



## بررسی پراکنش زمین‌شیمیایی آرسنیک ناشی از کانه‌زایی طبیعی و معدن کاری در رسوبات آبراهه‌ای محدوده معدن ساری‌گونی

علیرضا مرادیان هره‌دشت<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، تالش armh22@gmail

### چکیده

در این پژوهش به بررسی غلظت آرسنیک در رسوبات حوضه آبریز معدن ساری‌گونی پرداخته می‌شود. داده‌های سال‌های پیش از شروع فعالیت معدن و با داده‌های پس از فعالیت معدن مقایسه گردید تا تغییرات غلظت آرسنیک و نقش فعالیت‌های معدن کاری در آزادسازی آن در رسوبات منطقه در طی یک دهه، فعالیت این معدن بررسی شود. مقایسه غلظت عنصر آرسنیک در رسوبات منطقه مورد مطالعه با بیشینه غلظت مجاز آرسنیک در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که قبل از شروع معدن کاری غلظت آرسنیک در بیشتر نمونه‌های از استاندارد بالاتر می‌باشد. با توجه با ماهیت زمین‌شناسی منطقه منشأ اصلی آرسنیک در نمونه‌های رسوب حوضه معدن ساری‌گونی رخداد فعالیت‌های آتشفشانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و نقش معدن کاری در افزایش غلظت آرسنیک مشهود نمی‌باشد درواقع این عنصر به صورت طبیعی در سنگ‌های نفوذی این منطقه وجود دارد و هوازدگی سنگ‌ها در طول زمان موجب آزاد شدن این عنصر و انتقال آن به رسوبات شده است. نمونه‌هایی که در سال ۱۴۰۱ از پایین‌دست محل انباشت کومه‌های باطله برداشت شده، تغییری در میزان غلظت آرسنیک در رسوبات را نشان نمی‌دهد که می‌تواند نشانگر سرعت بسیار کم حرکت عناصر سنگین به آبراهه باشد که علت آن سرعت کم هوازدگی به علت بارش کم و تیخیر بسیار بالای منطقه مورد مطالعه، همچنین طی نشدن زمان لازم برای هوازدگی کامل کانه‌های آرسنیک دار موجود در کومه‌های سنگ باطله باشد.

### واژه‌های کلیدی

آرسنیک، زمین‌شیمی، زمین‌شیمی زیست‌محیطی، ساری‌گونی، قروه



## ۱. مقدمه

محیط‌زیست از ارکان توسعه پایدار تمامی کشورها است و بی‌توجهی به مسائل زیست‌محیطی می‌تواند باعث آسیب به منابع طبیعی و انسانی شود و اثرات ناگواری بر کره خاکی و جوامع بشری بگذارد، از زمانی که تأثیر مواد شیمیایی آلی و معدنی بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها مشخص شد، همواره نگرانی‌های در خصوص امکان تأثیرات نامطلوب این مواد، دغدغه جوامع ساکن و یا ذی‌نفعان مناطق اطراف صنایع و معادن مستقر در حوزه فعالیت صنایع و معادن مختلف بوده که به روش‌های مختلف بروز داده می‌شود. از زمانی که کاربرد علم زمین‌شیمی در تشخیص انواع آلودگی‌های محیط‌زیست افزایش یافت به‌ویژه در سال‌های اخیر از زمین‌شیمی زیست‌محیطی، در مطالعات آب‌و‌خاک به طور گسترده‌ای استفاده گردیده است. استفاده از این علم یکی مطمئن‌ترین روش‌ها برای برآورد دقیق میزان آلودگی و منشأیابی آن می‌باشد. به دلیل ثبات آلاینده‌ها از یک طرف و عدم تغییرات فصلی در غلظت فلزات سنگین در رسوبات، بهره‌گیری از علم زمین‌شیمی تحت عنوان زمین‌شیمی زیست‌محیطی، به‌عنوان یک روش موثق و مطمئن در بین علوم زیست‌محیطی جایگاه ویژه‌ای یافته است.

باتوجه‌به اینکه بسیاری از آلودگی‌های عناصر سمناک حاصل از هوازدگی و تجزیه سنگ‌ها، کانی‌ها و فرایندهای زمین‌شناختی مرتبط با فعالیت آتشفشانی می‌باشد، معادنی که در این نوع مناطق قرار دارند، یکی از نقاط مستعد تولید این نوع از آلاینده می‌باشند. این آلاینده‌ها می‌توانند با ورود به چرخه‌های زمین‌شیمیایی و زیست‌زمین‌شیمیایی (آب، رسوب، خاک، گیاه، هوا و ...)، وارد چرخه حیاتی جانوران و گیاهان شوند و به ایجاد ناهنجاری‌ها و مشکلات زیست‌محیطی منجر شوند [10].

آرسنیک در طبیعت، در سنگ‌ها، خاک‌ها، آب‌ها، رسوبات، گیاهان، جانوران و هوا یافت می‌شود. پراکنش آرسنیک گستره زیادی داشته و از لحاظ فراوانی دارای بیستمین رتبه در پوسته زمین، چهاردهمین در آب دریا و دوازدهمین در بدن انسان است [7]. آرسنیک یکی از عناصر مهم بالقوه سمی است که انتشار آن در جهان عمدتاً در مناطق با ذخایر طلا و چشمه‌های زمین‌گرمایی و تراورتن ساز می‌باشد. به طور معمول تمرکز بالای آرسنیک در مناطقی رخ می‌دهد که منابع ژئوترمال یا آب‌های زیرزمینی غنی از آرسنیک وجود داشته باشد [12]. آرسنیک به طور گسترده‌ای در تمام بخش‌های زمین در غلظت‌های مختلف توزیع شده است. میانگین غلظت آرسنیک در پوسته قاره‌ای، ۱.۵ ppm تا ۲ ppm است. میانگین غلظت آرسنیک در سنگ‌های آذرین، بازه‌ای، در حدود ۱.۵ تا ۳ ppm است. آرسنیک در رسوبات، نسبت به سنگ‌های آذرین غنی‌شدگی نشان می‌دهد و به طور معمول ۱.۷ تا ۴۰۰ ppm است [13]. منبع اصلی انسان‌زاد آرسنیک، ناشی از باطله‌های شیمیایی (۰.۴۰٪)، خاکستر زغال‌سنگ (۰.۲۲٪)، فعالیت‌های معدن‌کاری (۰.۱۶٪) و صنعت متالورژی (۰.۱۳٪) است [11, 16]. در طی هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها، آرسنیک وارد خاک، رسوبات و آب می‌شود. از این رو، منبع اولیه آرسنیک در رسوبات، به منشأ خاک (سنگ) و یا موادی که رسوبات از آن مشتق شده است، برمی‌گردد [14]. توزیع عناصر بالقوه سمی در هر منطقه از الگوی طبیعی خاص آن منطقه تبعیت می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، تمرکز و پراکندگی این عناصر در کانی‌های سازنده هر سنگ به شرایط اقلیمی منطقه از جمله دما و رطوبت بستگی دارد در این ارتباط مناطقی که تحت تأثیر از فرایندهای زمین‌شناختی می‌باشند، دارای الگوی طبیعی منعکس‌کننده منطقه خود خواهند بود [3]. از سوی دیگر، فعالیت‌های انسان‌زاد نیز تغییرات مشخص خود را در مقادیر عناصر سمی و توزیع آنها در محیط زمین‌شیمیایی ایجاد می‌کند.

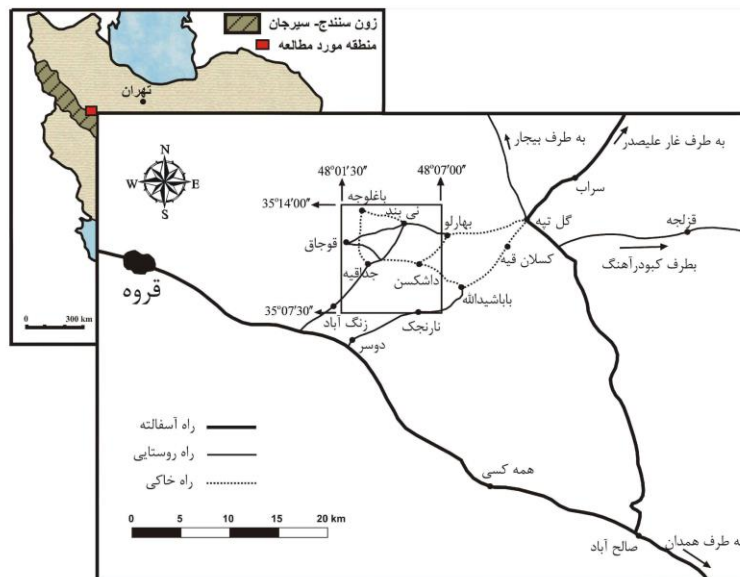
باتوجه‌به ماهیت زمین‌شناختی پهنه ساندج - سیرجان رخداد کانه‌زایی طلای ساری گونی (داشکسن)، همچنین بالا بودن آرسنیک در مقالات و گزارش‌های پیشین در منطقه مورد مطالعه که نشان دهند آلودگی بالای زمین زاد در این منطقه می‌باشد، در پژوهش حاضر تلاش بر این خواهد بود که غلظت آرسنیک رسوبات حوضه آبریز معدن ساری گونی با داده‌های سال‌های پیش از شروع فعالیت معدن بررسی و با داده‌های پس از فعالیت معدن مقایسه گردد تا تغییرات غلظت آرسنیک و نقش فعالیت‌های معدن‌کاری در آزادسازی آن در رسوبات منطقه در طی یک دهه، فعالیت این معدن مشخص شود.

## ۲. موقعیت جغرافیایی و پیشینه معدن ساری گونی

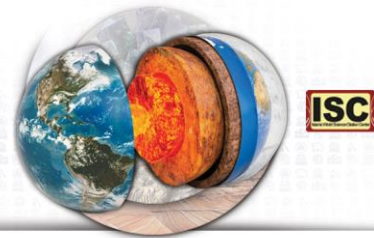
معدن ساری گونی (داشکسن) در ۳۶ کیلومتری شمال خاور شهرستان قروه، در استان کردستان واقع گردیده است (شکل ۱). این محدوده با مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 10' 17''$  تا  $35^{\circ} 12' 56''$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 04' 30''$  تا  $48^{\circ} 04' 30''$  طول خاوری، در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی کبودرآهنگ و در چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی کوهین واقع شده است. آب‌وهوای این منطقه به دلیل کوهستانی بودن، سردسیر است به طوری که تعداد روزهای یخبندان بیش از ۱۰۰ روز در سال گزارش شده است. تیرماه گرم‌ترین و



دی ماه سردترین ماه‌های سال در این منطقه می‌باشند. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ متر بوده و ارتفاعات اصلی آن کوه‌های ساری گونی به ارتفاع ۲۲۱۷ متر در شمال باختری منطقه و آق‌داغ به ارتفاع ۲۱۹۷ متر در جنوب خاوری منطقه است. نزدیک‌ترین سکونتگاه‌ها به معدن، روستا بهارلو در خاور، روستا نی بند در شمال باختر و روستا داشکسن در جنوب معدن می‌باشند. معدن ساری گونی (داشکسن) از قدیمی‌ترین معادن شناخته شده آنتیموان در کشور می‌باشد. از آنجا که محدوده معدنی، مابین روستاهای بهارلو و داشکسن قرار دارد، لذا در محدوده هر روستا به نام آن روستا خوانده می‌شد و به همین دلیل در گذشته دارای دو پروانه استخراج و بهره‌برداری بوده است. چنان که در گزارش‌های قدیمی تحت دو عنوان مستقل از آن یاد شده است. عملیات اکتشافی معدن داشکسن از اواخر دهه ۱۳۲۰ شمسی توسط بخش خصوصی آغاز و استخراج آنتیموان و زرنیک از این معدن شروع گردید. بهره‌برداری از معدن به روش سنتی و حفر چاه در داخل رگه‌ها و ایجاد تونل‌های در امتداد رگه و استخراج به روش انتخابی صورت گرفته است. تا این که در سال ۱۳۴۰ به علت برخورد با سطح آب زیرزمینی و عمیق شدن معدن و کاهش قیمت فلز و افزایش دستمزد نیروی کار، مشکلاتی در امر استخراج به وجود آمد و معدن داشکسن در این سال تعطیل شد. مطالعات شناسایی جهت اکتشاف طلا در سال ۱۹۹۹ به کشف یک سیستم گرمایی مهم به وسعت ۱۶ کیلومترمربع همراه با کانه‌زایی طلا، آنتیموان و آرسنیک به سن تریشری در داخل داسیت و آندزیت پورفیری و توف‌های آتشفشانی انجامید. مطالعات مقدماتی نشانه‌هایی از سامانه طلای اپی‌ترمال غنی از سولفید را نشان داد. کانه‌زایی طلا همراه با پیریت‌های ریزدانه تیره تا خاکستری بوده و همراهی رآلگار و اریپمنت و سیلیسی شدن متوسط تا شدید با آن وجود دارد. مطالعات تفصیلی (از سال ۱۳۸۰-۱۳۸۹) توسط مشارکت اقتصادی شرکت‌های ریوتینتو و شرکت خدمات اکتشافی کشور که در سال ۱۳۸۲ منجر به تأسیس شرکت معدنی زرکوه شد، انجام شد این مطالعات شامل کشف موفقیت‌آمیز بی‌هنجاری طلا در ساری گونی می‌باشد، همچنین در این سال‌ها حفر چاه‌های اکتشافی موجب شناسایی ذخیره قابل توجه طلا در ساری گونی در محدوده‌های با ۱۲۰۰ متر طول، ۶۰۰ متر عرض و حداقل ۳۵۰ متر عمق گردید که این پهنه کانه‌زایی همچنان در عمق ادامه دارد. شرکت معدنی زرکوه در شهریورماه سال ۱۳۹۰، پروانه بهره‌برداری پروژه طلای ساری گونی را از وزارت صنعت، معدن و تجارت دریافت نمود و از مهرماه ۱۳۹۱ شروع به بهره‌برداری از این معدن کرده است مجموعه فرایندها و عملیات این شرکت شامل برداشت سنگ معدن طلا به روش روباز از پیت معدن ساری گونی، انتقال سنگ معدن به مجتمع سنگ‌شکن و خردایش اولیه، حمل مواد معدنی سرند شده توسط نوار نقاله سرپوشیده به محل توده شویی و سپس استحصال طلا در کارخانه فراوری می‌باشد. روش انتخابی برای استحصال طلا از سنگ معدن روش توده شویی (هیپ لیچینگ) است. در حال حاضر این شرکت معدنی مجوز و ظرفیت بهره‌برداری و فراوری حدود ۵ میلیون تن ماده معدنی در سال، از معادن بزرگ تولید شمش دوره طلا در کشور می‌باشد.



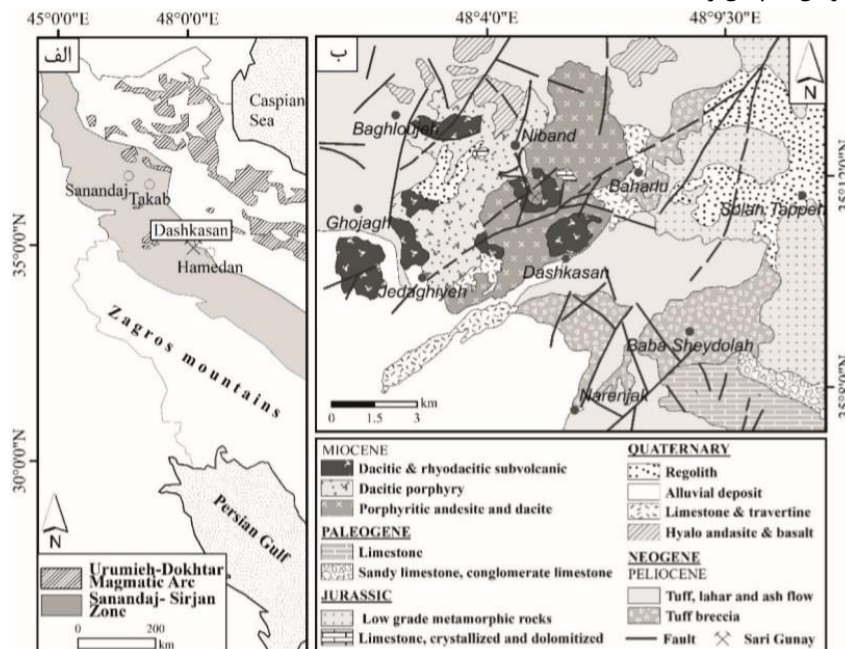
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های ارتباطی و موقعیت روستاهای اطراف معدن



### ۳. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پهنه دگرگونی - ماگمایی سنندج - سیرجان قرار دارد درازای زون سنندج - سیرجان حدود ۱۵۰۰ و پهنای آن ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر است که از باختر دریاچه ارومیه آغاز می‌شود و در یک راستای شمال باختری - جنوب خاوری تا گسل میناب، در شمال بندرعباس، ادامه می‌یابد (شکل ۲). زون سنندج - سیرجان به لحاظ داشتن حجم درخور توجهی از سنگ‌های ماگمایی و رخداد فرایندهای دگرگونی، پویاترین پهنه زمین ساختی ایران است. فعالیت‌های آتشفشانی در محور قروه - تکاب در میوسن بالایی آغاز و در کواترن به اوج خود رسیده است. بیشترین گسترش این فعالیت‌ها محدود به شمال شرق قروه می‌شود. قسمت شمالی زون سنندج - سیرجان که شامل سنگ‌های نفوذی فلسیک و آتشفشان‌های گسترده بازیک تا حد واسط است، شامل سنگ‌های آتشفشانی به طول ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر و عرض ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر از نهاوند تا ارومیه با روند شمال باختر - جنوب خاور و به موازات راندگی اصلی زاگرس کشیده شده است.

قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مورد مطالعه مربوط به مجموعه دگرگون شده ژوراسیک است که از اسلیت، فیلیت و کوارتزیت در خاور منطقه پوشیده شده است و جوان‌ترین آن‌ها، بازالت‌های کواترنی می‌باشند. این دگرگونی ضعیف قبل از تشکیل طلای داشکسن رخدادها و کانسار را تحت تأثیر قرار نداده است. به استناد برگه زمین‌شناسی کوهین [1] (شکل ۲)، واحدهای سنگی آتشفشانی متعلق به نهشته‌های پالتوژن با سن میوسن زیرین [2] در جنوب خاور منطقه به صورت دگر شیب بر روی آهک‌ها و شیست‌های ژوراسیک قرار گرفته‌اند. معدن طلای ساری گونی در میان مجموعه‌ای حلقوی شکل از سنگ‌های آتشفشانی - نیمه نفوذی اسیدی با سن ۱۱ تا ۱۱.۷ میلیون سال [11] قرار گرفته است. در ادامه، فعالیت آتشفشانی میوسن در این ناحیه با لاهارها کنگلومرای و لکانوکلاستیک بمب‌ها و نهشته‌های خاکستر میوسن به پایان رسیده است [11].

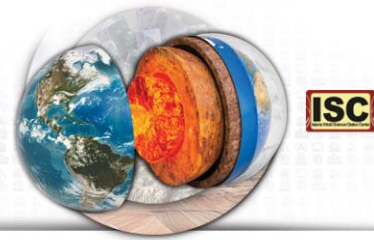


شکل ۲. الف) موقعیت جغرافیایی معدن طلای ساری گونی در نقشه ساختاری [9] ب) معدن ساری گونی بر روی نقشه ساده برگرفته از برگه زمین‌شناسی کوهین [1]

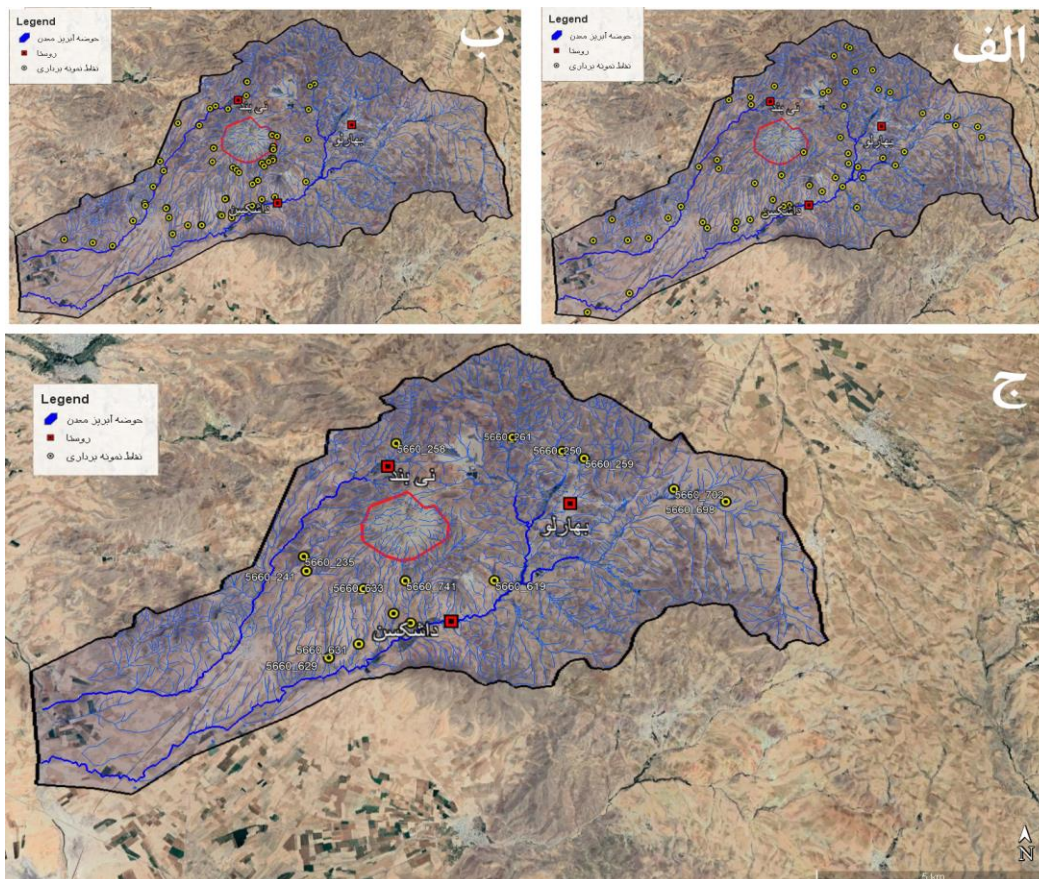
### ۴. روش تحقیق

در این تحقیق برای مشخص شدن وضعیت غلظت آرسنیک در رسوبات منطقه مورد مطالعه پیش از آغاز معدن کاری، ابتدا نتایج آنالیزهای نقشه زمین‌شیمی برگه کوهین که در سال ۱۳۸۲ برداشت شده و ۵۸ نمونه از آن در محدوده حوزه آبریز معدن ساری گونی واقع شده است استفاده می‌گردد (شکل ۳) [4]. همچنین داده‌های نمونه‌های که در سال ۱۳۸۳ شرکت ریوتینتو طی عملیات اکتشافی گسترده‌ای





که محدوده قروه برداشت و آنالیز شده است که از این نمونه‌ها تعداد ۶۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای در حوضه آبریز معدن ساری گونی برداشت و آنالیزهای آن موجود می‌باشد بررسی می‌گردد (شکل ۳). نهایتاً به بررسی نمونه‌هایی پرداخته می‌شود که در سال ۱۴۰۱ توسط شرکت معدنی زرکوه برداشت شده است (شکل ۳). نمونه‌برداری بر اساس نقاط نقشه زمین‌شیمی برکه کوهین انجام گرفت به این صورت که تعداد ۱۷ ایستگاه در اطراف سینه کار معدن انتخاب شد و محل نمونه‌ها به دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) وارد گردید، و با کمک این دستگاه موقعیت نمونه‌ها را در منطقه پیدا کرده و در نهایت نمونه رسوب جزء ۸۰- مش برداشت گردید. نمونه‌های برداشت شده به روش ICP- OES در آزمایشگاه زرآما آنالیز شد و غلظت آرسنیک مشخص گردید. نقشه موقعیت نمونه‌برداری یادشده در شکل نشان داده شده است. در نمونه‌برداری از رسوبات سعی شد نمونه‌ها در طول مسیر انتقال آلودگی‌ها احتمالی انتخاب شوند. براین‌اساس نمونه‌برداری از رسوبات مرتبط با مسیر آبراهه‌ای که زهکش‌های کومه‌های سنگ باطله و باطله‌های کانه‌آرایی انجام می‌دهند، به همراه رسوبات آبراهه‌های طبیعی منطقه انجام شد.



شکل ۳. الف) موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری رسوبات نقشه برکه کوهین در محدوده حوضه آبریز معدن ساری گونی (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۸۳) ب) موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری شده رسوبات توسط شرکت ریو تینتو ۱۳۸۳ ج) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوبات برداشت شده در سال ۱۴۰۲ محدوده حوضه آبریز معدن ساری گونی توسط شرکت معدنی زرکوه

آنومالی‌های زمین‌شیمیایی در نمونه‌های رسوب از طریق مقایسه با نمونه‌های استاندارد شناسایی می‌شوند. این نمونه‌های استاندارد می‌توانند میانگین شیل جهانی، پوسته زمین، گرانودیوریت استاندارد و مقادیر زمینه طبیعی و... باشند. هر چند مقادیر استاندارد توسط برخی از مؤسسات بین‌المللی در مورد محیط‌های زمین‌شیمیایی رسوب ارائه شده است؛ اما در بیشتر موارد توصیه شده که از مقادیر زمینه طبیعی محلی استفاده شود. اهمیت این موضوع به‌ویژه در مناطق معدنی که غلظت بالایی از عناصر بالقوه سمی به طور طبیعی در انواع



محیط‌های زمین‌شناختی نظیر آب، خاک و رسوب وجود دارد دوچندان می‌شود؛ زیرا در صورت انتخاب مقادیر زمینه طبیعی نامناسب برای انواع شاخص‌های زیست‌محیطی خطاهای اساسی در تحلیل روند آلودگی‌ها، نوع عناصر آلوده و شدت آلودگی به وجود خواهد آمد. مقادیر زمینه طبیعی مشخص‌کننده حدود بالا و پایین تغییرات عادی عناصر در مجموعه داده‌های به‌دست‌آمده می‌باشند. مقادیری که در محدوده مرزهای عادی قرار می‌گیرند به‌عنوان مقادیر زمینه و مقادیر فراتر از آن به‌عنوان مقادیر آنومالی در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر استاندارد، مبنای یا زمینه طبیعی برای برآورد شدت آلودگی ایجاد شده در اثر عوامل انسان‌زاد استفاده می‌شوند. در مورد محیط زمین‌شیمیایی رسوب توصیه می‌شود که از مقادیر زمینه طبیعی محلی استفاده شود. در این تحقیق مبنای انتخاب زمینه طبیعی منطقه مورد مطالعه، نمونه‌های خارج از محدوده کانه‌زایی از ۲۳ نمونه رسوب از حوضه آبریز دلبران که در حوضه مجاور حوضه آبریز معدن ساری گونی واقع شده است به‌عنوان نمونه زمینه طبیعی منطقه انتخاب گردید و مقدار زمینه طبیعی محاسبه شده برای آرسنیک ۵۳.۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه گردید.

توصیف آماری نتایج به‌دست‌آمده، بر مبنای مقادیر میانگین، میانه، حداقل و حداکثر داده‌ها، اولین گام در توصیف داده‌های حاصل از آنالیز عنصری می‌باشد. همچنین برای ارزیابی کیفی شدت آلودگی رسوبات، لازم است غلظت عناصر نسبت به استانداردهای جهانی و محلی سنجیده شوند که در این پژوهش از مقادیر میانگین پوسته زمین [8]، استاندارد رسوب کانادا [5] و زمینه طبیعی منطقه استفاده شده است. جدول ۱ نتایج توصیف آماری این عناصر را به همراه مقدار متوسط این عناصر در پوسته زمین، و زمینه طبیعی در سه گروه نمونه برداشت شده را نشان می‌دهد.

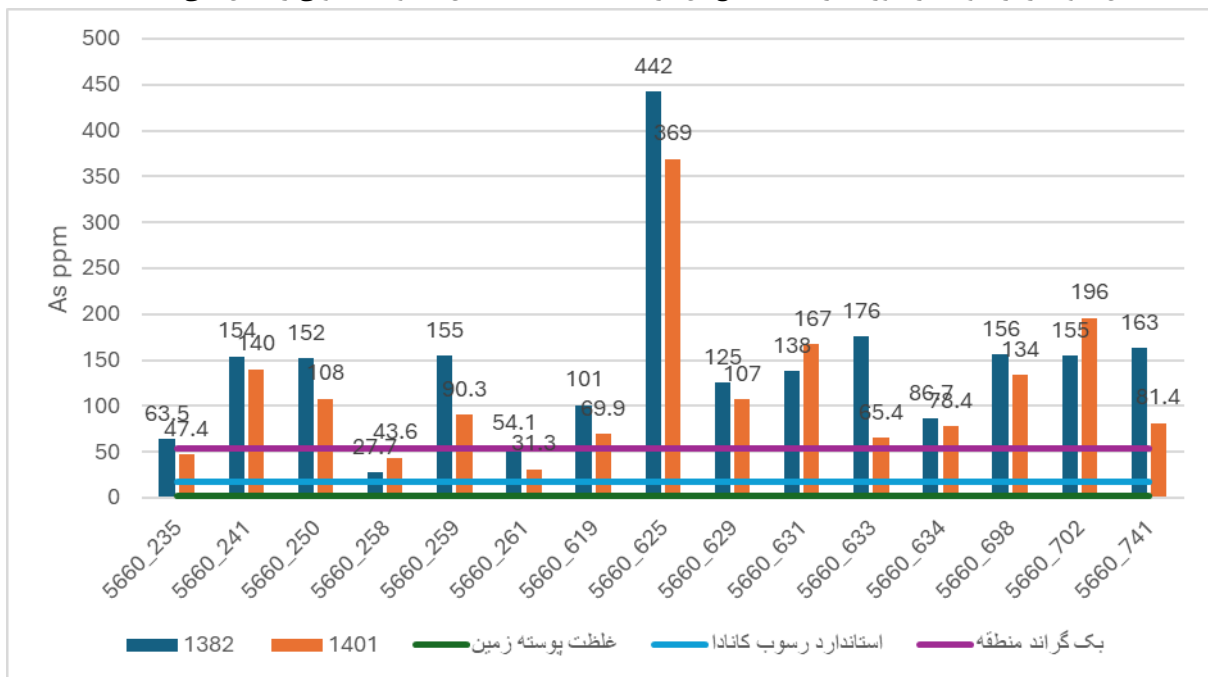
جدول ۱- خلاصه نتایج آماری نقشه زمین شیمی کوهین، گزارش اکتشاف شرکت ریو تینتو و آنالیز های انجام شده در سال ۱۴۰۱

نقشه کوهین نقاط واقع در حوزه معدن (سازمان)	ریوتینتو ۱۳۸۳	زرکوه ۱۴۰۱	
(As ppm)	(As ppm)	(As ppm)	
تعداد نمونه	۵۸	۶۱	۱۵
میانه	۵۴	۹۵	۹۰.۳
میانگین	۷۷.۸	۱۵۱.۵	۱۱۵.۲
حداقل	۱۰.۲	۱۶	۳۱.۳
حداکثر	۴۴۲	۵۹۱	۳۶۹
غلظت پوسته زمین	۱.۸	۱.۸	۱.۸
استاندارد رسوب کانادا	۱۷	۱۷	۱۷
بک‌گراند منطقه	۵۳.۴	۵۳.۴	۵۳.۴

بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های که در سال ۱۳۸۲ توسط سازمان زمین شناسی برداشت و آنالیز شده است ppm ۴۴۲ و میانگین غلظت آرسنیک ppm ۷۷.۸ می باشد در مقایسه با ppm ۱.۸ غلظت متوسط آرسنیک در پوسته زمین همچنین ۱۷ استاندارد رسوب کانادا که نشان دهنده غنی شدگی و آلودگی زمین زاد این عنصر در محدوده مورد مطالعه می باشد. نتایج نمونه برداری که یک سال بعد از نمونه بردای سازمان زمین شناسی توسط شرکت ریوتینتو در این محدوده صورت گرفته نتایج این نمونه ها هم نشان دهنده غلظت بالای آرسنیک است به طوری که حداکثر آرسنیک در این نمونه ها ppm ۵۹۱ و غلظت متوسط آرسنیک ppm ۱۵۱.۵ می باشد این نتایج تایید کننده نتایج آنالیز های سازمان زمین شناسی می باشد تفاوت اندکی که در نتایج این دو سری نمونه برداری مشاهده می شود احتمالاً حاصل تفاوت در تعداد و نقاط نمونه برداری و تفاوت در روش های آنالیز می باشد. برای بررسی شدت و میزان رهاسازی آرسنیک در رسوبات آبرهه ای بعد از حدوده بیست سال از دو نمونه برداری یاد شده و بعد از ده سال آغاز فعالیت استخراجی معدن ساری گونی



نمونه برداری انجام شد که حداکثر غلظت آرسنیک در این دوره از نمونه برداری ۳۶۹ ppm و متوسط آن ۱۱۵.۲ ppm می باشد به دلیل تفاوت در تعداد نمونه ها نمی توان مقایسه کاملاً درستی انجام داد به همین دلیل برای مقایسه بهتر دیاگرام مقایسه ایستگاه ها ترسیم شد تا ایستگاه های بصورت یک به یک باهم و همچنین با استاندارد ها مقایسه شوند. همانطور که از شکل ۴ مشخص است با مقایسه نتایج با غلظت آرسنیک در پوسته زمین، استاندارد رسوب کانادا و بک گراند منطقه بسیار بالا تر است ولی نکته حائز اهمیت میزان تغییرات در طی بیست سال می باشد در اکثر ایستگاه ها میزان غلظت آرسنیک در محدوده آنالیز های انجام شده پیشین می باشد تنها در سه ایستگاه ۲۵۸، ۷۰۲ و ۶۳۱ غلظت اندکی بیشتر از داده های پیشین است از بین این سه ایستگاه دو ایستگاه آن در بالا دست معدن و کومه های باطله واقع شدن و تنها ایستگاه ۶۳۱ در پایین دست معدن قرار دارد به دلیل اهمیت موضوع دوباره از نقطه مورد نظر و آبراهه بالا دست آن نمونه برداری و آنالیز صورت گرفت که نتایج آن در مقایسه با اطلاعات سال ۸۲ و ۸۳ تفاوتی را نشان نمی دهد.



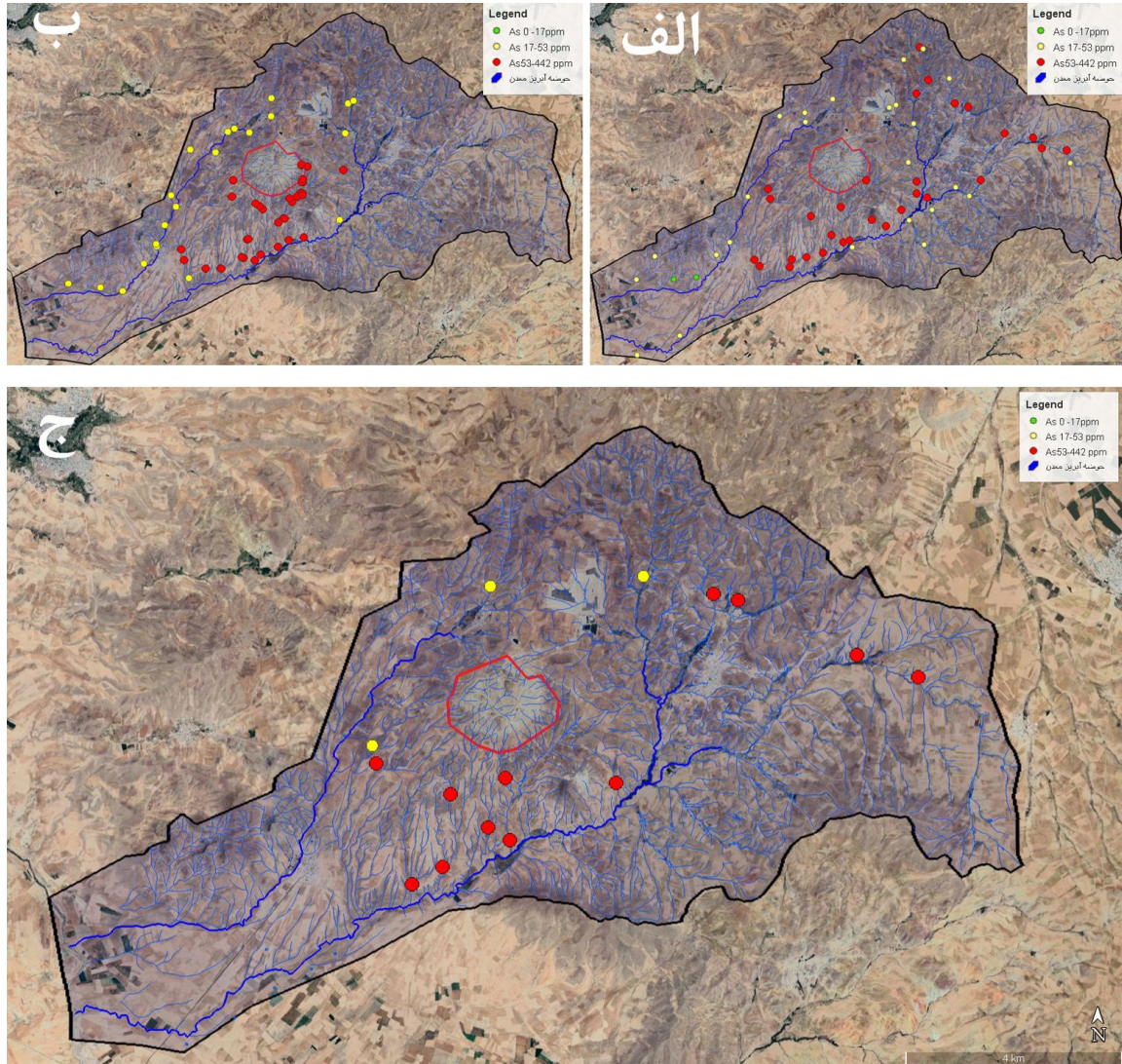
شکل ۴ - مقایسه غلظت آرسنیک رسوبات در ایستگاه های مختلف در محدوده ساری گونی پیش و پس از معدن کاری

اگرچه بیشتر مشکلات زیست محیطی ناشی از آرسنیک، به وسیله عوامل طبیعی به وجود می آیند؛ اما از طریق فعالیت های مختلف انسانی نیز آرسنیک وارد محیط زیست می شود؛ ولی به دست آوردن شدت تأثیر فعالیت های انسانی بر آزادسازی آرسنیک بسیار حائز اهمیت می باشد. رسم نقشه های پراکندگی غلظت بینش روشن تری نسبت به پراکندگی غلظت های آرسنیک که در بالا در مورد آنها بحث شد، به دست می دهد (شکل ۵)؛ بنابراین نقشه های پراکندگی غلظت آرسنیک که در مراحل مختلف آنالیز انجام شده در محدوده مورد مطالعه در این پژوهش رسم گردید. همان طور که از تصاویر مشخص می باشد محل بی هنجاری به دست آمده با موقعیت کانی سازی ها تطابق مشخصی نشان می دهد در واقع غلظت آرسنیک در رسوبات نقاط خاور و جنوب کوه ساری گونی که محل اصلی کانی سازی در منطقه و در حال حاضر کاوک معدن می باشد در برداشت ها پیش و پس از معدن کاری بالاتر از سایر نقاط حوضه آبریز محدوده معدن ساری گونی می باشند که نشان دهنده منشأ زمین زاد آرسنیک در این محدوده است در واقع این عنصر به صورت طبیعی در سنگ های نفوذی این کوه حضور دارد و هوازدگی سنگ ها موجب آزاد شدن این عنصر و انتقال آن به رسوبات شده است. از طرفی نمونه های که در سمت غرب معدن برداشت شده که محل انباشت کومه های باطله است، تغییری در میزان غلظت آرسنیک در رسوبات ایجاد نشده. احتمالاً به دلیل جوان بودن فعالیت معدن کاری و همچنین به دلیل بارش کم و تأخیر بسیار بالای که در منطقه وجود داد زمان لازم برای هوازدگی کامل کانه های آرسنیک دار در کومه های سنگ باطله هنوز طی نشده و به همین خاطر رسوبات آبراهه های پایین دست کومه های باطله تحت تأثیر قرار





نگرفته‌اند؛ هرچند پتانسیل این امر برای آینده وجود دارد و با اتخاذ تدابیر لازم در زمان بسته‌شدن معدن می‌توان از این امر جلوگیری نمود.



شکل ۵. الف) نقشه شدت غلظت آرسنیک در رسوبات نقشه برگه کوهین در محدوده حوضه آبریز معدن ساری گونی (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۸۳) ب) نقشه شدت غلظت آرسنیک در رسوبات آنالیز شده توسط شرکت ریو تینتو (۱۳۸۳ ج) نقشه شدت غلظت آرسنیک در رسوبات برداشت شده در سال ۱۴۰۲ محدوده حوضه آبریز معدن ساری گونی توسط شرکت معدنی زرکوه

### ۵. نتایج

با مقایسه غلظت آرسنیک رسوبات منطقه مورد مطالعه قبل از شروع معدن کاری با غلظت مجاز آرسنیک در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که غلظت آرسنیک در بیشتر نمونه‌های از این استانداردها بالاتر می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده منشأ اصلی آرسنیک در نمونه‌های رسوب حوضه معدن ساری گونی رخداد فعالیت‌های آتشفشانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و نقش معدن کاری ناچیز است. غلظت آرسنیک در رسوبات نقاط خاور و جنوب کوه ساری گونی که در حال حاضر کاوک معدن می‌باشد در برداشتها پیش‌وپس از معدن کاری بالاتر از سایر نقاط حوضه آبریز محدوده معدن ساری گونی می‌باشند که نشان‌دهنده منشأ زمین زاد آرسنیک در این محدوده





است در واقع این عنصر به صورت طبیعی در سنگ‌های نفوذی این کوه وجود دارد و هوازدگی سنگ‌ها موجب آزاد شدن این عنصر و انتقال آن به رسوبات شده است. نمونه‌های که از محل انباشت کومه‌های باطله برداشت شده، تغییری در میزان غلظت آرسنیک در رسوبات مشهود نیست. به دلیل جوان بودن فعالیت معدن کاری و همچنین به خاطر بارش کم و تبخیر بسیار بالای که در منطقه وجود داد زمان لازم برای هوازدگی کامل کانه‌های آرسنیک دار در کومه‌های سنگ باطله هنوز طی نشده و به همین خاطر رسوبات آبراهه‌های پایین دست کومه‌های باطله تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند.

#### ۶. منابع

- [1]. خان نظر، ن. ه.، ۱۳۹۳. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- [2]. راستاد، ا.، نیرومند، ش.، امامی، م.، رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۷۹. "خاستگاه کانسار آنتیموان، آرسنیک و طلا در مجموعه ولکانوپولوتونیک داشکسن (خاور قروه، استان کردستان)،" علوم زمین، سال نهم، شماره ۳۷-۳۸، ۱۳۷۹: ۹-۲.
- [۳]. کشاورزی، ب. ۱۳۹۰. مینشناسی پزشکی و منشا آرسنیک در کمر بند دگرگونی - ماگمایی سنندج - سیرجان شمالی، پایان نامه دکتری زمینشناسی گرایش اقتصادی، دانشگاه شیراز.
- [4]. نقشه زمین شیمی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین. ۱۳۸۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- [5]. Canadian Council of Resource and Environmental Ministers [CCRM] (1999).
- [6]. Eisler, R., 2004. Arsenic hazards to humans, plants, and animals from gold mining. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 180, 133-165.
- [7]. Mandal, B. K., and Suzuki, K. T., 2002. Arsenic round the world: a review. *Talanta.*, 58: 201-235.
- [8]. Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (2004). *Elements and their compounds in the environment: John Willey.* 1170p.
- [9]. Mohajjel, M., 1997. Structure and tectonic evolution of Palaeozoic- Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. PhD Thesis, University of Wollongong, Wollongong, Australia (unpublished).
- [10]. Nriagu, J. O., & Pacyna, J. M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace-metals. *Nature*, 333:134-139.
- [11]. Richards, J.P, Wilkinson, D. and Ulrich, t., 2006. Geology of Sari Gonay Epithermal Deposit, *Economic Geology*, 101, 1455-1496.
- [12]. Sigrist, M., Bedomenico, H., & Repetti, M.R., 2009. Evaluation off the influence of Arsenic livestock drinking waters on total Arsenic levels in cow's raw milk from Argentinian dairy farms. *Food chemistry.*, 400p.
- [13]. Smith, E., Naidu, R., and Alston, A. M., 1998. Arsenic in the soil environment. A review. *Adv. Agron.* 64: 149-195.
- [14]. Yan-Chu, H., 1994. Arsenic distribution in soils. In "Arsenic in the Environment, Part I: Cycling and Characterization" (J. O. Nriagu, Ed.), pp. 17-49. Wiley, New York.