علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

# رویکردی جهت بررسی تأثیر منابع زمین‌زاد و انسان‌زاد بر غلظت فلزات سنگین، مطالعه موردی: آب‌خوان دشت زنجان

**محمود محمد رضاپور طبری [۱*]**

mrtabari@eng.sku.ac.ir

**مهدی ایل‌بیگی [۲]**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۵** **تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۰۸/۱۶**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** رشد صنایع و افزایش تقاضا جهت تأمین نیازهای آبی و تخلیه غیراصولی پساب به آب‌خوان، معضلات عدیده‌ای را برای دشت‌ها به‌وجود آورده است. از بین این عوامل آلاینده، فلزات سنگین به دلیل کاربرد گسترده در صنعت و جوامع شهری، عامل شایع‌تری محسوب می‌شوند. در این راستا دشت زنجان با توجه به تمرکز صنایع آلوده‌کننده از این امر مستثنی نبوده و نمونه‌های کیفی برداشت شده حاکی از وجود انواع مختلفی از فلزات سنگین می‌باشد. با هدف بررسی نقش عوامل طبیعی و مصنوعی در ایجاد این آلاینده‌ها، رویکردی بر مبنای مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئوشیمی، روابط بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها و وضعیت پراکنش غلظت فلزات سنگین پیشنهاد گردید.

**روش بررسی:** با اعمال ساختار پیشنهادی بر داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده در دو دوره تر و خشک، ابتدا هر یک از عوامل مؤثر در بروز آلودگی مورد شناسایی قرار گرفت. سپس با تلفیق عوامل مؤثر در آلودگی، نقش فعالیت‌های انسان‌زاد و منابع زمین‌زاد تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که عمده آلودگی در نیمه شمالی دشت ناشی از منابع زمین‌زاد بوده و به صورت طبیعی در آب‌خوان بروز می‌نماید. در بخش مرکزی آب‌خوان نیز با توجه به تمرکز صنایع و وجود شهر زنجان، فعالیت‌های انسان‌زاد به عنوان منشأ وجود فلزات سنگین مورد شناسایی قرار گرفت. در سایر بخش‌های دشت نیز هر دو عامل انسان‌زاد و زمین‌زاد در ایجاد آلودگی آب‌خوان نقش داشته‌اند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** عمده منشأ آلودگی فلزت سنگین کروم، مس، آهن و سرب در آب‌خوان دشت زنجان به صورت طبیعی و زمین‌زاد بوده و وجود عناصری هم‌چون روی، منگنز و کادمیوم عمدتاً مرتبط با فعالیت‌های انسانی و صنایع پراکنده در سطح دشت می‌باشد. با توجه به شناسایی صورت گرفته می‌توان برای آن بخش از دشت که آلودگی متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد می‌باشد، راهکارهای مدیریتی جهت احیاء و کنترل آلاینده‌های ورودی به آب‌خوان ارایه نمود.

**واژه‌های کلیدی**: فلزات سنگین، آب‌خوان، منابع زمین‌زاد، آلودگی، دشت زنجان.

---

*۱- (مسوول مکاتبات): دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، ایران.

۲- دانش آموخته دکتری، رشته هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

*J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017*

# An Approach to Investigate the Impact of Anthropogenic and Geogenic Sources on Heavy Metals Concentration (Case Study: Zanjan Plain Aquifer)

**Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari [1]***
*mrtabari@eng.sku.ac.ir*
**Mehdi Eilbeigy [2]**

## Abstract

**Background and Objective:** Industrial development, increasing demand for water supply and illegal waste discharge into the aquifers have created major problems in most of the plains. Among the pollutants, heavy metals are considered as common factors due to their wide application in industry and urban communities. Thus, Zanjan plain as the hub of polluting industries is not exempted and the qualitative samples taken from it indicate the presence of different kinds of heavy metals. To investigate the role of natural and artificial factors in creation these pollutants, the used methodology is proposed based on geology, hydro-geochemistry study, the relationship between cations and anions and the distribution of heavy metals.

**Method:** Using the proposed framework for measuring water quality data in both wet and dry periods, initially, all the factors leading to pollution were identified. Then, the role of anthropogenic and geogenic activities was determined based on a combination of factors involved in pollution of the plain.

**Findings:** The results indicate that the main part of contamination in the northern half of the plain is due to anthropogenic sources and appears naturally in the aquifer. In the central part of the aquifer, due to the centralization of industry and presence of Zanjan city, geogenic activities were identified to be the source of heavy metals. In other parts, both anthropogenic and geogenic activities were jointly involved in aquifer pollution.

**Conclusion:** The main source of pollution by heavy metals including Cr, Cu, Fe and Pb in Zanjan aquifer have been natural and geogenic factors. Also, the elements such as Zn, Mn and Cd are mainly associated with human activities and industries that are scattered throughout the plain. According to the evaluations, management strategies can be presented for restoration and control of pollutants input into the aquifer in that part of the plain whose contamination is due to geogenic activities.

**Keywords:** Hevay Mentals, Aquifer, Anthropogenic Sources, Contaminant, Zanjan Plain.

1- Associate Proffessor Department of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- PhD Candidate of Hydrogeology, Department Of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

**مقدمه**

ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی توسط آب باران، ساختار زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه آبریز و فرآیندهای زمین‌شناسی در طول مسیر آب تعیین می‌شود (۱). لذا با مطالعه هیدروژئوشیمی آب‌خوان، می‌توان به عوامل کنترل‌کننده شیمی آب پی برد. از طرفی در حال حاضر رسوب‌گذاری فلزات سنگین، ترکیبات سمی و آلودگی‌های میکروبی به عنوان منابع اصلی آلودگی محیط‌زیست طبیعی در نظر گرفته می‌شوند (۲). به طور کلی منشأ فلزات سنگین در آب به صورت طبیعی (ژئوژنیک[1]) و انسان‌زاد (آنتروپوژنیک[2]) می‌باشد. فلزات سنگین به طور طبیعی در قشر زمین وجود دارند و بر اثر فعالیت‌ها و عوامل طبیعی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند. منشأ انسان‌زاد آن‌ها نیز عمدتاً شامل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و ورود آن‌ها از طریق پساب‌ها به آب می‌باشد (۳). به طور معمول عناصر سنگین شامل کادمیوم، سرب، آرسنیک، بر، سلنیم، بریلیم، جیوه، مس و روی و برخی دیگر از فلزات هستند. اولین بررسی صورت گرفته جهت شناخت میزان تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر وضعیت کیفی چشمه توسط گارلز و مکنزی در سال ۱۹۶۷ می‌باشد. در این تحقیق، تکامل شیمیایی ترکیب آب چشمه سیرا[3]، آمریکا، مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی، اولین مدل معکوس ژئوشیمیایی تهیه گردید (۴). اسچارچ و واتاز در سال ۲۰۰۰ با مطالعاتی که در آب‌خوانی در سوییس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کاهش TDS آب زیرزمینی در این دشت طی دوره‌های پرآبی رودخانه راهون، به دلیل رقیق‌شدگی آب زیرزمینی توسط آب نفوذی رودخانه است (۵). گلر و همکاران در سال ۲۰۰۲ کاربرد روش‌های آماری و گرافیکی را در رده‌بندی آب‌های زیرزمینی مورد مقایسه قراردادند و نتیجه گرفتند که ترکیب روش‌های آماری و گرافیکی در رده‌بندی کیفی آب‌خوان‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد (۶). درحر در سال ۲۰۰۳ نشان داد که استفاده از روش‌های آماری بدون در نظر گرفتن محیط هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی می‌تواند در برخی موارد باعث تفسیرهای نادرست شود (۷). در مطالعه‌ای که شرفی و همکاران در سال ۱۳۹۰ بر روی آب‌های زیرزمینی دشت زنجان انجام دادند، نتیجه گرفتند که عناصر کادمیوم، منگنز، کروم و آنتیموان در برخی نمونه‌های آب، غلظت بیش از حد مجاز استاندارد را نشان داده و منشأ این آلودگی را فعالیت‌های صنعتی ذکر کرده‌اند (۸). بررسی سوابق مطالعاتی قبلی نشان می‌دهد که در هر مطالعه با استفاده از یکی از روش‌های آماری، گرافیکی، مطالعات هیدروژئوشیمیایی و نیز نمونه‌برداری‌های کیفی اقدام به تعیین عامل مؤثر بر تغییر کیفیت آب‌خوان نموده‌اند. هم‌چنین در این مطالعات تمامی عوامل مؤثر در تغییر پارامترهای کیفی آب‌خوان مورد بررسی قرار نگرفته و علت مهم و عمده که منجر به تخریب کیفیت آب‌خوان‌ها می‌شود، تحلیل نشده است. لذا در این مطالعه رویکردی بر مبنای آخرین روش‌های شناسایی عوامل مؤثر در تغییر کیفیت آب‌خوان پیشنهاد گردید که در آن با جامع‌نگری بر مؤلفه‌هایی که سبب بروز تغییرات کیفی در منابع آب زیرزمینی می‌شوند، اقدام به شناسایی عوامل انسان‌زاد و یا زمین‌زاد مؤثر بر تغییر غلظت فلزات سنگین شود.

**روش بررسی**

**محدوده مورد مطالعه**

از آن‌جا که بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در نواحی صنعتی از اهمیت زیادی جهت برنامه‌ریزی برخوردار می‌باشد، لذا در این مطالعه نیز با توجه به افزایش آلاینده‌های مصنوعی ناشی از تمرکز صنایع مختلف در دشت زنجان، این محدوده به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. این محدوده در حوزه آبریز سفید رود قرار دارد. مطابق آمار دفتر مطالعات پایه مدیریت منابع آب ایران، میزان کل تخلیه از آب‌خوان دشت زنجان در سال آبی ۹۱-۹۰، حدود ۳۷۱ میلیون مترمکعب برآورد شده است. حدود ۷۷ درصد از آب استحصالی از این منابع در بخش کشاورزی، ۱۲ درصد در بخش شرب و ۱۱ درصد در بخش صنعت مصرف می‌شود. مطابق نتایج مطالعات

1- Geogenic
2- Anthropogenic
3- Sierra

ژئوفیزیکی، آب‌خوان دشت زنجان تک لایه بوده و نهشته‌های آبرفتی در بخش شرقی و شمال شرقی ناحیه در حدود ۱۵۰ متر ضخامت دارد. بررسی نقشه جریان آب زیرزمینی نشان می‌دهد که جهت جریان آب زیرزمینی و شیب هیدرولیکی آب‌خوان از نواحی جنوب، جنوب شرق و شمال به سمت غرب است.

**رویکرد پیشنهادی جهت تعیین منشأ آلودگی**

هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی، مؤلفه اصلی ارزیابی سیستم‌های آب‌خوان می‌باشد. جهت آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و شناخت عوامل مؤثر بر آن، رویکردی بر مبنای اطلاعات کیفی آب‌خوان، روش‌های آماری و وضعیت سازندهای زمین‌شناسی پیشنهاد گردید (شکل ۱). جهت دستیابی به هدف شناسایی عوامل مؤثر بر تغییر کیفیت عناصر آب‌خوان و به خصوص فلزات سنگین، ابتدا لازم است محدوده تأثیرگذار بر روند تغییرات کیفی شناسایی شود. برای این منظور با استفاده از اطلاعات مرز حوضه‌های آبریز درجه چهار، نوع و شیب لایه‌های زمین‌شناسی، مرز محدوده‌های مطالعاتی و موقعیت چشمه‌ها اقدام به تعیین محدوده تأثیرگذار گردید. از آن‌جا که یکی از روش‌های مطمئن در شناسایی منشأ آلودگی آب‌خوان، نمونه‌برداری کیفی می‌باشد، لذا لازم است اطلاعات کیفی آب‌خوان بر مبنای شبکه پایش کیفی دشت، جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گیرد. در این مطالعه بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و نیز بازدیدهای صحرایی از منابع آلاینده، نمونه‌برداری از منابع آب در دو دوره تر (نیمه اول اردیبهشت ۸۸) و خشک (نیمه دوم مهر ۸۸) (جدول ۱) انجام گردید. بر اساس نمونه‌برداری کیفی، لازم است منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های نمودارهای ترکیبی، نمودار گیبس[1] و رابطه بین یون‌ها تعیین شود (شکل ۲). با توجه به این‌که عوامل بیرونی از قبیل بارندگی و آب برگشتی کشاورزی، نقش قابل توجهی در تغییرات کیفیت آب‌خوان ایفا می‌نمایند، لذا از داده‌های فصل خشک جهت به حداقل رساندن تأثیر این عوامل، استفاده گردید.

**دیاگرام‌های ترکیبی**

در مطالعات هیدروژئوشیمی جهت تشخیص نوع فرآیندهای شیمیایی، تعیین منشأ و اختلاط آب‌ها از نمودارهای ترکیبی یا دو متغیره استفاده می‌شود. در این دیاگرام‌ها محور افقی به عنوان مجموع یون‌های محلول (TDI)[2] در نظر گرفته می‌شود و بقیه ترکیبات نسبت به آن سنجیده می‌شوند. الگوهای اصلی دیده شده در این نمودارها عبارتند از: الگوی تک خوشه‌ای[3]، الگوی دو خوشه‌ای[4]، الگوی خطی[5]، الگوی توزیع مثلثی[6] و الگوی توزیع تصادفی[7] (۹ و ۱۰).

**نمودار گیبس**

مطابق نظر لانگمایر (۱۱)، منابع اصلی یون‌های حل شده را می‌توان مطابق نمودار گیبس و توسط سه پارامتر: واکنش‌هایی که در آن آب بارندگی غالب است، واکنش‌هایی که سنگ، روند واکنش را تحت کنترل دارد و تبخیر و ته‌نشینی که تأثیر زیادی روی بارندگی دارد، تعیین نمود. مطابق نمودار گیبس، منشأ یون‌های محلول در آب زیرزمینی بر اساس کل مواد جامد محلول و نسبت $Ca-HCO_3$ و $Na-Cl$ عمدتاً تحت تأثیر آب شور دریا، واکنش سنگ-آب و فرآیندهای رسوب می‌باشد.

**رابطه بین یون‌ها**

رابطه بین یون‌های موجود در آب‌خوان می‌تواند دید کلی از منشأ احتمالی یون‌ها را ارائه نماید. در صورتی که منشأ ناشناخته باشد، این روش‌ها می‌توانند برای صحت‌سنجی آنالیزها، مفید واقع شوند. در این مطالعه جهت تعیین منشأ تغییر کیفیت پارامترهای آب زیرزمینی از روش رابطه بین یون‌ها، به دلیل محدود بودن بررسی‌های کانی‌شناسی منطقه و فقدان آنالیز ژئوشیمیایی سنگ، استفاده گردید.

**روش آنالیز آماری**

اکثر روش‌های به کاررفته در مطالعات کیفی آب زیرزمینی به صورت روش‌های گرافیکی هستند که نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب توسط نمودارهای مختلف ارایه می‌گردد.

1-Gibbs Diagram

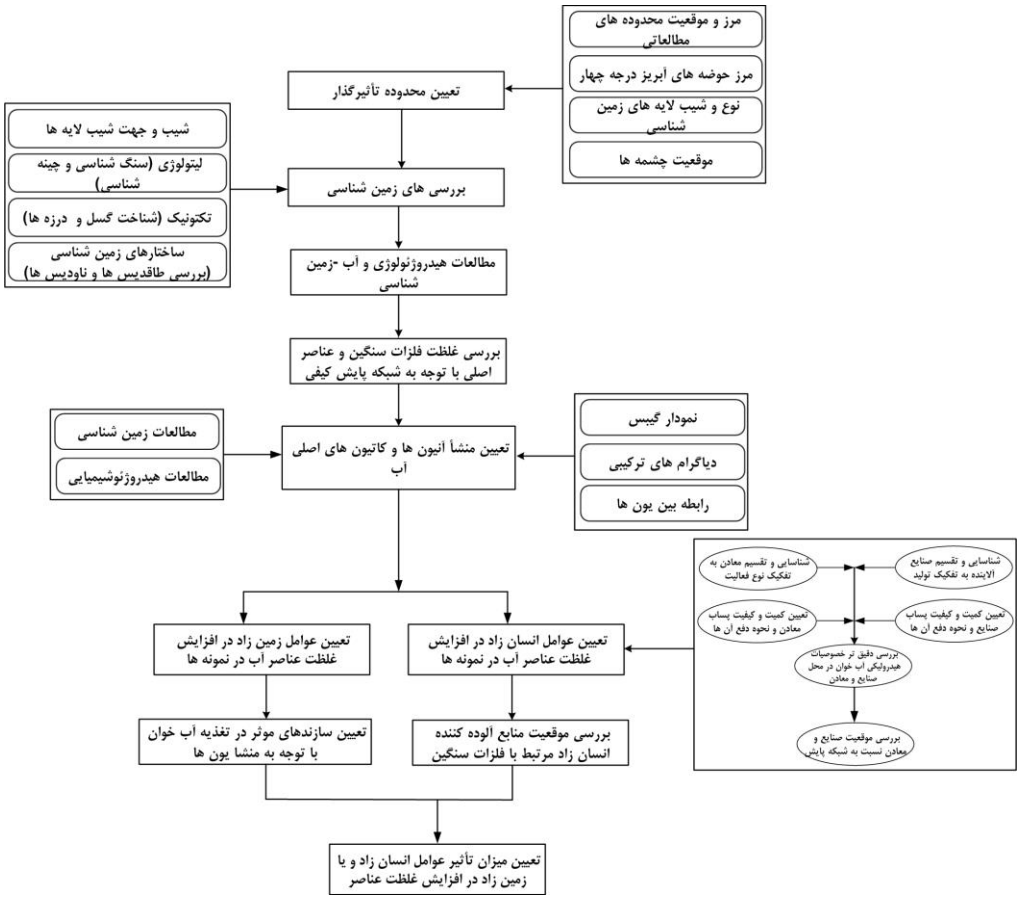
2-Total Dissolved Ionic
3-A cluster
4-Two clusters
5-Data plotting on lines
6-Triangular distribution
7-Random distribution

**جدول ۱- نتایج آنالیز کیفی فلزات سنگین نقاط نمونه‌برداری شده در فصل خشک**

**Table 1- Quality analysis result of heavy metals of sampling points in dry season**

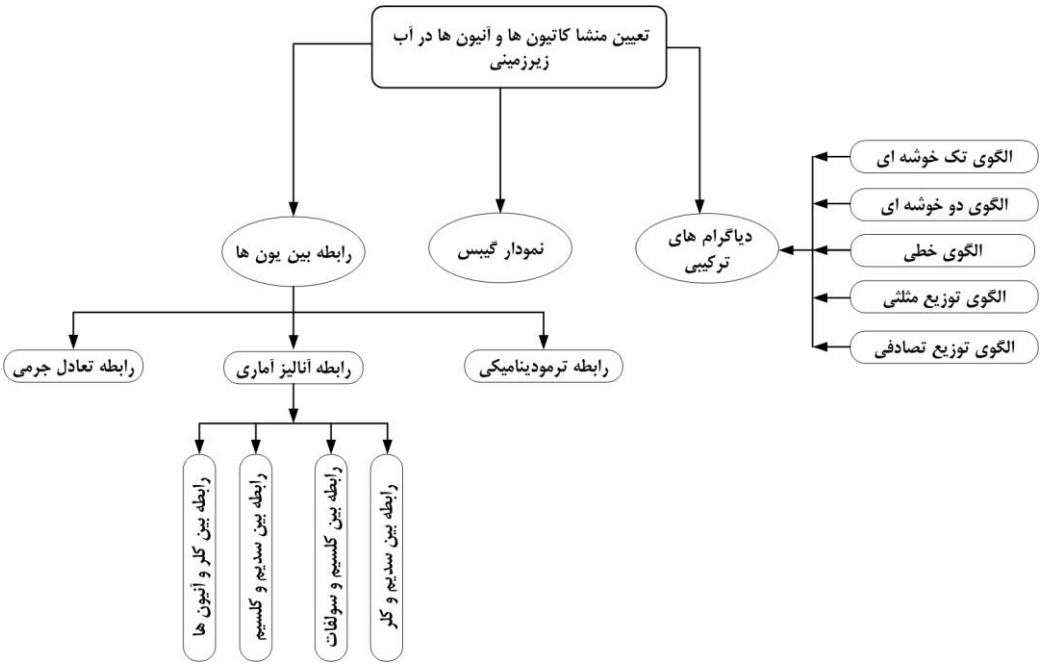
| شماره نمونه | محل و نوع منبع | Y | X | فلزات سنگین (میکروگرم در لیتر) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | کرم | روی | آهن | منگنز | سرب | نیکل | مس | کادمیوم |
| ۱ | کشتارگاه مرغ آندیا | ۴۰۴۱۸۲۱ | ۳۱۰۲۵۴ | ۰/۳ | ۱۵/۷ | ۴/۶ | ۷/۵ | ۰/۹ | ۰/۲ | ۵/۴ | ۰/۳ |
| ۲ | کارخانه شن و ماسه بویین‌رود | ۴۰۴۰۱۷۶ | ۳۰۷۲۸۴ | ۰/۴ | ۲۹/۶ | ۲۰/۸ | ۸/۷ | ۱ | ۰/۴ | ۴/۱ | ۰/۳ |
| ۵ | روغن نباتی جهان | ۴۰۵۲۶۷۷ | ۲۹۳۴۷۱ | ۰/۳ | ۶/۷ | ۱۱/۶ | ۷/۵ | ۰/۹ | ۰/۲ | ۳/۸ | ۰/۶ |
| ۶ | کارخانه نیک ریس | ۴۰۵۳۸۲۱ | ۲۹۳۵۳۶ | * | ۴۵/۲ | ۱۴/۹ | ۲/۵ | * | | ۱/۴ | ۰/۳ |
| ۸ | چاه شرب یوسف آباد | ۴۰۴۶۴۷۰ | ۲۹۸۰۰۲ | ۰/۴ | ۱۰/۲ | ۵/۸ | ۵ | * | ۰/۲ | * | ۱/۲ |
| ۹ | چشمه شاه‌بلاغی | ۴۰۲۷۰۴۸ | ۲۹۹۵۱۵ | ۰/۲ | ۱/۹ | ۵/۸ | ۳/۷ | * | | ۰/۸ | ۰/۴ |
| ۱۱ | مزرعه خانم باختر | ۴۰۳۱۸۰۶ | ۲۹۹۰۷۲ | * | ۵/۷ | ۲/۹ | ۱۰/۵ | * | | ۱/۱ | * |
| ۱۲ | سلطانیه - پرورش ماهی | ۴۰۳۶۹۰۵ | ۳۰۱۰۹۰ | * | ۲/۱ | ۱۹/۹ | ۸ | * | | ۱/۳ | ۰/۴ |
| ۱۴ | چاه آب شرب روستای قره‌بلاغ | ۴۰۴۱۲۹۰ | ۳۰۲۹۰۷ | ۱/۲ | ۱۱/۴ | ۹/۵ | ۷/۵ | ۹/۲ | ۱/۳ | * | ۰/۲ |
| ۱۶ | شرکت رویین‌کاران الوند | ۴۰۴۳۹۹۲ | ۳۰۰۲۹۰ | ۰/۳ | ۱۹/۱ | ۹/۹ | ۱۵ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۰/۴ |
| ۱۹ | سامان شیمی | ۴۰۵۰۳۸۹ | ۲۹۳۶۱۳ | ۰/۲ | ۳/۳ | ۱/۲ | ۳/۸ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۷/۸ | ۰/۳ |
| ۲۳ | شرکت سرب و روی ایران، چاه شماره۱ | ۴۰۵۵۲۷۸ | ۲۸۸۴۷۸ | ۰/۲ | ۷/۴ | ۱۵/۸ | ۳/۸ | ۱/۱ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۴ |
| ۲۶ | چاه شرب روستای دیزج آباد | ۴۰۵۶۶۱۰ | ۲۸۵۳۴۰ | ۰/۳ | ۴/۸ | ۱۸/۹ | ۲/۹ | * | ۰/۹ | ۱/۷ | ۰/۵ |
| ۲۷ | ایستگاه راه آهن بناب | ۴۰۵۳۰۶۳ | ۲۸۹۵۹۶ | ۱/۷ | ۳۲۸ | ۸/۶ | ۸/۷ | ۶/۹ | ۲/۷ | ۱/۶ | ۰/۲ |
| ۲۸ | چاه شرکت نفت | ۴۰۵۶۳۷۶ | ۲۸۶۸۱۳ | ۰/۲ | ۲۴ | ۳۰/۸ | ۵ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۲/۵ | ۰/۵ |
| ۲۹ | پارک ارم زنجان | ۴۰۶۱۹۲۷ | ۲۷۲۱۹۷ | ۲/۶ | ۵/۶ | ۶/۳ | ۰/۸ | ۱/۸ | ۱/۱ | ۵/۳ | ۱/۷ |
| ۳۰ | خروجی فاضلاب شهری | ۴۰۶۰۰۵۱ | ۲۷۶۱۹۹ | ۲/۶ | ۲۳/۶ | ۲۱۲/۹ | ۱۱۲ | ۱/۸ | ۲/۵ | ۳/۱ | ۲/۴ |
| ۳۲ | خروجی فاضلاب شهری زنجان، رو به روی پارک ارم | ۴۰۶۱۷۰۵ | ۲۷۲۰۰۱ | ۱/۳ | ۴۳/۶ | ۱۹۵/۴ | ۱/۶ | ۴/۵ | ۱/۴ | ۲/۵ | ۱/۷ |
| ۳۴ | مجتمع ذوب مس میرزائی | ۴۰۵۶۳۵۵ | ۲۶۳۸۵۷ | ۰/۲ | ۶ | ۱۳/۸ | ۶/۳ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۱/۶ | ۰/۱ |
| ۳۵ | شهرک تخصصی روی | ۴۰۵۶۸۵۰ | ۲۷۰۲۷۱ | ۲/۶ | ۵/۲ | ۱۱/۲ | * | ۰/۹ | ۲/۱ | ۷/۵ | ۲/۱ |
| ۳۸ | قنات اول جاده بیجار | ۴۰۵۷۶۶۷ | ۲۶۹۷۷۶ | ۰/۴ | ۷/۵ | ۱۸/۳ | ۱۱/۴ | ۱ | ۰/۲ | ۲/۵ | * |
| ۳۹ | شرکت توسعه معادن روی-چاه شماره۱-ضلع شرقی | ۴۰۶۱۸۶۷ | ۲۶۲۹۴۶ | ۰/۴ | ۶/۸ | ۸۸/۷ | ۲۱ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۴/۹ | ۰/۵ |
| ۴۱ | مظهر قنات نهیل | ۴۰۸۶۶۶۵ | ۲۶۵۷۵۱ | * | ۱۷۷/۲ | ۲/۵ | ۶/۱ | * | ۱/۴ | ۱/۱ | ۱ |
| ۴۴ | شهرک صنعتی شماره ۱ | ۴۰۶۵۵۵۸ | ۲۷۰۲۶۰ | ۰/۷ | ۱/۵ | ۳/۷ | ۳/۸ | * | | ۱/۶ | ۱/۴ |
| ۴۵ | بالادست سد تهم | ۴۰۷۶۹۴۱ | ۲۷۷۴۳۶ | ۳/۳ | ۲/۱ | ۱۵ | ۳/۱ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۵ | ۱/۴ |
| ۴۶ | میدان استقلال | ۴۰۶۱۴۱۱ | ۲۷۲۹۷۵ | ۱/۹ | ۱۲ | ۱۱/۶ | ۳/۸ | ۰/۹ | ۱/۸ | ۴/۴ | ۴/۲ |
| ۴۷ | کشتارگاه دام شهرداری زنجان | ۴۰۶۳۱۵۹ | ۲۷۰۴۲۸ | * | ۴/۴ | ۵/۸ | ۸/۵ | * | ۰/۴ | ۳/۳ | ۱/۴ |
| ۵۰ | رودخانه زنجان‌رود زیر پل آمادگاه | ۴۰۶۶۲۱۶ | ۲۶۴۷۶۱ | ۲/۶ | ۵/۳ | ۲۲۲/۸ | ۲۹۲ | ۴/۵ | ۵ | ۳/۳ | ۵/۲ |
| ۵۳ | چاه کشاورزی پایین‌دست رویین‌کاران شمس | ۴۰۶۶۵۲۷ | ۲۶۴۲۸۷ | * | ۱۳/۴ | ۶/۶ | ۳/۱ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۳ | ۳/۸ |
| ۵۴ | جایگاه بنزین ۲۲بهمن | ۴۰۶۸۱۱۱ | ۲۶۰۲۴۷ | ۱/۹ | ۱/۴ | ۸/۳ | ۲۰/۷ | * | ۱/۸ | ۱/۹ | ۲/۴ |
| ۵۵ | چاه سه راهی نیک‌پی | ۴۰۸۱۴۱۱ | ۲۴۸۲۶۴ | * | ۱/۴ | ۳/۳ | ۸/۵ | * | ۱/۴ | ۴/۵ | ۴/۱ |
| ۵۸ | مجتمع تفریحی دهکده سبز | ۴۰۶۴۹۰۲ | ۲۶۷۰۲۴ | ۰/۲ | ۱۵/۲ | ۱۱/۶ | ۶/۲ | * | ۱/۴ | ۲/۷ | ۱/۴ |

* زیر حد تشخیص




**شکل۱- ساختار رویکرد پیشنهادی جهت تعیین میزان تأثیر منابع زمین‌زاد و یا انسان‌زاد در غلظت عناصر**

**Figure1- The proposed structure to determine the effect of geogenic or anthropogenic sources on the metals concentration**




**شکل۲- روش‌های تعیین منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب زیرزمینی**

**Figure 2-Methods for determining the origin of cations and anions in groundwater**

یکی از محدودیت‌های این روش‌ها، تعداد نمونه و متغیر است. از طرفی هیچ یک از این روش‌ها قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت در بین آن‌ها را ندارند (۱۲). در حالی که در روش‌های آماری محدودیتی از این لحاظ وجود ندارد. در سال‌های اخیر با افزایش تعداد متغیرهای کیفی آب زیرزمینی یک طیف گسترده‌ای از روش‌های آماری جهت تحلیل و تفسیر مناسب داده‌ها به کار برده می‌شوند. تاکنون محققین مختلفی از جمله گاللاردو و ماریو (۲۰۰۷) (۱۰) و جککویز و پردا (۲۰۱۴) (۱۳)، از روش‌های آماری در بررسی کیفی استفاده نموده‌اند.

✓ **رابطه بین سدیم و کلر**

منبع اصلی کلر در آب‌های زیرزمینی اتمسفری بوده و غلظت آن به میزان وسیعی توسط مقدار آب از دست رفته از طریق تبخیر قبل از وارد شدن به منطقه اشباع کنترل می‌گردد (۱۴). بر اساس تحقیقات هونسلو، اگر در موقعیتی $Cl^- > Na^+$ باشد، در آن محل یا خطایی در آنالیز رخ داده است یا این‌که ترکیب آب از شورابه‌های نفتی گرفته شده که از تبادل یونی معکوس و نرم‌شدگی طبیعی معکوس[1] ناشی شده است. جدول (۲)، جهت تعیین منشأ سازندهای مؤثر بر کیفیت آب‌خوان، محاسبه نسبت سدیم به مجموع سدیم و کلر مورد نیاز است.

**جدول ۲- منشأ سازندهای مؤثر بر کیفیت آب‌خوان (۱۵)**

**Table 2- Source of effective formation on quality of the aquifer (15)**

| منشأ سنگ | مقدار |
|---|---|
| منشأ سدیم به غیر از هالیت، مثل آلبیت پلاژیوکلازها یا تبادل یونی | >۰/۵ |
| انحلال هالیت | =۰/۵ |
| تبادل یونی معکوس | $\left(Na/Na+Cl\right)$ <۰/۵ و $TDS$ >۵۰۰ |
| خطای آنالیز | $\left(Na/Na+Cl\right)$ <۰/۵ و ۵۰ < $TDS$ <۵۰۰ |
| آب باران | $\left(Na/Na+Cl\right)$ <۰/۵ و $TDS$ <۵۰ |

1-Revers Natural Softening

✓ **رابطه بین کلسیم و سولفات**

سولفات از انحلال مستقیم کانی‌های پیریت و یا خنثی‌سازی آب‌های اسیدی توسط سنگ آهک و دولومیت حاصل می‌شود. منابع کلسیم نیز کلسیت، آراگونیت، دولومیت، ژیپس، انیدریت، فلوراید، پلاژیوکلازها، پیروکسین و آمفیبول‌ها هستند. اگر سولفات بیش از کلسیم باشد نشان می‌دهد که کلسیم به احتمال زیاد به وسیله رسوب کلسیت یا به وسیله واکنش‌های تبادل یونی از محلول برداشته شده است.

اگر $Ca2+ = SO42-$ باشد نشان‌دهنده ژیپس است.

$Ca2+ < SO42-$، نشان‌دهنده اکسیداسیون پیریت یا حذف کلسیم می‌باشد.

$Ca2+ > SO42-$، نشان‌دهنده یک منبع کلسیت دیگر غیر از ژیپس مثل کلسیت، دولومیت و سیلیکات می‌باشد.

✓ **رابطه بین کلر و آنیون‌ها**

با استفاده از این رابطه می‌توان مشخص کرد که کلر موجود در آب زیرزمینی ناشی از آب دریا، شورابه، تبخیر، آب بارش و یا هوازدگی سنگ است. پس از تعیین منشأ عناصر و با توجه به طبیعی و مصنوعی بودن این منشأ، نقش عوامل انسان‌زاد و یا زمین‌زاد در هر پارامتر مشخص خواهد شد، به طوری که در صورت وجود رابطه مشخص بین پارامترها نقش عوامل زمین‌زاد پررنگ خواهد بود. اما مشاهده آنومالی در رابطه فوق بیانگر اثرگذاری عوامل غیرطبیعی خواهد بود.

**یافته‌ها**

با توجه به رویکرد پیشنهادی، شناسایی منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت زنجان صورت گرفت. جهت دستیابی به هدف مطالعه، ابتدا بر اساس میزان غلظت اندازه‌گیری شده پارامترهای اصلی آب از قبیل سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات، بی‌کربنات و کلر، منشأ تغذیه و فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر آب زیرزمینی آب‌خوان دشت زنجان مشخص گردید. سپس وضعیت زمین‌زاد یا انسان‌زاد عناصر سنگین بررسی شد.

**مقایسه آنالیز کیفی پارامترها با استانداردهای کیفی**

بر اساس نتایج آنالیزهای صورت گرفته در فصل خشک و مقایسه آن‌ها با مقادیر استانداردهای آب

آشامیدنی WHO2008 و ۳-۱۱۶ ایران (۱۶) (جدول ۳)، وضعیت تخطی پارامترهای اصلی و فلزات سنگین مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی‌ها بر روی آنالیز کل جامدات محلول نشان می‌دهد که در ۴ نمونه از ۵۷ نمونه مقدار این پارامتر بیش از حد مجاز است که مرتبط با نمونه‌های شماره ۳۴، ۵۵، ۵۸ و ۷۰ می‌باشد. هم‌چنین پارامتر سدیم نیز در نمونه شماره ۷۱ از مقدار استاندارد تخطی نشان می‌دهد که به دلیل رسوبات تبخیری شمال‌غربی و مرکزی دشت زنجان (منبع زمین‌زاد) می‌باشد. مقدار پتاسیم در تمام نمونه‌ها در حد مجاز می‌باشد. افزایش جزیی مقدار پتانسیم در سطح دشت مرتبط با شسته شدن کودهای پتاسه است که به آب زیرزمینی راه یافته‌اند. بررسی یون منیزیم نشان می‌دهد که در نمونه شماره ۷۰، مقدار این یون بیش از استاندارد می‌باشد. آنالیز یون کلر حاکی از تخطی نمونه‌های شماره ۴۷، ۵۸ و ۷۰ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که علت این افزایش کلر، وجود گنبدهای نمکی می‌باشد. وجود تشکیلات تبخیری در بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی دشت و نیز وجود کارخانه تولید اسیدسولفوریک و مصرف این اسید در مرحله کانه‌شویی کارخانه‌های سرب و روی موجود در منطقه، باعث شده تا در ۱۵ نمونه میزان غلظت سولفات از مقدار استاندارد تجاوز نماید. نتایج آنالیز فلز آهن حاکی از مطلوب بودن نسبی این پارامتر در غالب بخش‌های دشت زنجان است. فلز منگنز نیز به جز در برخی از بخش‌های دشت، در اکثر قسمت‌ها در حد مطلوب می‌باشد. این وضعیت در مورد فلزات مس، نیکل، روی، سرب و کادمیوم نیز صادق است. فلز کروم در تمام موارد در حد مطلوب قرار داشته و تنها در نمونه شماره ۵۹ دارای مقداری بیش از حد مجاز می‌باشد.

**جدول ۳-استاندارد پارامترهای کیفی (میلی‌گرم بر لیتر)**

**Table 3- Quality parameter standarad (Mg/L)**

| نوع آلاینده | WHO, 2008[1] | استاندارد ایران (۳-۱۱۶) |
|---|---|---|
| روی | ۰/۰۵ | ۰/۰۳ |
| سرب | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ |
| نیکل | ۰/۰۷ | - |
| کادمیوم | ۰/۰۰۳ | - |
| کروم | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ |
| مس | ۲ | - |
| آهن | پیشنهاد نشده | ۰/۳ |
| منگنز | ۰/۴ | ۰/۵ |
| کلراید | ۲۵۰ | ۴۰۰ |
| سولفات | پیشنهاد نشده | ۴۰۰ |
| سدیم | پیشنهاد نشده | ۲۰۰ |
| بی‌کربنات | ۱۲۰ | - |
| کلسیم | - | ۲۵۰ |
| منیزیم | - | ۵۰ |
| پتاسیم | ۱۲ | - |
| TDS | پیشنهاد نشده | *۱۵۰۰ |

* در شرایط ویژه فقدان منبع آب با کیفیت برتر در منطقه تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر مجاز می‌باشد.

### تعیین منشأ وجود پارامترهای کیفی در آب‌خوان

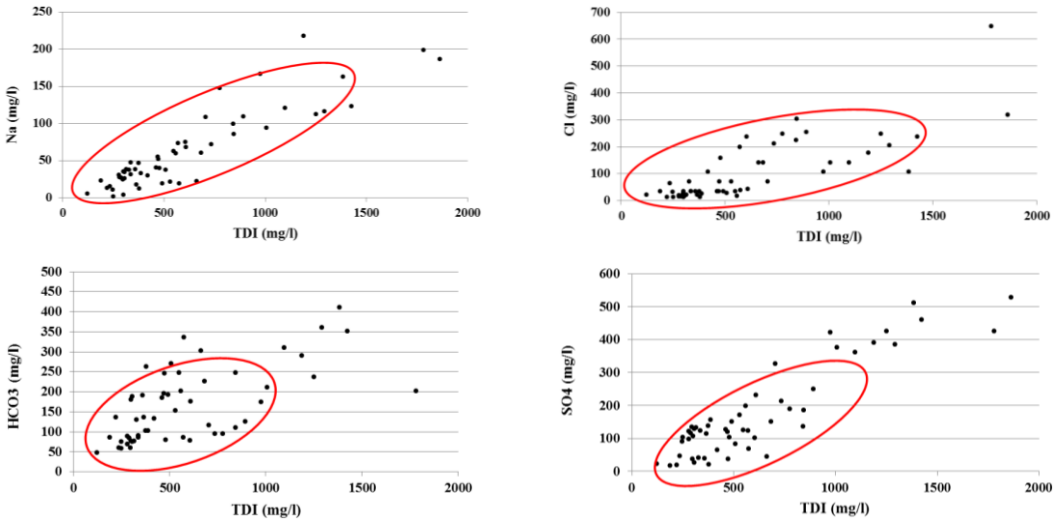
بر مبنای داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده و رویکرد مطالعه، منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌ها اصلی آب تعیین گردید. با استفاده از روش نمودارهای ترکیبی، الگوی‌های دو متغیره نمونه‌های آب زیرزمینی آب‌خوان دشت زنجان ترسیم گردید. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که الگوی رسم شده عمدتاً تک خوشه‌ای است. لذا عمده نمونه‌ها دارای منشأ واحدی می‌باشد که تنها برخی از نمونه‌ها دارای پراکندگی بوده و این مسأله می‌تواند ناشی از ورود عناصر از سازندهای مختلف زمین‌شناسی باشد (شکل ۳). با توجه به این‌که متوسط مقدار TDS در محدوده مورد مطالعه برابر با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و هم‌چنین تیپ غالب آب در این محدوده بی‌کربناته-کلسیک است، لذا مطابق نمودار گیبس، منشأ یون‌های محلول در آب‌خوان دشت زنجان تحت تأثیر سنگ- آب می‌باشد. بر مبنای روش آنالیز آماری، اقدام به تعیین منشأ تغییر کیفیت پارامترها گردید. در این روش بر اساس رابطه بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها منشأ طبیعی تغییر کیفیت پارامترهای آب‌خوان شناسایی می‌شود.

### رابطه بین سدیم و کلر

بر اساس نمونه‌های برداشت شده، مشخص می‌شود که هالیت نقش بسیار کمی (۵ درصد) در میزان سدیم و کلر موجود در آب‌خوان زنجان دارد. همچنین منشأ سدیم در ۶۰ درصد

1- World Health Organization (WHO)

نمونه‌ها، ناشی از انحلال کانی آلبیت پلاژیوکلاز و یا تبادل یونی می‌باشد. منشأ سدیم در ۳۵ درصد نمونه‌ها ناشی از تبادل یونی معکوس بوده است. برای درک بهتر نحوه آن‌جام تبادل یونی بین آب زیرزمینی و آب‌خوان، می‌توان از اندیس کلرو-آلکالین استفاده نمود. اندیس مثبت بیانگر پتانسیل تبادل سدیم و پتاسیم آب با کلسیم و یا منیزیم سنگ بستر و محیط آب‌خوان می‌باشد و کمتر بودن مقدار سدیم از کلر را توجیه می‌کند. در مواردی که اندیس منفی است، مشخص‌کننده عدم تعادل کلر-آلکالی و امکان تبادل سدیم و پتاسیم محیط آب‌خوان و سنگ بستر با کلسیم و یا منیزیم آب می‌باشد (۱۷). منشأ یون بیکربنات را با استفاده از شاخص کلرو- آلکالین نیز می‌توان مشخص کرد. مقادیر مثبت این شاخص نشان می‌دهد که منشأ یون بیکربنات در آب، هوازدگی کانی‌های سیلیکاتی می‌باشد، در حالی که مقادیر منفی، منشأ کانی‌های کربناته را برای یون بی‌کربنات بیان می‌کند (۱۸). در نمونه‌های آب‌خوان منطقه، ۵۷ درصد نمونه‌ها دارای اندیس منفی و سایر نمونه‌ها دارای اندیس مثبت می‌باشند. همچنین بررسی نمودارهای $CL-TDI$ و $Na-TDI$ نشان می‌دهد که در عمده نمونه‌ها، غلظت کلر و سدیم با افزایش $TDI$ افزایش نمی‌یابد و تغییرات زیادی ندارد.




**شکل۳- الگوی توزیع نمونه‌های آبی آب‌خوان دشت زنجان در دیاگرام‌های ترکیبی**

**Figure3- Distribution pattern of Zanjan plain aquifer water samples in combined diagrams**

**رابطه بین کلسیم و سولفات**

در این مطالعه منشأ کلسیم و سولفات موجود در آب زیرزمینی دشت بر اساس رابطه $Ca/(Ca+So_4)$ بررسی گردید. مطابق این رابطه و با توجه به جدول (۳) مشخص می‌شود که انحلال ژیپس نقش بسیار کمی در میزان کلسیم و سولفات آب‌خوان دشت زنجان دارد، به طوری که تنها در ۳ نمونه انحلال ژیپس تأثیر داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که منشأ کلسیم در ۱۸ درصد از نمونه‌ها که عمدتاً در حاشیه آب‌خوان و نقاط تغذیه پراکنده هستند، ناشی از انحلال کربنات‌ها و سیلیکات‌ها می‌باشد. در ۷۷ درصد از نمونه‌ها، غلظت کلسیم در اثر تبادل یونی نرمال و یا رسوب، کاهش یافته است که این نشانه اکسیداسیون پیریت می‌باشد. از طرفی بررسی نمودارهای دومتغیره $Ca-TDI$ و $SO4-TDI$ نشان می‌دهد که در عمده نمونه‌ها، غلظت کلسیم و سولفات با افزایش $TDI$ افزایش نمی‌یابد و تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد.

**رابطه بین سدیم و کلسیم**

بررسی غلظت این نسبت در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زنجان نشان می‌دهد که در عمده نمونه‌ها منشأ سدیم ناشی از هوازدگی سیلیکات‌ها می‌باشد و کربنات‌ها نقش کم رنگی در

تولید سدیم در آب زیرزمینی این منطقه دارند. این مسأله نیز بر اساس رابطه $Na/(Na+Cl)$ بررسی و تأیید شد.

**رابطه بین کلر و آنیون‌ها**

کلر موجود در آب زیرزمینی آب‌خوان دشت زنجان ناشی از واکنش سنگ- آب می‌باشد. با بررسی روابط بین یون‌ها، در نهایت منشأ عمده یون‌های اصلی مشخص گردید (جدول ۴). بررسی منشأ یون‌های اصلی آب نشان می‌دهد که واحدهای آذرین نقش اساسی در تغذیه آب‌خوان و ترکیبات رسوبی تأثیر کمتری بر شیمی آب دارند. این واحدها عمدتاً در شمال آب‌خوان گسترش دارند. از طرفی بررسی معادن این محدوده نشان می‌دهد که عمده معادنی که از واحدهای آذرین برداشت می‌شود در سازندهای ارتفاعات شمال آب‌خوان توسعه یافته‌اند.

در ادامه با توجه به غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده، منشأ این عناصر در آب‌خوان مورد شناسایی قرار می‌گیرد.

**بررسی منشأ فلزات سنگین**

**مس:** بررسی نقشه پراکندگی این عنصر نشان می‌دهد که غلظت این پارامتر در نمونه‌های مجاور واحدهای آذرین بالاتر از نقاط وسط دشت می‌باشد که بیانگر نقش قابل توجه واحدهای آذرین در تولید این عنصر است. البته در نمونه‌های برداشت از محل شهر زنجان نیز غلظت این عنصر بالا گزارش شده است که دلیل این می‌تواند فعالیت‌های انسانی صورت گرفته در شهرک صنعتی زنجان باشد، به طوری که در جهت جریان آب زیرزمینی غلظت این عنصر پایین بوده که دلیل این امر جذب مس توسط مواد تشکیل‌دهنده آب‌خوانی است.

**جدول ۴- تعیین منشأ سنگ از نسبت‌های یونی**

**Table 4- Determination the source of the rock from ionic ratios**

| نوع رابطه | نوع یون | منشأ اصلی | منشأ فرعی | منشأ ناچیز |
|---|---|---|---|---|
| $Na/(Na+Cl)$ | سدیم | ۶۵ درصد ناشی از انحلال آلبیت پلاژیوکلاز یا تبادل یونی | ۳۵ درصد ناشی از تبادل یونی معکوس | انحلال هالیت |
| $Ca/(Ca+So_4)$ | کلسیم | ۷۳ درصد ناشی از اکسیداسیون پیریت | ۲۳ درصد ناشی از انحلال کربنات‌ها و سیلیکات‌ها | انحلال ژیپس |
| $Na/Ca$ | سدیم | عمده نمونه‌ها ناشی از هوازدگی سیلیکات‌ها | - | هوازدگی کربنات‌ها |
| $Cl/sum\ anions$ | کلر | منشأ ناشی از واکنش آب- سنگ | - | - |

**کروم:** پساب صنایع فولاد و کاغذ و نیز فرسایش منابع طبیعی از عوامل مهم آلودگی آب به این عنصر به شمار می‌رود. بررسی نقشه پراکندگی این عنصر نشان می‌دهد که غلظت این پارامتر تقریباً در نمونه‌های مجاور واحدهای آذرین و در نیمه شرقی آب‌خوان پایین می‌باشد اما در نیمه غربی آب‌خوان واحد $pCgr$ در جنوب و واحد $Eav$ در شمال شهر زنجان تأثیر بیشتری بر غلظت کروم در نمونه‌های آب انتخاب شده دارند. از طرفی غلظت‌های بالا در نیمه غربی آب‌خوان در پایین‌دست شهر زنجان مشاهده می‌شود که این امر نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی و صنعتی و بالتبع ورود پساب ناشی از این فعالیت‌ها بیشترین تأثیر در افزایش غلظت کروم دارد.

**روی:** روی یکی از فراوان‌ترین عناصر در پوسته زمین است و از نظر ویژگی‌های ژئوشیمیایی شباهت بسیاری به سرب دارد و غلظت آن همانند غلظت سرب از سمت سنگ‌های اولترابازیک به سمت سنگ‌های بازیک و اسیدی افزایش پیدا می‌کند. بررسی نقشه پراکندگی روی نشان می‌دهد که غلظت این عنصر از نمونه شماره ۱، نسبتاً زیادتر بوده و تقریباً در کل دشت این میزان قابل توجه می‌باشد. با توجه به این‌که غلظت روی در غالب نمونه‌های واقع در ارتفاعات دارای مقدار قابل توجهی

نمی‌باشد، لذا این امر نشان‌دهنده تأثیر کم واحدهای آذرین در تغییرات غلظت این عنصر است. در برخی از نمونه‌های وسط دشت و به خصوص اطراف شهر زنجان افزایش موردی دیده می‌شودکه این امر به دلیل ورود پساب صنایع می‌باشد.

**سرب:** مهم‌ترین منبع سرب، سنگ‌های آذرین و متامورفیک و فعالیت‌های انسانی می‌باشند. بررسی نقشه پراکنش سرب نشان می‌دهد که غلظت این عنصر به طور کل در آب‌خوان زنجان پایین می‌باشد و تنها به صورت موردی افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت واحدهای آذرین به عنوان منشأ زمین‌زاد و صنایع به عنوان منشأ انسان ساخت، در مورد نمونه‌های شماره ۱۴، ۶۸ و ۷۲ می‌توان منشأ زمین‌زاد و در مورد نمونه‌های شماره ۲۷ و ۵۰ می‌توان منشأ انسان‌زاد را برای غلظت‌های بالای سرب در نظر گرفت. در نهایت می‌توان گفت تأثیر واحدهای آذرین در تغییرات غلظت سرب در نمونه‌های دشت زنجان بیشتر از منشأ انسان‌ساخت می‌باشد.

**نیکل:** این عنصر عمدتاً در رسوبات نواحی صنعتی به عنوان یک آلودگی شاخص شناخته می‌شود. بررسی نقشه این فلز نشان می‌دهد که این عنصر در نیمه شرقی آب‌خوان پایین می‌باشد اما در نیمه غربی آب‌خوان، تأثیر واحد آذرین $pCgr$ در جنوب شهر زنجان باعث افزایش غلظت نیکل در نمونه‌های شماره ۳۵، ۷۹ و ۸۰ و واحد $Eav$ در شمال شهر زنجان نیز باعث افزایش غلظت این عنصر در نمونه‌های شماره ۴۱، ۴۵، ۷۲، ۷۵ و ۷۶ شده است. بر اساس پراکندگی غلظت فلزات سنگین و منشأهای تعیین شده برای آن‌ها، منشأ احتمالی این عناصر در آب‌خوان دشت زنجان به صورت جدول (۵) می‌باشد. این جدول بر مبنای موقعیت منابع آلاینده، وضعیت سازندهای زمین‌شناسی و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آب‌خوان، منشأ زمین‌زاد و یا انسان‌زاد بودن هر یک از ۵۷ نمونه را تعیین می‌کند و درصد تقریبی منشأ حضور فلزات محاسبه می‌گردد. این جدول نشان می‌دهد که عمدتاً نیمه غربی آب‌خوان دارای حداکثر غلظت فلزات سنگین بوده که با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی می‌توان دریافت که موقعیت صنایع و شهر زنجان و نیز واحد آذرین $Eav$ بیشترین تأثیر را در آلودگی این آب‌خوان نشان می‌دهند. هم‌چنین بر پایه این جدول می‌توان با توجه به منشأ ظهور هر کدام از عناصر ذکر شده، روش‌های مناسب جهت جلوگیری از آلودگی بیشتر آب‌خوان و هم‌چنین احیای این منبع آبی با ارزش را ارایه نمود.

**جدول ۵- پراکندگی فلزات سنگین در آب‌خوان دشت زنجان و منشأ احتمالی آن‌ها (درصد)**

**Table 5- Dispersion of heavy metals in Zanjan plain aquifer and their possible source (percentage)**

| نوع فلز | محل وقوع حداکثر غلظت | تأثیر منشأ | تأثیر منشأ |
|---|---|---|---|
| مس | نیمه شمالی | ۷۵ | ۲۵ |
| کروم | نیمه غربی | ۶۰ | ۴۰ |
| روی | میانه آب‌خوان | ۳۰ | ۷۰ |
| آهن | نیمه غربی | ۷۰ | ۳۰ |
| منگنز | نیمه غربی | ۲۰ | ۸۰ |
| سرب | نیمه شمالی | ۷۵ | ۲۵ |
| نیکل | نیمه غربی | ۵۰ | ۵۰ |
| کادمیوم | نیمه غربی | ۴۰ | ۶۰ |

## بحث و نتیجه‌گیری

رفع آلودگی از آب‌های زیرزمینی یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران سیاست‌گذار در این بخش می‌باشد. در اولین گام شناسایی، منشأ بروز این آلودگی‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها جهت انتخاب روش مناسب احیاء و حذف آلاینده‌ها می‌باشد. در دشت زنجان با توجه به ظهور فلزات سنگین و در نتیجه آلودگی این منبع با ارزش، تعیین منشأ این عناصر بسیار مهم می‌باشد. زمین‌شناسی محدوده زنجان نشان می‌دهد که رگه‌هایی از سنگ‌های آذرین که بعضاً حاوی فلزات سنگین می‌باشد، به ارتفاعات اطراف دشت نفوذ کرده است. این امر از طرفی باعث توسعه معادن برداشت فلزات باارزشی چون سرب و روی شده است و از طرفی جهت فرآوری این عناصر، صنایع متعددی در سطح دشت در حال فعالیت هستند. لذا با توجه به

این‌که بخش عمده‌ای از آب شرب شهرهای زنجان و سلطانیه و نیز روستاهای واقع در این دشت از آب‌خوان تأمین می‌شود، لذا باید اقدامات عملی در خصوص جلوگیری از آلودگی بیشتر و احیای آب‌خوان صورت گیرد. در این مطالعه، رویکردی بر مبنای داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده، بررسی‌های هیدروژئوشیمی، رابطه کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب با یک‌دیگر و نیز وضعیت سازندهای زمین‌شناسی جهت تعیین منشأ حضور فلزات سنگین در آب‌خوان پیشنهاد گردید. نتایج نشان می‌دهد که عمده منشأ آلودگی فلزت سنگین کروم، مس، آهن و سرب در دشت زنجان به صورت طبیعی و زمین‌زاد بوده و وجود عناصری نظیر روی، منگنز و کادمیوم عمدتاً مرتبط با فعالیت‌های انسانی و صنایع پراکنده در سطح دشت می‌باشد. رویکرد این تحقیق می‌تواند دید مناسب از وضعیت منشأ آلودگی‌های حاکم ایجاد و متناسب با آن راهکارهای برخورد با عوامل آلوده‌کننده را بر اساس آخرین روش‌های موجود، که کمترین هزینه و بیشترین بازدهی را داشته باشد، ارایه نماید.

**منابع**


1- André, L., Franceschi, M., Pouchan, P., Atteia, O., (2005), " Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France", Journal of Hydrology, 305(1-4), 40-62.

2- Bastami, K.D., Bagheri, H., Haghparast, S., Soltani, F., Hamzehpoor, A., Bastami, M.D., (2012), "Geochemical and geo-statistical assessment of selected heavy metals in the surface sediments of the Gorgan Bay, Iran", Marine Pollution Bulletin, 64(12), 2877-2884.

3- Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzione, D., Violante, P., (2003), "Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy)", Environmental Pollution, 124(2), 247-256.

4- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T., (1967), "Origin of the chemical composition of spring and lakes. In Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, American Chemical Society", Advances in Chemistry Series, (67), 222-242.

5- Schurch, M., Vuataz, F.D., (2000), "Groundwater components in the alluvial aquifer of the alpine Rhone River valley, Bois de Finges area, Wallis Canton, Switzerland", Hydrogeology Journal, 8(5), 549-563.

6- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., Turner, K.A., (2002), "Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data", Hydrogeology journal, 10(4), 455-474.

7- Derher, T., (2003), "Comment on Güler 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), Hydrogeology Journal, 11(5), 605–606.

۸- شرفی. ه، یعقوب‌پور. ع، غفوری. م، ۱۳۹۰، بررسی آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین سمی در آب‌های زیرزمینی دشت زنجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

9- Mazor, E., (2004), "Chemical and isotopic groundwater hydrology", 3th Edition, CRC Press, 352 pages.

10- Gallardo, A.H., Marui, A., (2007), "Modeling the dynamics of the freshwater- saltwater interface in response to construction activities at a coastal site", International Journal of

Environment Science and Technology, 4(3), 285-294.

11- Langmuir, D., (1997), "Aqueous environmental geochemistry", Prentice Hall Publisher, New Jersey, 600 pages.

12- Kalantari, N., Rahimi, M.H., (2007), "Using a combination of diagrams, factor analysis and saturation indexes in the assessment of groundwater quality of Zovircheri and kheran aquifers", Journal of Engineering Geology, 2(1), 339-356.

13- Jacques, J., Preda, C., (2014), "Model-based clustering for multivariate functional data", Computational Statistics and Data Analysis, 71, 92-106.

14- Mazor, E., (2004), "Chemical and isotopic groundwater hydrology", 3th Edition, CRC Press, 352 pages.

15- Aher, A.R., (2012), "Geochemistry and Assessment of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purposes: A Case Study of Sukhana River Sub basin, District Aurangabad, Maharashtra, India", International Journal of Recent Trends in Science and Technology, 4(1), 45-49.

16- RayAb Consulting Engineering, (2008), "Investigation on Prevention, Control and Reduction of Contamination in ZANJAN Aquifer", Geographic Information System, Data Analysis and Pollution Maps Report, Report No. 6, Department of the Environment, Division of the Human Environment, Water and Soil Pollution Office, Iran, Tehran.

17- Gupta, S., Mahato, A., Roy, P., Datta, JK., Saha, RN., (2008), "Geochemistry of groundwater, Burdwan District, West Bengal, India", Environmental Geology, 53(6), 1271-1282.

18- Chidambaram, S., Karmegam, U., Prasanna, M.V., Sasidhar, P., Vasanthavigar, M., (2011), "A study on hydrochemical elucidation of coastal groundwater in and around Kalpakkam region, Southern India", Environmental Earth Sciences, 64(5), 1419-1431.