

شناخت فرایندهای مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت کردکندی - دوزدوزان

شهلا سلطانی^۱، اصغر اصغری مقدم^{۲*}، رحیم برزگر^۳، نعیمه کاظمیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
 - ۲- استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
 - ۳- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
 - ۴- کارشناس آزمایشگاه کنترل کیفی آب استان آذربایجان شرقی
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Moghaddam@tabrizu.ac.ir

چکیده

دشت کردکندی - دوزدوزان در شمال غرب ایران در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. به دلیل کمبود منابع آب سطحی مطلوب در این منطقه، آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برای کشاورزی و آشامیدن برخوردار است. هدف این مطالعه، شناخت فرایندهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می باشد. برای این منظور ۲۴ نمونه از منابع آب زیرزمینی در مهرماه سال ۱۳۹۴ جمع آوری گردید و غلظت یون‌های اصلی، نیترات، فلوئوراید و سیلیس اندازه‌گیری شد. اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه‌ها در صحرا و همچنین در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. در این مطالعه از نمودارهای ترکیبی و هیدروشیمیایی مختلف و تجزیه به عوامل برای دستیابی به هدف مورد اشاره استفاده گردید. نتایج حاصل از نمودارهای ترکیبی نشان داد که انحلال کانی‌هایی همچون سیلیکات‌ها، کربنات‌ها و تبخیری‌ها و فعالیت‌های انسانی عوامل مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. نتایج حاصل از تجزیه به عوامل نشان داد که سه عامل با مجموع واریانس ۸۵/۳ درصد، در کیفیت آب زیرزمینی منطقه مؤثرند که عامل اول و سوم زمین‌زاد و عامل دوم انسان‌زاد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، تجزیه به عوامل، دشت کردکندی - دوزدوزان، هیدروشیمی

Identifying Effective Processes on Groundwater Chemistry of the Kordkandi-Duzduran Plain Aquifer

S Soltani¹, A Asghari Moghaddam^{2*}, R Barzegar³, N Kazemian⁴

Received: 17 May 2016 Accepted: 14 January 2017

1- M.Sc. student of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, Univ. of Tabriz, Iran

2- Prof., Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences. Univ. of Tabriz, Iran.

3- Ph.D student of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, Univ. of Tabriz, Iran

4- Expert at Water Quality Control Laboratory of East Azarbaijan Province, Iran

* Corresponding Author, Email: Moghaddam@tabrizu.ac.ir

Abstract

Kordkandi-Duzduran plain is located in East Azarbaijan province, Northwest of Iran. Groundwater is the most important source of agricultural and drinking water in the study area, due to scarcity of the suitable surface water resources. The aim of this study is to identify the effective processes on groundwater chemistry of the study area. For this purpose, 24 water samples were collected from groundwater resources in October 2015 and concentration of the major ions, nitrate, fluoride and silica were measured. The pH and electrical conductivity of the samples were measured in the field as well as in the laboratory. In this study, different bivariate and hydrochemical diagrams and principal component analysis were used to achieve the mentioned purpose. The results of the bivariate diagrams show that dissolution of minerals such as silicates, carbonates and evaporates and anthropogenic activities are the effective factors on groundwater chemistry of the region. The results of the principal component analysis show that three components with cumulative variance of 85.3% are effective in groundwater quality of the study area of which the first and third components are geogenic and the second component is anthropogenic.

Keywords: Groundwater, Hydrochemistry, Kordkandi-Duzduran plain, Principal component analysis

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین در جهان است. در سال‌های اخیر، به علت مواجهه جهانی با کمبود منابع آبی، مطالعه هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی موضوع بسیاری از تحقیقات هیدرولوژیکی را به خود اختصاص داده است.

بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی در مقیاس حوضه‌ای به علت کمک فراوان آن در شناخت توزیع مکانی و زمانی شیمی آب زیرزمینی و مدیریت بهتر منابع آب زیرزمینی برای تأمین منابع آبی خانگی، صنعتی و کشاورزی دارای اهمیت خاصی می‌باشد (هوسونو و همکاران ۲۰۰۹، آیوت و همکاران ۲۰۱۱). در حالت کلی

هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی به‌طور عمده توسط فرایندهای طبیعی شامل واکنش آب با سنگ، سرعت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه‌شده، واکنش با انواع دیگر آبخوان‌ها و فعالیت‌های انسانی شامل کشاورزی، صنعت، توسعه شهری و افزایش بهره‌برداری از منابع آب تحت تأثیر قرار می‌گیرند (چان ۲۰۰۱).

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروشیمیایی که کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مشکل است. به همین جهت محققان از روش‌های آماری چندمتغیره از جمله تجزیه به عوامل برای این بررسی استفاده می‌کنند (برزگر ۱۳۹۲). تجزیه به عوامل یک روش زمین‌آمار چندمتغیره است که

اجزای اصلی^۴ (PCA) و تحلیل تفکیکی^۵ (DA) به ارزیابی تغییرات و تفسیر داده‌های کیفی آب زیرزمینی دشت هشتگرد پرداختند. آنها پی بردند که پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت هشتگرد عمدتاً شامل عوامل طبیعی، آلودگی با منبع نقطه‌ای و منبع غیرنقطه‌ای می‌باشند. برزگر و همکاران (۱۳۹۵) نیز با استفاده از نمودارهای هیدروشیمیایی و روش‌های آماری همچون تحلیل عاملی، ویژگی‌های هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که واکنش آب-سنگ، تأثیر سازندها و فعالیت‌های انسانی و کشاورزی در هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت تبریز مؤثرند.

در دشت دوزدوزان- کردکندی، به دلیل کمبود منابع آب سطحی مطلوب، آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برای کشاورزی و آشامیدن برخوردار است. هدف از این مطالعه ارزیابی فرایندهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت کردکندی- دوزدوزان می‌باشد که برای این منظور از نمودارهای ترکیبی و هیدروشیمیایی و روش‌های آماری استفاده گردید. شناخت فرایندهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی منطقه می‌تواند برای مدیریت و توسعه منابع آب زیرزمینی منطقه اهمیت خاصی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

دشت کردکندی- دوزدوزان از شمال به دشت مهربان، از جنوب به کوه‌های قملار و قاسم‌داغی، از شرق به رودخانه آجی‌چای و از غرب به رودخانه اوجان‌چای منتهی می‌شود (شکل ۱). این دشت وسعتی معادل ۱۲۸ کیلومتر مربع دارد و جزو حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. بر اساس اطلاعات گردآوری‌شده از ایستگاه هواشناسی برازین، میانگین دمای سالانه در منطقه برابر

ارتباط بین نمونه‌ها و متغیرها را بیان می‌کند (جولیف ۲۰۰۲، منسیو و مس‌پلا ۲۰۰۸). این روش برای مطالعات رخساره‌های هیدروشیمیایی و تعیین منشأ آن‌ها، مطالعات آلودگی آب‌های زیرزمینی، و شناسایی فرایندهای زمین‌زاد و انسان‌زاد مؤثر در آن‌ها به کار برده می‌شود (دراگون ۲۰۰۶، آریس و همکاران ۲۰۰۷). یکی دیگر از روش‌های تفسیر فرایندهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی، ترسیم نمودارهای دومتغیره‌ای است که به نمودارهای ترکیبی معروف هستند. با توجه به نحوه آرایش نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرایندهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی را تعیین کرد (فاریابی و همکاران ۱۳۸۹).

مطالعات متعددی با استفاده از روش‌های آماری و هیدروژئوشیمیایی بر روی شیمی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. ردوان و عبدالمنیم (۲۰۱۶) با استفاده از نمودارهای ترکیبی^۱ و تحلیل عاملی^۲ فاکتورهای مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی منطقه غرب تحتاً در مصر را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شوری عمده آب زیرزمینی این منطقه عمدتاً از رس‌های پلیوسن و به علت تعویض یونی می‌باشد. مطالعه آنان نشان داد که ترکیب تحلیل عاملی و تحلیل‌های زمین‌شناسی- هیدروژئولوژیکی آبخوان، می‌تواند در شناخت روند ژئوشیمیایی و منابع آلودگی مفید باشد. در مطالعه‌ای دیگر در چین، وو و همکاران (۲۰۱۴) برای تعیین فرایندهای هیدروژئوشیمیایی طبیعی منابع آب زیرزمینی در معدن فسفریت از روش‌های آماری چندمتغیره و تحلیل همبستگی بهره گرفتند. آنان دریافتند که سه عامل تعویض یونی، تغذیه از مناطق بالادست و تبخیر عوامل تأثیرگذار بر شیمی آب زیرزمینی در سیچوان می‌باشند. در ایران نیز در سال ۲۰۱۲، نصرتی و ایکهات با به‌کارگیری روش‌های آماری چندمتغیره مانند تحلیل خوشه‌ای^۳ (CA)، تحلیل عاملی (FA)، تحلیل

4- Principal component analysis

5- Discriminant analysis

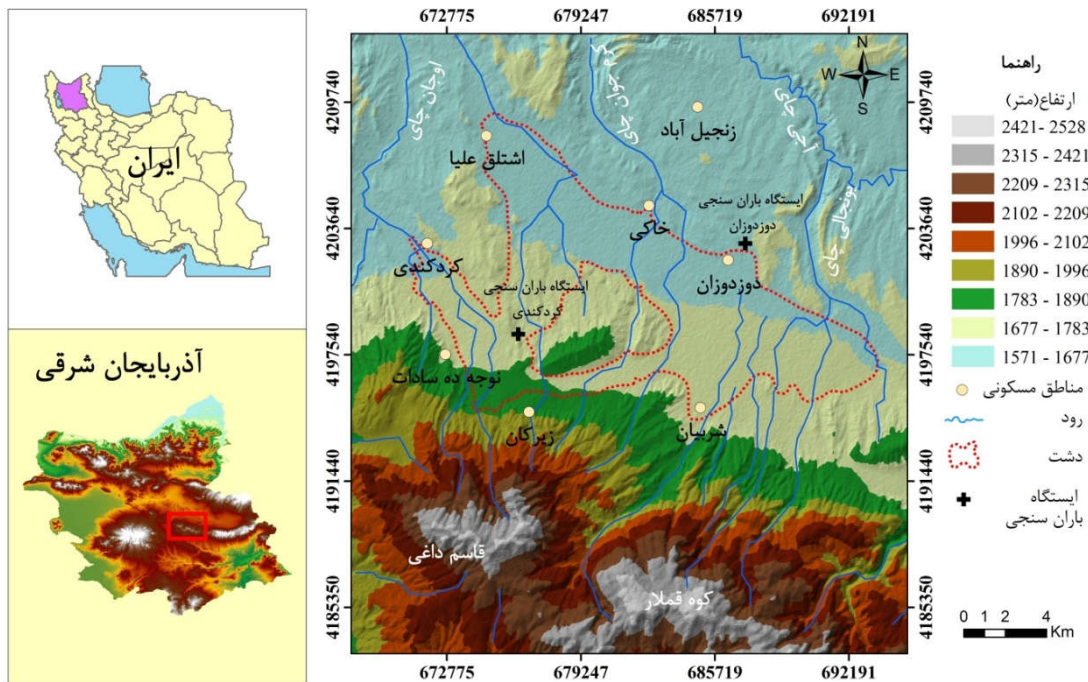
1- Bivariate diagram

2- Factor analysis

3- Clustering analysis

۷/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط سالانه ریزش- های جوی ایستگاه‌های کردکندی و دوزدوزان برابر ۲۶۹/۱۹ و ۲۷۴/۹ میلی‌متر در سال در طول بازه زمانی

۱۳۸۷-۷۹ تا ۱۳۹۲-۹۳ گزارش شده‌است. این منطقه از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود.

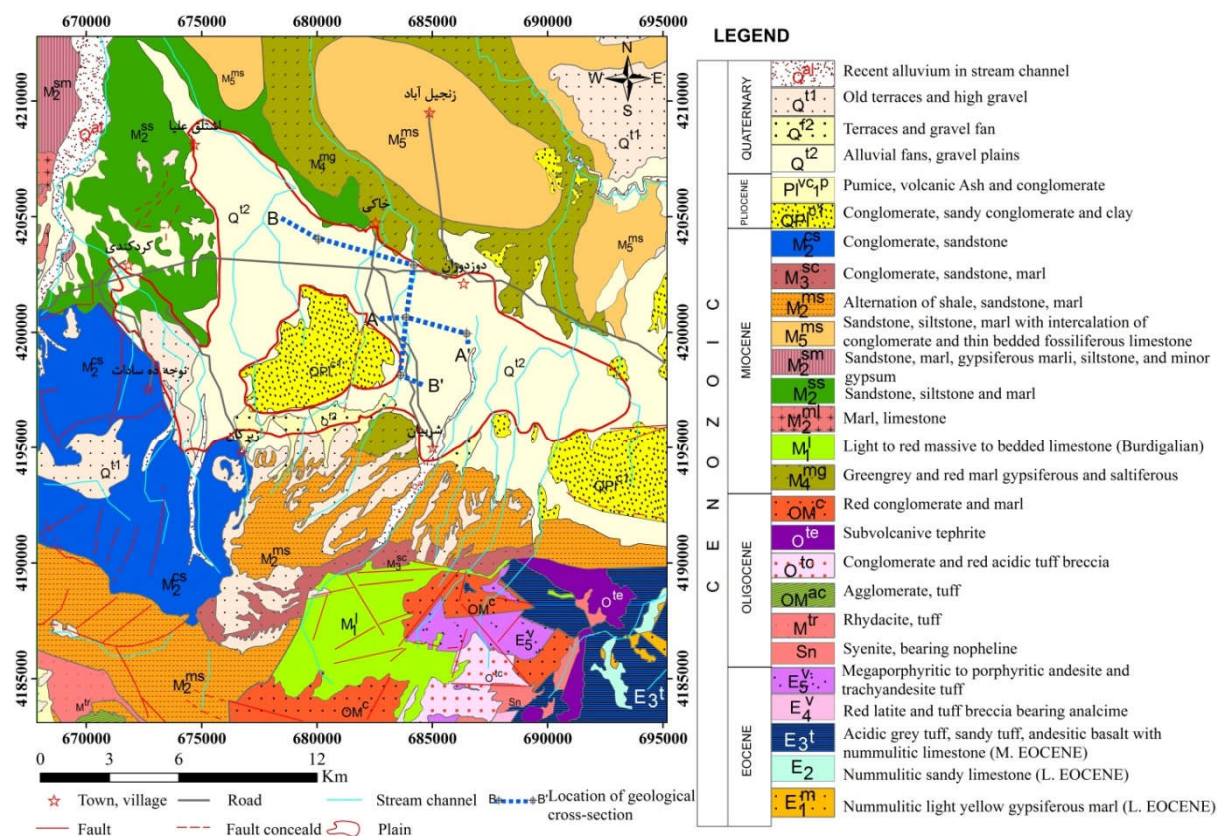


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

زمین‌شناسی

در حوضه آبریز محدوده مطالعاتی رخنمون سنگ‌های کهن‌تر از ائوسن شناسایی نگردیده است. مساحت وسیعی از پیرامون دشت با سازندهای سری میوسن پوشیده شده است. رسوبات میوسن تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل مارنی، سنگ آهک ریفی، کنگلومرا، توف، مارن و سیلت را شامل می‌شود. برونزد اصلی واحد M_4^{mg} در کناره رودخانه آجی‌چای و شمال‌غرب شریبان و اطراف دوزدوزان دیده می‌شود. در این واحد لایه‌های قابل ملاحظه‌ای از گچ و نمک وجود دارد. وجود لایه تبخیری در این واحد و عبور رودخانه آجی‌چای از این واحد، سبب شوری آب رودخانه آجی‌چای شده است. رسوبات سری پلیوسن ارتفاعات واقع در مرکز دشت و همچنین به‌صورت پراکنده شمال و شرق دشت را پوشانده است. این رسوبات یک سری کنگلومرای گرد

شده ناهمجنس هستند که به‌طور دگرشیب بر روی واحدهای میوسن قرار گرفته‌اند. رسوبات کواترنری نهشته‌های آبرفتی دشت‌ها غالباً از کنگلومرا، ماسه، رس، قلوه‌سنگ و شن تشکیل یافته است. واحد Q^2 پادگانه‌های آبرفتی جدید از آبدهی بسیار بالایی برخوردارند و تأمین‌کننده‌ی اصلی نیاز آبی منطقه می‌باشند. همچنین رسوبات رودخانه‌ای عهد حاضر Q^{al} نیز از آبدهی بسیار خوبی برخوردارند. به‌طور کلی، دشت کردکندی- دوزدوزان از نظر چینه- شناسی شامل سازندهای کواترنری، پلیوسن و میوسن می‌باشد. از بین واحدهای سنگی دوره‌های قبل از کواترنری، با توجه به لیتولوژی آن‌ها به نظر می‌رسد که واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرای میوسن، آبدهی خوبی دارند. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی.

هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه از جنوب توسط رودخانه دائمی اوجان‌چای و دو مسیل فصلی کرم‌جوان-چای و یونجالی‌چای جمع‌آوری گردیده و به رودخانه آجی‌چای می‌ریزد. جهت حرکت رودخانه آجی‌چای در منطقه از جنوب‌شرق به شمال‌غرب می‌باشد و رودخانه اوجان‌چای در شمال‌غرب منطقه به آن می‌پیوندد. شکل ۱ رودخانه‌های واقع در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از حفاری چاه‌های مشاهده‌ای و مطالعات ژئوفیزیک نشان داد که آبخوان دشت کردکندی- دوزوزان از نوع آزاد است. آبخوان آزاد تشکیل شده، از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، پادگانه‌های آبرفتی جدید، مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای تشکیل یافته و مواد تشکیل‌دهنده آن رسوبات شن، ماسه، سیلت، لای و رس می‌باشد. مواد تشکیل‌دهنده آبخوان دامنه‌ها، کناره‌های دشت و مخروط‌افکنه‌ها، دانه‌درشت

بوده و هر چه به مرکز دشت نزدیک‌تر می‌شود، دانه-ریزتر می‌گردد (بی‌نام ۱۳۸۸). نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی نشان داد که رسوبات آبرفتی مربوط به مخروط‌افکنه‌ی شربیان از جنوب به شمال دشت به تدریج دانه‌ریز می‌شود، به طوری که در شمال دشت، مواد رسی همراه با املاح شور پوشش سطحی را تشکیل می‌دهد، حال آنکه در جنوب دشت، رسوبات آبرفتی دانه‌درشت آبخوان آبرفتی را می‌پوشاند. تراس‌های کنگلومرایی یا رسی مربوط به دوره‌ی پلیوکواترنری در حاشیه‌های شرقی و غربی به عنوان سنگ کف آبخوان تشخیص داده شد و در بخش قابل‌توجهی از آبخوان، لایه‌ی مارنی یا رسی همراه با گچ و نمک مربوط به دوره‌ی میوسن سنگ کف آبخوان را تشکیل می‌دهد (علیزاده ۱۳۸۷). جهت جریان آب زیرزمینی و شیب هیدرولیکی در دشت کردکندی، عمدتاً از سمت جنوب دشت به سمت

و کاتیون سیلیس به روش اسپکتروفوتومتری و سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها به روش حجم‌سنجی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند.

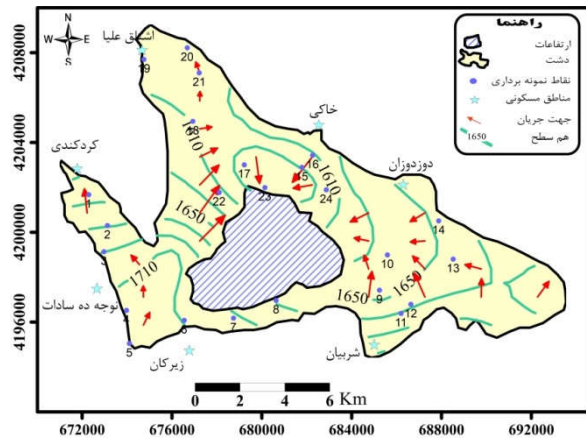
نتایج و بحث

جدول ۱ توصیف آماری نتایج تحلیل هیدروشیمیایی نمونه‌های تجزیه شده را نشان می‌دهد. مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌ها بین ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به دست آمد. در حالت کلی آب زیرزمینی منطقه دارای مقادیر pH بین ۶/۵ تا ۷/۸۵ بود که نشان‌گر نوع آب کمی اسیدی تا کمی قلیایی است. فراوانی کاتیون‌های اصلی در آب زیرزمینی منطقه بر اساس مقدار متوسط، به صورت $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}$ می‌باشد در حالی که فراوانی آنیون‌های اصلی به صورت $HCO_3^{-} > CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$ می‌باشد.

تیپ آب زیرزمینی

جهت تعیین تیپ آب زیرزمینی از دیاگرام پایپر استفاده گردید (شکل ۴). بر اساس دیاگرام رسم شده، چهار تیپ آب زیرزمینی در منطقه شناسایی شد. تیپ $Ca-HCO_3$ ، ۱۲/۵ درصد از نمونه‌ها را به خود اختصاص داده و در منطقه تغذیه واقع شده است. این تیپ نشان‌گر جوان بودن آب در نقاط نمونه‌برداری است. تیپ $Ca-Cl$ ، ۱۲/۵ درصد از نمونه‌ها را شامل می‌شود. ترکیب شیمیایی این نمونه‌ها با نوع سازندهای موجود در منطقه در ارتباط است. ۸/۵ درصد از نمونه‌ها دارای تیپ $Na-Cl$ می‌باشند. نمونه‌ها در این تیپ ترکیبی متمایل به ترکیب شیمیایی آب دریا را نشان داده و در منطقه تخلیه واقع شده‌اند. مشخصه این تیپ شوری بالا می‌باشد. تیپ غالب در منطقه، تیپی حاصل از اختلاط $Ca-Cl-Mg$ می‌باشد که ۶۶/۵ درصد از نمونه‌ها را شامل می‌شود. در این تیپ از آب، هیچ آنیون و کاتیونی غالب نمی‌باشد. این نمونه‌ها غالباً در مسیر جهت جریان مابین مناطق تغذیه و تخلیه قرار گرفته‌اند.

شمال و نیز از ناحیه جنوب‌غرب به سمت شمال‌غرب منطقه می‌باشد، البته باید به این نکته اشاره کرد که در قسمت شرق محدوده کردکندی به علت تخلیه‌ی محلی آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی از مسیر اصلی خود منحرف شده است. در دشت دوزدوزان نیز جهت جریان و شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی از حاشیه‌های شمالی و جنوبی دشت به طرف بخش مرکزی و منتهی‌الیه غربی آبخوان و از حاشیه جنوبی دشت به سمت شرق دشت می‌باشد (شکل ۳).



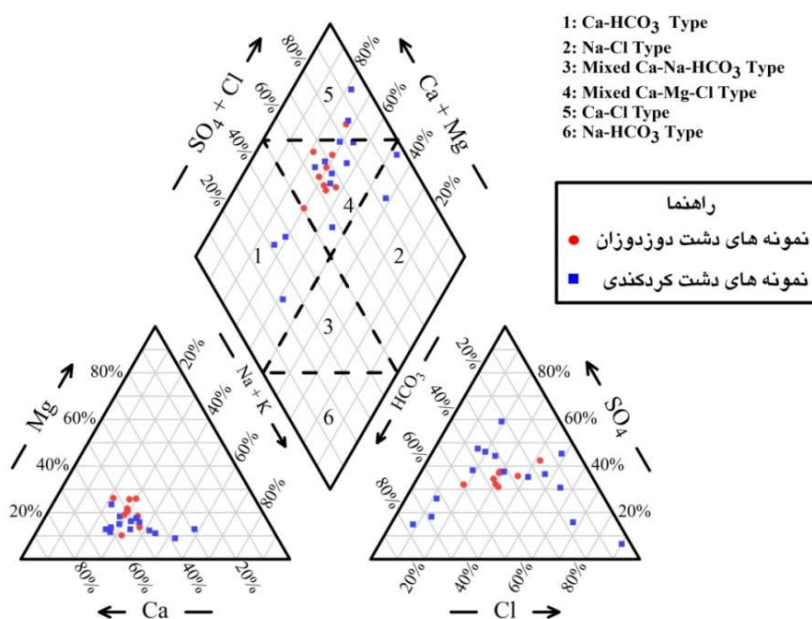
شکل ۳- جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت محل‌های نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی.

نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی

به منظور ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، ۲۴ نمونه از منابع آب زیرزمینی دشت کردکندی- دوزدوزان در مهرماه سال ۱۳۹۴ برداشت گردید. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۳ نشان داده شده است. تمامی نمونه‌ها در بطری‌های پلی‌اتیلن و در طی دو روز متوالی جمع‌آوری شدند و به آزمایشگاه آب-شناسی دانشگاه تبریز انتقال یافتند. پارامترها و یون‌های اندازه‌گیری شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، نترات، فلئوراید و سیلیس می‌باشند. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای، آنیون‌های سولفات، فلئوراید و نترات

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی منطقه مطالعاتی.

| پارامتر | واحد | کمینه | بیشینه | میانه | میانه | انحراف معیار | ضریب تغییرات |
|-------------------------------|----------------------|--------|---------|---------|---------|--------------|--------------|
| EC | μScm^{-1} | ۴۰۰/۰۰ | ۵۰۰۰/۰۰ | ۱۰۱۵/۰۰ | ۱۰۱۵/۰۰ | ۱۰۵۱/۵۵ | ۱/۳۰ |
| pH | - | ۶/۵۰ | ۷/۸۵ | ۷/۵۰ | ۷/۵۰ | ۰/۳۵ | ۲۱/۱۷ |
| Ca ²⁺ | mg/L | ۴۴/۹۱ | ۳۸۶/۵۶ | ۱۰۴/۲۶ | ۱۰۴/۲۶ | ۹۶/۸۴ | ۱/۴۴ |
| Mg ²⁺ | mg/L | ۶/۸۰ | ۱۰۱/۰۸ | ۲۲/۳۵ | ۲۲/۳۵ | ۲۴/۰۸ | ۱/۲۳ |
| Na ⁺ | mg/L | ۳۳/۴۸ | ۶۰۰/۱۷ | ۷۹/۶۳ | ۷۹/۶۳ | ۱۱۳/۵۴ | ۰/۹۷ |
| K ⁺ | mg/L | ۱/۴۸ | ۱۶/۵۸ | ۴/۰۸ | ۴/۰۸ | ۳/۰۵ | ۱/۵۶ |
| HCO ₃ ⁻ | mg/L | ۱۰۷/۳۶ | ۳۶۱/۱۲ | ۲۱۱/۰۶ | ۲۱۱/۰۶ | ۶۰/۷۶ | ۳/۳۷ |
| CO ₃ ⁻ | mg/L | ۲/۴۰ | ۴/۸۰ | ۳/۶۰ | ۳/۶۰ | ۱/۶۹ | ۲/۱۳ |
| Cl ⁻ | mg/L | ۱۴/۹۹ | ۱۶۵۹/۴۸ | ۱۰۹/۹۶ | ۱۰۹/۹۶ | ۳۴۰/۶۶ | ۰/۶۵ |
| SO ₄ ²⁻ | mg/L | ۳۶/۷۱ | ۷۳۱/۰۳ | ۱۸۶/۰۹ | ۱۸۶/۰۹ | ۱۶۵/۸۵ | ۱/۳۶ |
| NO ₃ ⁻ | mg/L | ۳/۳۱ | ۱۳۲/۵۲ | ۲۱/۱۹ | ۲۱/۱۹ | ۲۵/۴۲ | ۱/۰۶ |
| F ⁻ | mg/L | ۰/۲۵ | ۱/۳۵ | ۰/۵۲ | ۰/۵۲ | ۰/۲۱ | ۲/۶۱ |
| SiO ₂ | mg/L | ۱۶/۸۹ | ۶۲/۵۰ | ۳۷/۶۱ | ۳۷/۶۱ | ۱۳/۱۹ | ۲/۹۲ |

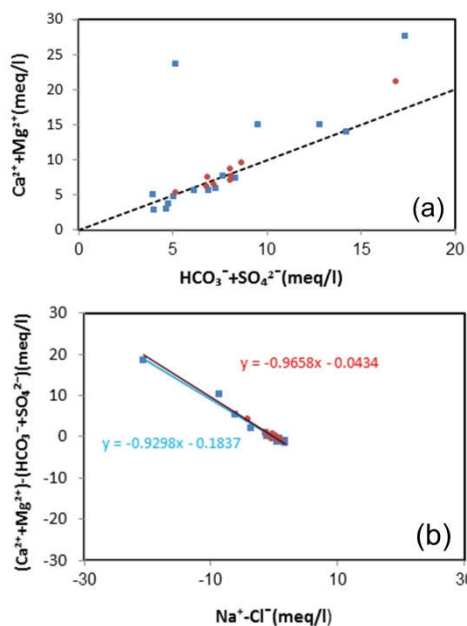


شکل ۴- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی (مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های دشت‌های کردکندی و دوزدوزان).

زیرزمینی می‌توانند تأثیر داشته باشند. برای شناخت این فرایندهای مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی، از نمودارهای ترکیبی مختلف استفاده گردید.

فرایندهای مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی فرایندهای مختلفی از جمله انحلال و هوازگی سنگ‌ها و کانی‌ها، تبخیر و فعالیت‌های انسانی بر هیدروشیمی آب

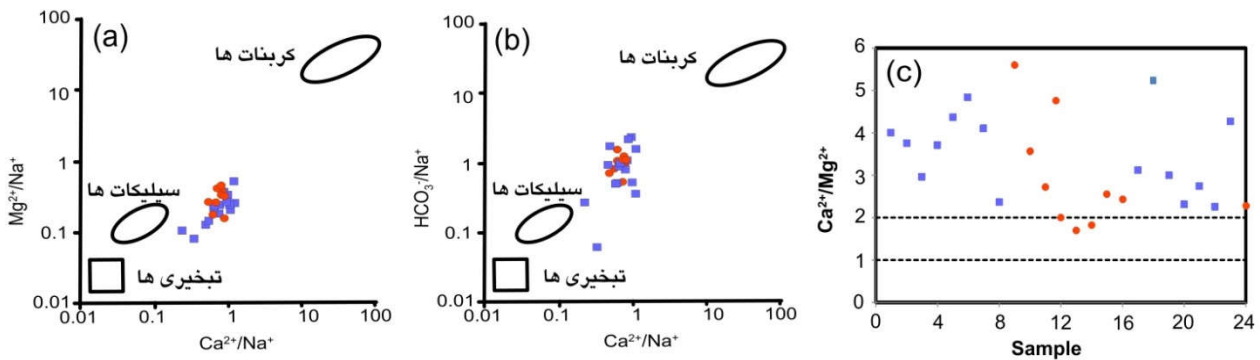
زیرزمینی منطقه مؤثر هستند. شکل ۷c نسبت Ca^{2+}/Mg^{2+} را برای هر نمونه نشان می‌دهد. اگر نسبت Ca^{2+}/Mg^{2+} برابر ۱ باشد انحلال دولومیت رخ داده است در حالی که نسبت بالاتر نشان‌دهنده سهم بیشتر کلسیت در این انحلال است (مایا و لوکس ۱۹۹۵). نسبت مولار Ca^{2+}/Mg^{2+} بیشتر از ۲، انحلال کانی‌های سیلیکاته را نشان می‌دهد که کلسیم و منیزیم را به آب وارد می‌کنند. نسبت Ca^{2+}/Mg^{2+} برای اکثر نمونه‌های منطقه مورد مطالعه انحلال کانی‌های سیلیکاته را نشان داد، به غیر از دو مورد که بین نسبت ۱ و ۲ قرار گرفته است و احتمالاً هوازگی کانی کلسیت را نشان می‌دهد.



شکل ۵- (a) نمودار $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ مقابل $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ (b)، (c) نمودار $(Na^+ + Cl^-)$ مقابل $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ (مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های دشت‌های کردکندی و دوزدوزان).

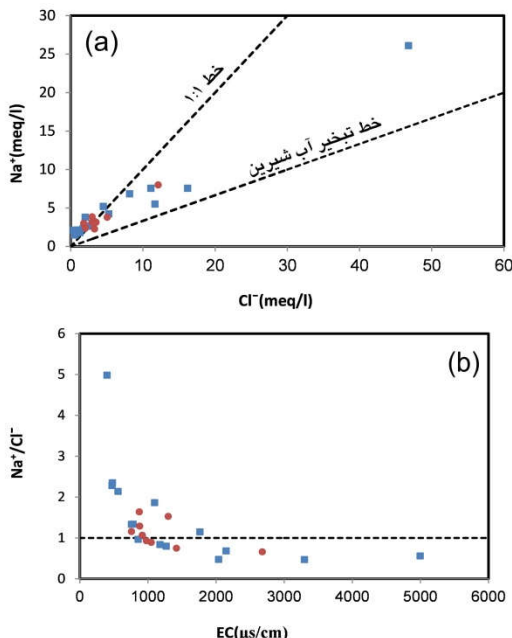
در نمودار $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ مقابل $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ (شکل ۵a) اگر واکنش حاکم بر سیستم انحلال کلسیت، دولومیت، انیدریت و ژپس باشد، پراکندگی نمونه‌ها به خط تعادل ۱:۱ نزدیک خواهد بود (کومار و همکاران ۲۰۰۶، ونوگوپال و همکاران ۲۰۰۹). در تعویض یونی عادی با توجه به غلظت زیاد بی‌کربنات و سولفات، پراکندگی نمونه‌ها به سمت راست نمودار متمایل خواهد شد در حالی که در تعویض یونی معکوس به علت این که مقادیر $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ از $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ بیشتر است، پراکندگی نمونه‌ها به سمت چپ نمودار متمایل خواهد داشت (سرلینگ و همکاران ۱۹۸۹، فیشر و مولیکان ۱۹۹۷، بلخیری و همکاران ۲۰۱۱). علاوه بر این، اگر فرایند تعویض یونی در آب زیرزمینی غالب باشد، در نمودار $(Na^+ + Cl^-)$ در مقابل $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ پراکندگی نمونه‌ها باید خطی با شیب (-۱) باشد (فیشر و مولیکان ۱۹۹۷، برزگر و همکاران ۲۰۱۶). در منطقه مورد مطالعه، پراکندگی نمونه‌ها در هر دو طرف نمودار $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ در مقابل $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ و همچنین فواصل آن‌ها نسبت به خط ۱:۱ نشان می‌دهد که آب زیرزمینی منطقه توسط فرایندهای انحلال، تعویض یونی عادی و معکوس کنترل می‌شود (شکل ۵a). علاوه بر این در نمودار $(Na^+ + Cl^-)$ در مقابل $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ ، شیب‌های $-۰/۹۳$ و $-۰/۹۶$ به ترتیب برای نمونه‌های دشت‌های دوزدوزان و کردکندی، نشان‌دهنده فرایند تعویض یونی است (شکل ۵b).

نمودارهای Ca^{2+}/Na^+ در مقابل HCO_3^-/Na^+ و Mg^{2+}/Na^+ جهت درک تیپ سنگ مؤثر در شیمی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۶a,b). این نمودارها نشان می‌دهند که غالباً هوازگی سنگ‌های سیلیکاته با سهم اندکی از سنگ‌های کربناته بر شیمی آب



شکل ۶- (a) موقعیت نمونه‌ها در نمودار Ca^{2+}/Na^+ در مقابل Mg^{2+}/Na^+ (b) موقعیت نمونه‌ها در نمودار Ca^{2+}/Na^+ در مقابل HCO_3^-/Na^+ (c) نمودار نسبت Ca^{2+}/Mg^{2+} نمونه‌ها (مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های دشت‌های کردکندی و دوزدوزان).

شکل ۷a، پراکندگی نمونه‌ها در نمودار سدیم در مقابل کلر نسبت به خط تعادل ۱:۱ و خط تبخیر آب شیرین را نشان می‌دهد (سوباراو و سوریاراو ۲۰۱۰). این نمودار نشان‌گر تأثیر فرایند تبخیر در غلظت بالای سدیم آب زیرزمینی می‌باشد. محل قرارگیری نمونه‌های آب زیرزمینی در بالای خط تبخیر آب شیرین نشان می‌دهد که تبخیر یکی از فرایندهای کنترل کننده در شیمی آب زیرزمینی منطقه است. با این وجود سدیم موجود در نمونه‌ها می‌تواند از سایر فرایندها نیز حاصل شده باشد. ضریب همبستگی بالای سدیم و کلر ($r = 0.932$) نشان می‌دهد که این یون‌ها منشأ مشترکی دارند و انحلال هالیت نیز می‌تواند منشأ یون سدیم باشد.



شکل ۷- (a) نمودار Na^+ در مقابل Cl^- (b) Na^+/Cl^- در مقابل EC (مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های دشت‌های کردکندی و دوزدوزان).

جانکوسکی و آکورت (۱۹۹۷) پیشنهاد کردند که در سیستم‌هایی که تبخیر تنها فرایند غالب است، با فرض این‌که هیچ نوع کانی رسوب نکند، نسبت Na^+/Cl^- ثابت خواهد بود. از این‌رو نمودار Na^+/Cl^- در مقابل EC یک خط افقی خواهد بود. همچنین اگر سدیم از انحلال هالیت ناشی شود، نسبت مولار Na^+/Cl^- حدوداً برابر یک خواهد بود. در حالی که در نسبت بزرگ‌تر از یک، سدیم معمولاً از هوازگی سیلیکات حاصل می‌شود (مییک ۱۹۸۷). تغییرات نسبت مولی Na^+/Cl^- برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۰/۴۶ تا ۴/۹۷ است (شکل ۷b). حدود ۴۶ درصد از نمونه‌هایی که نسبت مولی

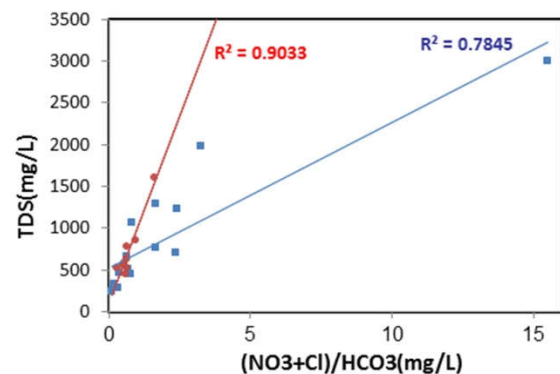
شکل ۷a، پراکندگی نمونه‌ها در نمودار سدیم در مقابل کلر نسبت به خط تعادل ۱:۱ و خط تبخیر آب شیرین را نشان می‌دهد (سوباراو و سوریاراو ۲۰۱۰). این نمودار نشان‌گر تأثیر فرایند تبخیر در غلظت بالای سدیم آب زیرزمینی می‌باشد. محل قرارگیری نمونه‌های آب زیرزمینی در بالای خط تبخیر آب شیرین نشان می‌دهد که تبخیر یکی از فرایندهای کنترل کننده در شیمی آب زیرزمینی منطقه است. با این وجود سدیم موجود در نمونه‌ها می‌تواند از سایر فرایندها نیز حاصل شده باشد. ضریب همبستگی بالای سدیم و کلر ($r = 0.932$) نشان می‌دهد که این یون‌ها منشأ مشترکی دارند و انحلال هالیت نیز می‌تواند منشأ یون سدیم باشد.

تجزیه به عوامل

برای به‌کارگیری روش آماری تجزیه به عوامل، بایستی ابتدا پارامترها استاندارد شوند. این کار به منظور غلبه بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرها انجام می‌گیرد (فیتزپاتریک و همکاران ۲۰۰۷). به‌دست آوردن عوامل از پارامترهای مورد استفاده مرحله بعدی این روش می‌باشد که برای انجام تجزیه از روش اجزای اصلی استفاده گردید. چرخش عوامل اصلی به روش واریماکس^۶ صورت گرفت (برزگر و همکاران ۲۰۱۵). برای این منظور ابتدا مقادیر ویژه^۷، واریانس، درصد واریانس و واریانس جمعی بارهای عاملی برای بررسی دقیق متغیرها و انتخاب مناسب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه می‌شوند. عموماً در این روش مقادیر ویژه بالاتر از یک را به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیستم در نظر می‌گیرند (اصغری مقدم و برزگر ۱۳۹۳b).

جدول ۲ ماتریس عوامل را نشان می‌دهد. بر اساس روش تجزیه به عوامل، سه عامل اصلی با مجموع واریانس ۸۵/۳ درصد، شیمی آب زیرزمینی منطقه را کنترل می‌کند. عامل اول (PC1)، شامل یون‌های سدیم، پتاسیم، کلراید، کلسیم، منیزیم، سولفات و هدایت الکتریکی می‌باشد و حدود ۵۰ درصد از تغییرات شیمی آب زیرزمینی را کنترل می‌کند. این عامل نشان‌دهنده روند عمومی آب‌های زیرزمینی است و نشان‌گر تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی در آب زیرزمینی و انحلال کانی‌های موجود در سازندهای میوسن و پلیوسن موجود در منطقه می‌باشد. این عامل به‌علت تأثیر هدایت الکتریکی در آن، مؤثرترین عامل شوری محسوب می‌شود. در این عامل، بارهای عاملی قوی بین سدیم و پتاسیم هوازدگی طبیعی کانی‌های سنگ‌ها و فرایندهای تعویض یونی گوناگون را بیان می‌کند (درور ۱۹۹۷). شکل ۹ نقشه توزیع مکانی بارهای عاملی را نشان می‌دهد که در این نقشه از روش درونیابی کریجینگ^۸ استفاده

سازندهای زمین‌شناسی به همراه فاضلاب‌های خانگی، شهری و صنعتی، استفاده از کودهای کشاورزی شیمیایی و حیوانی می‌توانند یون‌های نترات، سولفات، کلر و سدیم را به آب‌های زیرزمینی اضافه کنند. جهت درک اثر فعالیت‌های انسانی بر شیمی آب‌های زیرزمینی می‌توان از نمودار TDS در مقابل $(NO_3 + Cl^-)/HCO_3^-$ (شکل ۸) استفاده کرد (اصغری مقدم و برزگر ۱۳۹۳a، هان و لیو ۲۰۰۴، جلالی ۲۰۰۹). به عبارت دیگر مقدار ضریب تعیین (R^2) بالای این یون‌ها و TDS نشان‌دهنده آثار فعالیت‌های انسانی در آب‌های زیرزمینی خواهد بود. با توجه شکل ۱۰ مقدار ضریب تعیین بالایی بین TDS و $(NO_3^- + Cl^-)/HCO_3^-$ برای آب زیرزمینی هر دو دشت کردکندی ($R^2 = 0.78$) و دوزدوزان ($R^2 = 0.90$) به دست آمده است. بر اساس R^2 ، فعالیت‌های انسانی مهم‌ترین دلیل حضور نترات در منطقه می‌باشد. همچنین مقدار ضریب تعیین بالای این پارامترها برای دشت دوزدوزان در مقایسه با دشت کردکندی نشان می‌دهد که آب زیرزمینی دشت دوزدوزان بیشتر از دشت کردکندی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است.



شکل ۸- نمودار TDS در مقابل $(NO_3^- + Cl^-)/HCO_3^-$

(مربع‌ها و دوائر به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های دشت-های کردکندی و دوزدوزان).

8- Kriging interpolation

6- Varimax

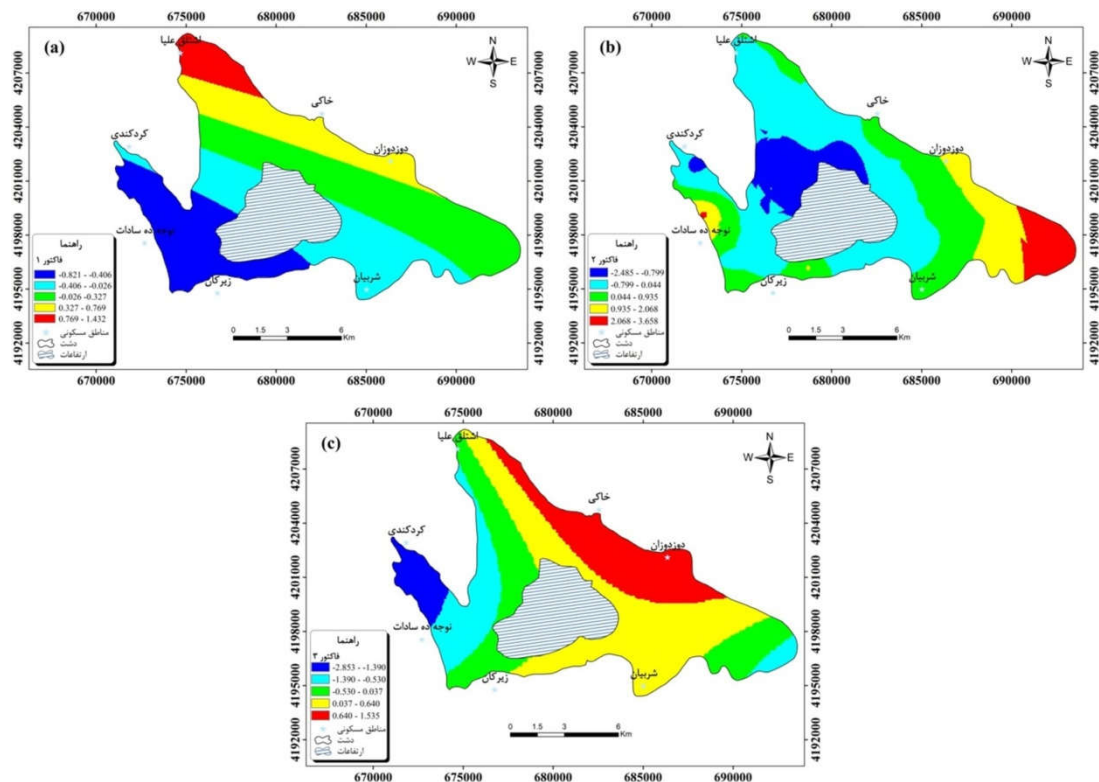
7- Eigenvalues

مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آن‌ها، می‌توان گفت که عامل اول و سوم نشان‌دهنده تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه در آب زیرزمینی است و زمین‌زاد نامیده می‌شود و عامل دوم که حاصل تأثیر فعالیت‌های انسانی و کشاورزی در آب زیرزمینی منطقه است، انسان‌زاد نامیده می‌شود.

جدول ۲- نتایج تجزیه به عوامل پس از چرخش واریماکس.

| متغیرها | PC1 | PC2 | PC3 |
|-------------------------------|--------|---------|--------|
| EC | ۰/۹۷۴ | -۰/۰۵۲ | ۰/۱۵۸ |
| pH | ۰/۰۱۸ | -۰/۲۴۸ | ۰/۹۲۵ |
| Ca ²⁺ | ۰/۹۶۲ | -۰/۰۵۴ | -۰/۰۲۹ |
| Mg ²⁺ | ۰/۸۹۷ | ۰/۲۲۱ | ۰/۲۸۸ |
| Na ⁺ | ۰/۸۹۵ | -۰/۲۲۶ | ۰/۰۶۶ |
| K ⁺ | ۰/۶۵۴ | -۰/۰۵۷۹ | -۰/۲۴۶ |
| HCO ₃ ⁻ | ۰/۰۵۷ | ۰/۸۸۲ | -۰/۰۱۷ |
| Cl ⁻ | ۰/۹۱۸ | -۰/۲۲۹ | ۰/۲۴۷ |
| SO ₄ ²⁻ | ۰/۸۰۲ | ۰/۳۵۵ | ۰/۰۲۵ |
| NO ₃ ⁻ | -۰/۰۸۳ | ۰/۷۸۰ | -۰/۰۵۳ |
| SiO ₂ | -۰/۳۴۸ | -۰/۳۸۷ | -۰/۷۳۷ |
| مقدار ویژه | ۵/۵۲۹ | ۲/۲۱۸ | ۱/۶۳۶ |
| درصد واریانس هر عامل | ۵۰/۲۶۵ | ۲۰/۱۶۲ | ۱۴/۸۷۶ |
| درصد تجمعی واریانس | ۵۰/۲۶۵ | ۷۰/۴۲۷ | ۸۵/۳۰۴ |

گردید. توزیع مکانی بار عامل اول در شکل ۹a نشان می‌دهد که این عامل بیشتر بخش شمال، شمال غربی و مرکزی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی نیز از این منطقه اندازه‌گیری شده است. عامل دوم (PC2)، با واریانس حدود ۲۰ درصد شامل نیترات و بی‌کربنات با بار عاملی مثبت و پتاسیم با بار عاملی منفی می‌باشد که می‌توان آن را به فعالیت‌های کشاورزی در منطقه نسبت داد. با توجه به توزیع مکانی بار عاملی دوم در شکل ۹b، عامل دوم در ناحیه شرق و جنوب غرب منطقه حضور مؤثری دارد در حالی که ضعیف‌ترین نقش این عامل در سمت غرب ارتفاعات میانی است. این توزیع مکانی با توجه به فعالیت شدید کشاورزی و استفاده از انواع کودهای کشاورزی در این مناطق قابل‌توجه است. عامل سوم (PC3)، حدود ۱۵ درصد از تغییرات شیمی آب زیرزمینی را کنترل می‌کند و شامل SiO₂ با بار عاملی منفی و pH با بار عاملی مثبت می‌باشد. تأثیر منفی SiO₂ در این عامل بر این نکته اشاره دارد که افزایش اسیدیته در محیط باعث انحلال کوارتز و رسوب‌گذاری کلسیت می‌شود. براساس توزیع مکانی بار عاملی سوم در شکل ۹c، بیشترین مقدار این عامل در مناطق شمالی و کم‌ترین مقدار آن در مناطق غرب و شرق منطقه قرار گرفته است. این توزیع مکانی با توجه به سازندهای زمین‌شناسی توجیه‌پذیر است چرا که عمدتاً در غرب منطقه جنس لایه‌های زمین‌شناسی از نوع ماسه-سنگ، کنگلومرا و سیلت‌سنگ می‌باشد (M₂^{CS} و M₂^{SS}) که SiO₂ عمده‌ترین کانی تشکیل‌دهنده آن‌ها است. با توجه به



شکل ۹- توزیع مکانی بارهای (a) عامل اول، (b) عامل دوم، (c) عامل سوم در تحلیل تجزیه به عوامل.

نتیجه گیری کلی

نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردکندی- دوزدوزان براساس دیاگرام پایپر به چهار تیپ $Ca-Cl$ ، $Ca-HCO_3$ ، $Na-Cl$ و $Ca-Cl-Mg$ طبقه‌بندی شدند. نمودارهای ترکیبی نشان می‌دهد که فرایندهایی مانند تعویض یونی و انحلال کانی‌هایی همچون سیلیکات‌ها، کربنات‌ها از عوامل مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. همچنین انحلال تبخیری‌ها نیز بر شیمی آب اثرگذار است ولی فرایند اصلی کنترل‌کننده محسوب نمی‌شود. با توجه به نمودار

ترکیبی، فعالیت‌های انسانی سبب انتشار نترات می‌گردد که تأثیر این فعالیت در دشت دوزدوزان بارزتر از دشت کردکندی است.

نتایج حاصل از تحلیل تجزیه به عوامل نشان می‌دهد که سه عامل اصلی در کیفیت آب زیرزمینی منطقه تأثیر گذارند. عامل اول و سوم ناشی از تأثیر سازندها و واکنش آب-سنگ می‌باشد که زمین‌زاد نامیده می‌شوند. عامل دوم حاصل تأثیر فعالیت‌های انسانی و کشاورزی می‌باشد و انسان‌زاد گفته می‌شود.

منابع مورد استفاده

اصغری مقدم ا و برزگر ر، ۱۳۹۳ا. بررسی منشاء ناهنجاری غلظت نترات و آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش‌های GOD و AVI. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۷.

اصغری مقدم ا و برزگر ر، ۱۳۹۳ب. بررسی عوامل مؤثر بر غلظت بالای آرسنیک در آب زیرزمینی آبخوان‌های دشت تبریز، فصلنامه علوم زمین، جلد ۲۴، شماره ۹۴، صفحه‌های ۱۷۷ تا ۱۹۰.

برزگر ر، ۱۳۹۲. بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز.

- برزگر ر، اصغری مقدم ا، نجیب م و کاظمیان ن، ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت تبریز با استفاده از مدل‌های هیدروشیمیایی و روش‌های آماری. علوم مهندسی و آبخیزداری ایران، جلد ۱۰، شماره ۳۲، صفحه‌های ۳۹ تا ۵۰.
- بی‌نام، ۱۳۸۸. مطالعات نیمه‌تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تحت پوشش شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی در محیط GIS - مطالعات آب‌های زیرزمینی دشت‌های بیلوردی و دوزدوزان. ۱۶۱ صفحه.
- علیزاده ن، ۱۳۸۷. بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان‌های دشت‌های بیلوردی - دوزدوزان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز.
- فاریابی م، کلانتری ن و نگارستانی ا، ۱۳۸۹. ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی. فصلنامه علوم زمین، جلد ۲۰، شماره ۷۷، صفحه‌های ۱۱۵ تا ۱۲۰.
- Aris AZ, Abdullah MH, Ahmed A and Woong KK, 2007. Controlling factors of groundwater hydrochemistry in a small island's aquifer. *Environmental Science* 4: 441-450.
- Ayotte JD, Szabo Z, Focazio MJ, Eberts SM, 2011. Effects of human-induced alteration of groundwater flow on concentrations of naturally-occurring trace elements at water-supply wells. *Applied Geochemistry* 26 (5): 747-762.
- Barzegar R, Asghari Moghaddam A and Kazemian N, 2015. Assessment of heavy metals concentrations with emphasis on arsenic in the Tabriz plain aquifers, Iran. *Environmental Earth Sciences* 74: 297-313.
- Barzegar R, Asghari Moghaddam A, Najib M, Kazemian N and Adamowsk J, 2016. Characterization of hydrogeologic properties of the Tabriz plain multilayer aquifer system, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 9: 1-17.
- Belkhir L, Boudoukha A, Mouni L and Baouz T, 2011. Statistical categorization geochemical modeling of groundwater in Ain Azel plain (Algeria). *Journal of African Earth Sciences* 59: 140-148.
- Cerling TE, Pederson BL and Damm KLV, 1989. Sodium calcium ion exchange in the weathering budgets. *Geology*, 17:552-554.
- Chan HJ, 2001. Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology* 253: 194-210.
- Dragon K, 2006. Application of factor analysis to study contamination of a semi-confined aquifer (Wielkopolska Buried Valley aquifer, Poland). *Journal of Hydrology* 331: 272-279.
- Drever JL, 1997. *The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments*, USA, Prentice-Hall, Bergen County, New Jersey, 436 p. .
- Fisher RS and Mulican WF, 1997. Hydrogeochemical evolution of sodium-sulphate and sodium-chloride groundwater desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal* 10(4): 455-474.
- Fitzpatrick ML, Long DT and Pijanowski BC, 2007. Exploring the effects of urban and agricultural land use on surface water chemistry, across a regional watershed, using multivariate statistics. *Applied Geochemistry* 22: 1825-1840.
- Han G and Liu CQ, 2004. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou province, China. *Chemical Geology* 204: 1-21.
- Hosono T, Ikawa R, Shimada J, Nakano T, Saito M, Onodera S, Lee KK, Taniguchi M, 2009. Human impacts on groundwater flow and contamination deduced by multiple isotopes in Seoul City, South Korea. *Science of the Total Environment* 407 (9): 3189-3197.
- Jalali M, 2009. Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. *Environmental Geology* 56: 1479-1488.
- Jankowski J and Acworth RL, 1997. Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical processes and the development of dry land salinity in the Yass River catchment, New South Wales, Australia. *Hydrogeology Journal* 5: 71-88.
- Jolliffe IT, 2002. *Principal Component Analysis*, 2nd ed, Springer, New York.
- Kumar M, Rmanathan AL, Rao MS and Kumar B, 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology* 50: 1025-1039.
- Maya AL and Loucks MD, 1995. Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology* 172: 31-59.
- Mencio A and Mas-Pla J, 2008. Assessment by multivariate analysis of groundwater-surface water interactions in urbanized Mediterranean Streams. *Journal of Hydrology* 352: 355-366.
- Meybeck M, 1987. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved leads. *American Journal of Science* 287: 401-428.
- Nosrati K and Van Den Eeckhaut M, 2012. Assessment of groundwater quality using multivariate statistical techniques in Hashtgerd Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences* 65(1): 331-344.
- Redwan M, Abdel Moneim AA, 2016. Factors controlling groundwater hydrogeochemistry in the area west of Tahta, Sohag, Upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 118: 328-338.
- Subba Rao N and Surya Rao P, 2010. Major ion chemistry of groundwater in a river basin: a study from India. *Environmental Earth Sciences* 61: 757-775.
- Venugopal T, Giridharan L, Jayaprakash M and Periakali P, 2009. Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity of river Adyar, Chennai, India. *Environmental Monitoring Assessment* 149: 81-97.
- Wu J, Li P, Qian H, Duan Z, and Zhang X, 2014. Using correlation and multivariate statistical analysis to identify hydrogeochemical processes affecting the major ion chemistry of waters: a case study in Laoheba phosphorite mine in Sichuan, China. *Arabian Journal of Geosciences* 7(10): 3973-3982.