

جدول (۱) مقادیر آماری پارامترهای کیفی نمونه‌های آب را نشان می‌دهد که غلظت‌های نیترات، سولفات و کلرور در منابع آب این منطقه یافت شده است که بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول این یون‌ها در منابع آب که توسط سازمان بهداشت جهانی تعریف شده است بیش از حد مجاز استاندارد بوده که بیشترین حد مجاز استاندارد برای نیترات تقریباً ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای سولفات ۲۵۰ میلی‌گرم و کلرور نیز ۲۵۰ میلی-

- 1- Electrical conductivity
- 2- Total dissolved solid
- 3 - Total hardness
- 4- Sodium adsorption ratio

جدول ۱- توصیفات آماری پارامترهای کیفی برای ۱۶ نمونه آب‌زیرزمینی

Table 1-- Statistical Descriptions of Quality Parameters for 16 Groundwater Samples

پارامترها	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
Cl <sup>-</sup>	(ppm)	۲۲/۹۹	۱۸۴۹/۴۳	۵۶۲/۶	۵۶۶/۲
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	(ppm)	۳۴	۱۴۸۰	۵۷۴/۴	۴۵۸/۹
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	(ppm)	۰	۴۳/۲	۱۱/۱	۱۵/۳
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(ppm)	۲۲۴/۴۸	۱۸۷۸/۸	۵۱۸/۵	۳۸۴/۴
K <sup>+</sup>	(ppm)	۰/۶	۳۸/۵	۸/۷۵	۹/۷۳
Na <sup>+</sup>	(ppm)	۵۷	۱۹۶۰	۵۵۷/۸	۵۱۵/۱
Mg <sup>+2</sup>	(ppm)	۹/۷۲	۲۳۳/۲۸	۵۶/۱۴	۶۱/۶
Ca <sup>+2</sup>	(ppm)	۱۴/۴	۳۸۴/۹۶	۱۷۴	۱۴۶/۳
pH	-	۶/۳۵	۸/۸	۷/۷۶	۰/۸
EC	(μs/cm)	۵۱۰	۷۶۰۰	۲۹۸۷/۸۱	۲۲۰۲/۳
TDS	(ppm)	۴۶۹/۶	۷۴۶۱/۷۳	۲۴۶۳/۴	۱۹۴۵/۵
SAR	-	۱/۷	۲۲/۰۷	۸/۷۵	۵/۸۲
TH	(mg/l.CaCO <sub>3</sub> )	۱۱۷/۰۵	۱۸۹۴/۳	۶۶۹	۵۴۴/۱
%Na	-	۳۷/۷	۷۷	۶۱	۱۲
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(ppm)	۴/۷۵	۱۹۱	۳۰/۶	۴۷

که سازندهای کربناته در منطقه‌ی مورد مطالعه به وفور دیده نمی‌شوند و از آن جایی که منطقه، منطقه خشک و سرد محسوب می‌شود دارای سازندهای تبخیری بوده، بطوری که از زون تغذیه تا زون تخلیه مقدار یون‌های کلر و سدیم افزایش پیدا می‌کند. بر این اساس زون تغذیه در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل ارتفاعات شرقی و غربی محدوده مطالعاتی می‌باشد.

#### ضریب همبستگی و نسبت‌های یونی

ضریب همبستگی بین پارامترهای هیدروشیمیایی در جدول (۲) نشان داده شده است. سطح اهمیت تمام پارامترها در جدول (۲) کوچکتر از ۵٪ می‌باشد. با توجه به جدول (۲) میزان همبستگی بین سدیم و کلر (۰/۹۴۱)، همبستگی بین سدیم و پتاسیم (۰/۷۹۷) و همبستگی بین پتاسیم و کلر (۰/۶۴۸) بسیار بالا بوده که می‌تواند نشان از یکی بودن منشأ آن‌ها باشد.

استاندارد یون سولفات ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که نصف نمونه‌ها دارای مقادیری کم‌تر و نصف دیگر نمونه‌ها دارای مقادیری بیشتر از این حد می‌باشند. حد استاندارد یون سدیم ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که تنها نمونه‌های شماره ۶، ۱۲، ۱۱ و ۷ دارای مقادیری پایین‌تر از این حد می‌باشند. حد استاندارد یون کلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که تقریباً نصف نمونه‌ها دارای مقادیری کم‌تر و نصف دیگر نمونه‌ها دارای مقادیری بیشتر از این حد می‌باشند. حد استاندارد یون منیزیم ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که تنها نمونه‌ی شماره ۸ دارای مقادیری بالاتر از این حد است. با توجه به وجود سازندهای تبخیری موجود در منطقه و نیز وجود سازندهای حاوی کربنات‌های کلسیم و منیزیم، این لیتولوژی‌ها تأثیر مستقیمی بر روی یون‌های نام برده داشته‌اند و باعث شده‌اند که از کیفیت آب کاسته شود. با توجه به فراوانی یون‌ها می‌توان مشاهده نمود

## جدول ۲- ضریب همبستگی بین پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی

Table 2- Correlation Coefficient between Chemical Parameters of Groundwater Samples

پارامتر	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	TDS	TH	SAR	EC	%Na
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۱														
Cl <sup>-</sup>	۰/۸۶۸	۱													
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۰/۵۳۷	۰/۷	۱												
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	۰/۱۴۲	۰/۲۵۰	۰/۱۴۸	۱											
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۰/۴۵۷	۰/۲۲۷	۰/۰۴۵	۰/۴۳۰	۱										
K <sup>+</sup>	۰/۶۰۳	۰/۶۴۸	۰/۸۸۵	۰/۰۴۸	۰/۳۵۹	۱									
Na <sup>+</sup>	۰/۸۴۷	۰/۹۴۱	۰/۸۱۰	۰/۱۰۹	۰/۳۵۱	۰/۷۹۷	۱								
Mg <sup>2+</sup>	۰/۵۵۹	۰/۵۶۸	۰/۴۳۳	۰/۳۷۴	۰/۱۳	۰/۳۲۳	۰/۴۰۶	۱							
Ca <sup>2+</sup>	۰/۹۲۴	۰/۹۱۰	۰/۵۱۹	۰/۱۷۵	۰/۳۱	۰/۵۳۱	۰/۸۱۸	۰/۵۱۳	۱						
pH	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰/۲۱۳	۰/۶۵۹	۰/۲۵	۰/۹۱	۰/۰۲	۰/۲۱۹	۰/۰۵۳	۱					
TDS	۰/۹۰۸	۰/۹۷۱	۰/۷۹۸	۰/۱۸۱	۰/۳	۰/۷۷۲	۰/۹۷۶	۰/۵۵۹	۰/۸۹۵	۰/۰۴۶	۱				
TH	۰/۸۸۵	۰/۸۸۰	۰/۵۵۳	۰/۲۹۴	۰/۱۴۶	۰/۵۱	۰/۷۴۲	۰/۸۱۷	۰/۹۱۴	۰/۱۳۹	۰/۸۶۵	۱			
SAR	۰/۷۵۷	۰/۸۲۹	۰/۷۰۶	۰/۰۲۵	۰/۵۰۳	۰/۷۲۱	۰/۹۴۵	۰/۱۳۸	۰/۷۱۲	۰/۱۲۹	۰/۸۷۱	۰/۵۴۴	۱		
EC	۰/۹۳۴	۰/۹۸	۰/۶۹۱	۰/۱۹۲	۰/۳۷۲	۰/۶۸۵	۰/۹۵۴	۰/۵۴۵	۰/۹۲۷	۰/۰۱۷	۰/۹۸۳	۰/۸۸۱	۰/۸۶۹	۱	
%Na	۰/۳۴۴	۰/۳۴	۰/۲۲۰	۰/۳۱۰	۰/۴۵۸	۰/۳۰	۰/۵۳۶	۰/۳۱۶	۰/۲۲۹	۰/۴۳۲	۰/۳۹۶	۰/۰۰۵	۰/۷۴۹	۰/۴	۱

سدیم به کلر در منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت هرزندات از ۰/۸ تا ۴/۷ متغیر می‌باشد. با توجه به این مقادیر، مقادیر بزرگتر از یک می‌تواند نشان دهنده منشأ سدیم در منابع آب منطقه-ی مورد مطالعه در اثر عواملی چون آبیاری، فعالیت‌های انسانی و یا هوازدگی سیلیکات‌ها باشد. در سنگ شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه سازندهای تبخیری و سازندهای دارای سیلیکات سدیم و کلسیم که در حال هوازدگی باشند وجود دارد. با مشاهده همبستگی بالای میان سولفات و TDS (۰/۹۰۸) و هم‌چنین همبستگی میان سولفات و کلسیم (۰/۹۲۴) می‌توان به این نتیجه دست یافت که یون سولفات می‌تواند حاصل انحلال ژپس باشد. از آنجایی که کلسیم و منیزیم دارای همبستگی پایینی (۰/۵۱۳) هستند، بنابراین به احتمال زیاد منشأ آن‌ها یکی نمی‌باشد. میزان نسبت  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  برای نمونه‌های برداشت شده بین ۰/۲۸ تا ۱۹/۸ متغیر می‌باشد. این تغییرات با توجه به فراوانی سازندهای دولومیتی و آهکی و هم‌چنین حضور کانی‌های فرومنیزیت سالم و هوازده در سازندهای ماسه سنگی قابل توجیه است.

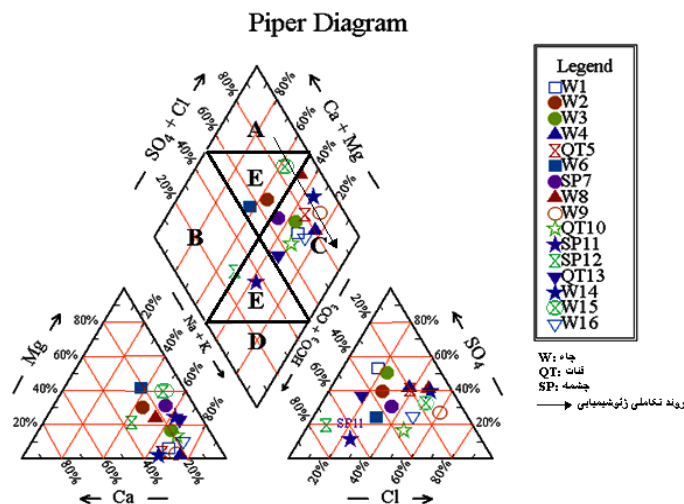
بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی با استفاده از دیاگرام پایپر تیپ‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت هرزندات حاصل از چاه‌های پمپاژ، چشمه‌ها و قنات‌ها در دیاگرام پایپر رسم و در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس این دیاگرام، تیپ‌های متفاوت تشخیص داده شده حاصل از آب‌های

یون کلر یونی است که به خاطر تأثیرپذیری کم از عوامل شیمیایی و بیولوژیکی در یک محیط طبیعی، عامل قابل اعتمادی برای بررسی واکنش بین سنگ و آب به حساب می‌آید (۱۴). به طور معمول یون کلرید از نهشته‌ها و واحدهای تبخیری منشأ می‌گیرد. با توجه به جدول (۲) می‌توان مشاهده نمود که ضریب همبستگی میان یون‌های سدیم و کلر با TDS، بیش از ۰/۹ می‌باشد. در این میان همبستگی بالای میان هر یک از عوامل کلر و سدیم با TDS نشان می‌دهد که منشأ اصلی یون‌های فوق، می‌تواند هالیت محلول شده در آب باشد. بسیاری از کانی‌های سیلیکات‌ه در آبخوان به صورت دانه‌های بسیار ریز (اکثراً به صورت دانه‌های رسی) می‌باشند و این امر باعث می‌گردد که فرآیند هوازدگی این کانی‌ها راحت‌تر صورت گیرد. هوازدگی کانی‌های سیلیکات‌ه نیز به صورت عامل مؤثری بر روی pH عمل نموده و آن را افزایش می‌دهد. به طور مثال برای هوازدگی کانی آل‌بیت ( $NaAlSi_3O_8$ ) پروتون آزاد ( $H^+$ ) مصرف می‌شود که باعث افزایش pH می‌گردد، هم‌چنین طی این واکنش مقدار یون سدیم محلول در آب نیز افزایش می‌یابد. با استفاده از نسبت  $Na^+/Cl^-$  می‌توان به منشأ سدیم محلول پی برد، بدین صورت که اگر مقدار این نسبت در حدود یک باشد منشأ سدیم از انحلال هالیت یا نمک طعام و اگر این نسبت بزرگتر از یک باشد، سدیم محلول در منابع آب، حاصل هوازدگی سیلیکات‌های دارای سدیم است (۱۵). مقدار نسبت



برای آن‌ها مشخص نمود. بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی که در زون C قرار گرفته‌اند، زونی با تیپ آبی از نوع سولفات - کلرات (سدیم و پتاسیم)، ممکن است از انحلال هالیت و یا تعویض یونی یا هردوی آن‌ها منشأ گرفته باشند (۱۷). دیاگرام پایپر نشان می‌دهد که تیپ آب شور در منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات تیپ غالب می‌باشد.

زیرزمینی نمونه برداری شده در نقاط مختلف دشت هرزندات، در ۲ زون تقسیم شده است (زون C و E). آنیون‌های سولفات و کلرید و کاتیون‌های سدیم و پتاسیم در زون C یون‌های غالب می‌باشند. زون E نشان‌دهنده‌ی یک زون اختلاط می‌باشد، یعنی در این زون هیچ آنیون یا کاتیون غالبی وجود ندارد (۱۶). بیشترین نمونه‌های آب زیرزمینی در زون C، قرار گرفته‌اند یعنی زونی که بر خلاف زون E، می‌توان تیپ آب زیرزمینی را



شکل ۴- دیاگرام پایپر برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هرزندات

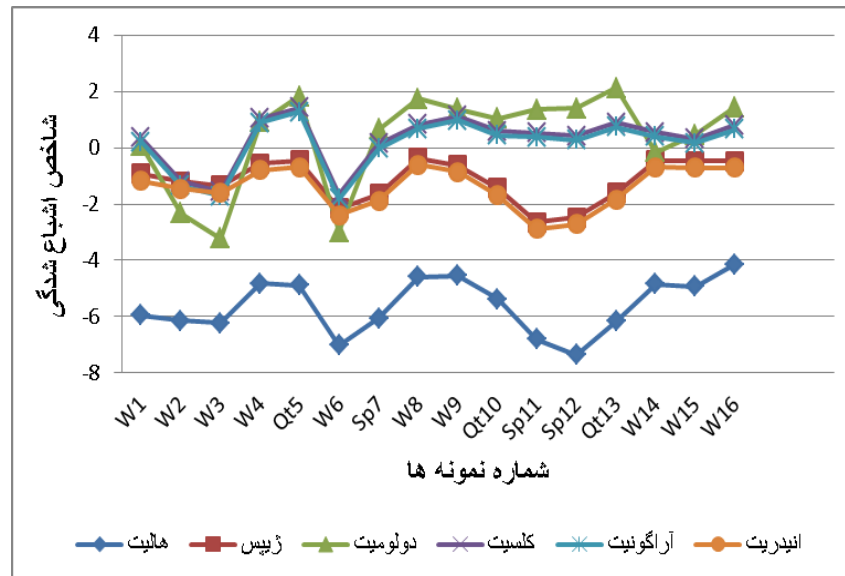
Figure 4- Piper diagram for groundwater samples of Hazandad Plain

با استفاده از نرم افزار PHREEQC 2.18، اقدام به انجام محاسبات گردیده که نتایج حاصل از آن در شکل (۵) آمده است. با توجه به شکل (۵) می‌توان مشاهده نمود که در میان ترکیباتی چون کلسیت، ژپس، دولومیت، آراگونیت، انیدریت و هالیت، مقادیر مربوط به دولومیت، کلسیت و آراگونیت در نمونه‌ها مثبت می‌باشند و این بدین معناست که این ترکیبات در نمونه‌های مذکور به حد اشباع و یا تعادل و فوق اشباع رسیده‌اند و ممکن است پدیده رسوب‌گذاری در محیط رخ بدهد. در صورتی که مقادیر شاخص اشباع ژپس، هالیت و انیدریت نشان می‌دهد که این کانی‌ها نسبت به آب زیرزمینی کل منطقه غیر اشباع هستند و علت این امر محدود بودن کانی‌های سولفات و کلروره در سازندهای منطقه می‌باشد. شاخص اشباع شدگی کانی‌های ژپس، هالیت و انیدریت نمونه‌ها، تغییرات بسیار گسترده‌تری را نشان داده در حالی که دیگر کانی‌ها تغییرات اندکی را در آب از خود بروز می‌دهند.

تغییرات شاخص اشباع شدگی (SI) کانی‌های اصلی در منابع آب

محاسبه شاخص اشباع کانی‌های مختلف به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. با استفاده از روش محاسبه‌ی شاخص اشباع می‌توان به پیش‌بینی واکنش‌های کانی‌شناسی زیرسطحی با آب زیرزمینی، بدون جمع‌آوری نمونه‌های خاک و سنگ و تجزیه و تحلیل‌های پتروگرافی پرداخت (۱۸).

شاخص اشباع شدگی به صورت  $SI = \log \frac{IAP}{Kt}$  بیان می‌شود که IAP میزان فعالیت کانی مورد نظر و Kt ثابت انحلال پذیری پایدار است. اگر آب دقیقاً در سر حد اشباع باشد، مقدار SI برابر صفر خواهد بود. SI مثبت نشان دهنده فوق اشباع بودن کانی در آب بوده و تمایل به نشینی آن کانی را نشان می‌دهد و در مقابل SI منفی نشان دهنده زیر حد اشباع بودن کانی در آب و تمایل آن به انحلال می‌باشد (۱۹). به منظور محاسبه شاخص اشباع شدگی

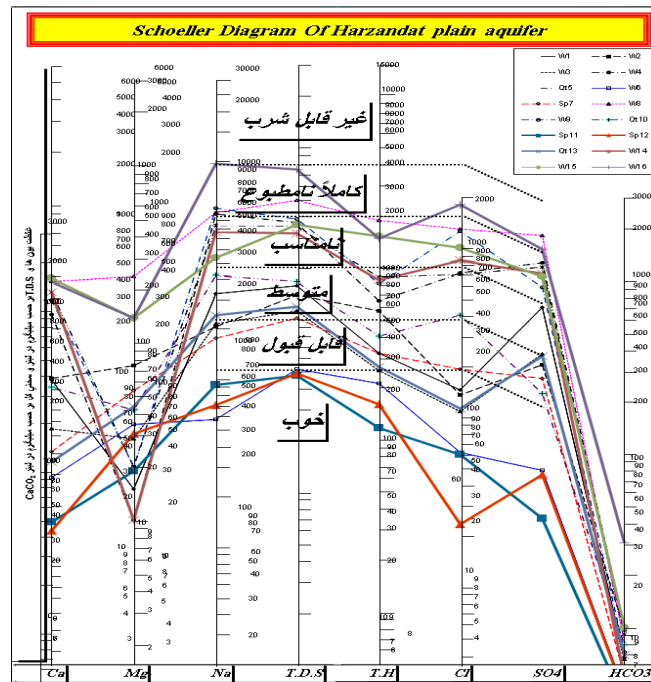


شکل ۵- شاخص اشباع شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب

Figure 5- Index of saturation of the main minerals in water samples

معمولاً بر اساس زیر تقسیم بندی می‌شوند (۲۱): مقادیر ۷۵-۰ نرم، مقادیر ۱۵۰-۷۵ نسبتاً ملایم، ۳۰۰-۱۵۰ سخت و مقادیر بیشتر از ۳۰۰ آب‌های بسیار سخت می‌باشند. بر این اساس میزان سختی نمونه‌های برداشت شده در بازه ۱۱۷/۰۵ تا ۱۸۹۴/۳ قرار می‌گیرند و میانگین آن‌ها برابر با ۶۶۹/۰۱ میلی گرم بر لیتر کلسیم کربنات می‌باشد و با توجه به دسته بندی ارایه شده دو نمونه‌ی ۱۱ و ۱۲ در محدوده نسبتاً ملایم و سه نمونه‌ی ۳، ۶ و ۱۳ در محدوده سخت قرار می‌گیرند و سایر نمونه‌ها در دسته بسیار سخت دسته بندی می‌شوند. برای تعیین مناسب بودن آب شرب، دیاگرام‌های مختلفی نیز ارایه شده است که از این میان دیاگرام شولر در مورد آب‌های شرب در هیدروژئولوژی به شکل وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس و با توجه به شکل ۶، می‌توان مشاهده نمود که تنها سه نمونه‌ی ۱۱، ۱۲ و ۶ دارای کیفیت خوب می‌باشند و بقیه نمونه‌ها کیفیتی از متوسط تا کاملاً نامطبوع دارند. سه نمونه مذکور در ارتفاعات غربی و شمال شرقی دشت هرزندات قرار گرفته‌اند که دو نمونه ۱۱ و ۱۲ به صورت چشمه بوده و نمونه شماره ۶ چاهی با عمق کم در منطقه تغذیه می‌باشد.

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر مصارف شرب مشخص کردن کیفیت آب از آن جهت دارای اهمیت است که بر روی فعالیت‌های انسانی هم‌چون مصارف خوراکی، کشاورزی، صنعتی و حتی توریستی نیز تأثیرگذار خواهد بود. به همین منظور پارامترهای فیزیکی و شیمیایی منابع آب به عنوان مقادیر استاندارد برای مصارف شرب و بهداشتی ارایه گردیده است. فعالیت‌های انسانی نیز می‌توانند بر میزان فراوانی کاتیون-ها و آنیون‌ها تأثیرگذار باشند (۲۰). بر اساس استاندارد ارایه شده توسط سازمان بهداشت جهانی، آب‌هایی با مقدار TDS کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آب با کیفیت بسیار خوب، با مقداری در حدود ۳۰۰-۶۰۰ خوب، ۶۰۰-۹۰۰ قابل قبول، ۹۰۰-۱۲۰۰ ناسالم و با مقادیر بزرگ‌تر از ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر غیر قابل قبول ارزیابی می‌شوند (۱۱). بر این اساس از میان نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از دشت هرزندات سه نمونه در بازه خوب و سه نمونه در بازه ناسالم قرار می‌گیرند و بقیه نمونه‌ها در بازه غیر قابل قبول قرار دارند. سختی آب بیشتر به یون‌های فلزی دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم بستگی دارد که در آب‌های زیرزمینی فراوان‌تر می‌باشند. میزان سختی آب‌ها



شکل ۶- دیاگرام شولر رسم شده برای نمونه‌های آب برداشت شده از دشت هرزندات

Figure 6- Schoeller diagram drawn for water samples taken from the plain of Harzandat

W14 در گروه S<sub>2</sub> قرار می‌گیرند که دارای خطر قلیابیت متوسط بوده و دارای کیفیت مناسب برای کشاورزی می‌باشند. همچنین نمونه‌ی W16 در گروه S<sub>3</sub> قرار گرفته که دارای خطر قلیابیت زیاد بوده و قلیابیت خاک را به حد زیان‌آوری می‌رساند و بقیه‌ی نمونه‌ها در گروه S<sub>1</sub> قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده‌ی وضعیت مناسب آب زیرزمینی از نظر جذب سدیم و کیفیت مناسب آب جهت مصارف کشاورزی می‌باشد.

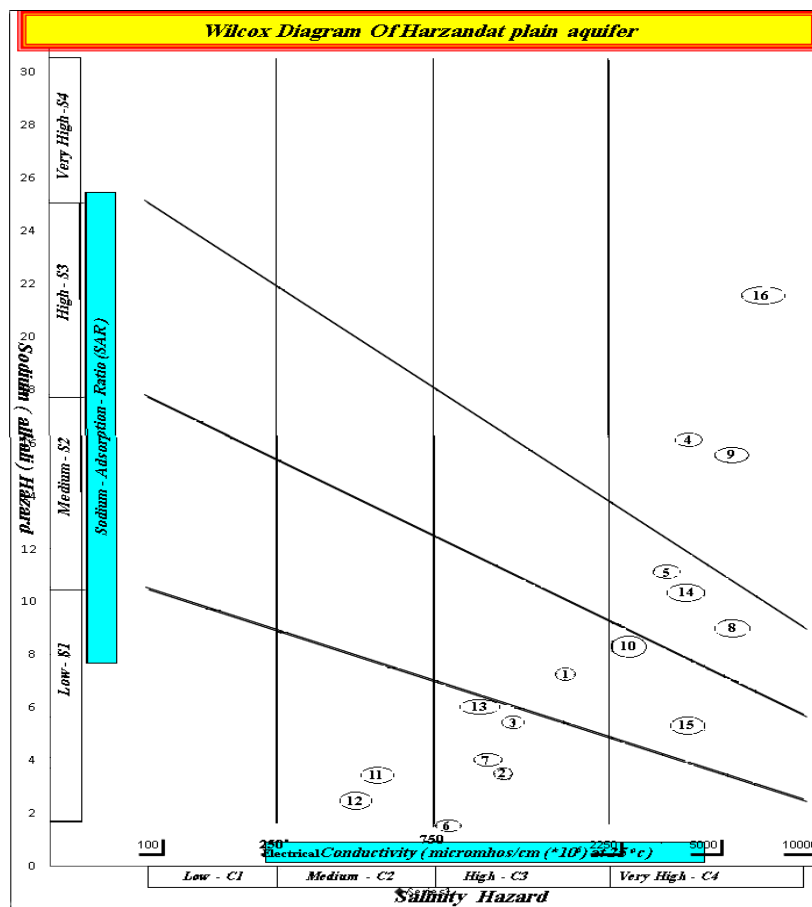
به منظور تعیین کیفیت شیمیایی آب جهت مصارف کشاورزی در منطقه‌ی مورد مطالعه از دیاگرام ویلکوکس استفاده گردید. این دیاگرام به ۱۶ رده تقسیم شده که رده C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> بهترین کیفیت و نمونه‌های رده C<sub>4</sub>S<sub>4</sub> پایین‌ترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارند (۱۶). شکل ۷ دیاگرام ویلکوکس را برای نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۷، نمونه‌های مورد نظر در ۶ رده، C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>، C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>، C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>2</sub>، C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> و C<sub>4</sub>S<sub>4</sub> قرار می‌گیرند. با توجه به توزیع نمونه‌ها در دیاگرام ویلکوکس مشاهده می‌شود که کمتر از ۴۵ درصد نمونه‌ها در محدوده‌های C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> و C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> قرار می‌گیرند که دارای کیفیت خوب تا مجاز می‌باشند. بقیه‌ی نمونه‌ها در کلاس‌های دیگر قرار دارند که از کیفیت پایینی جهت کشاورزی برخوردارند.

### بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی

کیفیت آب برای کشاورزی و آبیاری به میزان یون سدیم و مقدار کل نمک محلول در آب بستگی دارد. میزان جذب آب گیاهان از خاک به وسیله خاصیت اسمزی و فشار اسمزی صورت می‌گیرد و میزان نمک محلول بر روی آن و در نتیجه رشد گیاهان تأثیرگذار خواهد بود (۱۳). هم‌چنین غلظت بالای سدیم بر روی تبادل کاتیونی خاک تأثیر گذاشته و نفوذ پذیری خاک را کم می‌نماید (۲۱). از نسبت جذب سدیم (SAR) به منظور نشان دادن میزان تأثیرگذاری شوری آب برای آبیاری استفاده می‌گردد. به طور معمول برای نشان دادن خطر شوری آب برای آبیاری از SAR بهره گرفته می‌شود (۱۳، ۲۲). نحوه محاسبه SAR با استفاده از رابطه زیر می‌باشد:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

مقادیر غلظت یون‌های فوق به صورت میلی اکی والان بر لیتر در محاسبات باید لحاظ گردد. محدوده‌ی SARهای محاسبه شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه، بین مقادیر ۱/۷ تا ۲۲/۰۷ متغیر می‌باشد و بر این اساس مشخص گردید که چهار نمونه‌ی W4، Qt5، W9 و



شکل ۷- نمودار ویلکوکس ترسیم شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هرزندات

Figure 7- The Wilcox chart plotted for groundwater samples of the Harzandat Plain

### بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف صنعتی

معیار کیفیت آب برای مصارف صنعتی به نوع صنعت، فرآیندها و محصولات بستگی دارد. آب مورد استفاده در دیگ‌های بخار<sup>۱</sup> باید فاقد مواد معلق بوده و TDS پایین داشته باشد. در دیگ‌های بخار فشار پایین می‌توان آب با TDS تا حد ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و سختی  $\text{CaCO}_3$  تا حد ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر را به کار برد، در حالی که در دیگ‌های بخار فشار بالا، TDS باید کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و سختی  $\text{CaCO}_3$  کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر باشد. بنابراین تصفیه‌ی آب قبل از استفاده در دیگ‌های بخار فشار بالا ضروری است (۲۳).

با توجه به پارامترهای موجود از جمله کلیابیت و اسیدیته می‌توان وضعیت آب را از نظر خوردگی یا پوسته گذار بودن بررسی نمود. یکی از پارامترهایی که جهت خوردگی و پوسته-

گذاری آب در نظر گرفته می‌شود ضریب اشباعیت (شاخص لانژلیه) است، زیرا چنانچه کربنات کلسیم در آب اشباع گردد مانع از خوردگی می‌شود. رابطه آن به صورت زیر می‌باشد:

$$I_e = \text{pH}_a - \text{pH}_s \quad (2)$$

$I_e$ : شاخص لانژلیه

$\text{pH}_a$ : pH اندازه گیری شده

$\text{pH}_s$ : pH محاسبه شده در شرایط اشباع از کربنات کلسیم

$$(\text{pH}_s = \text{P}_{\text{ALK}} + \text{P}_{\text{Ca}} + \text{C})$$

اگر شاخص اشباعیت  $I_e$  مثبت باشد، حالت پوسته‌گذار و اگر میزان آن منفی باشد نشان دهنده‌ی حالت خوردگی آب است.

هم‌چنین اگر  $I_e = 0$  باشد، آب حالت خنثی دارد (۲۲). جدول

(۳) وضعیت نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه را

برای مصارف صنعتی نشان می‌دهد.

## جدول ۳- بررسی کیفیت آب جهت مصارف صنعتی

Table 3- Water quality assessment for industrial use

نمونه	قلیابیت بر حسب CaO(mg/L)	Ca (mg/L)	ضریب C	pH <sub>s</sub>	pH	pH-pH <sub>s</sub>	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
W1	۲۰۴/۹۶	۱۰۲/۶	۱۱/۳۱	۶/۹۸	۷/۸۶	۰/۸۷	رسوب‌گذار
W2	۲۹۷/۶۸	۱۰۴/۲۶	۱۱/۳۱	۶/۸۱	۶/۳۵	-۰/۴۶	خورنده
W3	۲۰۰/۰۸	۵۴/۵	۱۱/۲۹	۷/۲۵	۶/۴	-۰/۸۵	خورنده
W4	۳۴۸/۲	۲۴۰/۶	۱۱/۳۲	۶/۳۹	۸/۱	۱/۷	رسوب‌گذار
Qt5	۳۴۵/۴	۳۲۰/۸	۱۱/۳۳	۶/۲۸	۸/۴	۲/۱۱	رسوب‌گذار
W6	۱۳۱/۷۶	۲۸/۸۷	۱۱/۲۸	۷/۶۹	۶/۵	-۱/۱۹	خورنده
Sp7	۱۶۱/۰۴	۴۰/۱	۱۱/۲۹	۷/۴۸	۸	۰/۵۲	رسوب‌گذار
W8	۲۴۸/۸۸	۳۶۸/۹	۱۱/۳۳	۶/۳۶	۷/۸۵	۱/۴۸	رسوب‌گذار
W9	۲۱۹/۶	۲۹۰/۳	۱۱/۳۲	۶/۵۱	۸/۲	۱/۶۸	رسوب‌گذار
Qt10	۲۸۲/۳۸	۹۳	۱۱/۳۰	۶/۸۸	۸	۱/۱۲	رسوب‌گذار
Sp11	۱۴۸/۲۴	۱۶/۰۴	۱۱/۲۸	۷/۹	۸/۸	۰/۸۹	رسوب‌گذار
Sp12	۱۶۷/۷	۱۴/۴	۱۱/۲۸	۷/۸۹	۸/۷۱	۰/۸۱	رسوب‌گذار
Qt13	۲۵۵/۴۸	۳۵/۳	۱۱/۲۸	۷/۳۲	۸/۷۵	۱/۴۲	رسوب‌گذار
W14	۱۵۸/۶	۳۲۰/۸	۱۱/۳۳	۶/۶۲	۷/۷۴	۱/۱۱	رسوب‌گذار
W15	۳۰۵	۳۸۴/۹	۱۱/۳۴	۶/۲۷	۷/۲	۰/۹۳	رسوب‌گذار
W16	۹۳۹/۴	۳۶۸/۹	۱۱/۳۴	۵/۸	۷/۳	۱/۵	رسوب‌گذار

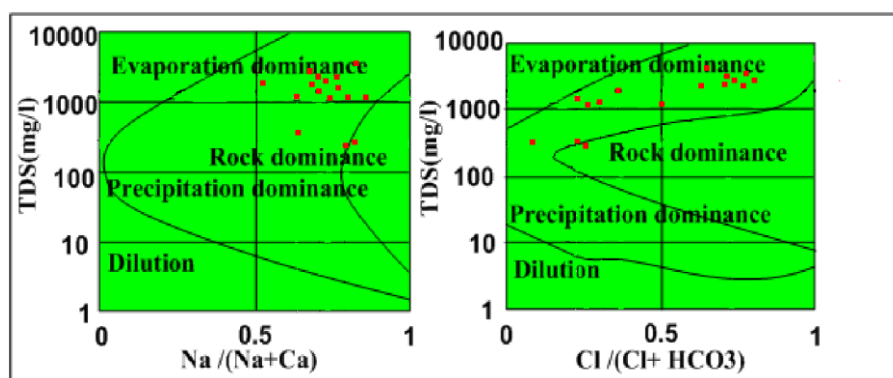
همان‌گونه که در جدول (۳) مشخص شده است، بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی ۱۶ نمونه از منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات و استفاده از نرم افزارهای Water Stability Analyzer و Aquachem 4.0 جهت تعیین کیفیت نمونه آب‌های زیرزمینی دشت هرزندات جهت مصارف صنعتی، همه آب‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر مصارف صنعتی دارای محدودیت بوده، به طوری که اکثر آب‌ها یا دارای خاصیت خوردگی می‌باشند، که موجب از بین رفتن مواد فلزی می‌شوند و یا رسوب‌گذارند که موجب گرفتگی لوله‌های مشبک و... در جدار چاه‌های منطقه می‌شوند (۲۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود، اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای خصوصیت پوسته‌گذاری هستند و برای مصارف صنعتی نامناسب می‌باشند.

گیس مدلی را جهت بررسی مکانیسم‌های کنترل کننده‌ی شیمی آب‌ها و شناخت تکاملی آن‌ها، بر مبنای پارامترهای TDS،  $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$  و  $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$  استفاده از جمع آوری و آنالیز نمونه‌های نقاط مختلف دنیا ارایه نمود. نمودارهای گیبس که نسبت‌های یونی  $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$  و  $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$  را به عنوان تابعی از کل مواد جامد محلول (TDS) نمایش می‌دهند، در بسیاری از موارد جهت تعیین تأثیر فرآیندهای مؤثر مانند تبخیر، بارش و هوازگی سنگ بر شیمی تشکیل دهنده‌های محلول (آب) به طور گسترده استفاده می‌شوند (۲۵). در این مدل در نمونه‌های دارای نسبت  $Na/(Na+Ca)$  بالا و TDS پایین، ریزش‌های جوی بیشترین تأثیر را بر روی شیمی آب‌های منطقه دارند. نسبت  $Na/(Na+Ca)$  پایین و TDS بین  $100-1000\text{ mg/l}$  نشانگر تأثیر فرآیندهای هوازگی سنگ‌ها و در صورت افزایش هر دوی این مقادیر به ترتیب نشانگر تأثیر تبخیر و تأثیر آب-

مکانیسم‌های کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی

دهد، موجب بالا رفتن شوری می‌گردد. فعالیت‌های انسانی (کودهای کشاورزی و جریان‌های آب برگشتی) نیز از طریق افزایش مقادیر یون‌های  $Na^+$  و  $Cl^-$  و نهایتاً افزایش TDS بر روی تبخیر مؤثر می‌باشند. اقلیم‌های خشک و سرد سیستم‌های آب زیرزمینی را تحت تأثیر فرآیند تبخیر قرار می‌دهند، بنابراین در طی فصول پر آبی، آب‌های تغذیه کننده عمدتاً به سبب شستشوی تبخیری‌ها (نمک‌ها) باعث افزایش غلظت یون‌های تشکیل دهنده‌ی آب زیرزمینی می‌شوند (۲۷) و با توجه به این که آب و هوای منطقه طبق طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، دارای اقلیم خشک و سرد است، در نتیجه تیپ غالب در منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات تیپ آب شور خواهد بود.

های شور، به عنوان عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب محسوب می‌شوند (۲۶). شکل (۸) موقعیت نمونه‌ها و محدوده‌ی مکانیسم‌های کنترل کننده‌ی کیفیت آب زیرزمینی دشت هرزندات را بر روی نمودار گیبس نشان می‌دهد. توزیع نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس نشان می‌دهد که هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ و تبخیر بر روی شیمی (کیفیت) آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. تبخیر، شوری را از طریق بالا بردن مقادیر  $Na^+$  و  $Cl^-$  در رابطه با افزایش TDS افزایش می‌دهد. همچنین اقلیم خشک و سرد، شیب آرام، نبود شرایط زهکشی خوب و زمان ماندگاری زیاد آب زیرزمینی در کیفیت آب زیرزمینی نقش مهمی دارند. به طور عمده تبخیر که غلظت یون‌های ایجاد شده را از طریق هوازدگی شیمیایی افزایش می-



شکل ۸- موقعیت نمونه‌ها و محدوده مکانیسم‌های کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی روی نمودار گیبس

Figure 8- The location of samples and the range of groundwater quality control mechanisms on the Gibbs chart

#### نتیجه‌گیری

تأثیر سازنده‌های میوسن و پلیوسن با محتوای کنگلومرای قرمز، ماسه، آهک، مارن و قطعات آتشفشانی و آندزیتی ائوسن بین آن‌ها، بر آب زیرزمینی مشخص می‌شود.

در میان تمام نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات چشمه‌های شماره (۱۱) و (۱۲) واقع در ارتفاعات غربی منطقه مورد مطالعه و نزدیک به منطقه تغذیه و چاه عمیق شماره (۶) که در مناطق آهکی، حفر شده و آب شرب روستای عربان تپه را تأمین می‌کند، دارای مقادیری استاندارد برای تمام پارامترها بوده و از کیفیت مناسبی برخوردار می‌باشند، به طوری که بر اساس نمودار شولر در رده خوب و مناسب قرار می‌گیرند. همچنین این سه نمونه بر طبق نمودار ویلکوکس برای مصارف کشاورزی دارای کیفیتی خوب

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی دشت هرزندات و دیاگرام پایپر می‌توان مشاهده نمود که در دشت هرزندات دو تیپ آبی وجود دارد. این تیپ‌های آب به ترتیب فراوانی عبارتند از: ۱۱ نمونه دارای تیپ آب سولفات - کلراته (سدیم - پتاسیم)، ۱ نمونه (نمونه شماره ۱۲) دارای تیپ آب کربنات - بی‌کربنات (کلسیم - منیزیم) و بقیه نمونه‌ها (۴ نمونه) در زون اختلاط قرار دارند و به طور کلی تیپ آب شور در منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات تیپ غالب می‌باشد.

با محاسبه شاخص اشباع کانی‌های اصلی و تأثیرگذار، میزان انحلال کانی‌های موجود در سازنده‌های زمین‌شناسی دشت هرزندات مشخص گردید. با توجه به بیشتر بودن شاخص اشباع کانی‌های دولومیت، کلسیت و آراگونیت نسبت به دیگر کانی‌ها،

- Neofitou, C., (2013), "Groundwater hydrogeochemistry of Trikala municipality, central Greece", *J Environ Monit Assess* 112, pp. 81–94.
- ۴- کلانتیری. ن، رحیمی. م، ح و چرچی. ع، ۱۳۸۵، "استفاده از دیاگرام‌های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های زویپرچی و خزان"، *مجله زمین شناسی مهندسی*، شماره دوم، صص ۹۵-۱۱۴.
- 5- Hossain, G., Howladar, M. F., Nessa, L., Ahmed, S. S. and Quamruzzaman, Ch., (2010), "Hydrochemistry and Classification of Groundwater Resources of Ishwardi Municipal Area, Pabna District, Bangladesh", *Geotech Geol Eng*, V. 28, pp. 671–679.
- 6- Emberger, L., (1930), "Sur une formule applicable en géographie botanique", *Cah, Herb, Séanc, Acad, Sci*, 191, pp. 389–390.
- ۷- سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۰، "گزارش سالانه بیلان آب دشت هرزندات"، صص ۱۸۶.
- ۸- آقا نباتی. س، ع، ۱۳۸۳، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۵۸۶.
- ۹- آقا زاده. ن، ۱۳۸۳، "بررسی هیدروژئولوژی آبخوان دشت هرزندات و ارائه مدل ریاضی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز، صص ۱۴۰.
- 10- American Public Health Association, (1998), "Standard Method for the Examination of Water and Waste water", 17th end (Washington, DC).
- 11- WHO., (2004), "Guidelines for drinking water quality", (Vol. 1, 2nd ed., p. 130), Geneva: World Health Organization, recommendations.
- 12- Sikdar, P., Sarkar S. and Palchoudhwy S., (2001), "Geochemical evolution of groundwaters in the Quaternary
- تا مجاز ارزیابی شدند و این در حالی است که سایر نمونه‌ها دارای کیفیت مناسبی نبودند، زیرا با توجه به وجود سازندهای تبخیری در منطقه، آب‌هایی که در تماس بیشتری با سازندهای منطقه قرار دارند، حاوی مقادیر بیشتری از مواد محلول و در نتیجه دارای یون‌های سدیم و کلر بیشتری می‌باشند. علاوه بر این می‌توان به این نتیجه رسید که تنها عامل ایجاد یون سدیم در آب‌های منطقه انحلال سازندهای تبخیری نبوده بلکه هوازگی و انحلال مواد حاصل از آن مقدار این یون را در آب‌های منطقه افزایش می‌دهد.
- همچنین طبقه‌بندی آب‌ها از نظر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت نشان داد که بر اساس دیاگرام شولر منابع آب زیرزمینی منطقه از نظر شرب در محدوده متوسط تا کاملاً نامطبوع قرار می‌گیرند و بر اساس دیاگرام ویلکوکس نمونه آب‌ها در کلاس- های  $C_4S_4$ ،  $C_4S_3$ ،  $C_4S_2$ ،  $C_3S_2$ ،  $C_3S_1$ ،  $C_2S_1$  قرار می‌گیرند که بر این اساس این آب‌ها جهت آبیاری زمین‌های زراعی نامناسب هستند. از نظر مصارف صنعتی نیز، برخی از منابع دارای خاصیت رسوب‌گذاری بوده و بخشی نیز خورنده می‌باشند، ولی اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای خصوصیت پوسته‌گذاری هستند و برای مصارف صنعتی نامناسب می‌باشند. نتایج این بررسی حاکی از آن است که اغلب آب‌های کیفیت پایین از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در بخش مرکزی و شمالی دشت هرزندات وجود دارند.
- همچنین نتایج حاصل از پلات کردن نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس نشان می‌دهند که هوازگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ و تبخیر بر روی شیمی (کیفیت) آب زیرزمینی دشت هرزندات مؤثر می‌باشند.

## منابع

- 1- Singhal, B. B. S. and Gupta, R.P., (2010), "Applied Hydrogeology of Fractured Rocks", pp. 205-220.
- 2- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ghanbari Y. and Aghavali N., (2012), "Geochemical and quality assessment of groundwater of Marand Basin, East Azarbaijan Province, northwestern Iran", *J Environmental Earth Sciences* 72, pp. 134-146.
- 3- Skordas, K., Papastergios, G., Tziantziou, L., Neofitou N. and

- Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods", Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, pp. 1007-1033.
- ۲۱- جلالی. ل.، ۱۳۹۰، "بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت خوی"، پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، ص ۱۷۳.
- ۲۲- مقیمی. ه.، ۱۳۸۵، "هیدروژئوشیمی"، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۱۵۵.
- ۲۳- فیجانی. ا.، ۱۳۸۶، "بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمی آبخوان‌های بازالتی-آبرفتی دشت‌های بازرگان و پلدشت"، پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، ص ۱۴۸.
- ۲۴- وفایی. ه.، ۱۳۸۷، "طبقه‌بندی کیفی منابع آبی دشت گل تپه (شمال همدان) برای مصارف مختلف"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- 25- Gibbs, R. J., (1970), "Mechanisms controlling world water chemistry", Science 17, pp.1088-1090.
- 26- صادقی اقدم. ف.، ۱۳۹۱، "بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب ورودی به سد سهند هشتگرد با تأکید بر آنومالی آرسنیک در منطقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ص ۱۳۴.
- 27- Subbarao, C., Subbarao N.V. and Chandu S. N., (1996), "Characterization of groundwater contamination using factor analysis", Environmental Geology, V.28 No.4, pp.175-180.
- aquifer of Calcutta and Howrah, India", J. Asian Earth Sci 19, pp. 579–594.
- 13- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ghanbari Y. and Aghavali N., (2011), "Groundwater geochemistry in the Meshkinshahr Basin of Ardabil Province in Iran", J Environ Earth Sci 65, pp. 871–879.
- 14- Guo, H. and Wang, Y., (2005), "Geochemical characteristics of shallow groundwater in Datong basin, northwestern China", J Geochem Explor 87, pp. 109–120.
- 15- Meyback, M., (1987), "Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads", Am J Sci 287, pp. 401–428.
- 16- Todd D. and Mays, L., (2005), "Ground water hydrology", Wiley, USA. 652 pp.
- 17- Davis, S. N. and Dewiest, R. J. M., (1966), "Hydrogeology", Krieger Publication Co, 476 pp.
- 18- Hounslow, A. W., (1995), "Water Quality Data: Analysis and interpretation", Lewis Publisher. 397 pp.
- 19- Parkhurst, D. and Appelo, C., (1999), "PHREEQC for Windows version 1.4.07, A hydrogeochemical transport model", U.S, Geological Survey Software.
- 20- Leybourne, M. I., (2007), "Aqueous geochemistry in mineral exploration, in Good fellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District