مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و یکم، شمارهٔ ۱، بهار ۹۲، از صفحهٔ ۳ تا ۱۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای، آب و بی‌هنجاری پرتوهای U و Th معدن فیروزه نیشابور و تاثیر زیست محیطی آن در زندگی روستاهای منطقه

محمدحسن کریم‌پور*، آزاده ملک‌زاده شفارودی

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۰/۵/۱۱، نسخه نهایی: ۹۰/۱۰/۲۰)

چکیده: معدن فیروزه‌ی نیشابور در ۵۵ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان نیشابور استان خراسان رضوی واقع شده است. واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارند شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی حدواسط است که همه‌ی آن‌ها تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. این معدن نخستین کانی‌سازی مس- طلا- اورانیم- عناصر نادر خاکی سبک نوع IOCG در ایران است. علاوه بر عناصر مس، طلا و اورانیم، این منطقه برای آرسنیک، مولیبدن، روی و توریم ناهنجاری بالایی دارد. ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای در گستره‌ی معدن و شرق آن نشان داد که در خاک منطقه آلودگی مس وجود دارد. در نمونه‌های سنگی ناحیه-ی معدن‌کاری بی‌هنجاری نسبتاً بالایی از اورانیم (تا ۳۵ گرم در تن) وجود دارد که از میانگین استاندارد یک گرم در تن بیشتر است. در نقشه‌های تابش سنجی‌هوایی ناهنجاری بالای اورانیم و توریم در منطقه وسیعی مشاهده می‌شود. آلودگی نقره، جیوه و منگنز نیز در رسوب‌های رودخانه‌ای منطقه وجود دارند. ارزیابی نمونه‌های آب آشامیدنی و مصرفی کشاورزی نشان می‌دهد که خوشبختانه عناصر مس، سرب، روی، نقره، نیکل، منگنز، آنتیموان، جیوه و اورانیم در همه‌ی نمونه‌های آب کمتر از حد مجاز و مطلوب‌اند. فقط در ۲ نمونه مقدار آرسنیک کمی بیشتر از حد مجاز (۱۰ میلی گرم در تن) است. آلودگی زیست محیطی منطقه از نظر عناصر رادیواکتیو و نیز آلودگی رسوب‌های آبراهه‌ای پایین دست معدن به عناصر مس، جیوه، نقره و منگنز و آلودگی آب مصرفی کشاورزی به عنصر آرسنیک و تاثیر آن در سلامت مردم منطقه بایستی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *ژئوشیمی؛ رسوب‌های رودخانه‌ای؛ آب؛ اثرهای زیست محیطی؛ معدن فیروزه.*

مقدمه

امروزه مسایل زیست محیطی معادن به‌عنوان یک مسئله مهم در همه‌ی کشورها به ویژه کشورهای پیشرفته مورد نظر قرار گرفته و قوانین زیست محیطی روز به روز سخت‌تر می‌شوند. معادن علاوه بر اینکه شکل منطقه‌ی بهره برداری را بر هم می-زنند، با آزادسازی رشته‌ای از عناصر مضر و سمی از طریق فرآوری ماده‌ی معدنی و انباشته‌های مواد باطله آن به درون سیستم آب شناختی منطقه (آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی)، موجب آلودگی آب‌های منطقه و خاک می‌شوند. این آلاینده‌ها اثرهای نامطلوب زیست محیطی بر گیاهان، جانوران و انسان از طریق استفاده از این منابع دارند و باعث ایجاد مسمومیت، بیماری و در مواردی مرگ می‌شوند.

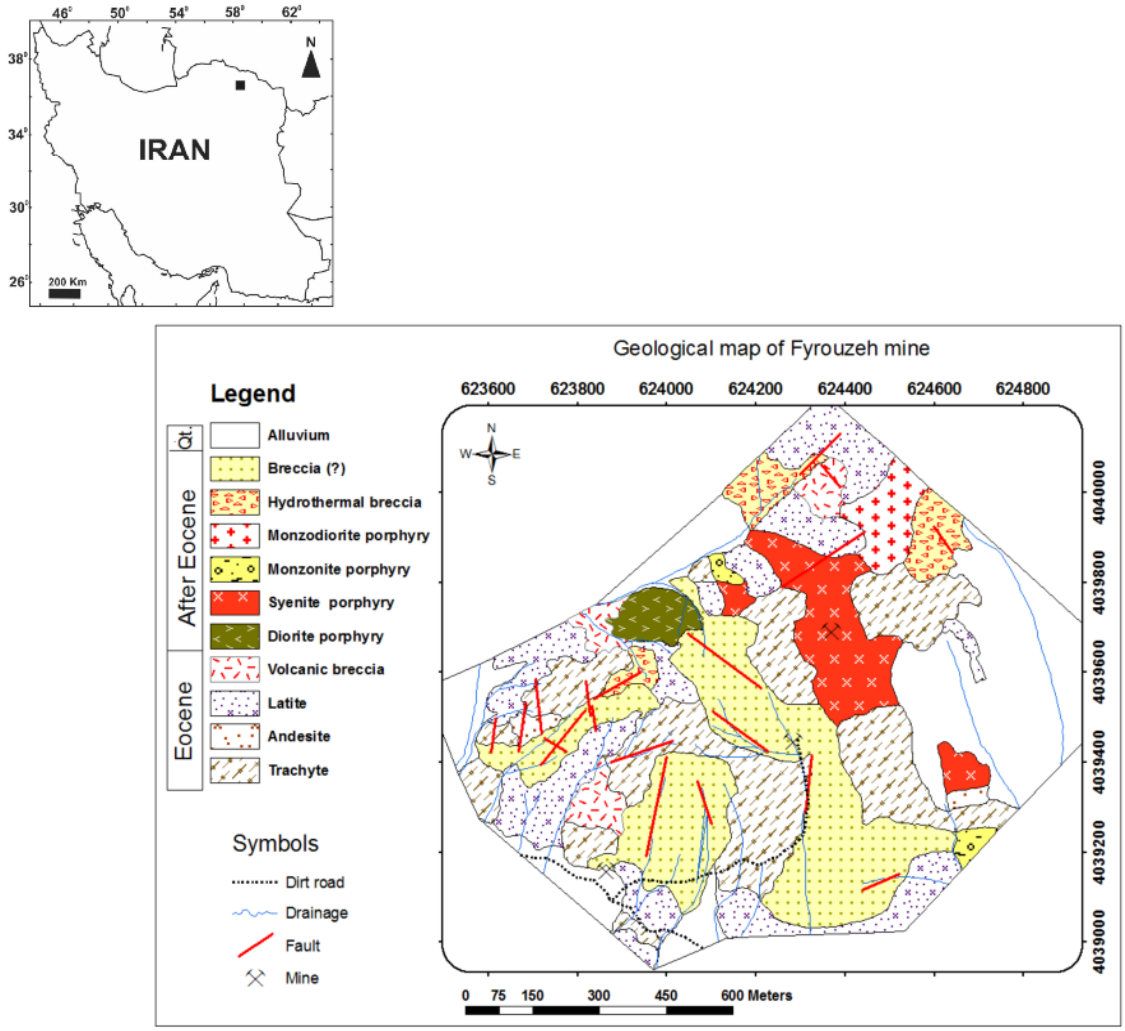
معدن فیروزه نیشابور در ۵۵ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱). این معدن در کمان ماگمایی قاره‌ای سنوزوئیک شمال منطقه‌ی افیولیتی سبزوار که روند شمال‌غربی-

* نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

جنوب‌شرقی دارد، قرار گرفته است. نوار آتشفشانی جنوب قوچان ماهیت غالباً آهکی- قلیایی داشته و سن آن از جنوب (در مجاورت نوار افیولیتی سبزوار) به سوی شمال (در جنوب قوچان) از ائوسن تا پلیو- پلئیستوسن تغییر می‌کند. عرض این کمربند ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر از شمال سبزوار تا جنوب قوچان و طول آن ۲۰۰ کیلومتر از فرومد تا نیشابور ادامه داشته و آن را دنباله‌ی شرقی رشته‌کوه‌های بینالود دانسته‌اند [۲،۱]. سنگ میزبان معدن فیروزه نیشابور، بیشتر از واحدهای آتشفشانی حدواسط ائوسن است.

قدمت معدن فیروزه‌ی نیشابور به حدود ۴۰۰۰ سال قبل می‌رسد. وجود کارهای قدیمی متعدد در قسمت‌های مختلف معدن و تونل‌های اکتشافی- استخراجی طویل و چندطبقه که هم‌اکنون نیز در حال بهره‌برداری هستند، تأییدی بر این ادعاست. گزارش‌های بسیار قدیمی از فعالیت‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی که با همکاری سازمان زمین‌شناسی کشور و سازمان انرژی اتمی انجام شده از منطقه موجوداند که نقشه‌های آن‌ها در دسترس نیست و برخی اطلاعات به دلیل نداشتن موقعیت جغرافیایی درست، قابل استناد نیستند [۳-۶]. بنابراین گزارش-ها، ناهنجاری‌هایی از عناصر مس، روی، نقره، آرسنیک، باریم، اورانیم، آنتیموان و مولیبدن در منطقه وجود دارند. اسفندیارپور و همکاران [۸،۷] و محمدنژاد و همکاران [۱۰،۹] سنگ‌نگاری، و دگرنهادی ژئوشیمی و کانی‌سازی معدن فیروزه نیشابور را به ترتیب در بخش جنوب غربی آن (گستره‌ی تونل اکتشافی غاردوم) و بخش شمال شرقی آن (گستره‌ی اکتشافی تونل زاک) بررسی کردند. کریم‌پور و همکاران [۱۱] معدن فیروزه‌ی نیشابور را نخستین کانی‌سازی مس- طلا- اورانیوم- عناصر نادر خاکی سبک نوع IOCG در ایران معرفی کرده‌اند.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی معدن فیروزه نیشابور (خلاصه شده از نقشه‌های زمین‌شناسی [۷،۹]).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

دو روستای معدن بالا و معدن پایین در پایین دست معدن قرار گرفته و تمام کارکنان معدن اهالی این دو روستا هستند. آب آشامیدنی روستاهای معدن بالا و معدن پایین از سمت معدن فیروزه تامین می‌شود. زمین‌های کشاورزی نیز در پایین دست معدن واقع شده‌اند. از آنجایی که ترکیب‌های مس و بسیاری از عناصر دیگر منطقه در سطح زمین ناپایدار بوده و در آب به‌سهولت به حالت محلول حمل می‌شوند، ضرورت داشت تا ترکیب آب و رسوب‌های منطقه‌ی مورد بررسی قرار بگیرد. لذا هدف از این مقاله، ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی معدن فیروزه نیشابور با بررسی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه-های آب آشامیدنی و مصرفی کشاورزی روستاها و تونل‌های معدن است.

روش بررسی

بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، پی‌جویی‌های ژئوشیمی خرده‌سنگی و تهیه‌ی نقشه‌های مختلف با مقیاس ۱:۲۰۰۰ در بخش‌های جنوب غربی و شمال شرقی معدن فیروزه توسط [۷-۱۰] انجام شده است. در این پژوهش به-منظور بررسی اثرهای ژئوشیمیایی- زیست محیطی کانی‌سازی مس- طلا- اورانیوم- عناصر نادر خاکی سبک نوع IOCG معدن فیروزه و عناصر وابسته بر آب و رسوب‌های رودخانه‌ای ناحیه و روستاهای اطراف، تعداد ۲۰ نمونه رسوب رودخانه‌ای و ۸ نمونه آب جمع‌آوری شدند.

نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای از کلیه آبراهه‌های سرچشمه گرفته از سمت معدن به سمت زمین‌های کشاورزی و روستاهای معدن بالا و معدن پایین جمع آوری شدند. هنگام برداشت نمونه‌ها سعی شد تا با کندن گودالی به عمق حدود ۵۰ سانتیمتر از جمع آوری مواد هوازده سطحی و ریشه‌ی گیاهان جلوگیری شود. نمونه‌ها هنگام برداشت از الک درشت (۲۰ مش) عبور داده شدند تا ذرات درشت دانه و قلوه‌ها داخل نمونه نشوند. وزن نمونه‌ها در حد ۵ تا ۶ کیلوگرم بودند. این نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک ۸۰ مش (تفکیک کننده‌ی ذرات کوچکتر از ماسه‌ی ریز دانه) عبور داده شده و ذرات عبور کرده از الک، برای نرمایش به شرکت طیف کانساران بینالود ارسال شدند. پس از نرمایش نمونه‌ها در حد ۲۰۰ مش، تعداد ۸ نمونه با دستگاه جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد از نظر دارا بودن عناصر مس، سرب، روی، کبالت و نیکل تجزیه شده و تعداد ۱۲ نمونه برای تجزیه‌ی عناصر بیشتر علاوه بر عناصر نامبرده با دستگاه ICP-MS و به روش‌های 1F05، 4B و 1DX به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شدند. در روش‌های 1F05 و 1DX، ۰٫۵ گرم از نمونه در Aqua Regia داغ (۹۵ درجه‌ی سانتیگراد) حل و تجزیه شد. در روش 4B نیز ۰٫۲ گرم از نمونه در متابورات/ترابورات لیتیم ذوب شده و سپس در اسید نیتریک حل شد.

نمونه‌های آب داخل تونل اصلی معدن که برای آب آشامیدنی و مصرف کشاورزی روستاهای معدن بالا و معدن پایین استفاده می‌شود، چشمه‌ی کنار معدن، قنات‌های روستاها و آب آشامیدنی مردم برداشت شد. این نمونه‌ها در بطری‌های تمیز ۵۰ میلی لیتری که قبلا اسیدشویی شده بودند جمع آوری شدند و پس از برداشت، ۲ تا ۳ قطره اسید نیتریک به آن‌ها اضافه شد تا از ته نشست عناصر جلوگیری شود. میزان pH و دمای آب هنگام برداشت اندازه‌گیری و یادداشت شد. نمونه‌های آب برای تجزیه‌ی ۷۲ عنصری با دستگاه ICP-MS به روش 2C به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شدند.

زمین‌شناسی

معدن فیروزه نیشابور در گوشه‌ی شمال‌شرقی نقشه‌ی زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان‌آباد [۱۲] واقع شده است. بیرون-زدگی‌ها در راستای گسل‌های رانده و رورانده، نشان می‌دهد که پی‌سنگ این منطقه شامل رسوب‌های پالئوزوئیک است که بیشتر در نواحی جنوبی دیده می‌شوند. آهک‌های فسیل‌دار کرتاسه، ماسه‌سنگ‌های توفی- آهکی و مارن اوایل ائوسن نیز از رسوب‌های قدیمی دیگر منطقه هستند که در جنوب گستره مشاهده می‌شوند. بیشتر فعالیت‌های آتشفشانی آندزیتی منطقه در ائوسن به اوج خود رسیده که میزبان معدن بزرگ فیروزه نیشابورند.

برپایه‌ی بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی واحدهای سنگی گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور را به سه بخش واحدهای آتشفشانی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و انواع مختلف برش می‌توان تقسیم کرد [۷ -۱۰] (شکل ۱).

سنگ‌های آتشفشانی، بخش زیادی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و سن نسبی آن‌ها برپایه نقشه‌ی زمین‌شناسی

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

سلطان‌آباد [۱۲] به ائوسن نسبت داده شده‌اند. این واحدها شامل تراکیت، آندزیت، لاتیت و برش آتشفشانی است که از این میان، تراکیت و لاتیت بیشترین گسترش را در منطقه دارد. همه‌ی واحدهای آتشفشانی کم و بیش تحت تاثیر دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیکی و غیره قرار گرفته‌اند (شکل ۱). کانی‌سازی سولفیدی- اکسیدی اولیه به صورت افشان و دارسبتی و کانی‌سازی ثانویه در اغلب نقاط در آن‌ها دیده می‌شود [۷-۱۰].

توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق حدواسط با بافت پورفیری بیشتر در بخش‌های شمالی و شرقی معدن رخنمون دارند که در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. این واحدها شامل دیوریت پورفیری، سینیت پورفیری، مونزونیت پورفیری و مونزودیوریت پورفیری هستند که سینیت پورفیری بیشترین گسترش را دارد (شکل ۱). این واحدها تحت تاثیر دگرسانی‌های مختلف سیلیسی، آرژیلیکی و کربناتی در نقاط مختلف قرار گرفته و رگچه‌های سولفید اکسید شده (بیشتر پیریت)، مگنتیت و اسپکیولاریت همراه با کانی‌سازی افشان گاهی تا ۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. این واحدها در واقع رخنمون‌هایی از توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق خاستگاه کانی‌سازی بزرگ منطقه هستند [۷-۱۰].

برش گسلی و گرمابی در منطقه نیز مشاهده می‌شود که بخش زیادی را به خود اختصاص داده‌اند. برش گرمابی که نوعی کانی‌سازی منطقه بوده و بخشی از کانه‌های سولفیدی-اکسیدی را با خود همراه دارد، در شمال و غرب منطقه دیده می‌شود. این واحد شامل قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی به شدت دگرسان (سیلیسی- آرژیلیکی) است که در سیمانی از سیلیس همراه با سولفید اکسید شده و مگنتیت قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی هم در قطعات و هم در سیمان دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی دو مرحله کانی‌سازی در منطقه است. برش گسلی نیز به سبب زمین‌ساختی فعال منطقه، گسترش زیادی در مرکز و جنوب ناحیه دارد (شکل ۱) [۷،۹].

دگرسانی- کانی‌سازی

همه‌ی واحدهای آتشفشانی و نفوذی منطقه، تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. پهنای دگرسانی در سطح تا حدود ۵ کیلومتر مربع بوده و در عمق نیز تا بیش از ۱۰۰ متر در تونل‌ها ادامه دارد. چهار زون دگرسان به ترتیب فراوانی شامل سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و پروپلیتیک در گستره‌ی معدن قابل مشاهده است (شکل ۲). کانی‌سازی سولفیدی- اکسیدی بیشتر با دگرسانی‌های سیلیسی و آرژیلیک دیده می‌شود (شکل ۲) [۷-۱۰].

کانی‌سازی منطقه از نظر زمان تشکیل شامل دو مرحله‌ی اولیه و ثانویه است که در اکثر واحدهای آتشفشانی و نفوذی دیده می‌شود. کانی‌سازی اولیه به‌صورت دارسبتی، افشان و برش گرمابی مشاهده می‌شود و شامل اسپکیولاریت، مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و بورنیت است. رگچه‌ها از نوع سولفید اکسید شده با هاله‌ی کانی‌های رسی، کوارتز- پیریت، پیریت- کالکوپیریت، اسپکیولاریت و مگنتیت است. برش گرمابی شامل قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی به شدت دگرسان (سیلیسی-آرژیلیکی) همراه با کانی‌سازی است که در سیمانی از سیلیس همراه با سولفید اکسید شده و مگنتیت قرار گرفته‌اند. به میزان ۱۵تا ۱۷ درصد کانی‌سازی به‌صورت افشان، هم در سیمان سیلیسی و هم در قطعات، دیده می‌شود [۷-۱۰].

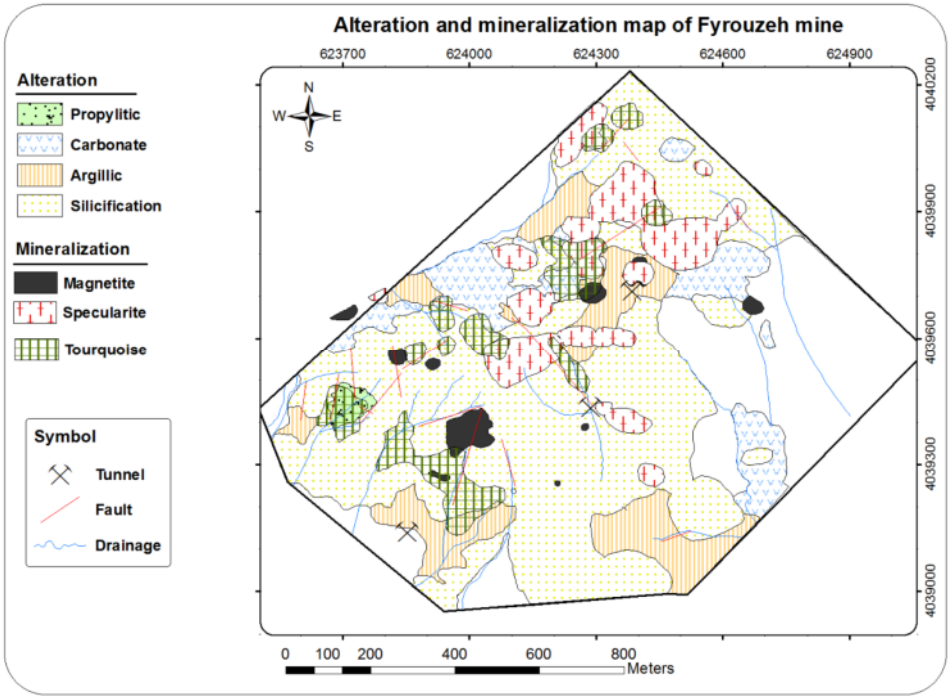
شکل (۲) توزیع مگنتیت و اسپکیولاریت دارسبتی و افشان را در منطقه نشان می‌دهد. مگنتیت بیشتر در نیمه‌ی جنوبی و اسپکیولاریت در نیمه‌ی شمالی منطقه دیده می‌شود. مقدار اسپکیولاریت از ۰/۱ تا نزدیک به ۶ درصد است و مگنتیت بیش از ۱۰ درصد در برخی قسمت‌ها در منطقه حضور دارد [۱۱].

کانی‌سازی ثانویه منطقه شامل فیروزه، کالکوزیت، کوولیت، ژاروسیت، لیمونیت، هماتیت و گوتیت می‌باشد. ضخامت زون اکسایشی منطقه بسیار زیاد است، به‌طوری که فیروزه تا عمق ۸۰ متری در تونل‌ها دیده شده است. اکسایش بسیار شدیدی در سطح منطقه رخ داده و زون گوسان با درصد بالای اکسید آهن در گستره گسترده‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۲). مقدار اکسیدهای آهن از ۱ تا بیش از ۶ درصد متغیر است [۱۱].

کریم‌پور و همکاران [۱۱] با توجه به شواهد زیر، معدن فیروزه‌ی نیشابور را به عنوان یک کانسار بزرگ مس- طلای همراه با اکسید آهن (IOCG) از نوع مس- طلا- اورانیم- عناصر نادر خاکی سبک معرفی کرده‌اند:

۱) ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق حدواسط سری مگنتیت یا اکسید کننده که بخش کوچکی از آن‌ها در منطقه رخنمون دارند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]



شکل ۲ نقشه دگرسانی- کانی‌سازی معدن فیروزه نیشابور (خلاصه شده از نقشه‌های دگرسانی- کانی‌سازی [۸،۱۰]).

۲) گسترش دگرسانی و کانی‌سازی در یک گستره‌ی گسترده که نشان دهنده‌ی یک ذخیره بزرگ است

۳) مقدار زیاد اکسید آهن در زون اکسایشی که نشان دهنده مقدار زیاد کانی‌های سولفیدی در منطقه است

۴) زون‌های دگرسانی که غالباً دگرسانی سیلیسی و پس از آن آرژیلیک در منطقه گسترش دارد. دگرسانی‌های سدی و پتاسی ممکن است در قسمت‌های پایین‌تر از تونل‌ها و زون اکسایشی وجود داشته باشد.

۵) شکل کانی‌سازی به حالت‌های افشان، داربستی و برش گرمابی

۶) کنترل ساختاری بخش‌های زیادی از کانی‌سازی رگه‌چه‌ای

۷) وجود مگنتیت بالا (بیش از ۱۵ درصد) در زون سیلیسی همراه با کانی‌سازی مس

۸) وجود رگچه‌های اسپکیولاریت در دگرسانی‌های سیلیسی و آرژیلیک همراه با کانی‌سازی مس

۹) ناهنجاری بالای مغناطیسی در کمربند آتشفشانی میزبان معدن که به علت حضور کانی‌سازی مگنتیت است

۱۰) ناهنجاری عناصری مثل مس، طلا، عناصر نادر خاکی سبک، اورانیم، مولیبدن، آرسنیک، فسفر، نیوبیم، روی، توریم و کبالت در منطقه

۱۱) ناهنجاری تابش‌سنجی هوایی (عناصر اورانیم و توریم) بالا در کمربند آتشفشانی میزبان معدن

از طرف دیگر کریم‌پور و همکاران [۱۱] در مقایسه‌ی معدن فیروزه‌ی نیشابور با کانسارهای بزرگ IOCG دنیا آن را یک معدن نوع IOCG چندفلزی‌تر نسبت به گنبد المپیک و کاندلاریا معرفی کردند. همچنین این معدن نخستین کانسار IOCG ایران از نظر بالا بودن اوارنیم و عناصر نادر خاکی سبک علاوه بر مس و طلاست.

ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای

تعداد ۲۰ نمونه از رسوب‌های رودخانه‌ای آبراهه‌های ریشه گرفته از گستره‌ی معدن و نیز آبراهه‌های شرق آن که به سمت روستاهای معدن بالا و معدن پایین و زمین‌های کشاورزی است، برای ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی منطقه برداشت شدند که جدول (۱) نتایج تجزیه تعدادی از عناصر مهم را نشان می‌دهد. نتایج ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و مقایسه‌ی آن با نتایج نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده قبلی از گستره‌ی معدن [۹،۷] به شرح زیرند:

مس: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۸ تا ۳۲۲۲ گرم در تن است [۱۱]، در حالی‌که دامنه‌ی تغییرات مس در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۲۲ تا ۵۳۷

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

گرم در تن است (جدول ۱). با وجود اینکه مقادیر بالای مس در رسوب‌های رودخانه‌ای، بیشتر از آبراهه‌های ریشه گرفته از محل معدن کاری و تونل‌های اصلی در غرب گستره‌ی مورد بررسی مشاهده می‌شوند؛ ولی مقدار این عنصر نسبت به نمونه‌های خرده‌سنگی شدیداً کاهش یافته است که نشاندهنده‌ی شسته شدن و ورود آن به آب‌های زیرزمینی منطقه در دشت پایین دست است. آبراهه‌های به سمت روستا بین ۳۶ تا ۵۷ گرم در تن مس دارند (جدول ۱ و شکل ۳).

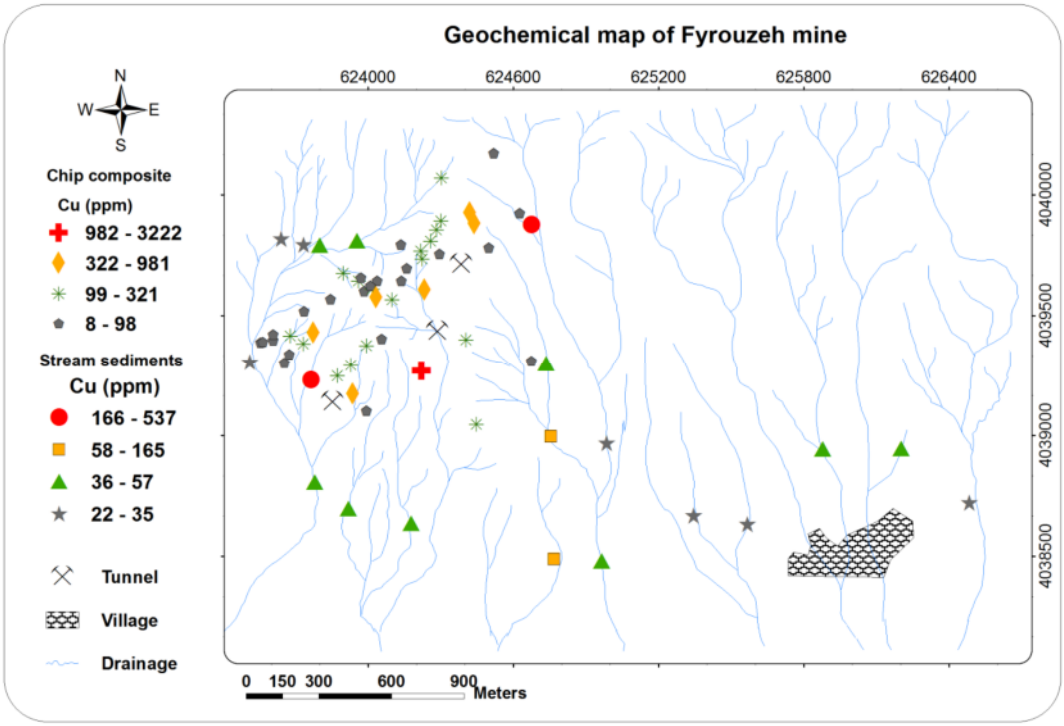
جدول ۱ نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

شماره نمونه		عنصر	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn
		واحد	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm
		حد تشخیص	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۲	۰/۱	۰/۱	۱
	X	Y							
TGS-1	۶۲۳۵۱۲	۴۰۳۹۳۰۶	۳۵	۴۶	۱۱۶	۶۳	۳۵	۱۴	۵۵۸۷
TGS-2	۶۲۳۸۰۱	۴۰۳۹۷۹۰	۵۵	۲۰	۱۱۲	۷۰	۶۵	۱۶	۲۹۴۴
TGS-3	۶۲۳۷۳۶	۴۰۳۹۷۹۴	۲۲	۲۱	۸۳	۳۷	۵۱	۱۱	۳۳۴۰
TGS-4	۶۲۳۶۴۲	۴۰۳۹۸۱۷	۲۳	۳۷	۷۰		۴۰	۲۲	
TGS-5	۶۲۴۹۶۶	۴۰۳۸۴۷۹	۵۲	۱۷	۷۷	۶۳	۷۱	۱۵	۱۵۶۵
TGS-6	۶۲۴۷۷۰	۴۰۳۸۴۸۹	۹۵	۲۵	۸۸		۷۱	۳۵	
TGS-7	۶۲۴۱۷۸	۴۰۳۸۶۳۶	۴۵	۲۱	۷۳	۶۸	۶۸	۱۴	۱۶۱۱
TGS-8	۶۲۳۹۱۸	۴۰۳۸۶۹۶	۵۲	۲۰	۸۹	۸۰	۶۹	۱۷	۲۱۰۰
TGS-9	۶۲۳۷۸۰	۴۰۳۸۸۰۵	۴۹	۳۳	۹۷		۶۵	۳۶	
TGS-10	۶۲۳۷۶۵	۴۰۳۹۲۳۰	۵۳۷	۳۳	۱۲۶		۷۵	۴۵	
TZS-1	۶۲۳۹۵۴	۴۰۳۹۸۰۹	۴۹	۲۴	۹۲		۸۷	۱۹	
TZS-2	۶۲۴۶۷۶	۴۰۳۹۸۷۵	۱۷۲	۴۳	۱۰۲		۷۹	۳۲	
TZS-3	۶۲۴۷۳۶	۴۰۳۹۲۹۸	۴۳	۱۸	۷۹		۵۶	۱۸	
TZS-4	۶۲۴۷۵۶	۴۰۳۸۹۹۶	۷۲	۱۶	۷۸	۵۶	۶۹	۲۰	۲۲۰۶
TZS-5	۶۲۴۹۸۸	۴۰۳۸۹۶۹	۳۵	۲۱	۶۴		۶۶	۱۶	
TZS-6	۶۲۵۳۴۷	۴۰۳۸۶۶۹	۲۹	۳۸	۶۵		۸۳	۲۴	
TZS-7	۶۲۵۵۶۹	۴۰۳۸۶۳۴	۲۷	۳۴	۶۷		۸۷	۲۴	
TZS-8	۶۲۵۸۷۹	۴۰۳۸۹۴۳	۴۳	۷۱	۱۸۵	۱۲۳	۷۴	۱۵	۱۲۹۰
TZS-9	۶۲۶۲۰۴	۴۰۳۸۹۴۵	۴۰	۱۰۰	۲۴۲	۲۲۸	۷۴	۱۴	۱۱۳۵
TZS-10	۶۲۶۴۸۶	۴۰۳۸۷۲۲	۲۲	۳۲	۸۱	۷۲	۴۲	۱۱	۱۰۲۷

ادامه جدول (۱)

شماره نمونه		عنصر	As	Sb	Hg	U	P
		واحد	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm
		حد تشخیص	۰/۱	۰/۰۲	۵	۰/۱	۱۰
	X	Y					
TGS-1	۶۲۳۵۱۲	۴۰۳۹۳۰۶	۳۸	۱۲	۷۱	۲/۵	۲۶۰۰
TGS-2	۶۲۳۸۰۱	۴۰۳۹۷۹۰	۴۰	۳	۲۵	۱/۵	۱۷۹۰
TGS-3	۶۲۳۷۳۶	۴۰۳۹۷۹۴	۱۶	۷	۵	۱/۵	۱۹۳۰
TGS-5	۶۲۴۹۶۶	۴۰۳۸۴۷۹	۳۷	۲	۱۶	۱/۱	۱۰۷۰
TGS-7	۶۲۴۱۷۸	۴۰۳۸۶۳۶	۱۶	۱	۵۴	۱/۱	۱۴۵۰
TGS-8	۶۲۳۹۱۸	۴۰۳۸۶۹۶	۳۵	۲	۳۲	۱/۳	۱۴۰۰
TZS-3	۶۲۴۷۳۶	۴۰۳۹۲۹۸	۳۲	۱	۲۰	۳/۶	
TZS-4	۶۲۴۷۵۶	۴۰۳۸۹۹۶	۳۴	۲	۲۱	۱/۳	۱۶۱۰
TZS-5	۶۲۴۹۸۸	۴۰۳۸۹۶۹	۴۰	۱	۲۰	۳/۱	
TZS-8	۶۲۵۸۷۹	۴۰۳۸۹۴۳	۲۸	۱	۱۴	۱/۵	۸۸۰
TZS-9	۶۲۶۲۰۴	۴۰۳۸۹۴۵	۳۹	۲	۲۱	۱/۳	۹۲۰
TZS-10	۶۲۶۴۸۶	۴۰۳۸۷۲۲	۲۰	۱	۱۶	۰/۹	۱۰۰۰

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]



شکل ۳ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر مس در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

اورانیم: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۱ تا ۳۲ گرم در تن است [۱۱]، در حالیکه دامنه‌ی تغییرات اورانیم در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۰٫۹ تا ۳٫۶ گرم است (جدول ۱). مقدار این عنصر در آبراهه‌های ریشه گرفته از واحدهای سنگی، دارای بیشترین مقادیر، بسیار پایین است که بیانگر شستشوی اورانیم و ورود آن به آب‌های زیرزمینی دشت پایین دست منطقه است. بیشترین مقدار اورانیم در آبراهه‌های مرکز منطقه دیده می‌شود، در حالی که آبراهه‌های سمت روستا بین ۱/۲ تا ۱/۵ گرم در تن اورانیم دارند (جدول ۱ و شکل ۴).

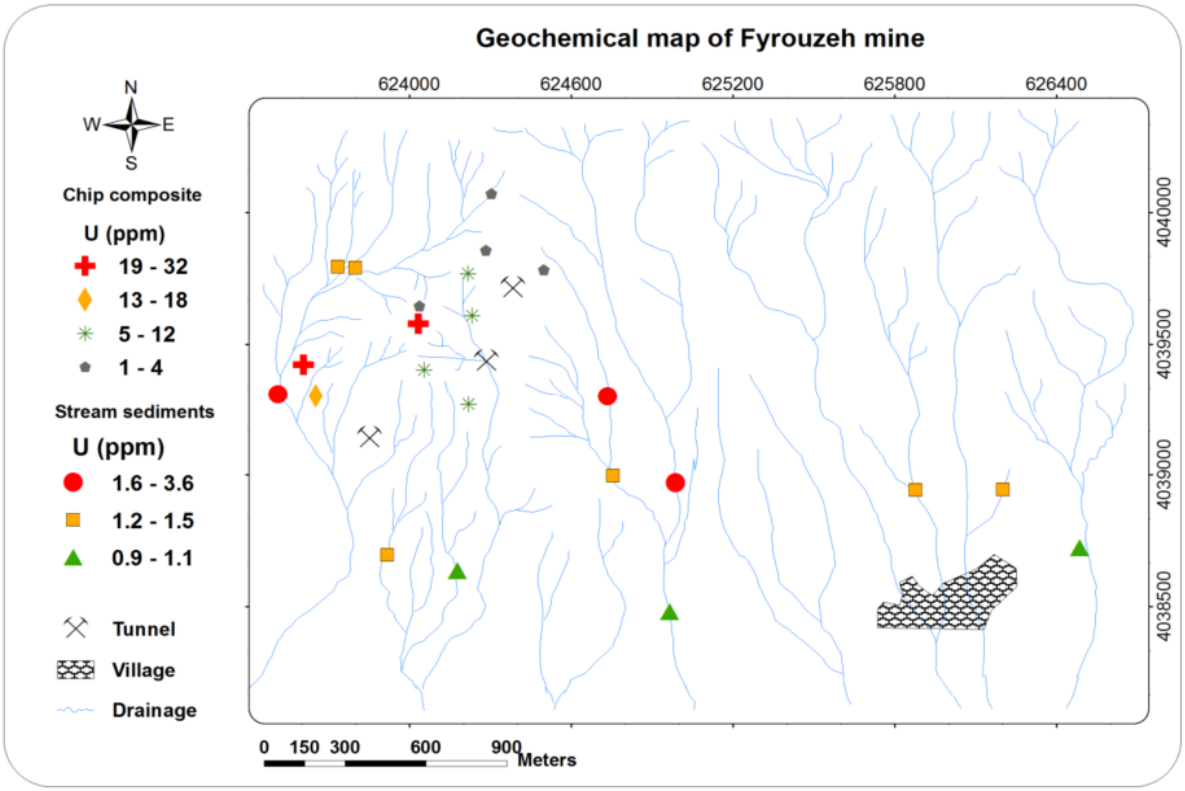
سرب: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۳ تا ۸۰ گرم در تن است [۱۱]، در حالی که دامنه‌ی تغییرات سرب در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۱۶ تا ۱۰۰ گرم است (جدول ۱). تفاوت چندانی بین مقدار سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی و آبراهه‌های ریشه گرفته از آن‌ها دیده نمی‌شود. بیشترین مقدار سرب در آبراهه‌های شرق منطقه، به سمت روستا، تا مقدار ۱۰۰ گرم در تن است (جدول ۱ و شکل ۵).

روی: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۱ تا ۴۴۳ گرم در تن است [۱۱]، در حالی که دامنه‌ی تغییرات روی در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۶۴ تا ۲۴۲ گرم است (جدول ۱). مقدار این عنصر در آبراهه‌های ریشه گرفته از واحدهای سنگی دارای بیشترین مقادیر، پایین آمده است که بیانگر شستشوی عنصر روی و ورود آن به آب‌های زیرزمینی است. مقادیر بیش از ۱۲۷ گرم در تن در رسوب‌های رودخانه‌ای منطبق بر ناهنجاری سرب بوده و در آبراهه‌های شرق منطقه به سمت روستاها دیده می‌شود. آبراهه‌های ریشه گرفته از محل معدن کاری نیز مقادیر قابل توجهی روی دارند (جدول ۱ و شکل ۶).

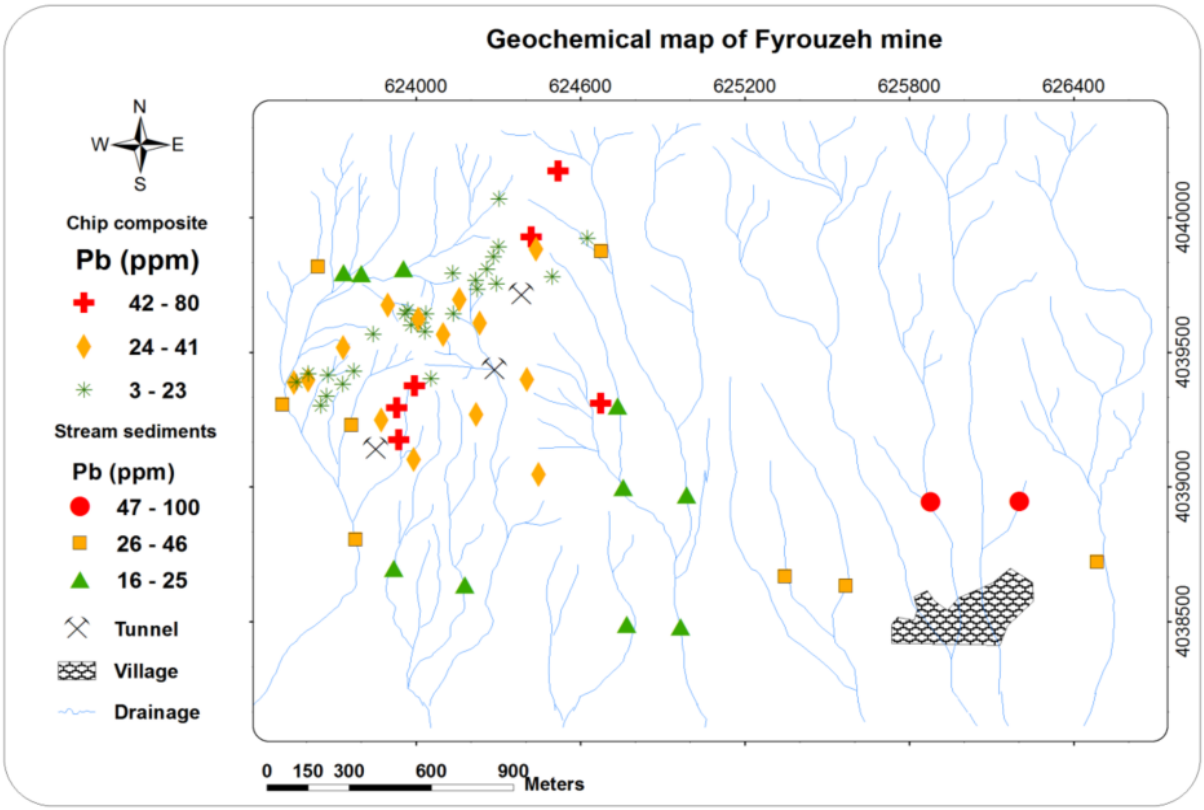
آرسنیک: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۵۰ تا ۵۵۳ گرم در تن است [۱۱]، در حالی که دامنه‌ی تغییرات آرسنیک در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۱۶ تا ۴۰ گرم است (جدول ۱). با وجود شسته شدن این عنصر در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای در مقایسه با نمونه‌های خرده‌سنگی، مقادیر قابل توجهی از این عنصر در آبراهه‌های شرق و غرب منطقه‌ی مورد بررسی دیده می‌شود.

آنتیموان: میزان این عنصر در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۱ تا ۱۲ گرم متغیر است (جدول ۱). بیشترین مقدار آن (بیش از ۷ گرم در تن) در آبراهه‌های غربی منطقه که از محل کانی‌سازی و معدن کاری ریشه گرفته است، دیده می‌شود (جدول ۱ و شکل ۷).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

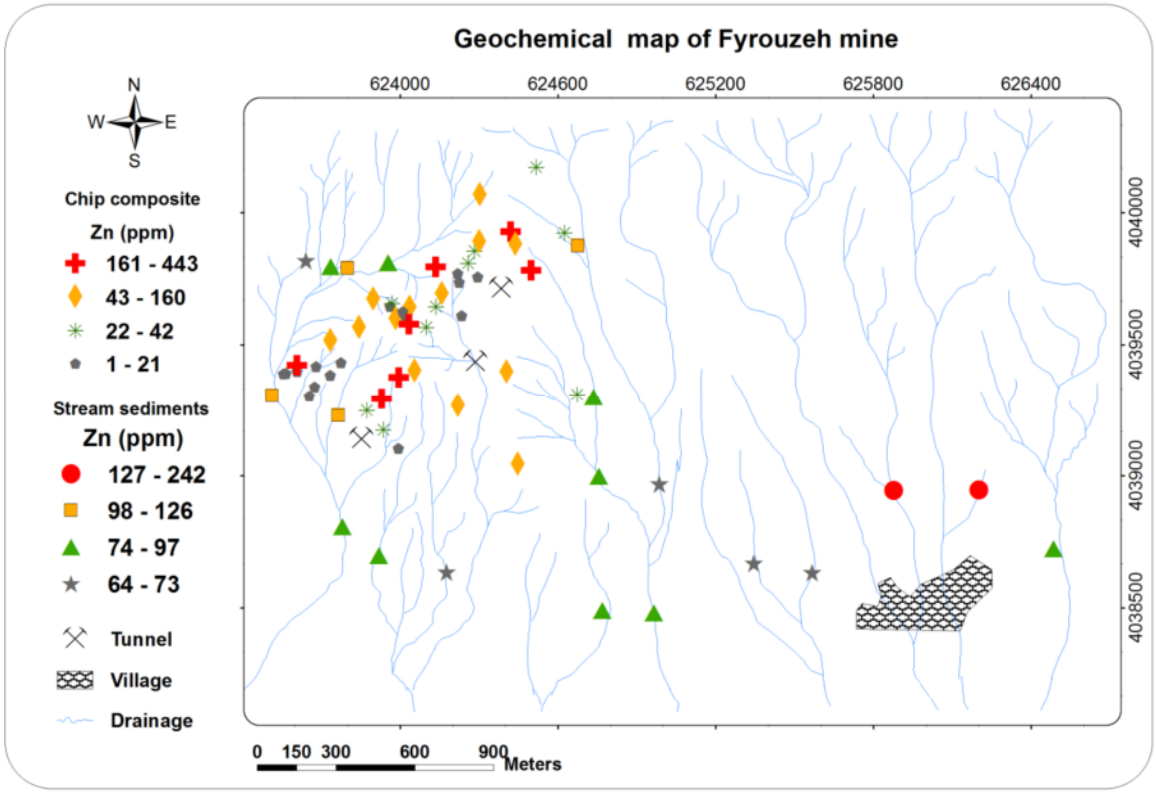


شکل ۴ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر اورانیم در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

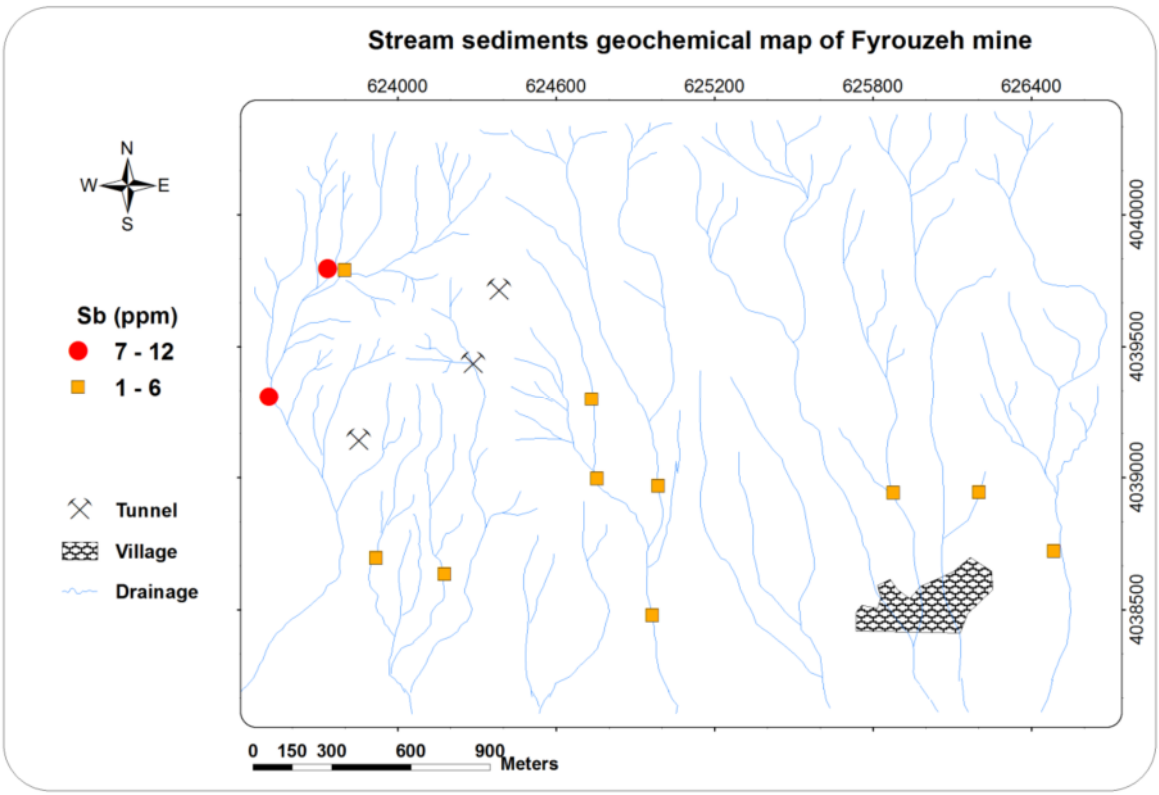


شکل ۵ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر سرب در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]



شکل ۶ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر روی در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.



شکل ۷ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای برای عنصر آنتیموان در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

نقره: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۶۸ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در تن است [۱۱]، در حالی که دامنه‌ی تغییرات نقره در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۳۷ تا ۲۲۸ میلی‌گرم است (جدول ۱). مقدار این عنصر در آبراهه‌های ریشه گرفته از محل‌های معدن کاری، به شدت پایین آمده است که بیانگر شستشوی عنصر نقره و ورود آن به آب‌های زیرزمینی است. بیشترین مقدار نقره در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای در آبراهه‌های شرق منطقه (به سمت روستاها) با ناهنجاری سرب و روی دیده می‌شود (جدول ۱ و شکل ۸).

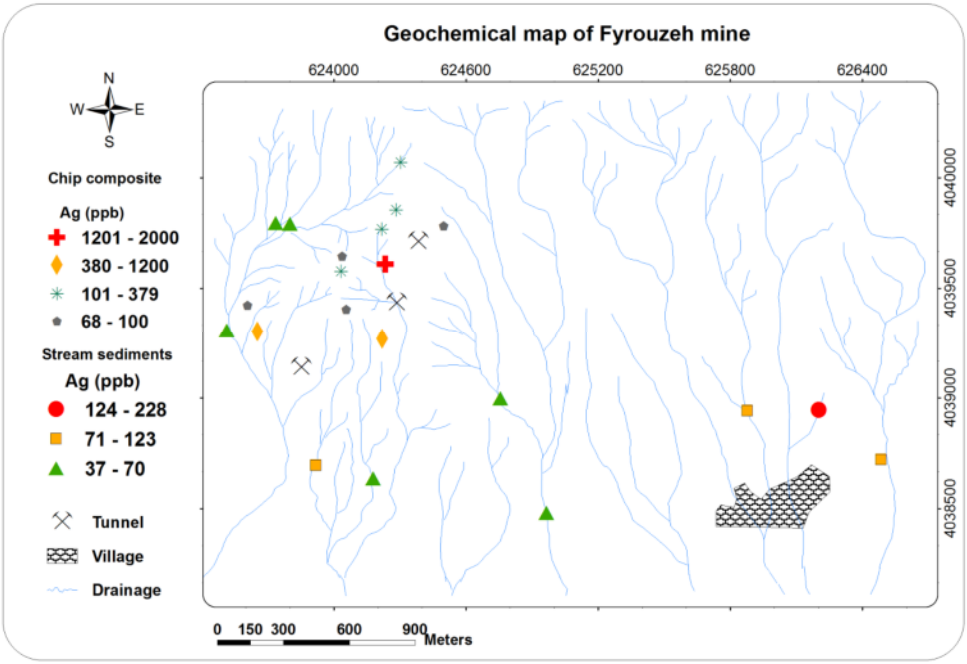
جیوه: این عنصر از ۵ تا ۷۱ میلی گرم در تن متغیر است (جدول ۱). مقادیر بیش از ۲۲ میلی‌گرم در تن به آبراهه‌های ریشه گرفته از محل کانی‌سازی اصلی و تونل‌ها وابسته است.

کبالت: میزان این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی گستره‌ی معدنی بین ۱ تا ۱۴۳ گرم در تن است [۱۱]، در حالی که دامنه‌ی تغییرات نقره در رسوب‌های رودخانه‌ای از ۱۱ تا ۴۵ - گرم تغییر می‌کند (جدول ۱). مقادیر بیش از ۲۵ گرم در تن در نیمه‌ی غربی گستره‌ی مورد بررسی دیده می‌شود.

نیکل: این عنصر از ۳۵ تا ۸۷ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). مقادیر بیش از ۵۷ گرم در تن در اکثر آبراهه‌های گستره ی مورد بررسی (آبراهه‌های به سمت دو روستا و محل‌های اصلی معدن کاری) دیده می‌شود.

منگنز: این عنصر از ۱۰۲۷ تا ۵۵۸۷ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). مقادیر بیش از ۳۳۴۰ گرم در تن در غرب گستره‌ی مورد بررسی دیده می‌شود.

جدول (۲) مقایسه‌ی مقدار دامنه‌ی استاندارد عناصر و مقدار میانگین آن را در خاک از نظر زیست محیطی [۱۳] با دامنه‌ی ژئوشیمیایی در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای معدن فیروزه ارائه می‌دهد. در شکل‌های (۹ الف تا ت) این مقایسه نشان داده شده است. مقدار مس در بیشتر نمونه‌های رسوب-های رودخانه‌ای از میانگین مقدار استاندارد مس در خاک (۳۰ گرم در تن) بیشتر است. به‌ویژه نمونه‌هایی که از محل تونل‌ها و کنده‌کاری‌های معدن سرچشمه گرفته‌اند، بیش از ۱۰۰ گرم در تن نیز مس دارند که این مسئله آلودگی خاک منطقه به مس را آشکار می‌کند (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل ۹ الف). همچنین مقایسه‌ی مقدار اورانیم رسوب‌های رودخانه‌ای با مقادیر استاندارد این عنصر در خاک نشان می‌دهد که اگر چه حد مجاز این عنصر می‌تواند تا ۹ گرم در تن باشد؛ ولی با توجه به مقدار میانگین ۱ گرم در تن، تقریباً همه نمونه‌ها، اورانیم بالایی دارند (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل ۹ ب). با توجه به اینکه در بررسی‌های تابش‌سنجی هوایی در منطقه‌ی معدن فیروزه و

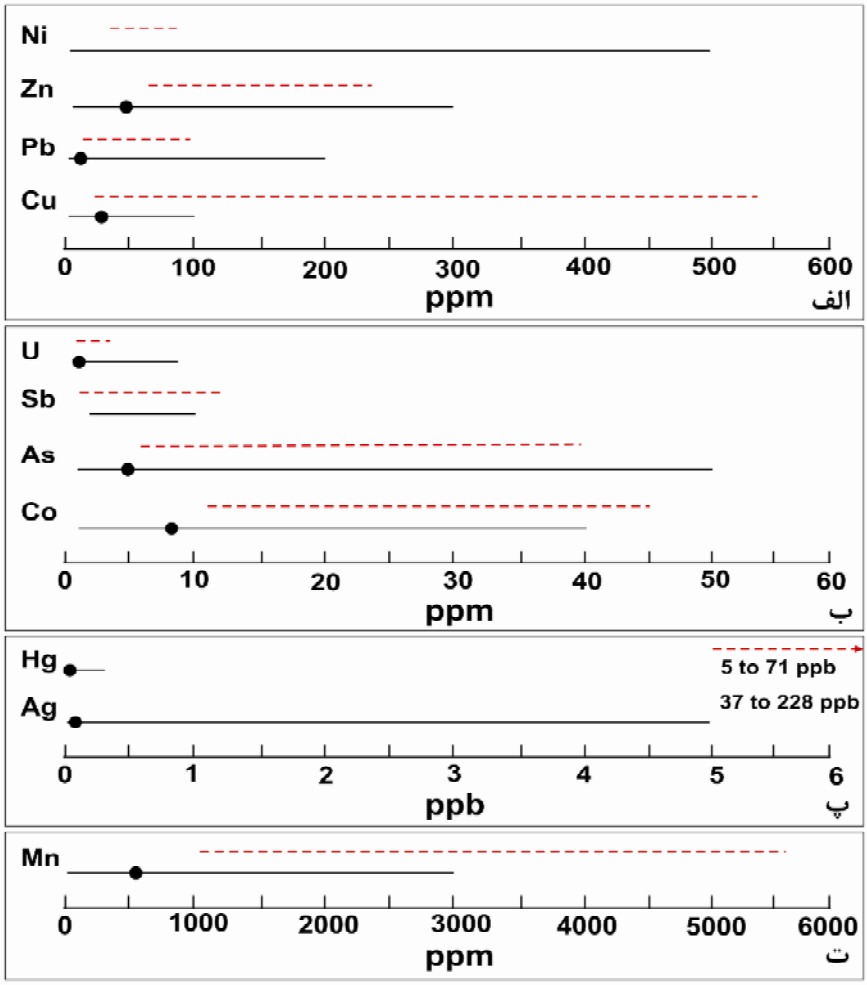


شکل ۸ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر نقره در گستره‌ی معدن فیروزه نیشابور و نواحی شرق آن.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

جدول ۲ مقایسه‌ی دامنه ژئوشیمی عناصر در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای معدن فیروزه با مقادیر استاندارد عناصر در خاک [۱۳].

عنصر	نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای معدن فیروزه	مقدار حد مجاز در خاک
Cu	۲۲ تا ۵۳۷ گرم در تن	۲ تا ۱۰۰ - میانگین ۳۰ گرم در تن
Pb	۱۶ تا ۱۰۰ گرم در تن	۲ تا ۲۰۰- میانگین ۱۰ گرم در تن
Zn	۶۴ تا ۲۴۳ گرم در تن	۱۰ تا ۳۰۰- میانگین ۵۰ گرم در تن
Ag	۳۷ تا ۲۲۸ میلی گرم در تن	۰/۰۱ تا ۵- میانگین ۰/۰۵ میلی گرم در تن
Ni	۳۵ تا ۸۷ گرم در تن	۵ تا ۵۰۰ گرم در تن
Co	۱۱ تا ۴۵ گرم در تن	۱ تا ۴۰- میانگین ۸ گرم در تن
Mn	۱۰۲۷ تا ۵۵۸۷ گرم در تن	۲۰ تا ۳۰۰۰- میانگین ۶۰۰ گرم در تن
As	۱۶ تا ۴۰ گرم در تن	۱ تا ۵۰ - میانگین ۵ گرم در تن
Sb	۱ تا ۱۲ گرم در تن	۲ تا ۱۰ گرم در تن
Hg	۵ تا ۷۱ میلی گرم در تن	۰/۰۱ تا ۰/۳- میانگین ۰/۰۳ میلی گرم در تن
U	۰/۹ تا ۳/۶ گرم در تن	۰/۹ تا ۹- میانگین ۱ گرم در تن



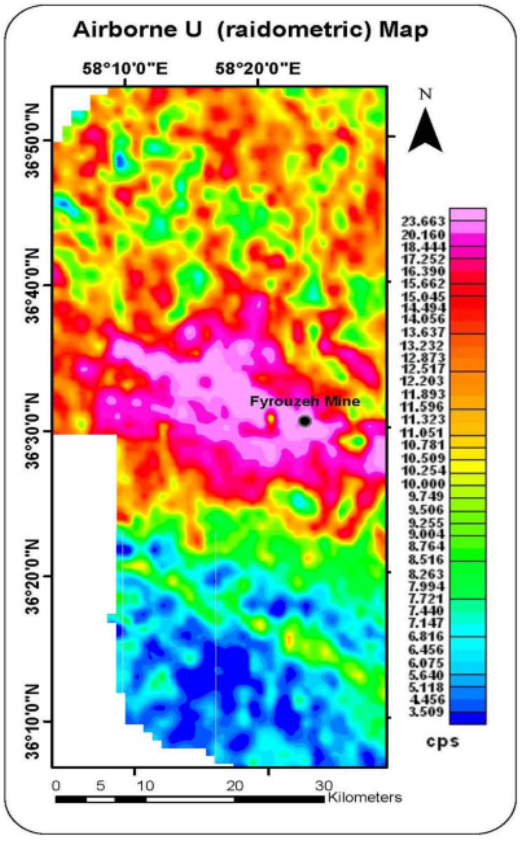
شکل ۹ الف تا ت- مقایسه‌ی دامنه‌ی ژئوشیمی عناصر در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای معدن فیروزه (خط چین) با دامنه‌ی مقادیر استاندارد عناصر در خاک (خط ممتد) و مقدار میانگین آن (علامت دایره).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

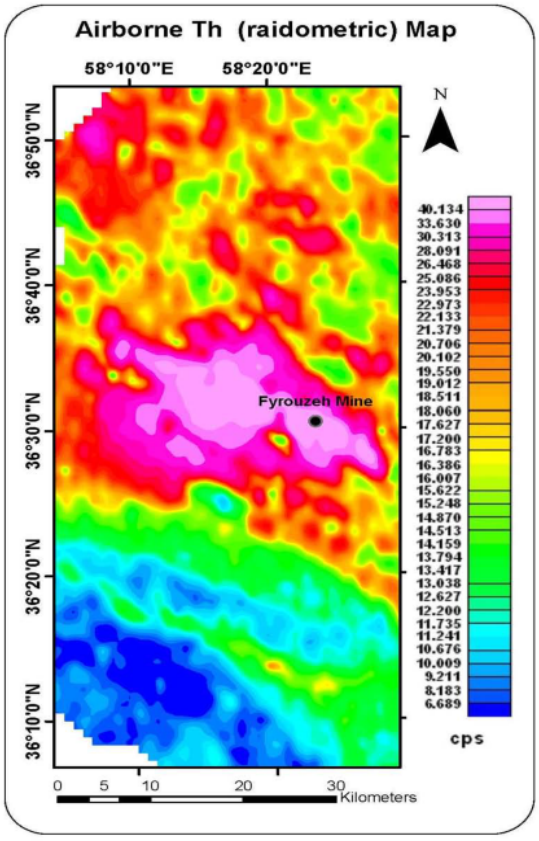
پیرامون آن نیز ناهنجاری بالای اورانیم و توریم دیده شده است [۱۱] (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) و نمونه‌های ژئوشیمیایی خرده-سنگی گستره‌ی معدن حاوی اورانیم بالا (تا ۳۲ گرم در تن) هستند، آلودگی زیست محیطی گستره‌ی معدن فیروزه از نظر عناصر پرتوزا برای مردم روستاها و اکوسیستم منطقه بسیار جدی است.

مقدار سرب منطقه نیز در همه نمونه‌ها از مقدار میانگین استاندارد (۱۰ گرم در تن) بالاتر است ولی نسبت به دامنه‌ی در نظر گرفته شده ۲ تا ۲۰۰ گرم در تن، در همین گستره قرار می‌گیرد. عنصر روی نیز حالت مشابه سرب دارد و در همه‌ی نمونه‌ها از ۵۰ گرم در تن بیشتر است (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل ۹ الف). همچنین عناصر کبالت و نیکل در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای تقریباً در گستره‌ی مجاز قرار دارند (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل‌های ۹ الف و ب). مقادیر هر دو عنصر نقره و جیوه نیز در همه‌ی نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای اطراف معدن بسیار بیش از حداکثر استانداردهای معرفی شده در خاک (به ترتیب ۵ و ۰٫۳ میلی گرم در تن) است (جدول-های ۱ و ۲ و شکل ۹ پ). مقدار منگنز نیز در نمونه‌های غرب گستره از میانگین حد مجاز در خاک (۳۰۰۰ گرم در تن) بیشتر است (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل ۹ ت). لذا می‌توان نتیجه گرفت که خاک منطقه علاوه بر آلودگی مس و اورانیم به نقره، جیوه و منگنز آلوده است.

مقدار آرسنیک نیز در همه‌ی نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای از مقدار میانگین ۵ گرم در تن بالاتر است؛ هرچند که در دامنه‌ی معرفی شده قرار می‌گیرند. همچنین آنتیموان حداکثر تا ۱۲ گرم در تن در گستره‌ی معدن مشاهده شده که ۱۰ گرم در تن آن می‌تواند عادی باشد (جدول‌های ۱ و ۲ و شکل ۹ ب). لذا خاک پایین دست منطقه از نظر آرسنیک قابل ملاحظه و تامل است ولی از جهت آنتیموان خطرناک نیست.



شکل ۱۰ نقشه‌ی پرتوسنجی (اورانیم) در گستره‌ی شمال‌غرب نیشابور و معدن فیروزه [۱۱].



شکل ۱۱ نقشه‌ی پرتوسنجی (توریم) در گستره‌ی شمال‌غرب نیشابور و معدن فیروزه [۱۱].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

ژئوشیمی آب

جدول (۳) موقعیت، دما و pH نمونه‌های آب معدن فیروزه نیشابور و جدول (۴) نتایج تجزیه‌ی عناصر مهم را در آب نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۵) مقایسه‌ی نتایج ژئوشیمیایی نمونه‌های آب منطقه با مقادیر استاندارد عناصر در آب آشامیدنی و آب معدنی داخل بطری از مراجع معتبر جهانی ارائه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که علیرغم فعالیت-های معدنکاری، ناهنجاری بالای عناصر در نمونه‌های سنگی و آلودگی رسوب‌های رودخانه‌ای برای بیشتر عناصر به ویژه مس، اورانیم، نقره و جیوه، خوشبختانه عناصر مس، سرب، روی، نقره، نیکل، منگنز، آنتیموان، جیوه و اورانیم در همه نمونه‌های آب کمتر از حد مجاز بوده و مطلوب است. با توجه به حد مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی (۱۰ میلی گرم در تن) به نظر [۱۵،۱۴]، مقدار آرسنیک آب قنات روستای معدن بالا که برای مصرف‌کشاورزی استفاده می‌شود، درحد ۱ تا ۶ میلی‌گرم در تن (نمونه‌های TW-4 و TW-6) بالاتر است (جدول‌های ۴ و ۵).

جدول ۳ موقعیت، دما و pH نمونه‌های آب معدن فیروزه نیشابور.

ایستگاه نمونه	ویژگی نمونه	pH	دما
TW-1	داخل تونل اصلی معدن و آب آشامیدنی روستاهای معدن بالا و معدن پایین	۸٫۵	۱۸
TW-2	داخل تونل اصلی معدن و آب پمپاژ شده به بیرون برای مصرف کشاورزی	۷٫۵	۱۹
TW-3	چشمه کنار ساختمان‌های قدیمی معدن و برای مصرف کشاورزی روستاها	۸٫۶	۱۴
TW-4	قنات داخل روستای معدن بالا و برای مصرف کشاورزی روستاها	۹	۲۰
TW-5	آب آشامیدنی روستای معدن بالا	۸٫۵	۲۰
TW-6	قنات داخل روستای معدن بالا و برای مصرف کشاورزی	۸٫۹	۱۹
TW-7	قنات داخل روستای معدن پایین و برای مصرف کشاورزی	۸٫۷	۱۷
TW-8	آب آشامیدنی روستای معدن پایین	۹٫۱	۲۱

جدول ۴ نتایج تجزیه عناصر مهم در نمونه‌های آب معدن فیروزه نیشابور.

عنصر	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	As	Sb	Hg
واحد	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
حد تشخیص	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۵	۰٫۰۵	۰٫۲	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۵	۰٫۰۵	۰٫۱
TW-1	۰٫۶	۰٫۳	۱٫۷	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۳	۲٫۳۸	۱٫۳	۱٫۱۶	<۰٫۱
TW-2	۱٫۹	۰٫۱	۲٫۱	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۳	۴٫۲۴	۵	۱٫۳۲	<۰٫۱
TW-3	۲٫۶	۰٫۳	۳٫۴	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۷	۷٫۸۸	۶٫۸	۱٫۶۴	<۰٫۱
TW-4	۱٫۶	۰٫۸	۴٫۳	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۱۴	۹٫۱۴	۱۵٫۸	۱٫۵۱	<۰٫۱
TW-5	۱	۰٫۷	۲۴۳	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۲	۰٫۷۶	۱٫۲	۱٫۲۲	<۰٫۱
TW-6	۲	۰٫۴	۳٫۹	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۵	۲٫۱۳	۱۱٫۱	۱٫۳۷	<۰٫۱
TW-7	۲٫۳	۰٫۳	۴٫۴	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۵	۲٫۱۷	۵٫۵	۱٫۲۳	<۰٫۱
TW-8	۳٫۶	۲٫۶	۵۰	<۰٫۰۵	<۰٫۲	۰٫۰۳	۱٫۱۴	۱٫۳	۱٫۰۸	<۰٫۱

ادامه جدول (۴)

عنصر	U	P
واحد	ppb	ppb
حد تشخیص	۰٫۰۲	۲۰
TW-1	۱٫۷۴	<۲۰
TW-2	۲٫۳۷	۱۶۴
TW-3	۲۹٫۵۳	۳۱
TW-4	۳٫۱۵	۲۳
TW-5	۱٫۷۵	<۲۰
TW-6	۴٫۶۲	<۲۰
TW-7	۹٫۴۳	۲۲
TW-8	۱٫۸۴	<۲۰

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

جدول ۵ مقایسه‌ی نتایج ژئوشیمیایی نمونه‌های آب گستره‌ی معدن فیروزه و روستاهای اطراف با مقادیر استاندارد عناصر در مراجع مختلف .

عنصر	نمونه‌های آب منطقه	مقدار حد مجاز در آب معدنی داخل بطری [۱۶]	مقدار حد مجاز در آب آشامیدنی [۱۷،۱۶]	مقدار حد مجاز در آب آشامیدنی [۱۴]	مقدار حد مجاز در آب آشامیدنی [۱۵]	مقدار حد مجاز در آب آشامیدنی [۱۸]
Cu	۰٫۶ ppb تا ۶٫۳	۱ ppm	۱-۱٫۵ ppm	۲ ppm	۲ ppm	۱ ppm
Pb	۰٫۱ ppb تا ۲٫۶	۵۰ ppb	۵۰ ppb	۱۰ ppb	۱۰ ppb	
Zn	۱٫۷ ppb تا ۲۴۳	۵ ppm	۵-۱۵ ppm		۳ ppm	۵ ppm
Ag	<۰٫۰۵ ppb	۵۰ ppb				۱۰۰ ppb
Ni	<۰٫۲ ppb			۲۰ ppb	۲۰ ppb	
Mn	۰٫۷۶ ppb تا ۹٫۱۴	۵۰ ppb	۰٫۳-۰٫۵ ppm	۵۰ ppb	۰٫۵ ppm	۵۰ ppb
As	۱٫۲ ppb تا ۱۵٫۸	۵۰ ppb	۵۰ ppb	۱۰ ppb	۱۰ ppb	
Sb	۱٫۰۸ ppb تا ۱٫۶۴			۵ ppb	۵ ppb	
Hg	<۰٫۱ ppb	۲ ppb	۲ ppb	۱ ppb	۱ ppb	
U	۱٫۷۴ ppb تا ۲۹٫۵۳				۱٫۴ ppm	

برداشت

معدن فیروزه نیشابور نخستین کانی‌ساز مس- طلا- اورانیم- عناصر نادر خاکی سبک نوع IOCG در ایران است که توسط کریم‌پور و همکاران [۱۱] معرفی شده است. علاوه بر عناصر مس، طلا و اورانیم، این منطقه برای آرسنیک، مولیبدن، روی و توریم ناهنجاری بالایی دارد [۱۱].

فعالیت‌های معدن کاری که از گذشته در معدن فیروزه نیشابور صورت گرفته است با ایجاد شرایط نامطلوب، نظیر رهاسازی دپوهای ماده‌ی معدنی و مواد باطله در کنار حریم آبراهه‌های اصلی، منجر به یه رشته ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در رسوب‌های رودخانه‌ای، خاک و گاهی آب‌های زیرزمینی محلی شده است.

ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی در رسوب‌های آبراهه- ای ریشه گرفته از گستره‌ی معدن و شرق آن نکات زیر را آشکار کرد:

۱) مقدار مس در بیشتر نمونه‌ها از میانگین مقدار استاندارد مس در خاک (۳۰ گرم در تن) بیشتر است. به‌ویژه نمونه‌هایی که از محل تونل‌ها و کنده‌کاری‌های معدن سرچشمه گرفته‌اند، بیش از ۱۰۰ گرم در تن نیز مس دارند که این مسئله آلودگی خاک منطقه به مس را نشان می‌دهد.

۲) تقریباً همه‌ی نمونه‌ها، مقدار اورانیمی بیش از مقدار میانگین استاندارد (یک گرم در تن) دارند. همچنین ناهنجاری بالای اورانیم و توریم در برداشت‌های پرتوسنجی منطقه مشاهده می‌شود [۱۱] و مقدار این عناصر در نمونه‌های سنگی برداشت شده از محل‌های دگرسانی- کانی‌سازی بالاست. در مجموع آلودگی زیست محیطی در گستره معدن فیروزه از نظر عناصر رادیواکتیو وجود دارد که برای مردم روستا و زندگی جانوری- گیاهی منطقه خطرناک است.

۳) مقادیر عناصر نقره (بین ۳۷ تا ۲۲۸ میلی گرم در تن) و جیوه (بین ۵ تا ۷۱ میلی گرم در تن) در همه‌ی نمونه‌ها بیش از حداکثر استانداردهای معرفی شده در خاک (به ترتیب ۵ و ۰٫۳ میلی گرم در تن) است. همچنین مقدار منگنز در نمونه- های غرب گستره (تا ۵۵۸۷ گرم در تن) از حد مجاز در خاک (۳۰۰۰ گرم در تن) بیشتر است. بنابراین آلودگی نقره، جیوه و منگنز در خاک منطقه وجود دارد.

۴) مقدار آرسنیک نیز در همه‌ی نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای از مقدار میانگین ۵ گرم در تن بالاتر است؛ هرچند که در دامنه‌ی معرفی شده قرار می‌گیرند. وجود آرسنیک بیش از ۵ گرم در تن در رسوب‌های آبراهه‌ای منطقه قابل تامل است. همچنین مقادیر عناصر سرب، روی، آنتیموان، کبالت و نیکل در برخی نمونه‌ها از میزان میانگین استاندارد خاک بیشتر است ولی همه‌ی آن‌ها در گستره‌ی دامنه‌ی مجاز تعریف شده قرار دارند و اثرهای زیست محیطی آن‌ها در منطقه قابل چشم پوشی است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی آب‌های داخل تونل‌ها که بیشتر برای مصارف کشاورزی و حتی آشامیدنی روستاهای معدن بالا و پایین استفاده می‌شود، آب قنات‌های داخل دو روستا و آب آشامیدنی آن‌ها نشان می‌دهد که خوشبختانه عناصر مس، سرب، روی، نقره، نیکل، منگنز، آنتیموان، جیوه و اورانیم در همه‌ی نمونه‌های آب کمتر از حد مجاز و مطلوب است. با توجه به حد مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی (۱۰ میلی گرم در تن) به نظر [۱۴ و ۱۵]، مقدار آرسنیک آب قنات روستای معدن بالا که برای مصرف کشاورزی استفاده می‌شود، در حد ۱ تا ۶ میلی گرم در تن از استاندارد بالاتر است.

بالا بودن عناصر پرتوزا مانند اورانیم و توریم در منطقه بزرگ‌ترین خطر تهدید کننده‌ی مردم روستاهای معدن بالا و معدن پایین است که می‌تواند باعث بروز انواع سرطان‌های مختلف، تغییرات ژنتیکی در نسل‌های آینده و در نهایت مرگ شود. لذا پیشنهاد می‌شود تا عملیات پرتوسنجی زمینی و تعیین مقدار پرتوهای خطرناک در بخش‌های مختلف ناحیه انجام گیرد و از حضور مردم در مناطق با پرتوزایی بالا جلوگیری شود. همچنین آلودگی خاک منطقه به این عناصر باعث آلودگی محصولات کشاورزی نیز می‌شود.

از طرف دیگر آلودگی رسوب‌های آبراهه‌ای پایین دست معدن به عناصر مس، جیوه، نقره و منگنز و آلودگی آب مصرفی کشاورزی به عنصر آرسنیک، می‌تواند موجب آلودگی محصولات کشاورزی و به پیروی از آن مردم منطقه شود. بالا بودن این عناصر در غذای انسان باعث انواع سرطان‌ها، بیماری‌های کلیوی، کبدی و پوستی می‌شود. لذا می‌بایست تمهیداتی برای جلوگیری از ورود این عناصر به محصولات کشاورزی در نظر گرفته شود.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲ شماره ۱۵۶۸۱/۲ مورخ ۱۳۸۹/۷/۱۱ از طرح پژوهه انجام شده است.

مراجع

[1] Bauman A., Spes O., Lensch G., "*Strontium isotopic composition of post-ophiolithic tertiary volcanics between Kashmar, Sabzevar and Quchan INE Iran*", Geodynamic project (geotraverse) in Iran, Final report, Geo. Suv of Iran, Report no.51 (1983).

[2] Spies O., Lensch G., Mihem A., "*Chemistry of the post-ophiolitic tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan/NE-Iran*", Geodynamic project (geotraverse) in Iran, Final report, Geo. Suv of Iran, Report no.51 (1983).

[۳] تدین اسلامی.، *گزارش اکتشاف ژئوشیمیایی در حوزه معدن فیروزه نیشابور"*، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵۳).

[۴] کیمیاقلم.، ایرانمنش.، *گزارش اکتشافات ژئوفیزیکی در حوزه معدن فیروزه نیشابور"*، گزارش شماره ۵۱ سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۳).

[5] Issakhanian V., Espahbod M.R., Nemat L., "*Geological investigation of Radiometric material in the vicinity of the Neyshabur turquoise mine*", Geol. Surv.Iran, 16 p (1973).

[6] Espahbod M.R., "*Le district minier de la mine de turquoise de kuh-e-madan (Neychabur, Iran): mineralisations et caracferes geologiques, ge'ochimiques et me'talloge'niques de l'uranium, du cuivre et du molybdeue*", Theses (Diplome de docteur-ingenieur), Universite de Nancy I. Nancy, France (1976).

[۷] اسفندیارپور الف.، ملکزاده شفارودی الف.، حیدریان شهری م.ر.، *"کانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی (رسوبات رودخانه‌ای و خرده‌سنگی) در محدوده اکتشافی تونل غاردوم، معدن فیروزه نیشابور"*، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۰ الف) ۵۹.

[۸] اسفندیارپور الف.، حیدریان شهری م.ر.، ملکزاده شفارودی الف.، *"پتروگرافی، آلتراسیون و پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای آذرین معدن فیروزه (محدوده تونل غاردوم)، شمال غرب نیشابور"*، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۰ ب) ۲۳۶.

[۹] محمدنژاد ح.، کریم‌پور م.ح.، ملکزاده شفارودی الف.، *"کانی‌سازی و ژئوشیمی (رسوبات رودخانه‌ای و خرده‌سنگی) معدن فیروزه نیشابور (محدوده اکتشافی تونل زاک)"*، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۰ الف) ۱۳۴.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]

[۱۰] محمدنژاد الف.، کریم‌پور م.ح.، ملکزاده شفارودی. الف.، *"زمین‌شناسی، آلتراسیون و پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی محدوده اکتشافی تونل زاک، معدن فیروزه نیشابور"*، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۰ ب) ۲۷.

[۱۱] کریم‌پور م.ح.، ملکزاده شفارودی الف.، اسفندیارپور الف.، محمدنژاد ح.، *"معدن فیروزه نیشابور: نخستین کانی‌سازی مس- طلا- اورانیوم- عناصر نادر خاکی سبک نوع IOCG در ایران"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران، در حال چاپ (۱۳۹۰).

[۱۲] اکرمی م.ع.، عسکری ع.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹).

[13] USEPA., "*Office of Solid Waste and Emergency Response, Hazardous Waste Land Treatment*", SW-874 (1983) 273 p.

[14] EU's drinking water standards., "*Council Directive 98/83/EC on the quality of water intented for human consumption: Adopted by the Council*", on 3 November 1998 (1998).

[15] WHO's., "*Guidelines for Drinking-water Quality*", http://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/drinking-watestandards.htm#ixzz1VIZBB5eg. (1993)

[16] USEPA., "*Office of Solid Waste and Emergency Response, Hazardous Waste Land Treatment*", SW-874 (2001) 273 p.

[17] Fillela M., Belzile N., Chen Y.W., "*Antimony in the environment: A review focused on natural waters*", Earth-Sci. Rev., 57 (2001) 125-176.

[18]EHSO *(Environmental Health and Safety Online)*., http://www.ehso.com/ehshome/DrWater/drinkingwaterepastds.htm. (2005).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-15]