

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، کیفیت شیمیایی، تحلیل خوشه‌ای،
تحلیل عاملی، دشت مشگین شهر

مقدمه

روش‌های مختلفی برای تعیین عوامل و فرایندهای مؤثر بر هیدروشیملی آب زیرزمینی به کار برده می‌شود. یکی از این روش‌ها ترسیم نمودارهای دومتغیره‌ای است که به نمودارهای ترکیبی معروف هستند. با توجه به نحوه آرایش نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرایندهای مؤثر بر هیدروشیملی آب زیرزمینی را تعیین کرد [۱۲]. همچنین در سالان اخیر از روش‌های آماری چندمتغیره از جمله تحلیل عاملی و خوشه‌ای برای این منظور استفاده شده است [۱۰، ۴]. هدف روش‌های آماری چندمتغیره، ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. تحلیل عاملی، ارتباط بین نمونه‌ها و متغیرها را بیان می‌کند [۲۶]. این روش برای مطالعات رخساره‌های هیدروشیملی و تعیین منشأ آن‌ها، مطالعات آلودگی آب‌های زیرزمینی و شناسایی فرایندهای زمین‌زاد و انسان‌زاد مؤثر در آن‌ها به کار برده می‌شود [۴، ۵، ۱۰]. این تکنیک توسط محققین مختلف به منظور شناخت ارتباط بین تشکیل‌دهنده‌ها و تشریح فرایندهای هیدروشیملی به کار برده شده است [۳۲، ۱۶، ۳]. تحلیل خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی داده‌های آماری مشابه دارای بیشترین درجه شباهت و قرارگیری آن‌ها در گروه‌های مناسب به کار می‌رود. تکنیک‌های خوشه‌بندی مختلفی وجود دارند که تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در علوم زمین است [۳۵]. روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی روشی مناسب برای تحلیل داده‌های نمونه‌های آبی هستند که برای ارزیابی داده‌های کیفی آب و امکان گروه‌بندی هیدروشیملی نمونه‌ها به کار برده می‌شوند و از نقطه نظر آماری در هیدرولوژی و زمین‌شناسی دارای اهمیت خاصی هستند [۳۹، ۴].

تاکنون محققین مختلفی از تلفیق روش‌های هیدروشیملی مختلف و آماری برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی بهره گرفته‌اند. برای مثال، برزگر و همکاران [۴] با به کارگیری نمودارهای هیدروژئوشیمیایی و روش‌های آماری همچون تحلیل عاملی، ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی 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 هیدروشیملی آب زیرزمینی دشت تبریز مؤثرند. سلطانی و همکاران [۳۳] نیز با استفاده

ارزیابی فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین شهر با تلفیق روش‌های هیدروشیملی و آماری

اصغر اصغری مقدم^۱، شاهرخ نوراللهی^۲، رحیم برزگر^۳، الهام فیجانی^۴، نعیمه کاظمیان^۵ و شهلا سلطانی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

چکیده

آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب برای مصارف آشامیدن، کشاورزی و صنعت در منطقه مشگین شهر در استان اردبیل می‌باشد. بنابراین لازم است که در کنار کمیت این منبع به کیفیت آن نیز توجه شود. هدف این مطالعه شناخت عوامل و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مشگین شهر با استفاده از روش‌های آنالیز آماری و نمودارهای ترکیبی مختلف می‌باشد. بدین منظور تعداد ۲۵ نمونه از منابع آب زیرزمینی موجود در دشت جمع‌آوری و نسبت به یون‌های اصلی و برخی یون‌ها و گونه‌های فرعی (نیتрат، فلوئوراید و سیلیس) در آزمایشگاه آبشناسی دانشگاه تبریز مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. نتایج تجزیه هیدروشیملی و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که برخی از پارامترها در بعضی از نمونه‌ها مقادیر بیش از حد مجاز برای آشامیدن دارند. بر اساس نمودار پایپر، نمونه‌ها عمدتاً در دو تیپ بی‌کربناته و اختلاط قرار می‌گیرند. تحلیل خوشه‌ای، نمونه‌های آب زیرزمینی را در دو خوشه مجزا قرار می‌دهد که عمدتاً از نظر هدایت الکتریکی و یون‌های وابسته به آن متفاوت هستند. نتایج تحلیل عاملی و نمودارهای ترکیبی مختلف نشان داد که فرایندهای انحلال و هوازگی سنگ‌ها، تعویض یونی و فعالیت‌های انسانی با نسبت‌های مختلف ترکیب آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۱- نویسنده مسئول و استاد گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، پست الکترونیک: moghaddam@tabrizu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز.

۳- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز.

۴- استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران.

۵- کارشناس ارشد، شرکت آب و فاضلاب آذربایجان شرقی.

۶- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز.

از نمودارهای ترکیبی و تحلیل عاملی، فرایندهای مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت کردکندی- دوزدوزان را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که انحلال کانی‌هایی همچون سیلیکات‌ها، کربنات‌ها و تبخیری‌ها، تعویض یونی و فعالیت‌های انسانی عوامل مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. هدف از این مطالعه شناخت عوامل و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر با استفاده از روش‌های آنالیز آماری و نمودارهای ترکیبی مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

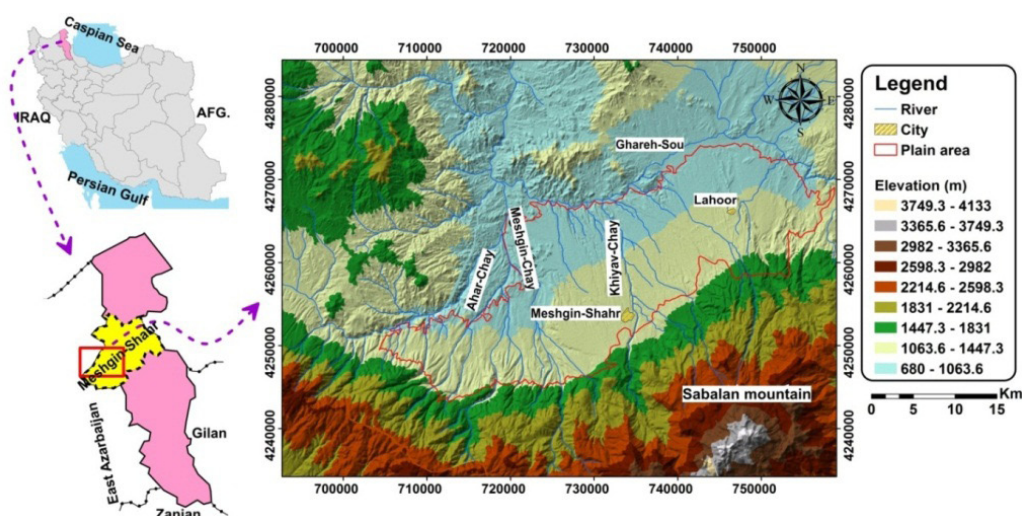
دشت مشگین‌شهر با وسعت تقریبی ۷۰۰ کیلومترمربع در شمال‌غرب ایران در استان اردبیل، با اختلاف ارتفاع بارز قرار گرفته است. شکل ۱ مدل رقومی ارتفاعی منطقه مطالعاتی و سیستم زهکشی آن را نشان می‌دهد. کوه سبلان با قله‌ای به ارتفاع ۴۸۱۴ متر از سطح دریا مرتفع‌ترین نقطه‌ی منطقه می‌باشد که در قسمت جنوب‌شرقی مشگین‌شهر واقع شده است. آب‌های حاصل از بارش در مناطق کوهستانی به صورت جریان‌های سطحی و یا زیرزمینی به طرف دشت حرکت کرده و منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل استحصال در طول سال را تشکیل می‌دهند. متوسط دمای سالیانه ۱۱/۶۶ درجه سانتی‌گراد (بر اساس داده‌های ایستگاه‌های آبیاری مشگین، صاحب دیوان و سد سبلان، ۹۱-۱۳۸۸) و میزان متوسط سالیانه بارش ۲۹۲ میلی‌متر (بر اساس داده‌های ایستگاه‌های آبیاری مشگین، ۹۱-۱۳۸۰) در سال می‌باشد. با توجه به این داده‌ها و بر اساس روش اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم آن خشک سرد محاسبه شده است.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

از لحاظ زمین‌شناسی، منطقه‌ی مورد مطالعه جزء واحد ساختاری

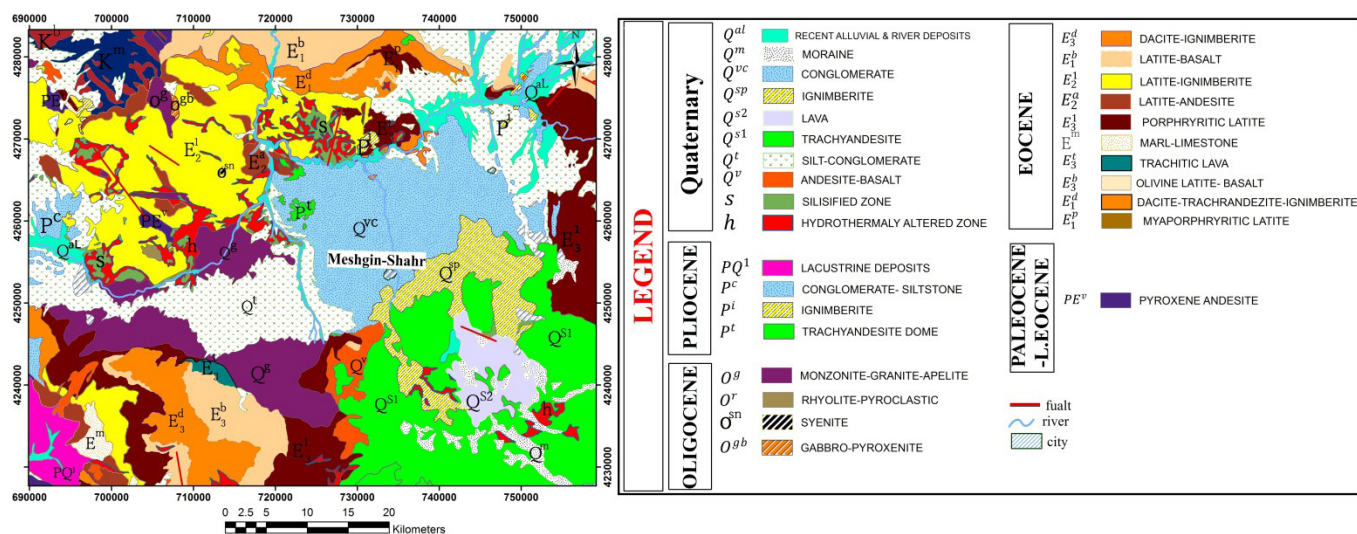
البرز- آذربایجان محسوب می‌شود. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه مربوط به کرتاسه می‌باشد. سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی این واحدها شامل کنگلومرا، شیل‌های سیلتی، مارن، آهک، آهک ماسه‌ای دانه‌ریز و ماسه‌سنگ دانه‌درشت می‌باشند که در بخش‌های شمال‌غربی محدوده قرار گرفته‌اند. سنگ‌های به سن پالئوسن شامل آندزیت پورفیری، تراکی آندزیت و سنگ‌های آذرآواری نظیر توف و آگلومرا می‌باشد که به صورت واحدهای کوچک در شرق محدوده می‌باشند [۲]. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مربوط به اتوسن می‌باشند که قسمت‌های شمالی و جنوبی دشت را پوشانده‌اند و شامل آندزیت، بازالت، توف- ایگنمبریت‌های داسیتی، گدازه‌های تراکیتی- تراکی آندزیتی و توف برشی و توف با ترکیب داسیتی تا ریوداسیتی می‌باشد [۱۱]. واحدهای کواترنری شامل گدازه‌های برشی شده با ترکیب تراکی آندزیتی- تراکی بازالتی، ریولیتی، روانه‌های خاکستر پومیس‌دار با ترکیب ریوداسیتی- ریولیتی بخش جنوب و جنوب‌شرقی دشت را می‌پوشاند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی که تشکیل‌دهنده عمده دشت است و شامل تکه‌سنگ‌های به صورت گدازه‌های قدیمی تر سبلان از نوع تراکی آندزیت، آندزیت، و تراکیت با بافت پورفیری می‌باشد، که قطر آنها حداکثر به یک متر می‌رسد. این واحد زمینه‌ای از ماسه، رس و سیلت دارد.

بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی در منطقه، آبخوان دشت مشگین‌شهر از نوع آزاد می‌باشد. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان از سمت جنوب به شمال می‌باشد. به طور کلی شیب هیدرولیکی در بخش مرکزی دشت نسبت به قسمت‌های شرقی و غربی دشت بیشتر می‌باشد (شکل ۳). همچنین عمق سطح آب زیرزمینی به طور کلی از جنوب به سمت شمال دشت کمتر



شکل ۱- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعاتی و سیستم زهکشی آن

Figure 1. The Digital elevation model of the study area and its drainage system



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه [۲، ۱۱]

Figure 2. Geological map of the study area [2, 11]

داده‌های ما را تشکیل می‌دهند. اگر ما m نمونه داشته باشیم و n خصوصیت را در آنها اندازه‌گیری کنیم، مجموعه داده‌ها یک ماتریس $m \times n$ را تشکیل می‌دهد.

ماتریس داده‌های خام $m \times n$ قبل از محاسبه ضرایب، استاندارد می‌گردد که باعث می‌شود هر متغیر دارای وزن یکسانی باشد. استانداردسازی مقادیر به وسیله رابطه (۱) صورت می‌گیرد که در آن Z متغیر استاندارد شده، x داده، $\bar{x}$ میانگین و s انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

در مرحله بعد مقدار شباهت یا همانندی بین جفت نمونه‌ها محاسبه می‌گردد به طوری که شباهت زیاد نمونه‌ها به وسیله ضریب همبستگی زیاد و ضریب فاصله کمتر مشخص می‌گردد.

روش وارد، که به عنوان خوشه‌بندی حداقل واریانس شناخته می‌شود، به عنوان رایج‌ترین الگوریتم خوشه‌ای به کار برده می‌شود [۳۱].

تابع الگوریتم وارد مطابق رابطه (۲) مجموع مربعات فاصله اعضا از مرکز ثقل خوشه را به حداقل می‌رساند.

$$W = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{N_k} (y_{ij}^k - y_{wj}^k)^2 \quad (2)$$

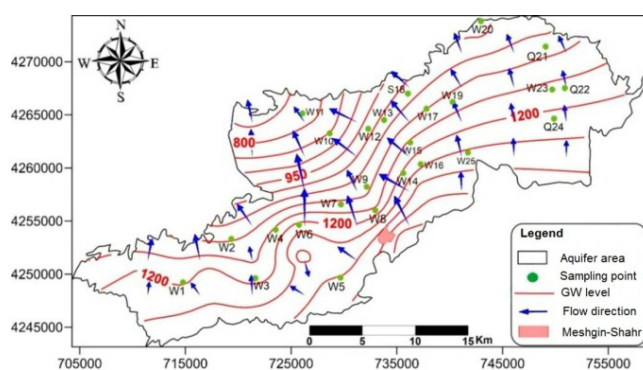
در این رابطه K تعداد خوشه‌های موجود، m تعداد متغیرهای در نظر گرفته شده، N_k تعداد اعضای متعلق به هر خوشه، y_{wj}^k مقدار متوسط بی‌بعد شده متغیر j در خوشه k ، y_{ij}^k مقدار بی‌بعد شده متغیر j مربوط به عضو i واقع در خوشه k می‌باشد. برای بی‌بعد کردن مقدار متغیر از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$y_{ij} = \frac{w_j}{\sigma_j} [f(x_{ij})] \quad (3)$$

در این رابطه x_{ij} مقدار متغیر j ام مربوط به عضو i ، تابع $f(x_{ij})$ تبدیل، w_j وزن در نظر گرفته شده برای متغیر j ، σ_j و y_{ij} انحراف استاندارد و مقدار بی‌بعد شده متغیر i است [۱۶].

شبیه‌ترین مشاهدات به یکدیگر وصل می‌شوند و به طور متوالی

می‌شود. بخش اعظم دشت را آبرفت‌های قدیمی تشکیل می‌دهد که به صورت تراس‌های قدیمی نمایان هستند. حداکثر ضخامت این آبخوان آبرفتی در مرکز دشت ۸۰ متر و متوسط آن ۳۰ متر می‌باشد که به طرف حاشیه دشت کاهش می‌یابد. مواد اصلی تشکیل‌دهنده آبخوان شامل شن، ماسه و سیلت و رس بوده که در دامنه‌ها، ذرات تشکیل‌دهنده آنها بیشتر دانه‌درشت بوده و هرچه به مرکز دشت نزدیک‌تر می‌شویم، دانه‌ریزتر می‌گردد. متوسط ضریب ذخیره‌ی دشت چهار درصد و حداقل و حداکثر قابلیت انتقال آبخوان به ترتیب ۳۰ و ۵۰۰ متر بر روز برآورد شده است.



شکل ۳- جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

Figure 3. Groundwater flow direction and location of sampling Points

روش‌های آماری چند متغیره

آنالیزهای آماری چند متغیره سعی می‌کنند فرایندهای اصلی حاکم را با کاهش داده‌ها، طبقه‌بندی و آشکار سازند. در این مطالعه از روش‌های آماری چند متغیره شامل تحلیل خوشه‌ای و عاملی استفاده گردید.

در روش خوشه‌بندی، مجموعه‌ی اندازه‌گیری‌ها برای هر نمونه،

مشاهدات دیگر نیز بر اساس شباهت‌ها به یکدیگر وصل می‌شوند. سپس جفت نمونه‌های دارای بیشترین همانندی با همدیگر ادغام می‌شوند و اتصال آنها به همدیگر دندروگرام را به وجود می‌آورد [۹]. معمولاً طول شاخه‌ها یا فاصله بین زیرگروه‌ها، با پیشروی مراحل خوشه‌بندی افزایش می‌یابد [۱۵].

تحلیل عاملی یک روش آماری است که تصویر کلی از داده‌ها را با کاهش آن‌ها به یک سری کوچک‌تر از اجزای اصلی، فراهم می‌کند. در روش تحلیل عاملی، شش مرحله یا گام اساسی قابل تشخیص است [۲۸]: ۱- تهیه ماتریس اطلاعات (m-n) بعنوان ورودی اصلی مورد نیاز است (که n مربوط به مشاهدات و m مربوط به متغیرها است)، ۲- تهیه ماتریس ضریب همبستگی بین متغیرها (m-m) (R-فاکتور) و بین مشاهدات (n-n) (Q-فاکتور)، ۳- استخراج مقادیر ویژه و بردارهای ویژه متغیرها و مشاهدات از ماتریس همبستگی، ۴- تعیین تعداد عامل‌ها با استفاده از معیارهای اساسی، ۵- انجام چرخش محورهای عاملی به منظور ساده کردن ساختار بارهای عاملی و ۶- تعیین ماتریس رتبه‌های عاملی.

بررسی داده‌ها

به منظور بررسی فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین‌شهر، نمونه‌برداری از ۲۵ حلقه چاه نیمه‌عمیق و عمیق موجود در آبخوان، در مهرماه سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. شکل ۳ موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. پارامترها و یون‌های اندازه‌گیری شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، یون‌های اصلی، نیترات، سیلیس و فلوئوراید می‌باشند. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای، آنیون‌های سولفات، نیترات، سیلیس و فلوئوراید به روش اسپکتروفتومتری و سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها به روش حجم‌سنجی تعیین شدند. مقادیر کل مواد جامد حل شده (TDS) از حاصل ضرب مقادیر هدایت الکتریکی در ضریب $K(0.65)$ محاسبه شد.

در ابتدا برای تعیین تیپ آب زیرزمینی آبخوان و نشان دادن تفاوت کیفیت بین آب آبخوان از نمودار پایپر استفاده گردید و در ادامه تأثیر پدیده‌ها و فرایندهای مختلف بر کیفیت آب آبخوان با استفاده از نمودارهای ترکیبی مختلف و روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار آماری SPSS V.21 استفاده شده است.

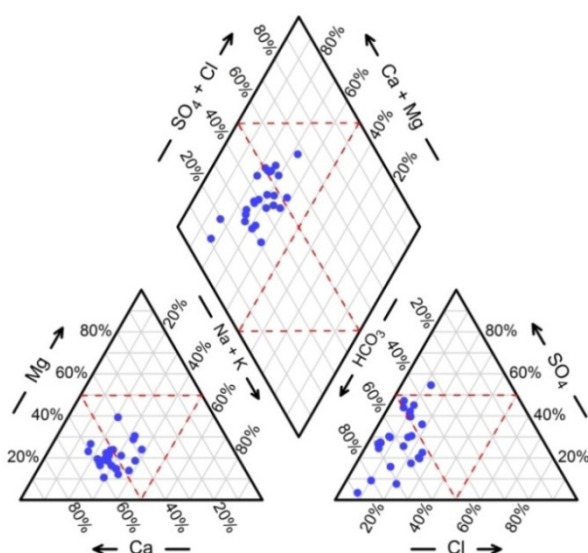
نتایج

هدایت الکتریکی مقدار مواد جامد محلول در آب را نشان می‌دهد که مقادیر آن در آبخوان دشت مشگین‌شهر بین ۳۰۰ تا ۱۵۵۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. مقادیر pH نمونه‌ها بین ۷/۲ تا ۷/۷ متغیر است که این مقدار pH در محدوده pH قابل قبول برای آب آشامیدن (۶/۵-۸/۵) [۳۸] است. جدول ۱ مشخصه‌های آماری مولفه‌های مختلف شیمیایی حاصل از آنالیز نمونه‌ها را برای آبخوان دشت مشگین‌شهر را نشان می‌دهد که برخی از پارامترها مقادیر

بیش از حد مجاز برای آشامیدن دارند. نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نمودار، کاتیون و آنیون غالب در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه به ترتیب کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اغلب نمونه‌ها تیپ بی‌کربنات دارند که نشان‌گر جوان بودن آب زیرزمینی می‌باشد. تعداد کمی از نمونه‌ها نیز تیپ مختلط را نشان می‌دهند که در آن هیچ آنیون و کاتیونی غالب نمی‌باشد. همچنین بر اساس این نمودار فقط یک نمونه دارای تیپ سولفات می‌باشد.

تحلیل خوشه‌ای

در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی (HCA) و روش اتصال وارد و برای اندازه‌گیری تفاوت بین گروه‌ها از روش فاصله اقلیدسی برای گروه‌بندی نمونه‌ها استفاده شد. شکل ۵ نمودار خوشه‌ای منابع آب دشت مشگین‌شهر را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمونه‌ها به دو خوشه مجزای Cluster 1 و Cluster 2 تقسیم شده‌اند و بیشتر نمونه‌ها در خوشه دو قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین‌شهر

Figure 4. Piper diagram of the Meshgin-Shahr plain aquifer groundwater samples

برای درک تفاوت دو خوشه از نمودارهای جعبه‌ای مربوط به هر پارامتر مورد استفاده در خوشه‌بندی استفاده گردید (شکل ۶). براساس نمودارهای جعبه‌ای عمده تفاوت دو خوشه مربوط به مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌ها و مقادیر یون‌های وابسته به آن می‌باشد. متوسط هدایت الکتریکی خوشه یک ۴۳۷/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و متوسط هدایت الکتریکی خوشه دو ۸۷۴/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. از نظر اسیدیته و غلظت سیلیس نیز، نمونه‌های خوشه اول نسبت به خوشه دوم دارای pH بیشتر و سیلیس کمتر می‌باشد. نمونه‌های خوشه یک به جز دو نمونه W5 و W6 عمدتاً

مربوط به بخش شرقی دشت می‌باشند حال آنکه نمونه‌های خوشه دو در قسمت‌های غربی دشت و انتهای بخش شرقی دشت قرار گرفته‌اند.

عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی

تعویض یونی، انحلال و هوازگی سنگ‌ها و کانی‌ها، تبخیر و فعالیت‌های انسانی از جمله عوامل و فرایندهای عمده مؤثر بر آب زیرزمینی می‌باشند. برای بررسی تأثیر هر کدام از این عوامل، نمودارهای ترکیبی مربوط به نمونه‌های برداشت‌شده از منابع آب زیرزمینی به صورت دو خوشه مجزا رسم شد. در این نمودارها نمونه‌های خوشه اول با دایره و خوشه دوم با مربع نشان داده شده‌اند.

تعویض یونی

در این تحقیق از نمودار $(\text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{SO}_4 + \text{HCO}_3)$ درمقابل

Na-Cl برای بررسی اثر تعویض یونی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت استفاده شد. در این نمودار در صورتی که تعویض یونی فرایند هیدروشمیایی مؤثر قابل توجهی برای کنترل کیفیت آب زیرزمینی باشد، بایستی رابطه‌ی بین این دو پارامتر به صورت خطی با شیب منفی یک باشد [۲۰، ۱۳]. ترسیم نمونه‌ها در این نمودار (شکل ۷ الف) نشان می‌دهد که نمونه‌های خوشه اول با شیب خطی -0.97 بیشتر از نمونه‌های خوشه دوم با شیب خطی -0.83 از فرایند تعویض یونی متأثر شده‌اند. همچنین به منظور تعیین نوع تعویض یونی از نمودار $\text{Ca} + \text{Mg}$ در مقابل $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ استفاده گردید (شکل ۷ ب). بررسی این نمودار نشان می‌دهد که فرایند تبادل یونی عادی در آبخوان دشت مشگین‌شهر غالب می‌باشد

جدول ۱- پارامترهای آماری نمونه‌های آب زیرزمینی (غلظت‌ها به میلی گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی به میکروزیمنس بر سانتی متر)

Table 1. Statistical parameters of the groundwater samples (concentrations in mg/L and EC in $\mu\text{S}/\text{cm}$)

مشخصه‌ها characteristics	کمترین Minimum	میانه Median	بیشترین Maximum	انحراف از معیار Std. Deviation	استاندارد بهداشت جهانی [۳۸] World health standard [31]
اسیدیته pH	7.22	7.42	7.65	0.12	6.5-8.5
هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	300	715	1552	285.01	1500
کل مواد جامد محلول Total Dissolved Solids	195	464.75	1008.8	185.26	500
کلسیم Calcium	40.1	89.6	162	27.33	200
منیزیم Magnesium	8.75	18.24	72.90	15.65	50
سدیم Sodium	14.77	46.88	149.33	28.91	200
پتاسیم Potassium	1.67	7.05	14.20	2.68	12
بی‌کربنات Bicarbonate	158.6	251.3	478.24	89.25	500
کلر Chloride	7.00	31.03	83.97	27.53	250
سولفات Sulfate	6.6	86	497.5	95.04	250
فلوئوراید Fluoride	0.66	1.01	1.31	0.19	1.5
نیترات Nitrate	7.29	19.31	48.28	8.29	45
سیلیس Silica	31.05	72.94	105.07	21.20	—

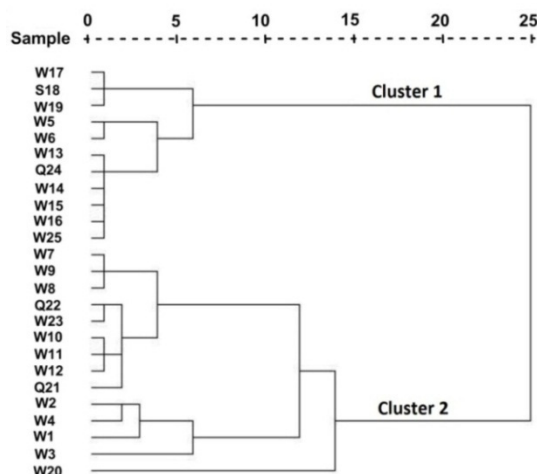
تبخیر

جانکوفسکی و آکورت [۱۷] بیان کردند که اگر در سیستم آب زیرزمینی فرایند تبخیر غالب باشد، با فرض اینکه هیچ گونه کانی در آب زیرزمینی ته نشین نشده باشد، نسبت Na/Cl ثابت خواهد بود. بنابراین پلات Na/Cl در مقابل EC خطی افقی خواهد بود که بیانگر تأثیر فرایند تبخیر و تعرق در آب زیرزمینی است. ترسیم نمونه‌ها در نمودار Na/Cl در مقابل EC (شکل ۸ الف) نشان می‌دهد که نمونه‌ها حالت خطی ندارند بنابراین اثر فرایند تبخیر در کیفیت آب زیرزمینی دشت غیرمحتمل است.

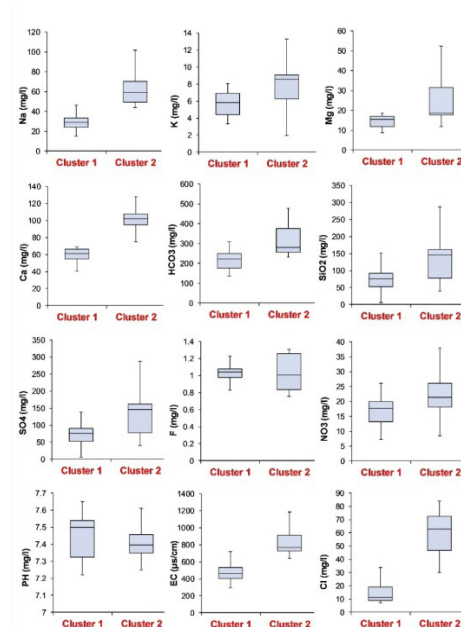
اگر انحلال هالیت وجود داشته باشد بایستی نسبت مولار Na/Cl تقریباً برابر یک باشد. در حالی که نسبت بیشتر از یک رهاسازی سدیم از هوازگی سیلیکات‌ها را بیان می‌کند [۲۷]. شکل ۸ الف) نشان می‌دهد که اغلب غلظت سدیم در آب زیرزمینی منطقه از هوازگی و انحلال سیلیکات‌ها می‌باشد و انحلال هالیت تأثیر کمتری در غلظت سدیم دارد. همچنین برای بررسی منشأ یون سدیم از پلات یون سدیم در برابر یون کلر نیز می‌توان استفاده کرد. در این نمودار (شکل ۸ ب) اکثر نمونه‌ها در بالای خط تعادل ۱:۱ قرار گرفته اند که نشان دهنده تعویض یونی می باشد [۲۱]. هم چنین قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط ۱:۱ به شرط غالب بودن آنیون بی‌کربنات در آب زیرزمینی، نشان‌دهنده منشأ سدیم ناشی از هوازگی سیلیکات می‌باشد [۲۲].

هوازگی و انحلال سنگ‌ها

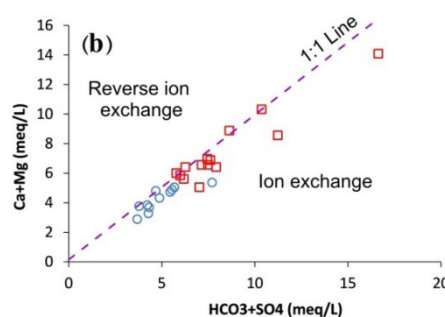
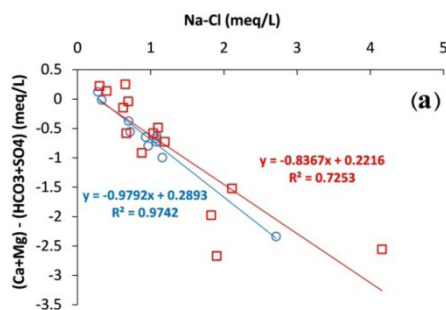
نمودار Ca/Na در مقابل Mg/Na برای تعیین تیپ سنگ مؤثر در شیمی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۹ الف). این نمودار نشان می‌دهد که هوازگی سیلیکات‌ها و کربنات‌ها بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مؤثرند. برای تعیین نوع تیپ سنگ غالب مؤثر نیز نسبت مولار Ca/Mg نمونه‌ها محاسبه گردید. اگر نسبت Ca/Mg بیشتر از ۲ باشد، موید انحلال کانی‌های سیلیکاتی می‌باشد که موجب می‌شود کلسیم و منیزیم به آب زیرزمینی اضافه گردد [۲۲]. حال آنکه اگر نسبت Ca/Mg بیشتر از یک باشد انحلال کلسیت و اگر کمتر از یک انحلال دولومیت را نشان می‌دهد [۸]. همان‌طور که شکل ۹ ب) نشان می‌دهد، نسبت Ca/Mg برای بیشتر



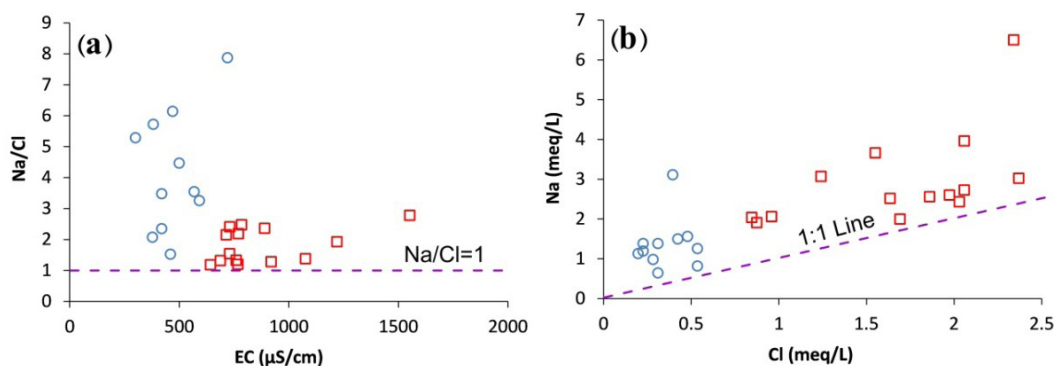
شکل ۵- نمودار درختی حاصل از خوشه بندی سلسله مراتبی
Figure 5. Dendrogram diagram obtained from Hierarchical Cluster Analysis



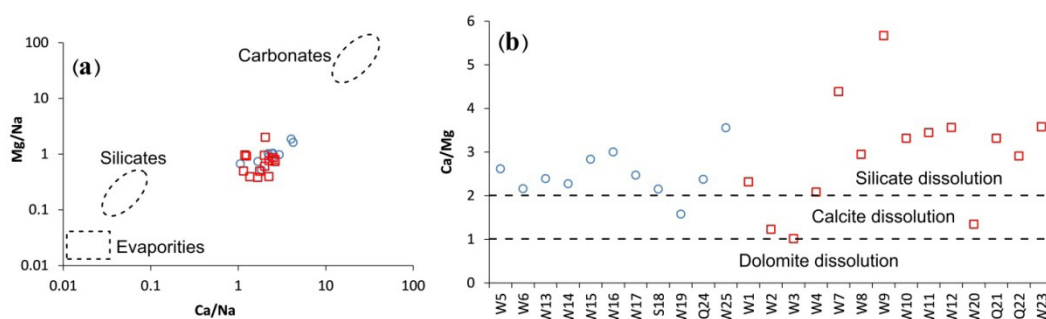
شکل ۶- نمودار جعبه‌ای پارامترهای اندازه‌گیری شده
Figure 6. Box plot of the measured parameters



شکل ۷- الف) نمودار $(\text{SO}_4 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ در مقابل Na-Cl و ب) $\text{Ca} + \text{Mg}$ در مقابل $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$
Figure 7. Plot of a) $(\text{SO}_4 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ versus Na-Cl and b) $\text{Ca} + \text{Mg}$ versus $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$

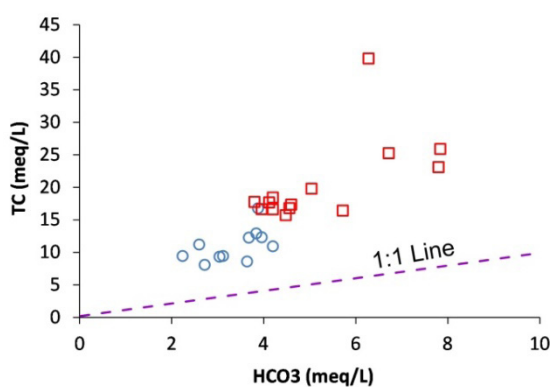


شکل ۸- الف) نمودار Na/Cl در مقابل EC و ب) Na در مقابل Cl
Figure 8. Plot of a) Na/Cl versus EC and b) Na versus Cl



شکل ۹- الف) نمودار Ca/Mg در مقابل Mg/N a و ب) نسبت Ca/Mg در نمونه‌ها
Figure 9. Plot of a) Ca/Mg versus Mg/N a and b) ratio of Ca/Mg in the samples

نمونه‌های خوشه دوم در مقایسه با خوشه اول از فعالیت‌های انسانی به مراتب بیشتری متاثر گشته‌اند زیرا دورتر از خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. نمودار جعبه‌ای ترسیم شده نیز تاییدکننده این امر می‌باشد چرا که متوسط غلظت نیترات در نمونه‌های خوشه دوم بیشتر از خوشه اول می‌باشد.



شکل ۱۰- نمودار HCO_3^- در مقابل TC
Figure 10. Plot of HCO_3^- versus TC

تحلیل عاملی

فرض اساسی در این روش، وجود ارتباط بین متغیرهاست که این ارتباط در قالب یک فاکتور، در یک مدل فرضی ظاهر می‌شود و

نمونه‌ها بیشتر از ۲ می‌باشد که نشان می‌دهد انحلال و هوازدگی سنگ‌های سیلیکاتی غالب است.

همچنین در نمودار ترکیبی $\text{Ca} + \text{Mg}$ در مقابل $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ (شکل ۷ ب) اگر پلات نمونه‌ها نزدیک به خط تعادل ۱:۱ باشد نشان‌دهنده غالب بودن انحلال کلسیت، دولومیت، انیدریت و ژپس در سیستم آب زیرزمینی خواهد بود [۳۷]. حال آنکه در نمونه‌هایی که موقعیت آن‌ها روی خط ۱:۱ قرار می‌گیرد، اگر $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ کمتر از ۱۰ میلی‌اکی والان بر لیتر باشد فرایند انحلال کلسیت و دولومیت و اگر بیشتر از این مقدار باشد انحلال ژپس و انیدریت فرایند غالب می‌باشد. بنابراین نمودار نشان می‌دهد که انحلال کانی‌های سولفات‌ها نیز در آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر هر چند به میزان اندک اتفاق می‌افتد.

فعالیت‌های انسانی

برای تعیین اثر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت از نمودار HCO_3^- در مقابل TC (کل کاتیون‌ها) استفاده گردید [۲۹، ۱۸، ۷]. در این نمودار اگر انحلال سیلیکات‌ها و کربنات‌ها فرایند عمده کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی باشد، نسبت ۱:۱ بین HCO_3^- و TC خواهد بود. بنابراین نمونه‌هایی که نزدیک خط ۱:۱ هستند بیان‌گر تأثیر انحلال کانی‌ها در آب زیرزمینی می‌باشند در حالی که نمونه‌هایی که دورتر از این خط می‌افتند فرایندهای ثانویه مانند فعالیت‌های انسانی را بیان می‌کنند. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که

جدول ۲- ماتریس عوامل بعد از چرخش عامل ها به روش واریماکس

Table 2. Factors matrix after factors rotation by varimax method

متغیر Variable	عامل یک Factor 1	عامل دو Factor 2	عامل سه Factor 3
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	0.974	0.025	0.176
اسیدیته pH	-0.405	-0.127	-0.501
سدیم Sodium	0.944	0.164	0.043
پتاسیم Potassium	0.127	0.579	0.629
کلسیم Calcium	0.824	0.133	0.410
منیزیم Magnesium	0.857	-0.022	0.116
بی کربنات Bicarbonate	0.831	-0.447	0.094
کلر Chloride	0.781	-0.278	0.347
سولفات Sulfate	0.755	0.550	0.096
سیلیس Silica	-0.488	0.746	0.054
نیترات Nitrate	0.082	-0.210	0.834
فلوئوراید Fluoride	0.180	0.895	-0.118
مقدار ویژه Eigen value	5.583	2.378	1.712
درصد واریانس هر عامل Percentage of variance	46.529	19.820	14.276
درصد تجمعی واریانس Cumulative percentage of variance	46.529	66.439	80.617

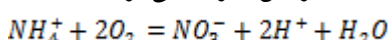
بحث و نتیجه گیری

بررسی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه ها با استفاده از دیاگرام پایپر، نشان می دهد که در بیشتر نمونه های آب زیرزمینی تیپ غالب بی کربناته بوده و کاتیون غالب نیز کلسیم می باشد. تحلیل خوشه ای، نمونه های آب زیرزمینی را در دو خوشه مجزا قرار می دهد که عمدتاً از نظر هدایت الکتریکی و یون های وابسته به آن متفاوت هستند. نمونه های خوشه یک به جز دو نمونه W5 و W6 عمدتاً مربوط به بخش شرقی دشت می باشند حال آنکه نمونه های خوشه دو در قسمت های غربی دشت و انتهای بخش شرقی دشت قرار گرفته اند. بررسی نمودارهای ترکیبی مختلف نشان داد که فرایندهای تعویض یونی، انحلال و هوازگی سنگ ها و کانی ها به ویژه سیلیکات ها

به طور کلی هدف از این روش آماری چند متغیره، تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در بین یک سری داده ها است. این روش، به طور گسترده ای در تشخیص بین ورودی های انسان زاد^۱ و زمین زاد^۲ مورد استفاده قرار می گیرد [۱].

برای شناسایی فرایندهای زمین زاد و انسان زاد مؤثر در آن ها، روش تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی با استاندارد کردن پارامترها بکار برده شد [۱۴]. عموماً در این روش مقادیر ویژه بالاتر از یک را به عنوان عوامل مؤثر بر سیستم در نظر می گیرند [۲۵]. با مشخص شدن عوامل تأثیرگذار، چرخش عامل ها به روش واریماکس اعمال گردید. جدول ۲، ماتریس عامل ها، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی عامل ها را نشان می دهد. بر این اساس سه عامل اول که مقادیر ویژه بالاتر از یک دارند به عنوان عوامل اصلی شناسایی شدند که ۸۰/۶۲ درصد از تغییرات کل را شامل می شود. از بین این عوامل، عامل اول ۵۰/۲ درصد از واریانس کل داده ها را شامل می شود که مؤثرترین عامل بر کیفیت آب است. این عامل شامل پارامترهای سدیم، کلسیم، منیزیم، بی کربنات، کلر، سولفات و هدایت الکتریکی با بار عاملی مثبت می باشد. تأثیر مثبت یون بی کربنات نشان دهنده تغذیه ناشی از بارندگی در سطح دشت می باشد [۲۳]. ارتباط بین بی کربنات، کلسیم و منیزیم نشان دهنده انحلال کربنات ها می باشد. بار عاملی مثبت سدیم، کلر و همچنین رابطه مثبت بین سولفات و کلسیم نشان دهنده انحلال سازندهای تبخیری می باشد. همچنین مقدار بار عاملی بالا برای کلسیم، منیزیم و سدیم می تواند فرایندهای تبادل یونی را نشان دهد. بنابراین می توان این عامل را زمین زاد نامید. پارامترهای عامل دوم با واریانس ۲۰ درصد شامل فلوئور و سیلیس می باشد که می توان گفت منشا این پارامترها از سازندهای آذرین منطقه می باشد. بار عاملی بالای فلوئور نشان دهنده آبشویی کانی های فلوئوردار همچون آپاتیت و میکا در سازندها می باشد [۳۶]. این عامل نیز نشان گر تأثیر فرایندهای زمین زاد بر کیفیت آب زیرزمینی دشت می باشد. بنابراین به طور کلی می توان گفت که بیش از ۷۰ درصد از عوامل، تأثیر فرایندهای طبیعی همچون هوازگی و انحلال سنگ ها و کانی ها را تأیید می کنند.

عامل سوم با واریانس ۱۰/۴ درصد شامل نیترات و پتاسیم می باشد. از آنجایی که اصلی ترین عامل افزایش نیترات، فعالیت های انسانی (فاضلاب خانگی، شهری و صنعتی) و کشاورزی (کودهای کشاورزی) می باشد؛ و با توجه به کشاورزی گسترده در منطقه می توان گفت که سوم منشا انسان زاد دارد. همچنین pH با بار عاملی منفی نیز می تواند بیان گر ارتباط معکوس بین نیترات و قلیائیت باشد به گونه ای که با اکسیداسیون آمونیوم موجود در ترکیب کودها، پروتون (H^+) آزاد می شود. بنابراین طبق رابطه ۴ نیتروژن احیا شده از کودها سبب اسیدی شدن خاک و افزایش نیترات می گردد [۸].



- 1- Anthropogenic
2- Geogenic

agricultural contamination. *Hydrogeology Journal*. 10:153-179.

9. Davis, J. C. 1986. *Statistics and data analysis in geology*, Newyork: John Wiley and sons.

10. 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.

11. Emami, MH. 1994. Geological map report of Meshgin-Shahr, Geological authority of Iran.

12. Faryabi, M. Kalantari, N. and Negarestani, A. 2010. Evaluation of factors influencing groundwater chemical quality using statistical and hydrochemical methods in Jiroft plain. *Geosciences*. 20(77):115-120. (In Persian)

13. 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.

14. 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.

15. Güller, C. Thyne, GD. McCray JE. Turner, AK. 2002, Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*. 10: 455-474.

16. Hassani-pak A. 1998. *Geostatistic. The second edition*. University of Tehran press, 286-314

17. 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.

18. Kim, K. 2003. Long-term disturbance of groundwater chemistry following well installation. *Groundwater*. 41:780-789.

19. Kuldip-Singh. Hundal, HS. and Dhanwinder-Singh. 2011. Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda district of Punjab, northwest India. *Environmental Earth Sciences*. 64(7):1823-1833.

20. Kumar, M. Ramanathan, AL. Rao, MS. and Kumar, B. 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical

کربنات‌ها و تبخیری‌ها و فعالیت‌های انسانی با نسبت‌های مختلف ترکیب آب زیرزمینی آبخوان دشت را تحت تأثیر قرار می‌دهند و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر نمونه‌های خوشه دوم به مراتب از نمونه‌های خوشه اول بیشتر است. تأثیر عمده هوازدگی سنگ‌های سیلیکاتی در شیمی آب زیرزمینی منطقه با توجه به تغذیه از رشته‌کوه سبلان دور از انتظار نمی‌باشد. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر تحت تأثیر سه عامل اصلی به ترتیب شامل ۱- تأثیر انحلال و هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها به ویژه سازندهای تبخیری و کربنات‌ها و فرایند تعویض یونی، ۲- هوازدگی و انحلال سنگ‌های سیلیکاته و ۳- آبخویی کودهای کشاورزی می‌باشند. به طور کلی می‌توان گفت که بیش از ۷۰ درصد از عوامل نشان‌گر تأثیر فرایندهای طبیعی و ۱۰ درصد بیان‌گر تأثیر فرایندهای انسانی است.

منابع

1. Acosta, JA. Faz, A. and Martinez-Martinez, S. 2010. Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain). *Environmental monitoring and assessment*. 169(1):519-530.

2. Amidi, M. 1991. Geological map report of Lahroud, Geological authority of Iran.

3. 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.

4. Barzegar, R. Asghari Moghaddam, A. najib, M. and kazemian, N. 2016. Investigation of hydrogeochemical characteristics of the aquifer of the Tabriz Plain using the hydrochemical models and statistical methods. *jwmseir*. 10(32):39-50. (In Persian)

5. Barzegar, R. Asghari Moghaddam, A. and Kazemian, N. 2015. Assessment of heavy metals concentrations with emphasis on arsenic in the Tabriz plain aquifers, Iran. *Environ. Earth. Sci*. 74(1):297-313.

6. Barzegar, R. Asghari Moghaddam, A. and Tziritis, E. 2016. Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 75(23):1486.

7. Barzegar, R. Asghari Moghaddam, A. Najib, M. Kazemian, N. and Adamowski, J. 2016. Characterization of hydrogeologic properties of the Tabriz plain multilayer aquifer system, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(2):1-17.

8. Bohlke, JK. 2002. Groundwater recharge and

30. Sikdar, PK. Sarkar, SS. and Palchoudhury, S. 2001. Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Science*. 19:579-594.
31. Soltani, S. Asghari Moghaddam, A. Barzegar, R. and Kazemian, N. 2016. Identifying effective processes on groundwater chemistry of the Kordkandi-Duzdusan aquifer. *Water and Soil Science*. (In Persian)
32. Subba Rao, N. and Surya Rao, P. 2009. Major ion chemistry of groundwater in a river basin: a study from India. *Environmental Earth Sciences*. 61:757-775.
33. (Northeastern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*. 6:3545-3561.
34. Vasanthavigar, M. Srinivasamoorthy, K. Ganthi, R. Vijayaraghavan, K. and Sarma, VS. 2012. Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 5:245-258.
35. 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.
36. World Health Organization. 2011. Evaluating household water treatment options: Health-based targets and microbiological performance specifications.
37. Zhang, B. Song, X. Zhang, Y. Han, D. Tang, CH. Yu, Y. and Ma, Y. 2012. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. *Water Research*. 46:2737-2748.
- processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental geology*. 50 (7):1025-1039.
21. Kumar, SK. Rammohan, V. Sahayam, JD. and Jeevanandam, M. 2009. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 159(1):341-351.
22. Lawrence, FW. and Upchurch, SB. 1982. Identification of water recharges areas using geochemical factor analysis. *Groundwater*. 20: 680-687.
23. Lloyd, JW. and Heathcode, JA. 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Oxford University Press, New York.
24. Lu, KL. Liu, CW. Wang, SW. Jang, CS. Lin, KH. Liao, VHC. Chang, F. J. 2011. Assessing the characteristics of groundwater quality of arsenic contaminated aquifers in the blackfoot disease endemic area. *Journal of hazardous materials*. 185(2):1458-1466.
25. Mencia, 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.
26. Meybeck, M. 1987. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved leads. *American Journal of Science*. 287:401-428.
27. Mondal, N. C., Singh, V. S., Puranik, S. C., & Singh, V. P. (2010). Trace element concentration in groundwater of Pesarlanka Island, Krishna Delta, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 215-227.
28. Reddy, AG. Saibaba, B. and Sudarshan, G. 2012. Hydrogeochemical characterization of contaminated groundwater in Patancheru industrial area, southern India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184:3557-3576.
29. Redwan, M. and 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.

Abstract**Evaluation of Effective Processes on Groundwater Quality of Meshgin-Shahr Plain by Integration of Geochemical and Statistical Methods**A. Asghari Moghaddam¹, Sh. Norollahi², R. Barzegar³, E. Fijani⁴, N. Kazemian⁵ and Sh. Soltani⁶

Received: 13-03-2017 Accepted: 19-02-2018

Groundwater is the most important water resource supply for drinking, agriculture and industry in the Meshgin-Shahr, Ardebil province. Therefore, it is required to be considered the quality of the resource beside the quantity. The objective of this study is to identify the hydrogeochemical factors and processes governing the groundwater quality of the Meshgin-Shahr plain using the statistical analysis methods and bivariate diagrams. For this purpose, 25 samples were collected from the groundwater resources of the plain and analyzed in regards with major and some minor (nitrate, fluoride and silica) ions in the Laboratory of the University of Tabriz. The pH and EC values were measured in the field. The results of measurements and analysis show that some parameters in some samples have amounts higher than maximum permissible limits for drinking. Based on the Piper diagram the samples are mainly belonged to bicarbonate and mixed water type. Cluster analysis puts the groundwater samples into two distinct clusters which are different mainly based on the EC and its related ions. The results of factor analysis and different bivariate diagrams revealed that weathering and dissolution of rocks, ion exchange and anthropogenic activities, with different ratios, influence the groundwater composition of the Meshgin-Shahr aquifer.

Keywords: *Groundwater, Chemical quality, Cluster analysis, Factor analysis, Meshgin-Shahr plain*

1- Correspond author and Assistant Prof. in Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz, moghaddam@tabrizu.ac.ir

2- M.Sc. in Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz

3- Ph.D. student in Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz

4- Assis. Prof. in Hydrogeology, School of Geology, College of Science, University of Tehran

5- Water quality control laboratory expert, East Azarbaijan state water and waste water company

6- Ph.D. student in Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz