

## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ناحیه آلود (استان کردستان) به کمک پارامترهای هیدروشیمیایی

سیدوحید شاهرخی<sup>\*۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران  
\* نویسنده مسئول مکاتبات: V.shahrokhi@khoiau.ac.ir

### چکیده

هدف از این مطالعه، ارزیابی هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه آلود واقع در شمال باختری ایران به منظور بررسی مطلوب بودن آن برای شرب و آبیاری است. از دیدگاه زمین‌شناسی، سنگ‌های دگرگونی از قبیل گنیس، شیست سبز، سرپیت شیست، اسلیت و متاریولیت در بیشتر بخش‌های ناحیه آلود حضور دارند. به منظور ارزیابی هیدروشیمیایی و بررسی کیفیت آب زیرزمینی، از ۵۰ چاه و چشمه موجود در ناحیه مورد مطالعه نمونه‌برداری و میزان عناصر سنگین و همچنین پارامترهای مختلف آن اندازه‌گیری شد. در منطقه مورد مطالعه رخساره‌های آب زیرزمینی از نوع بی‌کربناته کلسیک بوده و برحسب پارامتر سختی کل، عموماً دارای آب سخت هستند. برحسب EC و نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم و کربنات سدیم باقیمانده (RSC)، مشخص گردید که آب زیرزمینی در کل برای کشاورزی مناسب است. علاوه بر این، غلظت عناصر سنگین محلول در آب زیرزمینی در منطقه آلود دارای حدود مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. استفاده از نسبت‌های یونی، نمودار گیبس، شاخص اشباع و آنالیز چند متغیره نشان داد که منابع سیلیکاته دارای بیشترین تأثیر بر شیمی آب در منطقه آلود هستند. این محاسبات همچنین نشان داد که منبع آب زیرزمینی در ناحیه آلود عموماً از هوازدگی و همچنین از برهمکنش‌های آب-سنگ‌های سیلیکاته منشأ گرفته‌اند. براساس این مطالعات آب‌های زیرزمینی ناحیه آلود برای شرب، آبیاری و کشاورزی مناسب بوده، از نظر شیمیایی از نوع بی‌کربناته کلسیک و سخت هستند. مطالعات آماری نشان‌دهنده نتایج مشابه بین آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، هیدروشیمی، سختی کل، بی‌کربناته، آلود، ایران.

### مقدمه

2005, Todd and Mays 2005, Subramani et al. 2010, Lin et al. 2012, Voutsis et al. 2015, Ramirez et al. 2016, Nakhaei et al. 2016).  
بودن آب زیرزمینی برای یک هدف خاص بستگی به استانداردهای مطلوب دارد. در حقیقت، معیارها و حدود برای آب‌های شرب و آبیاری با یکدیگر متفاوت هستند. پارامترهای مختلف کیفی جهت طبقه‌بندی آب زیرزمینی استفاده می‌شود که شامل رخساره‌های شیمیایی آب، سختی کل، نمودار ویلکاکس، درصد سدیم و کربنات سدیم باقیمانده است (Todd and Mays 2005, Chidambaram et al. 2013, Sefiea et al. 2015, Ziadi et al. 2016).  
از طرف دیگر، تضمین ایمن بودن آب زیرزمینی جهت مصرف، مبنایی برای جلوگیری و مدیریت بیماری‌هایی است که از آب منشأ می‌گیرند. سازمان بهداشت جهانی، استانداردهای جهانی کیفیت آب

آب زیرزمینی یک بخش فعال از چرخه هیدرولوژیکی است که اغلب به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع برای شرب و آبیاری شناخته می‌شوند (Mandel and Shifan 1981, Koundouri and Groom 2010, Voutsis et al. 2016, Shrestha et al. 2015).  
به همین لحاظ آلودگی آب زیرزمینی یک مسئله مهم زیست محیطی بوده و تلاش‌های زیادی جهت شناسایی الگوهای شیمیایی در کیفیت آب زیرزمینی و ارزیابی نتایج احتمالی آن بر سلامتی انسان صورت گرفته است. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی توسط برخی مؤلفه‌های طبیعی از جمله: سنگ‌شناسی آبخوان، برهمکنش با خاک‌ها و سازندهای زمین‌شناسی زون وادوز و همین‌طور سرعت جریان نسبی و زمان ماندگاری آب زیرزمینی کنترل می‌شود (Giblin 2001, Adams et al. 2001, Rademacher et al. 2001, Guo and Wang 2004, Appelo and Postma

Monjerezi et al. 2011, NikolaosVoutsis et al. 2015)

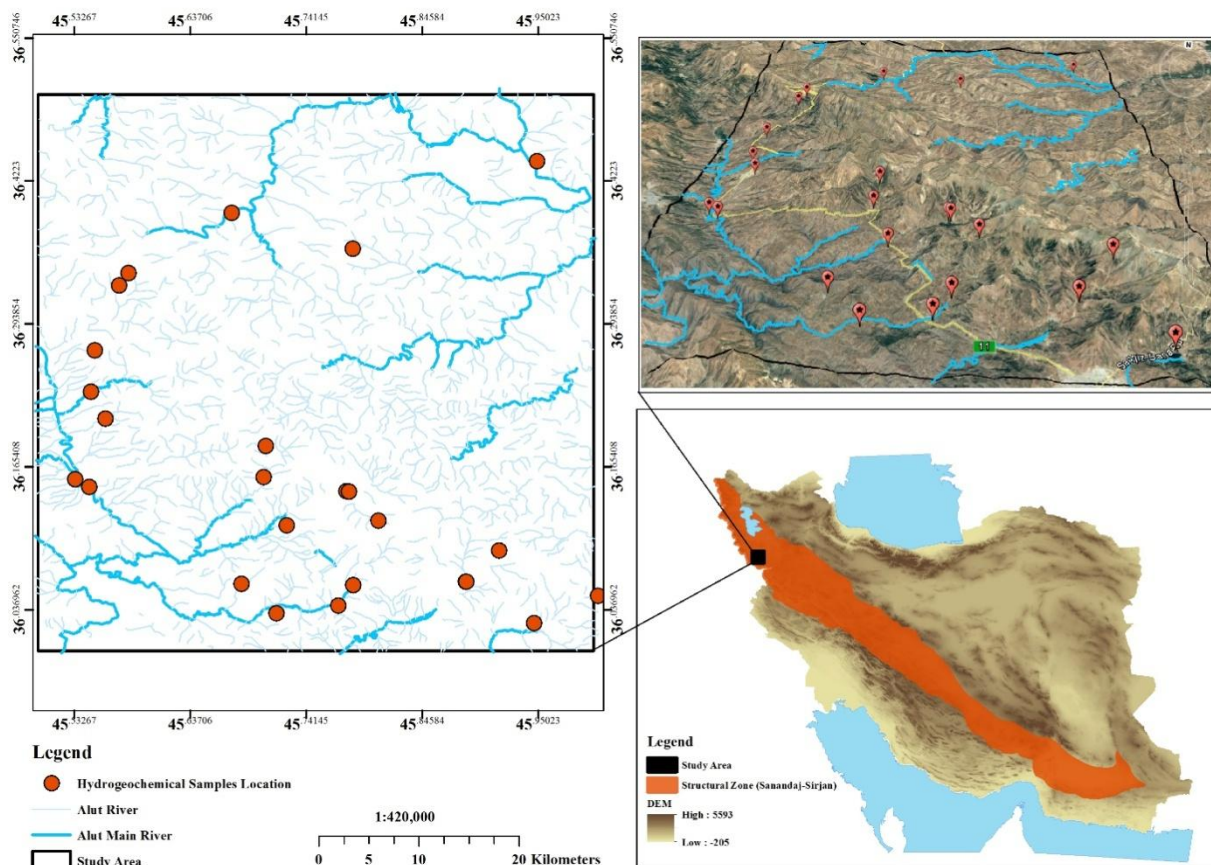
با توجه به مطالب فوق و از آنجا که کیفیت آب زیرزمینی یک عامل زیست محیطی مهم جهت تعیین سلامتی است، در این مقاله سعی شده است که به بررسی خصوصیات اصلی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در ناحیه آلوده پرداخته و فرایندهایی که شیمی آب را کنترل می‌کنند مورد توجه قرار گیرند. تیپ‌های مختلف آب و فرایندهای اصلی طبیعی رخ داده در منطقه را می‌توان از طریق شیمی آب زیرزمینی و براساس یون‌های اصلی و عناصر کمیاب و توسط روش‌های ترکیبی هیدروژئوشیمیایی و آماری ارزیابی کرد.

#### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

ناحیه آلوده در بین طول‌های شرقی  $30^{\circ} 45'$  تا  $30^{\circ} 46'$  و عرض‌های شمالی  $30^{\circ} 36'$  تا  $30^{\circ} 36'$  و در شمال باختر ایران و در شمال استان کردستان قرار دارد (شکل ۱). این ناحیه در تقسیمات واحدهای زمین ساختاری ایران (Stocklin, 1968) در بخش شمال باختری پهنه سنندج-سیرجان واقع شده است. بخش شمالی SSZ میزبان کانه‌زایی‌های متعدد تیپ سولفید توده‌ای ماگمایی غنی از طلا، طلای نوع کارلین، و نهشته‌های طلای کوهزایی و مزوترمال است (شاهرخی، ۱۳۸۸). کانه‌زایی شناخته شده طلا-نقره-(مس) باریکا با تیپ VMS کروکو با سنگ‌شناسی غالب متا آندزیت و سنگ‌های توفی و با سنگ میزبان متاولکانیک‌های کرتاسه (Yarmohammadi et al. 2008, Makovicky et al. 2013, Monecke et al. 2005, Afzal et al. 2013, Heidari et al. 2013, Hosseiniet al. 2015) و در جایگاه ساختمانی برشی انعطاف‌پذیر تا شکننده و از نوع کوارتز رگه‌ای هستند (شاهرخی، ۱۳۸۸). کانی‌زایی با توالی‌های آذرآواری فلسیک کرتاسه در ارتباط بوده و واحدهای کرتاسه، مخصوصاً در مرکز منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین توزیع هستند که در بخش‌های خاوری و باختری منطقه با توده‌های نفوذی همراهی می‌شوند (Zadmehr and Shahrokhi, 2019). سنگ‌های دگرگونی از قبیل گنیس، شیست سبز، سیرسیت شیست، اسلیت و متاریولیت در بیشتر بخش‌های ناحیه آلوده حضور دارند (شکل ۱).

را به صورت حدود مجاز برای عناصر سنگین ارائه کرده است، که به عنوان قوانین و استانداردهای پایه در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Prati et al. 1971, WHO 2011, Yang et al. 2014, Yan et al. 2016). عناصر سنگین به عنوان گروهی از فلزها و شبه فلزها با چگالی اتمی بیشتر از ۴ گرم بر سانتیمتر مکعب از نظر زیست محیطی پایدار، غیرقابل تجزیه، دارای گرایش به انباشتگی در گیاهان و جانوران در تمامی انواع اکوسیستم‌ها بوده که در حدود غیرمجاز خود تأثیرات نامطلوبی بر سلامتی بشر می‌گذارند (Ruilian et al. 2008, Bhattacharya et al. 2014, Smita et al. 2016). عناصر سنگین ممکن است آب زیرزمینی را آلوده و منجر به کاهش کیفیت آن برای شرب و آبیاری شود (Krishna et al. 2009, Muhammad et al. 2011). محاسبه نسبت‌های یونی و استفاده از نمودار گیبس می‌توان منشأ احتمالی آب‌های زیرزمینی برداشت شده از یک منطقه را به دست آورد (Hounslow 1995, Zhu et al. 2011, Kumar et al. 2014, Wang et al. 2014, Yang et al. 2016). ترکیب اولیه آب زیرزمینی ترکیب آب بارش است، که ممکن است آب دریای رقیق شده در نظر گرفته شود. طی برگشت آب از مسیر خود به اقیانوس، ترکیب آن در نتیجه تأثیر هوازدگی سنگ‌ها و تبخیر (Gibbs, 1970) تغییر می‌کند. بنابراین هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها و کانی‌ها تأثیر به‌سزایی بر ترکیب شیمیایی آب دارند. از طرف دیگر، شاخص اشباع مقدار مؤثر در تعیین اشباع تحت اشباع یا فوق اشباع بودن آب نسبت به یک کانی خاص است. (Parkhurst and Appelo 1999, Appelo and Williemsens 1987, Zhu et al. 2011, Rouabhia et al. 2011). در کل، آنالیزهای آماری چند متغیره شامل ضریب همبستگی بین فلزها، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی برای توضیح ماتریس داده‌های بزرگ و پیچیده و فهم بهتر کیفیت آب منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. این آنالیزها منتج به شناخت عوامل و منابع احتمالی کنترل‌کننده شیمی آب شده و یک ابزار ارزشمند برای مدیریت قابل اعتماد منابع آبی فراهم و یک راه‌حل سریع برای مسائل آلودگی آب در اختیار می‌گذارند (Vega et al. 1998, Helena et al. 2000, Wunderlin et al. 2001, Güler et al. 2002, Singh et al. 2004, Cloutier et al. 2008, Muhammad et al. 2011,





شکل ۲- نقشه موقعیت نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی ناحیه آلوت

## نتایج و بحث

### خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه

کلسیک بوده و از نظر هدایت الکتریکی ویژه اکثراً در گروه با شوری کم قرار می‌گیرند (شکل ۳ و جدول ۲). آب زیرزمینی با RSC کمتر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای آبیاری مناسب و مقادیر بیشتر از ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر جهت آبیاری نامناسب است. ( Karanth 2001, Sen 2015).

طبقه‌بندی درجه سختی آب معمولاً بر اساس میزان  $\text{CaCO}_3$  برحسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌شود (Sawyer and McCarty 1967, Todd and Mays 2005, WHO 2011, Şen 2015). بر این اساس نمونه‌های ناحیه مورد مطالعه در محدوده آب‌های سخت تا خیلی سخت قرار می‌گیرند (جدول ۴). از طرف دیگر تأثیر نمک‌ها بر خاک، موجب تغییر در ساختار، نفوذپذیری و هوادهی خاک شده و به صورت غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. بیشتر سیستم‌های طبقه‌بندی، دارای حدودی در هدایت الکتریکی ویژه، SAR، میزان سدیم و RSC هستند. عملاً خاک‌های با شوری بالا دسترس‌پذیری آب را برای گیاه کاهش داده و موجب خشک شدن گیاه می‌شوند. (FAO 1994, Todd and Mays 2005, Şen 2015, Boyd 2015). بر این اساس تمامی نمونه‌های آبی برداشت شده از نظر SAR از نوع S1، دارای آلکالینیته پایین و تیپ شیمیایی بی‌کربناته

جدول ۱- مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای ۲۵ نمونه منتخب از نمونه‌های برداشت شده آبی ناحیه آلوت

NO.	PH	T (°C)	Eh (mV)	TDS (ppm)	As (ppb)	Cd (ppb)	Hg (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppb)	Se (ppb)
۱	۷/۳۲	۱۷	۱۱۹/۲	۲۸۲/۷۵	۱/۶۲۷	۰/۰۴۱	۰/۰۱۷	۱/۰۳۱	۰/۰۷۶	۰/۵۹۵
۲	۷/۳۵	۱۶/۳	۱۱۸/۶	۱۰۹۲۳۰	۰/۳۳۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۷۳۰	۰/۰۳۳	۰/۷۰۲
۳	۷/۲۲	۱۶/۶	۱۲۶/۴	۲۵۲/۲۰	۰/۳۸۴	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۴۱۷	۰/۰۵۶	۱/۱۳۳
۴	۷/۳۹	۱۵/۳	۱۱۵/۵	۴۱۲/۱۰	۰/۳۷۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۶۵۲	۰/۰۶۵	۱/۱۱۵
۵	۷/۴۰	۱۵/۳	۱۱۴/۶	۳۵۵/۵۵	۰/۶۰۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۲۹۰	۰/۰۴۸	۱/۱۶۳
۶	۷/۰۲	۱۵/۲	۱۳۷/۴	۳۹۵/۸۵	۰/۴۵۶	۰/۰۱۹	۰/۰۶۷	۰/۰۴۷	۰/۰۳۸	۱/۴۱۷
۷	۷/۱۹	۱۷/۳	۱۲۸/۳	۳۲۸/۲۵	۰/۱۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۳۴۹	۰/۰۳۵	۰/۵۸۶
۸	۷/۷۷	۱۴/۳	۱۰۰/۲	۳۰۰/۹۵	۰/۵۲۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۱۹۷	۰/۰۵۱	۱/۰۷۲
۹	۷/۳۰	۱۸/۳	۱۲۰/۶	۴۰۸/۲۰	۰/۷۷۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۴۸۵	۰/۱۲۲	۰/۹۶۰
۱۰	۷/۷۵	۱۶/۳	۹۳/۵	۳۰۴/۸۵	۳/۶۰۱	۰/۱۵۹	۰/۰۱۷	۰/۶۹۹	۰/۲۱۴	۱/۰۷۵
۱۱	۸/۰۹	۱۶/۳	۷۳/۸	۲۵۶/۱۰	۰/۴۲۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۵۳۰	۰/۰۹۴	۰/۳۵۷
۱۲	۷/۱۱	۱۷/۹	۱۱۷	۱۰۹/۲۰	۰/۳۷۵	۰/۲۴۰	۰/۱۰۰	۴/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰/۳۷۵
۱۳	۷/۱۶	۱۵	۱۲۲	۳۰۹/۰۰	۰/۳۷۵	۰/۲۰۰	۰/۳۰۰	۲/۵۰۰	۰/۰۸۰	۰/۳۷۵
۱۴	۷/۴۲	۱۴	۱۲۸	۳۹۶/۰۰	۰/۷۰۰	۰/۰۶۰	۰/۲۰۰	۳/۳۰۰	۰/۰۷۰	۰/۳۷۵
۱۵	۷/۱۵	۱۶	۹۵/۲	۴۹۶/۰۰	۰/۳۷۵	۰/۰۳۸	۰/۶۰۰	۴/۶۰۰	۰/۱۲۰	۰/۳۷۵
۱۶	۷/۷۹	۱۶/۲	۴۲/۸	۳۴۰/۰۰	۲/۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۳۰۰	۱/۳۰۰	۰/۱۹۰	۱/۴۰۰
۱۷	۷/۶۹	۱۵	۹۷/۸	۱۵۸/۶۰	۰/۱۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۳۲۵	۰/۴۷۵	۰/۵۶۱
۱۸	۷/۲۳	۱۵/۴	۱۲۷/۲	۱۰۴/۶۵	۰/۰۷۸	۰/۰۸۷	۰/۰۱۷	۱/۴۵۵	۰/۵۷۹	۰/۷۷۰
۱۹	۷/۶۶	۱۴/۶	۹۸/۸	۴۶۶/۷۰	۲/۲۵۸	۰/۰۱۹	۰/۰۳۶	۰/۰۴۷	۰/۰۵۷	۱/۸۰۲
۲۰	۸/۲۲	۱۴/۳	۷۱/۳	۱۵۴/۷۰	۰/۲۳۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۴۷	۰/۰۳۰	۰/۳۵۷
۲۱	۸/۰۸	۱۸/۳	۹۳/۳	۲۲۴/۰۰	۰/۳۷۵	۰/۰۳۸	۰/۵۰۰	۰/۸۰۰	۰/۰۶۰	۰/۳۷۵
۲۲	۷/۹۳	۱۶/۲	۷۰/۲	۳۲۸/۰۰	۰/۳۷۵	۰/۰۳۸	۰/۰۷۵	۱/۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۵۰۰
۲۳	۵/۱۹	۱۷	۲۶/۹	۲۶۰/۰۰	۳/۰۰۰	۰/۰۸۰	۰/۳۰۰	۸/۱۰۰	۰/۳۸۰	۰/۳۷۵
۲۴	۷/۰۱	۱۵/۱	۱۳۷/۴	۳۹۵/۸۴	۰/۴۵۵	۰/۰۱۹	۰/۰۶۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۰	۱/۴۱۸
۲۵	۷/۲۲	۱۵/۵	۹۷/۷	۱۰۴/۶۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۸	۰/۰۱۸	۰/۴۵۶	۰/۵۸۰	۰/۶۶۹

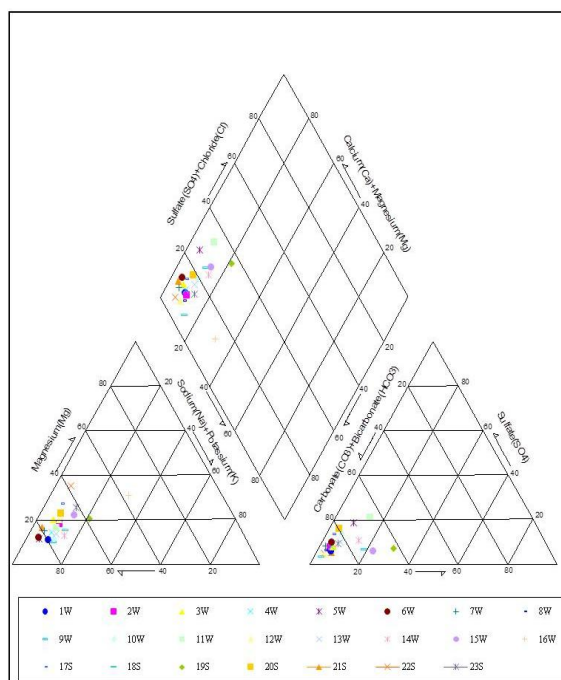
ادامه جدول ۱

NO.	Ca (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	F <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)
۱	۶۰/۹۳	۰/۷۳	۵/۶۰	۶/۹۰	۱۹۸/۷۱	۰/۱۵	۶/۱۲	۲/۹۱	۱۲/۳۸
۲	۵۶/۶۹	۱/۰۴	۹/۰۹	۸/۰۰	۲۲۰/۴۱	۰/۰۹	۵/۳۲	۷/۱۷	۱۷/۱۰
۳	۸۱/۳۱	۰/۷۲	۱۴/۲۳	۷/۴۸	۲۰۴/۰۵	۰/۲۱	۶/۶۳	۱۳/۴۴	۱۶/۱۵
۴	۷۹/۸۶	۴/۱۶	۹/۴۸	۷/۴۶	۲۹۰/۴۵	۰/۱۴	۷/۹۸	۱۱/۵۳	۲۲/۹۹
۵	۸۵/۳۵	۰/۵۷	۹/۵۹	۵/۴۵	۱۷۶/۲۲	۰/۱۶	۱۰/۹۸	۲۷/۱۷	۳۶/۸۸
۶	۷۴/۱۸	۰/۱۱	۷/۰۳	۳/۹۹	۲۲۱/۴۰	۰/۲۰	۵/۰۱	۴۶/۵۹	۲۱/۷۸
۷	۶۷/۴۵	۰/۷۶	۸/۱۲	۴/۴۳	۲۶۵/۴۳	۰/۰۷	۲/۹۴	۱۷/۳۳	۲۰/۸۸
۸	۷۷/۷۷	۱/۳۵	۱۰/۳۴	۱۰/۷۷	۱۸۶/۲۶	۰/۱۳	۲/۹۵	۱۸/۱۷	۱۱/۶۱
۹	۸۲/۱۳	۴/۹۱	۶/۸۱	۱۰/۶۱	۲۸۷/۲۹	۰/۲۰	۴۰/۰۰	۱۴/۸۴	۲۳/۱۵
۱۰	۵۰/۱۸	۰/۵۲	۴/۸۶	۷/۷۸	۱۸۰/۰۰	۰/۱۶	۷/۱۸	۱۴/۶۲	۲۵/۷۴
۱۱	۶۴/۴۴	۰/۶۶	۹/۲۵	۸/۵۳	۱۰۹/۷۲	۰/۱۶	۱۲/۹۶	۱۴/۱۲	۲۹/۱۲
۱۲	۷۶/۸۵	۰/۸۶	۱۳/۷۰	۱۰/۱۵	۳۰۱/۰۰	۰/۱۲	۶/۱۶	۱۰۰/۴۴	۱۳/۸۵
۱۳	۱۵۴/۷۷	۲/۳۸	۱۷/۹۲	۲۳/۳۷	۳۱۵/۰۰	۰/۰۸	۱۵/۱۱	۴۲/۴۴	۳۲/۴۵
۱۴	۱۵۴/۱۵	۱/۴۵	۱۷/۹۲	۳۳/۷۳	۳۴۳/۰۰	۰/۱۷	۳۷/۰۴	۳۳/۵۹	۴۱/۷۶
۱۵	۱۰۹/۱۷	۰/۵۹	۲۴/۱۰	۲۴/۱۶	۳۱۶/۰۰	۰/۴۴	۵۶/۰۰	۴۹/۷۷	۲۴/۴۳
۱۶	۱۴۰/۶۱	۲/۵۲	۷۳/۲۶	۱۳۴/۳۷	۲۷۱/۰۰	۰/۲۶	۱۰/۹۹	۸/۴۱	۲۲/۸۱
۱۷	۳۲/۶۴	۰/۳۴	۸/۴۵	۳/۰۷	۱۲۲/۳۶	۰/۱۳	۱/۶۸	۷/۰۸	۱۶/۵۳
۱۸	۲۶/۵۴	۱/۲۷	۳/۶۹	۴/۹۰	۲۱۳/۴۲	۰/۱۰	۳/۰۴	۹/۰۷	۸/۰۹
۱۹	۷۷/۰۰	۲/۳۸	۱۶/۹۰	۲۹/۹۸	۲۱۳/۴۳	۰/۲۰	۵۹/۲۳	۲۶/۷۳	۲۱/۳۵
۲۰	۳۰/۴۶	۰/۹۹	۶/۴۲	۳/۳۲	۱۲۳/۰۸	۰/۱۵	۲/۷۷	۱/۷۳	۲۰/۲۶
۲۱	۱۴۴/۰۷	۰/۷۰	۱۸/۹۸	۶/۵۸	۲۱۲/۰۰	۰/۱۳	۷/۸۰	۱۲/۳۸	۱۲/۰۳
۲۲	۵۵/۹۵	۲/۹۲	۲۰/۹۲	۴/۷۵	۲۰۴/۰۰	۰/۱۷	۳/۵۰	۱۹/۳۲	۱۰/۴۶
۲۳	۸۳/۷۸	۴/۳۸	۲۱/۶۲	۱۷/۲۴	۲۷۷/۰۰	۰/۲۷	۱۲/۳۹	۲۱/۳۶	۲۶/۰۰
۲۴	۷۴/۲۰	۰/۱۰	۷/۰۳	۴/۰۰	۲۲۱/۳۹	۰/۱۹	۴/۹۹	۴۶/۶۰	۲۱/۸۰
۲۵	۲۶/۵۵	۱/۲۶	۳/۷۰	۴/۸۹	۲۱۳/۴۳	۰/۰۹	۳/۰۵	۹/۰۸	۸/۱۰

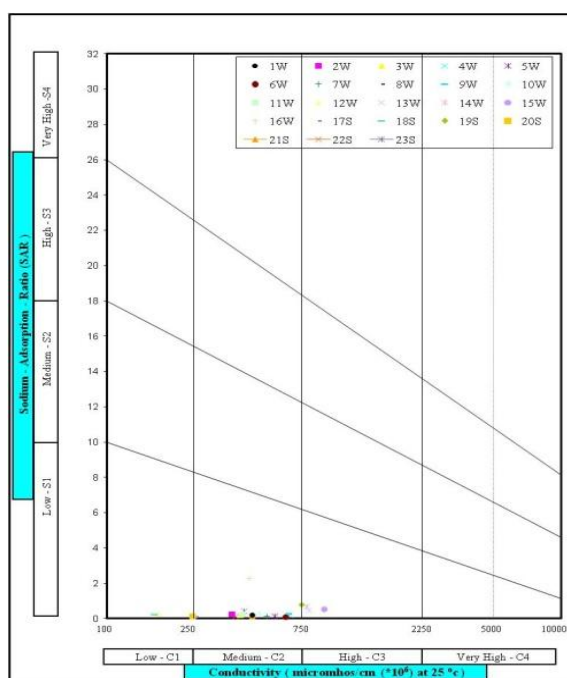
از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی، مؤلفه‌های محلول غیرآلی موجب نامناسب شدن آب زیرزمینی برای شرب می‌شود. (Graham et al. 1996, WHO 2011). بر این اساس تمامی نمونه‌ها نسبت به پارامترهای اندازه‌گیری شده دارای مقادیر کمتر از حدود مجاز سازمان بهداشت جهانی

نمونه‌های برداشت شده از نظر میزان سدیم از نوع عالی و از نظر میزان RSC مناسب و از نوع بی‌کربنات کلسیم بوده و در بیشتر موارد برای آبیاری مناسب هستند (شکل ۴ و جدول‌های ۳ و ۴). از طرف دیگر آب زیرزمینی یک منبع مهم برای آب شرب به حساب می‌آید و غلظت‌های بالاتر

هستند، به جز نمونه ۱۲ که دارای مقدار نترات بالاتر از حد مجاز بود.



شکل ۳- دیاگرام پایپر، نشان‌دهنده ترکیب یون‌های اصلی آب‌های طبیعی



شکل ۴- دیاگرام ویلکاکس نشان‌دهنده ترکیب آب‌های طبیعی

جدول ۲- تیپ شیمیایی آب نمونه‌های برداشت شده

Sample NO.	Anions Concentration	Cations Concentration	Water Chemical Type
1	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
2	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
3	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
4	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
5	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
6	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
7	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
8	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
9	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca > Na+K > Mg	Calcic Bicarbonate
10	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
11	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
12	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
13	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
14	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca > Na+K > Mg	Calcic Bicarbonate
15	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
16	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
17	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
18	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
19	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
20	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
21	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
22	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
23	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
24	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate
25	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Mg > Na+K	Calcic Bicarbonate



جدول ۳- بررسی کیفیت آب نمونه‌های برداشت شده برای کشاورزی

Sample NO.	SAR	EC	Wilcox Classification	Water Quality for Agriculture
1	0.23	435	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
2	0.26	354	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
3	0.2	388	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
4	0.21	634	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
5	0.15	547	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
6	0.12	609	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
7	0.14	505	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
8	0.3	463	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
9	0.3	628	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
10	0.28	469	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
11	0.26	394	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
12	0.28	167.5	C1-S1	Fresh-Absolutely harmless for irrigation
13	0.47	772	C3-S1	Saline-Usable for irrigation
14	0.69	754	C3-S1	Saline-Usable for irrigation
15	0.55	905	C3-S1	Saline-Usable for irrigation
16	2.29	423	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
17	0.12	244	C1-S1	Fresh-Absolutely harmless for irrigation
18	0.24	161	C1-S1	Fresh-Absolutely harmless for irrigation
19	0.81	718	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
20	0.14	238	C1-S1	Fresh-Absolutely harmless for irrigation
21	0.14	435.5	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
22	0.14	368	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
23	0.43	402	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
24	11/0	610	C2-S1	Slightly saline-Suitable for irrigation
25	0.25	160	C1-S1	Fresh-Absolutely harmless for irrigation

جدول ۴- بررسی کیفی نمونه‌های برداشت شده براساس درصد سدیم، RSC و سختی کل

Sample NO.	%Na	Quality Based on Na%	RSC	Quality Based on RSC	Total Hardness	Temporary Hardness	Permanent Hardness	Quality Based on TH
1	8.35	Excellent	-0.24	Suitable	174.60	174.60	0	Hard
2	9.48	Excellent	0.04	Suitable	178.21	178.21	0	Hard
3	6.17	Excellent	-0.88	Suitable	260.43	260.43	0	Hard
4	8.30	Excellent	0.00	Suitable	237.50	237.50	0	Hard
5	4.90	Excellent	-0.00	Suitable	243.54	243.54	0	Hard
6	3.96	Excellent	-0.65	Suitable	213.41	213.41	0	Hard
7	5.00	Excellent	0.32	Suitable	201.05	201.05	0	Hard
8	9.61	Excellent	-1.68	Suitable	235.84	235.84	0	Hard
9	11.20	Excellent	0.05	Suitable	232.32	232.32	0	Hard
10	10.80	Excellent	0.05	Suitable	144.81	144.81	0	Moderately hard
11	8.89	Excellent	-2.18	Suitable	198.16	179.83	18.326	Hard
12	8.54	Excellent	-0.03	Suitable	247.16	247.16	0	Hard
13	10.49	Excellent	-4.03	Suitable	458.48	458.48	0	Very hard
14	14.10	Excellent	-3.54	Suitable	456.93	456.93	0	Very hard
15	13.33	Excellent	-2.25	Suitable	369.95	369.95	0	Very hard
16	31.18	Good	-8.60	Suitable	647.98	444.17	203.811	Very hard
17	5.77	Excellent	-0.32	Suitable	115.67	115.67	0	Moderately hard
18	13.11	Excellent	1.87	Permissible	81.15	81.15	0	Moderately hard
19	20.69	Good	-1.73	Suitable	260.53	260.53	0	Hard
20	7.65	Excellent	-0.03	Suitable	101.97	101.97	0	Moderately hard
21	3.36	Excellent	-5.28	Suitable	436.12	347.47	88.652	Very hard
22	5.87	Excellent	-1.17	Suitable	224.40	224.40	0	Hard
23	12.64	Excellent	-1.42	Suitable	296.60	296.60	0	Hard
24	3.97	Excellent	-0.66	Suitable	213.39	213.39	0	Hard
25	13.12	Excellent	1.88	Permissible	81.16	81.16	0	Moderately hard

## پارامترهای آماری و تحلیل عاملی

همبستگی بالایی دارند؛ گروه دوم شامل SO<sub>4</sub>، F، Cl و TDS که TDS و Cl دارای بالاترین همبستگی هستند؛ گروه سوم شامل Pb، K، HCO<sub>3</sub>، Hg، Ca، Cd، NO<sub>3</sub> که Ca و Hg دارای بالاترین همبستگی بودند (شکل ۵).

شاخص‌های آماری برای عناصر، آنیون و کاتیون‌های مختلف براساس نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه در جدول یک تعیین گردید (جدول ۵). بر این اساس، مطالعات آماری نشان‌دهنده نتایج مشابهی بین آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای است. بعد از انجام تحلیل عاملی، ۵ عامل اصلی شناسایی و معرفی گردید. عامل اول شامل TDS، Cl، F، K؛ عامل دوم شامل Mg، Na، Ca، Hg؛ عامل سوم شامل Cd، NO<sub>3</sub>، HCO<sub>3</sub>؛ عامل چهارم شامل Pb، Sb، pH و عامل پنجم شامل Se و As است (جدول ۶). علاوه بر این، براساس نتایج دندروگرام، سه گروه اصلی دارای همبستگی مثبت و بالا وجود دارد، که گروه اول شامل Se، As، Na، Mg، pH و Mg

جدول ۵ - پارامترهای آماری عناصر در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

	N	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	Statistics Kurtosis	Minimum	25	Median	75	Maximum
pH	۲۳	۷/۴۱	۰/۶۰	۰/۳۶	-۲/۲۶	۸/۵۴	۵/۱۹	۷/۱۹	۷/۳۹	۷/۷۷	۸/۲۲
TDS	۲۳	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۰	-۰/۰۴	-۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۵۰
HCO <sub>3</sub>	۲۳	۲۲۸/۳۱	۶۴/۸۸	۴۲۰۹/۴۲	-۰/۰۹	-۰/۷۰	۱۰۹/۷۲	۱۸۶/۲۶	۲۱۳/۴۳	۲۸۷/۲۹	۳۴۳/۰۰
F	۲۳	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۱	۱/۶۳	۴/۴۹	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۴۴
Cl	۲۳	۱۴/۰۸	۱۶/۸۵	۲۸۳/۹۶	۱/۹۰	۲/۵۴	۱/۶۸	۳/۵۰	۷/۱۸	۱۲/۹۶	۵۹/۲۳
NO <sub>3</sub>	۲۳	۲۳/۹۲	۲۱/۹۲	۴۸۰/۵۱	۲/۱۳	۵/۸۸	۱/۷۳	۹/۰۷	۱۷/۳۳	۳۳/۵۹	۱۰۰/۴۴
SO <sub>4</sub>	۲۳	۲۱/۲۱	۸/۴۸	۷۱/۹۰	۰/۶۷	۰/۳۴	۸/۰۹	۱۳/۸۵	۲۱/۳۵	۲۵/۷۴	۴۱/۷۶
Ca	۲۳	۸۱/۱۴	۳۷/۰۰	۱۳۹/۲۶	۰/۷۷	۰/۰۳	۲۶/۵۴	۵۶/۶۹	۷۷/۰۰	۸۵/۳	۱۵۴/۷۷
K	۲۳	۱/۷۱	۱/۴۲	۲/۰۱	۱/۰۵	-۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۷۰	۱/۰۴	۲/۵۲	۴/۹۱
Mg	۲۳	۱۴/۶۲	۱۴/۱۱	۱۹۹/۰۹	۳/۵۰	۱۴/۴۶	۳/۶۹	۷/۰۳	۹/۴۸	۱۷/۹۲	۷۳/۲۶
Na	۲۳	۱۶/۳۹	۲۷/۱۴	۷۳۶/۴۶	۴/۰۷	۱۷/۹۲	۳/۰۷	۴/۹۰	۷/۷۸	۱۷/۲۴	۱۳۴/۳۷
As	۲۳	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۹۳	۱/۸۳	۲/۴۹	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۷۸	۳/۶۰
Cd	۲۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۰	۲/۱۲	۳/۷۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۴
Hg	۲۳	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۷۹	۲/۴۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۶۰
Pb	۲۳	۱/۵۳	۱/۹۵	۳/۸۱	۲/۱۳	۴/۹۹	۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۷۳	۵۲	۸/۱۰
Sb	۲۳	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۲	۲/۱۳	۳/۸۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۵۸
Se	۲۳	۰/۷۷	۰/۴۲	۰/۱۸	۰/۸۰	-۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۶۰	۱/۱۲	۱/۸۰

که دارای مقدار نیترات بالاتر از حد مجاز بود. براساس تحلیل عاملی، ۵ عامل معرفی گردید، عامل اول شامل TDS، Cl، F، K؛ عامل دوم شامل Mg، Na، Ca، Hg؛ عامل سوم شامل Cd، NO<sub>3</sub>، HCO<sub>3</sub>؛ عامل چهارم شامل Pb، Sb، pH و عامل پنجم شامل Se و As است. براین اساس عامل اول و دوم نشان‌دهنده تأثیر آنیون-کاتیون‌ها در نمونه‌ها، عامل سوم نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های کشاورزی در محدوده مورد مطالعه و عامل چهارم و پنجم مربوط به زمین‌شناسی منطقه آلود می‌باشد. به توجه به تحلیل عاملی و بازدید صحرایی به هنگام برداشت نمونه‌ها، می‌توان گفت تأثیر فعالیت کشاورزی می‌تواند دلیل بالا بودن نیترات در نمونه ۱۲ باشد.

علاوه بر این به کمک نتایج دندروگرام‌های ترسیم شده، سه گروه اصلی با همبستگی مثبت وجود دارد، گروه اول شامل Se، As، Na، Mg، که pH و Mg همبستگی

#### مکانیسم‌های کنترل‌کننده شیمی آب

بر طبق نمودار گیبس (شکل ۶)، نسبت یونی (شکل ۷) و شاخص‌های اشباع محاسبه شده (جدول ۷ و شکل ۸)، نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه عموماً از هوازدگی و بر همکنش‌های آب-سنگ‌های سیلیکاته منشأ گرفته‌اند. همچنین در تمامی نمونه‌ها کل مواد جامد محلول کمتر از ۵۰۰ ppm بوده است.

#### نتیجه‌گیری

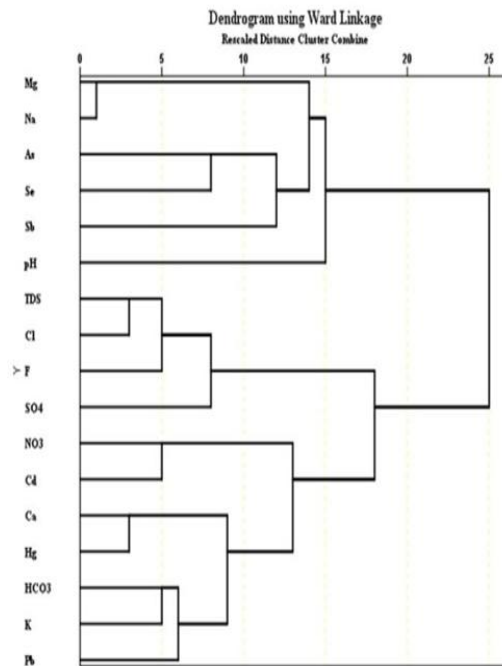
براساس مطالعات انجام شده جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه آلود، تمامی نمونه‌ها دارای تیپ شیمیایی بی‌کربناته کلسیک؛ بیشتر نمونه‌ها سخت و در بیشتر موارد برای آبیاری مناسب هستند. تمامی نمونه‌ها نسبت به پارامترهای اندازه‌گیری شده دارای مقادیر کمتر از حدود مجاز سازمان بهداشت جهانی هستند، بجز نمونه ۱۲

نتایج تیپ شیمیایی، طبقه‌بندی کشاورزی آب، سختی آب و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهند که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر برای آب شرب و کشاورزی مناسب است. ترسیم نمودار گیبس و بررسی نسبت‌های معرف، نشان‌دهنده منشأ سیلیکاته برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه است. براساس پردازش آماری انجام شده، نمودار گیبس، نسبت‌های یونی، شاخص‌های اشباع و وضعیت زمین‌شناسی، منبع آب زیرزمینی در ناحیه آلوده عموماً از هوازدگی و از برهمکنش‌های آب-سنگ‌های سیلیکاته منشأ گرفته‌اند.

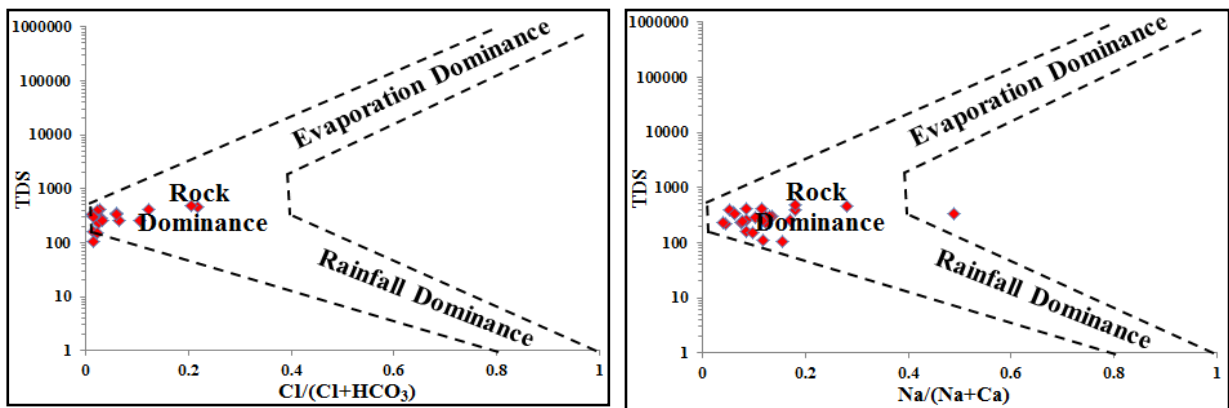
بالایی دارند؛ گروه دوم شامل SO<sub>4</sub>، F، Cl و TDS که دارای بالاترین همبستگی هستند؛ گروه سوم شامل Pb، K، HCO<sub>3</sub>، Hg، Ca، Cd، NO<sub>3</sub> که Ca و Hg دارای بالاترین همبستگی بودند. مطالعات آماری انجام شده نشان‌دهنده نتایج مشابه بین آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای است. در تمامی نمونه‌ها کل مواد جامد محلول کمتر از ۵۰۰ ppm بوده است. نقشه‌های ضریب اشباعیت ترسیم شده برای کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت نشان‌دهنده تحت اشباع بودن تمامی نمونه‌ها برای ژپس و هالیت و بیشتر نمونه‌ها برای کلسیت و دولومیت می‌باشد.

جدول ۶- نتایج حاصل از آنالیزهای فاکتوری نمونه‌ها

	Rotated Component Matrix				
	Component				
	۱	۲	۳	۴	۵
TDS	۰/۸۸۸	-۰/۱۲۵	۰/۰۳۹	-۰/۲۳۲	۰/۲۵۵
Cl	۰/۸۳۰	۰/۱۰۰	۰/۱۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۳۳
F	۰/۶۹۰	-۰/۲۳۸	-۰/۰۷۱	-۰/۳۹۵	۰/۰۹۸
K	۰/۶۳۱	۰/۱۷۱	۰/۰۰۱	۰/۳۸۲	-۰/۱۲۰
SO <sub>4</sub>	۰/۴۸۷	-۰/۱۱۳	-۰/۳۶۶	-۰/۱۱۷	۰/۱۴۸
Mg	۰/۱۰۸	۰/۹۵۵	-۰/۰۰۳	-۰/۰۷۹	۰/۰۸۰
Na	۰/۱۲۹	۰/۹۱۳	-۰/۰۲۵	-۰/۰۳۱	۰/۲۷۳
Ca	۰/۳۶۳	۰/۶۶۵	۰/۴۳۵	-۰/۲۳۴	-۰/۲۰۳
Hg	۰/۳۳۳	۰/۶۰۳	۰/۲۰۰	-۰/۱۹۹	-۰/۵۰۴
Cd	-۰/۳۴۳	۰/۰۷۶	۰/۸۳۵	۰/۲۶۸	۰/۰۱۳
NO <sub>3</sub>	۰/۲۱۵	-۰/۰۸۲	۰/۷۹۷	-۰/۰۰۲	-۰/۱۱۴
HCO <sub>3</sub>	۰/۴۸۶	۰/۳۱۱	۰/۵۹۶	-۰/۱۴۲	-۰/۱۹۸
Pb	۰/۱۹۵	۰/۱۷۶	۰/۴۹۳	۰/۷۵۸	-۰/۱۹۶
Sb	-۰/۲۸۱	۰/۰۱۹	-۰/۱۹۷	۰/۷۵۳	۰/۰۱۴
pH	-۰/۲۸۷	۰/۱۲۲	-۰/۳۲۶	-۰/۷۱۷	۰/۰۰۷
Se	۰/۲۲۷	۰/۰۶۹	-۰/۲۰۷	-۰/۲۱۷	۰/۸۰۹
As	۰/۱۲۴	۰/۲۲۷	۰/۱۰۸	-۰/۴۷۵	۰/۶۶۶



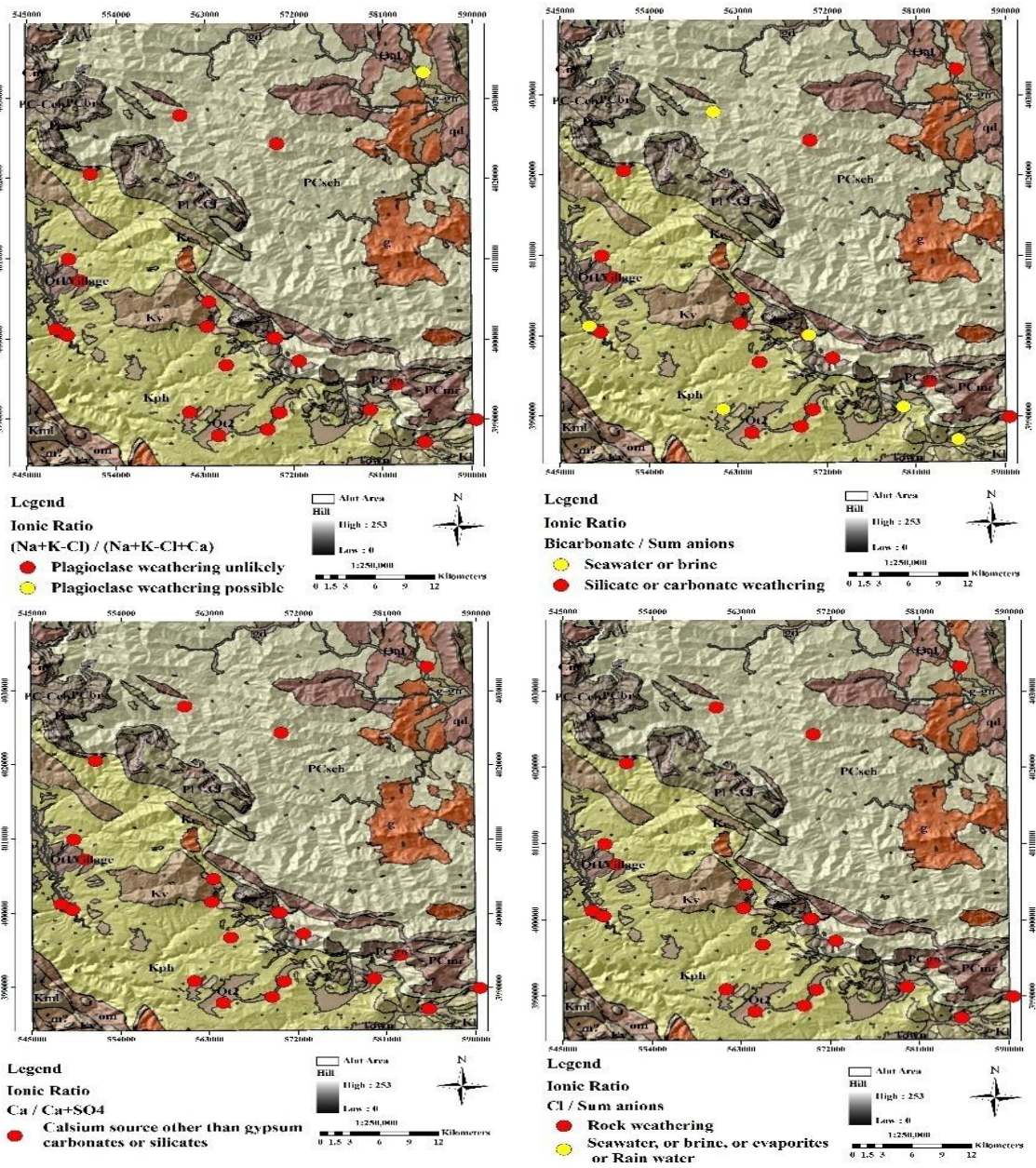
شکل ۵- نتایج حاصل از آنالیزهای خوشه‌ای در نمونه‌ها



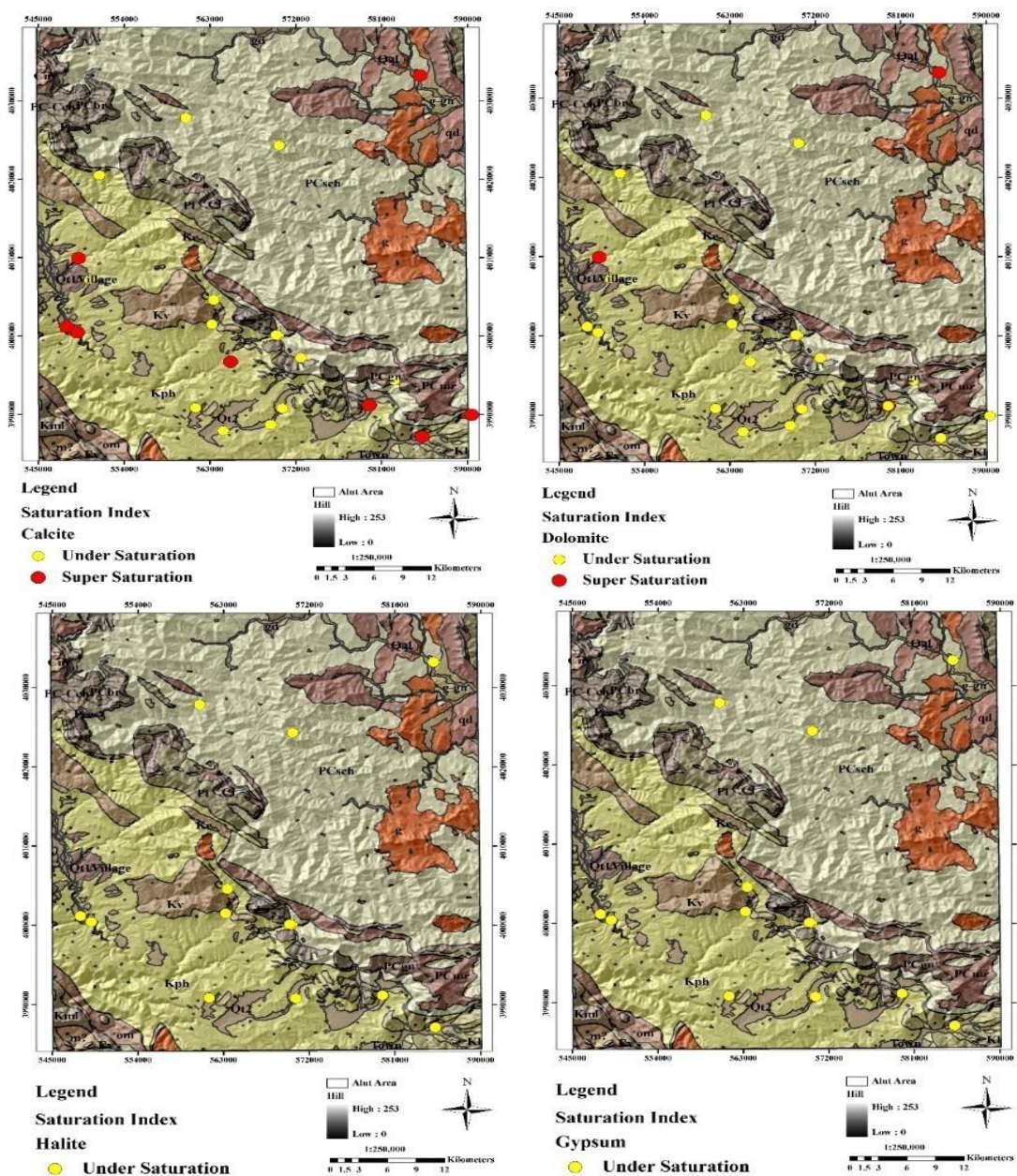
شکل ۶- نمودار گیبس بر مبنای TDS در مقابل نرخ وزنی  $Cl/(Cl+HCO_3)$  و  $Na/(Na+Ca)$

جدول ۷- شاخص اشباع (SI) برخی فازهای کانایی برای آب زیرزمینی ناحیه آلود

No.	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
Calcite	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۰۱	-۰/۳۳	-۰/۱	۰/۲	-۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۲۸	-۰/۵۳	-۰/۰۲
Dolomite	-۱/۱۳	-۰/۸	-۰/۸۷	-۰/۸۸	-۰/۸۶	-۱/۴۸	-۰/۸۸	-۰/۲۸	-۱/۰۵	-۰/۷۷	-۰/۰۷	-۱/۵۹	-۰/۷
Gypsum	-۲/۶۴	۲/۵۷	-۲/۴۹	-۲/۳۸	-۲/۰۶	-۲/۳۱	-۲/۳۸	-۲/۶۷	-۲/۴۳	-۲/۴۷	-۲/۲۴	-۲/۷۳	-۲/۱۲
Halite	-۸/۹۴	-۸/۹۵	-۸/۸۹	-۸/۸	-۸/۸	-۹/۲۷	-۹/۴۶	-۹/۰۸	-۷/۹۷	-۸/۸۳	-۸/۵۲	-۸/۸۱	-۸/۰۷
No.	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	
Calcite	۰/۲۵	-۰/۳۵	۰/۲۹	-۰/۲۴	-۰/۶۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۷۷	-۰/۳	-۲/۱	-۰/۳۳	-۰/۶۷	
Dolomite	-۰/۲۵	-۱/۱۵	۰/۵۱	-۰/۸۷	-۲/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۹۱	-۰/۸۵	-۴/۵۵	-۱/۴۹	-۲/۰۱	
Gypsum	-۲	-۲/۵	-۲/۴۵	-۲/۶۹	-۳/۱۳	-۲/۴۲	-۲/۶۵	-۲/۶۲	-۲/۸۶	-۲/۳۸	-۲/۲۹	-۳/۱۲	
Halite	-۷/۵۱	-۷/۵	-۷/۴۷	-۹/۸۴	-۹/۳۸	-۳/۴	-۹/۵۹	-۸/۹۲	-۹/۳۵	-۸/۲۷	-۹/۲۸	-۹/۴۰	



شکل ۷- نقشه نسبت‌های یونی محاسبه شده برای آب‌های زیرزمینی ناحیه آلوت



شکل ۸- نقشه شاخص‌های اشباع (SI) برخی فازهای کانایی برای آب‌های زیرزمینی ناحیه آوت

## منابع

- Heidari, M., Ghaderi, M., Afzal, P., (2013), "Delineating mineralized phases based on lithochemical data using multifractal model in Touzlar epithermal Au-Ag (Cu) deposit, NW Iran", *Applied Geochemistry* 31, pp119-132.
- Hosseini, S.A., Afzal, P., Sadeghi, B., Shahrokhi, S.V., Farhadinejad, T., (2015), "Prospection of Au mineralization based on stream sediments and lithochemical data using multifractal modeling in Alut 1:100,000 sheet, NW Iran", *Arabian Journal of Geosciences* 8, pp3867-3879.
- Koundouri, P., Groom, B., (2010), "Groundwater Management: An Overview of Hydrogeology, Economic Values and Principles of Management", *Groundwater Vol: III, Encyclopedia of Life Support Systems*.
- Krishna, A.K., Satyanarayanan, M., Govil, P.K., (2009), "Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh India", *Journal of Hazardous Materials* 167, pp366-373.
- Kumar, P.J.S., Elango, L., James, E.J., (2014), "Assessment of hydrochemistry and groundwater quality in the coastal area of south Chennai, India", *Arabian Journal of Geosciences* 7 (7), pp1-13.
- Lin, C.Y., Abdullah, M.H., Praveena, S.M., Yahaya, A.H.B., Musta, B., (2011), "Delineation of temporal variability and governing factors influencing the spatial variability of shallow groundwater chemistry in a tropical sedimentary island", *Journal of Hydrology* 432-433, pp26-42.
- Makovicky, E., Topa, D., Tajeddin, H., Putz, H., Zagler, G., (2013), "Ferdowsite: a new mineral from the Barika ore deposit, Iran", *The Canadian Mineralogist* 51(5), pp727-734.
- Mandel, S., Shiftan, Z.L., (1981), "Groundwater Resources: Investigation and Development, Academic Press, New York", 269 pp.
- Monecke, T., Monecke, J., Herzig, P.M., Gemmell, J.B., Monch, W., (2005), "Truncated fractal frequency distribution of element abundance data: a dynamic model for the metasomatic enrichment of base and precious metals", *Earth Planet Sci Lett* 232, pp363-378.
- شاهرخی، س.و.، خاکزاد، ا.، رسا، ا.، "بررسی کاننه‌زائی طلا در محدوده قلقله، جنوب غرب سقز"، *مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی*، سال ۱۹، شماره ۷۳، ص ۴۵-۶۲.
- Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G., Harris, C., (2001), "Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa", *Journal of Hydrology* 241, pp91-103.
- Afzal, P., Dadashzadeh Ahari, H., Rashidnejad Omran, N., Aliyari, F., (2013), "Delineation of gold mineralized zones using concentration-volume fractal model in Qolqoleh gold deposit, NW Iran", *Ore Geology Reviews* 55, pp125-133.
- Appelo, C.A.J., Postma, D., (2005), "Geochemistry, Groundwater and Pollution", Second edition. A.A. Balkema, Rotterdam, 536p.
- Appelo, C.A.J., Willimsen, A., (1987), "Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, a combined geochemical mixing cell model", *Journal of Hydrology* 194, pp313-330.
- Bhattacharya, B.D., Hwang, J.S., Tseng, L., Sarkar, S.K., Rakshit, D., Mitra, S., (2014), "Bioaccumulation of trace elements in dominant mesozooplankton group inhabiting the coastal regions of Indian Sundarban mangrove wetland", *Marine Pollution Bulletin* 87, pp345-351.
- Chidambaram, S., Anandhan, P., Prasanna, M.V., Srinivasamoorthy, K., Vasanthavignar, M., (2013), "Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes controlling groundwater in and around Neyveli Lignite Mines, Tamil Nadu, South India", *Arabian Journal of Geoscience* 6, pp3451-3467.
- Gibbs, R.J., (1970), "Mechanisms controlling world water chemistry", *Science* 170, pp1088-1090.
- Giblin, A., (2001), "Geochemical Pathfinders to Concealed Ore Deposits", *CSIRO Exploration and Mining*, 70 p.
- Guo, H.M., Wang, Y.X., (2004), "Hydrogeochemical processes in shallow quaternary aquifers from the northern part of the Datong Basin, China", *Applied Geochemistry* 19, pp19-27.



- elantan Basin, Kelantan, Malaysia”, *Procedia Environmental Sciences* 30, pp151–156.
- Shrestha, S., Viet Bachb, T., Prasad Pandeya, V., (2016), “Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios”, *Environmental Science & Policy* 61, pp1-13.
- Smita, A., Chary, M., Panigrahi, S., Satpathy, K.K., Prabhu, R.K., Panigrahy, R.C., (2016), “Health risk assessment and seasonal distribution of dissolved trace metals in surface waters of Kalpakkam, southwest coast of Bay of Bengal”, *Regional Studies in Marine Science* 6, pp96–108.
- Stocklin, j., (1968), “Structural history and tectonic of Iran, a review”, *American association of Petroleum Geologist Bulletin* 52(7), pp1229-1258.
- Subramani, T., Rajmohan, N., Elango, L., (2010), “Groundwater geochemistry an identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India”, *Environ. Monit. Assess* 162, pp123-137.
- Todd, D.K., Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, 636 p.
- Voutsis, N., Kelepertzis, E., Tziritis, E., Kelepertzis, A., (2015), “Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods”, *Journal of Geochemical Exploration* 159, pp 79-92.
- WHO, (2011), “Guidelines for Drinking-water Quality, fourth ed. World Health Organization”, Switzerland pp469-475.
- Yan, W., Li, J., Bai, X., (2016), “Comprehensive assessment and visualized monitoring of urban drinking water quality”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 155, pp26–35.
- Yang, Q., Ding, Y., De Vries, B., Han, Q., Ma, H., (2014), “Assessing regional sustainability using a model of coordinated development index: a case study of Mainland China”, *Sustainability* 6, pp12-28.
- Yang, Q., Wang, L., Ma, H., Yu, K., Martín, J.D., (2016), “Hydrochemical characterization and pollution sources identification of groundwater in Salawusu aquifer system of Ordos Basin, China”, *Environmental Pollution* 216, pp340-349.
- Muhammad, S., Tahir Shah, M., Khan, S., (2011), “Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinkingwater of Kohistan region, northern Pakistan”, *Microchemical Journal* 98, pp334–343.
- Nakhaei, M., Altafi Dadgar, M., Amiri, V., (2016), “Geochemical processes analysis and evaluation of groundwater quality in Hamadan Province, Western Iran”, *Arabian Journal of Geosciences* 9(5), pp384-400.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., (1999), “User’s Guide to PHREEQC (Version 2) – Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations”, *US Geol. Surv. Water Resource Investigation* 99, pp42-59.
- Prati, L., Pavanello, R., Pesarin, F., (1971), “Assessment of surface water quality by a single index of pollution”, *Water Resource* 5(9), pp741–751.
- Rademacher, L.K., Clark, J.F., Hudson, G.B., Erman, D.C., Erman, N.A., (2001), “Chemical evolution of shallow groundwater as recorded by springs, Sagehen basin, Nevada County, California”, *Chemical Geology* 179, pp37-51.
- Ramírez, M.J., Ledesma-Ruiz, R., Mahlkecht, J., Ramos-Leal, J.A., (2016), “Rock-water interactions and pollution processes in the volcanic aquifer system of Guadalajara, Mexico, using inverse geochemical modeling”, *Applied Geochemistry* 68, pp79-94.
- Rouabhia, A., Baali, F., Fehdi, C., Abderrahmane, B., Djamel, B., (2011), “Hydrogeochemistry of groundwaters in a semi-arid region, El Ma El Abiod aquifer, Eastern Algeria”, *Arabian Journal of Geosciences* 4, pp973–982.
- Ruilian, Y., Xing, Y., Yuanhui, Z., Gongren, H., Xianglin, T., (2008), “Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay”, *Chinaian Journal of Environment Science* 20, pp664–669.
- Sefiea, A., Arisb, A.Z., Shamsuddina, M.K.N., Tawniea, I., Suratmana, S., Idrisa, A.N., Saadudina, S.B., Kamaruzaman, W., Ahmad, W., (2015), “Hydrogeochemistry of groundwater from different aquifer in Lower

-Yarmohammadi, A., Rastad, E., Mohajjel, M., Shamsa, M.J., (2008), "Barika gold mineralization, a gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit in Iran", Journal of Science University of Tehran 34(1), pp47-61.

-Zadmehr, F., Shahrokhi, S.V., (2019), "Separation of geochemical anomalies by Concentration-Area and Concentration-Number methods In the Saez 1:100,000 Sheet, Kurdistan", Iranian Journal of Earth Science 11(3), pp196-204

-Zaidi, F., Mogren, S., Mukhopadhyay, M., Ibrahim, E., (2016), "Evaluation of Groundwater chemistry and its impact on drinking and irrigation water quality in the eastern part of the Central Arabian graben and trough system, Saudi Arabia", Journal of African Earth Sciences 120, pp208-219.

-Zhu, B., Yang, X., Rioual, P., Qin, X., Liu, Z., Xiong, H., Yu, J., (2011), "Hydrogeochemistry of three watersheds (the Erlqis, Zhungarer and Yili) in northern Xinjiang, NW China", Applied Geochemistry 26, pp1535-1548.

# Environmental geology and assess groundwater quality in Alut area (Kurdistan Province) with help of hydrochemical parameters

SeyedVahid Shahrokhi<sup>1\*</sup>

1- Department of Geology, Faculty of Science, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

\* Corresponding Author: V.shahrokhi@khoiau.ac.ir

## Abstract

The main aim of this paper is the hydrochemical evaluation of groundwater and Its impact on the quality of groundwater resources in order to check its suitability for drinking and irrigation In Alut area located in northwestern Iran. Geologically, metamorphism rocks are present in most parts of the Alut area for example Gneiss, Green schist, sericite schist, slate and metaryholite. In order to evaluation of groundwater quality and hydrochemical assesment, samples were taken from 50 wells and springs in the study area and the amount of heavy metals as well as its various parameters were measured. In the studied area, the groundwater facies belong to the calcic bicarbonate type and generally hard water due to the total hardness. In terms of EC and sodium adsorption ratio (SAR), Na% and residual sodium carbonate (RSC), the groundwater is totally suitable for irrigation. Moreover, dissolved heavy elements concentrations in the groundwater of the Alut area have the safe limits which recommended by the WHO. Based on the ionic ratios, Gibbs diagram, saturation index and multivariate analysis indicate that silicate sources had a relatively large impact on water chemistry in the Alut area. These calculations also showed that the groundwater source in the Alut area generally originated from weathering and interactions between silicate water and rock. Based on these studies, ground waters in Alut area are suitable for drinking, irrigation and agriculture and are chemically of a calcium bicarbonate type, and hard. Statistical studies show similar results between factor analysis and cluster analysis.

**Keywords:** Groundwater, Hydrochemistry, Total hardness, bicarbonate, Alut, Iran.