

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹

بررسی آنومالی آرسنیک و منشأ های احتمالی آن در آب زیرزمینی محدوده

مطالعاتی مراغه

شهرام بیگ پور^{۱*}

Baikpour2004_rsgsi@yahoo.com

زهرا ارغوان^۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: آرسنیک به صورت طبیعی در خاک و آب یافت می شود و نیز در نگهدارنده های چوب، علف کش ها و سایر ترکیبات کشاورزی استفاده می شود. همچنین ممکن است در محیط، از معادن یا صنایع تصفیه ای آزاد شود، این ماده حداکثر خطر ایجاد سرطان را دارد. هدف از این تحقیق، ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی سیستم آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مراغه شامل کاتیون ها، آنیون ها، کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، pH و فلزات سنگین (آرسنیک، آهن و منگنز) و بررسی روابط آماری بین پارامترهای یادشده و منابع احتمالی آلودگی است.

روش بررسی: به منظور اجرای برنامه پایش منابع آب زیرزمینی و بررسی فرایندهای کنترل کننده و تعیین منشأ کاتیون ها و آنیون های آب زیرزمینی این آبخوان از ۳۴ حلقه چاه در تیرماه ۱۳۹۳ و اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ نمونه برداری شد و به آزمایشگاه مرکز پژوهش های کاربردی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (البرز) ارسال شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS ۸۲ و آزمون ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل عاملی چند متغیره انجام یافت.

یافته ها: نتایج نشان می دهد که فرایندهای انحلال کانی، افزایش تبخیر از آبخوان، نفوذ آب شور در دشت عجب شیر، آب برگشتی کشاورزی، وضعیت زمین شناسی منطقه و تأثیر پساب های صنعتی از عوامل کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی می باشند.

بحث و نتیجه گیری: غلظت آرسنیک در استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۱۰ میکروگرم در لیتر بیان شده در صورتی که بیشینه غلظت آرسنیک در محدوده مطالعاتی ۳۰۸/۵ میکروگرم بر لیتر و میانگین غلظت آن ۴۴ میکروگرم بر لیتر هست. با توجه به نتایج حاصل می توان گفت منشأ های احتمالی آرسنیک می تواند پساب صنایع واقع در شهرک های صنعتی مراغه و بناب، فعالیت های کشاورزی (استفاده از سموم

۱ - عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (مسئول مکاتبات)

۲ - دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.

و حشره‌کش‌ها) و عوامل زمین‌شناسی (وجود سازند شمشک)، سنگ‌ها و رسوبات حاصل از فرسایش این سنگ‌ها و معادن زغال‌سنگ (خرما زرد) باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب زیرزمینی، آرسنیک، ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل عاملی.

Investigation of Arsenic Anomalies and Its Probable Origins in Maragheh Plain

Shahram Baikpour^{1*}

Baikpour2004_rgsi@yahoo.com

Zahra Arghavan y²

Admission Date: January 9, 2018

Date Received: December 20, 2017

Abstract

Background and Objective: The objective of this study is evaluating hydrochemical properties of groundwater in Maragheh area, including: Cations, Anions, Total Dissolved Solids, Electrical Conductivity, pH and Heavy metals (As, Fe, Mn) and investigating the statistical relations between these parameters and Probable Origins of contamination.

Methods: In order to carry out ground water quality monitoring, and evaluate the controlling processes and to determine cations and anions sources of the groundwater, 34 wells were selected for sampling from July 2014 and April 2015 and water quality parameters were measured and sent to the Laboratory Applied Research Center of Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (Elburz). Data analysis was performed through SPSS software and Factor Analysis & Pearson correlation coefficient test.

Results: The chemical composition of the surface and groundwater is controlled by several processes such as mineral dissolution, increasing evaporation from the aquifer, irrigation return flow, saline water intrusion in the Ajbashir Plain, geological status of the area, anthropogenic inputs.

Discussion and Conclusion: The concentration of arsenic based on WHO standard is 10µg/L, while the maximum arsenic concentration in the study area is 308.5µg/L and the mean concentration is 44µg/L. According to the results, it relies that arsenic probable sources can be concerned to industrial waste water in Maragheh and Bonab industrial complex, agricultural activities (using pesticides and insecticides) and geological factors (existence of Shemshak formation), rocks and sediments derived from the erosion of these rocks and coal mines (Khormazard).

Keywords: Groundwater Pollution, Arsenic, Pearson Correlation Coefficient, Factor Analysis

1- Assistant Professor, Natural Resources and Environment Faculty, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)

2- M.Sc., Environmental Geology, Natural Resources and Environment Faculty, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

مقدمه

مسائل مربوط به کاهش کیفیت آب زیرزمینی در بیشتر موارد به‌سختی می‌تواند حل شود، زیرا زمانی می‌توان به عوامل آلودگی پی برد که آثار آلودگی در چاه پمپاژ مشخص شود. سرعت کم حرکت آب زیرزمینی و ناهمگنی موجود در آبخوان موجب می‌شود که مواد آلاینده دیر آشکار شوند (1 و 2). یکی از عوامل مهم در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی تعیین میزان عناصر کمیاب از جمله آرسنیک است که جزء عناصر مسموم‌کننده به حساب می‌آید (1).

آرسنیک به‌صورت طبیعی در خاک و آب یافت می‌شود و نیز در نگهدارنده‌های چوب، علف کش‌ها و سایر ترکیبات کشاورزی استفاده می‌شود. همچنین ممکن است در محیط، از معادن یا صنایع تصفیه‌ای آزاد شود، این ماده حداکثر خطر ایجاد سرطان را دارد. سمی‌ترین شکل آرسنیک تری‌والانی شامل آرسنیک تری‌اکسید، سدیم آرسنیت و آرسنیک تری‌کلرید می‌باشد. در صورت مصرف زیاد آن، آرسنیک باعث مسمومیت حاد می‌گردد که شامل اختلالات شدید گوارشی، قلبی عروقی و سیستم عصبی مرکزی است که اغلب منجر به مرگ می‌شود. تفاوت تومورهای پوستی ناشی از آرسنیک با انواع ناشی از نور آفتاب، متعدد بودن ضایعات و ظهور ضایعات در کف دست‌وپا می‌باشد (3).

معرفی منطقه مورد مطالعه

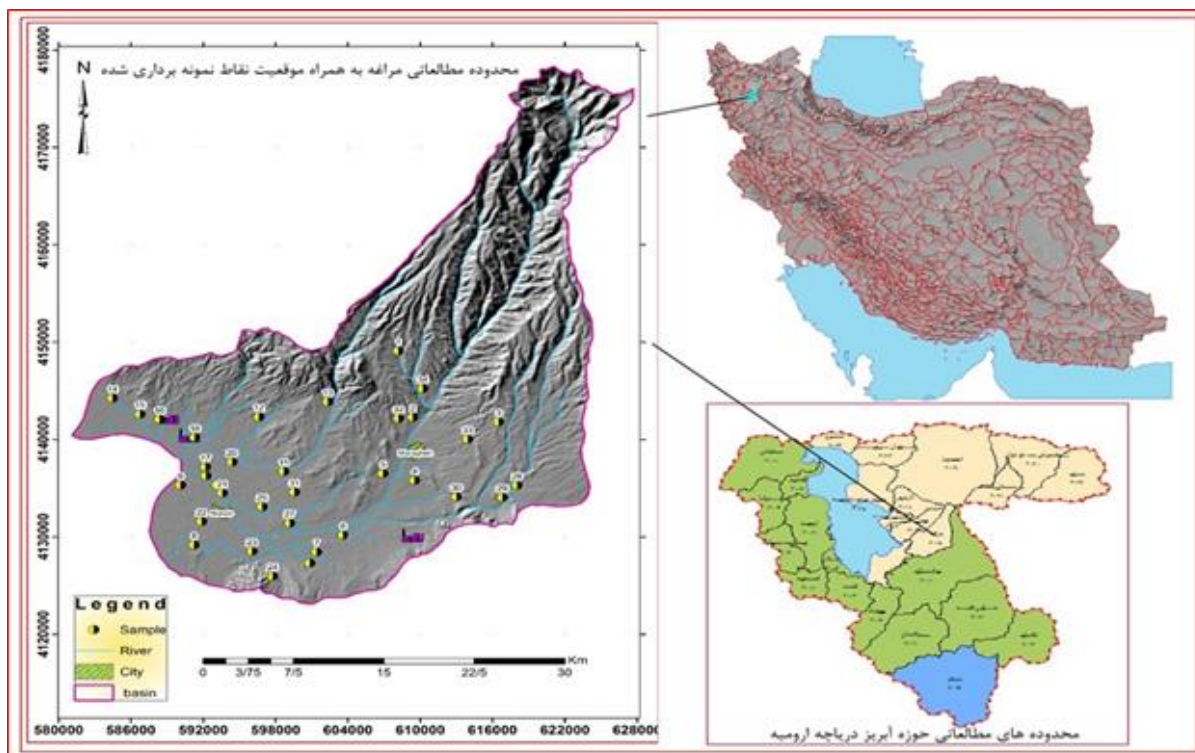
محدوده مطالعاتی مراغه یکی از ۲۵ محدوده مطالعاتی دریاچه ارومیه است که در قسمت جنوب شرقی دریاچه ارومیه واقع شده است. کد این محدوده ۳۰۱۵ بوده و مساحت این محدوده

مطالعاتی $1096/1 \text{ km}^2$ است که ۲۵٪ آن را دشت و ۷۵٪ آن را ارتفاعات تشکیل داده است (4).

محدوده مطالعاتی مراغه در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه، ۵۴ دقیقه تا ۴۶ درجه، ۲۴ دقیقه طول شرقی، و ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۷ درجه، ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این محدوده از شمال به محدوده مطالعاتی تبریز، از شرق و جنوب شرقی به محدوده مطالعاتی میان دوآب و از غرب به عجب‌شیر و آذرشهر و از جنوب غربی به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود (شکل ۱).

زمین‌شناسی منطقه

بر اساس تقسیم بندی ایران به واحدهای مهم تکتونیکی، این منطقه بخشی از زون البرز است که پی‌سنگ پرکامبرین و پالئوزوئیک در آن گسترش زیادی داشته است. به‌طور کلی با تلفیق نظریات مختلف، محدوده مورد مطالعه بیشتر مربوط به زون البرز غربی آذربایجان است (5). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی که در این حوضه قرار دارند، مربوط به کامبرین در کوه قزل داغی در شمال محدوده دیده می‌شود که مربوط به سازندهای لالون و میلا است. بر روی ماسه سنگهای کامبرین، آهک روته که مربوط به پرمین است، قرار دارد و سپس سازندهای الیکا، شمشک، دلچای، لار به ترتیب بر روی آنها قرار می‌گیرند. رسوبات سازند شمشک و الیکا با کنتاکت گسلی در مقابل سازندهای دوران اول قرار می‌گیرند.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی مراغه به همراه نقاط نمونه برداری

Figure 1. Location of Maragheh study area along with sampling points

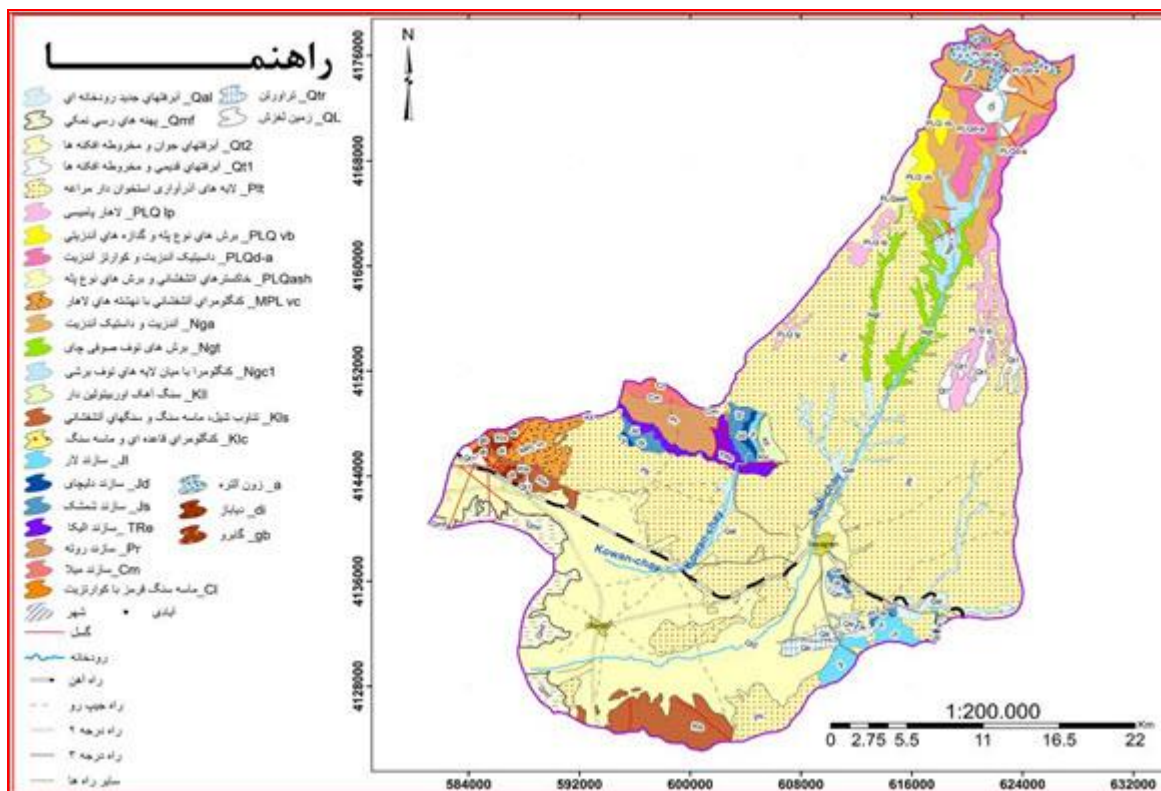
نهبشته‌های لاهار، گدازه‌های آندزیتی، لاهار و برش‌های نوع پله، خاکسترهای آتشفشانی با بلوک و لایه‌های استخوان‌دار مراغه که بیشترین گسترش را در محدوده مطالعاتی داشته (۵۲۷ Km²) و شامل لایه‌هایی از خاکسترهای آتشفشانی همراه با سنگ‌های آذرآواری، شیل، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و توف را نام برد. نهبشته‌های آذرآواری و گدازه‌های توده آتشفشانی سه‌بخش وسیعی از ارتفاعات محدوده مطالعاتی را در شمال و شمال شرق منطقه تشکیل می‌دهند که به‌صورت قله‌های پراکنده آتشفشانی به‌صورت منفرد یا مختلط در منطقه دیده می‌شوند.

جدیدترین رسوبات، متعلق به دوره کواترنری است که عمدتاً در حاشیه رودخانه‌ها و در اطراف شهرهای مراغه و بناب و روستاهای محدوده مطالعاتی گسترش دارند. پهنه‌های رسی و نمکی در غرب و جنوب غربی محدوده در اطراف دریاچه ارومیه گسترش داشته و پهنه‌های کم‌وسعتی از سنگ‌های تراورتنی در جنوب شهر مراغه می‌شود که یکی از شاخه‌های رودخانه مرداغی در مسیر جریان خود از آن‌ها عبور می‌کند. گسل‌ها و

از تشکیلات متعلق به دوره ژوراسیک می‌توان به شیل، ماسه-سنگ، عدسی‌های زغال‌سنگ واحد شمشک، سنگ‌آهک ماری، مارن خاکستری روشن دارای فسیل آمونیت مربوط به واحد دلیچای و سنگ آهک، آهک دولومیتی چرت‌دار و توده‌ای واحد لار اشاره کرد. از سنگ‌های دوره کرتاسه تناوب شیل، ماسه-سنگ، آهک دولومیتی چرت‌دار و توده‌ای واحد لار قابل ذکر است. از سنگ‌های دوره کرتاسه تناوب شیل، ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار، کنگلومرای قاعده و ماسه سنگ قرمز و سنگ‌های آتشفشانی را می‌توان در محدوده مشاهده کرد که در شمال غربی و جنوب غربی محدوده به‌صورت پراکنده رخنمون دارند(5).

از تشکیلات متعلق به دوران سوم می‌توان سنگ‌های آذرین و زون آلتره، برش‌های توف صوفی‌چای، کنگلومرا همراه با میان-لایه‌های توف برشی و پیروکسن آندزیت که مربوط به دوره نئوژن بوده و در شمال محدوده گسترش داشته و ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند نام برد. از سنگ‌های دوره پلیوسن می‌توان به لاهار پامیسی، کنگلومرای آتشفشانی همراه با

شکستگی‌های کوچک فراوانی در شمال غرب، شمال شرق و جنوب غربی منطقه مشاهده می‌شود(شکل ۲).



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی مراغه

Figure 2. Geology map of the Maraghe

مواد و روش‌ها

داده‌های هیدروشیمیایی

به منظور انجام پایش کیفی آبخوان محدوده مطالعاتی مراغه در تیرماه ۱۳۹۳ تعداد ۳۴ حلقه و در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ تعداد ۱۶ حلقه چاه نمونه برداری شد و به آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (البرز) ارسال شد. موقعیت چاه‌های نمونه برداری شده در شکل ۱ ارایه شده است. پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS) و pH در هنگام نمونه برداری اندازه‌گیری شد. برای شناسایی عوامل حاکم بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و روابط بین متغیرها برای ترسیم نقشه‌ها، ضرایب همبستگی، تجزیه عامل ها، نمودارهای کیفی آب به ترتیب از نرم افزارهای Arc GIS10.3، SPSS22، Excell2013، AqQa Chemistry استفاده شده است.

بررسی هیدروشیمیایی داده‌ها

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی میزان ارتباط بین دو متغیر را تعیین می‌کند. این ضریب بین دو مقدار +۱ و -۱ متغیر است (4). مقدار این ضریب هر چه به +۱ نزدیک‌تر باشد، همبستگی بین دو متغیر بیشتر است. بدین صورت که افزایش یک متغیر با افزایش متغیر دیگر همراه است. در صورت نزدیک شدن به عدد -۱، همبستگی بین دو متغیر خطی، ولی معکوس می‌شود، بدین ترتیب که با افزایش یک متغیر، دیگری کاهش می‌یابد(۹). در این تحقیق از ضریب همبستگی به روش پیرسون استفاده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در تیرماه ۹۳

Table 1. Statistical properties of data from chemical analysis of samples in July 2014

Element	Unit	Minimum	Maximum	Median	Std. Deviation
As	µg/lit	1.79	308.53	18.75	72.52
Fe	µg/lit	65.91	885.83	357.33	202.36
Mn	µg/lit	1.32	2333.81	2.51	409.96
Ca	mg/lit	24.04	1074.23	147.56	246.67
Mg	mg/lit	7.52	191.87	31.73	49.95
Na	mg/lit	8.91	1225.69	107.86	348.29
K	mg/lit	1.24	75.48	5.27	14.66
Cl	mg/lit	12.00	2874.00	239.00	726.80
NO3	mg/lit	23.00	1608.00	122.50	286.18
SO42	mg/lit	19.00	2679.00	450.50	738.94
TDS	mg/lit	264.80	11013.00	1347.50	2914.46
EC	mS/cm	0.29	12.18	1.49	3.22
pH		6.82	8.61	7.48	0.39

بین کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول می‌توان مشاهده کرد و آرسنیک با سدیم همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد. جدول ۴ ضریب همبستگی پیرسون در اردیبهشت‌ماه ۹۴ را نشان می‌دهد که همبسته‌ترین یون با آرسنیک، آهن ($r=0.92$) است و سدیم همبستگی متوسطی با آن نشان می‌دهد.

در جدول‌های ۳ و ۴ همبستگی‌های بالاتر از ۰/۸ به‌عنوان همبستگی بسیار قوی، همبستگی‌های بین ۰/۶ تا ۰/۸ به‌عنوان همبستگی قوی، همبستگی‌های بین ۰/۴ تا ۰/۶ همبستگی متوسط و همبستگی‌های کمتر از ۰/۴ به‌عنوان همبستگی ضعیف در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۳ ماتریس همبستگی پیرسون در تیرماه ۹۳ را نشان می‌دهد، بالاترین همبستگی‌ها را

جدول ۲- ویژگی‌های آماری داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در اردیبهشت‌ماه ۹۴

Table 2. Statistical properties of data from chemical analysis of samples in May 2015

Element	Unit	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
As	µg/lit	0.38	227.00	27.45	54.69
Fe	µg/lit	75.00	120.11	79.41	12.58
Mn	µg/lit	1.18	3797.83	311.64	939.92
Ca	mg/lit	59.25	700.66	271.72	199.15
Mg	mg/lit	14.26	206.15	78.81	58.63
Na	mg/lit	24.77	1270.91	454.34	360.46
K	mg/lit	1.76	20.37	8.70	5.67
Cl	mg/lit	62.00	13293.00	2796.75	3337.32
NO3	mg/lit	8.00	1127.00	169.56	283.44
SO42	mg/lit	76.00	2535.00	771.44	646.78
TDS	mg/lit	1.37	514.80	35.86	127.74
EC	mS/cm	1.47	560.30	39.02	139.04
pH		6.94	7.92	7.34	0.28

تحلیل عاملی:

تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس-کواریانس یک تعداد از متغیرهای کمی مشاهده‌ای است که برحسب چند کمیت اصلی تصادفی، اما غیرمشاهده‌ای که عامل نامیده می‌شود، بیان می‌شود. تعدادی از متغیرها که بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند، عامل اصلی نامیده می‌شوند (۱۰ و ۱۱). جدول ۵ و ۶ نتایج حاصل از تجزیه عوامل را نشان می‌دهد، از میان عوامل، اولین عامل بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. همچنین می‌توان از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصل استفاده کرد، از میان چرخش‌های مختلف چرخش واریماکس (Varimax) انتخاب شد (۱۰ و ۱۲). در تیرماه ۹۳ چهار عامل ۷۹/۶۰٪ از تغییرات کل را شامل می‌شوند. عامل اول شامل هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، یون‌های کلرید، سدیم، کلسیم، منیزیم و سولفات با بارهای عاملی مثبت که ۴۷/۰۹٪ از واریانس کل داده‌ها را به

خود اختصاص داده‌اند و می‌توان آنها را به‌عنوان اصلی‌ترین عامل مؤثر در هیدروشیمی منطقه دانست. در عامل دوم پتاسیم و آرسنیک با بار عاملی مثبت، ۱۴/۸۲٪ از واریانس کل را به خود اختصاص داده و در عامل سوم، نیترات با بار عاملی مثبت، ۹/۰۶٪ از واریانس کل و در عامل چهارم pH با بار عاملی منفی، ۸/۶۲٪ از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود. مدل عاملی به‌کاررفته در اردیبهشت‌ماه ۹۴ نیز برای پنج عامل و ۱۳ متغیر موردبررسی قرارگرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان‌دهنده آن است که این عامل‌ها حدود ۹۱/۰۳٪ از کل میزان اشتراک را در بردارند. به‌طوری‌که از این مقدار ۲۷/۱۱٪ به‌وسیله عامل یک، ۲۲/۵۲٪ توسط عامل دو، ۱۵/۸۸٪ توسط عامل سه، عامل چهارم ۱۳٪ و عامل پنجم ۱۲/۵۱٪ از واریانس کل داده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر در تیرماه ۹۳

Table 3. Pearson Correlation Coefficients Matrix between Elements in July 2014

	As	Ca	Fe	Mg	Mn	Na	Cl	NO3	SO42	pH	EC	TDS	K
As	1												
Ca	0.24	1											
Fe	0.10	0.46	1										
Mg	0.19	0.74	0.59	1									
Mn	0.15	0.27	0.23	0.51	1								
Na	0.45	0.70	0.39	0.69	0.40	1							
Cl	0.37	0.92	0.42	0.81	0.45	0.89	1						
NO3	0.12	0.31	0.30	0.24	-0.06	0.40	0.31	1					
SO42	0.33	0.58	0.58	0.73	0.31	0.85	0.74	0.61	1				
pH	-0.16	-0.25	-0.24	-0.19	-0.10	-0.09	-0.17	-0.13	-0.14	1			
EC	0.36	0.91	0.48	0.84	0.44	0.91	0.99	0.34	0.77	-0.18	1		
TDS	0.36	0.91	0.48	0.84	0.44	0.92	0.99	0.35	0.78	-0.18	1.00	1	
K	0.36	-0.04	0.02	0.00	0.10	0.16	0.08	0.28	0.23	-0.03	0.07	0.07	1

جدول ۴- ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر در اردیبهشت ماه ۹۴

Table 4. Pearson Correlation Coefficients Matrix between Elements in May 2015

	pH	EC	TDS	As	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Cl	NO3	SO4
pH	1												
EC	0.21	1											
TDS	0.21	1.00	1										
As	0.41	-0.13	-0.12	1									
Ca	-0.70	-0.20	-0.20	-0.07	1								
Fe	0.31	-0.08	-0.08	0.92	0.04	1							
K	0.32	-0.21	-0.21	0.29	0.09	0.24	1						
Mg	-0.45	-0.17	-0.17	0.00	0.81	0.14	-0.02	1					
Mn	-0.29	-0.08	-0.08	0.21	0.52	0.54	0.05	0.56	1				
Na	0.18	-0.16	-0.16	0.68	0.29	0.73	0.14	0.51	0.42	1			
Cl	-0.45	-0.20	-0.20	0.25	0.79	0.47	-0.03	0.81	0.83	0.63	1		
NO3	0.14	-0.13	-0.13	-0.08	0.02	-0.13	0.61	-0.10	-0.16	0.02	-0.20	1	
SO4	-0.03	-0.28	-0.28	0.34	0.26	0.32	0.14	0.55	0.13	0.71	0.41	0.06	1

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه عوامل در تیرماه ۹۳ (نتایج پس از چرخش واریماکس)

Table 5. The results of factor analysis in July 2014 (results after varimax rotation)

متغیرها	عواملها			
	1	2	3	4
EC	0.986	0.051	0.025	0.073
TDS	0.985	0.055	0.030	0.075
Cl	0.974	0.043	-0.014	0.059
Na	0.894	0.302	0.099	-0.061
Ca	0.883	-0.205	0.077	0.192
Mg	0.878	-0.024	-0.025	0.160
SO ₄ ²⁻	0.787	0.293	0.395	0.066
Fe	0.507	-0.027	0.287	0.398
K	0.008	0.747	0.178	0.047
As	0.307	0.691	-0.148	0.148
NO ₃ ⁻	0.317	0.202	0.817	0.084
Mn	0.506	0.182	-0.539	0.095
pH	-0.084	-0.031	0.007	-0.951

جدول ۶- نتایج حاصل از تجزیه عوامل در اردیبهشت ماه ۹۴ (نتایج پس از چرخش واریماکس)

Table 6. The results of factor analysis in May 2015 (results after varimax rotation)

متغیرها	عواملها				
	1	2	3	4	5
Ca	.911	-.131	-.108	.106	.168
Cl	.885	.335	-.087	-.115	.220
Mg	.802	-.011	-.035	-.036	.496
Mn	.794	.452	.018	-.043	-.156
pH	-.686	.486	.226	.239	.062
Fe	.157	.974	-.026	.005	.084
As	-.083	.914	-.092	.045	.187
Na	.286	.659	-.032	.047	.633
TDS	-.097	-.043	.983	-.091	-.092
EC	-.097	-.043	.983	-.091	-.092
NO ₃ ⁻	-.086	-.162	-.052	.897	.080
K	-.004	.262	-.132	.881	-.027
SO ₄ ²⁻	.168	.205	-.175	.052	.900

بحث و نتیجه گیری

زیرزمینی محدوده مطالعاتی را می توان ورود پساب صنایع شهرک های صنعتی مراغه و بناب به آب زیرزمینی، استفاده از سموم، آفت کش ها و کودهای شیمیایی در کشاورزی، فاضلاب شهری و خانگی و زمین شناسی منطقه و وجود معادن زغال سنگ فعال در محدوده مطالعاتی دانست. نتایج حاصل از آنالیز نمونه های برداشت شده از آبخوان محدوده مطالعاتی مراغه در دو دوره تیرماه ۹۳ و اردیبهشت ماه ۹۴ در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. بررسی نتایج آنالیز نمونه های دو مرحله نمونه برداری نشان می دهد که حداقل، حداکثر و میانگین هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در تیرماه ۰/۲، ۱۲/۲، ۲/۹۸ میلی زیمنس بر سانتی متر و در اردیبهشت ماه ۱/۴، ۵۶۰/۳، ۸۲/۹۹ میلی زیمنس بر سانتی متر است. همچنین حداقل و حداکثر غلظت باقیمانده خشک املاح محلول (TDS) در تیرماه ۲۱۴/۸ و ۱۱۰۱۳ میلی گرم بر لیتر و در اردیبهشت ماه ۱/۳۶ و ۵۱۴/۸ میلی گرم بر لیتر است. از نظر تیپ آب، نمونه های آب زیرزمینی در چهار زون ۵، ۷، ۹ و ۶ دیاگرام پایپر قرار می گیرند. تیپ آب در این محدوده در جهت جریان آب زیرزمینی از کربناته کلسیک در بخش شمال شرقی و شرق (منطقه تغذیه) به منطقه میانی که هیچ جفت آنیون کاتیونی غالب نیست و در نهایت به

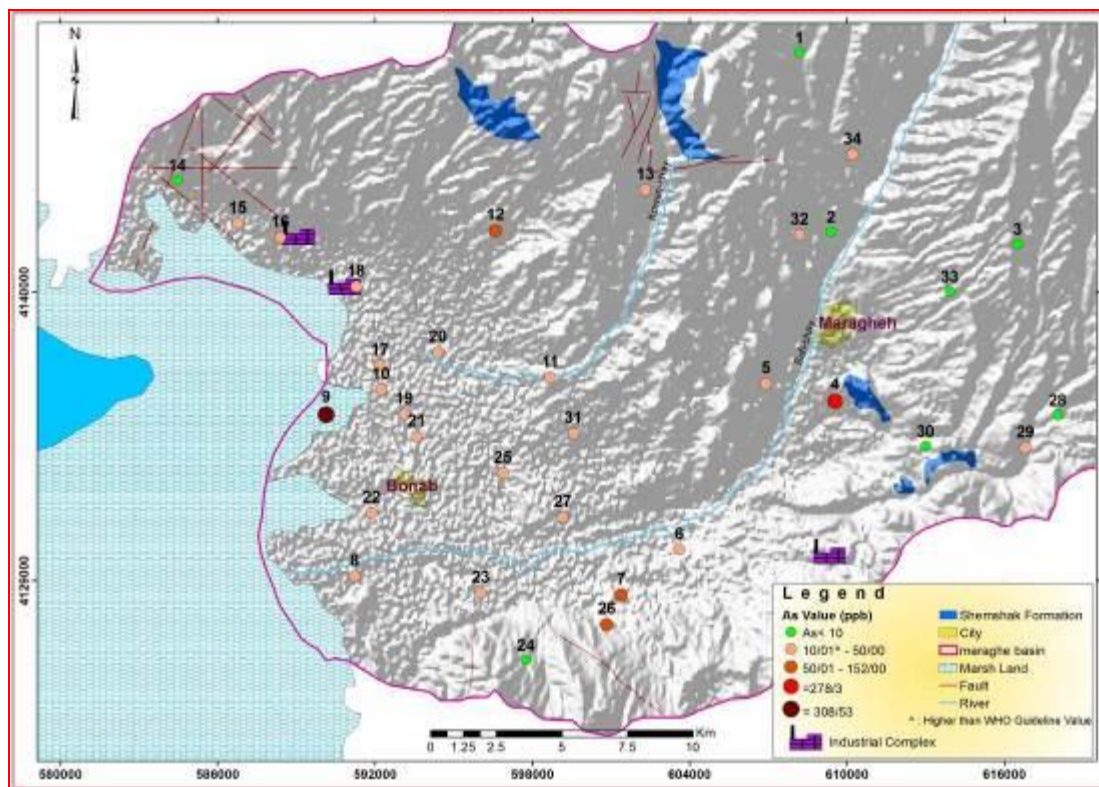
بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل ۳۴ نمونه آب زیرزمینی مقادیر بالایی از آرسنیک در منطقه مشاهده می شود که بیشینه مقدار آن در تیرماه ۹۳ و اردیبهشت ماه ۹۴ در چاه شماره به میزان ۳۰۸/۵ و ۲۲۷ میکروگرم بر لیتر بوده در صورتی که حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۱۰ میکروگرم بر لیتر می باشد (شکل ۳).

روش های تجزیه و تحلیل مورد استفاده در این پژوهش منشأهای متفاوتی برای منابع آبی منطقه به دست آورد. همبستگی بالای آرسنیک با آهن نشان دهنده تاثیر بالای اکسیدها و هیدروکسیدهای این عنصر در جذب آرسنیک در رسوبات و به تبع آن در آب است. احیای هیدروکسید آهن به عنوان سازوکار اصلی تحرک آرسنیک در آب زیرزمینی در حد گسترده ای در منابع علمی معتبر مورد پذیرش قرار گرفته است (۱). با توجه به این موضوع که در منطقه سازندهای تبخیری وجود ندارد. افزایش غیرعادی مقدار یونهای کلر، کلسیم، سدیم، بی کربنات و سولفات می تواند به دلیل نفوذ پساب صنایع و شهرک های صنعتی به آب زیرزمینی و آلودگی آن باشد. عامل اصلی افزایش نترات در آب زیرزمینی نیز می تواند فاضلاب های شهری، خانگی و صنعتی باشد. به طور کلی عوامل اصلی آلودگی در آب

تیرماه ۱/۷۹ ، ۳۰۸/۵ ، ۴۳/۹۱ میکروگرم بر لیتر و در اردیبهشت‌ماه ۰/۳۷ ، ۲۲۷ ، ۱۷/۲ میکروگرم بر لیتر است. مقادیر عنصر آرسنیک تنها در ۸ چاه نمونه برداری شده کمتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۶) برای آب شرب است. در نمونه های تجزیه شده، به سمت غرب و جنوب غربی منطقه، غلظت آرسنیک افزایش نشان می دهد.

کلروره سدیک در بخش غربی و جنوب غربی(منطقه تخلیه) تغییر می کند. با توجه به نتایج آنالیز نمونه های آب زیرزمینی کاتیون غالب در هر دو دوره Na^+ و آنیون غالب Cl^- و SO_4^{2-} می باشد.

بررسی نتایج آنالیز نمونه های دو مرحله نمونه برداری نشان می دهد که حداقل، حداکثر و میانگین آرسنیک آب زیرزمینی در



شکل ۳- نقشه میزان پراکندگی آرسنیک در چاه‌های منطقه در تیرماه ۹۳ به همراه منابع آلودگی

Figure 3. Arsenic dispersion map in district wells in July 2014 along with contamination sources

4. Hashtjian Rajabi, M., (1394), Report on the Nourishment of the Urmia Lake due to Drought and Threats. (In Persian)
5. Aghanabati, A. (1383), Geology of Iran, Tehran University Publication, p. 708 (In Persian)
6. WHO, (2017), Guideline for Drinking Water Quality, 4^{ed}, World Health Organization, 631
7. Asghari moghadam, A. Barzegar, R., (1393), investigating the Factors Affecting High Arsenic Concentration

Reference

1. Asghari moghadam, A., Jalali, L., Investigation of Arsenic Anomaly and its Possible Source in Groundwater of Khoy Plain, Geosciences Journal, No: 94, P: 147 – 154. (In Persian)
2. Asghari moghadam, A., Principal of understanding Groundwater, Tabriz University Publications, P: 368. (In Persian)
3. Kumar, R., (2013), Basic Pathology (General), Mirmah Publications, Tehran, Iran, P: 454. (In Persian)

- (Case Study: Mehrban Plan, Eastern Azarbaijan), Water and Soil Science Journal, Vol. 25, No: 3.3. P: 31- 50. (In Persian)
11. Suk, H. and Lee, K. (1999), Characterization of groundwater hydrochemical system through multivariate analysis: Clustering into groundwater zone, Groundwater , Vol: 37, No: 3, p: 358-366.
 12. Nadiri, A., Asghari Moghadam, A., (1389), Using Multivariate Statistical Methods in the Study of Hydrochemical Processes of Aquifers (Case Study: Tasooj plain), 4th Conference of Geological Society, 25 – 27 Shahrivar, Uremia University. (In Persian)
 8. Fakhri, M., Asghari moghadam, A., Barzegar, R., Kazemian, N., Najib, M., (1395), Investigation of the Origin of Some Heavy Metals in Groundwater of Marand Plain Aquifer Using Multivariate Statistical Methods, Water and Soil Science Journal, Vol. 26, No: 2/2, P: 237- 253. (In Persian)
 9. Devi Onim J,Ramanathan AL,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.
 10. Javanmard, Z., Asghari moghadam, A., (1395), Using statistical and hydrochemical models in qualitative analysis of groundwater resources in Groundwater of Tabriz Plain Aquifers. Geosciences Journal, No: 94, P: 177- 190. (In Persian)