مجله زمین‌شناسی اقتصادی
سال ۱۳۹۰، شماره ۲، (جلد ۳)
صفحه ۱۸۳ تا ۱۹۲

Journal of Economic Geology
2011- 2012, No. 2 (Vol. 3)
ISSN 2008-7306

بررسی ژئوشیمی کانی‌سازی جیوه و تأثیر زیست محیطی آن بر منطقه طوره، باختر شهرستان خوی

علی امامعلی‌پور*، جعفر عبدالهی شریف

گروه مهندسی معدن دانشگاه ارومیه، تلفن: ۰۹۱۴۳۴۶۰۲۱۸ ، دورنگار ۰۴۴۱۲۷۷۳۵۹۱

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱/۲۷، پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۲۰

چکیده

در ناحیه طوره واقع در شمال‌غرب شهرستان خوی، کانی‌سازی جیوه در ارتباط با یک سیستم دگرسانی گرمابی نوع لیستونیتی روی داده است. زون دگرسانی جیوه‌دار در یکی از سرشاخه‌های رودخانه النـد قـرار گرفتـه و حـدود ۰/۴ کیلومترمربـع گسـترش دارد. تنهـا ترکیب یافت شده از جیوه در این منطقه، سولفید جیـوه (سـینابر) اسـت کـه بـه فـرم رگـه- رگ‌چـه ای نهشـته شـده اسـت. بررسـی ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که توزیع جیوه در زون دگرسانی تغییرپذیری زیادی دارد و مقادیر آن در دامنه ۰/۳۶ تا ۱۰۵۰۰ گرم در تن در نوسان است. میانگین عیار جیوه در زون دگرسانی ۳۰۰ppm است، اگرچه در رگه‌های کانه‌دار میانگین آن به ۰/۳۵ درصد می‌رسـد. با توجه به کلارک جیوه در پوسته زمین، این عنصر به میزان بیش از ۳۷۵۰ برابر در کل زون دگرسانی و به میزان بیش از ۴۶۰۰۰ برابر در رگه‌های کانه‌دار غنی‌شدگی و تمرکز پیدا کرده است. بر اساس ژئوشیمی کانیهـای سـنگین رسـوبات آب‌راهـه ای، پراکنـدگی کانـه سینابر تحت فرآیندهای هوازدگی فیزیکی و انتقال تا فاصله دست کم ۷ کیلومتری از زون دگرسـانی در آبراهـه پـایین دسـتی آن روی داده است. غلظت جیوه در نمونه‌های گرفته شده از آبهای سطحی و زیرزمینی کمتر از ۰/۱ µg/l است. در مقایسه با داده‌های موجـود از غلظتهای جیوه در مناطق معدنی دیگر دنیا و با در نظر گرفتن حد مجاز آلودگی آبهای آشامیدنی، می‌توان گفت که آبهای این منطقه از نظر جیوه آلودگی پیدا نکرده‌اند. بنابراین، با وجود گستردگی زون ناهنجار در ناحیه طوره، این زون نتوانسته است به عنوان یـک منبـع آلوده کننده محیط زیست از نظر جیوه عمل کند. به نظر می‌رسد که به دلیل حضور جیوه در ترکیب پایدار سولفید جیوه، امکان خروج جیوه در نتیجه تخریب این کانی فراهم نشده است.

واژه‌های کلیدی: *خوی، طوره، لیستونیت، جیوه، ژئوشیمی، کانی‌سازی، محیط زیست.*

مقدمه

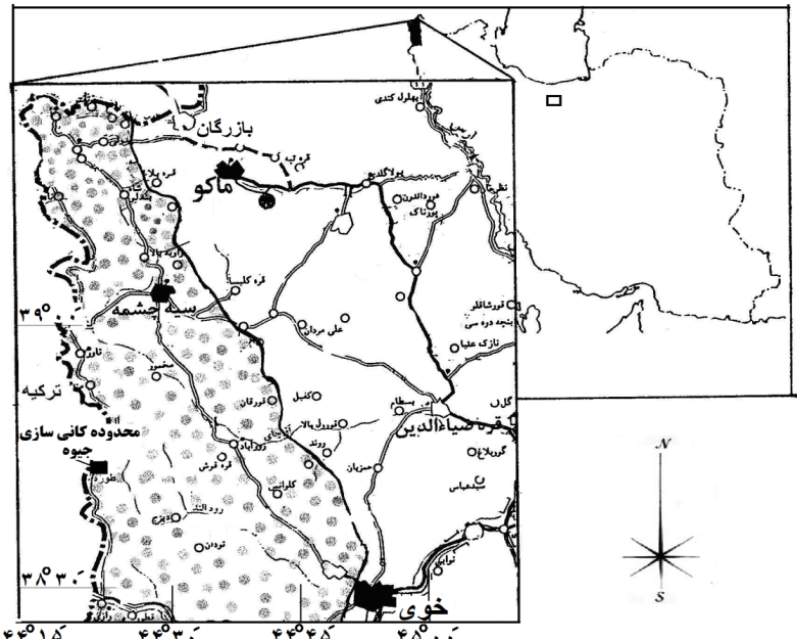
جیوه فلزی سنگین و در هـر دو حالـت مـایع و گـازی سـمی و خطرناک است و از این رو یکی از آلاینده‌های محیط زیست بـه شمار می‌رود. ترکیبات مختلف آن به راحتی در چرخه طبیعـت به گردش در می‌آید و اگـر در سیسـتم زیسـتی کنتـرل نشـود، معضلات فراوانی را پدیـد مـی‌آورد. مشـکلات زیسـت محیطـی جیوه در سه دهه گذشته یکی از دغدغه‌های فعّالان مـرتبط بـا محیط زیسـت بـوده اسـت و بسـیاری از معـادن جیـوه کـه در گذشته فعال بوده‌اند، به تعطیلـی کشـیده شـده‌انـد. همچنـین محدودیتهای زیادی برای واحدهای صنعتی تولید کننده گازهـا و پسابهای حاوی جیوه اعمال شده است.

به طور کلی منابع آلودگی جیوه را می‌توان به شرح زیر خلاصـه کرد [۱]:

- جیوه در اثر انحلال از کانسارها، آنومالی‌ها، باطله‌های معـدنی و کانه آرایی و نیز فعالیتهای آتشفشانی وارد خاک و آب می‌شود.
- سوزاندن زغال سنگ و پسماند کارخانجات.
- کاربردهای علمی، دارویـی، کشـاورزی و صـنعتی جیـوه باعـث افزایش غلظت آن در آبهای سطحی و زیرزمینی مـی‌شـود.ذرات معلق در گازهای حاوی جیوه در دودکشهای صنایع مربـوط بـه فرآیندهای ذوب و نیز کلر- قلیا وجود دارد.
- خوردن ماهیهای آلوده، استنشاق گازهای آلوده و نوشـیدن آب آلوده به جیوه.

*مسؤول مکاتبات: a.imamalipour@urmia.ac.ir

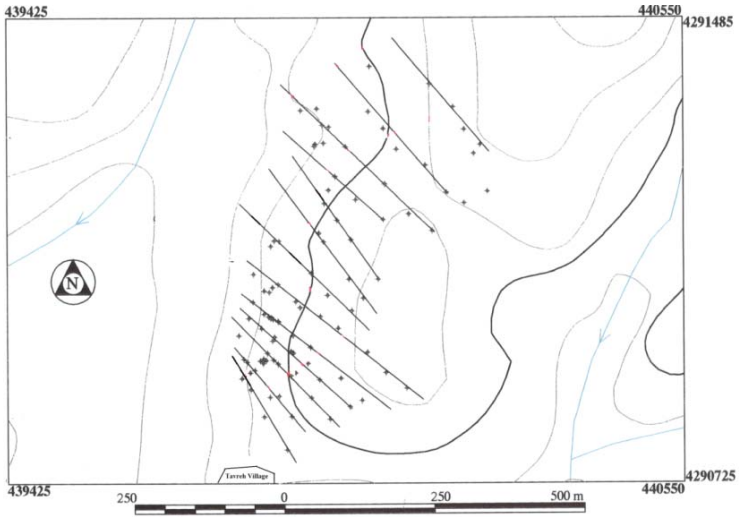
بیشتر کانسارهای جیوه از نوع گرمابی درجه حرارت پایین است که در محیطهای آتشفشانی جوان و یا اطراف آنها تشکیل شده‌اند. سنگهای آتشفشانی و توف‌های وابسته به آنها از نوع اسیدی تا حدواسط هستند. حدود ۲۵ درصد ذخایر جیوه از نوع لیستونیتی هستند که در مناطق افیولیتی یافت می‌شوند. سنگهای لیستونیتی خود نتیجه، دگرسانی سنگهای اولترامافیکی، مافیکی و دیگر اجزای تشکیل دهنده سنگهای افیولیتی هستند که تحت تأثیر محلولهای گرمابی غنی از دی اکسید کربن دگرسان شده‌اند [۲]. جیوه در طبیعت به صورت خالص و همچنین به صورت سولفید و کلرور یافت می‌شود. کانیهای مهم جیوه عبارتند از : جیوه خالص، سینابر (HgS)، کالومل (Hg_2Cl_2) و آمالگام (Hg,Ag)، ولی مهمترین کانی فراوان این عنصر سینابر است. کلرید جیوه، فولمینات جیوه و متیل جیوه از دیگر ترکیبات جیوه هستند که یا به طور مصنوعی و یا در چرخه طبیعی جیوه تولید می‌شوند. جیوه استخراجی از معادن در مصارف دارویی، ساخت دماسنج، تهیه سموم دفع آفات، تهیه ملغمه، مصارف شیمیایی، ساخت کلید برق و آلیاژ آن در دندان‌سازی به مصرف می‌رسد. تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگها، سالانه در حدود ۲۳۰تُن جیوه به دریاها و اقیانوسها می‌افزاید. یک ارزیابی انجام گرفته در مورد میزان جابه‌جایی و انتقال جیوه در چرخه جیوه نشان داده که میزان کل ورود سالانه جیوه از منابع مختلف طبیعی، انسانی و اقیانوسی به اتمسفر حدود ۵۵۰۰ تن است [۱]. در شمال استان آذربایجان غربی تمرکز طبیعی و کانی‌سازی جیوه روی داده است. بررسیهای انجام گرفته نشان داده است که در گستره افیولیتی خوی، سنگهای سرپانتینیتی در نتیجه کنش‌وری با سیستم‌های گرمابی، در جایگاه زمین‌شناسی و ساختاری مناسب دگرسان شده و به لیستونیت تبدیل شده‌اند. این دگرسانیها در برخی مناطق با کانی‌سازی فلزی همراهند. رخدادهای شناخته شده این پدیده از مناطق "خان گلی"، "بیوک دره"، "طوره" و "قورشاقلو" گزارش شده است[۳-۴-۵]. در این نوع کانی‌سازی، جیوه به صورت سولفید جیوه (کانی سینابر) تمرکزاتی را به صورت رگه- رگچه ای در زون‌های دگرسان نشان می‌دهد. در این پژوهش، ژئوشیمی کانی‌سازی جیوه و اثرات زیست محیطی آن در ناحیه طوره مورد بررسی قرار می‌گیرد. زون دگرسانی و کانه‌دار در یکی از سرشاخه‌های رودخانه الند قرار گرفته و حدود ۰/۴ کیلومترمربع گسترش دارد. منطقه طوره از توابع دهستان بله سور، به فاصله حدود ۹۰ کیلومتری (زمینی) شمال‌غرب خوی و در نزدیکی مرز ایران و ترکیه واقع است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده آسفالته خوی-چالدران تا سه راهی محور الند و سپس از روستای زاویه پس از عبور از آبادیهای جنگه سر، قزل آغل، الند و بله سور پایین امکان پذیر است. حدود ۶۰ کیلومتر از این مسیر آسفالته و بقیه جاده خاکی کوهستانی است (شکل ۱).



شکل۱. موقعیت جغرافیایی محدوده کانی‌سازی جیوه در منطقه طوره (علامت مربع توپر).

روش مطالعه

بررسیهای ژئوشیمیایی به روشهای لیتوژئوشیمی، ژئوشیمی کانیهای سنگین رسوبات آب‌راهه‌ای و هیدروژئوشیمی انجام گرفته است. برای انجام بررسیهای لیتوژئوشیمیایی، از نتایج آنالیز ۹۷ نمونه ژئوشیمیایی برداشت شده از رخنمونهای سنگی در راستای پروفیلهای ژئوشیمیایی و ترانشه‌های اکتشافی که در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی Amdel استرالیا آنالیز شده‌اند، استفاده شده است. موقعیت نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی در شکل (۲) نشان داده شده است.



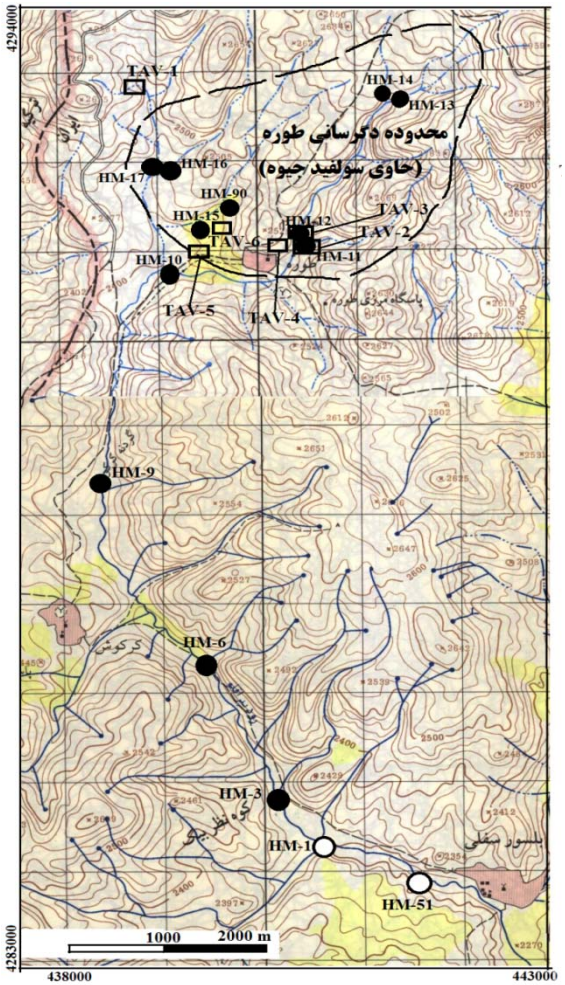
شکل۲.موقعیت نمونه های لیتوژئوشیمیایی برداشت شده از محدوده مورد مطالعه.

به منظور بررسی پراکندگی و غلظت جیوه در رسوبات آب‌راهه‌ای و آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه به ترتیب ۱۴ و ۶ نمونه برداشته شده است. نمونه‌برداری از رسوبات آب‌راهه‌ای از شبکه آب‌راهه‌ای که از میان محدوده کانه‌دار عبور می‌کند و به سمت پایین‌دست به سوی جنوب جریان پیدا می‌کند، با برداشت جزء ۲۰ مش رسوبات به مقدار ۷ لیتر انجام گرفت (شکل ۳). نمونه های گرفته شده به روش لاوک شویی تغلیظ شد و مقدار ۳۰۰ گرم از آن مورد مطالعه کانیهای سنگین قرار گرفت.برداشت نمونه‌های آب نیز از چشمه‌ها، رودخانه و آب آشامیدنی ساکنان روستای طوره به مقدار ۱/۵ لیتر انجام شد. برای این کار از ظروف پلی اتیلن استفاده شد و پس از تعیین pH آنها، به آزمایشگاه AnalysisMineralsLabwest کشور استرالیا برای آنالیز شیمیایی ارسال شد. آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب برای جیوه، آرسنیک و تعدادی عناصر دیگر به روش ICP-MSو برای عناصر پتاسیم، سدیم، گوگرد، منیزیم، آلومینیم، سیلیسیم و تعدادی عناصر دیگر به روش ICP-OES انجام گرفت. مشخصات نمونه‌های آب و نتایج تجزیه شیمیایی آنها در جدول (۱) ارائه شده است.در مرحله بررسیهای آزمایشگاهی ۵ مقطع صیقلی و ۵ مقطع نازک تهیه و مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین مطالعه کانی‌شناسی (به روش XRD) بر روی ۱۵ نمونه انجام شده است.

بحث و بررسی

ماهیت کانی‌سازی

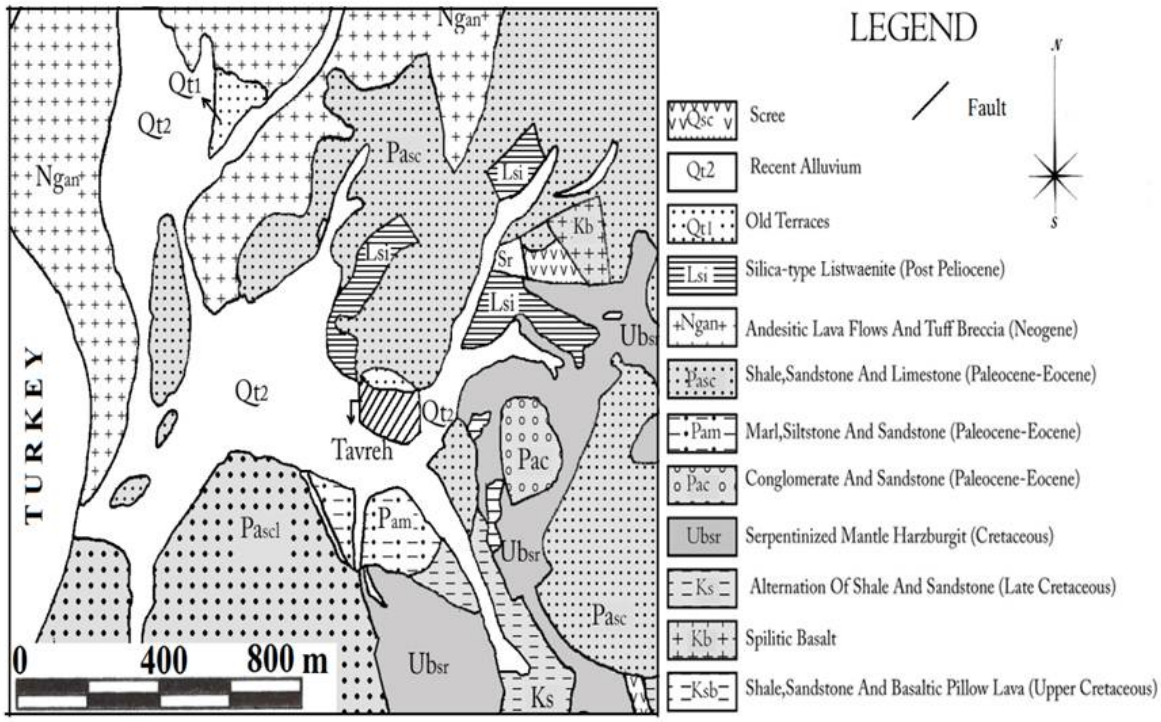
منطقه طوره یکی از مناطق جالب توجه از نظر رخداد دگرسانی لیستونیتی و کانی‌سازی جیوه است. مهمترین واحدهای سنگی این منطقه سرپانتینیت برشی است که در همبری تکتونیکی با مارن و شیل پالئوسن قرار گرفته‌اند. به سوی شرق سنگهای فلیشی و نیز بازالتهای زیردریایی گسترش دارند. در سمت شمال نیز سنگهای آتشفشانی جوان (نئوژن) که تمام سنگهای یاد شده را قطع کرده‌اند، رخنمون دارند. سرانجام باید از واحد سنگی ساب ولکانیکی در شمال طوره و در ارتفاعات مشرف به منطقه بابانور نام برد. این توده ساب ولکانیکی حدواسط نیز متعلق به نئوژن است (شکل۴)[۵]. در مرحله بررسیهای آزمایشگاهی ۵ مقطع صیقلی و ۵ مقطع نازک تهیه و مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین مطالعه کانی شناسی (به روش XRD) بر روی ۱۵ نمونه انجام شده است.



شکل ۳. موقعیت نمونه‌های کانیهای سنگین رسوبات آبراهه‌ای (دایره‌های توپر: نمونه‌های حاوی کانه سینابر و دایره‌های تو خالی نمونه‌های فاقد این کانه) و هیدروژئوشیمی (مستطیل توخالی).

جدول۱. مشخصات نمونه‌های آب برداشته شده از منطقه طوره و مقایسه آن با استاندارد آب آشامیدنی[۹].

شماره نمونه	توصیف صحرایی	pH	Hg µg/L	As µg/L	Ba µg/L	Cu µg/L	Mn mg/l	Pb µg/L	Cr mg/l	S µg/L
TAV-1	منبع آب آشامیدنی روستای طوره	۷/۸۱	<۰/۱	۳/۳	۲/۴۸	۰/۴	۰/۱۶	<۰/۱	۰/۰۰۱	۵
TAV-2	آبراهه واقع در شرق آبادی	۸/۳۴	<۰/۱	۶/۱	۳۶/۱۹	۰/۳	<۰/۰۵	<۰/۱	۰/۰۰۳	۱۴/۹
TAV-3	آبراهه واقع در شرق آبادی	۸/۰۳	<۰/۱	۵/۳	۳/۹۱	۰/۳	<۰/۰۵	<۰/۱	۰/۰۱۴	۶/۶
TAV-4	چشمه واقع در شرق آبادی	۷/۵۵	<۰/۱	۲۴/۹	۳۵/۵۴	۰/۲	۴/۹۵	<۰/۱	۰/۰۰۱	۲۶/۲
TAV-5	چشمه واقع در غرب آبادی	۷/۴۸	<۰/۱	۶/۴	۳۵/۵	۰/۴	۰/۱۵	<۰/۱	۰/۰۰۷	۱۳
TAV-6	آب سطحی پایین دست زون دگرسانی	۷/۸۴	<۰/۱	۲۱/۶	۷۱/۹۹	۲	۰/۰۶	<۰/۱	۰/۰۰۱	۶/۳
	ماکزیمم مقدار مجاز در آب آشامیدنی (استاندارد)	۶/۵- ۸/۵	۱	۱۰	۱۰	۱/۵	۰/۵	۱۵	۰/۰۵	۱۳۰

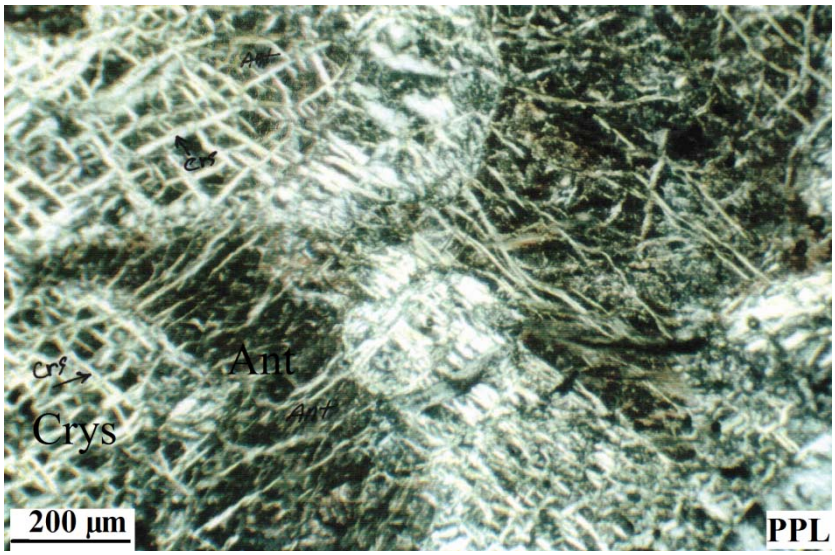


شکل۴. نقشه زمین‌شناسی منطقه طوره [۵].

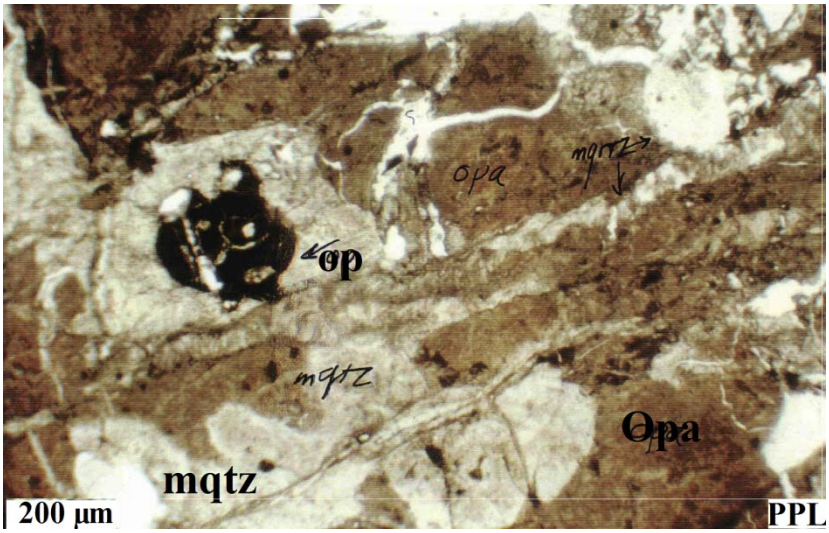
در تمام رخدادهای جیوه واقع در زون افیولیتی خوی، سنگ میزبان کانی‌سازی از نوع سرپانتینیت‌های برشی دگرسان شده است، آن چنان که دگرسانی و انباشت کانه‌ها، در تمام رخدادهای شناخته، در همبری تکتونیکی سرپانتینیت/شیل، سرپانتینیت/کنگلومرا و سرپانتینیت/ملانژ و به سوی سرپانتینیت‌های برشی شده، روی داده است[۳]. با دور شدن از زون‌های گسله از شدت دگرسانی کاسته می‌شود. در منطقه "طوره"، زون دگرسانی راستای شمال خاوری ـ جنوب باختری دارد، اما رگه‌های سینابر هم در راستای یاد شده و هم در راستای شمال باختری، در جابه‌جایی‌های حاصل از گسله‌های فرعی معکوس پدیدار شده‌اند. زون دگرسانی به رنگهای روشن و نارنجی که حاصل فرآیند سیلیسی شدن به اضافه هیدروکسیدهای آهن است، قابل مشاهده است. آبادی طوره، خود بر روی این زون دگرسانی واقع است (شکل۵).

شکل۵. لیستونیت‌های سیلیسی در مجاورت آبادی طوره با رنگهای نارنجی و روشن دیده می‌شوند.

واحد سرپانتینیتی به عنوان سنگ میزبان دگرسانی و کانی‌سازی اهمیت زیادی در پی جویی و اکتشاف کانی سازیهای جیوه و طلا در این ناحیه دارد. در زون کانه‌دار، سرپانتینیت به لیستونیت سیلیسی تبدیل شده است. این سنگ در واقع یک سنگ متاسوماتیک اوپالی است، به طوری که بخش اعظم سنگ به اوپال و یا فازهای میکروکریستالین سیلیس تبدیل شده است. در مقاطع میکروسکپی، این سنگ شامل قطعات خرد شده سرپانتین در اندازه‌های مختلف است که در زمینه‌ای متشکل از هیدروکسیدهای آهن، کانیهای اوپاک و به مقدار زیادی اوپال قرار دارند. در نمونه‌های لیستونیتی مطالعه شده، اوپال فاز اصلی تشکیل دهنده است، در برخی موارد، حدود ۹۵ درصد سنگ از اوپال تشکیل یافته و کوارتز میکروکریستالین (کلسدونی) و کانیهای اوپاک (از جمله سینابر) فازهای دیگر موجود هستند. در برخی موارد نیز کانیهایی همچون گوتیت، منیزیت و کلسیت آنها را همراهی می‌کنند. شکلهای (۶ و ۷) به ترتیب تصاویر میکروسکوپی سرپانتینیت سالم (دگرسان نشده) و سرپانتینیت دگرسان (لیستونیت سیلیسی) را نشان می‌دهند.

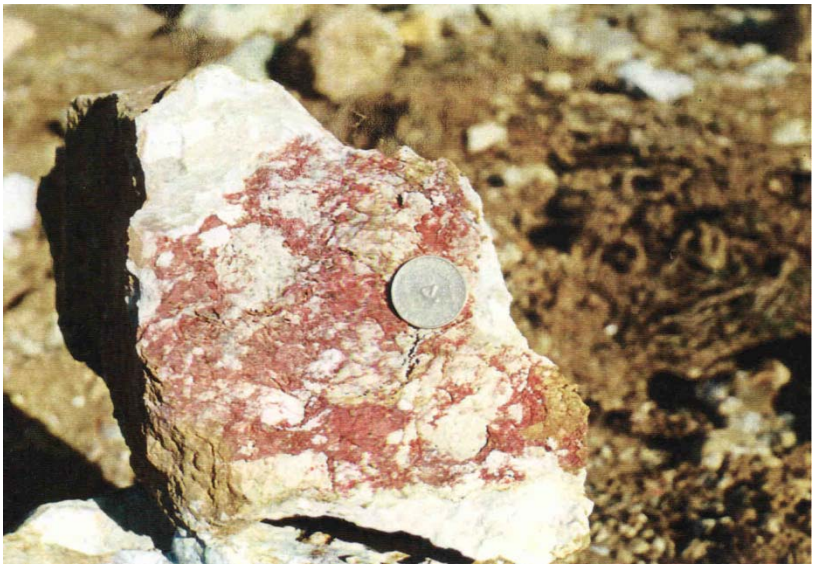


شکل۶. تصویر میکروسکوپی یک نمونه سرپانتینیت سالم در مجاورت و خارج از محدوده دگرسانی.

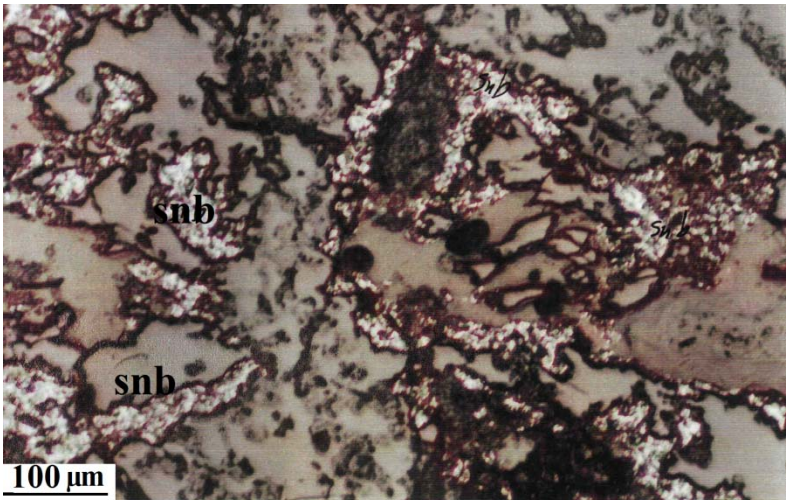


شکل۷. تصویر میکروسکوپی یک نمونه لیستونیت سیلیسی برداشته شده از مجاورت رگه سینابر، حاوی کانیهای کلسدونی (کوارتز میکروکریستالین: mqtz)، اوپال (opa) و اوپاک (op). کانی اوپاک در این نمونه سینابر است.

بافت کانی‌سازی رگه- رگ‌چه‌ای و پر کننده فضاهای خالی است که در آن سینابر همراه با کلسدونی و اوپال به طور نامنظم رگ‌چه‌ها و فضاهای خالی سنگهای برشی را پر نموده است. سنگ میزبان لیستونیتی به شدت ماهیت برشی دارد که احتمالاً ناشی از انفجارهای گرمابی (برشی شدن گرمابی) است. شکلهای (۸ و ۹)، نمایی از کانی‌سازی جیوه (سینابر) و تصویر میکروسکپی آن را نشان می هند.



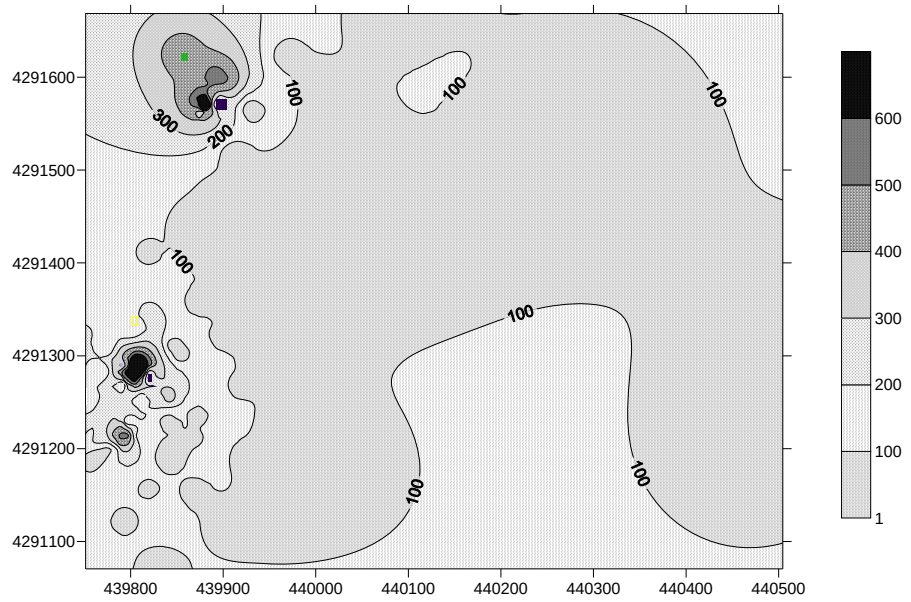
شکل۸.کانی‌سازی جیوه به صورت رگ‌چه ای در سنگهای لیستونیتی (نوع سیلیسی) ناحیه طوره.



شکل۹. تصویر میکروسکوپی یک نمونه برداشته شده از زون کانه‌دار، سینابر (snb) در فضای خالی تشکیل شده است.

توزیع ژئوشیمیایی جیوه در منطقه

لیستونیت‌های ناحیه کانون ناهنجاریهای ژئوشیمیایی جیوه در ناحیه می‌باشند. بررسی آماری نشان می‌دهد که توزیع ژئوشیمیایی جیوه در زون دگرسانی تغییرپذیری زیادی دارد و مقادیر آن در دامنه ۰/۳۶ تا ۱۰۵۰۰ گرم در تن در نوسان است. شکل (۱۰)، نقشه هم عیار ژئوشیمیایی جیوه را در منطقه طوره نشان می‌دهد.



شکل۱۰. نقشه توزیع ژئوشیمیایی جیوه در منطقه طوره (مقادیر بر حسب گرم در تن)، غلظت جیوه در رگه‌های حاوی سینابر به بیش از ۳۰۰ گرم در تن می‌رسد.

گستره زون دگرسانی حدود ۴۰ هکتار (۰/۴ کیلومتر مربع) است. میانگین جیوه در تمام گستره نمونه‌برداری شده ۳۰۰ppm و انحراف معیار آن برابر ۲۵۸۹ ppm به دست آمد. به این ترتیب، ضریب تغییرات توزیع برابر ۸۶۷ خواهد بود. بالا بودن مقادیر انحراف معیار و ضریب تغییرات توزیع از نظر آماری دلالت بر تغییرپذیری زیاد توزیع جیوه و به عبارت دیگر تغییرپذیری زیاد کانی‌سازی دارد. شواهد صحرایی نیز بر این موضوع دلالت دارد، چرا که کانی‌سازی گرمابی اولاً به شدت توسط سیستم گسلی واقع در همبری سرپانتینیت/شیل منطقه کنترل می‌شود و با فاصله گرفتن از زون گسلی از شدت آن کاسته می‌شود. علاوه بر آن، شدت کانی‌سازی در راستای زون کانه‌دار یکسان نبوده و تغییرات زیادی دارد. سیستم کانی‌سازی به گونه‌ای است که در داخل زون دگرسانی، زون‌های کانه‌دار متعددی تشکیل شده است که شاخص‌های آماری توزیع جیوه در هر کدام از آنها با دیگری متفاوت است. ستبرای یکی از این زون‌ها ۹ متر و عیار میانگین جیوه در آن ppm ۳۵۷۲ است. زون‌های با ستبرای یک تا دو متر در این منطقه با عیارهای بین ۰/۵ تا ۱ درصد جیوه در این منطقه معمول است. میانگین مقدار عنصر جیوه در پوسته زمین (کلارک) برابر ppm ۰/۰۸ است [۶]. با توجه به این‌که میانگین عیار جیوه در زون دگرسانی ۳۰۰ppm است، از این رو این عنصر به میزان ۳۷۵۰ برابر در زون دگرسانی طوره غنی شده است. این در حالی است که در برخی رگه‌های کانه‌دار میانگین عیار جیوه به بیش از ppm ۳۷۰۰ نیز می‌رسد، یعنی غنی‌شدگی به میزان بیش از ۴۶۰۰۰ برابر. در نقشه توزیع ژئوشیمیایی جیوه، منحنیهای هم عیار مقادیر بیش از ۱ppm نمایش داده شده است. در بخش اعظمی از این منطقه، غلظت جیوه در سنگ و خاک برجا بیش از ۱۰۰ppm است. همچنین محدوده با بیش از ۳۰۰ppm جیوه، گستره قابل توجهی را به‌خود اختصاص می‌دهد. سرانجام محدوده‌های بسیار ناهنجار مناطق کانه‌دار و رگه‌های سینابردار را شامل می‌شوند. با بررسی نقشه توزیع عیار جیوه روشن می شود که زون‌های ناهنجار به سمت شرق، غرب، جنوب و شمال همچنان گسترش می‌یابند. با توجه به موارد یاد شده، به نظر می‌رسد که منطقه دگرسانی و کانه‌دار طوره بالقوه می‌تواند به عنوان منشأ پراکندگی جیوه در محیط زیست این ناحیه عمل نماید.

پراکندگی جیوه در رسوبات آب‌راهه ای و آبهای سطحی و زیرزمینی

به منظور بررسی میزان پراکندگی کانی سینابر در رسوبات آب‌راهه‌ای، نقشه توزیع کانیهای سنگین رسوبات آب‌راهه‌ای

تهیه شده است (شکل۳). در این نقشه، نمونه‌های واجد این کانی با نماد دایره توپر و نمونه‌های فاقد آن، با نماد دایره توخالی نمایش داده شده است. سینابر به عنوان یک کانی سنگین در ۱۲ نمونه از ۱۴ نمونه مطالعه شده حضور دارد. آب‌راهه‌ای که از ارتفاعات بالادست آبادی طوره (شمال روستای طوره) سرچشمه می‌گیرد، پس از عبور از آبادی طوره با راستای شمالی- جنوبی به سمت جنوب جریان پیدا می‌کند و پس از عبور از آبادی بله سور به رودخانه الند می‌پیوندد. آخرین نمونه‌ای که در آن کانی سینابر حضور دارد، نمونه شماره HM-3 است. این نمونه به فاصله حدود ۷ کیلومتری از زون کانه‌دار قرار دارد، از این رو می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی کانی سینابر در رسوبات آب‌راهه‌ای دست کم تا فاصله ۷ کیلومتری صورت گرفته است. در دو نمونه کانی سنگین به شماره‌های HM-1 و HM-51 کانی سینابر گزارش نشده است، لذا می‌توان آخرین حد پراکندگی این کانی در رسوبات آب‌راهه‌ای را همان ۷ کیلومتری زون کانه‌دار در نظر گرفت. پس از دو نمونه اخیر امکان بررسی پراکندگی کانی سینابر ناشی از زون کانه‌دار وجود ندارد، چرا که در مجاور آبادی بله سور پایین، آب‌راهه بزرگ دیگری مربوط به یک حوضه آبریز دیگر به آب‌راهه یادشده می‌پیوندد. از آنجا که در صورت وجود ناهنجاری و آلودگی جیوه در منشأ (سنگ، خاک و . . .)، احتمال دارد که این عنصر وارد سیستم آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه شود، به منظور بررسی غلظت جیوه در آبهای منطقه طوره تعداد شش نمونه برداشت و آنالیز شده است. مقادیر جیوه در نمونه‌های برداشته شده از حد حساسیت دستگاهی در اندازه‌گیری غلظت جیوه که ۰/۱µg/L است، کمتر می‌باشد. در مقایسه با داده‌های موجود از مناطق دیگر، از جمله آبهای منطقه معدنی کاله‌جیک ترکیه و ایدریای اسلوانی، مقادیر به دست آمده از غلظت جیوه در آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه کانه‌دار گویای عدم آلودگی این آبها به جیوه است [۸-۷]. برای مثال، غلظت جیوه در آبهای ناحیه معدن‌کاری کاله‌جیک ترکیه، شامل آبهای سطحی و تونلها بین ۰/۱-۰/۹۹ میکروگرم بر لیتر به دست آمده است [۸]. در جدول (۱) مقادیر جیوه، آرسنیک، باریم، مس، منگنز، کروم، سرب و گوگرد در نمونه‌های (آب) مطالعه شده از منطقه با بیشینه مقادیر مجاز این عناصر در آبهای آشامیدنی بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی [۹] و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران [۱۰] مقایسه شده است. با توجه به مقدار غلظت جیوه در آب آشامیدنی منطقه طوره (کمتر از ۰/۱µ g/L)، می‌توان نتیجه گرفت که وجود سنگهای غنی از جیوه در بالادست روستای طوره تأثیری در آلودگی آبهای این منطقه نداشته است. از نظر آرسنیک، در تعداد دو نمونه که ترتیب از چشمه‌ای واقع در شرق زون دگرسانی و نیز آبهای سطحی پایین دست این زون برداشت شده‌اند، غلظت اندازه‌گیری شده (به ترتیب با مقادیر ۲۴/۹ و ۲۱/۶ میکروگرم بر لیتر) بیشتر از حد مجاز بوده است. غلظتهای اندازه‌گیری باریم در بیشتر نمونه‌ها و منگنز در یک نمونه بیش از حد مجاز استاندارد آبهای آشامیدنی به دست آمده است.

برداشت

بررسیهای اکتشافی انجام گرفته در منطقه طوره نشان داده است که کانی‌سازی جیوه به صورت تمرکز کانه سینابر در رگه- رگ‌چه‌ها روی داده است. بر اساس بررسیهای ژئوشیمیایی، میانگین جیوه در زون دگرسانی و بی‌هنجاری جیوه که وسعت آن حدود ۰/۴ کیلومتر مربع است، ۳۰۰ppm به دست آمده است. این در حالی است که غلظت جیوه در برخی از رگه‌ها به ۰/۳۵ درصد می‌رسد. با توجه به تمرکز بالای این فلز در منطقه طوره که از نظر توپوگرافی در یکی از سرشاخه‌های رودخانه الند واقع شده است، این احتمال وجود دارد که این بی‌هنجازی ژئوشیمیایی بتواند به عنوان یک منشأ آلودگی محیط زیست عمل نماید.

بررسی رسوبات آب‌راهه‌ای پایین دست منطقه کانه‌دار نشان داد که از نظر فیریکی بخشی از سنگهای کانه‌دار، هوازدگی و تخریب یافته و توسط آب تا فاصله نسبتاً زیاد از منشأ جابه‌جا و انتقال پیدا کرده است، به طوری که کانی سینابر به عنوان یک کانی سنگین در رسوبات آب‌راهه‌ای تا فاصله ۷ کیلومتری حضور دارد. آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب گرفته شده از منطقه گویای آن است که تخریب شیمیایی این کانی، آزاد شدن جیوه از ترکیب کانی سینابر (فاز سولفید) و سپس ورود آن به آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه و در نتیجه آلودگی آنها انجام نگرفته است.

بررسیهای انجام گرفته توسط پژوهشگران در زمینه آلودگی محیط زیست به جیوه در اطراف معادن این فلز، محدود به

مواردی بوده که از معدن استخراج و بازیافت جیوه از کانسنگ انجام می‌گرفته است. در این موارد حتی با گذشت بیش از بیست سال از تعطیلی معدن باز هم خاکهای استخراجی و پسابهای معدنی باقیمانده به عنوان یک منبع آلوده کننده عمل می‌نمایند [۸] به نظر می‌رسد مادامی که عملیات استخراج و بازیافت جیوه از کانسنگ صورت نگیرد، با وجود شدت بالای کانی‌سازی و تمرکز جیوه در سنگها، به دلیل پایدار بودن ترکیب سولفید جیوه، فلز جیوه قادر به خروج از شبکه کانی سینابر نیست. در منطقه طوره نیز با وجود گستردگی منطقه دارای غلظت بالای جیوه، از آن‌جا که جیوه در فاز سولفید جیوه تمرکز یافته است، امکان خروج جیوه از این فاز فراهم نشده و از این رو، این منطقه عملاً نتوانسته است به عنوان یک منبع آلوده کننده محیط زیست از نظر جیوه عمل کند.

منابع

[1] United states environment protection agency, 1997, *Mercury study report to congress*, vol.1.

[2] Laznicka P., *"Emiricalmetallogeny"*, Elsevier scince pub1985.

[۳] امامعلی‌پور ع.، *"فلززایی جیوه در سنگهای لیستونیتی گستره افیولیتی خوی"*، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، بهمن ماه ۸۲.

[۴] امامعلی‌پور ع.، عبدالهی‌شریف ج.، حسنی‌پاک ع.، صحرایی ف.، *"اکتشاف جیوه تیپ خان گلی چالدران"*، شرکت مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۲.

[۵] امامعلی‌پور ع.، *"بررسی ژئوشیمی کانی‌سازی جیوه و تأثیر زیست محیطی آن در منطقه طوره، باختر شهرستان خوی فلززایی ذخایر معدنی در گستره استان آذربایجان غربی"*، طرح مصوب حوزه پژوهشی دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۰.

[6] MasonB., Moore C. B., *"Principles of geochemistry"*, John Willey and sons 4th Ed1982.

[7] Horvat M., Jereb V., Logar M., Fajon V., Miklavcic V., *"The impact of mercury mining on the environment and on human health in the wider"*Idrija region, Slovenia 2002.

[8] Gemici U., Oyman T., *"The influence of the abondanedKalecik Hg mine on water and stream sediments (Karaburun, Izmir, Turkey)*", The science of the total environment, Elsevier 2003.

[9] http:// water-research.net (2010).

[۱۰] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، *"ویژگیهای آب آشامیدنی"*، استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ چهارم۱۳۸۷.