

## ارزیابی و پایش کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه معدنی مس چهارگنبد، تحت تأثیر سد باطله

سید مرتضی موسوی‌راد<sup>۱\*</sup>، محبوب صفاری<sup>۱</sup>، محمد جواد حسنی<sup>۲</sup>، مرجان شاکری<sup>۳</sup>، نجمه نظری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه محیط زیست، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته، کرمان، ایران

<sup>۲</sup>گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته، کرمان، ایران

<sup>۳</sup>کارشناس اداره کل حفاظت محیط زیست استان کرمان، کرمان ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

### چکیده

به منظور تاثیر احتمالی نشت سد باطله معدن مس چهارگنبد بر منابع آبی محدوده سد، مطالعات کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی، در دو فصل خشک و تر انجام شد. تعداد ۱۰ نمونه آب، از بخش‌های مختلف محدوده سد باطله به منظور آنالیزهای کیفی آب از جمله ویلکاکس و شولر و همچنین با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، نمودارهای مربوطه مورد تفسیر قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب آشامیدنی و کشاورزی در منطقه، در حد استانداردهای جهانی زیست‌محیطی می‌باشد. میزان کلراید در آب زهکش سد باطله ۴۹۹ mg/l به دست آمد که ۹۹ واحد از میزان استاندارد تعریف شده شرب ایران (۴۰۰ mg/l) و ۱۴۹ واحد از میزان استاندارد کشاورزی (۳۵۰ mg/l) بیشتر شده است. همچنین، نتایج نشان داد میزان منیزیم در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش نسبی داشته است، که مقادیر بالای منیزیم نسبت به کلسیم آب در سامانه آبیاری روی کیفیت خاک تأثیر منفی گذاشته و خاک را به سمت قلیایی شدن پیش می‌برد. مولیدن در نمونه‌های مربوط به سد در هر دو فصل تر و خشک از میزان استاندارد مصارف کشاورزی (۱۰ mg/l) بالاتر می‌باشد، که این افزایش در فصل خشک نمایان تر می‌باشد. مقادیر بی‌کربنات در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش محسوس تری نشان داد، که میزان این پارامتر در آب ورودی به کارخانه، رودخانه‌های اطراف و آب زهکش بیش از حد استاندارد کشاورزی به دست آمد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، تعداد ۲۳ چاه مشاهده‌ای به عمق حداکثر ۵۰ متر به عنوان چاه پایش درجه ۱ در اطراف سد باطله معدن مس چهارگنبد حفر گردد.

**کلید واژگان:** سد باطله، آب‌های سطحی و زیرزمینی، غلظت فلزات سنگین، معدن مس چهارگنبد

## مقدمه

یکی از مشکلات اساسی در صنایع معدنی در بخش فرآوری و تهیه کنسانتره در معادن کانسارهای فلزی تعیین محل دفن پساب و باطله است. سدهای باطله برای جمع آوری و نگهداری پسابها و مواد باطله حاصل از فرآیند غلیظسازی، احداث می شوند. از طرفی به علت فعل و انفعالات خاص شیمیایی که روی کانه استخراجی صورت می گیرد، عموماً دارای پتانسیل بالای آلودگی بوده و روی کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی، خاک اثر نامطلوبی دارند (Barzegar *et al.*, 2015; Ouyang *et al.*, 2020). کاهش ذخایر آبهای طبیعی، آلودگی های محیط زیستی، افزایش مصرف آب و افزایش نیاز آبی فعالیت های انسانی باعث شده تا ارزیابی کیفیت منابع آب از موضوعات مهم در سال های اخیر در نظر گرفته شود (Dahiya *et al.*, 2007). قابل ذکر است که تولید باطله معادن و ناپایداری سدهای باطله، باعث آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی منطقه می شود. که با گذر زمان نشت سدهای باطله، اکسیداسیون کانی سولفیدی در سدهای باطله باعث شرایط اسیدی و افزایش غلظت فلزات حل شده و سولفات در آب منفذی می شوند. این مسئله باعث می شود آب طبیعی دچار آلودگی و از دست دادن کیفیت خود شوند. سایر فعالیت های انسانی مانند آلودگی ناشی از پساب صنعتی، محل دفن زباله، کود و غیره ممکن است روی آب های زیرزمینی تأثیر به سزایی داشته باشد (Davies and Rice, 2004; Mrejen *et al.*, 2015; Bodrud-Doza *et al.*, 2019). اکسیداسیون مناطق کانی سازی شده سولفیددار طی فرآیند هوازدگی در اثر واکنش های زیستی و شیمیایی تشدید شده و جریان اسیدی حاصل از آن باعث آزادسازی و تحرک عناصر فلزی سمی و سنگین از سنگ مادر و تمرکز آنها در محیط خاک یا آب می شود. از جمله در معدن مس سونگون جریان اسیدی تولید شده در انباشتگاه باطله معدنی وارد جریان های سطحی موجود در منطقه می گردد که می تواند آسیب های زیست محیطی به دنبال داشته باشد. نتایج به دست آمده از

معدن مس سونگون نشان دهنده درجه آلودگی بالایی از پارامترهای pH، سولفات، مس و منگنز در بیشتر نمونه ها می باشد. مقادیر بالای این عناصر می تواند سبب بالا رفتن خطر آلودگی جدی در جریان های سطحی شده که خود منجر به تولید جریان اسیدی در منطقه شود. تولید جریان اسیدی معدن، یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در معادن فلزی می باشد. کانی های سولفیدی مس (از جمله پیریت، پیروتیت و مارکازیت) پس از اکسیداسیون و در واکنش با آب، جریانی را تولید می کنند که به علت داشتن خاصیت اسیدی و محلول بودن فلزات سنگین و سمی در آن باعث آلودگی محیط زیست می گردد (Vaezi-hir and Jowdat *et al.*, 2017). Rzymki و همکاران (۲۰۱۷)، در بررسی زهاب اسیدی خروجی باطله معدن مس رومانی انجام دادند نتایج آن هانشان داد که زهاب اسیدی خارج شده در باطله واقع در والاسیسی در کوه های آبوسنی رومانی، سلامت محیط زیست را تهدید می کند. با در نظر گرفتن اینکه معدن مس هنوز به صورت پیوسته فعال است، مدیریت دفع باطله حیاتی و جلوگیری از شکست سد باطله در منطقه ضروری به نظر می رسد (Rzymki *et al.*, 2017). در ایران با توجه به غنای معدنی و توسعه معادن بررسی مسائل زیست محیطی، بسیار ضروری به نظر می رسد. معادن سولفیدی از جمله معدن مس سرچشمه در فرآیند استخراج مس، پساب خروجی از کارخانه تغلیظ حاوی مقادیر زیادی فلزات سنگین هستند. به منظور تعیین غلظت و شدت آلودگی آنالیز شیمیایی بر روی پساب خروجی انجام گردید. ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین (Fe, Ti, Pb, Ni, Mn, Cr, Zn, Mo, Cu, Co) در رسوبات معدن مس سرچشمه منتهی به سد باطله نشان داد که فلزات سنگین دو منشأ طبیعی و انسانی دارند. بخشی از عناصر کمیاب در رسوبات، به طور عمده در اثر هوازدگی سنگ ها، واریزه های غیر آلوده و اجزای اصلی رسوبات را تشکیل داده اند (Shayestehfar *et al.*, 2007). پس از رسیدن عناصر کمیاب به اکوسیستم آبی، ممکن است فرآیندهای زمین شیمی زیست محیطی بر غلظت

قنات‌ها و آب چاه‌ها جهت مصارف کشاورزی در این منطقه روند رو به رشدی داشته است.

بنابراین در این مطالعه موارد زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱. بررسی ترکیب شیمیایی آب‌های سد رسوب‌گیر معدن مس چهارگنبد و به‌دنبال آن آب‌های اطراف سد رسوب‌گیر از قبیل زهکش‌ها و رودخانه‌ها به‌منظور نشت آلودگی‌ها از سد رسوب‌گیر

۲. مقایسه مقادیر غلظت پارامترهای هیدروشیمیایی با مقادیر استاندارد آب شرب و کشاورزی

۳. کیفیت آب‌های سد رسوب‌گیر و اطراف آن با استفاده از شاخص‌های هیدروشیمیایی و روش‌های طبقه‌بندی کیفی

۴. به‌منظور بررسی تأثیر سد رسوب‌گیر روی منابع آبی در بالادست و پایین‌دست محدوده مطالعاتی، تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای نقشه پهنه‌بندی کیفی آب شرب و کشاورزی در بستر نرم‌افزار ArcGIS

۵. پایش سد باطله‌ای که شرایط نشت و انتشار باطله و پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی را دارد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** این محدوده معدنی در استان کرمان

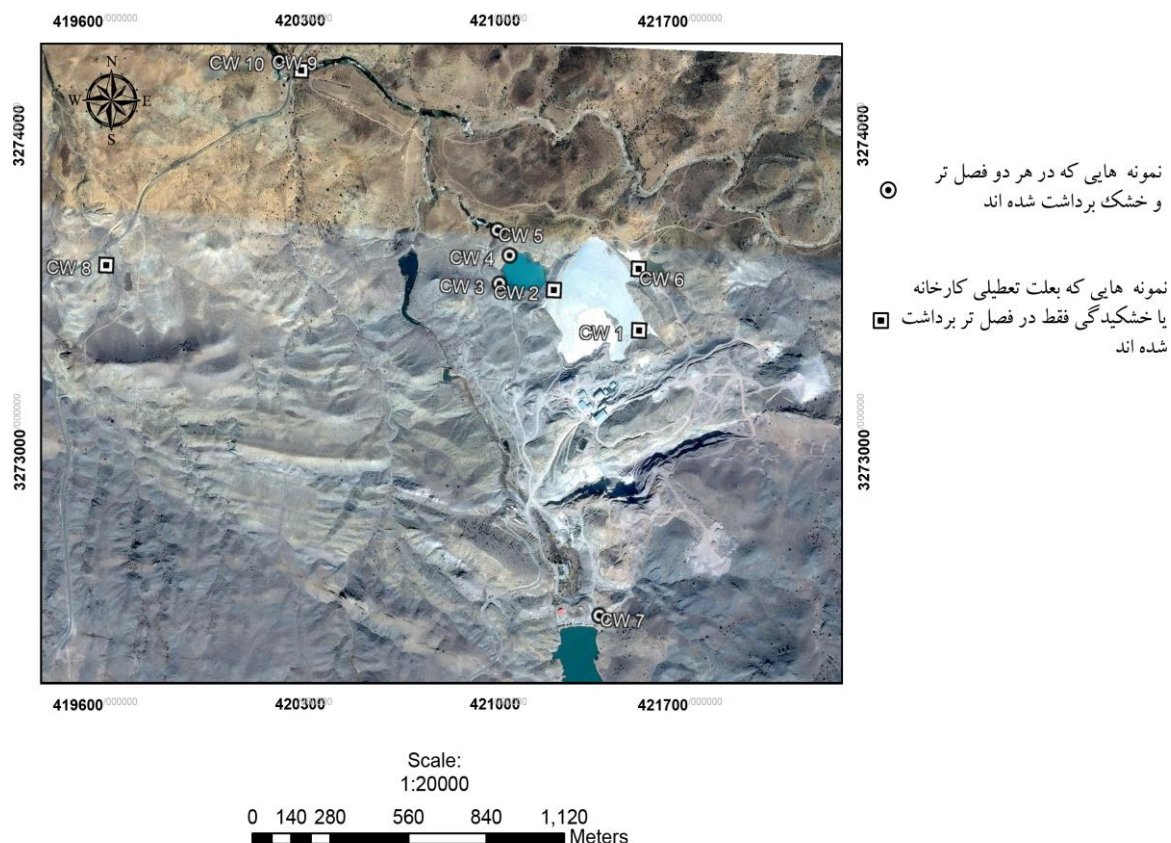
و در ۸۰ کیلومتری شرق شهرستان سیرجان و ۳۲ کیلومتری شمال بلورد در مختصات طول جغرافیایی  $57^{\circ} 29' 56''$  و عرض جغرافیایی  $5^{\circ} 35' 29''$  قرار داشته و از طریق جاده سیرجان- بلورد- چهارگنبد قابل دسترسی می‌باشد. برآورد اولیه از محدوده تحت تأثیر فرآیندهای آلاینده معدنی کاری در این معدن  $14/3$  کیلومتر مربع بوده که، این وسعت بر اساس حوضه آبریز محل احداث معدن و سدهای باطله موجود در آن می‌باشد. نزدیک‌ترین آبخوان به محدوده آبخوان، سیرجان است.

بر اساس مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای در بالادست این معدن یک بند آبگیر بزرگ جهت مهار آب‌های رودخانه چهارگنبد در مجاورت معدن احداث گردیده که به نحوی، تأمین‌کننده آب مورد نیاز معدن نیز می‌باشد. در ادامه

آن‌ها در رسوبات تأثیر بگذارد. معدن مس سرچشمه و همچنین میدوک طی سالیان متوالی فعال هستند که علاوه بر تسریع هوازگی سنگ‌های دارای کانی‌های حاوی فلزات سنگین، حجم عظیمی پساب را نیز تولید می‌کنند که سهمی مهمی در تعیین وضعیت آلودگی مناطق دارند (Yuval and Oldenburg, 1996; Parandoush *et al.*, 2019; Shahhosseini, 2019).

بر اساس مطالعات انجام شده روی سد باطله مس سونگون با توجه به ماهیت آلاینده‌ها و امکان آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی پایین‌دست به فلزات سنگین، بررسی‌ها در دو بخش نمونه‌برداری آب و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در طی فصول سال انجام شد. براساس نتایج به‌دست آمده، ارتباط منطقی از نظر داده‌های آب زمین‌شیمی بین آب مخزن سد باطله در تراز فعلی آن و ایستگاه‌های پایین‌دست مشاهده نمی‌شود. همچنین با توجه به داده‌های موجود، و اینکه غلظت تمامی فلزات سنگین در نمونه‌های در ایستگاه‌های پایین‌دست بسیار کم بوده و یا غیرقابل تشخیص است، که شاهدهی بر عدم ارتباط یا به‌عبارت دیگر نشت آلاینده در تراز فعلی می‌باشد. ولی احتمال نشت آلاینده در اثر افزایش فشار هیدرولیکی وجود دارد (Vaezi-hir and Jowdat, Saidabad, 2017).

کیفیت آب زیرزمینی همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد. آلودگی منابع آب زیرزمینی در دراز مدت منجر به مواردی همچون مخرب بوم‌شناختی-اثر مخرب بر حاصلخیزی خاک و بروز اختلال میان ذی‌نفعان و پدید آمدن بحران‌های اجتماعی می‌شود (Schoeller, 1964). در حال حاضر استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی افزایش یافته است، نظر به اینکه آب‌های سطحی به‌دلیل خشکسالی‌های متوالی در دسترس نبوده و به‌تنهایی قادر به پاسخگویی نیازهای بخش‌های مختلف نمی‌باشد. با توجه به اینکه منطقه چهارگنبد در اقلیم سرد و خشک قرار دارد و منابع آب در این منطقه محدود می‌باشد، استفاده از آب‌های نامتعارف نظیر پساب معادن و صنایع،



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب در محدوده سد باطله مس چهارگنبد (سطح آبی رنگ سطح سد رسوب‌گیر، سطح سیاه رنگ رودخانه‌های پر آب و سطح آبی کم رنگ محدوده معدن کاری).

نمونه CW ۱ مربوط به ورودی سد رسوب‌گیر به دلیل تعطیل بودن موقت معدن هیچگونه ورودی به سد رسوب‌گیر وجود نداشته است. نمونه CW ۶ مربوط به آب بالادست کوه‌های اطراف و نمونه CW ۸ مربوط به رودخانه کم‌آب، که به دلیل خشکسالی امکان برداشت آب در فصل خشک وجود نداشته است. تمامی نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه معتمد محیط‌زیست منتقل گردید. سپس با استفاده از نتایج آنالیز، شاخص‌های ویژه کیفی آب مانند ویلکاکس و شولر رسم گردید که هر کدام کیفیت آب را از نقطه نظرات متفاوت بررسی کردند. سپس به منظور بررسی تأثیر سدهای باطله روی منابع آبی در بالادست و پایین دست محدوده با استفاده از نرم افزار Arc GIS نمودارهای مربوطه رسم و تفسیر گردید.

مسیر این رودخانه دو بند دیگر نیز احداث شده که برای مهار زهاب بند اصلی بکار می‌روند. آب شرب معدن از طریق یکی از قنات‌هایی که از دهکده سنجد در فاصله ۲ کیلومتری معدن می‌گذرد، تأمین می‌شود. سدهای باطله این معدن شامل دو سد اصلی، که سد جنوبی بزرگتر (مساحت آبیگری بالغ بر ۹۹۷۰۰ متر مربع، بر اساس تصاویر ماهواره‌ای) و سد شمالی که در واقع برای مهار زهاب سد جنوبی احداث شده، کوچکتر (مساحت آبیگری بالغ بر ۳۲۵۰۰ متر مربع) است.

**روش کار:** در تعیین کیفیت آب سطحی و زیرزمینی تعداد ۱۰ نمونه آب از بخش‌های مختلف محدوده سد باطله معدن مس چهار گنبد در فصل تر برداشت شد (شکل ۱). در حالی که در فصل خشک به دلیل شرایط آب و هوایی تعداد ۷ نمونه برداشت شد، که ۳ نمونه از نمونه‌های برداشت شده در فصل تر، امکان برداشت آنها وجود نداشته است (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت و مشخصات نقاط نمونه‌برداری آب در محدوده سد باطله چهارگنبد (مختصات جغرافیایی در سیستم UTM می باشد).

| توضیحات                       | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | شماره نمونه |
|-------------------------------|---------------|---------------|-------------|
| ورودی سد رسوبگیر              | ۳۲۷۳۳۸۴       | ۴۲۱۵۵۴        | CW۱         |
| خروجی سد رسوبگیر              | ۳۲۷۳۵۲۳       | ۴۲۱۲۴۸        | CW۲         |
| آب برگشتی از سد آبگیر         | ۳۲۷۳۵۴۵       | ۴۲۱۰۵۳        | CW۳         |
| سد آبگیر                      | ۳۲۷۳۶۴۲       | ۴۲۱۰۸۹        | CW۴         |
| آب زهکش                       | ۳۲۷۳۷۲۸       | ۴۲۱۰۴۶        | CW۵         |
| آب بالا دست کوه‌های اطراف     | ۳۲۷۳۵۹۵       | ۴۲۱۵۵۲        | CW۶         |
| آب ورودی به کارخانه           | ۳۲۷۳۴۰۷       | ۴۲۱۴۱۳        | CW۷         |
| آب رودخانه کم آب              | ۳۲۷۳۶۱۰       | ۴۱۹۶۴۳        | CW۸         |
| آب رودخانه پر آب              | ۳۲۷۴۲۷۷       | ۴۲۰۳۴۱        | CW۹         |
| آب رودخانه پایین دست سد آبگیر | ۳۲۷۴۳۰۹       | ۴۲۰۲۶۲        | CW۱۰        |

فصل تر



فصل خشک



شکل ۲- تصاویر تغییرات اقلیم و کاهش سطح آب در معدن مس چهارگنبد در دو فصل تر و خشک (دید به سمت شمال).

جدول ۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده نمونه آب‌های محدوده سد باطله با استانداردهای آب شرب (WHO، EPA و محیط‌زیست ایران) و کشاورزی در فصل تر (زمستان ۱۳۹۸).

| پارامتر                       | واحد  | ورودی سد رسوبگیر (CW ۱) | خروجی سد رسوبگیر (CW ۲) | آب برگشتی از سد آبگیر (CW ۳) | سد آبگیر (CW ۴) | آب زهکش (CW ۵) | آب بالا دست (CW ۶) | آب ورودی به کارخانه (CW ۷) | آب رودخانه کم آب (CW ۸) | آب رودخانه پر آب (CW ۹) | آب رودخانه پایین دست سد آبگیر (CW ۱۰) | مقادیر استاندارد آب شرب |      |       | استاندارد آب کشاورزی ایران |
|-------------------------------|-------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------|-------|----------------------------|
|                               |       |                         |                         |                              |                 |                |                    |                            |                         |                         |                                       | EPA                     | WHO  | ایران |                            |
| pH                            | -     | ۸                       | ۷/۸                     | ۷/۹                          | ۸/۱             | ۷/۸            | ۸/۱                | ۸/۳                        | ۸/۳                     | ۸/۴                     | ۸/۴                                   | ۸/۵                     | ۸/۵  | ۹     | ۸/۴                        |
| EC                            | uS/cm | ۹۵۷                     | ۸۳۰                     | ۹۶۷                          | ۹۴۴             | ۱۱۷۱           | ۱۳۹۶               | ۴۱۴                        | ۵۷۸                     | ۴۵۰                     | ۴۹۷                                   | -                       | -    | -     | ۲۲۵۰                       |
| TDS                           | mg/l  | ۴۰۰                     | ۴۲۰                     | ۴۸۵                          | ۴۷۲             | ۵۴۳            | ۶۸۰                | ۲۰۷                        | ۲۸۸                     | ۲۵۰                     | ۲۵۰                                   | ۲۰۰                     | ۲۰۰  | ۱۵۰۰  | ۲۰۰۰                       |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/l  | ۳۰۴/۵                   | ۲۱۱/۵                   | ۲۱۷                          | ۲۱۲/۵           | ۲۵۲            | ۲۸۵                | ۲                          | ۵۰/۵                    | ۲۵/۵                    | ۱۵/۵                                  | ۲۵۰                     | ۲۵۰  | ۴۰۰   | -                          |
| Cl <sup>-</sup>               | mg/l  | ۲۲                      | ۱۵                      | ۳۴                           | ۱۸              | ۴۹۹            | ۲۰                 | ۸                          | ۱۳                      | ۱۴                      | ۱۳                                    | ۲۵۰                     | ۲۵۰  | ۴۰۰   | ۳۵۰                        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | mg/l  | ۱/۴                     | ۳/۳                     | ۰/۹                          | ۴/۵             | ۰/۱            | ۵/۳                | ۳/۳                        | ۴/۳                     | ۳/۸                     | ۲/۷                                   | ۱۰                      | ۱۰   | ۵۰    | ۳۰                         |
| CaCO <sub>3</sub>             | mg/l  | ۱۴۱/۶                   | ۹۵/۸۷۵                  | ۱۰۲/۵۷۵                      | ۱۰۳/۴           | ۱۱۸/۱۵         | ۱۶۲/۵۷۵            | ۲۴/۸۷۵                     | ۳۱/۱۷۵                  | ۳۱/۵۲۵                  | ۳۱/۳۲۵                                | -                       | -    | ۵۰۰   | -                          |
| Al                            | mg/l  | ۰/۱۶                    | ۰/۰۷                    | ۰/۰۷                         | ۰/۰۴            | ۰/۱            | ۰/۰۸               | ۰/۰۶                       | ۰/۰۷                    | ۰/۰۹                    | ۰/۰۷                                  | ۰/۲                     | ۰/۲  | ۲/۰   | ۵                          |
| As                            | ug/l  | ۱/۹                     | ۱/۸                     | ۰/۸۲                         | ۱/۱۴            | ۱/۰۲           | ۲/۶۷               | ۱/۴۷                       | ۲/۹۹                    | ۳/۲۱                    | ۱/۰۳                                  | ۱۰                      | ۱۰   | ۱۰    | ۱۰۰                        |
| Ca                            | mg/l  | ۶۳                      | ۴۶/۵                    | ۵۳/۲                         | ۵۴/۵            | ۸۰/۲           | ۷۴/۸               | ۳۷/۱                       | ۴۶/۹                    | ۴۲/۳                    | ۴۲/۶                                  | ۳۰۰                     | ۳۰۰  | ۳۰۰   | -                          |
| Cd                            | ug/l  | <۱                      | <۱                      | <۱                           | <۱              | <۱             | <۱                 | <۱                         | <۱                      | <۱                      | <۱                                    | ۳                       | ۳    | ۳     | ۱۰                         |
| Fe                            | mg/l  | ۱/۲۳                    | ۰/۰۷                    | ۰/۰۲                         | ۰/۰۱            | ۰/۰۱           | ۰/۰۶               | ۰/۰۲                       | ۰/۰۳                    | ۰/۰۷                    | ۰/۰۲                                  | ۰/۳                     | ۰/۳  | ۰/۳   | -                          |
| Mg                            | mg/l  | ۵۶/۶۴                   | ۳۸/۳۵                   | ۴۱/۰۳                        | ۴۱/۳۶           | ۴۷/۲۶          | ۶۵/۰۳              | ۹/۹۵                       | ۱۲/۴۷                   | ۱۲/۶۱                   | ۱۲/۵۳                                 | ۳۰                      | ۳۰   | ۳۰    | -                          |
| Mn                            | mg/l  | ۰/۳۳                    | ۰/۰۸                    | ۰/۰۱                         | <۰/۰۱           | ۰/۰۵           | ۰/۰۴               | ۰/۰۱                       | ۰/۰۱                    | ۰/۰۲                    | ۰/۰۱                                  | ۰/۰۵                    | ۰/۰۵ | ۰/۴   | ۰/۲                        |
| Na                            | mg/l  | ۵۵/۷                    | ۲۶/۱۵                   | ۳۶/۳۶                        | ۳۳/۷۵           | ۴۴/۰۱          | ۵۶/۱۸              | ۱۸/۳۸                      | ۲۸/۵۱                   | ۲۱/۸۲                   | ۱۹/۷۱                                 | ۲۰                      | ۲۰   | ۲۰۰   | -                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l  | ۹۲                      | ۶۳                      | ۸۷                           | ۹۶              | ۱۳۸            | ۱۰۷                | ۱۵۰                        | ۱۷۸                     | ۱۷۳                     | ۱۶۷                                   | -                       | -    | -     | ۲۳۰                        |
| SAR                           | -     | ۱/۲۲                    | ۰/۶۸                    | ۰/۹۱                         | ۰/۸۴            | ۰/۹۶           | ۱/۱۴               | ۰/۶۹                       | ۰/۷۵                    | ۰/۶۸                    | ۰/۶۸                                  | -                       | -    | -     | ۹                          |
| Cr                            | mg/l  | ۱/۳۵                    | <۱                      | <۱                           | <۱              | <۱             | <۱                 | <۱                         | <۱                      | <۱                      | ۱/۰۹                                  | -                       | -    | -     | ۱۰۰                        |
| Cu                            | mg/l  | ۳۲                      | ۸/۰۹                    | ۷/۶۴                         | ۸               | ۱۱/۴۵          | ۱۴/۲۷              | ۳/۱۱                       | ۲/۸۲                    | ۲/۹۸                    | ۱۳/۱۸                                 | -                       | -    | -     | ۲۰۰                        |
| Mo                            | mg/l  | ۱۵/۱۱                   | ۱۰/۱۳                   | ۱۱/۸۲                        | ۱۲/۸۵           | ۱۲/۲۹          | ۴/۰۳               | ۰/۹۱                       | ۱/۱۵                    | ۰/۸۶                    | ۰/۴۵                                  | -                       | -    | -     | ۱۰                         |
| Se                            | ug/l  | <۰/۱                    | ۰/۵۸                    | ۱/۱۸                         | ۰/۹۹            | <۰/۱           | <۰/۱               | ۰/۱۹                       | <۰/۱                    | ۰/۳۸                    | ۱/۹۹                                  | -                       | -    | -     | ۲۰                         |

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده نمونه آب‌های محدوده سد باطله با استانداردهای آب شرب (WHO, EPA) و محیط‌زیست ایران) و کشاورزی در فصل خشک (تابستان ۱۳۹۹)

| استاندارد آب کشاورزی ایران | مقادیر استاندارد آب شرب |      |      | آب رودخانه پایین دست سد آبگیر (CW10) | آب رودخانه پر آب (CW9) | آب ورودی به کارخانه (CW7) | آب زهکش (CW5) | سد آبگیر (CW4) | آب برگشتی از سد آبگیر (CW3) | خروجی سد رسوبگیر (CW2) | واحد  | پارامتر                       |
|----------------------------|-------------------------|------|------|--------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|------------------------|-------|-------------------------------|
|                            | ایران                   | WHO  | EPA  |                                      |                        |                           |               |                |                             |                        |       |                               |
| ۸/۴                        | ۹                       | ۸/۵  | ۸/۵  | ۸/۳                                  | ۸/۵                    | ۸/۵                       | ۷/۹           | ۸/۲            | ۸/۲                         | ۸/۲                    | -     | pH                            |
| ۲۲۵۰                       | -                       | -    | -    | ۱۰۷۰                                 | ۵۱۱                    | ۵۱۱                       | ۱۳۰۳          | ۱۲۴۰           | ۱۲۳۲                        | ۹۶۲                    | uS/cm | EC                            |
| ۲۰۰۰                       | ۱۵۰۰                    | ۱۲۰۰ | ۲۰۰۰ | ۵۴۳                                  | ۲۵۸                    | ۲۵۸                       | ۶۵۱           | ۶۱۶            | ۶۱۹                         | ۴۸۲                    | mg/l  | TDS                           |
| -                          | ۴۰۰                     | ۲۵۰  | ۲۵۰  | ۱۵۵/۵                                | ۴۵/۵                   | ۲۵                        | ۱۷۰/۹         | ۱۸۲/۵          | ۱۷۱/۵                       | ۱۲۵/۵                  | mg/l  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| ۳۵۰                        | ۴۰۰                     | ۲۵۰  | ۲۵۰  | ۷۸/۶                                 | ۲۶/۲                   | ۱۷/۵                      | ۳۴/۹          | ۳۴/۹           | ۳۴/۹                        | ۳۴/۹                   | mg/l  | Cl <sup>-</sup>               |
| ۳۰                         | ۵۰                      | ۵۰   | ۱۰   | ۰/۷۳                                 | ۲/۱۷                   | ۰/۷۵                      | ۰/۹           | ۰/۵            | ۰/۷۳                        | ۰/۹۲                   | mg/l  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |
| -                          | ۵۰۰                     | ۱۸۰  | -    | ۴۸۴/۰۴                               | ۲۰۹/۱                  | ۱۸۰/۹۲                    | ۶۹۱/۴۲        | ۶۲۹/۵۹         | ۶۲۴/۸۵                      | ۴۵۸/۵۸                 | mg/l  | CaCO <sub>3</sub>             |
| ۵                          | ۰/۲                     | ۰/۲  | ۰/۲  | ۰/۰۳                                 | ۰/۰۱                   | ۰/۰۳                      | ۰/۰۲          | ۰/۰۳           | ۰/۰۳                        | ۰/۰۴                   | mg/l  | Al                            |
| ۱۰۰                        | ۱۰                      | ۱۰   | ۱۰   | ۳/۳۸                                 | ۸/۰۵                   | ۴/۲۵                      | <۱            | ۱/۷۹           | ۲/۵                         | ۳/۴۷                   | ug/l  | As                            |
| -                          | ۳۰۰                     | ۳۰۰  | ۳۰۰  | ۱۰۰/۳                                | ۵۷/۴                   | ۴۱/۷                      | ۱۴۳/۴         | ۱۲۰/۸          | ۱۲۱/۲                       | ۷۴/۷                   | mg/l  | Ca                            |
| ۱۰                         | ۳                       | ۳    | ۳    | <۱                                   | <۱                     | <۱                        | <۱            | <۱             | <۱                          | <۱                     | ug/l  | Cd                            |
| -                          | ۰/۳                     | ۰/۳  | ۰/۳  | <۰/۰۱                                | <۰/۰۱                  | <۰/۰۱                     | <۰/۰۱         | <۰/۰۱          | <۰/۰۱                       | <۰/۰۱                  | mg/l  | Fe                            |
| -                          | ۳۰                      | ۳۰   | ۳۰   | ۵۶/۹                                 | ۱۶                     | ۱۸/۷                      | ۸۱/۲          | ۷۹/۹           | ۷۸/۵                        | ۶۶/۳                   | mg/l  | Mg                            |
| ۰/۲                        | ۰/۴                     | ۰/۴  | ۰/۰۵ | <۰/۰۱                                | <۰/۰۱                  | <۰/۰۱                     | ۰/۰۴          | <۰/۰۱          | <۰/۰۱                       | ۰/۰۴                   | mg/l  | Mn                            |
| -                          | ۲۰۰                     | ۵۰   | ۲۰   | ۷۶/۹                                 | ۳۸/۸                   | ۳۰/۲                      | ۶۸/۷          | ۶۰/۸           | ۶۲/۵                        | ۵۴/۷                   | mg/l  | Na                            |
| ۲۳۰                        | -                       | -    | -    | ۳۴۵                                  | ۲۸۰                    | ۲۵۷                       | ۲۶۲           | ۲۰۷            | ۲۱۱                         | ۱۱۸                    | mg/l  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| ۹                          | -                       | -    | -    | ۱/۵۱                                 | ۱/۱۶                   | ۰/۹۷                      | ۱/۱۳          | ۱/۰۵           | ۱/۰۸                        | ۱/۱۱                   | -     | SAR                           |
| ۱۰۰                        | -                       | -    | -    | ۳۴/۶۶                                | ۲۰/۳                   | ۱۸/۳۳                     | ۲۰/۳          | ۱۵/۴۴          | ۱۳/۸۵                       | ۷/۲                    | mg/l  | Cr                            |
| ۲۰۰                        | -                       | -    | -    | ۱۰/۴۸                                | <۱                     | <۱                        | ۲۱/۶۳         | ۱۹/۹۸          | ۱۹/۹۸                       | ۱۴/۴                   | mg/l  | Cu                            |
| ۱۰                         | -                       | -    | -    | ۴/۱۱                                 | <۱                     | <۱                        | ۲۵/۵۶         | ۲۹/۳۶          | ۳۰/۵۱                       | ۱۶/۱۲                  | mg/l  | Mo                            |
| ۲۰                         | -                       | -    | -    | <۱                                   | <۱                     | <۱                        | <۱            | <۱             | <۱                          | <۱                     | ug/l  | Se                            |

پارامترهای مؤثر برای ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی شامل، نسبت جذب سدیم (SAR)، میزان کربنات، بی‌کربنات، درصد سدیم (%Na)، شاخص شوری، سختی کلو هدایت الکتریکی ویژه می‌باشد (Todd, 2005; Srinivasamoorthy, 2013). با توجه به طبقه‌بندی ویلکاکس، کیفیت آب منطقه چهارگنبد با تغییرات فصلی از تر به خشک هدایت الکتریکی ویژه آن و همچنین متناسب با آن SAR افزایش یافته است. به گونه‌ای که در طبقه‌بندی ویلکاکس و در فصل تر، ۴۰ درصد نمونه‌ها در کلاس کیفی C3-S1 (شور اما قابل استفاده برای کشاورزی) و ۶۰ درصد در کلاس کیفی C2-S1 (کمی شور و مناسب برای کشاورزی) قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی که در میان ۴۰ درصد

پارامترهای کیفی اعم از کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و ۵۴ عنصر از جمله فلزات سنگین در محدوده سد باطله معدن مس چهارگنبد با استانداردهای آب کشاورزی و آب شرب WHO, EPA و محیط‌زیست ایران (Rice et al., 2012)، در دو فصل تر و خشک اندازه‌گیری و ثبت شد. پارامترهایی که دارای مقادیر بالاتر از حد استاندارد و با اهمیت بوده‌اند در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همچنین شکل ۲ تصاویر مراحل نمونه‌برداری، تغییرات اقلیم و کاهش سطح آب در فصل خشک نسبت به فصل تر را به وضوح نشان می‌دهد.

## نتایج

تعیین کیفیت آب برای کشاورزی (نمودار ویلکاکس):



شور محبوس و آب دریا می‌باشد (Saffari et al., 2021). مزه شور آب، ناشی از غلظت یون کلراید است. این شوری بستگی به ترکیبات شیمیایی آب دارد (Norvell, 2000). همان‌طور که در جدول‌های ۱ و ۲ نیز دیده می‌شود، اکثر عناصر کمتر از مقادیر تعریف شده از حد استاندارد برای مصارف کشاورزی و شرب می‌باشند. این موضوع بیانگر این مطلب است که معدن کاری در این منطقه در هر دو فصل تر و خشک سبب آلودگی زیست محیطی نمی‌گردد. با توجه به شکل ۳، در فصل تر، میزان کلر در آب زهکش سد باطله  $499 \text{ mg/l}$  اندازه‌گیری شده است که ۹۹ واحد از میزان استاندارد تعریف شده شرب ایران ( $400 \text{ mg/l}$ ) و ۱۴۹ واحد از میزان استاندارد کشاورزی ( $350 \text{ mg/l}$ ) بالاتر است (جدول ۲). این افزایش غلظت کلراید به‌همراه کاهش نیترات بیان‌کننده این مطلب است که منشأ کلراید کودهای شیمیایی و فعالیت‌های انسانی و پساب‌های خروجی از سد باطله می‌باشد (Pawar and Shaikh, 1995). که این امر تحت تأثیر انحلال فازهای تبخیری بخش‌های قدیمی و باطله‌های اکسید شده در سد باطله می‌باشد (Liu and Han, 2004). از طرفی در فصل خشک این مقدار به کمتر از میزان استاندارد شرب و کشاورزی ایران رسیده است (شکل ۳). بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده به‌منظور تأثیر مقادیر کلر روی محصولات کشاورزی به گیاهان نسبتاً حساس مانند محصولات سیب‌زمینی، یونجه، گندم، ذرت و گوجه‌فرنگی آسیب می‌رساند (Ayers and Westcot, 1994).

**منیزیم:** خشکسالی‌های مکرر و بهره‌برداری زیاد از منابع آب‌های زیرزمینی موجب کاهش شدید سطح آب و کیفیت آن، از جمله افزایش شدید شوری و در برخی موارد افزایش نسبی غلظت یون منیزیم شده است (Zhang and Norton, 2002). با مقایسه منیزیم اندازه‌گیری شده محدوده سد باطله معدن مس چهارگنبد با استانداردهای آب شرب محیط‌زیست ایران (شکل ۴) نشان می‌دهد که میزان منیزیم در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش نسبی داشته است به‌طوری‌که در آب رودخانه پایین دست سد آبگیر

قرار می‌گیرند، مربوط به آب‌های برداشت شده از محدوده سد باطله می‌باشند و نمونه‌های دیگر مربوط به رودخانه‌های اطراف هستند. این موقعیت مکانی نشان می‌دهد که فعالیت معدن کاری سبب شده تا آب منطقه مقدار کمی تمایل به شوری پیدا کند ولی هنوز تهدیدی برای آلودگی محیط‌زیست محسوب نمی‌شود. در فصل خشک، ۳۰ درصد نمونه‌ها در کلاس کیفی C2-S1 و ۷۰ درصد در کلاس کیفی C3-S1 قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده شوری بیشتر آب منطقه در فصل خشک می‌باشد.

**تعیین کیفیت آب شرب (نمودار شولر):** طبقه‌بندی شولر یک از مهمترین طبقه‌بندی‌ها جهت بررسی کیفیت آب شرب می‌باشد (Schwartz and Zhang, 2017). در طبقه‌بندی آب شرب با استفاده از نمودار شولر، آب منطقه در فصل تر در محدوده خوب و قابل قبول طبقه‌بندی می‌شود. تنها ۲۰ درصد نمونه‌ها از نظر میزان سولفات و ۱۰ درصد نمونه‌ها از نظر میزان کلر در محدوده کیفی متوسط قرار دارند. از طرفی در فصل خشک به دلیل کم شدن بارندگی و افزایش املاح محلول در آب مقدار کلی TDS افزایش یافته است به‌طوری‌که ۵۷ درصد نمونه‌ها از نظر پارامترهای TDS و  $\text{SO}_4$  در محدوده قابل قبول و ۴۲ درصد از نظر TH در محدوده متوسط قرار دارند که بر اساس شاخص شولر آب شرب هنوز در محدوده خوب تا متوسط طبقه‌بندی می‌شود. نکته قابل توجه افزایش میزان کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) بیش از حد استاندارد در نمونه‌های مربوط به سد باطله ( $\text{CW}^3$  تا  $\text{CW}^5$ ) می‌باشد که این افزایش به دلیل بالا رفتن درجه حرارت محیط بوده که شرایط ترسیب را برای کربنات کلسیم فراهم کرده است. در حالی که این مقدار در آب ورودی به کارخانه و آب رودخانه‌ها در حد استاندارد می‌باشد (جدول‌های ۲ و ۳).

**کلراید:** کلراید از جمله آنیون‌هایی است که در تمام آب‌های طبیعی یافت می‌شود. در صورتی که غلظت این یون در آب زیاد باشد؛ برای رشد گیاهان مضر خواهد بود. منشأ اصلی کلراید در آب‌های زیرزمینی، سنگ‌های تبخیری، آب‌های

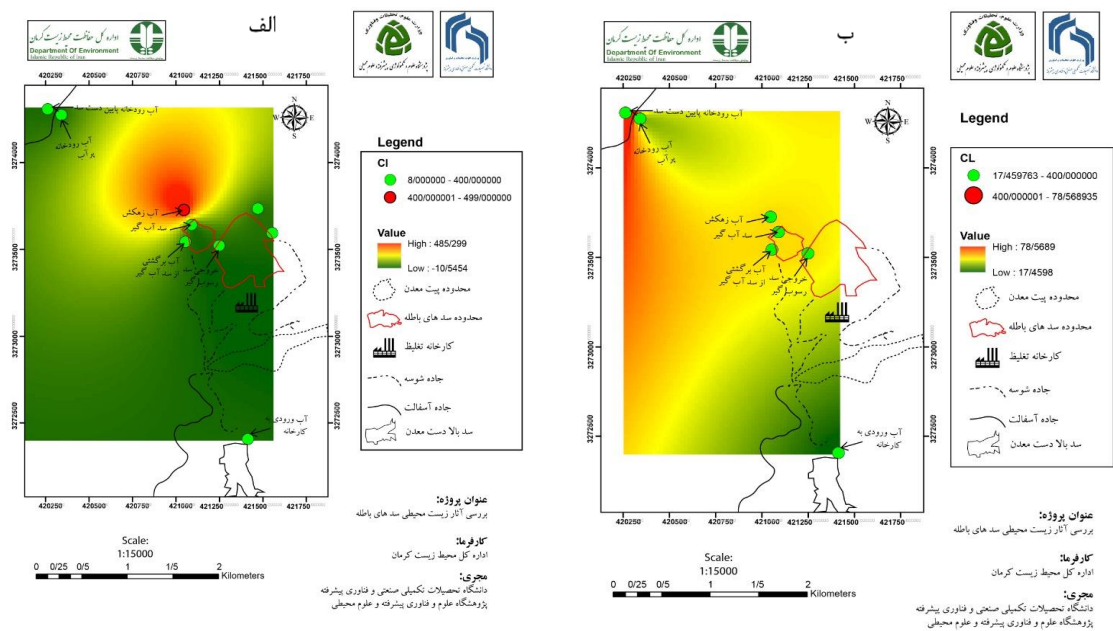


میزان منیزیم در فصل خشک افزایش چشمگیری داشته است. آب بالادست کوه‌های اطراف نیز دارای منیزیم بالایی هستند که وجود ماسه سنگ در منطقه را تأیید می‌کند. ماسه سنگ‌های اشاره شده عموماً گری وک‌های ارغوانی تا خاکستری بوده که حاصل فرسایش سنگ‌های آتشفشانی حد واسط می‌باشند. این ماسه سنگ‌ها دارای ماتریکس زیادی از ذرات میکا و کانی‌های منیزیم دار مانند آمفیبول‌ها هستند که به‌علت فرسایش در منطقه‌های کوهستانی بسیار سست شده و انحلال، سبب انتقال عناصری مانند منیزیم به داخل آب‌ها می‌شود. البته سازندهای آذرین محدوده نیز عموماً با ترکیب آنزیت تا آندزیت-بازالتی که بسیار هم‌دگرسان و انحلال‌پذیر هستند نیز می‌توانند منشأ منیزیم در نظر گرفته شوند. در فصل خشک در اکثر نمونه‌ها جز آب ورودی به کارخانه (نمونه CWY) و آب رودخانه پرآب (نمونه CW۱۰) بقیه نمونه‌ها در محدوده سد باطله (نمونه‌های CW۱ تا CW۵) بیش از حد استاندارد آب شرب محیط‌زیست ایران می‌باشد و این افزایش روی آب‌های سطحی منطقه تأثیر داشته است (شکل ۴ ب). وجود رسوبات کف سد باطله که حاصل فعالیت کارخانه فرآوری بوده، خود از منشأ آذرین با ترکیب حدواسط می‌باشند که می‌توانند منشأ ورود بسیاری از عناصر با قابلیت جابجایی بالا به‌داخل آب باشند. بنابراین آب‌شویی آن‌ها منجر به افزایش میزان منیزیم در آب‌های اطراف شده است. بررسی خطر منیزیم آب زیرزمینی بهین دلیل است که مقادیر بالای منیزیم نسبت به کلسیم آب در سامانه آبیاری روی کیفیت خاک تأثیر منفی گذاشته و خاک را به سمت قلیایی شدن پیش می‌برد. به همین دلیل خاک، حاصلخیزی خود را از دست داده و رشد محصولات کشاورزی با مشکل مواجه می‌شود (Ehya and Marbouti, 2018).

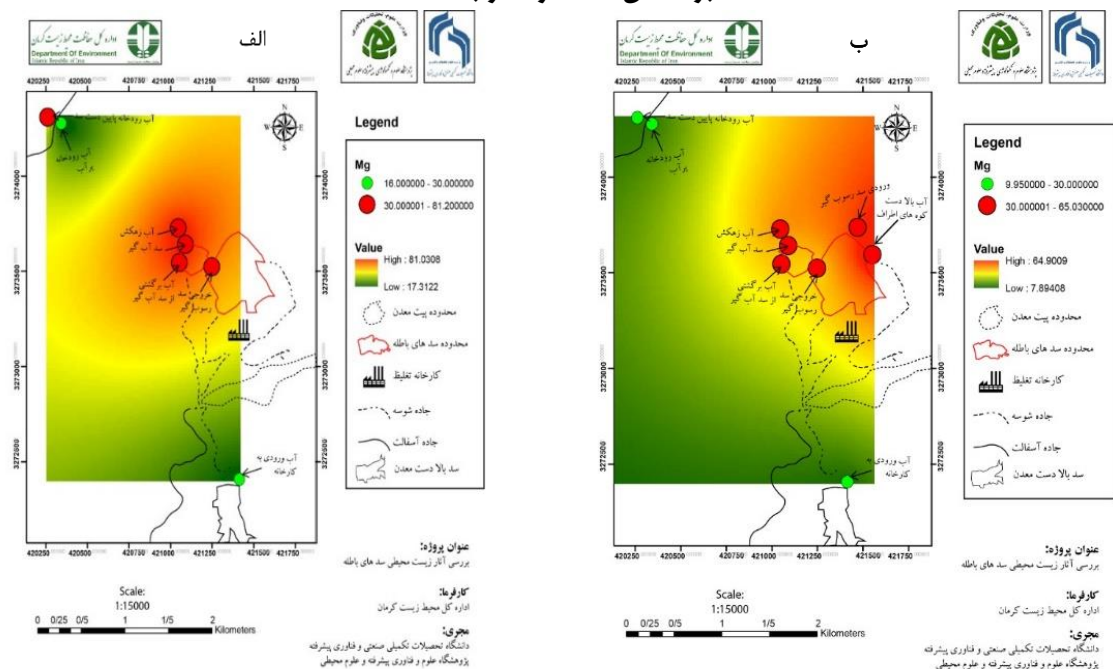
**مولیدن:** حضور مولیدن در کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی اطراف معادن تأثیرگذار است که از تأثیرات آن کاهش pH و افزایش غلظت فلزات سنگین در سدهای باطله و آب‌های اطراف آن شده است که در صورت معدن‌کاری

بدون رعایت اصول زیست‌محیطی، آب‌های منطقه دچار آلودگی زیادی می‌شود. کانی مولیدن یعنی مولیدنیت در تقریباً ۷۰ درصد کانسارها یافت می‌شود. در طی اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی در pH پایین، مولیدن به شکل محلول آزاد می‌شود، به‌همین دلیل غلظت بالای مولیدن در نمونه‌های باطله به دلیل تحرک مناسب این عنصر در شرایط اکسیدی-اسیدی قابل توجیه است (Steege et al., 1986). در کانسار مس چهار گنبد، کانی اصلی مس در بخش هیپوژن، کالکوپیریت است که در قسمت اکسیدی به انواع کربنات مس از جمله مالاکیت تبدیل شده است. با توجه به شکل ۵، مولیدن در نمونه‌های مربوط به سد باطله (نمونه CW۱ تا CW۵) در هر دو فصل تر و خشک از میزان استاندارد تعریف شده جهت مصارف کشاورزی (۱۰ mg/l) بالاتر می‌باشد، به‌طوری‌که میزان این عنصر در فصل خشک تشدید شده است (شکل ۵ ب). همان‌طور که اشاره شد، مولیدن به میزان زیاد همراه با کانی مس موجود است. بنابراین وجود این عنصر در آب سد باطله یک امر طبیعی تلقی می‌شود. در نمونه‌های آب سطحی، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی (نمونه CW۶ تا CW۱۰) میزان مولیدن در هر دو فصل تر و خشک کمتر از حد استاندارد جهت مصارف کشاورزی می‌باشد (جدول ۴ و ۵) که نتایج نشان‌دهنده این است که افزایش مولیدن در سد باطله روی آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر چندانی نداشته است.

**بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub>):** بی‌کربنات به‌عنوان یکی از یون‌های مضر به‌شمار می‌رود. آبیاری با آب بی‌کربناتی، عامل افزایش غلظت بی‌کربنات در محلول خاک یا محیط‌های آبی محسوب می‌شود. مهم‌ترین عارضه فیزیولوژیکی ناشی از بالا بودن غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه اختلال در تغذیه آهن می‌باشد و بدین ترتیب زردی برگ در گیاه به‌عنوان یک عارضه قابل مشاهده و ناشی از کمبود آهن ظاهر می‌شود (Jarrahi et al., 2013). با مقایسه میزان بی‌کربنات محدوده سد باطله معدن چهارگنبد با استانداردهای آب کشاورزی (شکل ۶) نشان می‌دهد که



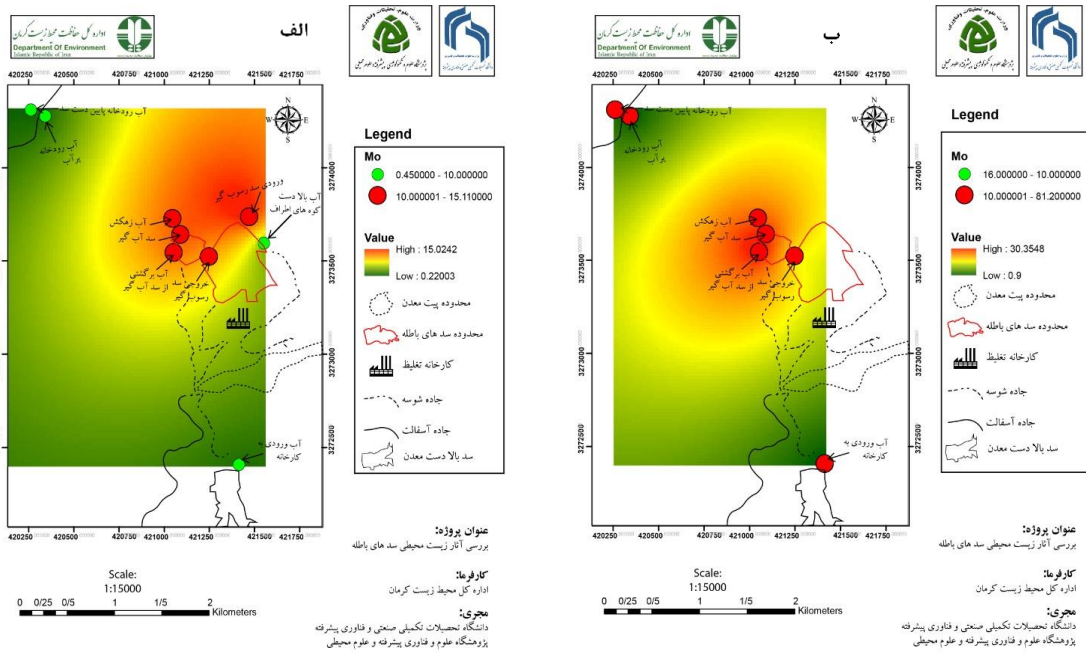
شکل ۳- توزیع کلراید در محدوده سد باطله مس چهارگنبد در فصل تر (الف) و خشک (ب) بر اساس استاندارد شرب IR



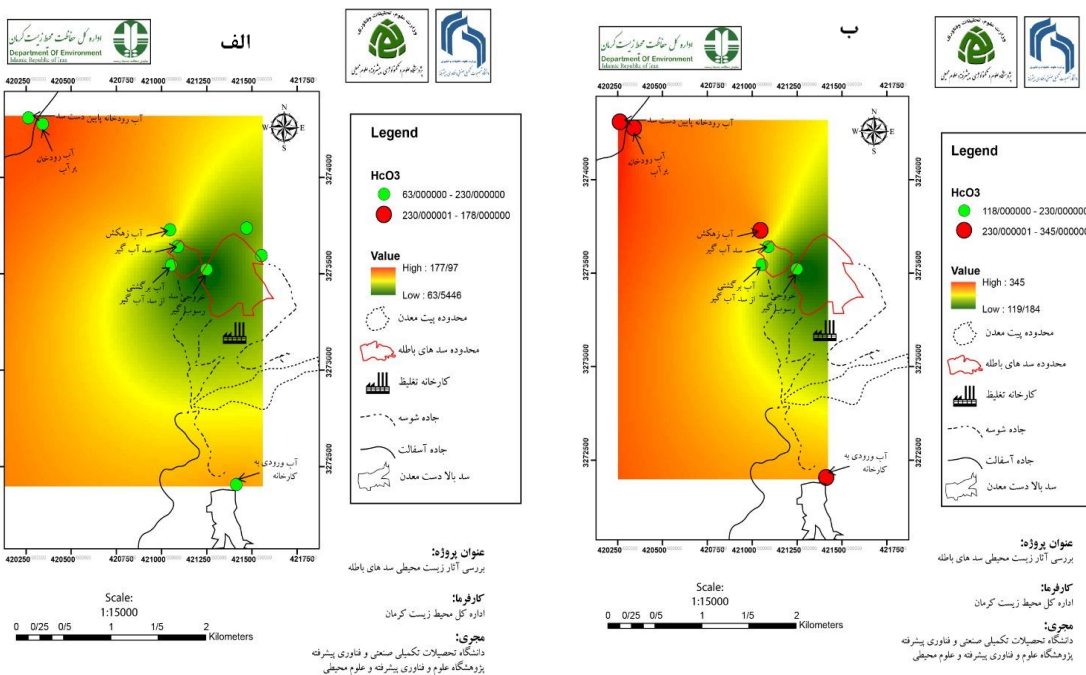
شکل ۴- توزیع منیزیم در محدوده سد باطله مس چهارگنبد در فصل تر (الف) و خشک (ب) بر اساس استاندارد شرب IR

از حد استاندارد کشاورزی شده است. این افزایش میزان بی کربنات می تواند به دلیل افزایش دما که نهایتاً منجر به تبدیل کربنات موجود در آب به بی کربنات باشد. همچنین افزایش pH و بالا رفتن قلیائیت آب موجب افزایش  $HCO_3$

میزان بی کربنات در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش چشمگیری داشته است به گونه ای که میزان بی کربنات در آب ورودی به کارخانه (نمونه CWY)، رودخانه های اطراف (نمونه CW۹ و CW۱۰) و آب زهکش (نمونه CW۶) بیش



شکل ۵- توزیع مولیبدن در محدوده سد باطله مس چهارگنبد در فصل تر (الف) و خشک (ب) بر اساس استاندارد کشاورزی

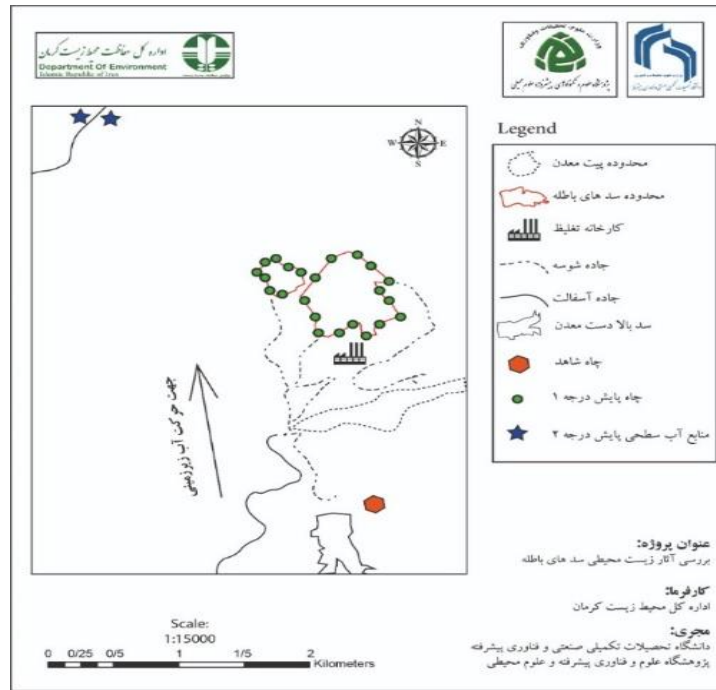


شکل ۶- توزیع بی کربنات در محدوده سد باطله مس چهارگنبد در فصل تر (الف) و خشک (ب) بر اساس استاندارد کشاورزی

مخزن باطله شرایط نشست و انتشار باطله داشته و دارای پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی باشند، نیز باید مورد پایش قرار گیرند. این فعالیت‌ها ممکن است با هدف کانه‌آرایی، پرداخت سنگ و کانی دارای مواد معدنی مورد هدف،

شده است. از طرفی منشأ دیگر آن سنگ‌های بستر رودخانه می‌باشد که با کاهش حجم آب غلظت املاح را افزایش داده است.

**پایش سد باطله:** کلیه فعالیت‌های معدنی که همانند سد یا



شکل ۷- نحوه توزیع چاه‌های پایش در محدوده سد باطله معدن مس چهار گنبد

مشاهده‌ای به عمق حداکثر ۵۰ متر به‌عنوان چاه پایش درجه ۱ در اطراف سد باطله معدن مس چهارگنبد حفر گردد (شکل ۷). با در نظر گرفتن جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در محدوده چهار گنبد از سمت جنوب به سمت بالا دست منطقه (شمال) و همچنین به‌منظور شناسایی و جلوگیری از انتشار آلودگی، چاه‌های پایش پیش‌بینی گردید. یک چاه شاهد به‌منظور تفکیک آلودگی‌های واحدهای مجاور و بالادست از سد باطله چهار گنبد، مورد پایش قرار گیرد تا آلودگی‌های فعالیت‌های دیگر پس از مقایسه و تطبیق نتایج پایش با سد باطله قابل تفکیک و جدا از همدیگر باشد. فاصله چاه‌های پایش از همدیگر سعی شد به‌گونه‌ای مشخص شود که بیشتر از ۳۰ متر نباشد و تمام محیط پیرامون سد باطله را پوشش دهد. این چاه‌ها بایستی هر سه ماه مورد بررسی چاه‌پیمایی قرار گیرد. از آنجا که آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌های فصلی در اطراف محدوده سد باطله زیاد می‌باشند بنابراین ۴ رودخانه فصلی به‌عنوان آب‌های سطحی پایش درجه دو انتخاب گردید.

کوتاه‌سازی چرخه کانه‌آرایی ماده معدنی، ایجاد حوضچه‌ها و استخرهای مصنوعی بزرگ و کوچک با هدف ترسیب، کانی‌شویی، فرآوری، تغلیظ و جداسازی مواد از همدیگر صورت پذیرد. در نتیجه تمامی این سازه‌ها همانند مخازن و یا سدهای باطله باید مورد پایش قرار گیرند. صرف‌نظر از اینکه محل مخزن یا سد باطله در چه موقعیتی نسبت به وضعیت آب‌های زیرزمینی محل قرار داشته باشد، کل مخزن یا سد باطله باید مورد پایش قرار داشته باشد تا در صورت بروز هرگونه انتشار آلودگی، بتوان نسبت به جلوگیری، کنترل و مهار آن اقدام نمود. این دستورالعمل برای پایش آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی در محدوده سد باطله صنعتی و معدنی مس چهار گنبد پیش‌بینی شده است. دامنه و کاربرد این دستورالعمل بر اساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست می‌باشد که توسط معاونت محیط‌زیست انسانی (دفتر حفاظت و مدیریت زیست محیطی آب و خاک) تهیه و آماده می‌گردد (Instruction of Groundwater Pollution Monitoring, 2020).

بر اساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست و با توجه به شرایط موجود پیشنهاد می‌شود تعداد ۲۳ چاه

## بحث و نتیجه گیری

در مقاله حاضر تلاش شد تا حد امکان ارزیابی و پایش کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه معدنی مس چهارگنبد، تحت تأثیر سد باطله مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به شاخص‌های کیفی آب از قبیل ویلکاکس نتایج نشان داد که، کیفیت آب منطقه چهارگنبد جهت مصارف کشاورزی در فصل تر و خشک مناسب است. بر اساس نتایج حاصل از شاخص شولر در طبقه‌بندی آب شرب در فصل تر در محدوده خوب و قابل قبول طبقه‌بندی شده است. فصل خشک به دلیل کم شدن بارندگی و افزایش املاح محلول در آب مقدار کلی TDS افزایش یافته است که در کل بر اساس شاخص شولر آب شرب در محدوده خوب تا متوسط طبقه‌بندی می‌شود.

در پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه چهارگنبد با استانداردهای آب شرب WHO، EPA و محیط‌زیست ایران در فصل تر و خشک نشان داد که افزایش میزان کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) بیش از حد استاندارد در نمونه‌های مربوط به سد باطله بوده که این افزایش به دلیل بالا رفتن درجه حرارت محیط که نهایتاً شرایط ترسیب را برای کربنات کلسیم فراهم کرده است. در صورتی که این مقدار در آب ورودی به کارخانه و آب رودخانه‌ها در حد استاندارد است. در بررسی میزان کلراید در فصل خشک این مقدار به کمتر از میزان استاندارد شرب و کشاورزی ایران رسیده است. میزان منیزیم با توجه به استانداردهای آب شرب محیط‌زیست ایران، در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش نسبی داشته است. میزان مولیبدن در سد باطله در هر دو فصل تر و خشک از میزان استاندارد تعریف شده جهت مصارف کشاورزی بالاتر می‌باشد، به طوری که میزان این عنصر در

فصل خشک تشدید شده است، افزایش مولیبدن در سد باطله روی آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر چندانی نداشته است. میزان بی‌کربنات با استانداردهای آب کشاورزی در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش چشمگیری داشته است به طوری که بیش از حد استاندارد کشاورزی شده است.

بر اساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست و با توجه به شرایط موجود پیشنهاد می‌شود تعداد ۲۳ چاه مشاهده‌ای به عمق حداکثر ۵۰ متر به‌عنوان چاه پایش درجه ۱ در اطراف سد باطله معدن مس چهارگنبد حفر گردد. چنانچه عمق آب‌های زیرزمینی بیش از ۵۰ متر نباشد، حفر چاه پایش تا پنج متر زیر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی الزامی است (حداکثر ۵۵ متر). در چاه‌های پایشی که به آب‌های زیرزمینی برخورد نداشته و اصطلاحاً عمق آب‌های زیرزمینی بیش از ۵۰ متر می‌باشد بایستی پیرامون سد نزدیکترین چاهی که دارای آب زیاد می‌باشد برای انجام نمونه‌برداری به‌عنوان چاه پایش درجه دو انتخاب گردد. با در نظر گرفتن جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در محدوده چهار گنبد از سمت جنوب به سمت بالا دست منطقه (شمال) و همچنین به‌منظور شناسایی و جلوگیری از انتشار آلودگی، چاه‌های پایش پیش‌بینی گردید. از طرفی بایستی یک چاه شاهد به‌منظور تفکیک آلودگی‌های واحدهای مجاور و بالادست از سد باطله چهار گنبد، مورد پایش قرار گیرد، تا آلودگی فعالیت‌های دیگر پس از مقایسه و تطبیق نتایج پایش با سد باطله قابل تفکیک و تمیز از همدیگر گردد.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان این پژوهش، از سازمان حفاظت محیط زیست استان کرمان، به دلیل حمایت‌های مالی انجام گرفته در این طرح، نهایت قدردانی و تشکر را دارد.

## References

Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1994. Water quality for agriculture- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. FAO Irrigation and

Drainage Paper, 29 Rev. Ed.

Barzegar, R., Asghari Moghadam, A., Kazemian, N., 2015. Assessment of heavy metals concentrations with emphasis on arsenic in the Tabriz plain aquifers, Iran.



- Environmental Earth Science 74, 297-313.
- Bodrud-Doza, M., Bhuiyan, M.A., Didar-Ul Islam, S.M., Quraishi, S.B., Muhib, M.I., Rakib, M.A., Rahman, M.S., 2019. Delineation of trace metals contamination in groundwater using geostatistical techniques: a study on Dhaka City of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development* 9, 100212.
- Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V. K., Kushwaha, H. S., 2007. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials* 147(3), 938-946.
- Davies, M.P., Rice, S., 2004. An alternative to conventional tailings management: dry stack filtered tailings, *Proceedings of Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste*, Vail, USA, 10-13 October, pp: 411-422.
- Deputy of Human Environment-Office of Environmental Protection and Management of Water and Soil. *Instruction of Groundwater Pollution Monitoring for Reservoirs and Waste Dams*. pp: 31. (In Persian)
- Ehya, F., Marbouti, Z., 2018. Groundwater quality assessment and its suitability for agricultural purposes in the Behbahan Plain, SW Iran. *Water Practice and Technology* 13(1), 62-78.
- Jarrahi, N., Ardalan, M. M. and Amiri, N. A. 2013. Effect of bicarbonate of irrigation water on absorption of some of micro elements and leaf chlorophyll of some citrus rootstocks in hydroponic culture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6(7), 389-395.
- Liu, C. Q., Han, G., 2004. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China. *Chemical Geology* 204, 1-21.
- Mrejen, M., Perelman, J., Machado, D.C., 2020. Environmental disasters and birth outcomes: impact of a tailings dam breakage in Brazil. *Social Science & Medicine* 250, 112868.
- Norvell, W.A., Wu, J., Hopkings, D.G., Welch, R.M., 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Science Society of America Journal* 64(6), 2162-2168.
- Ouyang, J.F., Liu, Z.R., Zhang, L., Wang, Y., Zhou, L.M., 2020. Analysis of influencing factors of heavy metals pollution in farmland-rice system around a uranium tailings dam. *Process Safety and Environmental Protection* 139, 124-132.
- Parandoush, K., Atapour, H., Riseh, M. A., 2019. Geochemical signatures of waste rocks around Sarcheshmeh porphyry copper mine dumps, southeastern Iran: Implications for exploration, economic by-products and the environment. *Journal of Geochemical Exploration* 199, 31-52.
- Pawar, N.J., Shaikh, I.J., 1995. Nitrate pollution of groundwater from shallow basaltic aquifer. *Deccan Trap Hydrologic Province India. Geo* 25, 197-204.
- Ravikumar, P., 2010. Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 173, 459-487.
- Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation. 320 p.
- Rzymiski, P., Klimaszuk, P., Marszelewski, W., Borowiak, D., Mleczek, M., Nowiński, K., Pius, B., Niedzielski, P., Poniedziałek, B., 2017. The chemistry and toxicity of discharge waters from copper mine tailing impoundment in the valley of the Apuseni Mountains in Romani. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 21445-21458.
- Saffari, M., Moosavirad, S.M., Hassani, M.J., Ghazanfari-Moghadam, M.S, Shakeri, M., Nazari, M., 2021. Investigation of Quantitative Status and Pollution Indices of Some Pollutants in Surface Soils as Affected by Tailings Dam (Case study): Chahar Gonbad copper mine. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 52, 421-437. (In Persian)
- Schwartz, F.W., Zhang, H., 2003. *Fundamentals of Ground Water*: John Wiley and Sons Inc. 275 p.
- Schoeller, H., 1964. *La classification geochimique des eaux*. LASH Publication no. 64, Gen. Assembly of Berkeley. 4, 16-

24.  
Shahhosseini, M., Ardejani, F. D., Amini, M., Ebrahimi, L., Poorkani, A. M., 2019. Environmental geochemistry of As and Pb in a copper low-grade dump, Miduk copper mine, Kerman province, SE Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 198, 54-70.
- Shayestehfar, M.R., Karimi Nasab, S., Mohammadalizadeh, H., 2007. Mineralogy, petrology, and chemistry studies to evaluate oxide copper ores for heap leaching in Sarcheshmeh copper mine, Kerman, Iran. *Journal of Hazardous Materials* 154, 602-612
- SilvaFilho, V., SobralBarcellos, G., Emblanch, C., Blavoux, B., MariaSella, S., Daniel, M., Simler, R., Cesar Wasserman, J., 2009. Groundwater chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 27, 100-108.
- Srinivasamoorthy, V., 2013. Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India. *Journal of King Saud University* 26(1), 37-52.
- Steeg, P.F.ter., Hanson, P.J., Paerl, H.W., 1986. Growth-limiting quantities and accumulation of molybdenum in *Anabaena oscillarioides* (Cyanobacteria). *Hydrobiologia* 140, 143-147.
- Todd, D.K., 2005. *Groundwater hydrology*. 3<sup>rd</sup> New York: John Wiley and Sons. 656 p.
- Vaezi-hir, A., Jowdat Saidabad, Y., 2017. Probably Contamination Seepage Through Abutment of the Tailing Dam of Sungun Cu-Mo Mine Using of Geotechnical Characteristics and Groundwater Hydrogeochemical Evidences. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 47(3), 105-113. (In Persian)
- Wilcox, L.V., 1955. *Classification and use of irrigation waters*. USDA Circ. 969, Washington, DC.
- Yuval, D., Oldenburg, W., 1996, DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems: results from the Copper Cliff mine tailings impoundments, *Journal of Applied Geophysics* 34(3), 187-198.
- Zhang, X.C., Norton, L.D., 2002. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *Journal of Hydrology* 260, 194-205.