

Investigation of Aluminum Element Changes in Surface and Groundwater of Sarcheshmeh Watershed in Kerman Province

Shahin Aghamirzadeh¹, Fatemeh Ganjeizadeh Rohani^{2*}, Hamzah Saediyan³ and Kamran Ganjeizadeh⁴

- 1- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Plant Protection Research, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 4- The Undergraduate Student of Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kamran, Iran

*Corresponding author: f.ganjei@yahoo.com

(Received: 10 April 2022

Revise: 26 April 2022

Accepted: 28 May 2022)

Extended Abstract

Introduction: Heavy metal pollution is one of the most important types of pollution in different waters. With the advancement of industries, the rate of contamination with heavy metals into surface and underground waters increases. There are many regions in the world that naturally contain large quantities of heavy metals. However, what usually causes contamination of surface and underground waters are industrial activities. Studying heavy metals due to environmental pollution is becoming increasingly important around the world. Also, determining their concentration, especially in rivers, wells and aqueducts holds great importance around the world, especially in Iran. Sarcheshmeh copper mine is one of the largest mining industrial complexes in the world. The Shour River is one of the most important seasonal rivers in Sarcheshmeh region. The sediment dam of Sarcheshmeh copper factory has been constructed on one of its branches, and the dam's spillway contaminates it.

Materials and Methods: In this study, water pollution in the Shour River, some wells and aqueducts were investigated and changes in Aluminum element in surface and groundwater of the region were investigated. Then, statistical comparison and distribution of Aluminum contamination in Shour river water, several aqueducts and wells in the watershed of the river was performed in wet and dry seasons using t-test method. Wet season sampling was performed in late April and early May and in dry season from late September to early October.

Results and Discussion: Special attention has been given to Sarcheshmeh copper mine in Iran and the world due to its place on the world copper belt. This mine can be named as the best copper producer in Iran, which is a subsidiary of The National Iranian Copper Industries Company. Therefore, scientific research on heavy metals in surface and groundwater of this mine and other similar mines in Iran and the world is becoming more and more important. The results showed that in dry and wet seasons, the amount of Aluminum in Sarcheshmeh copper mine is highest, ranging from 1 to 1.77 mg L⁻¹. Distance from the mine lowers the concentration of this element. By examining the distribution of the Aluminum element in groundwater in the dry season, it can be observed that the concentration of Aluminum element is high in the epitome of aqueducts closer to the Sarcheshmeh copper mine. In the wet season, for the Aluminum element, the expansion of its concentration was such that the trend of Aluminum concentration changes is almost the same for all aqueducts.

Conclusion: The results of this study showed that in dry and wet seasons, the concentration of Aluminum in surface and underground waters of the study area has a direct relationship with the distance of the sampling location of the waters of the region from the mine; the closer the sampling location, the higher the concentration of the element. The results also showed that the surface water and groundwater of this region have more Aluminum than the world health organization limits and are not drinkable. The results also showed that the concentration of Aluminum in wet season in the surface water of the study area is higher than the dry season and the concentration of Aluminum element in the aqueducts and well of the study area in the dry season is higher than the wet season.

Keywords: Aluminum, Aqueduct, Sarcheshmeh Copper Mine, Shour River.

Citation: Aghamirzadeh, S., Ganjeizadeh Rohani, F., Saediyan, H. & Ganjeizadeh, K. (2022). Investigation of aluminum element changes in surface and groundwater of sarcheshmeh watershed in Kerman province. *Integrated Watershed Management*, 2(1), 61-72. doi: 10.22034/IWM.2022.551640.1026

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی تغییرات عنصر آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سرچشمه استان کرمان

شاهین آقامیرزاده^۱، فاطمه گنجه‌ای‌زاده روحانی^{۲*}، حمزه سعیدیان^۳ و کامران گنجه‌ای‌زاده^۴

۱- محقق بخش تحقیقات حافظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۲- استادیار پژوهشی و عضو هیأت علمی بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حافظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*نویسنده مسئول: f.ganjei@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

چکیده

آلودگی ناشی از فلزات سنگین به‌عنوان یکی از مهمترین انواع آلودگی در آب‌های مختلف به‌شمار می‌رود. با پیشرفت صنایع، میزان ورود آلودگی با فلزات سنگین به آب‌های سطحی و زیرزمینی افزایش می‌یابد. در این تحقیق به بررسی آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوزه آبخیز سرچشمه استان کرمان پرداخته شده است و تغییرات عنصر آلومینیوم در این آب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقایسه آماری و پراکنش آلودگی آلومینیوم در آب رودخانه شور، تعدادی قنات و چاه در حوزه آبخیز مورد مطالعه در فصل‌های خشک و تر انجام شد. مقایسه آماری نمونه‌های آب رودخانه، چاه و قنات‌ها در دو فصل تر و خشک به روش t-test انجام شد. نتایج نشان داد در فصل خشک و تر میزان عنصر آلومینیوم در معدن مس سرچشمه بیشترین مقدار و در محدوده بین ۱ تا ۱/۷۷ میلی‌گرم در لیتر است و با فاصله از معدن غلظت این عنصر کاهش یافته است. با بررسی پراکنش عنصر آلومینیوم در آب‌های زیرزمینی در فصل خشک مشاهده شد که غلظت عنصر آلومینیوم در مظهر قناتی که به معدن مس سرچشمه نزدیک‌تر است زیاد است. در فصل تر نیز روند تغییرات غلظت آلومینیوم برای همه قنات‌ها تقریباً یکسان بود. با توجه به نتایج، آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه بیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی آلومینیوم دارند و قابل آشامیدن نیستند. همچنین نتایج به‌طور کلی نشان داد میزان غلظت عنصر آلومینیوم در فصل تر در آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه بیشتر از فصل خشک و میزان غلظت عنصر آلومینیوم در قنات‌ها و چاه منطقه مورد مطالعه در فصل خشک بیشتر از فصل تر است.

واژه‌های کلیدی: آلومینیوم، رودخانه شور، قنات، معدن مس سرچشمه.

استناد: آقامیرزاده، ش.، گنجه‌ای‌زاده روحانی، ف.، سعیدیان، ح.؛ و گنجه‌ای‌زاده، ک. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات عنصر آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سرچشمه استان کرمان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۱)، ۶۱-۷۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وبسایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

آلودگی خاک یا آب مورد استفاده در تولید فرآورده‌های کشاورزی به فلزات سنگین موجب می‌شود این عناصر به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد بدن انسان شوند. همچنین فلزات سنگین به صورت محلول در آب و خاک وارد و باعث آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک می‌شوند (Tabatabayi *et al.*, 2001). پخش شدن فلزات سنگین در محیط زیست که با توسعه صنعتی و افزایش جمعیت همراه است یکی از مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهای جهان است (Mahrasbi & Farahmandkia, 2008). حضور فلزات سنگین در محیط و خاصیت تجمعی آن‌ها در بدن موجودات و همچنین عدم تجزیه آن‌ها، مشکلات فراوان زیست‌محیطی و بهداشتی به وجود می‌آورد (Yousefi & Zazouli, 2008). اثرات فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده‌ترین آن مربوط به بروز اختلالات عصبی، سرطان‌زایی، اختلالات ژنتیکی و عوارض ناقص‌الخلقه‌زایی است (Shimbo *et al.*, 2001; Lin *et al.*, 2004; Saleh & Shinwari, 2001).

آلومینیوم فلزی سبک، محکم، قابل انعطاف و ورقه شدن و دارای هدایت الکتریکی است. آلومینیوم سومین عنصر فراوان پوسته‌ی زمین است اما با این حال فلز نسبتاً جدیدی است و مدت زیادی از استخراج و استفاده از آن نمی‌گذرد. آلومینیوم اولین بار توسط Hans Christian Ersted در سال ۱۸۲۵ جدا شد و پس از آن در صنایع مختلف از قبیل ماشین‌سازی، هواپیماسازی و غیره استفاده شد (Sellars, 1873). از آنجایی که استخراج آلومینیوم انرژی زیادی لازم دارد اکثراً این فلز از مواد مصرف شده مثل قوطی‌های نوشابه بازیابی می‌شود. آلومینیوم اکثراً به شکل بوکیست (مخلوطی از تعدادی آلومینیوم هیدروکسید و آلومینیوم اکسید هیدراته) است و رنگ آن بین سفید و قرمز قهوه‌ای متغیر است (Sanayee, 1992). بیشتر ترکیبات آلومینیوم به‌استثنای اکسید و هیدروکسید آن در آب

محلول است. این فلز می‌تواند از طریق آب آشامیدنی، خاک و نهایتاً غذا وارد بدن انسان شود. بررسی‌های سیستماتیک اخیر نشان می‌دهد آلومینیوم به عنوان فلز مورد مطالعه در مطالعات اپیدمیولوژیک و مطالعات زیست‌محیطی مطرح است. ارتباط بین قرار گرفتن در معرض سطح بالای آلومینیوم و خطر ابتلا به بیماری آلزایمر در این مطالعات بیان شده است (Bjorklund *et al.*, 2019). آلومینیوم احتمالاً از طریق افزایش تولید پروتئین پیش‌ساز آمیلوئید و در نتیجه افزایش ذخایر بتا آمیلوئید در بیماری‌زایی بیماری آلزایمر در مغز تأثیرگذار است (Cariccio *et al.*, 2019). مطالعات انسانی معمولاً میزان بالای غلظت عنصر آلومینیوم در خون بیماران را نشان داده است (Bondy, 2016). Ciszewski (۱۹۹۷) در پژوهشی منابع آلوده‌کننده آب در آلمان به این نتیجه رسیده است که مقدار مواد آلاینده به‌ویژه عناصر سنگین در رسوبات رودخانه Checlo رابطه مستقیمی با وجود یا عدم وجود مناطق صنعتی و ورود فاضلاب‌ها به رودخانه دارند. پژوهش‌های انجام شده در مورد آلودگی آب توسط عناصر سنگین از جمله مواردی بوده است که مورد توجه قرار گرفته و به دلیل اهمیت آن، برخی از ابعاد مربوط بررسی و نتایج در قالب گزارش‌های فنی و مقالات تحقیقاتی و مطالعاتی مانند Mesgaran Karimi (۱۹۹۴)، Asadi Samani (۱۹۹۵)، Amidy (۲۰۰۰)، Saber Mahaney (۲۰۰۱) منتشر شده است. Farkas و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تعامل بین رسوبات رودخانه‌ها و فلزات سنگین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رسوبات رودخانه، مخزنی برای فلزات سنگین هستند و می‌توانند یک منبع بالقوه آلاینده در هنگام تغییر شرایط محیطی باشند. Shanbehzadeh و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی غلظت برخی از فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه تمبی مسجدسلیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه تمبی مسجدسلیمان در فصول گرم و خشک بالاتر است که نشان‌دهنده تأثیر

فصول خشک و تبخیر آب در افزایش غلظت فلزات سنگین در آب می‌باشد. Jasemizadeh و همکاران (۲۰۱۴) به تحلیل فلزات سنگین در برخی رودخانه‌های ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در حال حاضر بسیاری از رودخانه‌های ایران در معرض آلودگی فلزات سنگین ناشی از پساب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی می‌باشند و این آلاینده‌ها به سرعت در حال افزایش هستند. Qin و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل ورود فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان‌ساخت وارد محیط‌زیست می‌شوند و میزان ورود این فلزات به داخل محیط‌زیست بیشتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند؛ بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط‌زیست مورد توجه قرار دارند.

معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین مجتمع‌های صنعتی معدنی جهان محسوب می‌شود و بزرگترین تولیدکننده مس ایران است. در این معدن علاوه بر مس، عناصر با ارزش مولیبدن و طلا نیز وجود دارد. به علت وجود این معدن در محدوده حوزه آبخیز سرچشمه، بررسی آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه از جهت بررسی آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین به خصوص فلز آلومینیوم دارای اهمیت فراوانی است. هدف این تحقیق بررسی تغییرات عنصر آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سرچشمه استان کرمان است که به‌نوبه خود کاری ارزشمند است که اطلاعات مفیدی از وضعیت آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سرچشمه را در اختیار محققان و مسئولین اجرایی کشور قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سرچشمه بین ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی در

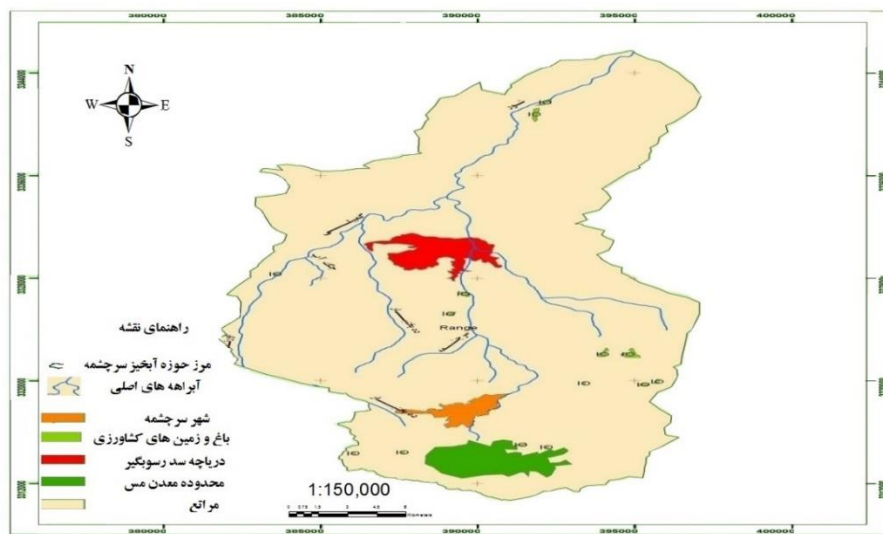
جنوب‌غرب استان کرمان قرار دارد. مساحت این حوزه ۳۴۵۸۷/۵ هکتار است. حداقل ارتفاع ۱۸۲۰ متر و حداکثر آن ۳۲۰۰ متر از سطح دریا است. ارتفاع این ناحیه از سطح دریا به‌طور متوسط ۲۶۰۰ متر و بلندترین نقطه آن ۳۰۰۰ متر است. وجود رودخانه‌های فصلی از جمله رودخانه شور در منطقه سرچشمه و همچنین وجود ۶۵ حلقه چاه در دشت واقع در پایاب رودخانه شور و ۷۱ رشته قنات در دشت رفسنجان که هشت رشته آن در حوزه آبخیز رودخانه شور واقع شده است، باعث شده که بررسی آلودگی آب و خاک در این منطقه اهمیت داشته باشد (شکل ۱). مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب‌غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان قرار دارد (Shafiei, 2010). لازم به ذکر است که حجم جریان آب سالانه وارده به سد رسوب‌گیر واقع در منطقه مورد مطالعه، ۶/۵ میلیون مترمکعب در سال با متوسط دبی ۲۰۶ لیتر در ثانیه و دبی خروجی ۳/۴ میلیون مترمکعب از سد است.

روش انجام تحقیق

در این تحقیق نمونه‌برداری از آب‌های سطحی شامل نمونه‌برداری از آب هشت رشته قنات واقع در آبخیز رودخانه شور و یک حلقه چاه موجود در پایین‌دست آبخیز رودخانه شور در دو فصل تر و خشک، با استفاده از بطری‌های ۰/۵ لیتری انجام شد. نمونه‌برداری از آب در مخزن سد رسوب‌گیر به‌طور کاملاً تصادفی در سطح دریاچه حداقل به تعداد ۱۰ نمونه از بخش سراب تا بدنه سد رسوب‌گیر برداشت شده و نمونه‌ها جهت تعیین مقدار عنصر سنگین آلومینیوم به آزمایشگاه ارسال شد. نمونه‌برداری از آب رودخانه بعد از بدنه سد (بخش پایاب) در طول رودخانه مشابه نمونه‌برداری انجام شده در بخش سراب سد انجام شد. همچنین نمونه‌برداری‌های فصل تر، در اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت‌ماه انجام و نمونه‌برداری‌ها در فصل خشک، از اواخر شهریور تا اوایل مهرماه انجام شد. نمونه‌برداری از آب‌های سطحی در سرشاخه‌های رودخانه شور قبل از ورود به سد رسوب‌گیر کارخانه مس سرچشمه، داخل

رودخانه صورت گرفت. نمونه‌برداری از آب در فصل کم آب و پر آب در طول یک سال انجام شد. سپس نمونه‌ها برای تعیین وجود و مقدار عنصر سنگین آلومینیوم به آزمایشگاه ارسال و نهایتاً از دستگاه جذب اتمی برای تعیین میزان آلومینیوم استفاده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین همه نمونه‌های آب در دو فصل تر و خشک به کمک آزمون آماری t-test انجام شدند.

مخزن سد رسوب‌گیر و شاخه پایاب سد تا دشت رفسنجان صورت گرفت. با توجه به اینکه دو سرشاخه اولیه رودخانه شور که در داخل معدن قرار داشت کاملاً منحرف شده و از حالت طبیعی خود خارج شده بود و در حقیقت در داخل معدن فقط یک شاخه رود وجود داشت، نمونه‌برداری آب فقط از یک شاخه انجام شد. نمونه‌برداری از آب در طول مسیر رودخانه و وسط



شکل ۱- آبراهه‌های اصلی در حوزه سرچشمه

Figure 1- Main waterways in the watershed of SarCheshmeh

سرچشمه در یک فصل انجام شد به دلیل اینکه در هر صورت فاضلاب کارخانه در فصول مختلف در پشت سد تجمع پیدامی‌کند و بنابراین نمونه‌برداری از آب جمع‌شده در پشت سد فقط در یک فصل انجام شد (جدول ۱).

نتایج

نتایج میزان عنصر آلومینیوم در آب سطح سد رسوب‌گیر معدن مس سرچشمه نمونه‌برداری از آب سد رسوب‌گیر معدن مس

جدول ۱- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب سطح سد رسوب‌گیر معدن مس سرچشمه

Table 1- The amount of Aluminum element in water samples of the surface of Sarcheshmeh copper mine sediment trap dam

نمونه آب	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر)	نمونه آب	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر)
Water sample	Al (mg L ⁻¹)	Water sample	Al (mg L ⁻¹)
d1	159.7	d6	0.821
d2	0.663	d7	0.932
d3	0.977	d8	1.285
d4	0.221	d9	1.002
d5	0.579	-	-

نمونه‌برداری نبود فاصله یک کیلومتر رعایت نشده است. بعد از سد، به دلیل خشک‌سالی و فصلی بودن رودخانه، مسیر نمونه‌برداری شده کوتاه‌تر در نظر گرفته شد، بنابراین تعداد نمونه‌ها هم در فصول خشک و تر متفاوت برداشت شدند (جدول‌های ۲ و ۳).

نتایج میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب در مسیر رودخانه

نمونه‌های آب در مسیر رودخانه، قبل و بعد از سد رسوب‌گیر در فصل خشک و تر بررسی و تحلیل شد. لازم به ذکر است که در بعضی نقاط که امکان

جدول ۲- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه آب در مسیر رودخانه شور در فصل تر

Table 2- The amount of Aluminum element in the water sample along the Shour River in wet season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)	نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.721	14	0.432
2	0.732	15	0.502
3	1.080	16	0.493
4	0.391	17	0.451
5	0.601	18	0.429
6	0.690	19	0.398
7	0.366	20	0.361
8	1.560	21	0.402
9	0.698	22	1.778
10	0.870	23	1.476
11	0.645	24	1.123
12	0.720	25	0.602
13	0.746		

جدول ۳- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب در مسیر رودخانه شور در فصل خشک

Table 3- The amount of Aluminum element in water samples along the Shour River in dry season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)	نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی‌گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.739	14	0.720
2	0.350	15	0.712
3	0.673	16	0.701
4	0.721	17	0.693
5	0.501	18	0.506
6	0.498	19	0.511
7	0.463	20	0.498
8	0.631	21	0.347
9	0.702	22	1.321
10	0.831	23	1.545
11	0.921	24	0.809
12	1.198	25	0.810
13	0.812		

مطالعه، هشت رشته قنات در حوزه و یک حلقه چاه انتخاب و نمونه‌برداری در مظهر قنات در دو فصل تر و خشک انجام شد (جدول‌های ۴ و ۵).

نتایج میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب قنات و چاه در دو فصل تر و خشک پس از بررسی قنات‌های موجود در حوزه آبخیز مورد

جدول ۴- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب قنات در فصل تر

Table 4- The amount of Aluminum element in aqueduct water samples in wet season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)	نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.528	5	0.789
2	0.918	6	0.222
3	1.048	7	0.827
4	1.162	8	0.287

جدول ۵- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه‌های آب قنات در فصل خشک

Table 5- The amount of Aluminum element in aqueduct water samples in dry season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)	نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.625	5	0.632
2	1.081	6	0.629
3	0.833	7	0.982
4	0.796	8	1.358

بر اساس اعلام سازمان بهداشت جهانی (WHO)، خیلی زیاد می‌باشد و قابل آشامیدن نیست (جدول‌های ۶ و ۷).

میزان عنصر آلومینیوم در آب چاه مورد بررسی در فصول تر و خشک در حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز با توجه به حد مجاز این عنصر در آب آشامیدنی

جدول ۶- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه آب چاه در فصل تر

Table 6- The amount of Aluminum element in well water sample in wet season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.722

جدول ۷- میزان عنصر آلومینیوم در نمونه آب چاه در فصل خشک

Table 7- The amount of Aluminum element in well water sample in dry season

نمونه آب Water sample	آلومینیوم (میلی گرم در لیتر) Al (mg L ⁻¹)
1	0.954

به نتایج این آزمون انجام شود. نتایج مقایسه‌های میانگین نمونه‌های آب در فصول مختلف در جدول‌های ۸ تا ۱۵ بیان شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از انجام آزمون t، باید فرض مساوی بودن واریانس دو گروه داده بررسی شود، سپس آزمون t با توجه

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب در دو فصل تر و خشک به روش t-test

Table 8- Results of comparison of average of water samples in wet and dry seasons using t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم	تساوی	0.508	0.479	-0.932	64	0.355
Al	عدم تساوی			-0.933	63	0.355

نتایج مقایسه میانگین همه نمونه‌های آب در دو فصل تر و خشک نشان داد که بین نمونه‌های آب گرفته شده در این دو فصل از نظر میزان آلومینیوم بین این دو فصل تفاوتی وجود نداشت (جدول ۹).

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب رودخانه قبل و بعد از سد رسوب‌گیر بدون در نظر گرفتن فصل به روش t-test

Table 9- Results of comparison of average of river water samples before and after sedimentation trap dam regardless of season by t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم	تساوی	6.288	0.16	3.268	46	0.032
Al	عدم تساوی			4.013	44	0.006

مقایسه نمونه‌های آب رودخانه قبل و بعد از سد رسوب‌گیر بدون در نظر گرفتن فصل نشان داد که از نظر عنصر آلومینیوم در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب رودخانه در دو فصل تر و خشک قبل از سد رسوب‌گیر به روش t-test

Table 10- Results of comparison of mean of river water samples in two fresh and dry seasons before sediment catchment dam by t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم	تساوی	0.070	0.794	0.199	28	0.844
Al	عدم تساوی			0.199	28	0.844

مقایسه نمونه‌های گرفته شده آب رودخانه در دو فصل تر و خشک قبل از سد رسوب‌گیر نشان می‌دهد که در نمونه آب‌های قبل از سد در این دو فصل تنها از نظر میزان عنصر آلومینیوم تفاوتی مشاهده نمی‌شود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب رودخانه در دو فصل تر و خشک بعد از سد رسوب‌گیر به روش t-test

Table 11- Results of comparison of average of river water samples in wet and dry seasons after sediment trap dam by t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم	تساوی	2.607	0.011	-2.276	16	0.037
Al	عدم تساوی			-2.276	15	0.038

مقایسه نمونه‌های بعد از سد در دو فصل تر و خشک نشان می‌دهد که آب‌های بعد از سد در این دو فصل از نظر آلومینیوم در سطح احتمال پنج درصد تفاوت دارد (جدول ۱۲).

نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های قبل و بعد از سد در فصل خشک از نظر میزان عنصر آلومینیوم در سطح احتمال یک درصد تفاوت داشتند (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب رودخانه قبل و بعد از سد رسوب‌گیر در فصل خشک به روش t-test
Table 12- Results of comparison of average of river water samples before and after sediment trap dam in dry season by t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم Al	تساوی	8.181	0.009	3.126	22	0.022
	عدم تساوی			4.405	16	0.003

جدول ۱۳- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب قبل و بعد از سد در فصل تر به روش t-test

Table 13- Results of comparison of average water samples before and after dam in wet season by t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم Al	تساوی	2.640	0.118	1.538	22	0.138
	عدم تساوی			1.829	21	0.082

نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب قبل و بعد از سد در فصل تر از نظر عنصر آلومینیوم تفاوتی ندارند (جدول ۱۴).

جدول ۱۴- نتایج مقایسه میانگین نمونه‌های آب قنات‌ها و چاه در دو فصل تر و خشک به روش t-test

Table 14- Results of comparison of average of water samples of aqueducts and wells in wet and dry seasons using t-test method

عنصر	فرض برای واریانس	F	t	Sig.	df	Sig. (2-tailed)
آلومینیوم Al	تساوی	0.601	-1.140	0.449	16	0.271
	عدم تساوی		-1.140		15	0.272

مقایسه میانگین نمونه‌های مربوط به قنات‌ها و چاه در دو فصل تر و خشک نشان داد که نمونه آب گرفته شده از قنات‌ها در این دو فصل از نظر عنصر آلومینیوم تفاوتی با یکدیگر ندارند (جدول ۱۵).

جدول ۱۵- حداکثر مجاز عنصر آلومینیوم در آب آبیاری توصیه شده توسط فائو (Mullick, 1987)

Table 15 - Maximum permissible limit of Aluminum element in irrigation water recommended by FAO (Mullick, 1987)

اجزاء	غلظت مجاز (میلی‌گرم در لیتر)
برای مصارف دائمی در همه خاک‌ها	۵
برای مصرف ۲۰ ساله روی خاک‌های ریزبافت با PH بین ۸/۵-۶	۲۰

عناصر به دو دسته اصلی و نادر طبقه‌بندی شده‌اند. در این طبقه‌بندی با توجه به میزان تمرکز عناصر در آب

بحث

در سازمان‌های معتبر جهانی از قبیل WHO و CEC^۱

زیرزمینی اکسیژن‌دار با $\text{pH}=7$ و استانداردهای ارائه شده توسط WHO و CEC، عناصر از نظر بیماری‌زایی و اثرات بهداشتی به دو دسته عمده عناصر اساسی یا ضروری و سمی تقسیم‌بندی شده‌اند. اساسی یا ضروری بودن و سمی بودن عناصر بستگی به میزان غلظت آن عناصر در آب دارد. با مشاهده پراکنش آلودگی در آب‌های سطحی (مسیر رودخانه) در فصل خشک مشاهده شد که بیشترین غلظت عنصر آلومینیوم در معدن مس که در جنوب منطقه مورد مطالعه است، وجود دارد و از معدن مس سرچشمه به شهر رفسنجان یعنی به سمت شمال در مسیر رودخانه از غلظت آن کاسته می‌شود. همچنین در فصل تر نیز مشاهده شد که میزان عنصر آلومینیوم در معدن مس سرچشمه بیشترین مقدار را دارد و با فاصله از معدن از غلظت این عنصر کاسته می‌شود که علت آن به فاصله طی شده عنصر آلومینیوم در طول مسیر رودخانه منطقه مورد مطالعه برمی‌گردد که با نتایج تحقیقات Jasmizadeh و همکاران (۲۰۱۴) و Ciszewski و همکاران (۱۹۹۷) که معتقدند رابطه مستقیمی با وجود یا عدم وجود مناطق صنعتی در افزایش میزان فلزات سنگین در رودخانه‌ها وجود دارد مطابقت دارد (جدول‌های ۸ تا ۱۳). با بررسی پراکنش عنصر موردنظر در آب‌های زیرزمینی (هشت حلقه قنات و یک حلقه چاه) در فصل خشک مشاهده شد که غلظت عنصر آلومینیوم در مظهر قناتی که به معدن مس سرچشمه نزدیک‌تر می‌باشد زیاد است (شکل ۵) که علت آن به نزدیکی فاصله بین معدن مس و مسیر جمع شدن آب قنات برمی‌گردد. در فصل تر نیز روند تغییرات غلظت آلومینیوم برای همه قنات‌ها تقریباً یکسان است که علت آن به تغذیه تقریباً یکسان قنات‌ها توسط بارندگی‌های مختلف در فصل تر برمی‌گردد (جدول ۱۴). در مقایسه با مقادیر مجاز اعلام شده، حداکثر غلظت مجاز عنصر آلومینیوم برای آب‌هایی که به‌طور مداوم در همه خاک‌ها استفاده می‌شوند پنج میلی‌گرم بر لیتر و برای آب‌هایی که حداکثر به مدت ۲۰ سال در خاک‌های ریزبافت با pH بین ۶ و ۸/۵ مصرف می‌شوند ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

است. حد مجاز این عنصر در آب آشامیدنی بر اساس اعلام سازمان بهداشت جهانی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر است (جدول ۱۵). با مقایسه مقادیر فوق و نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود میزان آلومینیوم در اکثر نقاط بیشتر از حد مجاز می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد میزان غلظت عنصر آلومینیوم در فصل تر در آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه بیشتر از فصل خشک می‌باشد که علت آن به وجود بارندگی با شدت‌های مختلف و در نتیجه افزایش آبشویی و فرسایش در منطقه مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که افزایش غلظت عنصر آلومینیوم در فصل تر نسبت به فصل خشک در منطقه مورد مطالعه فاصله خیلی زیادی از همدیگر ندارند که با نتایج تحقیق Shanbehzadeh و همکاران (۲۰۱۳) مغایرت دارد. نتایج حاکی از این است که میزان غلظت عنصر آلومینیوم در قنات‌ها در فصل خشک بیشتر از فصل تر در منطقه مورد مطالعه است. در چاه مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه نیز غلظت عنصر آلومینیوم در فصل خشک بیشتر از فصل تر است که احتمالاً به عدم تغذیه مناسب آب قنات‌ها و چاه مورد مطالعه توسط بارندگی‌های مختلف اشاره دارد.

نتیجه‌گیری کلی

معدن مس سرچشمه به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند جهانی مس، مورد توجه ویژه در ایران و جهان قرار گرفته است. از این معدن می‌توان به عنوان بهترین منبع مس در ایران نام برد که زیرمجموعه شرکت ملی صنایع مس ایران است؛ بنابراین تحقیقات علمی در مورد فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده این معدن و سایر معادن مشابه در ایران و دنیا روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. همچنین نتایج تحقیق به‌طور کلی نشان داد که در آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه، میزان غلظت عنصر آلومینیوم در فصل تر بیشتر از فصل خشک است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که میزان غلظت عنصر آلومینیوم در قنات‌ها و چاه منطقه مورد مطالعه در فصل خشک بیشتر از فصل تر است. نتایج این تحقیق به‌طور کلی نشان داد که در

فلزات سنگین در همه فصول مختلف سال در این منطقه صورت گیرد و همچنین فلزات سنگین بیشتری در آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه، مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند.

سپاسگزاری

از آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان به دلیل همکاری در آزمایش‌های مختلف سپاسگزاری می‌شود.

فصول خشک و تر میزان عنصر آلومینیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، هر چقدر مکان نمونه‌برداری از آب‌های منطقه به معدن مس سرچشمه نزدیک‌تر باشد، غلظت عنصر آلومینیوم در آب‌های منطقه بیشتر است؛ بنابراین آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه بیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی آلومینیوم دارند و قابل آشامیدن نیستند؛ بنابراین توصیه می‌شود تحقیقات جامع‌تر و کامل‌تری با توجه به اهمیت

References

- Amidy, S. (2000). Investigation of heavy metals in coastal waters of Bushehr Province. *Iranian Scientific Journal of Shilat*, 9(3), 35-48. Doi: 10.22092/isfj.2000.115981. (In Persian)
- Asadi Samani, N. (1995). The amount of heavy metals in water and sediments (A species of Fish) in Soltani Canal in Bushehr. *Iranian Scientific Journal of Shilat*, 2(4), 50-57. Doi: hdl.handle.net/1834/12512. (In Persian)
- Bjorklund, G., Tinkov, A. A., Dadar, M., Rahman, M. M., Chirumbolo, S. & Skalny, A. V. (2019). Insights into the potential role of mercury in Alzheimer's disease. *Journal of Molecular Neuroscience*, 67(4), 511-33. Doi: 10.1007/s12031-019-01274-3.
- Bondy, S. C. (2016). Low levels of Aluminum can lead to behavioral and morphological changes associated with Alzheimer's disease and age-related neurodegeneration. *Neurotoxicology*, 52, 222-229. Doi: 10.1016/j.neuro.2015.12.002.
- Cariccio, V. L., Sama, A., Bramanti, P. & Mazzon, E. (2019). Mercury involvement in neuronal damage and in neurodegenerative diseases. *Biological Trace Element Research*, 187(2), 341-56. Doi: 10.1007/s12011-018-1380-4.
- Ciszewski, D. (1997). Source of pollution as a factor controlling distribution of heavy metals in bottom Sediments of Chechlo River. *Environmental Geology*, 29(112), 50-57.
- Farkas, A., Erratico, C. & Vigano, L. (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere*, 68(4), 761-768. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.12.099.
- Jasemizadeh, Z., Savari, A. & Ebrahimi Ghavamabadi, L. (2014). *Comparison of metal pollutants of Bahmanshir River sediments affected by effluents with international standards*. The first national conference on passive defense in marine sciences, Hormozgan. P. 60-67.
- Lin, H. T., Wong, S. S. & Li, G. C. (2004). Heavy metal content of rice and shellfish in Taiwan. *Food and Drug Analysis*, 12(2), 167-174.
- Mahrasbi, M. R. & Farahmandkia, Z. (2008). Heavy metal removal from aqueous solution by adsorption on modified Banana Shell. *Journal of Health and Environment*, 1(1), 57-66.
- Mesgaran Karimi, B. (1994). How poison and fertilizer consumption and its adverse effects on the environment. *Journal of Environment*, 6(3), 51-59.
- Mullick, M. A. (1987). *Water Treatment Processes in the Middle East*. The book Guild Ltd. p.p 264-268.
- Qin, D., Jiang, H., Bai, S., Tang, S. & Mou, Z. (2015). Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China. *Food Control*, 50, 1-8. Doi: 10.1016/j.foodcont.2014.08.016.
- Saber Mahaney, F. (2001). *Application of atomic absorption with graphic furnace to determine very small amounts of Copper after doping and extraction of fluid*. M.Sc. Thesis in Chemistry, Shahid Bahonar Kerman University.
- Saleh, I. A. & Shinwari, N. (2001). Report on the levels of cadmium, and mercury in imported Rice grain samples. *Biological*

- Trace Element Research*, 83, 91-95. Doi: 10.1385/BTER: 83:1:91.
- Sanayee, G. (1992). *Industrial toxicology*. University of Tehran Publications Institute, Volume II.
 - Sellars, J. C. (1873). *Chemistianity*. Published by author.
 - Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A. & Kianizadeh, T. (2013). Investigation of concentration of some heavy metals in water and sediment of Tambi River of Masjed Soleyman before and after wastewater entry into it. *Journal of Health System Research*, 9(10), 1116-1108.
 - Shimbo, S., Zhang, Z. W., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Mutsuda, N. & Higashikawa, K. (2001). Cadmium and lead contents in rice and other cereal products in Japan. *Science of the Total Environment*, 281, 165-75. Doi: 10.1016/s0048-9697(01)00844-0.
 - Shafiei, B. (2010). Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications. *Ore Eology Reviews*, 38(1), 27-36. Doi: 10.1016/j.oregeorev.2010.05.004.
 - Tabatabayi, S. H., Tosani, M. & Layafat, A. (2001). *Evaluate and determine the important physical properties of three types of zeolite filter to remove heavy metals, Sewage*. The National Cogress on Environmental Health 8-Z November 2001; Yazd. Yazd University of Medical Sciences.
 - Yousefi, Z. & Zazouli, M. (2008). Removal of heavy metals from solid wastes leachates coagulation-flocculation process. *Journal of Applied Sciences*, 8(11), 2142-2147. Doi: 10.3923/jas.2008.2142.2147.