بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین‌شهر (استان اردبیل) با تأکید بر منشأ احتمالی برخی فلزات سنگین

شاهرخ نوراللهی[۱]، اصغر اصغری‌مقدم[۲]*، الهام فیجانی[۳] و رحیم برزگر[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۲]استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۳]استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۴]دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

در دهه‌های اخیر به دلیل رشد روزافزون جمعیت در منطقه مشگین‌شهر و به تبع آن افزایش تقاضا برای استفاده از آب برای شرب و کشاورزی و صنعت باعث شده است که آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع آبی منطقه از نظر کمی و کیفی مورد توجه قرار گیرد. اهداف این پژوهش، بررسی منشأ احتمالی برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره از جمله تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی به همراه ضریب همبستگی و همچنین شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه هستند. برای این منظور ۲۰ نمونه از منابع آب زیرزمینی منطقه در مهر ماه سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری گردید. پارامترهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، یون‌های اصلی (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلراید، سولفات و بی‌کربنات) و برخی یون‌ها و گونه‌های فرعی (نیترات، فلوراید و سیلیس) و برخی از فلزات/ شبه‌فلزات سنگین همچون آهن، منگنز، آلومینیم، روی، کروم، مس، کادمیم، سرب و آرسنیک اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه شیمیایی نشان داد که برخی از نمونه‌ها نسبت به بعضی از این عناصر همچون آلومینیم، سرب، کادمیم، روی و آرسنیک غلظت بالاتر از حد مجاز برای آشامیدن دارند. بررسی‌ها نشان داد که در آبخوان دشت مشگین‌شهر فرایندهایی همچون هوازدگی و انحلال واحدهای زمین‌شناسی به ویژه واحدهای ائوسن در شمال سبلان، تعویض یونی و فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مؤثر می‌باشند. بر اساس نتایج آنالیز چندمتغیره، اغلب فلزات سنگین در آب زیرزمینی از سازندهای آتشفشانی موجود در منطقه نشأت می‌گیرند و شوری و اسیدیته نقش مهمی در آزادسازی آنها در آب زیرزمینی دارند. تحلیل عاملی نشان داد که فرایندهای زمین‌زاد با مجموع واریانس ۷۹/۹ درصد و عوامل انسان‌زاد با مجموع واریانس ۶/۶ درصد شیمی آب زیرزمینی منطقه را کنترل می‌کنند. بنابراین با توجه به اینکه فرایندهای زمین-شناسی عمده کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر می‌باشند و آزادسازی فلزات سنگین به آب اغلب تحت تأثیر اسیدیته و شوری آب اتفاق می‌افتد، بایستی اقدامات لازم در جهت کنترل آنها صورت گیرد تا از غنی‌شدگی بیشتر آبخوان توسط فلزات سنگین در آینده جلوگیری به عمل آید.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، آمار چندمتغیره، کیفیت آب، فلزات سنگین، مشگین‌شهر.

***نویسنده مسئول:** اصغر اصغری‌مقدم

E-mail: Moghaddam@tabrizu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

در سال‌های اخیر کمبود منابع آب در سطح جهان سبب شده است که مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی در کنار کمیت آن موضوع بسیاری از تحقیقات هیدروژئولوژیکی باشد. کیفیت آب زیرزمینی به ترکیب آب تغذیه‌ای، ترکیب کانیایی و واکنش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی موجود در آبخوان‌ها، فعالیت‌های بشری و پارامترهای محیطی که ممکن است تحرک ژئوشیمیایی ترکیبات را تحت تأثیر قرار دهند، بستگی دارد. برخلاف منابع آب سطحی، آلودگی آبخوان‌ها عمدتاً غیر قابل برگشت بوده، چرا که نوسازی آب در اعماق زمین در مقایسه با آب‌های سطحی، بسیار کند است (رهنمای رهسپار و همکاران، ۱۳۹۴). در دهه‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی به یک مشکل جهانی هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه‌یافته تبدیل شده است (Mehrotra and Mehrotra, 2000). بنابراین، آنچه در حال حاضر بیش از هر موضوعی مورد توجه قرار گرفته ، مسئله آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین است که به دلیل غیرقابل جذب بودن و داشتن تأثیرات فیزیولوژیکی، در غلظت پایین نیز بر فعالیت و سلامت جانداران تأثیرگذار هستند (اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌طور کلی فلزات سنگین دارای دو منشأ اصلی می‌باشند، منشأ طبیعی که در اثر هوازدگی سنگ بستر وارد محیط زیست می‌شوند و منشأ انسانی، که در اثر فعالیت‌های صنعتی، معدنکاری، عبور و مرور وسایل نقلیه، کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی وارد طبیعت می‌شوند (Kribek et al., 2010). گام نخست در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات می‌باشد. از این رو برای حفظ محیط زیست، کنترل آلودگی و بهداشت عمومی باید اطلاع دقیقی از میزان آلودگی‌ها به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آنها در محیط‌های آبی وجود داشته باشد.

امروزه از روش‌های مختلفی برای بررسی غلظت فلزات سنگین استفاده می‌شود. روش‌های آماری چندمتغیره به‌طور گسترده‌ای در تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی برای نشان دادن منشأ آلودگی به کار برده شده‌اند (Facchinelli et al., 2001; Rubio et al., 2000). از جمله این روش‌های آماری چندمتغیره می‌توان تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی را نام برد. هدف روش‌های آماری چندمتغیره، ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارند. تحلیل عاملی، ارتباط بین نمونه‌ها و متغیرها را بیان می‌کند (Menico and Mas-Pla 2008). 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 (Dragon , 2006; Aris et al., 2007; Barzegar et al., 2015). این تکنیک توسط محققین مختلف به منظور شناخت ارتباط بین تشکیل‌دهنده‌ها و تشریح فرایندهای هیدروشیمیایی به کار برده شده است (Barzegar et al., 2018; Kumar et al., 2006; Sikdar et al., 2001). تحلیل خوشه‌ای شامل تعدادی روش و الگوریتم‌های مختلف می‌باشد که به منظور گروه‌بندی داده‌های آماری مشابه و قرارگیری آنها در گروه‌های مناسب به کار می‌رود که داده‌ها متعلق به یک گروه دارای بیشترین درجه شباهت خواهند بود. تکنیک‌های خوشه‌بندی مختلفی وجود دارند که تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در علوم زمین است. از طریق تحلیل عاملی، روابط بین متغیرها را می‌توان به‌طور تصویری یا تعریفی خلاصه کرد. تحلیل عاملی ابتدا مؤلفه‌ای را استخراج می‌کند که نمایانگر حداکثر تغییر در درون داده‌ها می‌باشد؛ سپس مؤلفه بعدی استخراج می‌شود. از این

مؤلفه آماری به‌طور گسترده برای کاهش داده‌ها و استخراج تعداد کمتری از فاکتورها برای تحلیل متغیرهای مشاهده شده استفاده می‌شود. ضریب همبستگی اندازه‌گیری درجه ارتباط بین دو متغیر است که برای تعیین میزان وابستگی و یا ارتباط خطی بین متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

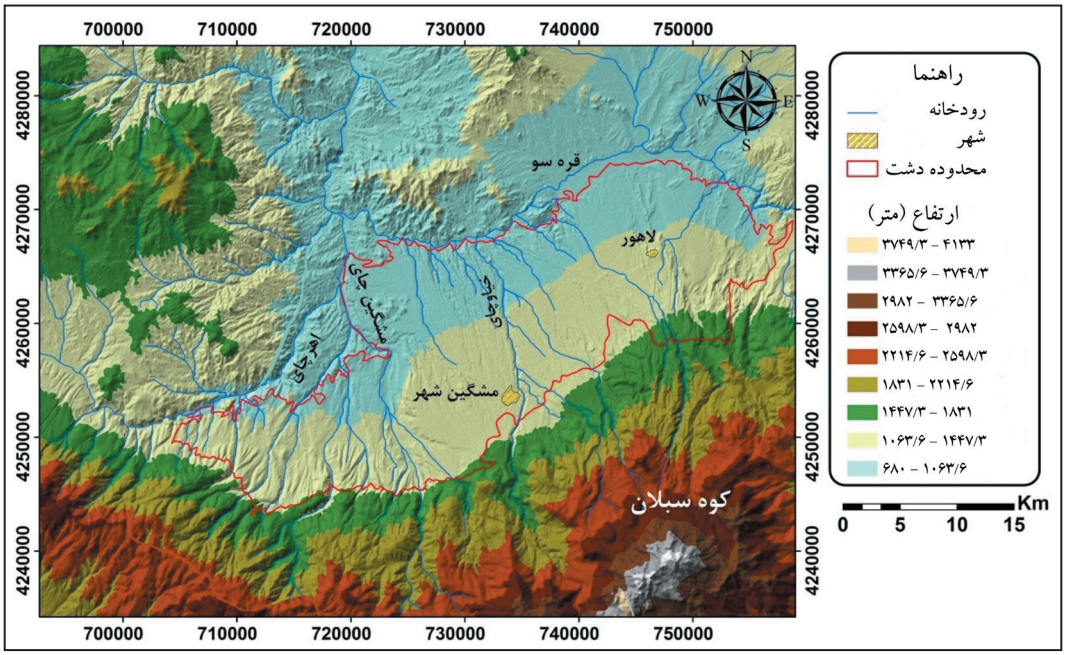
تاکنون محققین مختلفی از تلفیق روش‌های هیدروژئوشیمیایی مختلف و آماری برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی و تأثیر فلزات سنگین بر آن بهره گرفته‌اند. Barzegar et al. (2015) با هدف ارزیابی برخی فلزات سنگین (Cr، As، Zn، Al، Mn و Fe) به ویژه آرسنیک و تعیین منشأ آنها، به مطالعه آبخوان دشت تبریز پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت آهن، منگنز، کروم، آرسنیک و آلومینیم در برخی از نمونه‌ها بیش از حداکثر غلظت مجاز بود. در منطقه دو نوع آبخوان با دو کیفیت متفاوت شناسایی شد. آبخوان آزاد حاوی آب شور و غلظت کمتری از آرسنیک بود. در حالی که آبخوان تحت فشار با آب شیرین و غلظت بیشتری از آرسنیک قابل تشخیص بود. در این مطالعه، سازندهای زمین‌شناسی مانند توف‌های آبرفتی کوه سهند به عنوان منشأ آرسنیک در نظر گرفته شدند. فخری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی منشأ برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی دشت مرند با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به این نتیجه رسیدند که وجود فلزات سنگین از قبیل آهن ، منگنز، کروم، آلومینیم، باریم و آرسنیک در آب زیرزمینی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. همچنین منشأ سرب و کادمیم احتمالاً از انحلال سنگ‌ها و سازندهای موجود در منطقه بود. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که سه عامل در شیمی آب منطقه تأثیر داشت که عامل اول و سوم زمین‌زاد (ناشی از تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی، هوازدگی کانی‌ها، فرایندهای تعویض یونی و هوازگی سیلیکات‌های پتاسیم دار) و عامل دوم انسان‌زاد (ناشی از نشت پساب‌های شهری و چاه‌های جذب خانگی و آبشویی کودهای کشاورزی) بودند. Kumar et al. (2006) برای بررسی فرایندهای هیدروشیمیایی مؤثر بر آب زیرزمینی منطقه دهلی از روش‌های آماری چندمتغیره و مدل‌سازی ژئوشیمیایی بهره گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی در پایتخت کشور هند نه تنها تحت تأثیر فرایندهای ژئوشیمیایی طبیعی است. بلکه ورودی‌های انسانی نیز در آن مؤثرند. عوامل مؤثر بر آب زیرزمینی منطقه به چهار فاکتور طبقه‌بندی شدند. تبادل یونی، هوازدگی و انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها، غنی‌سازی فلوئوراید، تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از کود، نشت از مخازن سپتیک و کانال‌ها به عنوان بعضی از عوامل تعیین کننده ژئوشیمی زمین‌شناسی آب‌های زیرزمینی در منطقه بودند.

در دهه‌های اخیر رشد روزافزون جمعیت در منطقه مشگین‌شهر و به تبع آن افزایش تقاضا برای استفاده از آب برای شرب، کشاورزی و صنعت باعث شده است که آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع آبی منطقه مورد توجه قرار گیرد. بنابراین لازم است در کنار توجه به کمیت آب زیرزمینی منطقه، کیفیت آن نیز مورد توجه قرار گیرد. تاکنون گزارشی از غلظت فلزات سنگین در آب زیرزمینی منطقه و منشأهای احتمالی آن ارائه نشده است. بنابراین این پژوهش می‌تواند به عنوان مطالعه اولیه‌ای برای تصمیم‌گیرندگان در جهت مدیریت کیفی آب زیرزمینی منطقه حائز اهمیت باشد. اهداف مطالعه حاضر شامل بررسی منشأ احتمالی برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین‌شهر با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره از جمله تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی به همراه ضریب همبستگی و همچنین شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه می‌باشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲- ۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

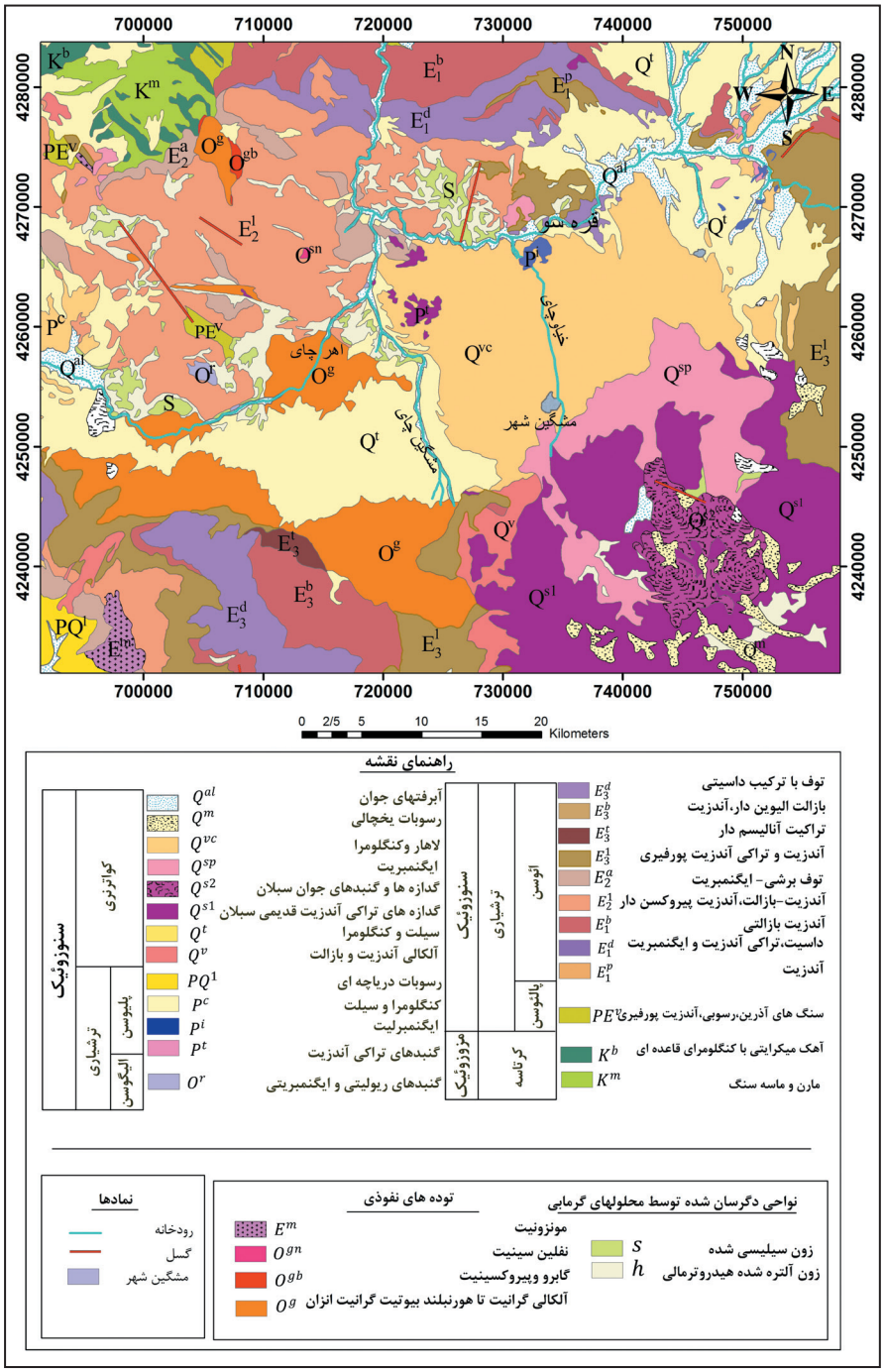
دشت مشگین‌شهر با وسعت تقریبی ۷۰۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران در استان اردبیل قرار دارد. شکل ۱ مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه و سیستم زهکشی آن را نشان می‌دهد. کوه سبلان مرتفع‌ترین نقطه در منطقه می‌باشد که در قسمت جنوب‌شرقی مشگین‌شهر واقع شده است. آب‌های حاصل از بارش در مناطق کوهستانی به‌صورت جریان‌های سطحی و یا زیرزمینی به طرف دشت حرکت می‌کنند و منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل استحصال در طول سال را تشکیل می‌دهند. رودخانه قره‌سو که از رشته کوه‌های تالش (باغرو) در شرق اردبیل سرچشمه می‌گیرد یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منطقه مشگین‌شهر، دشت مغان و اردبیل است که در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل آب‌های جاری این قسمت از جمله بالخلی‌چای را جمع‌آوری می‌کند. این رودخانه در منطقه مشگین‌شهر آب خیاوچای را دریافت می‌کند. متوسط دمای سالیانه منطقه ۱۱/۶۶ درجه سانتی‌گراد (بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های آبیاری مشگین، صاحب‌دیوان و سد سبلان، ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱) و میزان متوسط سالیانه بارش ۲۹۲ میلی‌متر (بر اساس داده‌های ایستگاه‌های آبیاری مشگین، ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱) می‌باشد. با توجه به اطلاعات هواشناسی و بر اساس روش اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد تعیین شد.



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

۲- ۲. زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

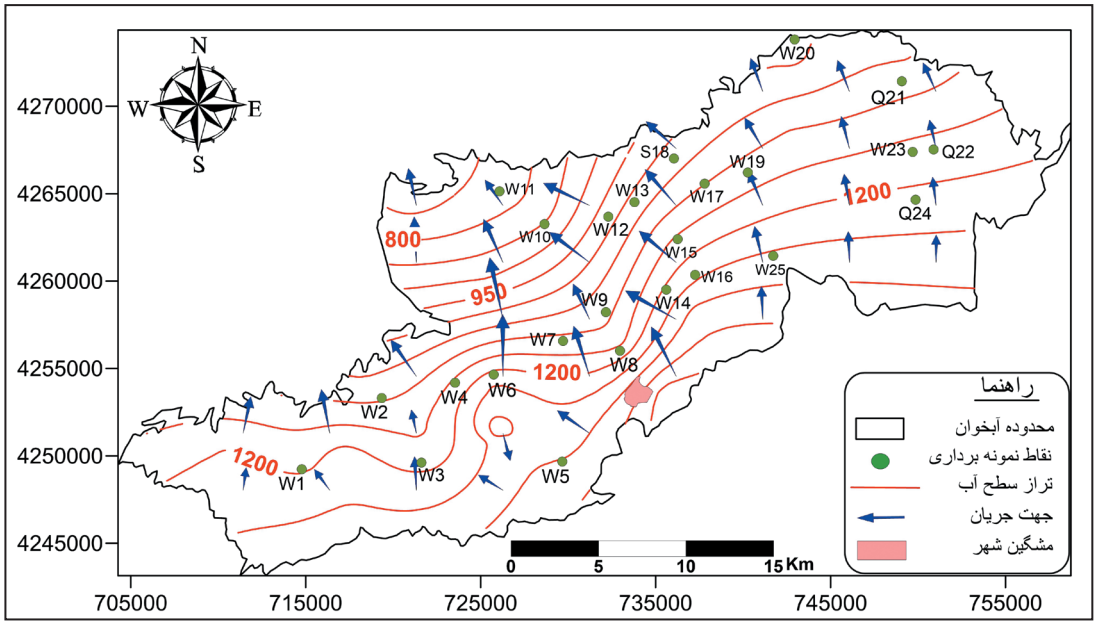
از لحاظ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بخشی از واحد ساختاری البرز- آذربایجان محسوب می‌شود. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مشگین‌شهر را نشان می‌دهد. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه مربوط به کرتاسه می‌باشند. سنگ‌های تشکیل‌دهنده این واحدها شامل کنگلومرا، شیل‌های سیلتی، مارن، آهک، آهک ماسه‌ای دانه‌ریز و ماسه‌سنگ دانه‌درشت هستند که در بخش‌های شمال غربی محدوده قرار گرفته‌اند. سنگ‌های به سن پالئوسن شامل آندزیت پورفیری، تراکی‌آندزیت و سنگ‌های آذرآواری نظیر توف و آگلومرا و به‌صورت واحدهای کوچک در شرق محدوده هستند. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مربوط به ائوسن و شامل آندزیت، بازالت، توف- ایگنمبریت‌های داسیتی، گدازه‌های تراکیتی- تراکی آندزیتی و توف برشی و توف با ترکیب داسیتی تا ریوداسیتی می‌باشند که قسمت‌های شمالی و جنوبی دشت را پوشانده‌اند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

واحدهای کواترنری شامل گدازه‌های برشی شده با ترکیب تراکی‌آندزیتی- تراکی‌بازالتی، ریولیتی، روانه‌های خاکستر پامیس‌دار با ترکیب ریوداسیتی- ریولیتی بخش جنوب و جنوب شرقی دشت را می‌پوشانند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی که تشکیل‌دهنده عمده دشت هستند، شامل تکه‌سنگ‌هایی به‌صورت گدازه‌های قدیمی‌تر سبلان از نوع تراکی‌آندزیت، آندزیت، و تراکیت با بافت پورفیری می‌باشند، که قطر آنها حداکثر به یک متر می‌رسد. این واحد زمینه‌ای ماسه، رس و سیلت دارد. توده‌های گرانیت تا گرانودیوریت در کنار رود اهر و توده مونزونیتی در جنوب غرب محدوده مطالعاتی نیز مهم‌ترین سنگ‌های نفوذی منطقه می‌باشند.

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 بوده و به‌طور کلی شیب هیدرولیکی در بخش مرکزی دشت نسبت به قسمت‌های شرقی و غربی دشت بیشتر است (شکل ۳). همچنین عمق آب زیرزمینی به‌طور کلی از جنوب به سمت شمال دشت کمتر می‌شود. بخش اعظم دشت را آبرفت‌های قدیمی تشکیل می‌دهند که به‌صورت تراس‌های قدیمی نمایان هستند. حداکثر ضخامت این آبخوان آبرفتی در مرکز دشت ۸۰ متر و متوسط آن ۳۰ متر است که به طرف حاشیه دشت کاهش می‌یابد. مواد اصلی تشکیل‌دهنده آبخوان شامل شن، ماسه و سیلت و رس و در دامنه‌ها، ذرات تشکیل‌دهنده آنها بیشتر دانه‌درشت هستند و با حرکت به مرکز دشت دانه‌ریزتر می‌شوند. متوسط ضریب ذخیره دشت ۴/۴ درصد و حداکثر و حداقل قابلیت انتقال آبخوان به ترتیب ۵۰۰ و ۳۰ مترمربع بر روز برآورد شده است.



شکل ۳- جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در دشت مشگین‌شهر (مهر ماه ۱۳۹۵).

۲- ۳. نمونه‌برداری و تجزیه هیدروشیمیایی

به‌طور کلی در این پژوهش، ۲۰ نمونه از منابع آب زیرزمینی منطقه در مهر ماه سال ۱۳۹۵ برداشت شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۳ نشان داده شده است. در طول نمونه‌برداری سعی شد از روش‌های استاندارد نمونه‌برداری (EPA, 2000) استفاده شود. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین و عناصر اصلی در ظرف‌های جداگانه پلی‌اتیلنی جمع‌آوری شدند که برای جلوگیری از ته‌نشست فلزات سنگین، تقریباً ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک با غلظت ۶۵% به نمونه‌های مدنظر برای آنالیز فلزات سنگین اضافه شد. پارامترهای اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب توسط دستگاه‌های قابل حمل مدل Metrohm 826 و HANNA HI 9033 در صحرا اندازه‌گیری شدند. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای با دستگاه Flam Photometr 410 ساخت شرکت Sherwood، آنیون‌های سولفات، نیترات، سیلیس و فلوئوراید به روش اسپکتروفوتومتری با دستگاه SPECORD 40 ساخت شرکت Analytik Jena و سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها (کلسیم، منیزیم، کلراید و بی‌کربنات) به روش حجم‌سنجی بر اساس روش‌های استاندارد در آزمایشگاه آبشناسی دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شدند. فلزات/ شبه‌فلزات سنگین (Fe، Mn، Al، Cd، Pb، Cu، Cr، Zn و As) با دستگاه جذب اتمی Spectra AA 220 مجهز به کوره گرافیتی مدل GTA110 ساخت شرکت واریان (Varian) در آزمایشگاه کنترل کیفی آب استان آذربایجان‌شرقی اندازه‌گیری گردیدند.

صحت تجزیه شیمیایی یون‌های اصلی با استفاده از محاسبه بالانس یونی کاتیون- آنیون از بررسی شد. درصد خطای بالانس یونی برای تمامی نمونه‌های آنالیز شده در محدوده مجاز ±۵% بود. همچنین صحت اندازه‌گیری فلزات سنگین با اندازه‌گیری مواد مرجع تأیید شده NIST SRM برای هر فلز کنترل شد.

در این پژوهش از روش‌های آماری چندمتغیره به منظور ارزیابی منشأ برخی فلزات سنگین بهره گرفته شد. در تحلیل روش‌های آماری چندمتغیره با توجه به عدم تبعیت جامعه آماری بسیاری از پارامترها و یون‌های اندازه‌گیری شده از توزیع نرمال، برای داده‌ها نرمال‌سازی صورت گرفت. آنالیز همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط جفت پارامترهای هیدروشیمیایی به کار برده می‌شود. در این پژوهش با توجه به نرمال‌سازی داده‌ها، از همبستگی پیرسون استفاده گردید. ضریب همبستگی (r) بالا (نزدیک ۱+ یا ۱ -) به معنی همبستگی خوب بین دو جفت متغیر است و مقادیر نزدیک به صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو متغیر در یک سطح معنی‌دار p< ۰/۰۵ می‌باشند. به‌طور صریح می‌توان گفت پارامترهای دارای r> ۰/۷ به‌صورت همبستگی قوی، پارامترهای دارای ۰/۷ > r > ۰/۵ به‌صورت همبستگی متوسط و پارامترهای دارای r< ۰/۵ به‌صورت همبستگی ضعیف در نظر گرفته می‌شوند (Devi Onim et al., 2012).

برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، از داده‌های استاندارد تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده با به کارگیری روش وارد (Joe and Ward, 1963) و مربع فاصله اقلیدسی‌شده استفاده گردید. استانداردسازی داده‌های خام به‌منظور غلبه بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرها صورت می‌گیرد.

فرض اساسی در روش تحلیل عاملی، وجود ارتباط بین متغیرهاست که این ارتباط در قالب یک فاکتور، در یک مدل فرضی ظاهر می‌شود. به‌طور کلی هدف از این روش آماری چندمتغیره، تعیین متغیرهای کنترل‌کننده اصلی در بین یک سری داده‌ها، یا به عبارت دیگر، یافتن حداقل تعداد متغیرهایی است که بیشترین تغییرات مشاهده شده را در بین سری داده‌ها نشان می‌دهد. برای تحلیل عاملی تمامی متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها در نظر گرفته شدند.

نخستین مرحله در تحلیل عاملی، استانداردسازی داده‌های خام و محاسبه ماتریس همبستگی بین متغیرهای استاندارد شده است. دومین مرحله محاسبه میزان بار عامل‌هاست که به‌صورت درجه نزدیکی بین عامل و متغیرها بیان می‌شود. مقادیر ویژه سهم یک عامل را از واریانس کل نشان می‌دهد. عامل‌ها بر اساس تحلیل مقادیر ویژه ماتریس همبستگی تهیه می‌شوند و عامل‌های بارگذاری شده و وزن عامل‌ها، اندازه‌گیری‌های اصلی تحلیل عاملی می‌باشند. عموماً در این روش مقادیر ویژه بالاتر از یک را به عنوان عوامل مؤثر بر سیستم در نظر می‌گیرند (Lu et al., 2011).

شاخص KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) معیاری برای کفایت نمونه‌گیری برای آنالیز آماری به ویژه تحلیل عاملی می‌باشد. این شاخص مقادیر همبستگی مشاهده شده را با مقادیر همبستگی جزئی مقایسه می‌کند. مقادیر کوچک‌تر KMO بیانگر آن است که همبستگی بین زوج متغیرها نمی‌تواند توسط متغیرهای دیگر تبیین شود. بنابراین کاربرد تحلیل عاملی متغیرها ممکن است قابل توجیه نباشد. در این مطالعه تناسب تعداد نمونه‌ها بر اساس شاخص KMO سنجیده شد که مقدار آن برابر با ۰/۵۲ می‌باشد که کفایت تعداد نمونه‌ها را به‌طور متوسط بیان می‌کند. Li et al. (2011) و Wang et al. (2017) معتقدند که شاخص KMO برای تعداد کافی نمونه‌ها بایستی بیشتر از ۰/۵ باشد. یادآور می‌شود که برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار آماری SPSS V.21 استفاده گردید.

۳- بحث

۳- ۱. هیدروشیمی

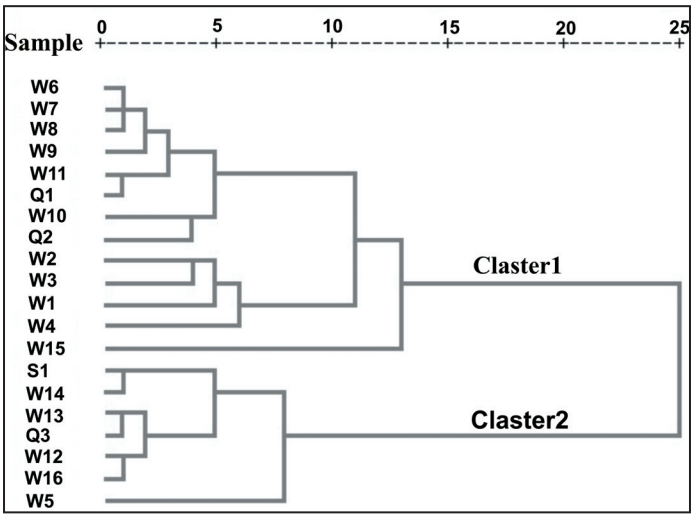
جدول ۱ خلاصه آماری نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج اندازه‌گیری‌ها، مقادیر pH نمونه‌ها بین ۷/۲۲ تا ۷/۶۵ (با مقدار میانه ۷/۴۲) و نشانگر آب با ویژگی خنثی می‌باشند. مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌ها بین ۳۰۰ تا ۱۵۵۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است که در برخی نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد مجاز ۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر (WHO, 2011) برای آشامیدن می‌باشد. فراوانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در نمونه‌ها بر اساس مقادیر میانه، به ترتیب به‌صورت کلسیم > سدیم > منیزیم > پتاسیم و بی‌کربنات > سولفات > کلراید می‌باشد. غلظت نیترات و فلوئوراید در هیچ یک از نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز برای آشامیدن نیست. نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که برخی از نمونه‌ها نسبت به بعضی از فلزات سنگین همچون آلومینیم، سرب، کادمیم، روی و آرسنیک غلظت بالاتری از حد مجاز برای آشامیدن (WHO, 2011) دارند. بر اساس نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای، با توجه به سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵، بین میانگین غلظت همه پارامترهای اندازه‌گیری شده به جز فلز روی (sig.=۰/۶۷) با استاندارد بهداشت جهانی (WHO, 2011) اختلاف آماری معنی‌داری (sig.<۰/۰۵) وجود دارد. بدین صورت که تفاوت میانگین غلظت تمامی پارامترها به جز آرسنیک، آلومینیم، سرب و کادمیم به ترتیب برابر با ۲۱/۵۲، ۴۶/۰۵، ۳/۷ و ۲/۸۹ کمتر از رهنمود سازمان بهداشت جهانی است.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی (هدایت الکتریکی به میکرزیمنس بر سانتی‌مترو بقیه پارامترها به میلی‌گرم بر لیتر).

مشخصه‌ها	کمترین	میانه	میانگین	بیشترین	انحراف از معیار	استاندارد (WHO, 2011)
اسیدیته	۷/۲۲	۷/۴۲	۷/۴	۷/۶۵	۰/۱۲	۶/۵-۸/۵
هدایت الکتریکی	۳۰۰	۷۱۵	۷۴۵/۷	۱۵۵۲	۲۸۵/۰۱	۱۵۰۰
کلسیم	۴۰/۱	۸۹/۶	۸۷/۵۷	۱۶۲	۲۷/۳۳	۲۰۰
منیزیم	۸/۷۵	۱۸/۲۴	۲۳/۷۱	۷۲/۹۰	۱۵/۶۵	۵۰
سدیم	۱۴/۷۷	۴۶/۸۸	۵۶/۳۷	۱۴۹/۳۳	۲۸/۹۱	۲۰۰
پتاسیم	۱/۶۷	۷/۰۵	۷/۰	۱۴/۲۰	۲/۶۸	۱۲
بی‌کربنات	۱۵۸/۶	۲۵۱/۳	۲۷۹/۲۵	۴۷۸/۲۴	۸۹/۲۸	۵۰۰
کلراید	۷	۳۱/۰۳	۴۴/۲۳	۸۳/۹۷	۲۷/۵۳	۲۵۰
سولفات	۶/۶	۸۶	۱۲۳/۸۲	۴۹۷/۵	۹۵/۰۴	۲۵۰
فلوئوراید	۰/۶۶	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۳۱	۰/۱۹	۱/۵
نیترات	۷/۲۹	۱۹/۳۱	۲۰/۳	۴۸/۲۸	۸/۲۹	۵۰
سیلیس	۳۱/۰۵	۷۲/۹۴	۶۶/۱۱	۱۰۵/۰۷	۲۱/۲۰	–
آهن	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۵۳۵	۰/۱۲	۳
منگنز	< ۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱	۰/۵
آلومنیم	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶۶	۰/۲۸۱	۰/۰۵	۰/۰۲
سرب	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱
مس	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۲
کادمیم	<۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
روی	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	۰/۰۵۴	۰/۱۶۳	۰/۰۴	۰/۰۵
کروم	<۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۵
آرسنیک	۰/۰۱۱	۰/۰۳	۰/۰۳۱	۰/۰۵۲	۰/۰۱	۰/۰۱

۳- ۲. تحلیل خوشه‌ای

در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی (HCA Hierechical clustering analysis) برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شد. از ویژگیهای مهم این روش ارائه نمودار گرافیکی دندروگرام است (شکل ۴). نتایج تحلیل خوشه‌ای، نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه را در دو خوشه مجزا قرار می‌دهد. نمونه‌های خوشه دو به جز نمونه W5 عمدتاً مربوط به بخش شرقی دشت می‌باشند، حال آنکه نمونه‌های خوشه یک در قسمت‌های غربی دشت و انتهای بخش شرقی دشت قرار دارند.



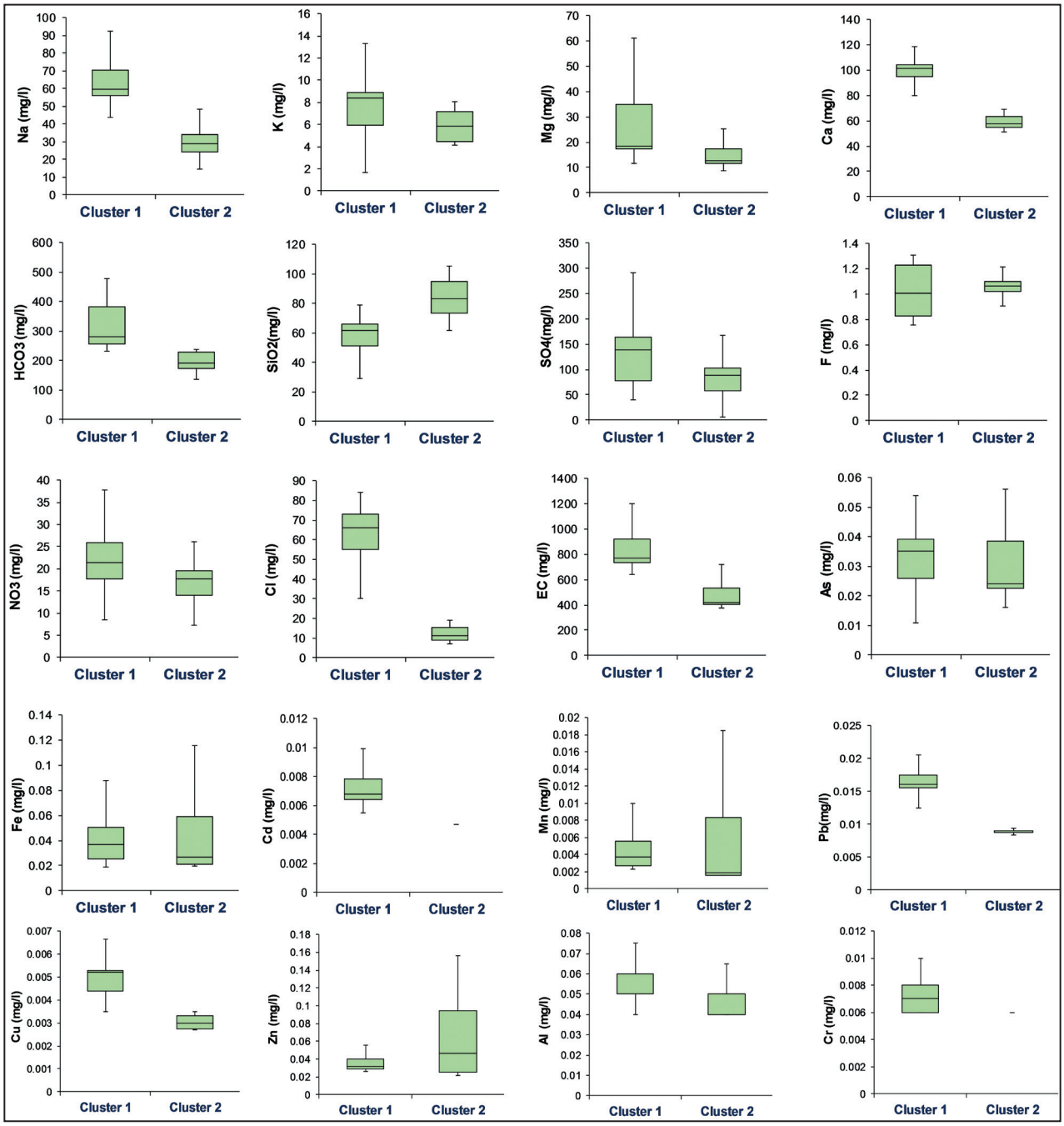
شکل ۴- نمودار درختی حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مشگین‌شهر.

برای درک تفاوت دو خوشه از نمودارهای جعبه‌ای مربوط به هر پارامتر مورد استفاده در خوشه‌بندی استفاده گردید (شکل ۵). بر اساس نمودارهای جعبه‌ای عمده تفاوت دو خوشه مربوط به مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌ها و یون‌های وابسته به آن می‌باشد. متوسط هدایت الکتریکی خوشه یک ۸۸۷/۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و متوسط هدایت الکتریکی خوشه دو ۴۸۳/۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. از نظر اسیدیته و غلظت سیلیس نیز، نمونه‌های خوشه اول نسبت به خوشه دوم دارای pH بیشتر و سیلیس کمتر می‌باشند. همچنین نمونه‌های خوشه اول نسبت به خوشه دوم غلظت نیترات و فلزات سنگین (به جز روی) بیشتری دارند.

۳- ۳. تحلیل عاملی

روش تحلیل عاملی برای تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه به کار گرفته شد. جدول ۲، ماتریس عامل‌ها، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی عامل‌ها را برای تحلیل عاملی نشان‌می‌دهد. بر این اساس شش عامل اول که مقادیر ویژه بالاتر از یک دارند به عنوان عوامل اصلی شناسایی شدند که ۸۶/۵ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود. از بین این عوامل، عامل اول ۴۲/۲ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل بر کیفیت آب است. این عامل شامل پارامترهای سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، سرب، کادمیم، کروم و هدایت الکتریکی با بار عاملی مثبت و اسیدیته (pH) با بار عاملی منفی می‌باشد. این عامل به‌علت تأثیر هدایت الکتریکی در آن، مؤثرترین عامل شوری محسوب می‌شود. مقادیر بار عاملی منفی pH بیانگر عدم تأثیر افزایش اسیدیته در هیدروشیمی منطقه است که نشانگر افزایش انحلال‌پذیری عناصر به ویژه کاتیون‌ها با کاهش pH می‌باشد. مقدار بار عاملی بالا برای کلسیم، منیزیم و سدیم می‌تواند فرایندهای تبادل یونی را نشان دهد. این فرایند زمانی رخ می‌دهد که کانی‌های غنی از سدیم با کلسیم و منیزیم آب زیرزمینی وارد واکنش و باعث ورود سدیم به آب زیرزمینی شوند. همراهی فلزات سنگینی همچون سرب، کادمیم و کروم با سایر پارامترهای مؤثر در این عامل نشان میدهد که این فلزات منشأ طبیعی داشته و تشکیل کمپلکس‌های سولفاتی و کلرایدی نقش مهمی در آزادسازی این فلزات داشته‌اند (Soltani et al., 2018; Esmaeili et al., 2017). در واقع عامل یک نشان‌دهنده تعامل آب- سنگ در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و می‌توان افزایش این یون‌ها را تحت تأثیر کانی‌های حاوی سرب و کادمیوم موجود در سازندهای آتشفشانی سبلان در منطقه دانست. این عامل عمدتاً بخش‌های غربی دشت و قسمت کوچکی از انتهای بخش شمالی آبخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۶- الف). نتایج حاصل از مطالعات طلایی و پیروان (۱۳۸۵) حکایت از وجود پتانسیل فلزات پایه و با ارزش در توده آذرین غرب سبلان و در اکثر موارد تمرکز عناصری همچون Cr، Pb، Zn، Cu، Mn، As و Ni دارد که می‌تواند کیفیت آب زیرزمینی بخش غربی آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین حضور بسیاری از کانی‌ها نظر کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، اسفن، زیرکن، روتیل و غیره در رسوبات رودخانه‌ای تأییدی بر حضور این عناصر در سازندهای این ناحیه می‌باشد (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵).

پارامترهای عامل دوم با واریانس ۱۶/۸ درصد شامل آرسنیک، سیلیس، پتاسیم و فلوئوراید می‌باشد. مطالعات در جهان نشان می‌دهد که آتشفشان‌ها مهم‌ترین منبع طبیعی آرسنیک هستند (Nriago and Pacyna 1988) و فعالیت‌های آتشفشانی می‌توانند در انتشار آرسنیک مؤثر باشند. با توجه به ارتباط آرسنیک با پتاسیم و سیلیس می‌توان گفت منشأ این پارامترها از سازندهای آذرین منطقه است. وجود ارتباط مثبت بین سیلس و پتاسیم می‌تواند ناشی از هوازدگی سلیکات‌های حاوی پتاسیم در منطقه باشد. همچنین بار عاملی بالای فلوئوراید نشان‌دهنده آبشویی کانی‌های حاوی فلوئوراید همچون بیوتیت در سازندهاست (Barzegar et al., 2018) که این عامل نیز نشانگر تأثیر فرایندهای زمین‌زاد بر کیفیت آب زیرزمینی دشت می‌باشد. وجود بیوتیت در واحدهای آندزیتی و تراکی‌آندزیتی شمال سبلان توسط فتح‌اللهی و خیرخواه (۱۳۹۴) اشاره شده است. بر اساس شکل ۶- ب امتیاز عامل دوم در نواحی شرقی و شمال شرقی دشت مقادیر بیشتری نشان می‌دهد که می‌توان آن را نتیجه تأثیر واحدهای Q^{SP} (ایگنمبریت) و Q^{S2} (شامل گدازه‌های ریولیتی و تراکیتی آندزیتی) دانست.



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای پارامترهای مورد مطالعه در آنالیز خوشه‌بندی.

جدول ۲- پارامترهای آماری نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین‌شهر.

متغیر	عامل یک	عامل دو	عامل سه	عامل چهار	عامل پنج	عامل شش
هدایت الکتریکی	۰/۹۹۳	-۰/۰۲۳	۰/۰۱۴	-۰/۰۲۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۴
اسیدیته	-۰/۴۵۶	-۰/۲۶۸	-۰/۳۱۴	۰/۲۲۵	-۰/۲۴۱	۰/۵۷۴
سدیم	۰/۹۳۵	۰/۱۳۱	۰/۰۴۶	-۰/۰۷۷	-۰/۱۲۱	۰/۰۰۹
پتاسیم	۰/۱۵۷	۰/۷۵۵	-۰/۰۱۸	-۰/۱۴۴	۰/۲۹۴	۰/۳۸۹
کلسیم	۰/۸۵۹	۰/۲۳۰	۰/۱۳۴	-۰/۰۳۰	۰/۲۱۷	۰/۲۲۰
منیزیم	۰/۸۷۶	-۰/۰۷۲	-۰/۰۶۷	۰/۱۰۴	۰/۰۸۹	-۰/۲۷۷
بیکربنات	۰/۷۹۷	-۰/۳۴۶	۰/۴۳۳	۰/۰۶۸	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶
کلراید	۰/۷۵۹	-/۱۱۲	۰/۳۶۹	-۰/۰۸۵	۰/۲۹۰	۰/۲۵۷

ادامه جدول ۲

متغیر	عامل یک	عامل دو	عامل سه	عامل چهار	عامل پنج	عامل شش
سولفات	۰/۷۸۴	۰/۳۶۷	-۰/۴۰۳	۰/۰۱۱	-۰/۰۷۴	-۰/۱۴۵
سیلیس	-۰/۳۹۱	۰/۷۷۳	-۰/۲۰۸	-۰/۱۳۷	-۰/۱۲۸	-۰/۲۸۸
نیترات	۰/۱۴۴	-۰/۰۱۹	-۰/۱۳۲	-۰/۰۲۳	۰/۹۲۵	۰/۰۲۰
فلوئوراید	۰/۲۲۳	۰/۵۹۴	-۰/۵۲۹	-۰/۲۲۴	-۰/۳۶۷	۰/۱۰۵
آهن	-۰/۲۶۲	۰/۰۰۳	۰/۲۰۶	۰/۸۸۰	-۰/۲۰۷	۰/۰۱۹
منگنز	۰/۱۷۴	-۰/۳۱۹	۰/۰۲۲	۰/۸۴۶	-۰/۰۹۴	-۰/۰۱۸
آلومنیم	۰/۱۹۴	۰/۰۹۷	۰/۸۴۵	۰/۱۷۲	-۰/۱۰۵	۰/۰۷۶
سرب	۰/۷۷۹	۰/۳۰۳	۰/۰۳۱	-۰/۰۴۲	۰/۲۵۶	۰/۴۲۶
کادمیم	۰/۹۲۱	-۰/۰۳۰	۰/۰۶۹	-۰/۰۳۲	۰/۲۱۶	۰/۲۵۳
مس	۰/۳۰۸	۰/۰۵۶	۰/۱۴۲	-۰/۰۵۰	-۰/۰۴۸	۰/۶۹۲
روی	-۰/۲۸۴	۰/۰۶۶	-۰/۱۸۸	-۰/۲۵۵	-۰/۵۰۰	۰/۱۹۲
کروم	۰/۹۴۵	۰/۰۴۳	۰/۱۵۳	-۰/۰۲۲	۰/۱۲۰	۰/۱۴۸
آرسنیک	۰/۱۸۰	۰/۸۶۳	۰/۲۳۰	-۰/۰۷۷	-۰/۰۹۵	۰/۰۴۰
مقدار ویژه	۸/۸۶۳	۳/۵۴۷	۱/۶۸۶	۱/۴۷۶	۱/۳۸۶	۱/۲۲۱
درصد واریانس هر عامل	۴۲/۲۰۷	۱۶/۸۹۲	۸/۰۲۸	۷/۰۳۱	۶/۶۰۰	۵/۸۱۴
درصد تجمعی واریانس	۴۲/۲۰۷	۵۹/۰۹۹	۶۷/۱۲۸	۷۴/۱۵۸	۸۰/۷۵۹	۸۶/۵۷۳

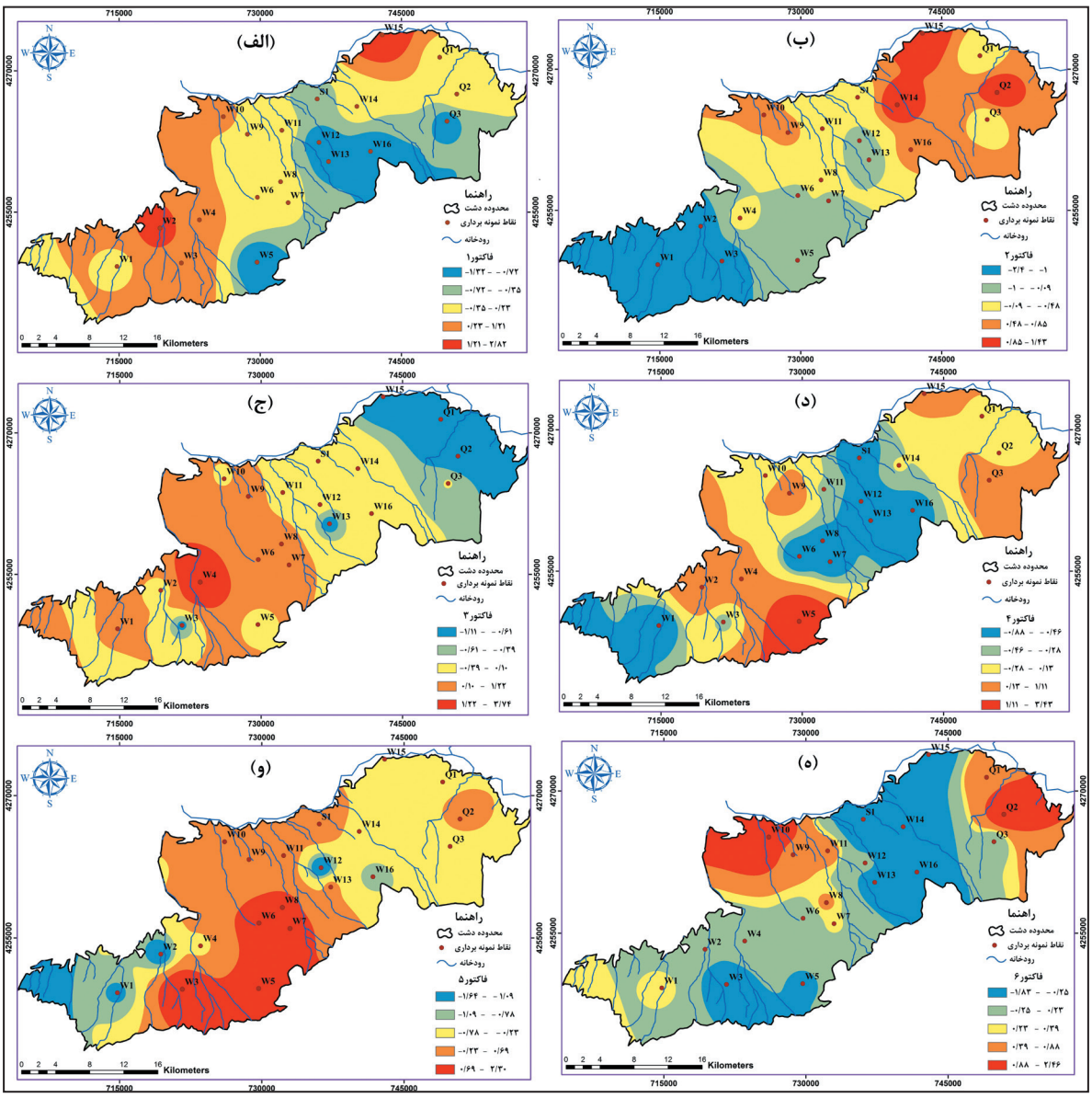
پارامترهای عامل سوم نیز با واریانس ۸ درصد شامل آلومینیم و بی‌کربنات با بار عاملی مثبت و سولفات و فلوئوراید با بار عاملی منفی هستند که نشان‌دهنده تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و کانی‌های حاوی آلومینیم است. بر اساس شکل ۶- ج امتیاز فاکتور سوم در نواحی غربی دشت مقادیر بیشتری نشان می‌دهد. با توجه به این که آلومینیم تقریباً در ترکیب شیمیایی تمامی فلدسپارها و سیلیکات‌ها (کانی‌های رایج در اغلب سنگ‌ها) وجود دارد، با هوازدگی کانی‌های مربوط به این گروه‌ها پیدایش آلومینیم درآب زیرزمینی حتی به‌صورت جزئی امری بدیهی می‌باشد. در حقیقت می‌توان دلیل افزایش آلومینیم برای نمونه W2 را همان انحلال کانیهای حاوی آلومینیم ذکر کرد.

عامل چهارم نیز با واریانس حدود ۷ درصد شامل پارامترهای آهن و منگنز می‌باشد که نشان‌دهنده منشأ مشترک آنهاست. امتیاز عامل چهارم (شکل ۶- د) در بخش‌های شمال شرق و شرق و همچنین در بخش‌هایی از غرب و جنوب آبخوان مقدار بالا نشان می‌دهد. منشأ این عناصر می‌تواند توده‌های آذرین موجود در منطقه به ویژه بازالت‌های الیوین‌دار باشد.

عامل پنجم با واریانس ۶/۶ درصد شامل نیترات با بار عاملی مثبت و روی با بار عاملی منفی است. از بار عاملی متفاوت بین نیترات و روی می‌توان نتیجه گرفت که روی منشأ طبیعی دارد. از آنجایی که اصلی‌ترین عامل افزایش نیترات فعالیت‌های انسانی (فاضلاب خانگی، شهری و صنعتی) و کشاورزی (کودهای کشاورزی) می‌باشد و با توجه به کشاورزی گسترده در منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت که عامل پنجم منشأ انسان‌زاد دارد. امتیاز عامل پنجم در نواحی مرکزی آبخوان مقادیر بیشتری نشان می‌دهد که به خوبی نشان‌دهنده اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی بر سیستم آب زیرزمینی و منشأ غیرطبیعی این یون در آبخوان است (شکل ۶- و). آب زیرزمینی این نواحی تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی از جمله استفاده از کودهای فسفاته و نیتروژنه می‌باشد که باعث آزاد شدن یون نیترات در آب می‌شود.

عامل ششم نیز با واریانس ۵/۸ درصد شامل مس و اسیدیته با بار عاملی مثبت و نشان‌دهنده تأثیر سازندهای زمین‌شناسی حاوی مس است که نشانگر تأثیر فرایندهای زمین‌زاد می‌باشد. این عامل نشان می‌دهد که اسیدیته نیز بخشی از عامل مؤثر بر آزادسازی مس در آب زیرزمینی منطقه است. این عامل بیشتر آب‌های زیرزمینی بخش‌های غربی و شرقی آبخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۶- ه).

با توجه به این که اسیدیته و شوری آب زیرزمینی در آزادسازی فلزات سنگین به آب منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند، بایستی اقدامات لازم در جهت کنترل آنها برای جلوگیری از غنی‌شدگی بیشتر آبخوان از فلزات سنگین صورت گیرد. یکی از این اقدامات می‌تواند کاهش برداشت از آب زیرزمینی باشد. چرا که هر قدر برداشت آب بیشتر شود، شوری آب بیشتر خواهد شد و محیط آبخوان به سمت احیا پیش خواهد رفت که باعث تسهیل در آزادسازی فلزات سنگین به آب زیرزمینی خواهد شد. بالطبع پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی است که پیشنهاد می‌شود در آینده مطالعه تفصیلی با جمع‌آوری تعداد بیشتر نمونه آب، آنالیز مواد آلی آب و اندازه‌گیری پتانسیل- اکسیداسیون به منظور بررسی نقش آنها در آزادسازی فلزات سنگین صورت گیرد.



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی امتیاز فاکتورهای تحلیل عاملی.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه منشأ احتمالی برخی فلز/ شبه‌فلزات سنگین مانند آهن، منگنز، آلومینیم، روی، کروم، مس، کادمیم، سرب و آرسنیک و عوامل و فرایندهای مؤثر بر شیمی آب زیرزمینی آبخوان مشگین‌شهر با استفاده از آمار چندمتغیره بررسی شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها و تجزیه شیمیایی ۲۰ نمونه آب جمع‌آوری شده نشان داد که برخی از نمونه‌ها نسبت به پارامترهای کیفی همچون هدایت الکتریکی، منیزیم، پتاسیم، سولفات و بعضی از فلزات سنگین همچون آلومینیم، سرب، کادمیم، روی و آرسنیک غلظت بالاتری از حد مجاز دارند. روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، نمونه‌های آبی منطقه را در دو خوشه قرار می‌دهد. نمونه‌های آبی مربوط به خوشه یک در بخش شرقی دشت دارای متوسط هدایت الکتریکی ۸۸۷/۱ میکروزمینس بر سانتی‌متر و نمونه‌های خوشه دو در بخش‌های غربی و قسمت انتهایی بخش شرقی دشت دارای متوسط هدایت الکتریکی ۴۸۳/۱ می‌باشند. نمونه‌های خوشه اول نسبت به خوشه دوم pH، غلظت نیترات و فلزات سنگین (به جز روی) بیشتر و سیلیس کمتری دارند. به‌طور کلی فرایندهایی همچون هوازدگی و انحلال سازندها به ویژه سنگ‌های آتشفشانی سبلان، تعویض یونی و فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مؤثر هستند. آنالیز چندمتغیره نشان می‌دهد که فلزات کادمیم، سرب، آرسنیک، مس و کروم از سازندهای آتشفشانی موجود در منطقه نشأت می‌گیرند و شوری در آزادسازی برخی فلزات همچون سرب و کادمیم به آب زیرزمینی نقش مهمی دارد. زیرا این فلزات اغلب تمایل به تشکیل کمپلکس‌های کلرایدی و سولفاته دارند. همچنین اسیدیته نیز بخشی از عامل مؤثر بر آزادسازی فلزات سرب و مس در آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. منشأ آهن و منگنز می‌تواند توده‌های آذرین موجود در منطقه به ویژه بازالت‌های الیوین‌دار باشد. تحلیل عاملی منجر به استخراج شش عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه با مجموع واریانس ۸۶/۵ درصد گردید. مؤلفه‌های اول، دوم، سوم، چهارم و ششم با مجموع واریانس ۷۹/۹ درصد ناشی از فرایندهای زمین‌زاد هستند اما مؤلفه پنجم با واریانس ۶/۶ درصد با تأثیر نیترات انسان‌زاد محسوب می‌شود که ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که فرایندهای زمین‌زاد عمده کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. با توجه به اینکه آزادسازی فلزات سنگین به آب زیرزمینی منطقه اغلب تحت تأثیر اسیدیته و شوری آب اتفاق می‌افتد، بایستی اقدامات لازم در جهت کنترل آنها برای جلوگیری از غنی‌شدگی بیشتر آبخوان از فلزات سنگین صورت گیرد.

کتابنگاری

اردکانی، س.، جمالی، م. و معانی‌جو، م.، ۱۳۹۳- بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه بندی عناصر با استفاده از سیستم اطاعات جغرافیایی، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ۲، صص. ۲۵ تا ۳۸.

رهنمای رهسپار، ص.، شاه‌نظری، ع.، خالدیان، م. و فرقانی، ا.، ۱۳۹۴- بررسی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه‌بندی آن در منطقه گیلان مرکزی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۹، صص. ۱۳ تا ۲۱.

طلایی، ر. و پیروان، ح.، ۱۳۸۵- شناخت و بررسی لیتوژئوشیمیایی هاله‌های ولکانوپلوتونیک‌های اوغلان‌داغ (مشگین‌شهر- استان اردبیل)، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

فتح‌اللهی، م.، خیرخواه، م.، ۱۳۹۴- منشأ و جایگاه تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کواترنری سبلان. فصلنامهٔ کواترنری ایران، دوره ۱، شماره ۲، صص. ۱۲۵ تا ۱۳۶.

فخری، م.، اصغری‌مقدم، ا.، برزگری، ر.، کاظمیان، ن. و نجیب، ن.، ۱۳۹۵- بررسی منشأ برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی آبخوان دشت مرند با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶ شماره ۲/۲، صص. ۲۵۳ تا ۲۳۷.

References

Aris, A. Z., Abdullah, M. H., Ahmed, A. and Woong, K. K., 2007- Controlling factors of groundwater hydrochemistry in a small island's aquifer. Environmental Science 4:441- 450.

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(1):297- 313.

Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A., Soltani, S., Fijani, E., Tziritis, E. and Kazemian, N., 2018- Heavy metal(loid)s in the groundwater of Shabestar area (NW Iran): source identification and health risk assessment. Exposure and Health 1- 15.

Devi Onim, J., Ramanathan, A. L. and Singh, G., 2012- Geochemical and Statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India. Journal of Asian Earth Sciences 48: 136- 149.

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.

EPA, 2000- Groundwater Sampling Guidelines. Victoria, Australia: Environment Protection Authority.

Esmaeili, S., Asghari Moghaddam, A., Barzegar, R. and Tziritis, E., 2017- Multivariate statistics and hydrogeochemical modeling for source identification of major elements and heavy metals in the groundwater of Qareh-Ziaeddin plain, NW Iran. Arabian Journal of Geosciences 11:5

Facchinelli, A., Sacchi, E. and Mallen, L., 2001- Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environment Pollution 114:313- 324.

Joe, H. and Ward, Jr., 1963- Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, Journal of the American Statistical Association, 58: 301, 236- 244.

Kribek, B., Majer, V., Veselovsk, F. and Nyambe, I., 2010- Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soils of the central-northern part of the Zambian Copper belt Mining District: a top soil vs. subsurface soil concept. Journal of Geochemistry Explore 104: 69- 86.

Kumar, M., Rmanathan, A. L., Rao, M. S. and Kumar, B., 2006- Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. Environmental geology 50 (7):1025- 1039.

Li, S., Jia, L. and Zhang, Q., 2011- Water quality assessment in the rivers along the water conveyance system of the Middle Route of the South to North Water Transfer Project (China) using multivariate statistical techniques and receptor modeling. Journal of Hazardous Materials 195(1):306- 317.

Lu, K. L. Liu, C. W., Wang, S. W., Jang, C. S., Lin, K. H., Liao, V. H. C. and 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.

Mehrotra, P. and Mehrotra, S., 2000- Pollution of Groundwater by Manganese in Hindon- Yamuna Doab (Noida area) District, Ghaziabad', in Proceedings of the International Seminar on Applied Hydrogeochemistry, Annamalai University. p.106- 112.

Menico, 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.

Nriago, J. O. and Pacyna, J. M., 1988- Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333:134- 139.

Rubio, B., Nombela, M. A. and Vilas, F., 2000- Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (Nw Spain): an assessment of metal pollution. Marine Pollution Bulletin 40: 968- 980.

Sikdar, P. K., Sarkar, S. S. 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.

Soltani, S., Asghari Moghaddam, A., Barzegar, R., Kazemian, N. and Tziritis, E., 2018- Hydrogeochemistry and water quality of the Kordkandi-Duzduzan plain, NW Iran: application of multivariate statistical analysis and PoS index. Environ Monit Assess 189: 455.

Wang, J., Liu, G., Liu, H. and Lam, P. K. S., 2017- Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and awater quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. Science of the Total Environment 583:421- 431.

WHO (World Health Organization), 2011- Evaluating household water treatment options: Health-based targets and microbiological performance specifications.

Assessing the effective factors on groundwater quality of Meshgin-Shahr plain aquifer (Ardebil province) with emphasis on possible origin of some heavy metals

S. Norallahi[1], A. Asghari Moghaddam[2*], E. Fijani[3] and R. Barzegar[4]

[1]M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[2]Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[3]Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

[4]Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2018 November 13 Accepted: 2018 May 26

Abstract

In recent decades, due to population growth in the Meshgin-Shahr region and consequently increasing demand for water use for drinking, agriculture and industry has caused groundwater to be important water source in the area. Therefore, it is necessary to pay attention to the groundwater quality in the area, along with its quantity. The objectives of this study are to investigate the possible origin of some heavy metals in the groundwater of Meshgin-Shahr plain using multivariate statistical methods, including cluster analysis and factor analysis along with correlation coefficient and also identifying the factors affecting groundwater quality in the area. For this purpose, 20 groundwater samples were collected in October 2016. The pH, electrical conductivity, major (calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride, sulfate, carbonate, and bicarbonate) and some minor (nitrate, fluoride and silica) species and ions as well as heavy metal(loid)s such as iron, manganese, aluminum, zinc, chromium, copper, cadmium, lead and arsenic were measured. The results of the chemical analysis showed that some of the samples for some heavy metals e.g., aluminum, lead, cadmium, zinc and arsenic had concentrations above the permissible limit for drinking. The results showed that the weathering and dissolution of geological units, especially the Eocene units in the northern Sabalan, ion exchange and agricultural activities are effective on the groundwater quality of the area. According to the results of multivariate analysis, most of the heavy metals in the groundwater are originated from volcanic formations in the area and salinity and acidity play an important role in releasing them into the groundwater. Factor analysis revealed that geogenic processes with a total of 79.9% of variance and anthropogenic factors with a total of 6.6% of variance control the groundwater chemistry. Therefore, considering that geological processes are major groundwater quality controlling factor in the Meshgin plain aquifer, and the release of heavy metals into water often occurs under the influence of acidity and salinity of water, it is necessary to take the required actions to control them to prevent the enriching of groundwater by heavy metals in the future.

Keywords: Groundwater, Multivariate statistic, Water quality, Heavy metals, Meshgin-Shahr.

For Persian Version see pages 143 to 152

*Corresponding author: A. Asghari Moghaddam; E-mail: Moghaddam@tabrizu.ac.ir