

## بررسی تأثیر معدن مس بوانات بر محیط زیست منطقه

خداکرم شکری<sup>۱\*</sup> مجید شبان<sup>۱</sup>

\*<sup>۱</sup>- گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آباد، آباد، ایران.

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

### چکیده

ضایعات حاصل از معدنکاری، از خطرناک‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست هستند که در صورت عدم حذف آن‌ها ضمن ورود به آب‌های سطحی و زیرزمینی، موجب تشکیل کمپلکس‌های سمی شده و خطرات بالقوای را برای انسان و اکوسیستم‌های زیست‌محیطی ایجاد می‌کنند. چون سنگ معدن قسمت کوچکی از حجم کل مواد معدنی شده را تشکیل می‌دهد، معادن مقدار زیادی ضایعات خواهند داشت. در صنعت فلزی تولید مس، سرب و روی بیشترین تخریب را به محیط‌زیست وارد می‌سازند. عملیات معدن کاری مس ضایعات معدنی وسیعی تولید می‌کند ذوب روی و سرب مقادیر زیادی کادمیوم و سرب وارد محیط می‌سازد. تصاعد گازها و ذرات معلق، تولید پساب‌های آلوده و ضایعات جامد حاصل ذوب و تصفیه فلزات می‌باشند. آلودگی خاک با فلزات سنگین در ارتباط با ذوب فلزات مس‌آلوده ای جدی به حساب می‌آید. جهت بررسی تأثیرات معدن مورد مطالعه بر محیط زیست، ضروری است تا آب، سنگ‌ها و خاک، گیاهان و حتی زهاب‌ها و آبراه‌های آن‌ها از نظر آلودگی مورد بررسی قرار گیرند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که معدن مس بوانات بر میزان آلودگی در آب، خاک و گیاهان منطقه تأثیر به‌سزایی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** معدن مس بوانات، خاک، فلزات سنگین، محیط زیست

## مقدمه

معدن کاری، در تاریخ بشری سابقه طولانی دارد. انسان از گذشته‌های دور نیازهای خود را به روش‌های مختلف از زمین تأمین می‌نموده است و معدن کاری نیز همراه با توسعه جوامع بشری به تکامل رسیده است (چراغی و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه بررسی اثرات زیست‌محیطی معدن کاوی بخش جدایی ناپذیری از مکان‌یابی پروژه‌های معدنی در کشورهای توسعه یافته می‌باشد. در معدن کاوی نوین، فعالیت‌های معدنی تا بدانجا توجیه اقتصادی دارند که موجودیت بشر را به مخاطره نیاندازند. بدین ترتیب، درک صحیح از ابعاد زیست‌محیطی معدن کاوی سبب می‌گردد تا این فعالیت‌ها اندیشمندانه هدایت شوند. معادن از جمله مهم‌ترین منابع آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین هستند (خمسه و همکاران، ۱۳۹۵). مشکلات زیست‌محیطی ناشی از حضور فلزات سنگین در محیط‌زیست ناشی از پایداری آن‌ها در محیط‌زیست است. این عناصر برخلاف مواد آلی آلاینده از طریق فرایندهای شیمیایی و زیستی قابل تجزیه نیستند. این فلزات پس از ورود به منابع آبی و ورود به بدن جانداران در بافت‌های بدن موجودات زنده مجتمع شده و در غلظت‌های بسیار بیشتری در سطوح بالاتر زنجیره غذایی انباشت می‌شوند. هم‌چنین فلزات سنگین با جایگزینی به جای املاح و مواد معدنی مورد نیاز موجب به خطر افتادن سلامت آنان می‌شوند. ذخایر طبیعی مهم‌ترین منبع آزادسازی این عناصر به محیط هستند (دهرآزما و همکاران، ۱۳۹۴).

گیاهان عناصر غذایی مورد نیاز خود را به‌صورت یون‌های معدنی از خاک جذب می‌کنند. مواد معدنی به‌طور مداوم بین موجودات زنده در گردش هستند و ورود آن‌ها به کره حیات (بیوسفر) از طریق ریشه گیاهان انجام می‌شود. عناصر کم‌مصرف و پرمصرف ضروری، برای زندگی گیاه اهمیت دارند و بدون آن‌ها گیاه قادر به تکمیل چرخه رویشی و زایشی خود نیستند. با توجه با احتمال بالای آلودگی خاک با فلزات سنگین در مناطق فعال معدن کاری و محدوده مناطق معدنی معدن مس بوانات و قابلیت گیاهان بومی و زراعی منطقه به جذب این فلزات به بافت‌های گیاهی (اندام‌های هوایی و

زمینی)، بنابراین احتمال آلودگی و افزایش غلظت این فلزات در گیاهان بالا است. گونه‌های مختلف گیاهی و اندام‌های گیاهی در هر گونه قابلیت تجمع متفاوت برای فلزات مختلف را دارد. افزایش انحلال‌پذیری عناصر موجود در خاک باعث افزایش احتمال حضور این عناصر در محلول اطراف ذرات خاک شده و در نتیجه تحرک عنصر را افزایش می‌دهد و باعث افزایش در دسترس‌پذیری زیستی عنصر برای گیاه می‌شود. تجمع این عناصر سنگین در گیاه در غلظت‌های بالا می‌تواند موجب مرگ گیاه شود (Alipoor, 2015).

تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیر معدن کاری بر محیط‌زیست در سطح ایران و جهان انجام شده است. با توجه به نتایج این تحقیقات می‌توان مناطق آلوده یا مستعد آلودگی را شناسایی و با مدیریت صحیح از ورود آلودگی به زنجیره غذایی و عواقب زیست‌محیطی آن جلوگیری کرد (چراغی و همکاران، ۱۳۹۱).

شکری و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر آلودگی‌های معدن مس بر روی خاک و گیاهان اطراف معدن مس بوانات انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین غلظت مس در اندام زمینی درمنه (۵۲/۷۹) در منطقه معدنی بوانات است. محاسبه شاخص‌های بیوژئوشیمیایی نشان داد که بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به عنصر منگنز در در بادام (۳/۶۵) و بیشترین میزان فاکتور تمرکز زیستی مربوط به سرب در انگور (۰/۶۰) است. به طور کلی حضور معدن مس بوانات بر توزیع غلظت عناصر مورد بررسی در خاک و گیاهان بومی منطقه مؤثر بوده است. شکری و شبان (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر معدن مس بر آلودگی آب‌های پایین دست معدن مس بوانات انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت عناصر آلومینوم، سرب، مولبدن و کادمیوم در آب رودخانه بوانات به‌طور میانگین به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۹، ۱/۳۵ و ۰/۴ بوده و در آب زیرزمینی به ترتیب ۰/۸، ۰/۳، ۰/۰۶ و ۰/۲ می‌باشد. مقایسه غلظت این عناصر در آب‌های زیرزمینی و سطحی با معیارهای کیفی استانداردهای جهانی نشان می‌دهد غلظت این عناصر از نظر مصارف مختلف در حد نامطلوب می‌باشد.

نوذری و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان بررسی

هوایی خود نسبت به سایر گونه‌ها داشت. محاسبه فاکتور انتقال (نسبت غلظت فلز در ساقه به ریشه گیاه) و در بین فلزات مس و روی و نیکل فاکتور انتقال مس کمترین میزان و فاکتور انتقال روی دارای بیشترین مقدار بود. در گونه آمانیا فاکتور انتقال نیکل بیشتر از روی بود (Manab & Maiti, 2013). به طور کلی نتایج نشان می‌دهند که این گونه‌های بومی را می‌توان برای گیاه پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین مس، کادمیوم، آهن و روی استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی گیاهانی که در مناطق معدنی رشد مناسبی دارند، با توجه به تجمع بالای فلزات سنگین در خاک این مناطق و در نتیجه در پیکره آن‌ها، می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای گیاه پالایی در خاک مناطق صنعتی حاوی فلزات سنگین با شرایط مشابه اقلیمی در نظر گرفته شود.

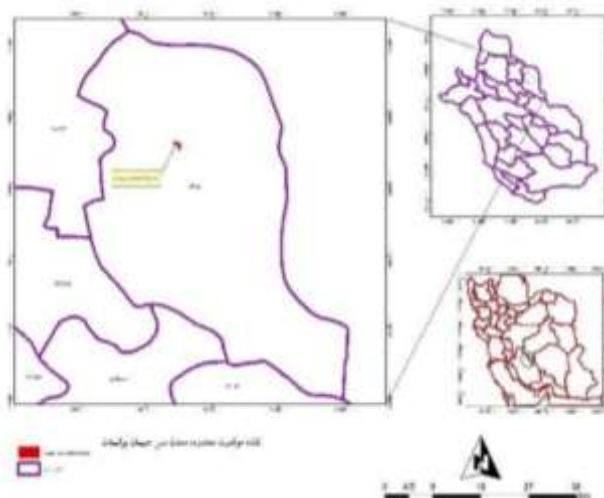
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

از لحاظ جغرافیایی منطقه مورد مطالعه شهرستان بخشی از باغات (بوانات) به مرکزیت سوریان، در شمال شرق استان فارس با مختصات جغرافیایی  $53^{\circ}22'$  و  $35^{\circ}$  شرقی تا  $52^{\circ}41'$  و  $35^{\circ}$  و  $53^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $12''$  و  $27'$  و  $30^{\circ}$  شمالی تا  $39^{\circ}13'$  و  $27'$  و  $30^{\circ}$  شمالی واقع شده است و در فاصله تقریبی ۲۰۰ کیلومتری شیراز، ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی خرم بید و ۶۵ کیلومتری شمال شرقی سعادت شهر قرار دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

راهکارهای مدیریتی کاهش آلودگی معادن مس، راهکارهای جهت کاهش هزینه‌های آینده با رویکرد مقاومتی (مطالعه موردی معدن مس بوانات) انجام دادند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی ارائه شده در این تحقیق عبارتند از: ۱- کاشت درختان سازگار با منطقه نظیر درختان مثمر ثمر از جمله بادام اهلی و وحشی، گردو، انجیر، انگور، پسته، بنه و گونه‌های گون، سالسولا و افدرا جهت جذب عناصر سنگین، به عنوان فضای سبز ۲- نصب فیلتر و یا تصفیه خانه برای پساب خروجی ۳- عایق بندی کف حوضچه دریاچه پساب، ایجاد کانال سیمانی اطراف معدن جهت کنترل زه آب‌های سطحی ناشی از بارندگی ۴- حذف باطله‌های معدنی از کنار حوضچه‌های آب به‌ویژه گوراب (طرح آبخوانداری جنب معدن در دره بدره ۵- استفاده از سایر روش‌ها جهت برداشت از جمله برداشت تونلی و زیرزمینی به جای برداشت سطحی.

Yoon و همکاران (2015) نمونه‌هایی از باطله و گیاهان بومی منطقه را در معدن متروکه مس Rakha واقع در ایالت Thankhand هند برداشت و پس از بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای تعیین میزان تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی بومی، علف ارزنی، درنه سرخه، آمانیا و کرفو را آنالیز کردند. نتایج نشان داد که باطله‌ها غلظت‌های بالایی از مس و نیکل دارد و اسیدپته متوسط و مقدار کمی عناصر مغذی دارد. گونه کرفو مقادیر قابل توجهی نیکل و روی در ریشه و مقادیر بیشتری منگنز در ریشه و اندام‌های هوایی نسبت به چهار گونه داشت. بالاترین غلظت متوسط مس در بافت‌های زیرزمینی گونه آمانیا مشاهده شد. گونه علف ارزنی مقادیر بیشتری از مس و نیکل در اندام‌های



شکل ۱- نقشه موقعیت معدن مس بوانات

نشود. عامل اصلی در افزایش سولفات، مدت تماس آب با سنگ است، به همین دلیل میزان سولفات معدن بوانات به علت توقف طولانی مدت آب در مخزن ۱ کلون بیشتر است. همچنین قابل ذکر است که غلظت سولفات در تابستان در بیشتر موارد افزایش داشته است که به علت کاهش دبی بر میزان انحلال یون سولفات در آب است. به طور کلی به نظر می‌رسد مشکل حادی از نظر ورود سولفات به آب‌های جاری وجود ندارد (۵/۱۳٪ بیشتر از حد استاندارد است).

**BOD:** اکسیژن‌خواهی زیست‌شناختی، میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها برای اکسایش بیوشیمیایی مواد آلی موجود در نمونه و در حقیقت میزان مواد آلی نمونه آب را نشان می‌دهد. مقادیر BOD بالاتر از حد استاندارد (۳۰ پی پی ام) بوده و باعث افزایش BOD رودخانه‌های پایین دست محل ورود به آن شده‌اند. اما در فصل تابستان در BOD رودخانه، تأثیری نداشته‌اند. این امر به افزایش فعالیت زیست‌شناختی در فصل تابستان مربوط می‌شود.

**COD:** COD یک پساب و یا آب آلوده، میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش مواد اکسید شونده موجود در آن است. مقدار COD به طور معمول با استفاده از یک عامل اکسید کننده قوی در محیط اسیدی، قابل اندازه‌گیری است. میزان COD معدن مس بوانات، بیشتر از حد استاندارد (۶۰ پی پی ام) است اما باعث افزایش قابل توجه COD آبراهه‌ها نشده‌اند. به نظر می‌رسد اگر زهاب در یک مسیر با شیب تند

نمونه‌برداری از آب‌های سطحی در طول رودخانه بوانات از ۱۴ نقطه و آب‌های زیرزمینی از ۹ رشته قنات واقع در منطقه معدنی مس انجام گرفته است. این نمونه‌ها در بطری تمیز ۵۰ میلی‌متری که قبلاً اسیدشویی شده بودند جمع‌آوری شدند و پس از برداشت ۲ تا ۳ قطره اسید نیتریک به آن اضافه گردید تا از ته نشست عناصر جلوگیری گردد. میزان pH آب هنگام برداشت اندازه‌گیری و یادداشت گردید. نمونه‌های آب برای تجزیه عنصری با دستگاه ICP-MS به روش ۲C به آزمایشگاه ارسال گردیدند. سعی گردیده نمونه‌برداری در هنگام فعالیت معدن در طی فصل بهار و تابستان و با سه بار تکرار صورت گرفته است. با آنالیز نمونه‌ها، میزان عناصر سنگین در آب رودخانه و قنات‌های موجود در منطقه معدنی تعیین و مقدار آن با حد مجاز و استاندارد مقایسه گردید.

**EC:** هدایت الکتریکی آب رابطه مستقیمی با میزان املاح دارد و حد استاندارد آن برای آب آشامیدنی ۵۰۰ ms/cm است. مطالعات نشان داده است که EC زهاب همه معدن بیشتر از استاندارد است و همچنین در همه موارد زهاب منطقه باعث افزایش EC آب‌های سطحی شده است (۳/۳۴٪ بیشتر از حد استاندارد است).

سولفات: میزان سولفات موجود در زهاب معدن بوانات بیشتر از حد استاندارد است اما دبی کم زهاب تونل‌ها در مقایسه با آبراهه‌ها باعث شده که تغییر محسوسی در آبراهه‌ها دیده

خاک‌های منطقه پی برد.

به منظور بررسی میزان تأثیر معدن مس بوانات بر آلودگی گیاهان این منطقه لازم است که به بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان بومی پرداخته شود تا بتوان با استفاده از تجزیه و تحلیل آن به میزان آلودگی آن پی برد. برای تهیه نمونه‌های گیاه، نمونه‌های از منطقه برداشت شد. اندام‌های هوایی و زمینی گیاهی پس از برداشت و شستشوی کامل با آب معمولی و سپس با آب مقطر، تفکیک شدند. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در اون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک و نمونه‌ها به تفکیک اندام هوایی و زمینی به قطعات ریزتر تقسیم و در دستگاه آسیاب خرد شدند. پس از آسیاب هر نمونه، برای کاهش خطا، قطعات داخلی آسیاب که در تماس با نمونه بوده با آب و سپس الکل صنعتی شسته و خشک شد. نمونه‌ها برای آنالیز با دستگاه جذب اتمی به آزمایشگاه شیمی شیراز برای تعیین غلظت عناصر فرستاده شد. غلظت نمونه‌های برداشت شده، داده‌های حاصل با مقدار غلظت استاندارد جهانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## نتایج

### میزان حضور فلزات سنگین در نمونه‌های آب

غلظت عناصر سنگین (آلومینیم، سرب، کادمیوم و مولیبدن) در ۱۴ نقطه از آب رودخانه بوانات برداشت و مورد آنالیز قرار گرفته است. بیشترین فاکتور غنی شدگی در آب رودخانه بوانات مربوط به عنصر مولیبدن بوده و کمترین غلظت مربوط به عنصر کادمیوم می‌باشد. ترتیب فراوانی غلظت عناصر موجود در آب رودخانه به صورت  $Cd < Pb < Al < Mo$  می‌باشد. پهنه‌بندی غلظت این عناصر نشان می‌دهد از سمت محل معدن مس بوانات به سمت پایین دست منطقه در حال افزایش می‌باشد. جدول ۱ مقادیر میزان مقادیر عناصر سنگین در آب رودخانه بوانات را نشان می‌دهد.

جریان رفته و به شدت آشفته شود به علت هواگیری COD آن پیش از ورود با آب‌های جاری به شدت کاهش خواهد داشت. در ضمن این پارامتر در تابستان رو به کاهش می‌رود. زیرا کاهش دبی باعث کاهش انحلال کربن از منابع مختلف می‌شود.

### روش‌های آنالیز

به منظور بررسی تأثیر معدن مس بوانات بر محیط‌زیست منطقه ضروری بود تا آب، سنگ‌ها و خاک، گیاهان و حتی زهاب‌ها و آبراه‌های آن‌ها از نظر آلودگی مورد بررسی قرار گیرند.

به منظور بررسی تأثیر معدن مس بر آلودگی آب‌های منطقه بوانات، در دو نوبت فروردین و مرداد سال ۱۳۹۹ از منطقه نمونه‌برداری شد. با توجه به آمار ۳۰ ساله دبی رودخانه فروردین و مردادماه، به ترتیب بیشترین و کمترین دبی ماهانه را دارد. نمونه‌برداری از آب‌های سطحی در طول رودخانه بوانات از ۱۴ نقطه و آب‌های زیرزمینی از ۹ رشته قنات واقع در منطقه معدنی مس انجام گرفته است.

جهت تعیین غلظت عناصر در آب‌های منطقه بوانات نمونه‌ها به طور دست نخورده جهت آنالیز به آزمایشگاه آب شیراز منتقل گردیده است. پس از تعیین غلظت نمونه‌های برداشت شده، داده‌های حاصل با مقدار غلظت استاندارد جهانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

به منظور بررسی میزان تأثیر معدن مس بوانات بر آلودگی خاک و سنگ‌های منطقه ضروری است که در ابتدا مقادیر عناصر موردنظر در سنگ‌ها و خاک منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. نمونه‌های خاک و سنگ منطقه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری از خاک پای نمونه‌های خاک برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌های خاک در هوای اتاق و آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز IPC (OES) به شرکت مطالعات مواد معدنی شیراز برای تعیین غلظت عناصر فرستاده شد. سپس تأثیر حضور معدن بوانات بر نحوه توزیع این عناصر در خاک بررسی شود تا بتوان با استفاده از مقایسه میزان غلظت‌ها به میانگین آلودگی ناشی از حضور معدن مس بر سنگ‌ها و

جدول ۱- مقادیر غلظت عناصر سنگین در آب رودخانه منطقه بوانات (ppm)

شماره نمونه	کادمیوم	آلمینیوم	مولیبدن	سرب	Y	X
۱	۰/۹۵۰	۰/۷۲۱	۰/۴۶۰	۰/۵۵۰	۳۲۹۹۲۰۷	۳۹۰۵۴۲
۲	۰/۱۹۰	۰/۷۳۰	۱/۶۴۰	۱/۰۹	۳۳۱۷۷۲۹	۳۹۰۷۶۷
۳	۰/۷۷۰	۱/۰۷۵	۰/۸۶۰	۰/۷۶۰	۳۳۱۷۷۶۵	۳۹۰۷۸۵
۴	۰/۸۹۰	۰/۳۹۰	۱/۶۲۰	۰/۸۰۰	۳۳۱۹۴۲۸	۳۹۰۸۴۶
۵	۰/۶۳۰	۰/۶۰۰	۱/۰۶	۱/۵۳	۳۳۱۹۵۳۸	۳۹۰۸۶۶
۶	۰/۶۹۰	۰/۶۹۰	۱/۸۳۰	۱/۱۰۵	۳۳۱۹۵۷۳	۳۹۰۸۶۵
۷	۰/۵۸۰	۰/۳۶۰	۱/۵۹	۰/۵۸	۳۳۲۱۲۰۳	۳۹۰۷۸۳
۸	۰/۹۸۰	۱/۶۰	۱/۵۰	۰/۶۵	۳۳۲۳۲۰۳	۳۸۹۲۲۵
۹	۰/۶۸	۰/۶۹۸	۰/۸۹۰	۰/۲۵۰	۳۳۲۵۰۶۱	۳۸۹۲۴۰
۱۰	۰/۶۸۵	۰/۸۶۰	۱/۵۴	۱/۱۶۰	۳۳۲۵۱۳۶	۳۸۹۲۱۵
۱۱	۰/۷۵۰	۰/۶۴۰	۱/۹۰۰	۰/۴۸۰	۳۳۲۶۷۶۶	۳۸۹۲۳۴
۱۲	۱/۰۷۵	۰/۷۰۰	۱/۸۴۰	۰/۸۹۰	۳۳۲۶۷۶۴	۳۸۹۲۳۲
۱۳	۰/۳۰۰	۰/۷۴۰	۱/۰۱	۰/۳۷۰	۳۳۳۰۵۶۶	۳۸۹۳۸۵
۱۴	۰/۲۸۰	۰/۴۳۰	۱/۱۹	۰/۴۶۰	۳۳۳۰۵۲۸	۳۸۹۲۸۴

غلظت این عناصر در ۹ حلقه قنات در منطقه معدنی نمونه برداری شد. جدول ۲ مقادیر میزان مقادیر عناصر سنگین در آب قنات پایین دست منطقه معدنی بوانات را نشان می دهد. نتایج آنالیز نشان می دهد میانگین غلظت عناصر آلومینیوم و کادمیوم به ترتیب بیشترین و کمترین غنی شدگی را در آب زیرزمینی دارا می باشد. هم چنین ترتیب

فراوانی غلظت عناصر به صورت  $Cd < Pb < Mo < Al$  می باشد (جدول ۲). غلظت این عناصر را در آب زیرزمینی نشان می دهد. جدول ۳ مقادیر میانگین عناصر سنگین در آب های سطحی و زیرزمینی منطقه با مقادیر استانداردهای جهانی را نشان می دهد.

جدول ۲- مقادیر غلظت عناصر سنگین در آب قنات منطقه بوانات (ppm)

شماره نمونه	کادمیوم	آلمینیوم	مولیبدن	سرب	Y	X
قنات شماره ۱	۰/۳۱۰	۰/۶۲۰	۰/۶۴۰	۰/۴۱۵	۳۳۳۶۹۰۷۱	۳۹۵۱۸۳
قنات شماره ۲	۰/۰۸۵۰	۱/۰۷۰	۰/۲۲۰	۰/۲۷۵	۳۳۶۷۷۶۰	۳۸۹۸۳۲
قنات شماره ۳	۰/۱۲۰	۰/۸۳۰	۰/۲۹۶	۰/۳۸۵	۳۳۶۷۵۶۸	۳۹۰۴۷۰
قنات شماره ۴	۰/۱۳۰	۰/۷۹۰	۰/۲۳۰	۰/۴۰۰	۳۳۶۶۴۱۳	۳۸۹۰۳۱
قنات شماره ۵	۰/۰۷۸۰	۰/۶۰۰	۱/۹۹۰	۰/۲۳۰	۳۳۶۵۷۷۵	۳۹۰۶۱۰
قنات شماره ۶	۰/۳۲۰	۰/۶۴۰	۰/۶۹۰	۰/۷۰۰	۳۳۶۵۹۸۵	۳۹۰۲۳۸
قنات شماره ۷	۰/۱۸۰	۰/۹۷۰	۱/۵۷۰	۰/۲۷۰	۳۳۵۸۲۱۸	۴۰۰۹۱۶
قنات شماره ۸	۰/۱۶۵	۱/۳۵۰	۰/۲۶۵	۰/۴۱۰	۳۳۴۰۸۴۶	۴۰۲۰۸۱
قنات شماره ۹	۰/۱۶۰	۰/۹۵۰	۱/۳۲۰	۰/۴۸۰	۳۳۳۵۹۹۴۷	۴۰۰۹۴۱

## میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ و خاک منطقه

مطالعه قرار گیرد سپس تأثیر حضور معدن بوانات بر نحوه توزیع این عناصر در خاک بررسی شود. در جدول ۳ غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ برداشت شده و در جدول شماره ۴، مقادیر دیگر پارامترها فیزیکوشیمیایی (pH, EC و غیره) اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک آورده شده است.

در طبیعت حرکت فلزات از سنگ به خاک و سپس به بدن موجود زنده است. به همین دلیل ضرورت دارد که در ابتدا مقادیر عناصر موردنظر در سنگ‌ها و خاک منطقه مورد

جدول ۳- متوسط غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

نمونه های سنگ	CU	Pb	Zn	Ni	Mn
بازالت	۱۹۵/۳۴	۱۲	۷۷/۷۹	۲۶	۹۶۸
تراکی بازالتی	۱۲۰/۴۲	۱۵/۲	۸۳/۱۱	۲۴/۳۴	۱۰۳۴/۹

مهیا ساخته است که خود عامل مهمی در تمرکز فلزات سنگین در خاک محسوب می‌شود.

خاک منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شرایط قلیایی دارد و محیط مناسبی برای رسوبگذاری فلزات سنگین را

جدول ۴- متوسط غلظت عناصر سنگین و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های خاک

نمونه های خاک			پارامتر
منطقه پائین دست	منطقه معدنی	منطقه بالادست	
منطقه معدنی بوانات	بوانات	معدن مس بوانات	
۷۰	۶۵۷۲	۸۴	Cu (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۵۰	۹۷	۶۱	Pb (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۷۹	۱۱۲	۷۲	Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۷۳	۸۱	۷۰	Ni (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۶۴۱	۱۰۱۱	۷۹۴	Mn (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۸/۳۰	۸/۲۶	۸/۳۰	ph
۹/۳۴	۱۰/۷۷	۹/۳۴	EC
۳/۸۷	۳/۴۹	۲/۱۹	ماده آلی (%)
۹۳	۸۰	۷۶	ماسه (%)
۱/۹	۵/۲	۴	سیلت (%)
۶/۳۷	۱۰/۵	۵/۸۵	رس (%)
ماسه ای	لوم ماسه ای	ماسه لومی	بافت

بالاترین غلظت مس، سرب، روی، نیکل و منگنز در منطقه معدنی مس بوانات مشاهده شده است که این امر نشان دهنده تأثیرگذاری حضور معدن مس بوانات بر توزیع این عناصر در خاک منطقه دارد. همچنین اگر به غلظت عناصر در قسمت بالادست و پائین دست منطقه توجه کنیم متوجه می‌شویم که هر چه از منطقه معدن مس به سمت پائین دست حرکت کنیم از غلظت این عناصر کاسته می‌شود و به غلظت آن در منطقه بالادست معدن نزدیک می‌شود که این

با توجه به مقادیر متوسط غلظت عناصر سنگین در سنگ و نمونه‌های خاک تهیه شده (جدول شماره ۳ و ۴) به این نتیجه می‌رسیم که غلظت عناصر سنگین مورد نظر در این پژوهش (مس، سرب، روی، نیکل و منگنز) در نمونه‌های خاک منطقه معدنی مس بوانات بیشتر از غلظت آن‌ها در نمونه‌های سنگ است. که این امر می‌تواند طی فرایندهای هوازدگی، انحلال، شستشو و دگرسانی از سنگ اتفاق افتاده باشد. همان‌طور که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود

، روی، منگنز و نیکل در خاک این منطقه نسبت به مناطق دیگر این امر را تأیید می‌کند. مقادیر CEC محاسبه شده با توجه به جدول ۵ (مقدار CEC انواع کلوئیدهای خاک) در گستره ۳-۱۵ (meq/100g) قرار می‌گیرد که حاکی از حضور بیشتر کانی رس کائولن با CEC اندک می‌باشد.

خود می‌تواند تأییدی بر تأثیر منطقه معدن مس بر کیفیت خاک منطقه باشد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقادیر EC در خاک منطقه بالا است. بالا بودن EC در خاک منطقه معدنی مس بوانات نسبت به دو منطقه دیگر نشان دهنده تمرکز بیشتر عناصر در این منطقه می‌باشد که بالا بودن مس، سرب

جدول ۵- مقدار CEC انواع کلوئیدهای خاک

نام کلوئید	CEC (meq/100g)
هوموس	۳۰۰-۱۰۰
ورمیکولیت	۱۵۰-۸۰
مونت موریلونیت	۱۰۰-۶۰
ایلیت	۴۰-۲۵
کائولن	۱۵-۳
هیدروکس هادی آهن و منگنز	۴

غلظت فلز نیکل، مس، روی، منگنز و سرب در اندام هوایی گیاه بادام بیشتر است. هم‌چنین میزان تجمع این فلزات در منطقه معدن مس نسبت به دو منطقه دیگر بیشتر است. **درمنه:** این گیاه فلزات منگنز، نیکل، روی و مس را بیشتر در اندام‌های زمینی و سرب را در اندام‌های هوایی خود مجتمع کرده است.

بیشترین میزان غلظت نیکل در اندام زمینی درمنه (در منطقه بالادست منطقه معدنی مس با غلظت ۱۳/۲۵)، بیشترین میزان غلظت مس در اندام زمینی درمنه (در منطقه معدنی مس با غلظت ۵۳/۷۹)، بیشترین میزان غلظت سرب در اندام هوایی انگور (در منطقه معدنی مس با غلظت ۲)، بیشترین میزان غلظت منگنز در اندام زمینی درمنه (در منطقه معدنی مس با غلظت ۱۰۳/۶) و بیشترین میزان غلظت روی در اندام هوایی بادام (در منطقه معدنی مس با غلظت ۲۲/۶۳) وجود دارد.

در جدول ۷ نیز حد نرمال و بحرانی نیکل، مس، روی، منگنز و سرب در گیاه ارائه شده است.

#### غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاه

به دلیل اینکه گیاهان اولین و مهم‌ترین عامل در انتقال فلزات از خاک به زنجیره غذایی هستند، در این بخش به بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان بومی پرداخته شده است. غلظت فلزات سنگین به تفکیک اندام هوایی و زمینی در ۳ گونه گیاهی شامل بادام، انگور و گیاه مرتعی درمنه به تفکیک در جدول ۶ آورده شده است. علت اهمیت میزان غلظت عناصر سنگین در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه این است که تمامی گونه‌های مورد بررسی به عنوان گیاهان خوراکی و دارویی و مورد چرای دام شناخت شده و برداشت می‌شوند.

**انگور:** همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود میزان غلظت عنصر منگنز و سرب در اندام هوایی این گیاه نسبت به اندام‌های زمینی آن بیشتر است (میزان تجمع این دو عنصر در منطقه معدنی مس بیشتر از دو منطقه دیگر است). که این امر نشان دهنده تحرک بالای این عنصر در گیاه انگور است. میزان غلظت نیکل، مس و روی در اندام‌های زمینی این گیاه نسبت به اندام‌های هوایی بیشتر است. میزان تجمع روی در گیاه انگور در اندام‌های زمینی بیشتر از اندام‌های هوایی آن است.

**بادام:** با توجه به داده‌های جدول ۶ مشاهده می‌شود میزان



جدول ۶- غلظت عناصر سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی

عنصر	انگور		بادام		درمنه		
	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	
Ni	۴/۳۴	۶/۹۵	۸/۳۹	۷/۳۶	۶/۳۹	۱۳/۲۵	
Cu	۸/۷۵	۱۳	۱۱/۴۷	۱۰	۸/۹۶	۱۴/۱۵	
Pb	۱	۰/۴۹	۱/۱۹	۰/۹۹	۱/۱۹	۱/۰۱	منطقه شاهد
Mn	۵۰	۳۳/۹۸	۴۰/۳۹	۲۰	۳۶/۰۵	۵۲/۴۲	
Zn	۱۳	۱۶/۰۶	۱۴/۰۶	۱۲/۰۸	۱۱	۸/۳۳	
Ni	۴/۶۲	۵	۸	۶/۳۳	۴/۳۶	۸	
Cu	۱۲/۰۸	۱۴	۱۶	۱۳/۰۴	۱۹	۵۳/۷۹	منطقه معدنی
Pb	۲	۱/۴۴	۱/۱۸	۱/۶۹	۱/۳۹	۰/۴۷	مس
Mn	۸۰/۱۴	۶۲	۴۳	۱۹/۳۱	۴۰/۹	۱۰۳/۶	
Zn	۱۱/۰۹	۲۴	۲۲/۶۳	۱۱/۰۷	۱۱/۶	۲۰/۰۷	
Ni	۴/۱۱	۶	۶/۹۸	۴/۶۱	۵/۸	۱۰	
Cu	۱۱	۱۲/۷۱	۱۴/۶۵	۱۴/۳۱	۱۰/۲۹	۲۰	پایین دست
Pb	۱/۷۶	۱/۴۹	۱	۱/۷	۱/۷۱	۰/۳	منطقه معدن
Mn	۴۰	۲۱	۴۰/۴۱	۱۹/۱۱	۲۸/۹	۴۲	مس
Zn	۱۱/۹	۱۸/۸۵	۱۷	۱۴	۸/۵	۲۰/۸۶	

جدول ۷- حد نرمال و بحرانی عناصر در گیاه بر حسب mg/kg

حد غلظت	Ni	Cu	Pb	Zn	Mn
نرمال	۵۵-۰,۰۲	۲۰۵-۵	۵۵-۰,۲۰	۱۰۰-۲۷	۱۰۵-۱۵
بحرانی	۱۰۰-۱۰	۱۰۰-۲۰	۳۰۰-۳۰	۴۰۰-۱۰۰	۵۰۰-۱

Kabata-Pendias and Pendias 2001  
50- Alloway. 1990

آب برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی کاهش می‌یابد. هم‌چنین بر اثر نفوذ آب، فلزات سنگین موجود مانند Ni, Cu, Pb, Mn و غیره آزاد شده و باعث ایجاد بیماری‌های مختلف در انسان می‌شود.

گیاهان اطراف منطقه معدن مس بوانات نیز با فلزات سنگین آلوده می‌گردند و قسمت وسیعی از منطقه، عاری از پوشش گیاهی شده است. بدین ترتیب فرسایش‌های بادی نیز بر معضلات منطقه افزوده‌اند. با توجه به تمامی این موارد پیشنهادهایی در زمینه آب و خاک اطراف معدن مس بوانات و معادن مشابه آن احساس می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که گیاهانی که در اطراف مناطق معدن کاری معدن مس بوانات قرار دارند غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین مرتبط با معدن را خواهند داشت که ناشی از تصاعدات فعالیت‌های معدن کاری در منطقه و جذب این فلزات از این‌گونه خاک‌ها می‌باشد.

## بحث

مهم‌ترین اثر معدن کاری در بوانات مربوط به ورود زهاب معادن به آب‌های سطحی است که موجب افزایش مقادیر Ni, Cu, Pb, Mn, Zn است. علت اصلی افزایش این عوامل، دفع نادرست باطله‌هاست. ورود زهاب معادن باعث افزایش شوری و مواد آلی موجود در آب‌های سطحی شده و کیفیت

## منابع

- تعیین غلظت عناصر کمیاب در خاک و گیاهان اطراف معدن مس میدوک. مجله زمین‌شناسی اقتصادی. جلد ۶، ش ۲، صفحات ۳۰۵ تا ۳۱۴.
۸. نوذری، ه. و شکری، خ.، ۱۳۹۸. راهکارهای مدیریتی کاهش آلودگی معادن مس، راهکارهای جهت کاهش هزینه‌های آینده با رویکرد مقاومتی (مطالعه موردی معدن مس بوانات. اولین همایش ملی مدیریت با رویکرد اقتصاد مقاومتی. آباده.
9. **Alipoor, S., 2015.** Basics of biogeochemical exploration in the discovery of mineral deposits and environmental studies. Urmia University Press. 319 p.
10. **Manab, D. and Maiti, S.K., 2013.** Metal Accumulation in 5 Native Plants Growing On Abandoned Cu-Tailing Ponds. Journal of Applied Ecology and Environmental Research. Vol. 5, No. 1, pp: 27-35.
11. **Yoon, J.; Cao, X.; Zhou, Q. and Ma, L.Q., 2015.** Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment. Vol. 368, pp: 456-664.
۱. چراغی، م؛ دادالهی، س؛ صفاهیه، ع؛ غانمی، ک. و دورقی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه گیاه حرا در استان خوزستان. مجله علوم و فنون دریایی. دوره ۱۱، شماره ۴، صفحات ۴۷ تا ۵۶.
۲. خمسه، م؛ حمیدیان، ا؛ زارع چاهوکی، م؛ میرجلیلی، ع؛ متشروع زاده، ب. و اسماعیل‌زاده، ع.، ۱۳۹۵. تعیین غلظت فلزات سنگین (Cu و Pb، Zn) در ریشه گیاه درمنه در اراضی طبیعی اطراف معدن مس دره زرشک، تفت، یزد. مجله محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران. دوره ۶۹، شماره ۱، صفحات ۳۵ تا ۴۶.
۳. دهرآزما، ب؛ شمسی، ر؛ اصغری، ح. و صادقیان، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر معدن متروکه مس چغندر سر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه (جنوب غرب عباس‌آباد). نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن. دوره ۱۰، شماره ۲۷، صفحات ۸۱ تا ۹۴.
۴. سلماسی، ر.، ۱۳۸۶. بررسی تأثیرات معدن مس سونگون بر محیط زیست. اولین همایش زمین‌شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران.
۵. شکری، خ. و شبان، م.، ۱۳۹۸. بررسی تأثیر آلودگی‌های معدن مس بر روی خاک و گیاهان اطراف معدن مس بوانات. مطالعات علوم محیط زیست. دوره ۴، شماره ۴، صفحات ۲۱۰۷ تا ۲۱۱۳.
۶. غضنفری مقدم، م. و اورعی، ج.، ۱۳۹۸. بررسی پراکنش عنصر مس در خاک تحت تأثیر فعالیت‌های معدن مس میدوک (شهر بابک). علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۲۱، شماره ۲، صفحات ۱۰۱ تا ۱۱۰.
۷. مر، ف؛ دهقانی، ش. و کشاورزی، ب.، ۱۳۹۳.

## Investigation of the Impact of Bavanat Copper Mine On the Environment of the Region

Khodakaram Shokri<sup>1\*</sup> Majid Shaban<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> - Environment Department, Islamic Azad University, Abadeh Branch, Abadeh, Iran.

### Abstract

Mining wastes are one of the most dangerous environmental pollutants which, if not removed, enter the surface and groundwater, causing toxic complexes and potential risks to humans and ecosystems. They create an environment. Because ore makes up a small portion of the total volume of minerals mined, mines will have a lot of waste. In the metal industry, the production of copper, lead and zinc cause the most damage to the environment. Copper Mining Operations Generate Extensive Mineral Waste Melting Zinc and Lead Introduces large amounts of cadmium and lead into the environment. The growth of gases and particulate matter, the production of polluted effluents and solid waste are the result of melting and refining metals. Soil contamination with heavy metals is a serious problem associated with metal smelting. In order to study the effects of the studied mine on the environment, it is necessary to examine the water, rocks and soil, plants and even their drains and waterways in terms of pollution. Findings of this study show that Bavanat copper mine has a significant effect on the level of pollution in water, soil and plants in the region.

**Key words:** Bavanat Copper Mine, Soil, Heavy Metals, The Environment