

Evaluation of Factors Affecting the Chemical Quality of Groundwater of Kahriz Plain Using Statistical and Hydrochemical Methods

Asghar Asghari Moghaddam¹, Yousef Mohebbi^{*2}

Abstract

Groundwater is the only source of agricultural and drinking water in the Kahriz Plain. Therefore, its qualitative assessment has a special importance. In order to evaluate hydrogeochemical variations, 18 water samples were collected and chemically analyzed. For assessing factors influencing the chemical quality of groundwater combination of statistical methods, factor analysis and hydrochemical methods and composite diagrams were used. Based on cluster analysis, groundwater samples fall out in three groups. According to the plots of cluster analysis results in Piper diagrams dominant water type for the first group is calcic bicarbonate and for the second and third groups is sodium chloride. Stiff diagrams were used to determine the source of groundwater, several sources such as gabbro, limestone, dolomite, shale, salty clays, sea water or a mixture of water sources were found. Based on the factor analysis of the chemical composition of groundwater, Kahriz plain is influenced by four factors. The first factor may be referred to chemical dissolution processes and saline water intrusion, the second factor to alteration of ultramafic rocks, the third factor to the impact of domestic wastewater, agricultural activities and highly use of fertilizers and the fourth factor to chemical weathering of Fluorine and apatite minerals presented in igneous and metamorphic rocks. The calculated mineral saturation indices results show water saturation with respect to the calcite and dolomite and its under-saturation to gypsum. Combined diagrams results indicate that processes such as dissolution of halite, alteration of dolomite and ion exchange affect chemical quality of groundwater.

Keywords: Cluster analysis, Factor Analysis, Kahriz Plain, Urumia Lake, Saturation index.

Received: 2016/01/29
Accepted: 2016/03/14

ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت کهریز با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی

اصغر اصغری مقدم^۱، یوسف محببی^{*۲}

چکیده

آب زیرزمینی تنها منبع تأمین مصارف کشاورزی و شرب در دشت کهریز است. بنابراین ارزیابی کیفی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به منظور بررسی چگونگی روند تغییرات هیدروژئوشیمیایی ۱۸ نمونه آبی جمع‌آوری و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. برای ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی از تلفیق روش‌های آماری، هیدروشیمیایی و نمودارهای ترکیبی استفاده گردید. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، نمونه‌های آب زیرزمینی در سه گروه قرار گرفتند، با توجه به نمودارهای پایپر برای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای، تیپ غالب برای گروه یک از نوع بی‌کربناته کلسیک و برای گروه دو و سه از نوع کلرو سدیک می‌باشد. برای تعیین منشأ آب زیرزمینی نیز از نمودارهای استیف استفاده شد، که چند منشأ از جمله گابرو، آهک، دولومیت، شیل، سازنده‌های رسی نمکی، آب دریا و یا حالت مخلوطی از آب‌ها مشاهده گردید. براساس روش تحلیل عاملی ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت کهریز تحت تأثیر چهار عامل می‌باشد. عامل یک به فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک و نفوذ احتمالی آب‌های کلرو سدیک، عامل دوم به فرسایش کانی‌های سنگ‌های الترامافیک، عامل سوم به تأثیر فاضلاب‌های خانگی، فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی و عامل چهارم به هوازدگی شیمیایی کانی فلئورواپاتیت موجود در سنگ‌های دگرگونی و آذرین نسبت داده شد. نتایج محاسبه شاخص اشباع کانیها نشان دهنده‌ی حالت اشباع به کلسیت و دولومیت و تحت اشباع نسبت به ژپس می‌باشد. نتایج نمودارهای ترکیبی نشان داد که فرآیندهایی مانند انحلال هالیت، هوازدگی دولومیت و تبادل یونی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اندیس اشباع، تجزیه خوشه‌ای، تحلیل عاملی، دریاچه ارومیه، دشت کهریز.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

1- Prof., Dept. of Geology, Faculty of Natural Sciences, Univ. of Tabriz.
Email: Moghaddam@tabrizu.ac.ir
2- M.Sc student of Hydrogeology, Dept. of Geology, Faculty of Natural Sciences, Univ. of Tabriz.

*- Corresponding Author

۱- استاد گروه علوم زمین دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
* نویسنده مسئول

کننده کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار دادند. دویک و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روشهای آماری چند متغیره HCA و FA فرآیندهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در نواحی مرکزی صربستان و وجودینا^۱ را مورد بررسی قرار دادند که در نهایت فرآیندهای انسانی را عامل اصلی آلودگی آبهای این مناطق معرفی کردند. در روش تحلیل خوشه‌ای، نمونه‌های آب براساس شباهت ترکیب شیمیایی گروه بندی می‌شوند (بیتریز و همکاران، ۱۹۹۸). لی و همکاران (۲۰۰۱) در جنوب شرق سئول جهت شناسایی فرایندهای مؤثر بر افزایش غلظت هیدروکربن‌ها و پارامترهای هیدروژئوشیمی از دو دوره نمونه برداری در فصل خشک و تر و همچنین تلفیقی از روش‌های گرافیکی و آماری (تحلیل خوشه‌ای) استفاده نموده اند و پس از انجام مطالعات موفق شدند تا عواملی را که بر ترکیب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه آنها تأثیر گذار بوده‌اند را شناسایی کنند. روشهای آماری چند متغیره همچون آنالیز خوشه ای یک روش جایگزین قابل اعتماد با قابلیت آنالیز مقادیر زیادی از داده را برای فهم سیستم پیچیده کیفیت آب زیرزمینی ارائه می دهد (اکبال و همکاران، ۲۰۱۱). روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه بندی شده متفاوت می‌باشد که هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگتر می‌باشد. یک نمونه از این خوشه، مجموعه سه تایی است که نتایج را در داخل سه خوشه به هم متصل می‌کند. رابطه بین پارامترها در داخل شاخه‌های سه تایی ظاهر می‌شود. شباهت بین پارامترها نسبت عکس با فاصله بین آنها در روی نمودار دارد (گونزالز وازگوز و همکاران، ۲۰۰۵). در دشت کهرئیز جهت ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی از تلفیق روش‌های آماری، هیدروشیمیایی و نمودارهای ترکیبی استفاده گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت کهرئیز در شمال غرب ایران در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این دشت جزو حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و با وسعت تقریبی ۱۱۵ کیلومتر مربع در امتداد ساحل دریاچه ارومیه قرار گرفته و از شمال به کوه بایداغ - قره باغ و کوه اوچ تپه، از جنوب به کوه آغ‌داغ، از شرق به دریاچه

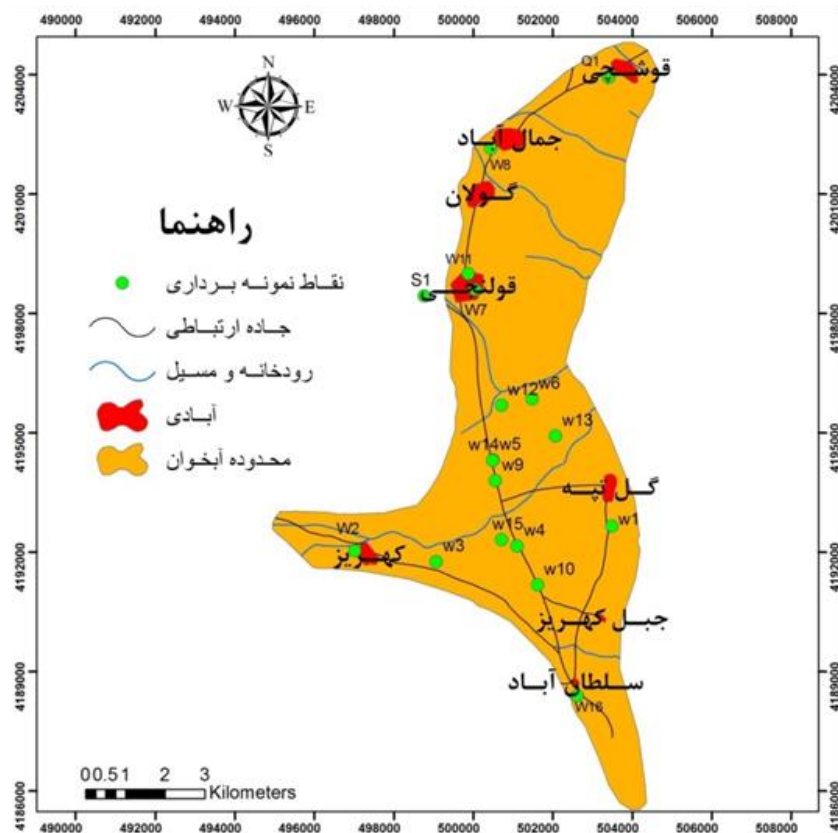
بیشتر روش‌های به کار رفته در مطالعات کیفی آب زیرزمینی به صورت روش‌های گرافیکی هستند که نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب را توسط نمودارهای مختلفی مانند نمودارهای پایپر، استیف و شولر ارائه می‌کنند. یکی از محدودیت‌های روش‌های گرافیکی تعداد نمونه و متغیر است. از طرفی هیچ یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت در بین آن‌ها را ندارند (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۵). در حالی که در روش‌های آماری محدودیتی از این لحاظ وجود ندارد و کاربرد این روش‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی روز به روز گسترده تر می‌شود. محدودیتی که اغلب روش‌های آماری نسبت به روش‌های گرافیکی دارند، این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها ارائه نمی‌کنند و نتایج آن‌ها (روش‌های آماری) را نمی‌توان به سرعت در تفسیر روند و فرایندهای مربوط به مسائل هیدروشیمیایی به کار برد. اما ترکیب روش‌های آماری و گرافیکی باعث می‌شود که مزایای هر روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش کمتر شود (گولر و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعات اولیه خصوصیات رخساره‌های آب زیرزمینی بر اساس بکار گیری نمایش‌های گرافیکی یون‌های اصلی آب زیرزمینی است. این روش‌های رده بندی کلاسیک به مانند دیاگرام‌های پایپر و استیف فقط ترکیبات اصلی معین شده آب زیرزمینی را در تعیین تیپ آب در نظر می‌گیرند (حییم، ۱۹۸۹). در سال‌های اخیر با افزایش تعداد متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی یک طیف گسترده‌ای از متدهای آماری جهت تجزیه - تحلیل و تفسیر مناسب داده‌ها به کار برده می‌شوند (یوسانوف و گوزمن، ۱۹۸۹ و اشلی و لویید، ۱۹۷۸). محققین از روش‌های آماری در بررسی و تحلیل کیفی و مطالعه هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف جهان استفاده نمودند (داودی و فت، ۱۹۶۷؛ هیتچون و همکاران، ۱۹۷۱؛ سابارو و همکاران، ۱۹۷۱ و روقانات و همکاران، ۲۰۰۲). برای مثال سینگ و همکاران (۲۰۱۲) مناسب بودن آب زیرزمینی را برای شرب، مصارف کشاورزی و خانگی با استفاده از روش‌های CA و FC مورد بررسی قرار دادند. تیلی زرلی و همکاران (۲۰۱۲) در شمال شرق تونس ترکیبی از روش‌های آماری چند متغیره PCA و HCA را برای جستجوی فرآیندهای انسانی یا طبیعی کنترل

کهریز ۱۸ نمونه از منابع آب زیرزمینی دشت شامل چاه‌های بهره‌برداری، چشمه و قنات در شهریور ماه سال ۱۳۹۱ برداشت گردید که موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در شکل ۲ ارائه شده است (نمونه‌های مربوط به چاه‌های بهره‌برداری، چشمه و قنات به ترتیب با W، S و Q بر روی نقشه مشخص گردیده اند). سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه تبریز منتقل شدند. در این نوشتار، از روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای، تحلیل عاملی و ضرایب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نمودارهای ترکیبی، گیبس و شاخص‌های اشباع برای تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی استفاده شده است.

با توجه به نتایج آزمایشات پمپاژ چاه‌های اکتشافی در سطح دشت کهریز، ضریب قابلیت انتقال در حواشی دشت اندک و کمتر از ۵۰۰ متر مربع در روز می‌باشد، که این امر مبین وجود ضخامت کم آبرفت است. در نواحی مرکزی دشت این ضریب به حداکثر خود یعنی ۱۶۰۰ متر مربع در روز می‌رسد که وجود رسوبات دانه درشت و همچنین ضخامت و گسترش زیاد این رسوبات علت اصلی آن هستند. همچنین در محاسبات بیلان مقدار ضریب ذخیره دشت به طور متوسط ۰.۵٪ منظور شده است.

مواد و روشها

برای بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت



شکل ۲- نقشه موقعیت نقاط نمونه برداری از آبخوان دشت کهریز (شهریور ۹۱)

بحث و نتایج

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها پرداخته می‌شود. جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت کهریز در سال آبی ۹۰-۹۱ را نشان می‌دهد.

در این بخش به بحث و بررسی میزان کارآمد بودن روش‌های آماری و هیدروشیمیایی در رابطه با تحلیل و تفسیر

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت کهریز در سال آبی (۹۱-۹۰)

(یون‌های اصلی بر حسب میلی اکی والان بر لیتر و EC بر حسب $\mu\text{mho/cm}$)

شماره نمونه	EC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ³⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
W ₁	۳۷۰۰	۱۶/۸۱	۵.۶۰	۱۷/۸۶	۰/۴۴	۴/۶۸	۰	۳۴	۲/۱۵
W ₂	۵۵۰	۴/۴۰	۰/۹۶	۱/۱۰	۰/۰۵	۴/۲	۰	۰/۷۵	۱/۳۶
W ₃	۷۰۰	۴	۱/۶۸	۱/۶۷	۰/۰۴	۴	۰	۱/۴۵	۱/۴۶
W ₄	۷۳۰	۳/۸۴	۱/۳۶	۱/۶۰	۰/۰۴	۳/۶	۰	۱/۸۰	۱/۵۵
W ₅	۵۸۰	۲/۶۰	۲/۴۰	۲/۷۰	۰/۰۵	۳/۴۴	۰/۴	۲/۳۰	۲/۱۳
W ₆	۲۴۲۰	۱۰/۶۰	۱۶/۹۰	۵/۱۰	۰/۱۲	۳/۹	۰	۲۱/۴۰	۴/۴۰
W ₇	۱۵۳۰	۵/۱۰	۱۰/۳۰	۴/۷۰	۰/۱۰	۳/۶	۰	۹/۶۰	۵/۷۰
W ₈	۱۰۲۰	۳/۴۰	۷	۲/۶۰	۰/۰۲	۴/۷	۰	۳/۴	۳/۷۰
Q ₁	۱۱۴۰	۴/۴۰	۶	۲/۸۰	۰/۰۲	۳/۶	۰	۳/۶۰	۴/۸۰
W ₉	۵۱۰	۳/۳۶	۲/۶۴	۱/۳۹	۰/۰۳	۳/۵	۰/۸	۰/۹۰	۲/۹۰
W ₁₀	۸۵۰	۴/۸۰	۱/۷۶	۱/۹۸	۰/۰۵	۳/۵۵	۰	۳/۴۰	۲/۲۰
W ₁₁	۱۴۰۰	۸/۳۰	۷/۱۰	۴/۱۰	۰/۰۷	۵/۲	۰	۸/۶۰	۴/۱۰
W ₁₂	۷۰۰۰	۱۶/۲۰	۲۸/۲۰	۳۵/۹۰	۰/۲۰	۴/۹۵	۰	۵۷/۹۵	۹/۹۵
W ₁₃	۷۰۶۰	۲۱/۶۱	۲۸/۸۰	۴۰/۱۰	۰/۲۷	۲/۸۴	۰	۷۶/۰۲	۴/۲۱
W ₁₄	۶۳۰	۲/۴۰	۱/۸۴	۲/۸۳	۰/۰۵	۳/۲	۰/۴	۲/۳۵	۱/۷۲
S ₁	۹۸۰	۴	۱/۵۲	۵/۶۹	۰/۰۱	۳/۹۲	۰/۲	۴	۴/۲۰
W ₁₅	۶۶۰	۴/۸۰	۱/۴۴	۱/۶۵	۰/۰۴	۵/۱۲	۰	۱/۳۵	۱/۹۳
W ₁₆	۲۳۶۰	۵/۲۰	۲/۵۰	۱۶	۰/۱۰	۴	۰/۱	۱۵/۵۰	۳/۲۳

الف) روش‌های آماری

۱. تحلیل خوشه‌ای

برای سنجش میزان تشابه نمونه‌ها و در واقع گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده شده است. فرضیات روش تجزیه خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع نرمال متغیرهاست، به همین منظور قبل از انجام تجزیه، داده‌ها را استاندارد می‌کنند. استاندارد سازی داده‌ها در تجزیه خوشه‌ای چند متغیره بسیار ضروری می‌باشد، بدین جهت که در محاسبه فاصله اقلیدسی، پارامترهای با واریانس زیاد اثر پذیری زیادی از داده‌های با واریانس کمتر دارند (گولر و همکاران ۲۰۰۲: کلوتر و همکاران، ۲۰۰۸). تجزیه خوشه‌ای اغلب به روش‌های HCA^۱، KMC^۲ و FKM^۳ انجام می‌گیرد (فاریابی، ۱۳۸۵). در این مطالعه از روش HCA برای گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. از ویژگی‌های مهم این روش ارائه نمودار گرافیکی دندروگرام است.

در روش HCA انتخاب تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار صورت می‌گیرد، در صورتی که در روش‌های KMC و FKM تعداد خوشه‌ها باید از قبل مشخص شود. از مزایای دیگر روش HCA این است که در این روش یک نمونه به تنهایی می‌تواند تشکیل یک خوشه را بدهد. نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از متد HCA و روش اتصال میانگین گروه بندی شدند. پارامترهای مورد استفاده برای تقسیم بندی گروه‌ها، یون‌های اصلی و مجموع املاح است (کلید پارامترها بر حسب میلی گرم در لیتر هستند). در شکل ۳ دندروگرام نمونه‌های آب زیرزمینی ارائه شده است، با توجه به شکل دندروگرام، تراکم گروه‌ها و ترکیب شیمیایی، نمونه‌های آب زیرزمینی به سه گروه تقسیم شده‌اند. تعیین تعداد گروه‌ها به صورت قرار دادی است و با توجه به مقیاس مطالعات می‌توان با جابه‌جا کردن خط فنون^۴ یا خط تقسیم، تعداد خوشه‌ها (گروه‌ها) را کم یا زیاد کرد. خط فنون یک خط تصویری^۵ است که جهت تعیین خوشه‌ها (تعداد آن‌ها) از عرض یک دندروگرام کشیده می‌شود. طبق نظر گولر و

1- Q-Mode Hierarchical Cluster Analysis

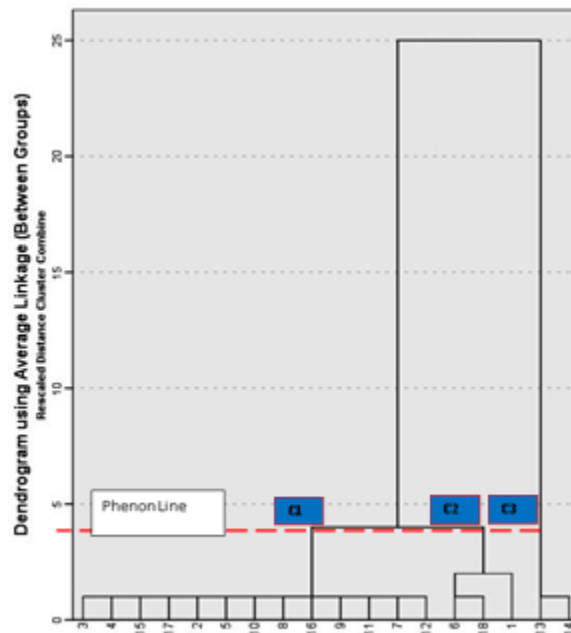
2- K-Means Clustering

3- Fuzzy K-Means Clustering

4- Phenon Line

5- Imaginary

همکاران (۲۰۰۲) تعداد خوشه‌ها بوسیله حرکت دادن خط فنون بر روی دندروگرام به بالا یا پائین می‌تواند به ترتیب کاهش یا افزایش یابد.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

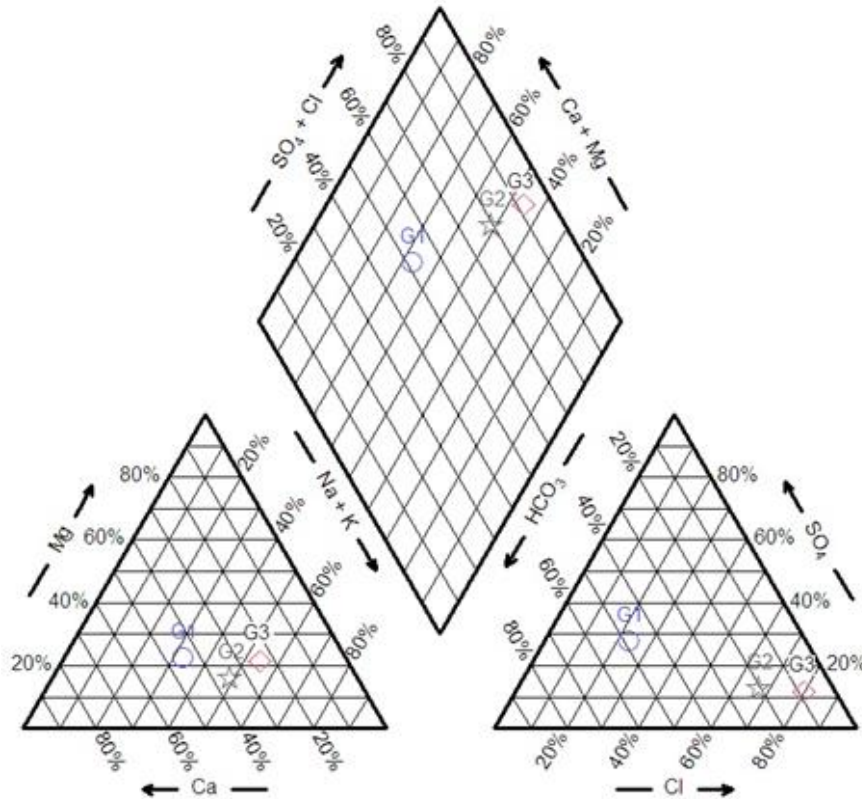
در جدول ۲ میانگین هر یک از متغیرها در هر خوشه (گروه) محلول (TDS) در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه سوم مشخص شده است. با توجه به این جدول، غلظت یون‌های افزایش می‌یابد.

جدول ۲- میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی دشت کهرئز (بر حسب میلی گرم در لیتر)

نام گروه	T.D.S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	pH
گروه ۱	۵۶۴	۸۵/۲	۴۲/۴	۶۱/۵	۱/۷	۲۴۲/۲	۱۱۸/۷	۱۳۹/۴	۷/۳۷
گروه ۲	۱۸۳۷/۳	۲۱۷/۳۸	۱۰۰	۲۹۸/۷	۸/۶۳	۲۵۵/۷۹	۸۳۸/۹۸	۱۵۶/۴۹	۷/۳۴
گروه ۳	۴۵۶۹/۵	۳۷۸	۳۴۲	۸۷۳/۹	۹/۱۴	۲۳۷/۵	۲۳۷۷/۸	۳۳۹/۷	۷/۱۴

می‌باشند. برای گروه‌های دوم (G2) و سوم (G3) کاتیون‌های تک ظرفیتی برکاتیون‌های دو ظرفیتی غالب می‌باشند و یون کلرید آنیون غالب در بین سایر آنیون‌ها می‌باشد. گروه‌های ۲ و ۳ هر دو از آب‌های سدیم پتاسیم کلرید می‌باشند، به عبارتی تیپ آب در این دو خوشه از نوع کلروره سدیک می‌باشد، که مشخصه این هستند که آب زیرزمینی در اثر پدیده بالا آمدگی آب شور و نفوذ آب شور انتهای آبخوان در نتیجه پمپاژ بی رویه و انحلال شیمیایی از سازندهای رسی - نمکی آلوده گردیده (شور شده) است. شکل ۴ دیاگرام پایپر گروه‌های مختلف نمونه‌های آب را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

دیاگرام پایپر را می‌توان برای هر عضو هر خوشه (گروه) رسم کرد، ولی در این تحقیق از غلظت‌های میانگین یون‌های اصلی در هر گروه جهت ترسیم دیاگرام پایپر استفاده شده است. در شکل ۴ برای گروه اول (G1) کاتیون کلسیم بالاترین میزان را در بین سایر کاتیون‌ها دارد در صورتی که یون بی‌کربنات آنیون غالب می‌باشد. که این به بدان معنی است که تیپ غالب آب در این خوشه (گروه) از نوع تیپ آب بی‌کربناته کلسیک (Ca-HCO₃) می‌باشد. در بررسی هیدروشیمی آبخوان دشت کهرئز تیپ آب بی‌کربنات کلسیک در مناطقی مشاهده می‌شود که برهم کنش‌های (اثر متقابل) سنگ - آب از دلایل عمده تغییر در هیدروشیمی آب زیرزمینی



شکل ۴- دیاگرام پایپر گروه‌های مختلف نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

منشأ W_{13} ترکیبی از آب دریا و شیل (کانی های رسی) سازندهای رسی - نمکی و پهنه های نمکی می باشد.

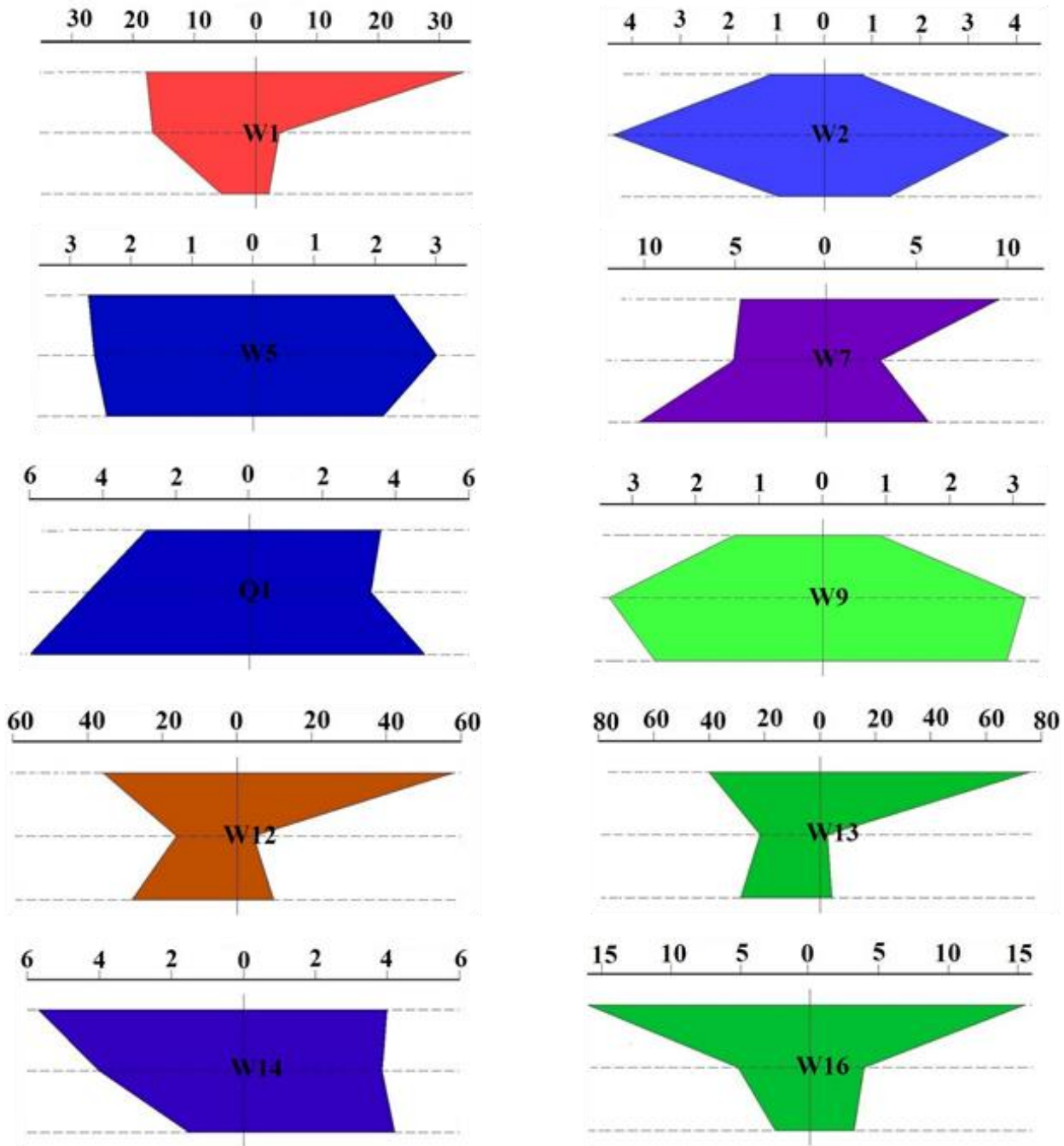
۲. تحلیل عاملی

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروشیمیایی که در آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند مشکل است. به همین جهت هیدروژئوشیمیست‌ها جهت تشخیص سهم هر یک از عوامل و شرایط مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی^۱ استفاده می‌کنند (یوسانوف و گوزمن، ۱۹۸۹؛ جیونگ، ۲۰۰۱ و ایونز و همکاران، ۱۹۹۶). تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن شناخت ساز و کارهای مؤثر یا ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیره‌های مشاهده‌ای وجود دارد (لیو و همکاران، ۲۰۰۳).

در مطالعه هیدروژئوشیمی دشت کهریز از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تأثیر گذاری آن‌ها بر روی ترکیب آب زیرزمینی استفاده شده است.

برای تعیین منشأ آب زیرزمینی دیاگرام استیف برای همه نمونه ها ترسیم شد، شکل ۵ با مقایسه دیاگرام های استیف رسم شده با نمودارهای استیف آب های حاصل از سنگ های مختلف هانسلو (۱۹۹۵) چند منشأ از جمله گابرویی (بازالتی)، آهکی، دولومیتی، شیل، سازندهای نمکی - رسی، آب دریا و یا حالت مخلوطی از منشأ آب ها مشاهده گردید. بر این اساس منشأ نمونه های W_1, W_{16} و W_{11} از آب دریا، W_{13} ترکیبی از آب دریا و شیل (کانی های رسی)، W_2 ، W_3 و W_4 عمدتاً از سنگهای کربناتی (آهکی) واحد OM_1 و om_1 ، W_5 از سنگهای آذرین چون گابرو (بازالت) واحد gb_1 ، W_8 و W_9, W_{10} مربوط به سازندهای کربناتی واحد OM_1 و om_1 (به همراه تعویض یونی)، Q_1 منشأیی بیشتر نزدیک به شیل با تعویض یونی و به احتمال زیاد از انحلال شیمیایی سازندهای نمکی - رسی واحد Q_4, W_6, W_{14}, W_{12} و W_7 منشأ از سازندهای رسی - نمکی و احتمالاً شیل با تعویض یونی، W_{15} به دلیل انحلال و هوازدگی شیمیایی سازندهای آهکی واحد (OM_1) و سنگ آهک واحد pr (پرمین)، S_1 منشأ از سازندهای کربناتی واحد om_1 و سنگ آهک پرمین واحد pr و

1- Factor Analysis



Legend

Cations (meq/L)		0	Anions (meq/L)	
Na+K				Cl
Ca				HCO ₃ +CO ₃
Mg				SO ₄

شکل ۵- دیاگرام استیف برای چند نمونه انتخابی

متغیر(مثبت یا منفی) می‌باشد. همچنین می‌توان از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصله استفاده کرد، که به این وسیله ماتریس عامل‌ها به یک ساختار ساده اورتوگنال تبدیل می‌شوند(ندیری و همکاران، ۱۳۸۹). در این روش از چرخش عامل‌ها به روش واریمکس استفاده شده است. جهت بررسی دقیق متغیرها، برای انتخاب عوامل مؤثر برسیستم، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس جمعی محاسبه شد. و استخراج مقادیر ویژه حاصل از ماتریس ترانهاده داده‌های استاندارد شده منجر به استخراج عامل‌های اصلی طبق جدول ۳، چهار عامل مؤثر، که مقادیر ویژه بیشتر از یک دارند به عنوان عوامل اصلی شناسایی شده‌اند که ۹۲/۲۷٪ از تغییرات واریانس کل را شامل می‌شود و برای تفسیرهای بعدی به کار برده می‌شوند. جدول ۳ مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس جمعی را نشان می‌دهد. درصد واریانس هر یک از پارمترها نشان از اهمیت آن پارمتر در هیدروشیمی منطقه دارد. بنابراین از این میان، چهار عامل اول که بیشترین واریانس را شامل می‌شوند، انتخاب می‌گردند.

متغیرهای مشاهده‌ای بکار برده شده در مطالعات هیدروژئوشیمی شامل نتایج آنالیزهای شیمیایی آب می‌باشد. تحلیل عاملی دارای سه مرحله تهیه ماتریکس همبستگی از تمام متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج می‌باشد (گولر، ۲۰۰۲). اساس ماتریکس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد(رابطه ۱).

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n-1) s_1 s_2} \quad [1]$$

x و y مربوط به میزان هر یک از متغیرها، \bar{x} و \bar{y} میانگین ریاضی این متغیرها، n تعداد داده‌ها، و s_1 و s_2 انحراف از معیار هر یک از متغیرها می‌باشد. در مرحله بعد عوامل را از میان پارامترها پیدا کرده، از میان عوامل حاصله، اولین فاکتور بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. ضرائب بالای (۱) تا (-۱) پارامترهای به دست آمده(مثبت یا منفی) که تشکیل دهنده هر یک از عوامل هستند نشان دهنده تأثیر بالای آن

جدول ۳- عامل‌های استخراجی و مقادیر واریانس آن‌ها

متغیر	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	%Cumulative	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۹/۲۷۵	۴۸/۸۱۴	۴۸/۸۱۴	۹/۲۷۵	۴۸/۸۱۴	۴۸/۸۱۴	۸/۰۴۹	۴۲/۳۶۱	۴۲/۳۶۱
۲	۴/۲۱۹	۲۲/۲۰۵	۷۱/۰۱۹	۴/۲۱۹	۲۲/۲۰۵	۷۱/۰۱۹	۵/۲۲۵	۲۷/۵۰۲	۶۹/۸۶۴
۳	۲/۷۹۹	۱۴/۷۳۱	۸۵/۷۵۰	۲/۷۹۹	۱۴/۷۳۱	۸۵/۷۵۰	۲/۶۰۳	۱۳/۷۰	۸۳/۵۶۴
۴	۱/۲۴۰	۶/۵۲۶	۹۲/۲۷۷	۱/۲۴۰	۶/۵۲۶	۹۲/۲۷۷	۱/۶۵۵	۸/۷۱۳	۹۲/۲۷۷
۵	۰/۹۲۸	۴/۸۸۵	۹۷/۱۶۱						
۶	۰/۴۹۵	۲/۶۰۷	۹۹/۷۶۸						
۷	۰/۰۴۴	۰/۲۳۲	۱۰۰						
۸	۴/۰۴۷×۱۰ ^{-۱۶}	۲/۱۳×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۹	۳/۲۵۳×۱۰ ^{-۱۶}	۱/۷۱۲×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۰	۲/۲۰۵×۱۰ ^{-۱۶}	۱/۱۶۱×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۱	۱/۹۸۹×۱۰ ^{-۱۶}	۱/۰۴۷×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۲	۳/۰۴۴×۱۰ ^{-۱۷}	۱/۶۰۲×۱۰ ^{-۱۶}	۱۰۰						
۱۳	-۶/۳۹۳×۱۰ ^{-۱۷}	-۳/۳۶۵×۱۰ ^{-۱۶}	۱۰۰						
۱۴	-۱/۴۵۹×۱۰ ^{-۱۶}	-۷/۶۷۷×۱۰ ^{-۱۶}	۱۰۰						
۱۵	-۲/۹۹۵×۱۰ ^{-۱۶}	-۱/۵۷۶×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۶	-۳/۳۶۴×۱۰ ^{-۱۶}	-۱/۷۷۱×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۷	-۴/۱۶۴×۱۰ ^{-۱۶}	-۲/۱۹۱×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۸	-۶/۶۰۹×۱۰ ^{-۱۶}	-۳/۴۷۸×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						
۱۹	-۷/۳۱۷×۱۰ ^{-۱۶}	-۳/۸۵۱×۱۰ ^{-۱۵}	۱۰۰						

کانی‌های مس، سرب و کادمیم دار دانست (در حقیقت عامل یک را می‌توان به فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک و نفوذ احتمالی آب‌های کلروره سدیک دریاچه ارومیه نسبت داد، زیرا یون کلر و سدیم دارای بار عاملی زیادی هستند).

جدول ۵- ماتریس عوامل بعد از چرخش عامل ها

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴
EC	۰/۹۱۵	۰/۳۷۷	۰/۱۰۲	-۰/۰۵۷
PH	-۰/۵۹۱	-۰/۵۳۲	-۰/۳۰۱	۰/۳۸۱
Ca	۰/۹۲۴	۰/۳۵۶	-۰/۱۳۰	-۰/۰۴۶
Mg	۰/۱۵۳	۰/۷۸۶	۰/۵۸۳	-۰/۰۱۶
Na	۰/۹۸۳	۰/۰۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۱۰۷
K	۰/۹۷۶	۰/۰۷۱	-۰/۰۹۵	-۰/۱۴۹
HCO ₃	۰/۴۶۰	-۰/۰۵۴	-۰/۱۳۸	-۰/۵۶۳
Cl	۰/۹۰۱	۰/۴۲۰	-۰/۰۴۰	-۰/۰۹۴
SO ₄	-۰/۰۷۰	۰/۳۱۰	۰/۸۹۴	۰/۲۴۰
NO ₃	-۰/۲۳۲	-۰/۱۹۸	۰/۸۹۳	۰/۲۷۴
F	-۰/۰۱۸	-۰/۲۶۱	۰/۳۱۱	۰/۸۸۴
SiO ₂	-۰/۰۵۱	۰/۸۵۳	-۰/۰۷۸	-۰/۱۰۴
Mn	۰/۳۲۳	-۰/۹۲۰	-۰/۰۱۵	۰/۳۰۸
Cu	۰/۹۶۳	-۰/۰۲۵	-۰/۲۰۲	-۰/۱۰۹
Pb	۰/۹۲۶	-۰/۲۱۹	۰/۱۴۹	-۰/۱۵۶
Cd	۰/۸۶۷	۰/۳۵۷	-۰/۰۳۷	۰/۳۳۲
Al	۰/۱۰۲	۰/۹۴۵	۰/۰۴۴	-۰/۰۴۳
Fe	۰/۱۷۸	۰/۹۴۱	-۰/۰۸۰	-۰/۰۸۰
As	-۰/۵۴۴	۰/۳۶۷	-۰/۵۸۵	۰/۲۵۱

عامل دوم را می‌توان به دلیل وجود ارتباط میان یون-های آلومینیم، منیزیم، سیلیس و آهن، نتیجه فرسایش کانی-های سنگ‌های الترامافیک دانست. مقادیر بار عاملی منفی pH بیانگر عدم تأثیر افزایش اسیدیته در هیدروشیمی منطقه است که نشانگر افزایش انحلال پذیری عناصر به ویژه کاتیون‌ها با کاهش pH است. پارامترهای عامل سوم نشان دهنده تأثیر فاضلاب‌های خانگی، فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی نیترات دار می‌باشد. عامل چهارم را نیز می‌توان نتیجه هوازدگی شیمیایی سنگ‌های دگرگونی و آذرین همانند گابروها و آمفیبولیت در منطقه دانست، با توجه به این که یون فلئوئر می‌تواند در ترکیب کانی‌های آبدار همانند آمفیبول جانشین یون هیدروکسید(OH-) شده و همچنین

نتایج حاصل از کاربرد تحلیل مؤلفه اصلی در جدول-های ۴ و ۵ (به ترتیب ماتریس عامل‌ها و ماتریس عامل‌ها بعد از چرخش واریمکس) نشان داده شده است. جهت بدست آوردن مجموعه عناصری که در هر مؤلفه جای می‌گیرند، باید در هر ستون، عناصری را که بار عاملی آن‌ها بالاست(معمولاً بیش از ۰/۶)، انتخاب نموده و در یک گروه طبقه بندی نمود.

جدول ۴- ماتریس عوامل

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴
EC	۰/۹۸۶	-۰/۰۶۳	۰/۱۲۷	۰/۰۵۰
PH	-۰/۸۲۲	-۰/۲۲۲	-۰/۱۲۶	۰/۳۵۶
Ca	۰/۹۷۸	-۰/۱۲۱	-۰/۰۷۷	۰/۱۵۱
Mg	۰/۵۰۴	۰/۷۱۴	۰/۴۳۴	-۰/۱۷۷
Na	۰/۹۱۰	-۰/۳۸۶	۰/۰۶۸	۰/۰۳۶
K	۰/۹۱۰	-۰/۳۹۷	-۰/۰۳۸	-۰/۰۳۵
HCO ₃	۰/۴۶۰	-۰/۳۱۸	-۰/۲۷۶	-۰/۴۰۱
Cl	۰/۹۹۷	-۰/۰۳۲	۰/۰۴۹	۰/۰۴۱
SO ₄	۰/۰۵۹	۰/۴۶۳	۰/۸۵۲	-۰/۱۲۰
No ₃	-۰/۳۱۹	۰/۰۹۱	۰/۹۱۵	-۰/۱۳۷
F	-۰/۲۲۸	-۰/۱۱۸	-۰/۶۵۴	۰/۶۷۴
SiO ₂	۰/۳۵۷	۰/۷۵۱	-۰/۲۳۳	-۰/۰۲۵
Mn	۰/۶۹۶	۰/۶۶۵	-۰/۰۸۸	۰/۱۳۳
Cu	۰/۸۴۷	-۰/۴۹۰	-۰/۱۰۹	۰/۱۰۵
Pb	۰/۷۴۰	-۰/۵۹۲	۰/۲۱۵	-۰/۰۸۸
Cd	۰/۸۷۴	-۰/۰۵۱	۰/۱۴۴	۰/۴۵۱
Al	۰/۵۲۶	۰/۷۸۹	-۰/۰۹۴	۰/۰۰۹
Fe	۰/۵۹۵	۰/۷۲۹	-۰/۲۱۱	۰/۰۳۲
As	-۰/۳۵۸	۰/۴۲۹	-۰/۵۵۱	۰/۴۰۲

مدل عاملی به کار رفته برای ۴ عامل و ۱۹ متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان دهنده آن است که این عامل‌ها حدود ۹۲/۲۷٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری که از این مقدار ۴۲/۳۶٪ به وسیله عامل یک، ۲۷/۵٪ توسط عامل دو، ۱۳/۷٪ توسط عامل سه و ۸/۷٪ به وسیله عامل چهار تبیین می‌شود. در عامل یک، ارتباط قوی میان یون‌های کلسیم، سدیم، پتاسیم، کلر، مس، سرب، کادمیم و هدایت الکتریکی نشان دهنده تعامل زیاد آب - سنگ در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و می‌توان افزایش این یون‌ها را تأثیر سازندهای زمین شناسی و

کانی‌های مختلف را در نمونه‌های آب زیرزمینی را برای دشت کهریز را نشان می‌دهد، طبق این شکل نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های ژئیس، انیدریت و هالیت تحت اشباع بوده و برای کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت حالت اشباع و فوق اشباع از خود نشان می‌دهند.

جدول ۶- اندیس اشباع آب نسبت به کلسیت، دولومیت

شماره نمونه	و ژئیس			
	SI _c	SI _d	Sig	SI _h
W ₁	۰/۱۹	۰/۰۵	-۱/۳۳	-۴/۹۷
W ₂	۰/۱۹	-۰/۱۵	-۱/۷۲	-۷/۷۶
W ₃	۰	-۰/۲۶	-۱/۷۵	-۷/۲۹
W ₄	-۰/۰۳	-۰/۳۸	-۱/۷۲	-۷/۲۱
W ₅	-۰/۳۳	-۰/۵۷	-۱/۷۷	-۶/۸۸
W ₆	-۰/۰۱	۰/۳	-۱/۲۴	-۵/۷۱
W ₇	-۰/۲۸	-۰/۱۴	-۱/۳۲	-۶/۷
W ₈	-۰/۰۹	۰/۲۵	-۱/۵۷	-۶/۷۶
Q ₁	۰/۰۵	۰/۳۵	-۱/۳۶	-۶/۷
W ₉	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۱/۵۶	-۷/۵۸
W ₁₀	-۰/۰۳	-۰/۳۷	-۱/۵۳	-۶/۸۵
W ₁₁	۰/۴۱	-۰/۸۹	-۱/۲۴	-۶/۱۸
W ₁₂	۰/۱۹	۰/۷۵	-۰/۹۲	-۴/۳۳
W ₁₃	۰/۲	۰/۶۷	-۱/۲	-۶/۸۵
W ₁₄	۰/۲۱	۰/۴۲	-۱/۸۷	-۶/۸۵
SP ₁	۰/۷	۱/۱	-۱/۳۷	-۶/۳۴
W ₁₅	۰/۲۶	۰/۱۲	-۱/۵۸	-۷/۳۴
W ₁₆	۰/۷۳	۱/۲۷	-۱/۴۸	-۵/۳۳

۲. نمایه‌های اشباع

جهت بررسی تأثیر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژئیس و هالیت بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مقادیر نمایه‌های اشباع این چهار کانی بر اساس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کهریز با استفاده از کد کامپیوتری PHREEQC محاسبه گردیده است و در جدول ۶ ارائه شده است. نمودارهای دو متغیره نمایه اشباع کلسیت، دولومیت، ژئیس و هالیت در مقابل کل مواد جامد محلول (TDS) نشان دهنده آن است که اغلب نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به دشت کهریز نسبت به کلسیت و دولومیت حالت فوق اشباع از خود نشان می‌دهند و مابقی نیز حالت تحت اشباع از خود نشان می‌دهند.

فلوئور می‌تواند در ترکیب شیمیایی آپاتیت، که به صورت کانی فرعی در ترکیب کانی شناسی سنگ‌های مذکور یافت می‌شود، حضور داشته باشد.

ب) هیدروشیمی

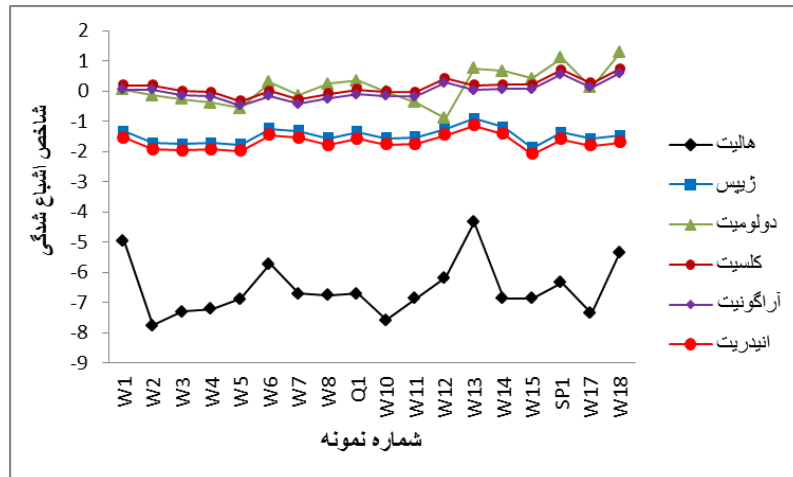
۱. شاخص اشباع

ثابت ترمودینامیکی در آب‌های زیر زمینی توسط اندیس اشباع (SI) که برای هر کانی خاص مقدار مشخصی دارد تعیین می‌گردد. از آنجا که بسیاری از کانی‌ها آلومینوسیلیکات هستند، اندیس اشباع آب‌هایی که در تماس با کانی‌ها می‌باشند به درک صحیح یا پیش بینی مسیرهای واکنشی کمک می‌کند. مقدار محصول فعالیت یونی (IAP) برای واکنش تعادلی کانی‌ها در آب ممکن است با مقدار محصول انحلال پذیری K_{sp} کانی‌ها مقایسه گردد. شاخص اشباع شدگی^۲ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$SI = \frac{\log IAP}{K_{sat}} \quad [2]$$

در این رابطه IAP، میزان اکتیویته کانی مورد نظر و K_{sat} ثابت انحلال پذیری است. به منظور تعیین شاخص اشباع شدگی کانی‌های مختلف از نرم افزار PHREEQC استفاده شده است. شاخص اشباع شدگی بسته به مقادیر یون‌های محلول، pH، TDS و دما تغییر می‌کند. نمایه‌های اشباع نسبت به کلسیت، دولومیت، ژئیس و هالیت در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کهریز با استفاده از نتایج مدل سازی با کد کامپیوتری PHREEQC محاسبه گردیده و در جدول ۶ ارائه گردیده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که تمام نمونه‌های آنالیز شده نسبت به ژئیس و هالیت تحت اشباع می‌باشند و می‌توانند کماکان ژئیس و هالیت را در خود حل نمایند. لازم بذکر است گفته شود که بیش از ۵۰ درصد نمونه‌ها نسب به کلسیت و دولومیت فوق اشباع می‌باشند و مابقی هم تقریباً حالت تحت اشباع از خود برای این کانی‌ها نشان می‌دهند. افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم از منشأهای غیر از انحلال کلسیت و دولومیت مانند هوازدگی کانی‌های فلدسپاته و سایر کانی‌های کلسیم و منیزیم دار، باعث فوق اشباع شدن نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت شده است. شکل ۶ اشباع شدگی برای

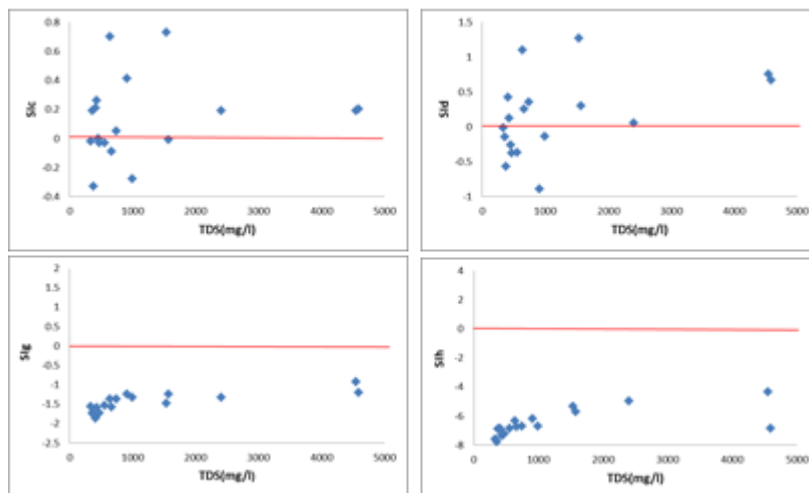
1- Solubility product
2- Saturation Index



شکل ۶- شاخص اشباع شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب

آب زیرزمینی نسبت به کانی هالیت بیانگر این است که علی‌رغم وجود سازندهای رسی - نمکی کواترنری قابل توجه در محدوده مطالعاتی کهریز، نمونه‌های آبی هنوز می‌توانند هالیت بیشتری را در خود حل نمایند.

نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های ژنپس و هالیت حالت تحت اشباع از خود نشان می‌دهند، شکل ۷. تحت اشباع بودن نمونه‌ها نسبت به کانی‌های ژنپس دور از انتظار نیست، چون ژنپس موجود در سازندهای محدوده مطالعاتی کهریز خیلی ناچیز است. همچنین تحت اشباع بودن نمونه‌های



شکل ۷- نمودارهای دو متغیره نمایه اشباع کلسیت، دولومیت، ژنپس و هالیت در مقابل کل مواد جامد محلول (TDS)

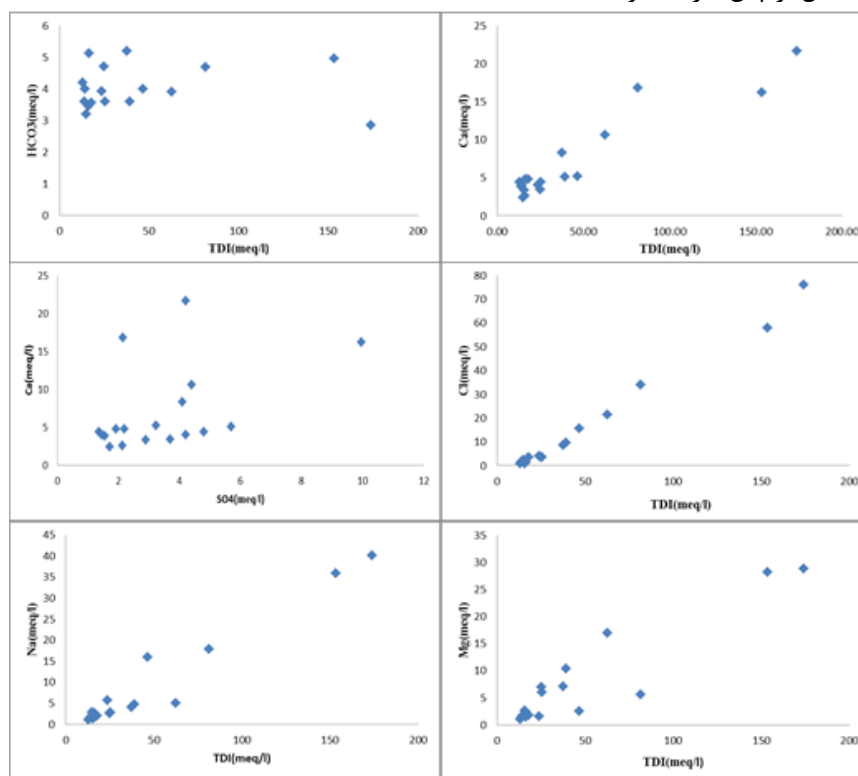
نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرآیندهای مؤثر بر کیفیت آب را تعیین کرد (مازور، ۲۰۰۴). جهت نمایش فرایندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس و منشأ آب‌ها از نمودارهای ترکیبی عناصر استفاده شده است. شکل ۸ نمودارهای دو متغیره (ترکیبی) کلسیم نسبت به سولفات و همچنین غلظت

۳. نمودارهای ترکیبی

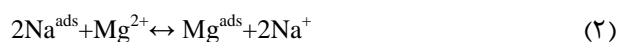
تفسیر فرآیندهای مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب، تعیین رابطه بین پارامترهای حاصل از تجزیه نمونه‌های آب از طریق پلات کردن آن‌ها بروی نمودارهای دو متغیره‌ای است که به نمودارهای ترکیبی معروفند. با توجه به نحوه آرایش این

تأیید نمی‌شود. غلظت کلراید با افزایش TDI به صورت خطی افزایش می‌یابد، این رابطه خطی نشان دهنده آن است که انحلال هالیت و نه انحلال ژپس، باعث افزایش شوری آب‌های زیرزمینی دشت کهریز شده است. غلظت سدیم نیز با افزایش TDI به صورت خطی افزایش می‌یابد. افزایش خطی منیزیم با افزایش TDI نیز تا حدودی مشاهده می‌شود. با توجه به این که نسبت یونی (Mg/Ca+Mg) در اغلب نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ است به همین دلیل منشأ منیزیم برای این دسته از نمونه‌ها ناشی از هوازدگی دولومیت است. در سایر نمونه‌ها که نسبت یونی مذکور بیشتر از ۰/۵ است منشأ منیزیم از انحلال دولومیت و یا آب دریا می‌باشد (هانسلو، ۱۹۹۵).

کل یون‌های محلول (TDI) را در مقابل یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات و کلراید را نشان می‌دهد. غلظت بی-کربنات با افزایش TDI نسبتاً ثابت باقی مانده و تغییرات کمی دارد و این امر نشان دهنده آن است که انحلال کربنات‌ها در سفره آبدار دشت کهریز به طور جزئی روی می‌دهد. با افزایش TDI غلظت کلسیم به طور خطی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر بالعکس این رابطه خطی بین یون‌های سولفات و کلسیم دیده نمی‌شود که در حالت کلی نشان دهنده عدم رویداد انحلال ژپس در سفره آبدار است. از طرفی با توجه به این که در نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت یونی $HCO_3/SumAnions$ کم تر از ۰/۸ و مقدار سولفات به جزء چند نمونه پائین است (هانسلو، ۱۹۹۵)، نقش انحلال ژپس در تغییر کیفیت آب



شکل ۸- دیاگرام‌های ترکیبی متغیرهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی

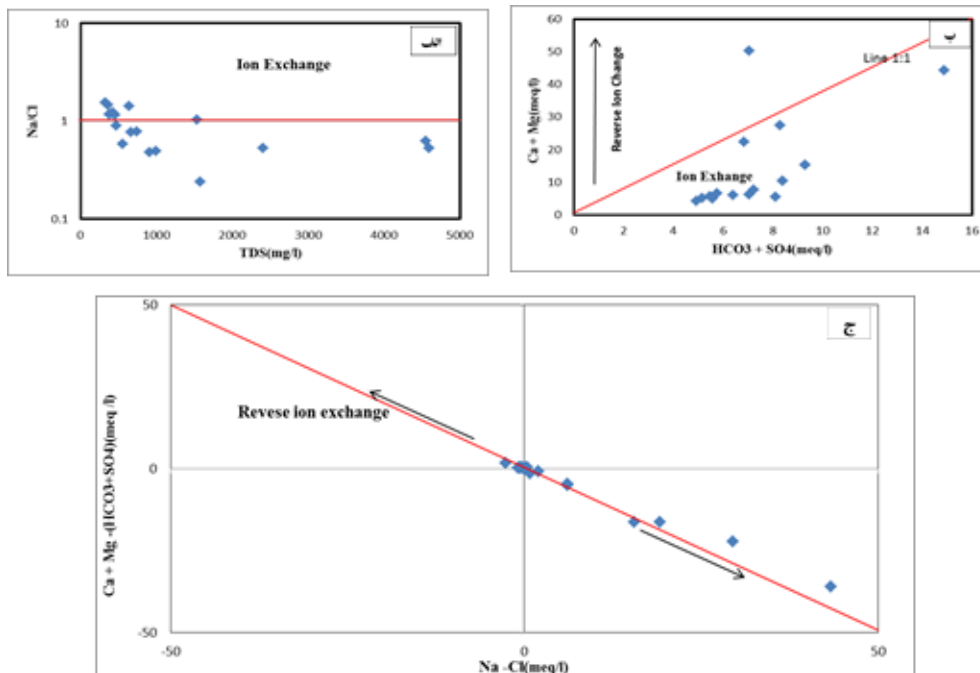


در شکل ۹ الف نمودار دو متغیره Na/Cl در مقابل TDS برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کهریز ارائه شده

برای نمایش فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس در سفره‌ی آبدار دشت کهریز، سه نمودار ترکیبی با استفاده از توابع بین متشکله‌های شیمیایی متأثر از فرآیند تبادل یونی تهیه شده است (شکل ۹). رخداد فرآیند تبادل یونی بر حسب واکنش‌های (۱) و (۲) می‌باشد.

تبادل یونی معکوس می‌باشد (جانکوسکی و همکاران، ۱۹۹۸). بر این اساس و با توجه به زمین شناسی منطقه فرآیندهای انحلال ژیبس (نمونه W_{12})، کلسیت و همچنین فرآیندهای تعویض یونی مستقیم و معکوس در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود. رخداد فرایند تبادل یونی در شکل ۹ ج، در نمودار Na-Cl در برابر $Ca+Mg-HCO_3-SO_4$ نشان داده شده است. در این نمودار نمونه‌هایی که نزدیک به مقدار صفر و روی محور X قرار می‌گیرند، تحت تأثیر تبادل یونی واقع نشده‌اند. افزون بر این، اگر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیبس به طور سازگار روی دهد و تبادل یونی صورت نگیرد، در آن صورت مقدار $Ca+Mg-HCO_3-SO_4$ نیز نزدیک به صفر خواهد شد و آب‌هایی که تبادل یونی را متحمل شده‌اند، در طول خط با شیب ۱- قرار می‌گیرند (ماری و همکاران، ۲۰۰۱). بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل ۹ ج، در محدوده کمتر از (۰ و ۰) واقع شده‌اند که این حالت بیانگر وقوع فرآیند تبادل یونی است.

است. نمونه‌هایی که در بالای خط Na/Cl واقع شده‌اند، منشأ دو گانه دارند و نمونه‌هایی که مقادیر TDS بالای ۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر دارند نشانگر منشأ غالب هالیت می‌باشند (کلانتی و همکاران، ۱۳۸۸). دو نمونه W_{12} و W_{13} علی‌رغم این که TDS نزدیک ۵۰۰۰ دارند، به احتمال زیاد می‌توان گفت که به منشأ انحلال سازندهای تبخیری مربوط می‌شوند. با توجه به این شکل، در نمونه‌های آب زیرزمینی رخداد فرایند تبادل یونی (معکوس و مستقیم) دیده می‌شود. در شکل ۹ ب، نمودار دو متغیره $Ca+Mg$ در مقابل HCO_3+SO_4 نمایش داده شده است. در این نمودار موقعیت قرار گیری نمونه‌ها نسبت به خط ۱:۱ نشانگر غالب بودن فرآیند انحلال کلسیت یا دولومیت و ژیبس یا انیدریت می‌باشد (مک لین و جانکوسکی، ۲۰۰۰). در نمونه‌هایی که موقعیت آن‌ها روی خط (امتداد خط) قرار می‌گیرد اگر HCO_3+SO_4 کمتر از ۱۰ meq/l باشد فرآیند انحلال کلسیت و دولومیت و اگر بیشتر از این مقدار باشد انحلال ژیبس و انیدریت فرآیند غالب در ایجاد ترکیب شیمیایی می‌باشد. موقعیت قرار گیری مربوط به پائین خط نشانگر فرآیند تبادل یونی و موقعیت بالای خط نشانگر غالب بودن فرآیند

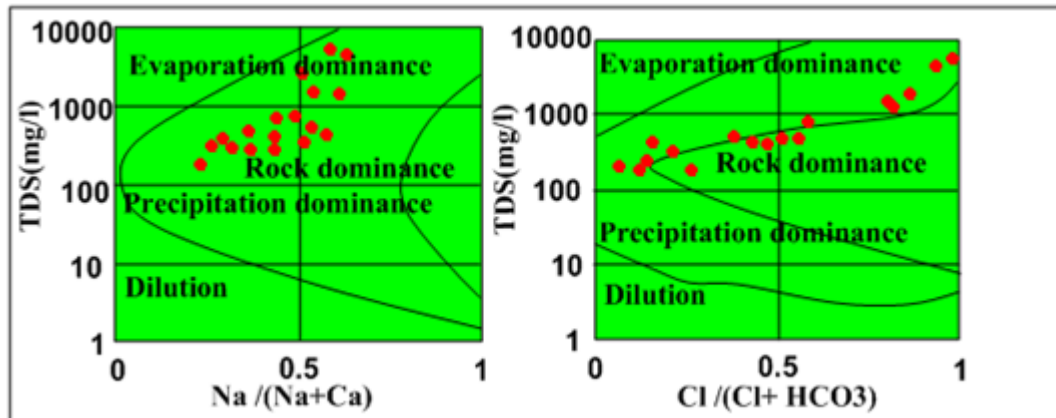


شکل ۹- نمودارهای ترکیبی چند متغیره غلظت یون ها

۴. مکانیسم‌های کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی

گیس مدلی را جهت بررسی مکانیسم‌های کنترل کننده شیمی آب‌ها و شناخت تکاملی آن‌ها، بر مبنای پارامترهای TDS، $Na^{+}/(Na^{++}Ca^{2+})$ و $Cl^{-}/(Cl^{-}+HCO_3^{-})$ با استفاده از جمع آوری و آنالیز نمونه‌های نقاط مختلف دنیا ارائه 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 کردن فرآیندهای مؤثر مانند تبخیر، بارش و هوازگی سنگ بر شیمی تشکیل دهنده‌های محلول (آب) به طور گسترده استفاده می‌شوند (گیبس، ۱۹۷۰). در این مدل در نمونه‌های دارای نسبت $Na/(Na+Ca)$ بالا و TDS پایین، ریزش‌های جوی بیشترین تأثیر را 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 آب‌های شور، به عنوان عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب محسوب می‌شوند (صادقی اقدم، ۱۳۹۱). شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌ها و محدوده مکانیسم‌های کنترل کننده کیفیت

آب زیرزمینی بر روی نمودار گیبس را نشان می‌دهد. توزیع نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس پیشنهاد می‌کند که هوازگی 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. اقلیم نیمه خشک، شیب آرام، نبود شرایط زهکشی خوب و زمان ماندگاری زیاد آب زیرزمینی همچنین در کیفیت آب زیرزمینی نقش دارند. به طور عمده تبخیر که غلظت‌های یون‌های ایجاد شده را از طریق هوازگی شیمیایی افزایش می‌دهد، موجب بالا رفتن شوری می‌گردد. فعالیت‌های انسانی (کودهای کشاورزی و جریان‌های آب برگشتی) همچنین از طریق افزایش مقادیر یون‌های Na^{+} و Cl^{-} و نهایتاً افزایش TDS بر روی تبخیر مؤثر می‌باشند. با توجه به این که آب و هوای منطقه طبق تقسیم بندی دمارتن نیمه خشک است، اقلیم نیمه خشک سیستم‌های آب زیرزمینی را تحت تأثیر فرآیند تبخیر قرار می‌دهد. در طی فصول پر آبی، آب‌هایی تغذیه کننده عمدتاً به سبب شستشوی تبخیریه (نمک‌ها) باعث افزایش غلظت یون‌های تشکیل دهنده آب زیرزمینی می‌شوند (سوبا راو، ۲۰۰۶).



شکل ۱۰- موقعیت نمونه‌ها و محدوده مکانیسم‌های کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی روی نمودار گیبس

نتیجه گیری

شده برای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای، تیپ آب زیرزمینی برای گروه یک از نوع بی کربناته کلسیک بوده و برای گروه دو و سه از نوع کلروره سدیک می‌باشد. برای تعیین منشأ آب زیرزمینی دیاگرام استیف برای همه نمونه‌ها ترسیم شد، با

نمودار خوشه‌ای (دندروگرام) رسم شده برای متشکل‌های شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کهرئز نشان از سه خوشه (گروه) دارد. براساس نمودارهای پایپر رسم

تشکیل دهنده سنگ و تبخیر بر روی شیمی (کیفیت) آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند.

منابع

آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۸۶ صفحه.

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.

فاریابی، م.، ۱۳۸۵. ارزیابی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت

باغملک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید

چمران اهواز.

کلانتری، ن.، رحیمی، م.، اکبری، الف.، ۱۳۸۸. بررسی

هیدروشیمیایی دشت میاناب با استفاده از روش‌های

آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی،

فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره نهم،

صفحات ۲۵-۱۵.

کلانتری، ن.، رحیمی، م.ح. و چرچی، ع.، ۱۳۸۵. استفاده از

دیاگرام‌های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های

اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های

زوبیرچری و خزان، مجله زمین شناسی مهندسی،

شماره دوم، صفحات ۱۱۴-۹۵.

ندیری، ع.، اصغری مقدم، ا.، ۱۳۸۹. استفاده از روش‌های آماری

چند متغیره در مطالعه فرآیندهای هیدروشیمیایی

آبخوان‌ها، مطالعه موردی: دشت تسوج، چهاردهمین

همایش انجمن زمین شناسی، دانشگاه ارومیه.

Akbal, F., Gurel, L., Bahadır, T., Guler, I., Bakan, G., Buyukgungor, H., 2011. Water and sediment quality assessment in the mid-Black Sea coast of Turkey using multivariate statistical techniques, *Environmental earth sciences*, 64(5), 1387-1395

Ashely, R.P., Lloyd, J.W., 1978. An example of the uses of Factor analysis and cluster analysis in groundwater chemistry interpretation. *Journal of Hydrology*, 39, 355-364.

Beatriz, A.H., Vega, M., Barrado, E., Pardo, R. and Fernandez, L., 1998. A case study of hydrochemical characteristics of an alluvium

مقایسه دیاگرام‌های استیف رسم شده با نمودارهای استیف آب‌های حاصل از سنگ‌های مختلف هانسلو (۱۹۹۵) چند منشأ از جمله گابرویی (بازالتی)، آهکی، دولومیتی، شیل، سازندهای نمکی - رسی، آب دریا و یا حالت مخلوطی از منشأ آب‌ها مشاهده گردید. مدل عاملی بکار رفته برای چهار عامل و نوزده متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. عامل یک را می‌توان به فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک و نفوذ احتمالی آب‌های کلروره سدیک دریاچه ارومیه نسبت داد، زیرا یون کلر و سدیم دارای بار عاملی زیادی هستند. عامل دوم را می‌توان به دلیل وجود ارتباط میان یون‌های آلومینیم، منیزیم، سیلیس و آهن، نتیجه فرسایش کانی‌های سنگ‌های الترامافیک دانست. مقادیر بار عاملی منفی pH بیانگر عدم تأثیر افزایش اسیدیته در هیدروشیمی منطقه است که نشانگر افزایش انحلال پذیری عناصر به ویژه کاتیون‌ها با کاهش pH است. پارامترهای عامل سوم نشان دهنده تأثیر فاضلاب‌های خانگی، فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی نیترات دار می‌باشد. عامل چهارم را نیز می‌توان نتیجه هوازدگی شیمیایی سنگ‌های دگرگونی و آذرین همانند گابروها و آمفیبولیت در منطقه دانست، با توجه به این که یون فلئور می‌تواند در ترکیب کانی‌های آبدار همانند آمفیبول جانشین یون هیدروکسید (OH) شده و همچنین فلئور می‌تواند در ترکیب شیمیایی آپاتیت، که به صورت کانی فرعی در ترکیب کانی شناسی سنگ‌های مذکور یافت می‌شود، حضور داشته باشد. با توجه به روش‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده در تحقیق، عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، واکنش بین آب و مواد سازنده آبخوان است. اصلی‌ترین فرآیندهای حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی انحلال و هوازدگی شیمیایی کانی‌های کلسیت و دولومیت و کانی‌های هالیت می‌باشد. منشأ یون سدیم در آب زیرزمینی را افزون بر انحلال هالیت، به فرآیندهای دیگری مانند تبادل یونی و هوازدگی پلاژیوکلازهای غنی از سدیم مانند آلبیت می‌توان نسبت داد. شاخص‌های اشباع بیانگر این است که نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های کلسیت، آراگونیت و دولومیت وضعیت اشباع و فوق اشباع از خود نشان می‌دهند. نتایج حاصل از پلات کردن نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس پیشنهاد می‌کند، که هوازدگی شیمیایی کانی‌های

- Jeong, C.H., 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea, *J. of Hydrology*, 253, 194-210.
- Lee, J.Y., Cheon, J.Y., Lee, K.K., Lee, S.Y., Lee, M.H., 2001. Statistical Evaluation of Geochemical Parameter Distribution in a Ground Water System Contaminated with Petroleum Hydrocarbons, *J. ENVIRON. QUAL.*, 30(4), 1548-1563.
- Liu, C.W., Lin, K.H. and Kuo, Y.M., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan, *The Science of Total Environment*, 313, 77-89.
- Marie, A., Vengosh, A., 2001. Source of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley, *Ground Water*, 39, 240-248.
- Mazore, E., 2004. Chemical and isotopic groundwater hydrogeology, 3rd edition, John Wiley and Sons Company, pp.450.
- McLean, W., Jankowski, J., 2000. Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia. quality assessment in the mid-Black Sea coast of Turkey using multivariate statistical techniques.
- Reghunath, R., Murthy, T.R.S., Raghvan, B.R., 2002. The Utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, *Water Research*, 36, 2437-2442. s11356-012-1127-2.
- Singh, E.J.K., Gupta, A., Singh, N.R., 2012. Groundwater quality in Imphal West district, Manipur, India, with multivariate statistical analysis of data, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, doi: 10.1007.
- Subba Rao, N., 2006. Seasonal variation of ground water quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India *Environ Geol*, 49, 413-429.
- Subbarao, C., Subbarao, N.V., Chandu, S.N., 1996. Characterization of groundwater contamination using factor analysis, *Environmental Geology*, 28(4), 175-180.
- Tlili-Zrelli, B., Hamzaoui-Azaza, F., Gueddari, M., Bouhlila, R., 2012. Geochemistry and quality assessment of groundwater using graphical and multivariate statistical methods, A case study: Grombalia phreatic aquifer (Northeastern Tunisia). *Arab. J. Geosci*, doi: 10.1007/s12517-012-0617-3.
- Usunoff, E.J., Guzman-Guzman, A., 1989. Multivariate Analysis in Hydrochemistry: an Example of the Use of Factor and Correspondence Analyses, *Ground Water*, 27(1), 27-34.
- aquifer influenced by human activities, *Air, Water and Soil pollution Bulletin*.
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., Savard, M., 2008. Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *J. Hydrol*, 353, 294-313.
- Dawdy, D.R., Feth, J.H., 1967. Application of factor analysis in steady state chemistry of groundwater quality, Mojave River Valley, California, *Water Resour. Res.* 3(2), 505-510.
- Devic, G., Djordjevic, D., Sakan, S., 2014. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia, *Science of the Total Environment*, 933-942.
- Environ. Earth Sci*, 64, 1387-1395.
- Evans, C.D., T.D. Davies, P.J. Wigington Jr., M. Tranter, and Kretser, W.A., 1996. Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in the Adirondack Mountains, New York, *J. Hydrol*, 185, 297-316.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 17, 1088-1090.
- Gonzalez Vazquez, J.C., Grande, J.A., Barragan, F.J., Ocana, J.A., and Dela Torre, 2005. Nitrate Accumulation and other Component of the Groundwater in Relation to Cropping System in and Aquifer in Southwestern Spain, *J. Water Resource Management*, 19, 1-22.
- Guler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., Tumer, A.K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *Hydrogeology journal*, 10, 455-474.
- Hem, J.D., 1989. *The Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3rd edn. USGS Water Supply Paper 2254, US Geological Survey.
- Hitchon, B., Billing, G.K., Kolvan, J.E., 1971. Geochemistry and origin of formation waters in the western Canada sedimentary basin, III. Factor controlling chemical composition, *Geochem. Cosmochem. Acta*, 35, 567-598.
- Hounslow, A.W., 1995. *Water quality data: analysis and interpretation*. Lewis publishers, 397p.
- Jankowski, J., Acworth, R.I. and Sherkarforoush, S., 1998. Reverse ion exchange in a deeply weathered porphyritic dacite fracture aquifer system: 9th international symposium on water rock interaction, Toupou, New Zealand, Rotterdam: Balkema, 243-546.