بررسی زمین شیمیایی معدن روی- سرب انگوران و اثرات فعالیت‌های معدنکاری بر آلودگی منطقه

سعیده قدیمی

گروه زمین شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

قاسم نباتیان

عضو هئیت علمی، گروه زمین شناسی، دانشگاه زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۳

ghadimi.sp@gmail.com

چکیده

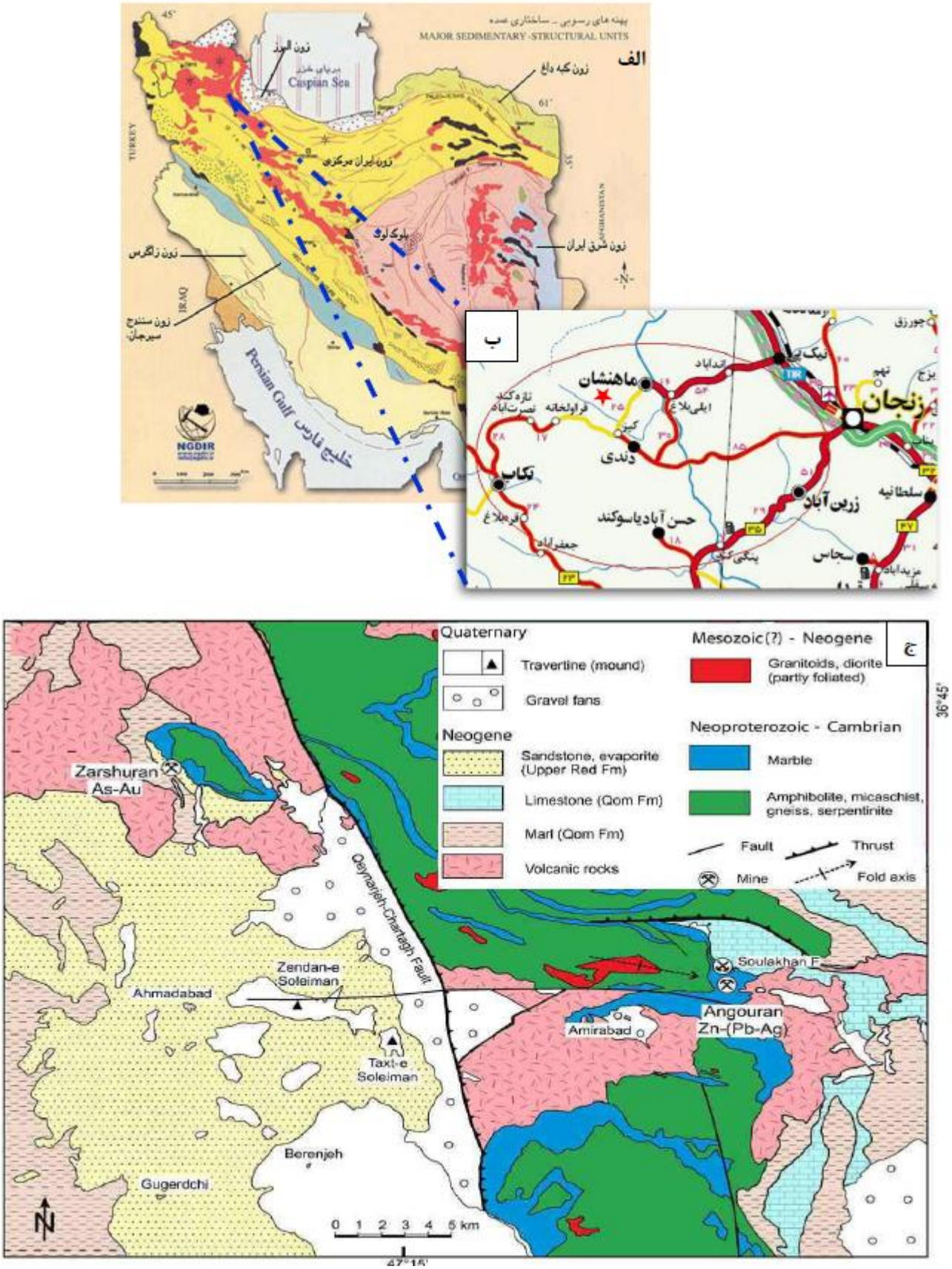
کانسار روی- سرب انگوران درون سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین روی داده که کانی‌سازی محدود به بخش‌های داخلی سه گسل در قسمت‌های شرقی، شمالی و غربی معدن است. گسل‌های مذکور نقش اساسی در کانی‌سازی و انتقال سیالات کانه‌ساز از قسمت تحتانی به سطح داشته‌اند. جهت مطالعات ژئوشیمیایی، تعداد ۱۴۷ نمونه خاکی، ۲۱ نمونه آبی و ۱۱ نمونه از کیک‌های منطقه انگوران برداشت شد. نتایج حاصل از این مطالعات نشانگر روند افزایشی عناصر آرسنیک، نقره، روی و کادمیوم با افزایش عمق می‌باشد و سرب روند خاصی ندارد. در کانسنگ سولفیدی، عناصر نقره با جیوه و کلسیم با منیزیم و در کانسنگ کربناتی، عناصر سرب با آرسنیک و نقره با جیوه هم بستگی بالایی را نشان می‌دهند. در نتیجه فعالیت‌های معدنکاری در منطقه، هزاران تن پسماند حاوی فلزات سنگین تولید می‌شود که تأثیرات نامطلوبی بر اکوسیستم ایجاد نموده و حاکی از ارتباط زیاد این آلودگی‌ها با فراوانی بیماری‌های قلبی و ریوی در منطقه است. مطالعات زیست محیطی صورت گرفته نیز در منطقه گویای آن است که میزان آلودگی‌های آب و خاک در کانسار انگوران نسبت به سایر مناطق در حد بالایی بوده و رابطه معکوس با فاصله گرفتن از کانسار نشان می‌دهد. با استناد به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان راهبردهای پیشگیرانه جهت کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و بالا بردن سطح سلامت ساکنین منطقه ارائه نمود.

کلمات کلیدی: *معدن انگوران، فلزات سنگین، فعالیت‌های معدنکاری، بیماری‌های قلبی و ریوی.*

مقدمه

موقعیت جغرافیایی معدن در فاصله ′۳۷ °۳۶ عرض جغرافیایی و ′۲۴ °۴۷ طول جغرافیایی با ارتفاع ۳۰۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. کانسار انگوران در بخش شمال غربی پهنهٔ سنندج- سیرجان و به عبارت دقیق‌تر در پهنهٔ ارومیه- دختر واقع شده است که دارای خصوصیات تکتونوماگمایی و زمین شناسی مشابه با این پهنه است (Hirayama, 1968). راه اصلی دسترسی به منطقه معدنی از مسیر زنجان- ماهنشان- دندی است که حدود ۱۲۰ کیلومتر است (شکل ۱).

اولین مطالعات زمین شناسی انجام شده در منطقه توسط بورنل در سال ۱۹۶۰ انجام گرفته است (محمدی نیایی، ۱۳۸۵ و Burnol, 1968). اولین پروانه بهره برداری معدن نیز در سال ۱۳۰۱ صادر گردید که فعالیت آن تا سال ۱۳۲۴ متوقف بوده است. در سال ۱۳۴۸ فعالیت معدن از بخش خصوصی به شرکت کالسیمین واگذار گردیده و در سال ۱۳۵۹ معدن مصادره و ملی اعلام شده است (گزارش شرکت ملی سرب و روی ایران، ۱۳۸۵). استخراج معدن در ابتدا به صورت زیر زمینی و به روش کارگاه و پایه نامنظم انجام می‌گرفته که با پیشرفت نسبی عملیات اکتشافی و تعیین ذخیره معدن، مقدمات طراحی معدن روباز به روش پلکانی فراهم آمد. در سال ۱۳۴۷ اولین طرح روباز معدن انجام گرفته که بر اساس اطلاعات حاصل از ۵۲ گمانه اکتشافی و رسم مقاطع قائم توسط این اطلاعات تهیه شده است (Burnol, 1968). با توجه به بررسی های انجام شده توسط (Daliran and Borg, 2003, 2005; Daliran et al. 2002) در منطقه مورد مطالعه حداقل دو تیپ کانسار مختلف شامل کانسنگ اکسیدی و سولفیدی وجود دارد که بخش اصلی معدن متعلق به کانسنگ اکسیدی است که عمدتاً از کربنات روی، شامل اسمیت زونیت، همی مورفیت و کربنات سرب شامل سروزیت تشکیل شده است. وجود معدن انگوران از یک سو موجب رشد اقتصادی منطقه و از سوی دیگر عاملی برای تهدید سلامت ساکنین منطقه می‌باشد. آلودگی‌های معدنی ممکن است به صورت طبیعی باشد و یا عوامل انسانی موجب تشدید آن شده باشند (مر و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به این که ایران یک کشور در حال توسعه بوده و برای پیشرفت خود ناچار به توسعه معادن می‌باشد، بنابراین برای توسعه پایدار صنعت معدن کشور لازم است تا جنبه‌های زیست محیطی صنایع معدنی کشور مورد شناسایی قرار گیرد (سیاره و همکاران، ۱۳۸۴). در این مقاله سعی شده است که با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و نتایج حاصل از آنها، تأثیرات حاصل از فعالیت‌های معدن-کاری در منطقه، مورد بررسی قرار گیرد.



شکل۱. الف) نقشه ساختاری ایران و موقعیت منطقه معدنی انگوران بر پهنه سنندج- سیرجان(Hamdi, 1995) . ب) راه‌های دسترسی به منطقه معدنی انگوران (Google-earth, 2009) و ج) نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه معدنی (با تغییرات از Burnol,1968).

روش کار

به منظور انجام این مطالعه، ابتدا جمع آوری اطلاعات از پیش موجود و بررسی ذخیره در مقیاس ۱/۵۰۰۰ و بر اساس اطلاعات بدست آمده، نقاط نمونه برداری مشخص گردید. در این راستا، تعداد ۵۰ نمونه از بخش‌های مختلف کانسار شامل (کران بالا و پایین کانسنگ ، کانسنگ ، سنگ بستر دگرگونه، مغزه‌های حفاری) برداشت و مطالعات میکروسکوپی کانه‌های سولفیدی و غیر سولفیدی در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه تربیت معلم بر روی آنها صورت گرفت.

هدف از این مطالعه بررسی کانی شناسی و زمین شیمی افق‌های کانه‌دار و سنگ میزبان کانی سازی در کانسار روی- سرب انگوران می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از مطالعات سطحی و مغزه‌های حفاری DD-4، DB-53 و DD-35، به بررسی اثرات معدنکاری بر محیط زیست و مردم بومی منطقه پرداخته شده است. بر این اساس، تعداد ۱۴۷ نمونه از مغزه‌ها، تعداد ۲۱ نمونه آبی و ۱۱ نمونه از باطله‌های منطقه برداشت و به روش‌های XRF، ICP-OES و ICP-MS در آزمایشگاه AMDEL و LAB WEST استرالیا مورد آنالیز شده که نتایج حاصل با استناد به استانداردهای WHO و EPA مورد سنجش قرار گرفتند.

بحث

زمین شناسی منطقه

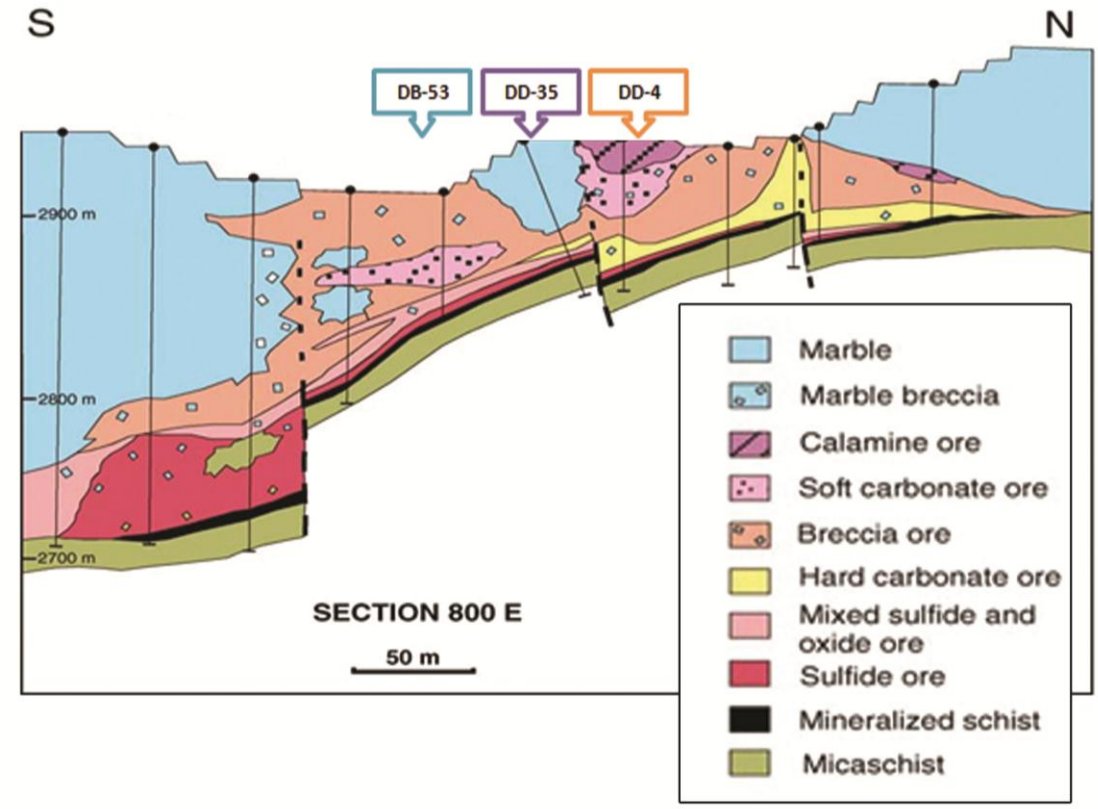
به طور کلی، سنگ میزبان منطقه معدنی انگوران در یک کمپلکس دگرگونی به سن نئوپروتروزوئیک تا کامبرین (Borg and Daliran, 2004 و Daliran and Borg, 2005) قرار گرفته است که طی میوسن زیرین توسط فرآیندهای کششی در منطقه دچار دگرشکلی شده (Gilg, 1996 و Gilg et al. 2003) و باعث تشکیل مجموعه آمفیبولیت، سرپنتینیت، گنیس، میکاشیست و سنگ‌های کلسیک و آهک بلورین (مرمر) شده است (شکل ۱). سنگ‌های مرمر نامبرده، در برخی مناطق به صورت میان لایه‌ای با سنگ‌های آمفیبولیت، گنیس و میکاشیست قرار دارند که در برخی نقاط ضخامت آنها به ۳۰۰ متر می‌رسد. مهمترین افق کانه‌دار کانسار انگوران در بالاترین واحدهای سنگ آهک بلوربن تشکیل شده است که طبق مطالعات (Daliran et al. 2002) بیشترین طول آن حدود ۷۰۰ متر و بیشترین عرض آن ۶۰۰ متر می‌باشد (Burnol, 1968 و Hamdi, 1995). محدوده کانه‌دار با عبور از بخش کربناته به طرف غرب و به سمت سنگ‌های متابازیک آثار چین خوردگی ضعیفی دارد که ماده معدنی در این بخش‌ها، تقریباً در بخش مرکزی یا هسته تاقدیس

قرار گرفته است (Daliran and Borg, 2005 و Hamdi, 1995) (شکل۲). در اواخر پروتروزوئیک پایانی و در طی یک فاز دگرگونی احتمالاً در اثر هضم پوسته‌های اقیانوسی کم ضخامت، پوسته‌های قاره‌ای تحکیم نشده به هم رسیده و در یک رژیم تکتونیکی فشارشی- حرارتی تحت رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت دگرگون می‌شوند. حاصل این دگرگونی تبدیل توف‌های بازیک و همچنین بازالت‌ها به سنگ‌های دگرگونی مافیک می‌باشد (غضنفری و همکاران، ۱۳۷۰). در محل معدن انگوران توف‌های با ترکیب حدواسط با تفوق قطب رسوبی تبدیل به نوعی میکاشیست (سریسیت-کلریت وشیست) می‌شوند. بخش‌هایی که آهک بیشتر دارند، کالک شیست‌ها و مرمرها را می‌سازند. آهک کمر بالای ماده معدنی که دارای آثار مواد آلی است، تحت تأثیر این فاز دگرگونی تبدیل به یک آهک دوباره متبلور گرافیت دار می‌گردد. تحت همین فاز دگرگونی و هم زمان با دگرگونی، چین خوردگی شدید منجر به ایجاد انواع ریزچین‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی در سنگ‌ها و همچنین چین‌های بزرگ در مقیاس منطقه‌ای می‌شود. کانسار انگوران در حقیقت در بخش مرکزی یکی از همین چین‌های بزرگ قرار می‌گیرد. بخش‌های هضم نشده پوسته‌های اقیانوسی در اثر این فاز دگرگونی تماماً تبدیل به سرپانتینیت شده‌اند. این سرپانتینیت‌ها در حال حاضر بصورت باندهای کم ضخامتی در بین سنگ‌های دگرگونه قرار گرفته‌اند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲).

در نزدیک معدن انگوران یک باند سرپانتینی با درازای بیش از ۳ کیلومتر دارای روند تقریباً شرقی- غربی است. گاهی قطعات این سرپانتینیت‌ها بصورت بلوک های بیگانه در سنگ‌های دگرگونه (نظیر آمفیبولیت‌ها، کلریت شیست-ها، اپیدوت آمفیبولیت‌ها یا حتی مرمرها) دیده می‌شود. این قطعات بیگانه در حقیقت بخش‌هایی از همین باندهای کم ضخامت سرپانتینیتی می‌باشند که در حین هضم پوسته اقیانوسی بداخل حوضه رسوبی- آتشفشانی افتاده‌اند و سپس دگرگون شده‌اند. جهت فشارش اصلی در این فاز دگرگونی شمالی-جنوبی بوده و درجه دگرگونی نیز هرچه به سمت شمال میرویم، بیشتر می-شود (تحول از رخساره شیست سبز به آمفیبولیت). در فاز دوم دگرگونی (معادل سازند کهر) منطقه دوباره یک دگرگونی خفیف را تحمل نموده که از حد پایین رخساره شیست سبز تجاوز نمی‌کند. این فاز دوم دگرگونی آثار مختلفی را از جمله تحول سرپانتین به ترمولیت، تغییر روند ساختارهای تکتونیکی و ایجاد لینیاسیون در بعضی از شیست ها و کالک شیست ها (L2) همچنین ایجاد ساختارهای با چین خوردگی مکرر نشان می‌دهد.

به طور کلی آثار این دو فاز دگرگونی در مورد کانسار انگوران بیشتر محدود به تحرک مجدد کانه ها بوده که آن هم در اثر آلتراسیون بعدی تقریباً از بین رفته است (غضنفری و همکاران، ۱۳۷۰ و Gilg et al. 2003). در این بخش توده معدنی بین واحد آهک بلورین و دولومیتی و شیست‌های میکادار قرار گرفته است. به طور کلی سیستم گسلش در منطقه معدنی انگوران به شکل مثلث است که قاعده آن به سمت شمال و رأس آن به سمت جنوب می‌باشد که کانسار روی- سرب انگوران محدود به داخل این محدودهٔ مثلثی شکل است.

در قسمت خارجی این محدوده مثلثی شکل، تاکنون اکتشافی صورت نگرفته است (Stockli et al. 2004). عیار ماده معدنی، جنس و نوع ماده معدنی (کربناتی، اکسیدی و سیلیکاتی) توسط این گسل‌ها کنترل می‌شود. گسل واقع در ضلع شرقی معدن، از مهمترین گسل‌های منطقه است که موجب جدایش واحد آهک بلورین (ضلع شرقی) از توده معدنی و آهک‌های کمربالا شده است. گسل دیگر با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب بوده که با شیب $^{\circ}$۸۵ به سمت جنوب شرق و عملکرد نرمال، موجب فروافتادگی کانسنگ در ضلع جنوبی شده است. لازم به ذکر است که بخش سولفیدی کانسار انگوران عمدتاً در بخش جنوبی این گسل ودر قسمت زیرین کانسار دیده می‌شود (شکل ۲).



شکل۲. نیم‌رخ زمین‌شناسی در راستای شمالی- جنوبی و موقعیت حفاری‌ها در معدن انگوران (Gilg et al. 2006)

کانی شناسی زون های سولفیدی و غیرسولفیدی

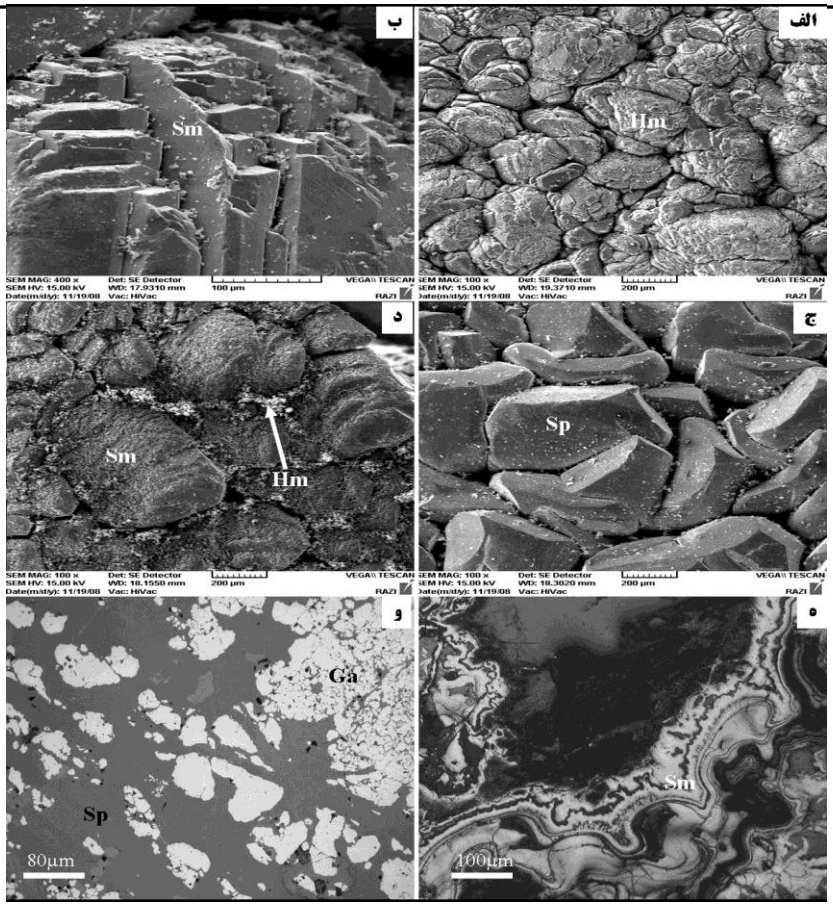
مطالعات کانی شناسی در منطقه نشان می‌دهد که مجموعه کانی‌های تشکیل شده در کانسار مورد مطالعه را می توان به دو گروه سولفیدی و غیرسولفیدی (کانی‌های اکسیدی و کربناته) تقسیم کرد که طی دو مرحله هیپوژن و سوپرژن تشکیل شده‌اند. کانی‌های بخش سولفیدی که عمدتاً متعلق به فاز هیپوژن هستند شامل مقادیر بالای اسفالریت و به مقدار کمتر گالن، پیریت و آرسنوپیریت است که کلسیت، دولومیت، مسکویت، انیدریت و کوارتز مهمترین کانی‌های گانگ همراه آن محسوب می‌شوند.

در مناطقی که لایه‌های شیستی در مجاورت با بخش سولفیدی قرار گرفته است (بویژه در بخش شمال کانسار) ، پیریت و آرسنوپیریت را می‌توان به صورت ذرات دانه ریز، درون واحدهای شیستی مشاهده کرد. از ویژگی این واحد شیستی می‌توان به رنگ سیاه و جلای صابونی آن اشاره کرد که بسیار شکننده می‌باشد. از مهمترین کانی‌های بخش غیر سولفیدی نیز کربنات روی یا اسمیت زونیت است که دست کم طی دو مرحله از فاز هیپوژن تشکیل شده است. بخشی از کانی سازی کربنات روی که از خلوص بیشتری برخوردار بوده غالباً دارای رنگ سفید با بافت توده‌ای تا دانه پراکنده است، و اصطلاحاً کالاماین نامیده می‌شود.

کالاماین در بخش‌های فوقانی کانسار فراوان‌تر بوده و مشخص کننده مرز بالایی کانسار با آهک متبلور (مرمر) است (شکل۳). مطالعات میکروسکوپی بر روی مغزه های حفاری DB-53 و DD-4 حاکی از آن است که ذخایر غیرسولفیدی زون کالاماین بر خلاف کانی‌های با ترکیب کربنات- سیلیکات، تنها حاصل جانشینی اسفالریت توسط اسمیت زونیت نبوده بلکه از جانشینی عنصر روی در واحدهای آهکی و دولومیتی سنگ میزبان تشکیل شده است (شکل۳). از ویژگی مهم زون کالاماین عیار بالای روی و عیار پایین سرب است که در آن بلورهای اسفالریت و گالن در آن به صورت مخفی بلور بوده و نهشت آنها به صورت سوپرژن است. این کانی‌ها از نظر خاستگاه به دو گروه درجازا (جایگزین در سنگ دیواره) و برجای مانده (پرکننده کارست) تقسیم بندی می‌شوند (Daliran et al. 2002; Daliran and Borg, 2005). همچنین در بخش‌های اکسیدی، کانی همی مورفیت با بافت شاخص گل کلمی $Zn_4(OH)_2[Si_2O_7]$، نیز وجود دارد (شکل۳).

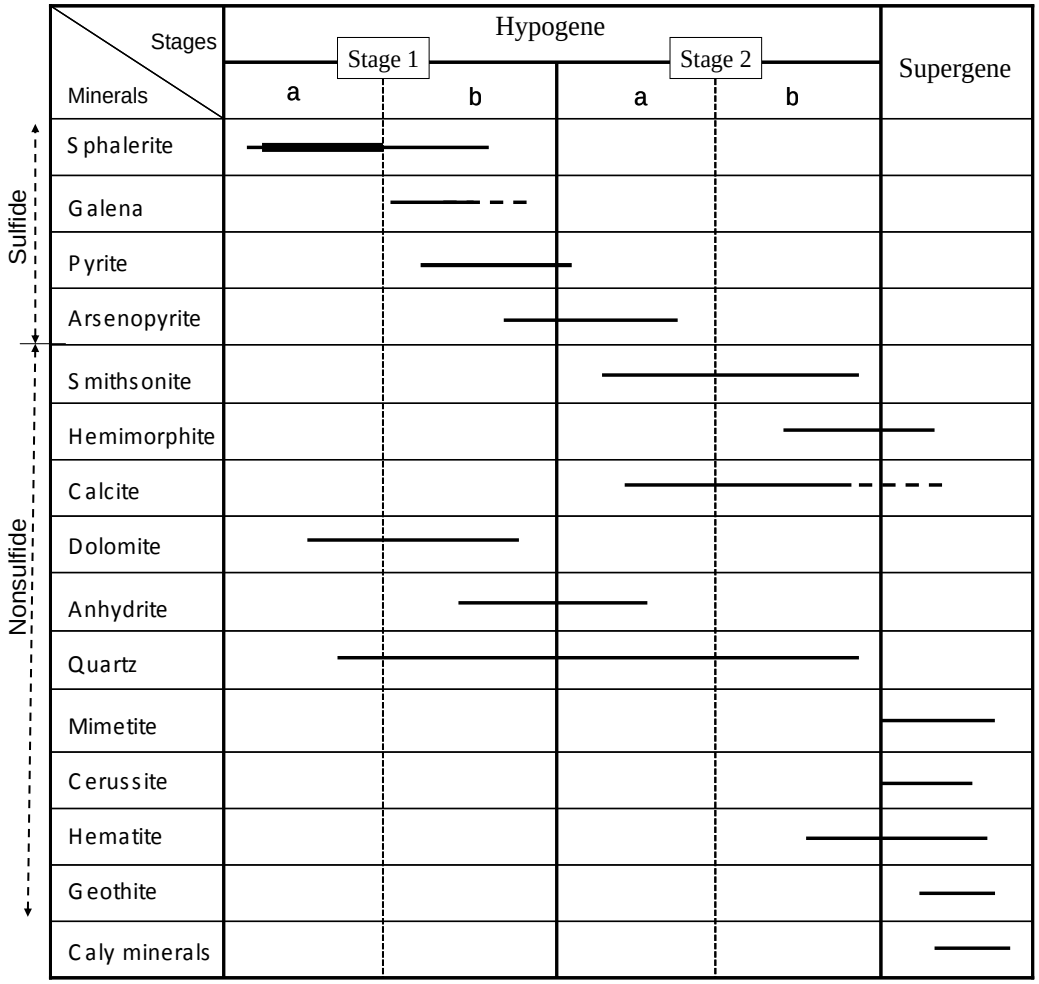
مهمترین بافت‌های مشاهده شده صحرایی و میکروسکوپی شامل بافت برشی، کارستیک و حفره‌ای در کانسنگ غیرسولفیدی و بافت‌های انتشاری، رگه‌ای و رگچه‌ای به خصوص در کانسنگ سولفیدی است (شکل ۴). مجموعه کانی‌های سروزیت، میمتیت و پیرومورفیت به همراه کانی‌های سوپرژن هماتیت، گوتیت، ژاروسیت و کانی‌های رسی مونت موریونیت، ایلیت و کائولینیت به صورت پاراژنتیک طی مرحله سوپرژن تشکیل شده‌اند (شکل ۵).

علاوه بر آن کانی‌های منگنزدار از قبیل پیرولوزیت به صورت لکه‌های ریز و گاه به صورت دندریتی در بخش‌های فوقانی کانسار در واحد آهکی نیز دیده می‌شود.



شکل ۳. تصاویر BSE (الف- د) و میکروسکوپی (ه- و) از بخش های مختلف کانسار انگوران شامل، الف) بلورهای گل کلمی شکل همی‌مورفیت (Hm) در بخش غیر سولفیدی، ب) بلورهای نسل اول اسمیت‌زونیت (Sm) در مرحله دوم فاز هیپوژن، ج) نمایی از بلورهای اسفالریت (Sp) در مرحله اول فاز هیپوژن در بخش سولفیدی، د) بلورهای اسمیت‌زونیت (Sm) در زون کالاماین که در قسمت های حاشیه توسط همی‌مورفیت (Hm) جانشین شده است، ه) تصویر میکروسکوپی اسمیت‌زونیت (Sm) نسل دوم با بافت نواری، و) همراهی گالن (Ga) و اسفالریت (Sp) در مرحله اول فاز هیپوژن بخش سولفیدی.

شکل۴. مهمترین بافت‌های مشاهده شده الف) بافت حفره‌ای، ب) بافت برشی، ج) بافت رگه- رگچه‌ای



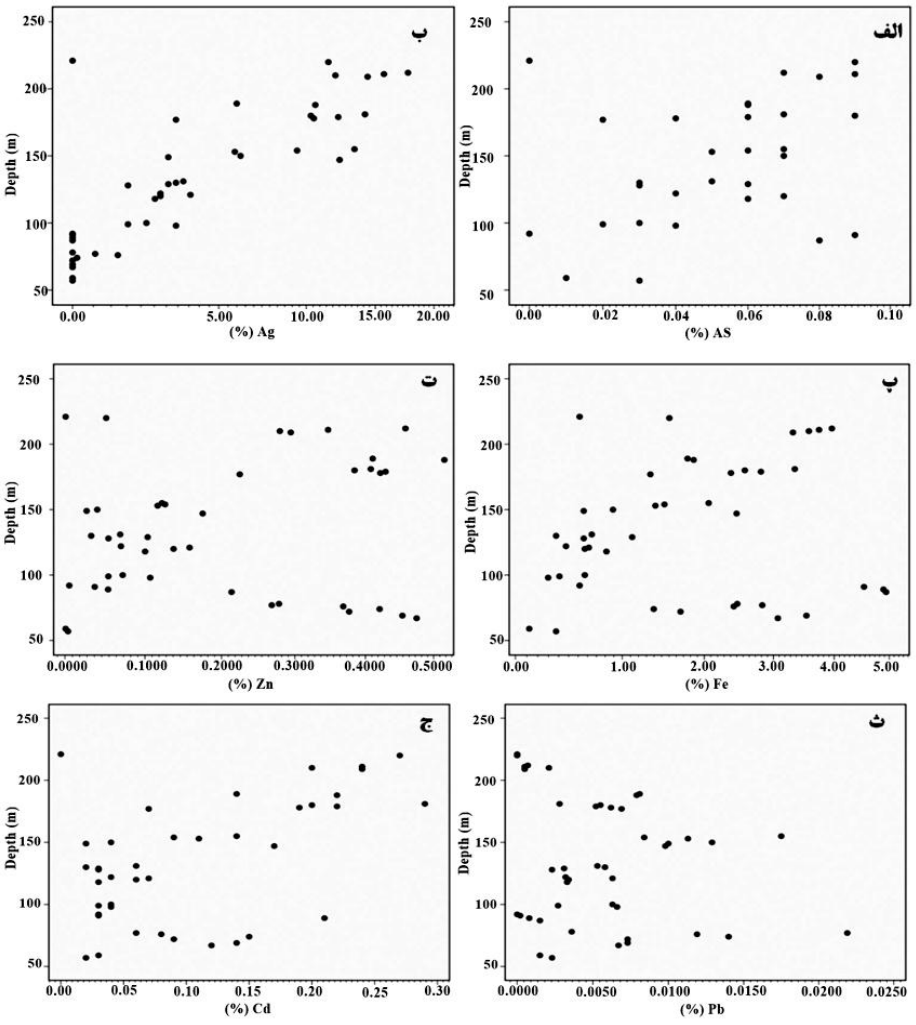
شکل ۵ . توالی پاراژنزی کانسار روی- سرب انگوران

زمین شیمی

پس از نمونه برداری از مغزه های حفاری DD-4 و DB-53 از عمق ۵۶ تا ۲۵۰ متری، تعداد ۱۴۷ نمونه به روش‌های XRF برای عناصر اکسیدی (شامل Al_2O_3, SiO_2, MgO) و ICP_MS برای عناصر جزئی (از قبیل Fe, Cd, Sr ,Sb ,Ba ,Ag ,Pb ,Zn ,Cu ,Co ,Mo ,Hg ,Bi ,Sn) انتخاب و مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS و statistics مورد تجزیه و تحلیل‌های آماری قرار گرفته است. به منظور بررسی همبستگی‌های آماری بین متغیرهای مختلف و بررسی تغییرات عیار عناصر نسبت به عمق از ماتریس همبستگی رتبه ای اسپیرمن و پیرسون استفاده شده است (جدول ۱). همچنین جهت شناخت ارتباط ژنتیکی متقابل میان عناصر از روش آماری چند متغیره (آنالیز خوشه‌ای) استفاده شده است. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی مقادیر عناصر آرسنیک، نقره، روی، آهن و کادمیم با افزایش عمق، روند افزایشی داشته و سرب روند خاصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۶). به نظر می‌رسد که تشکیل کانی‌های اکسیدی- کربناتی سرب در بخش‌های سطحی کانسار روی- سرب انگوران، باعث تمرکز و بالا رفتن میزان سرب در بخش‌های سطحی آن باشد. به همین خاطر است که عنصر سرب، مثل بقیهٔ عناصر روند مشخصی را از خود نشان نداده و در آنالیزهای انجام شده بیشتر در اعماق کمتر تمرکز پیدا کرده است. همچنین طبق همبستگی رتبه‌ای پیرسون در کانسنگ سولفیدی، عناصر نقره با جیوه و کلسیم با منیزیم و در کانسنگ کربناتی عناصر سرب با آرسنیک و نقره با جیوه دارای همبستگی بالایی هستند. جفت عناصر کادمیم-کلسیم و جیوه- نیکل نیز همبستگی ضعیفی نشان می‌دهند. عنصر روی نیز همبستگی مثبتی با کادمیم و گوگرد در زون سولفیدی و با کبالت در زون کربناتی نشان می‌دهد (شکل ۶). مقادیر نقره، جیوه و مس در بخش کربناته روند کاهشی داشته و به طور عکس مقادیر آنتیموان، آرسنیک، منگنز و سرب در این بخش بیش از بخش‌های سولفیدی است (شکل ۶).

جدول ۱. ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن- پیرسون برای ۱۰ عنصر معرف در منطقه.

	Ag	As	Cd	Co	Cu	Fe	Pb	S	Zn	Sb
Ag	۱/۰۰۰									
As	-۰/۱۶۹	۱/۰۰۰								
Cd	۰/۴۱۸.	۰/۱۱۰	۱/۰۰۰							
Co	۰/۲۴۱	۰/۳۰۵	۰/۴۶۶	۱/۰۰۰						
Cu	۰/۰۹۹	۰/۰۱۰	-۰/۰۹۴	-۰/۰۶۶	۱/۰۰۰					
Fe	۰/۳۲۸.	۰/۳۳۵	۰/۷۰۳	۰/۵۶۲	-۰/۰۸۰	۱/۰۰۰				
Pb	-۰/۰۳۶	۰/۷۷۹	-۰/۱۹۲	۰/۰۸۳	۰/۳۳۳	-۰/۱۰۵	۱/۰۰۰			
S	۰/۷۸۹	-۰/۰۸۸	۰/۴۶۸	۰/۴۴۸	-۰/۰۲۳	۰/۴۶۲	-۰/۲۳۶	۱/۰۰۰		
Zn	۰/۸۸۷	۰/۴۳۰	۰/۷۰۷	۰/۸۳۲	-۰/۱۰۱	۰/۷۲۹	۰/۲۰۲	۰/۷۲۶	۱/۰۰۰	
Sb	۰/۰۷۲	۰/۶۸۳	۰/۰۵۱	۰/۳۹۲	۰/۱۴۳	۰/۱۹۴	۰/۷۸۹	۰/۰۳۰	۰/۵۱۹	۱/۰۰۰



شکل ۶. نمودار تغییرات عناصر معرف در کانسار انگوران نسبت به عمق، شامل الف) آرسنیک، ب) نقره، پ) آهن، ت) روی، ث) سرب و ج) کادمیم.

مطالعات زمین زیست محیطی

مراحل فرآوری شمش روی از معدن تا کارخانه تغلیظ به شرح زیر می باشد، پس از استخراج مواد معدنی، قطعات بزرگ استخراج شده در محل خرد می‌شوند و به مجتمع روی انگوران ارسال می‌شود. در آنجا نیز سنگ‌های خرد شده مجدداً خرد می‌شوند و به دانه‌های ریزتر تبدیل می‌شوند و پس از اعمال عملیات فلوتاسیون و فیلتراسیون به کنسانتره روی و سرب خام تبدیل می‌شود و سپس با عملیات فیلتر پرس در کارخانه تغلیظ دندی، خاک معدنی پر عیار مورد مصرف قرار می‌گیرد و به شمش روی تبدیل می‌شود در ادامه زائدات مجتمع و سنگ‌های خرد شده و نرم که با آب مخلوط است به صورت Slurry درآمده به عنوان باطله شناخته می‌شود که در محل‌هایی که توسط ارزیابان زیست محیطی کالسیمین به عنوان محلی مناسب برای سد باطله مشخص شده است دفع می‌گردد (شریعتی و همکاران، ۱۳۸۷) (شکل ۷ الف). ولی به نظر می‌رسد مکان یابی سد باطله به لحاظ زیست محیطی در محل مناسبی قرار نگرفته و نزدیکی محل سدها با رودخانه انگوران چای و زمین‌های کشاورزی روستای انگوران (شکل ۷ ب) و هم چنین عدم توجه به شیب زمین، موجب شده تا در زمان بارندگی‌های شدید، رواناب بیشتر از ظرفیت سد، از سمت کیک‌های زائد به داخل رودخانه جریان یابد و آب رودخانه را مسموم نمایند بررسی‌ها و مطالعات میدانی گویای این مساله می‌باشد که دیوار سد می‌تواند مقداری از آلودگی‌ها را از خود عبور دهد (جدول ۲).

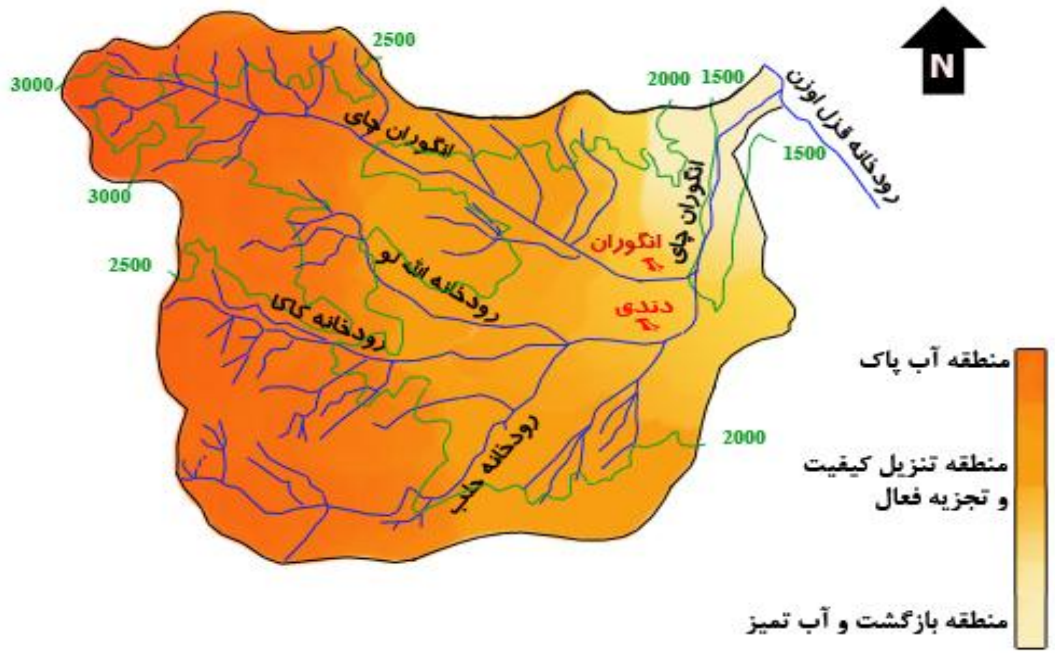
شکل۷. الف) محل و نحوه انباشت پسماندها در شرکت ملی سرب و روی، ب) نزدیکی سد باطله به رودخانه انگوران چای و روستای انگوران.

جدول ۲. میانگین عناصر موجود در نمونه‌های سد باطله و رودخانه های منطقه

محل نمونه‌ها	Zn (ppm)	Pb(ppm)	As(ppm)	Cd(ppm)
مواد باطله	۳۱۰۰۰	۲۸۰۰	۷۳۰۰	۵۱۰
رودخانه مجاور سد	۲۲۰	۴۹	۷/۲	۲
انگوران چای	۱۲/۹۴	۰/۷۸	۴/۷۳	۲/۰۷
رودخانه قشلاق جوق	۳/۱۸	۱/۷	۴/۶	۰/۹
رودخانه قزل اوزن	۷/۵	۰/۱	۱۵/۷	۳/۲۹
روستای انگوران	۸۸	۱۵/۹	۴	۲
قلعه جوق	۴۶/۸	۱۳	۵/۰۹	۳/۴
کپز	۷۵	۹/۹	۲	۲/۲

با اندازه‌گیری میزان ۴ عنصر سنگین در آب‌های منطقه می‌توان نتیجه گرفت که رودخانه‌های منطقه هیچ تأثیر شاخصی از آلایندگی را در بالادست معدن از خود نشان نمی‌دهند، بلکه با عبور این آب‌ها از محل معدن و یا کارخانجات به طور ناگهانی ترکیب خود را به سمت آلایندگی تغییر می‌دهند (شکل۸).

با توجه به استانداردهای جهانی برای میزان عناصر سنگین در آب و خاک (جدول ۳)، مشاهده می‌شود که روستای انگوران، دارای آلودگی نسبتاً بالایی از این عناصر است (جدول ۲). این روستا بر روی سازند قم به سن الیگومیوسن واقع شده که دارای بیشترین رخنمون در منطقه است. تشکیلات زمین شناسی در حوضه انگوران چای شامل واحدهای کربناته، رسوبات آواری، آبرفتی، مارن‌های رنگی، رس‌های آهکی و رسوبات تبخیری هستند. وجود رسوبات تبخیری در این منطقه، از آلاینده‌های طبیعی حوضه آبریز انگوران چای به شمار می‌آیند (پری-زنگنه، ۱۳۷۷). آلاینده‌های دیگری که در این منطقه، محیط‌های زیستی آب و خاک را به شدت آلوده می‌کنند شامل عناصر سمی مانند آنتیموان، سرب و روی و غیره می‌باشند. با توجه به وضعیت توپوگرافی و ساختار پترولوژیکی، منطقه از پستی و بلندی‌های بسیار ناهمگون و غیر عادی ساخته شده است. همچنین به علت وقوع فعالیت‌های تکتونیکی، اختلاف شدیدی در تراکم و مقاومت سنگ‌های سازنده منطقه پدید آمده است. با جاری شدن آب‌های سطحی، سرب و روی و سایر عناصر آلوده کننده محیط زیست، از کوهپایه‌ها و دامنه‌ها شسته شده و وارد انگوران چای می‌شود بطوری‌که در فصول پر باران آب اغلب رودخانه‌های منطقه کدر و آلوده است. بادهای شدید موسمی و محلی نیز در آلوده نمودن آب‌های سطحی منطقه نقش به‌سزایی دارند. به این صورت که با وزش باد خاک‌های سطحی حاوی عناصر سنگین، از ارتفاعات برداشته شده و سپس با کاهش سرعت باد و یا در زمان تماس جریان باد با سطح آب رودخانه‌ها، بار خود را به صورت ذرات رسوب برجای می‌گذارند (پری‌زنگنه، ۱۳۷۸).



شکل۸. پهنه بندی کیفی حوضه آبریز انگوران چای

جدول ۳. استانداردهای عناصر سنگین در آب و خاک

استانداردها	Zn (ppm)	Pb(ppm)	As(ppm)	Cd(ppm)
حد مجاز موجود در آب	۱۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰۵
حد مجاز موجود در خاک	۴۰-۸۰	۲	۰/۵	۰/۱

با توجه به نتایج آنالیز خاک کانسار انگوران و مقایسه آن با استانداردهای جهانی مشاهده می‌شود که میزان عناصر سنگین در خاک این کانسار بسیار بالاتر از حد مجاز استانداردهای جهانی می‌باشد (جدول ۴). هم چنین با توجه به نتایج آنالیزهای آب و خاک منطقه مطالعاتی، می‌توان نتیجه گرفت با دور شدن از این کانسار از میزان آلودگی‌ها کاسته می‌شود که این مسأله خود بیانگر آن است که هیچ تمهید مؤثری برای کاهش آلودگی در منطقه صورت نپذیرفته است.

جدول۴. میانگین عناصر موجود در خاک معدن انگوران (ppm)

محل نمونه برداری	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	As	Cd
بخش شمالی معدن	۱۱۴۴۹	۱۵۰۲۴	۶۶	۵۱۰	۳۸۴	۱۳۳۸	۹۷۷۵	۲۵۷۸/۵
بخش جنوبی معدن	۱۰۱۵۴	۱۵۱۹۹	۴۵/۵	۵۵۷/۵	۴۰۲	۱۳۷۸	۷۴۱۶/۵	۲۶۸۵/۵
بخش مرکزی معدن	۱۲۵۵۸	۱۵۰۰۹	۵۸	۵۴۷	۵۰۳	۱۳۹۹	۹۲۹۵	۲۵۷۸

زمین پزشکی منطقه

معدنکاری کانسارهای سرب- روی (گالن، اسفالریت، تتراهدریت)، و فرآوری سرب- روی در این کانسارها، آلوده کننده‌های تاریخی مهمی به شمار می‌آیند. اثرات فیزیولوژیکی که شناخته شده‌تر هستند به ترتیب با افزایش مقادیر سرب شامل: اختلال بیوسنتز هموگلوبین و کم خونی، افزایش فشارخون، آسیب کلیه، سقط جنین و نارسی نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری در بچه‌ها، اختلالات رفتاری در بچه‌ها مانند پرخاشگری و بیش فعالی می‌باشد (سیاره و همکاران، ۱۳۸۴). قابل ذکر است که سرب از راه جفت وارد بدن جنینمی‌شود (حمایت خواه جهرمی و همکاران، ۱۳۸۸). به همین علت، سرب باعث آسیب جدی سیستم عصبی و مغز جنین می‌شود. هم چنین سرب از طریق جایگزینی آهن، باعث کم خونی و از طریق جمع شدن در استخوانها باعث کم شدن کلسیم در بدن می‌شود. فلز روی نیز می‌تواند باعث کاهش رشد در انسان‌ها شود. با استناد به آمار اداره بهداشت ایران، ابتلای کودکان به بیماری‌های قلبی مادرزاد در کشور ۶۰٪ و در استان زنجان ۶۴/۳٪ است. هم چنین بیماری کاردیومیوپاتی در کشور ۳/۶٪ پایین تر از میزان آن در استان زنجان است. تحقیقات نشان می-دهد استنشاق ذرات خروجی از دودکش کارخانجات ممکن است در مجاری تنفسی فوقانی تحریک ایجاد نموده و با نفوذ به شش‌ها منجر به اختلالات تنفسی گردد. متأسفانه بنا به گزارش محرمانه شرکت کالسیمین در سال ۱۳۸۶، میزان گازهای خروجی و آلاینده‌ها ۲۳/۲٪ بالاتر از حد مجاز بوده است

(شریعتی و همکاران، ۱۳۸۸ و رضایی، ۱۳۸۷). این میزان علاوه بر ایجاد مشکلات عدیده برای محیط زیست، اثرات سوء بر سلامت ساکنین این منطقه دارد، که از جمله آن می‌توان به راهیابی ذرات سرب معلق در هوا به بدن از طریق تنفس اشاره نمود که این ذرات قابلیت حمل اکسیژن در خون را کاهش می‌دهد در نتیجه آن اکسیژن کافی به سیستم اعصاب مرکزی (مغز) نمی‌رسد که موجب آنسفالیت سمی (التهاب بافت مغز) یا اختلال در عملکرد سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد و در کودکان موجب عقب ماندگی ذهنی، نارسایی دستگاه خون ساز، کلیه و مجاری ادراری شود. هم چنین در پژوهش صورت گرفته برای تعیین مقادیر سرب خون و خطر مسمومیت با آن در کارکنان کارخانه‌ی ذوب روی دندی نشان می‌دهد که مقادیر سرب خون کارکنان کارخانه نسبت به گروه شاهد بالا است؛ گرچه مقادیر سرب خون کارکنان با توجه به استاندارد OSHA در محدوده طبیعی قرار داشت (خوشی و همکاران، ۱۳۸۸).

قابل ذکر است که عمده‌ترین راه آلودگی با سرب در این افراد، از طریق تنفس است. این بررسی‌ها نشان می‌دهد، میانگین سرب خون در افراد با سابقه-ی کاری کم‌تر از ۵ سال ۱۴/۸۲ میکروگرم در دسی لیتر و در افراد با سابقه کاری بالاتر از ۸ سال ۲۱/۰۴ میکروگرم در دسی لیتر است که این افزایش از نظر آماری معناداراست (P= 0/0001) (خوشی و همکاران، ۱۳۸۸). هم چنین بنا به گزارش اداره محیط زیست استان زنجان عمده‌ترین عوامل تهدید کننده شناسایی شده فون پرندگان در سطح منطقه فعالیت ۱۶ معدن و به ویژه معدن انگوران بوده است (Sehhatisabet, 2006).

نتیجه گیری

کانی سازی در کانسار روی- سرب انگوران تحت کنترل عوامل شیمیایی و ساختمانی در منطقه صورت گرفته است، به این صورت که کمی پس از بالا آمدن کمپلکس دگرگونی طی میوسن، سنگ‌های نیمه آتشفشانی و آتشفشانی با ماهیت کالک آلکالن تا آلکالن شامل آندزیت، داسیت، ریولیت و سنگ های پیروکلاستیک و متعاقب آن دایک های بازالتی در این کمپلکس نفوذ کرده که پس از آن با پیشروی دریا طی الیگومیوسن سنگ های آهکی کم عمق سازند قم و متعاقب آن واحدهای رسوبی تبخیری قاره ای متعلق به سازند قرمز بالایی به صورت ناپیوسته بر روی کمپلکس دگرگونی تشکیل شده است. پس از آن طی پلیوسن کمپلکس دگرگونی با مجموعه سازندهای فوقانی بر روی واحدهای آتش فشانی- رسوبی ترشیری رانده شده‌اند. چنین به نظر می رسد که با توجه به حاکم بودن رژیم کششی طی میوسن و متعاقب آن رژیم فشاری در پلیوسن، موجب شده تا حجم زیادی از شورابه ها با مقادیر بالای SO_4 از واحدهای تبخیری نهشته شده توسط شکستگی‌ها و گسل‌های عمیق ناشی از رانش، درون کمپلکس دگرگونی نفوذ کرده و باعث تشکیل مقادیر زیادی کانسنگ سولفیدی بین واحدهای سنگی شیستی و سنگ آهک بلورین (مرمر) شده است.

به دلیل قرار گرفتن قسمت عمده ای از کانسنگ سولفیدی بین واحد سنگ آهک بلورین و واحدهای سنگی شیستی، کانسار انگوران را می توان ماهیتاً جز کانسارهای استراتاباند یا ام.وی.تی محسوب کرد. شواهد بافتی و ساختی کانسنگ سولفیدی از جمله عدسی شکل بودن، برشی شدن و عدم وجود دگرسانی در اطراف آن حاکی از تشکیل این کانسار پس از فرآیند دگرگونی در منطقه است. مطالعات زیست محیطی نشان می‌دهد که میزان آلودگی در کانسار انگوران نسبت به سایر مناطق در حد بالایی بوده و رابطه معکوس بین فاصله از کانسار و میزان آلودگی در این منطقه مشاهده می‌شود. آلودگی‌ها در سایر مناطق اندک بوده و تاثیر آن در حد ایجاد تغییرات جزئی است.

همانطور که در نقشه پهنه‌بندی کیفی ترسیم شده برای حوضه آبریز انگوران چای مشاهده می‌شود، کیفیت آب‌های سطحی از غرب به شرق (محل سرچشمه که در ارتفاعات غربی منطقه قرار دارد به سمت بخش انتهایی حوضه آبریز که در شرق واقع گردیده) روند سهمی‌گون- نزولی داشته و در محل‌هایی که جریان رودخانه‌ها منطبق بر معدن انگوران و کارخانه‌های استحصال روی در دندی بودند، کیفیت آب رودخانه‌ها کاهش یافته است که با طی مسیر و دور شدن از منابع آلاینده و تجزیه فعال آب، از میزان غلظت آلاینده‌ها تا حدودی کاسته شده است. در پایان خاطرنشان می‌شود، میزان غلظت سرب در منطقه بالا بوده که در اثر عدم توجه کامل به مبانی معدنکاری زیست محیطی، این منطقه مبتلا به آلودگی نسبی در خاک و آب شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت محترم معدن انگوران، جهت همکاری در بازدیدهای صحرایی تشکر نمایند. همچنین از جناب آقای مهندس ابراهیم طالع فاضل جهت مطالعه مقاطع میکروسکوپی و تهیه تصاویر BSE و از جناب آقای مهندس رامین محمدی نیایی، به جهت فراهم کردن نتایج آنالیزها سپاسگزاری می‌شود.

منابع

محمدی نیایی.ر.، ۱۳۸۵، تقسیم بندی خاستگاه نهشته های غیر سولفیدی روی در کانسار انگوران و کاربردهای اکتشافی آن، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور، ۹ صفحه.

گزارش شرکت ملی سرب و روی ایران، ۱۳۸۵، ص ۲۷۳.

مر. ف.، کارگر. س.، و راست منش، ف.، ۱۳۹۱، غلظت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده شده در اثر فعالیت کارخانه ذوب روی در جزیره قشم، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ص ۴۳-۵۳.

سیاره.، ع. ر.، فنودی. م.، و دادستان. ا.، ۱۳۸۴، گزارش مقدماتی بررسی‌های زمین شناسی زیست محیطی در منطقه قروه و بیجار، سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشوری، ص ۲۰.

غضنفری. ف.، و ولی‌زاده. م.، ۱۳۷۰، پیدایش و تکوین کانسار روی و سرب انگوران و سایر اندیس های شرق تکاب، دهمین گردهمایی علوم زمین، ص ۵.

فیضی. ا.، و هزارخانی. ا.، ۱۳۹۲، جدایش آنومالی زمین شیمیایی از زمینه به روش فرکتال عیار- مساحت (منطقه انگوران، شمال غربی ایران)، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۹، ص ۴۳-۵۳.

شریعتی. ش.، آقانباتی. ع.، موسوی‌حرمی. م.، مدبری. س.، و سلیمی. س.، ۱۳۸۷، بررسی علل احتمالی ابتلای ساکنین منطقه دندی و ماهنشان به سکته‌های قلبی و بیماری‌های ریوی از دیدگاه زمین پزشکی، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران- اهواز، ص ۴۶۹-۴۷۴.

پری‌زنگنه. ع.، ۱۳۷۷، بررسی آلودگی و منابع آلوده کننده رودخانه انگوران چای (جلد۱)، گزارش پروژه‌های اداره کل محیط زیست استان زنجان، ص ۹۴-۹۹.

پری‌زنگنه. ع.، ۱۳۷۸، بررسی لیمنولوژیک و مطالعات اکولوژیکی رودخانه انگوران چای، گزارش پروژه‌های اداره کل محیط زیست استان زنجان، ص ۶۲-۷۷.

جدول تناوبی، سرب، اثرات سرب بر روی سلامتی، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور.

حمایت خواه جهرمی. و.، کفیل‌زاده. ف.، و مؤمنی. ح.، ۱۳۸۸، اثر استات سرب بر وزن بدن و کلیه و ساختار بافتی کلیه فرزندان یک روزه موش های نژاد Balb/C، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره۴، ص ۲۶۹-۲۷۷.

شریعتی، ش.، آقانباتی، ع.، موسوی‌حرمی، م.، مدبری، س.، و آدابی، م.، ۱۳۸۸، سنجش میزان آلایندگی حاصل از فرسایش سازندها و معدنکاری در منطقه شیخ لرشمالغرب استان زنجان (انگوران)، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع، شماره ۱، ص ۳۳-۴۶.

رضایی.و.، ۱۳۸۷،کانسارهای فلزی و اثرات زیست محیطی استخراج و فرآوری آنها،ص ۹.

خوشی. ا.، کلانتری. ص.، محبی. م.، و فولادساز.ک.، ۱۳۸۸، بررسی مقادیر سرب خون و خطر مسمومیت با آن در کارکنان کارخانه ذوب دندی زنجان، مجله علمی- پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی زنجان، ص ۷۹-۸۶.

Hirayama. K., 1968, Geological study on the Anguran Mine, northwestern part of Iran, Geological Survey of Japan Report, Vol: 36, No: 226, P: 1–26.

Burnol. L., 1968, Contribution a l'etude des gisements de plomb et zinc de l'Iran. Essais de classification paragenetique, Geological Survey of Iran Report, No:11, P: 1–113.

Daliran. F., Borg, G., 2003, A preliminary appraisal of the non-sulfide zinc deposit of Angouran, north-west Iran, In: Eliopoulos D., et al (eds) Mineral exploration and sustainable development. Millpress, Rotterdam, P: 65–68.

Daliran. F., and Borg, G., 2005, Characterisation of the nonsulfide zinc ore at Angouran, northwestern Iran, and its genetic aspects, In: Jingwen M., and Bierlein F.P., (eds) Mineral deposit research: meeting the global change, vol 2. Springer, Berlin Heidelberg New York, P: 913–916.

Daliran. F., Hofstra, A., Walther, J., and Stüben, D., 2002, Agdarreh and Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW-Iran, *Annual* meeting of the Geological Society of America, Denver, P: 63–68l

Borg. G., and Daliran. F., 2004, Hypogene and supergene formation of sulphides and non-sulphides at the Angouran high-grade zinc deposit, NW-Iran, In: Abstract volume of Geoscience Africa 2004. University of the Witwatersrand, Johannesburg, P: 69–70.

Gilg. H.A., 1996, Fluid inclusion and isotope constraints on the genesis of high-temperature carbonate-hosted Pb–Zn–Ag deposits, Society of Economic Geologists Special Publication, No:4 , P:501–514

Gilg. H.A., Allen. C., Balassone. G., Boni. M., and Moore. F., 2003, The 3- stage evolution of the Angouran Zn "oxide"-sulfide deposit, Iran, In: Eliopoulos D et al (eds) Mineral exploration and sustainable development. Millpress, Rotterdam P: 77–80.

Hamdi. B., 1995, Precambrian–Cambrian deposits in Iran, In: Hushmandzadeh A., (ed) Treatise of the geology of Iran, vol 20. Geological Survey of Iran, Tehran, P: 1–535.

Stockli. D.F., Hassanzadeh. J., Stockli. L.D., Axen. G., Walker. J.D., and Dewane. T.J., 2004, Structural and geochronological evidence for Oligo-Miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab-Zanjan area, NW Iran, Abstr Programs Geol Soc Am, No:36(5), P:319.

Sehhatisabet. M., 2006, Angouran Protected Area and Wildlife Refuge;an Important Area for Birds in Zanjan Province, Iran, Podoces1(1/2), P: 45-52.