ارزیابی ذخیره تیتانیوم و وانادیوم در توده مرکزی کانسار سنگ‌آهن آنومالی‌شمالی بافق

پیمان افضل[۱]، محمدرضا محوی[۲]، بیژن اسفندیاری[۳]

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، عضو هیات‌علمی گروه مهندسی اکتشاف‌معدن، واحد تهران‌جنوب، peymanafzal@yahoo.com

۲- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، مدیرعامل شرکت بین‌المللی مهندسی مشاور مواد معدنی (IMECO)

۳- استاد گروه مهندسی معدن، دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده

با توجه به رشد شدید مصرف مواد معدنی و به‌خصوص فلزها در آغاز قرن بیست و یکم برآورد ذخیره فلزات و عناصر ارزشمند همراه در کانسارهای فلزی به خصوص در کانسارهای آهن ماگمایی اهمیتی روزافزون یافته است، به صورتی که حتی می تواند باعث تغییراتی اساسی در طراحی معدن و برنامه استخراجی معدن بشود. تیتانیوم و وانادیوم به علت کاربرد فراوان در صنایع استراتژیک از جمله این عناصر می باشند. کانسارهای آهن منطقه بافق از جمله کانسارهایی هستند که این عناصر ارزشمند در آنها یافت می شوند. کانسار سنگ‌آهن آنومالی‌شمالی واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غرب معدن آهن چغارت از جمله این کانسارها می باشد که بر اثر تکتونیک به سه توده شرقی، مرکزی و غربی بخش شده است. در این مقاله توده مرکزی این کانسار از لحاظ میزان ذخیره از این عناصر ارزشمند مورد بررسی قرارگرفته‌است. نخست با جمع‌آوری اطلاعات موجود از توده مرکزی، این اطلاعات مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته و سپس با آماده‌سازی اطلاعات ناشی از حفاری‌های انجام‌شده و ترسیم نیمرخهای زمین شناسی مدل‌سه بعدی توده مرکزی این کانسار ساخته‌شده و میزان ذخیره تیتانیوم و وانادیوم در این توده با استفاده از نرم افزار Data Mine مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. درنهایت میزان ذخیره تیتانیوم و وانادیوم موجود در توده مرکزی کانسار آنومالی‌شمالی با چند کانسار در قاره‌های مختلف مورد مقایسه قرارگرفته‌است.

واژه های کلیدی: *تیتانیوم، وانادیوم، آنومالی‌شمالی، توده مرکزی، بافق.*

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

کانسارهای آهن ماگمایی از نظر وجود عناصری مانند تیتانیوم، وانادیوم و عناصر نادر خاکی، اهمیت روزافزونی یافته‌اند. در این نوع کانسارها ثابت شده است که میزان تیتانیوم، وانادیوم (دارای وابستگی ژیوشیمیایی با آهن) و عناصر نادر خاکی (دارای وابستگی ژیوشیمیایی با فسفر) قابل توجه می باشد و امروزه استخراج این عناصر از این کانسارها در حال گسترش است [۱]. عنصر تیتانیوم همانند عنصر آهن در طول انجماد ماگما در فاصله زیادی قابلیت جداشدن را دارد، بنابراین با گونه های بسیاری از سنگهای آذرین همراه می باشد [۱]. کانسار آهن آنومالی شمالی بافق در نزدیکی معدن آهن چغارت در شهرستان بافق قرار دارد و با توجه به وضعیت زمین شناسی منطقه بافق و ماگماتیسم منطقه و همچنین وضعیت معادن فعال در منطقه از نظر عناصر و کانیهای ارزشمند همراه، وجود برخی از این عناصر و کانیها در این کانسار پیشبینی شده است. دو منبع مهم تیتانیوم در جهان، کانسارهای پلاسری تیتانیوم و کانسارهای تیتانومنیتیت می باشد. کانسارهای ماگمایی (تیتانومنیتیت) تیتانیوم همراه با منیتیت و هماتیت هستند و بیشتر با سنگهای آذرین مافیک و اولترامافیک لایه ای «گابرو – پیروکسنیت - نوریت» و آنورتوزیت همراه می باشند [۲و۳]. با توجه حجم استخراج شده بسیار بالای تیتانیوم از کانسارهای پرعیار پلاسری و تیتانومنیتیت، عیار حد تیتانیوم کاهش یافته است [۴]. میزان تولید ایلمنیت و روتیل در دنیا در سال ۱۹۹۴ بالغ بر ۳/۹۴ میلیون تن و در سال ۱۹۹۵ به ۴/۲ میلیون تن و در سال ۱۹۹۶ به ۴/۳۷ میلیون تن افزایش یافته و روندی صعودی دارد[۵و۶]. تولید تیتانیوم در دهه نود رو به افزایش گذاشته است و یکی از دلایل آن افزایش مصرف TiO_2 در صنایع بخش پلاستیک می باشد[۷و۸]. در اواخر سال ۲۰۰۴ ظرفیت تولید ایلمنیت و روتیل به بیش از ۵ میلیون تن رسیده است و پیش بینی می شود که تولید و همچنین تقاضا در چند سال آینده افزایش یابد. دلایل این امر رشد تقاضای TiO_2 در جهان به خصوص در شرق آسیا و همچنین فلز تیتانیوم در بخشهای نظامی و هوایی می باشند[۷و۸]. میزان فلز تولیدی تیتانیوم به بیش از ۶۰۰۰۰ تن می رسد که ارزشی بیش از ۲۰۰ میلیون دلار را دارا می باشد[۵]. این فلز در ساخت فولادهای آلیاژی مورد استفاده در هواپیماها، سفینه های فضایی، موشکها، موتور هواپیما، ادوات رزمی و توربینهای گاز و همچنین اکسید تیتانیوم در صنایع رنگ سازی، کاغذسازی و پلاستیک به عنوان رنگدانه کاربرد دارد[۵و۶].

وانادیوم دارای کلارک ۱۶۰ppm و دارای کانیهای اندکی می‌باشد، به دلیل این که یون V^{3+} از نظر ژیوشیمیایی شبیه یون Fe^{3+} می‌باشد، بنابراین V^{3+} در بسیاری از کانیها جانشین Fe^{3+} می شود (غلظت وانادیوم به صورت V_2O_5 گزارش می‌شود). این دلایل مانع شد که این عنصر تا سال ۱۸۳۰ مورد توجه شیمیدانها و متالورژیستها قرار بگیرد. وانادیوم از ذخایر گرمابی و ماگمایی حاصل می‌شود[۴و۵]. حدود ۸۵٪ تولید جهانی این فلز در تولید فولاد مصرف می‌شود. وجود ۰/۱٪ وانادیوم در فولاد مقاومت، سختی و شکل‌پذیری آن را افزایش می‌دهد. این فولادها برای احداث ساختمانهای بلند، سکوهای حفاری دریایی و لوله‌های انتقال نفت و گاز مصرف می‌شود. از ترکیبات شیمیایی این فلز برای تولید رزینهای نایلون و پلی‌استر همچنین شیشه‌های مخصوص محافظت کننده آثار هنری و پارچه ها در برابر اشعه ماورای بنفش استفاده می‌شود [۵]. تولید این فلز تا اواخر دهه ۱۹۹۰ بین ۳۰۰۰۰ تن تا ۴۰۰۰۰ تن متغیر بوده است، ولی در سالهای اخیر این میزان به حدود ۵۰۰۰۰ تا۶۰۰۰۰ تن افزایش یافته‌است [۵و۶]. این افزایش به گونه‌ای است

Archive of SID

www.SID.ir

که در فوریه ۲۰۰۵ میزان مصرف وانادیوم ۲۰٪ نسبت به فوریه ۲۰۰۴ افزایش یافته‌است [۷]. قیمت هر پوند فلز وانادیوم در اوایل سال ۲۰۰۵ به بیش از ۲۶ دلار رسیده است [۷].

با توجه به توسعه صنایع نفت و پتروشیمی و فولاد در ایران و همچنین صنایع پایین دست همانند تولید فولاد آلیاژی (یزد، اصفهان، اسفراین)، صنایع هوایی، نظامی و خودروسازی نیاز کشور به تیتانیوم، وانادیوم و عناصر نادر خاکی در حال افزایش است که این امر یعنی افزایش واردات، در حالی که قیمت جهانی این عناصر نیز در حال افزایش می باشد. از طرفی با توجه به پتانسیل فراوان کانسارهای آهن بافق از نظر این عناصر، اگر روی این عناصر ارزیابی مناسبی صورت نگیرد علاوه بر اتلاف منابع ملی و ضرر به منافع بالقوه این عناصر، اینها می‌توانند در روند استخراج و فرآوری آهن مشکل ایجاد نمایند (مانند معدن آهن چغارت). به همین جهت همزمان با انجام پروژه اکتشاف تفصیلی در کانسار سنگ‌آهن آنومالی‌شمالی بافق، یک ارزیابی مقدماتی در مورد میزان تیتانیوم، وانادیوم و عناصر نادر خاکی انجام گرفت که در این نوشتار در مورد میزان تیتانیوم و وانادیوم در توده مرکزی این کانسار بحث می‌گردد.

۲- مشخصات کانسار آنومالی شمالی

کانسار آهن آنومالی شمالی در ۱۱ کیلومتری شمال باختری معدن آهن چغارت قرار دارد. مختصات جغرافیایی این منطقه، ″۶ ′۴۶ °۳۱ عرض شمالی و ″۱۲ ′۲۶ °۵۵ طول خاوری می‌باشد. ارتفاع این کانسار از سطح دریا، ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ متر است. راههای دسترسی از جاده آسفالته یزد- بافق – چغارت است که در نزدیکی معدن چغارت یک جاده شوسه از جاده آسفالته جدا می شود و به این کانسار می‌رسد. موقعیت جغرافیایی این کانسار در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

کانسار آنومالی شمالی بر اثر شکستگیهای عرضی ناشی از گسلهای چاپدونی و پشت‌بادام به سه بخش تقسیم شده‌است که به توده های شرقی، مرکزی و غربی موسومند که توده مرکزی بزرگترین توده در میان این سه توده می‌باشد (شکل۲). بررسی‌های صحرایی و سنگ شناسی انجام شده قبلی و جدید در این کانسار نشانگر وجود سنگهای اسیدی در بخش پایینی و سنگهای آهکی و چین خورده در بخش بالایی کانسار می‌باشد. کنتاکتی واضح بین تشکیلات آهکی و سنگهای اسیدی به رنگ روشن (به خصوص در توده مرکزی) وجود دارد. سنگهای آذرین اسیدی به صورت نفوذی (گرانیت) و بیرونی (ریولیت) سنگ درونگیر این کانسار را تشکیل می‌دهند [۹]. آبرفت به ضخامتهای گوناگون سراسر این کانسار را پوشانده است که ضخامت آن در توده مرکزی به کمترین میزان می رسد. متاسوماتیتهای آمفیبولی و آلبیتی به خصوص در توده مرکزی در روی زمین رخنمون دارند و به وفور در مغزه های حفاری دیده می‌شوند. در حفاری های جدید صورت گرفته در شرق توده مرکزی در مغزه های حفاری آهک مرمریزه دندریتی (شاخه شاخه) مشاهده‌شد که نشانگر یک دگرگونی ضعیف می‌باشد. تزریق فراوان دایکها با ترکیب دیابازی تا سینیتی از مشخصه های این کانسار می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده این کانسار در رده کانسارهای آهن ماگمایی طبقه‌بندی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

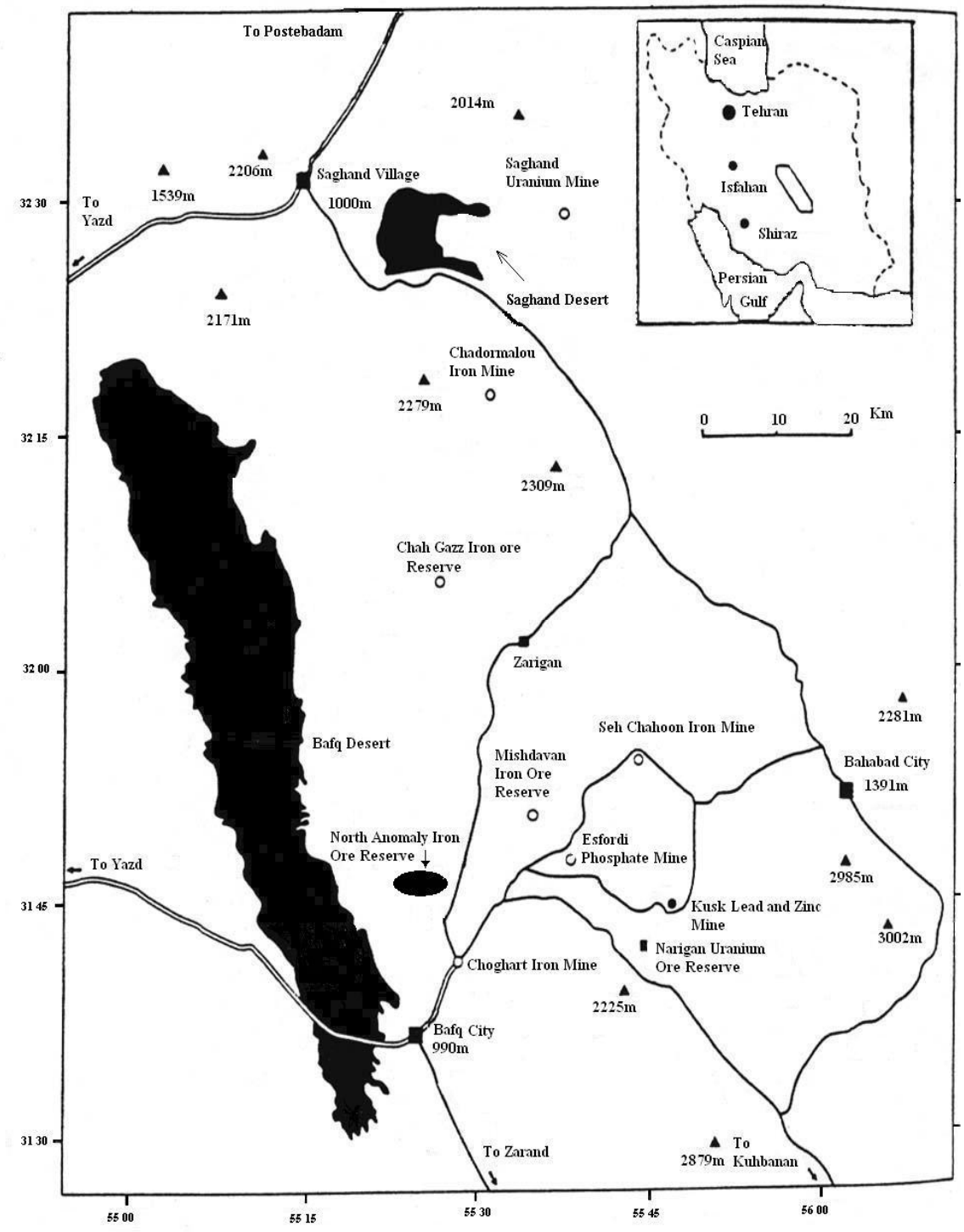
۳- تاریخچه مطالعات قبلی در این کانسار

اولین مطالعات بر روی این کانسار در سالهای ۱۹۶۰-۱۹۶۱ توسط زمین شناسان آلمانی صورت گرفت که شامل مطالعات ژیوفیزیکی مقدماتی و عملیات حفاری را در منطقه انجام بوده است. میزان ذخیره تخمینی در این مرحله بین ۱۵۰ تا ۲۸۰ میلیون تن می باشد. در طول سالهای ۱۹۶۹-۱۹۷۴ زمین شناسان روسی و ایرانی اقدام به انجام مطالعات ژیوفیزیکی و زمین شناسی در آنومالی شمالی کردند که حاصل این کار شناسایی ۳ توده شرقی، مرکزی و غربی بوده است[۸].

در مرحله اکتشاف مقدماتی در سالهای ۱۹۸۱-۱۹۸۲ حفاری به میزان ۳۷۰۴ متر صورت گرفت و نمونه‌برداری، مطالعات ژیوفیزیکی، توپوگرافی و نقشه برداری توسط شرکت تکنواکسپرت روسیه انجام پذیرفت. در نهایت نتیجه کلی بدست آمده نشانگر این بود که این کانسار دارای ذخیره ۳۲۷/۵ میلیون تن در کاتاگوری ۳۳۳ (طبق رده‌بندی سازمان ملل)، C_1 (طبق رده بندی روسی) با عیار متوسط آهن برابر ۲۷/۵٪ می‌باشد [۹]. در فاصله سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ حاضر عملیات اکتشاف تفضیلی در این کانسار توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران به عنوان کارفرما و شرکت مهندسی مشاور کاوشگران به عنوان مشاور انجام شده است.

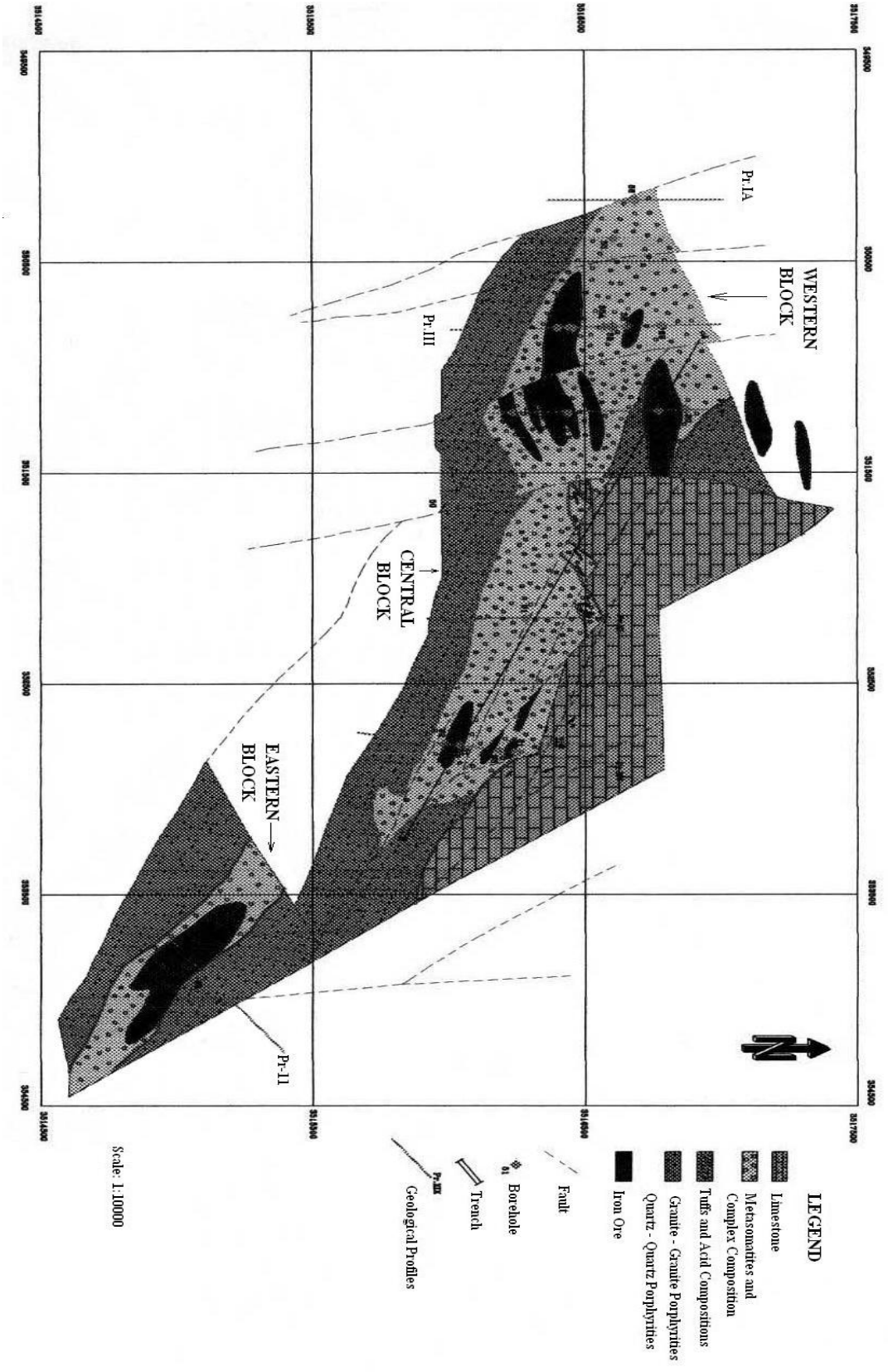
Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱: موقعیت جغرافیایی کانسار و راههای دسترسی به آن [۹]

www.SID.ir



شکل ۲: نقشه زمین شناسی کانسار آهن آنومالی‌شمالی
(تهیه‌شده در شرکت مهندسین مشاور کاوشگران)

www.SID.ir

۴- روش پژوهش

نخست اطلاعات حاصل از ۱۳ گمانه حفرشده جدید و ۴ گمانه حفرشده قبلی در توده مرکزی جمع‌آوری و دسته‌بندی شدند. سپس مدل سه‌بعدی گمانه‌های حفاری در این توده تهیه شده است. پس از آن، با ترسیم نیمرخ های زمین‌شناسی این توده بخشهای کانی‌سازی در این توده از بخشهای دگر جدا شده‌اند. در نهایت جهت مدلسازی سه‌بعدی این توده نیمرخ های ترسیم‌شده وارد نرم‌افزار Data Mine شده و مدل تورسیمی و سپس مدل بلوکی توده ترسیم شده و در نهایت میزان تیتانیوم و وانادیوم در این توده ارزیابی شده‌اند.

۵- جمع‌آوری اطلاعات حفاری و مدل سازی گمانه‌های حفاری

در این گام اطلاعات جمع آوری‌شده از گمانه ها وارد رایانه شده و سپس دسته بندی شده‌اند. به این صورت که برای هر یک از توده ها یک فایل به کمک نرم افزار Excel2003 ساخته شده و سپس مشخصات گمانه های اکتشافی در آن وارد شده و دسته بندی شده‌اند. هر یک از این فایلها از ۴ Worksheet به شرح زیر تشکیل شده‌اند:

۱. Borehole ID: اطلاعات این صفحه شامل نام گمانه ها و مختصات دهانه گمانه ها است.
۲. Sample: اطلاعات این صفحه شامل شماره گمانه ها، طول نمونه های آنالیزشده و نتایج آنالیز شامل عیار عناصر اصلی آهن، تیتانیوم، وانادیوم و فسفر می باشد.
۳. Rock type: اطلاعات این صفحه نشانگر جنس سنگ در مغزه های حفاری حاصل از گمانه های اکتشافی می‌باشد.
۴. Survey: اطلاعات این صفحه در مورد شیب و آزیموت و میزان انحراف از قائم گمانه های اکتشافی می باشد.

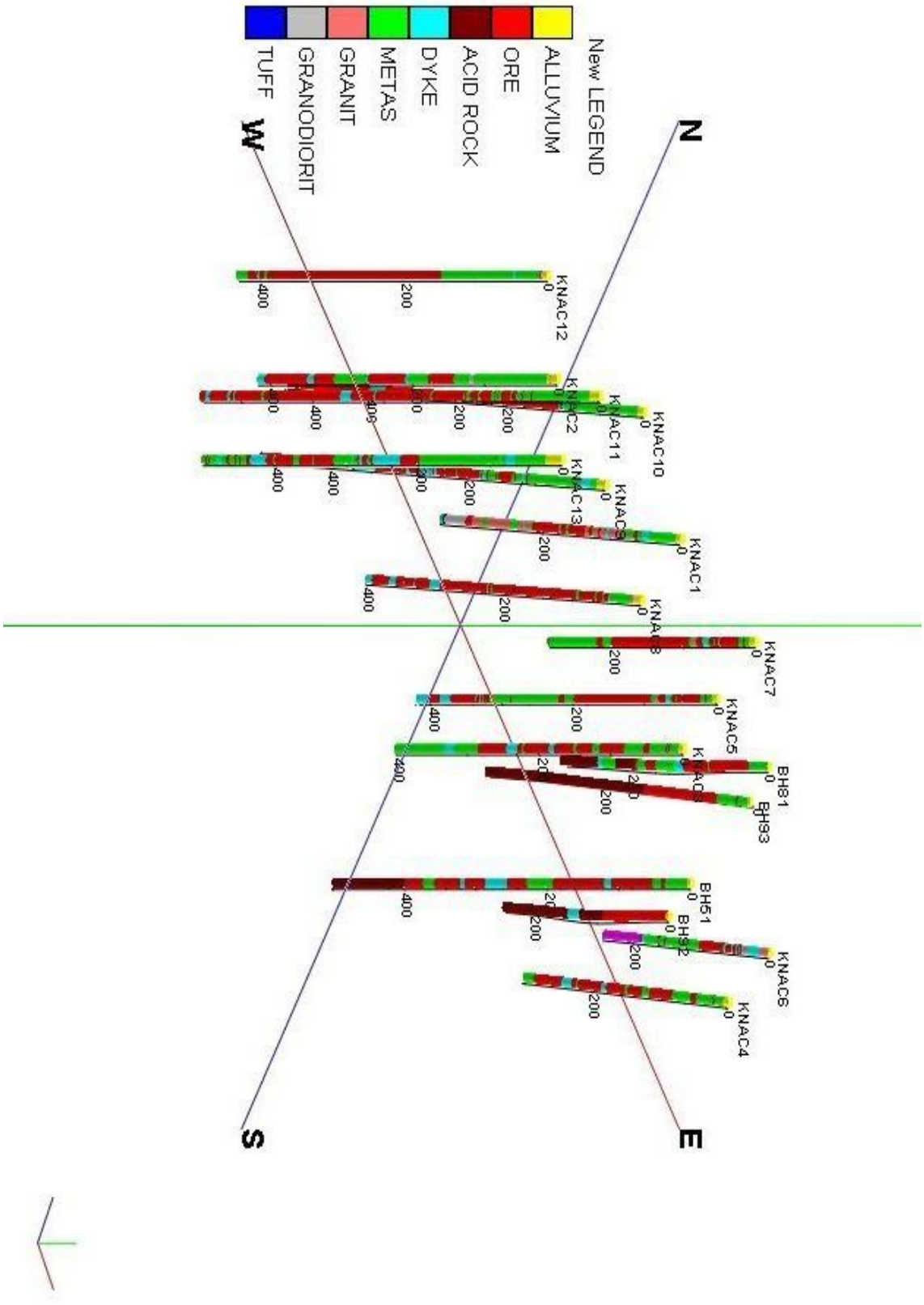
پس از تهیه این فایل اطلاعاتی، این فایل به نرم افزار مناسب وارد شده و گمانه های اکتشافی مدل‌سازی می شوند. برای مدلسازی سه‌بعدی گمانه های حفاری در این لایه از دو نرم افزار Rockworks و Data Mine استفاده شده است. در این مرحله اطلاعات حاصل از ۱۳ گمانه حفرشده جدید و ۴ گمانه حفرشده قبلی بر اساس مطالب گفته شده دسته بندی شده و مدل سه بعدی این گمانه‌ها ساخته شده‌است. در شکل ۳ مدل سه بعدی گمانه‌های حفاری آورده شده‌است.

۶- ترسیم نیمرخ های زمین شناسی

در این بخش نخست گمانه‌های زمین‌شناسی به صورت دید از کنار رسم شده و پس از پیاده‌کردن جنس‌های مغزه های حفاری در عمق های مختلف در آن نیمرخ های زمین شناسی ترسیم شده اند. این کار به کمک نرم‌افزار AutoCAD انجام شده‌است. در نهایت تمام نیمرخ ها به مختصات واقعی خود در نقشه توپوگرافی (که با نرم‌افزار ذکرشده ترسیم شده‌است) منتقل شده اند. در این توده ۸ نیمرخ ترسیم شده است. در شکل شماره ۴ نیمرخ شماره C2 آورده شده است.

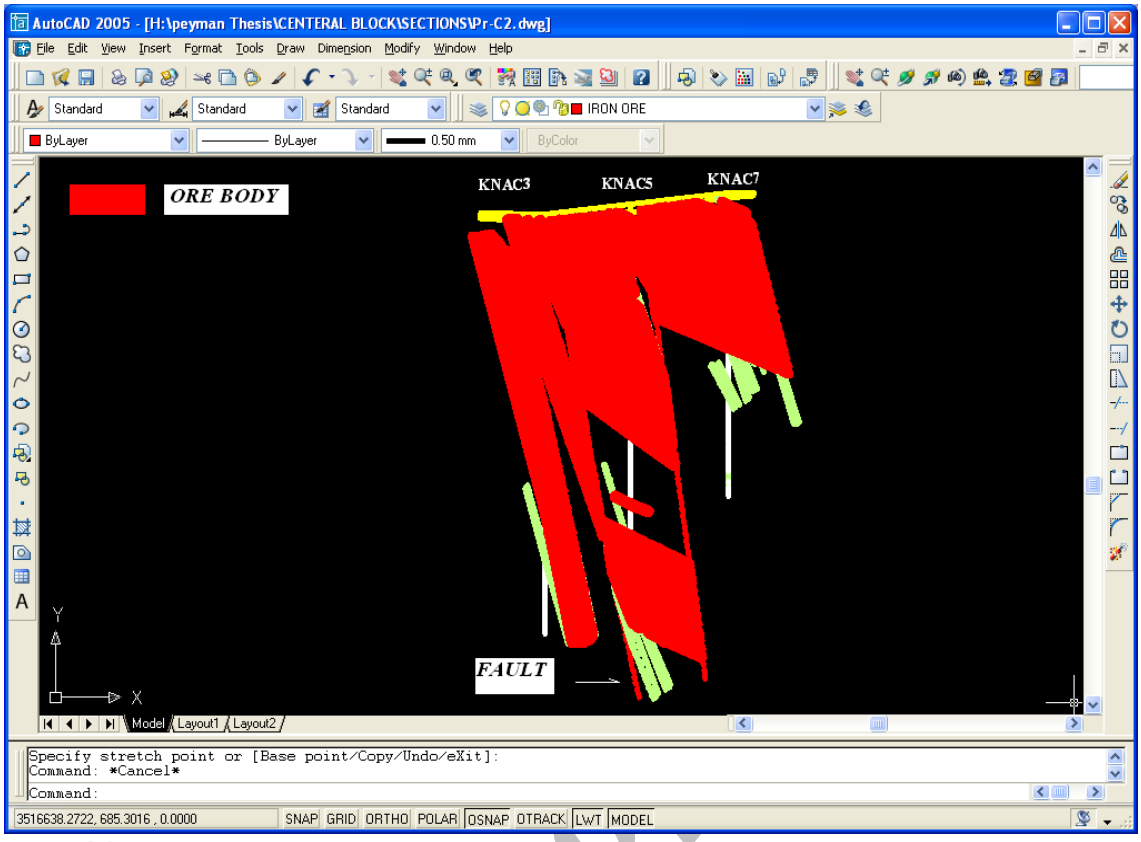
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: مدل سه‌بعدی گمانه‌های حفرشده در توده مرکزی کانسار آنومالی‌شمالی با استفاده از نرم‌افزار Rockworks [۱]

www.SID.ir



شکل ۴: نیمرخ زمین شناسی C2 در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی ترسیم شده با نرم افزار AutoCAD [۱]

۷- تهیه مدل تور سیمی (Wire frame)

در این مرحله ابتدا نیمرخ های یاد شده به نرم افزار Data Mine وارد شده و سپس بخش های کانیسازی آهن را در هر نیمرخ از دیگر بخش های سنگ شناسی (همچون دایکها و متاسوماتیتها) جدا شدند. سپس با مشخص نمودن بخش های متناظر کانه سازی در هر نیمرخ آنها به یکدیگر متصل شده‌اند. برای معدودی از بخشهای کانی‌سازی (بخصوص بخش های بسیار کوچک) در نیمرخ ها متناظری دیده نشد به همین دلیل برای آنها از تعمیم خودشان به اندازه ای که بستگی به فاصله نیمرخ ها و وضعیت پیچیدگی کانسار در توده مورد نظر استفاده شده است. اتصال بخش های متناظر کانه‌سازی با روش مثلث‌بندی صورت گرفته است و نتیجه نهایی یک پوسته توخالی موسوم به مدل تور سیمی (Wire frame) می باشد.

۸- ساخت مدل بلوکی

برای هر چه بهتر انجام دادن ارزیابی ذخیره و طراحی معدن، مدل ساخته شده به یک سری بلوکهای منظم و نامنظم بخش می‌شود. به هر یک از این بلوکها یکسری خصوصیات از قبیل جنس سنگ شناسی و عیار نسبت داده می‌شود. این بلوکها می توانند دارای شکلهای مختلف هندسی باشند که این اشکال می توانند در مرزهای کانی سازی و باطله کامل نباشند. متداولترین بلوکها به صورت مکعبی و مکعب مستطیلی می‌باشند. بلوکهای مکعبی بیشتر برای ساخت مدل بلوکی در کانسارهای توده ای مانند آهن و مس پرفیری و بلوک های مکعب مستطیلی بیشتر برای ساخت مدل بلوکی در کانسارهای لایه‌ای مانند پتاس و ذغال سنگ به کار می روند. مدل سیمی بلوک بندی شده را مدل بلوکی می نامند. بر اساس شکل های هندسی مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

مدل های بلوکی گوناگونی قابل تعریف می‌باشند، اما مدل بلوکی ثابت و منظم و سه بعدی که در آن همه بلوک ها دارای ابعاد مشابهی هستند از ساده ترین و متداولترین مدل هایی است که به کار می رود و به آن مدل دکارتی گفته می‌شود [۱و۱۰]. در این نوع مدل به طور معمول ارتفاع هر یک از بلوک ها را برابر ارتفاع پله های معدن می‌گیرند وجه افقی بلوک ها مربع یا مستطیل شکل است. پس از تهیه پوسته تمام بخشها لازم است هر کدام جداگانه بلوک‌بندی شوند. برای مدل نمودن هر بخش ابتدا نیاز به تعریف یک مکعب دربرگیرنده کل محدوده ماده معدنی است. در مرحله بعد این مکعب به بلوک های کوچکتر در سه جهت بخش می‌شود [۱و۱۰]. همچنین برای بالا بردن دقت بلوک بندی کانسار در مرز کانسار با باطله، ریز بلوکهایی توسط نرم افزار ساخته می‌شود. در نهایت کانسار در این مرحله شامل بلوک هایی می باشد که هر یک از آنها دارای مشخصاتی از جمله مختصات، ابعاد و مختصات مرکز عیار می باشند و برای دادن عیار به هر یک از بلوک ها از صفحه Sample در فایل اولیه ذکر شده در بالا استفاده می‌شود. در پایان این مراحل یک مدل سه‌بعدی بلوک بندی شده از کانسار وجود دارد که آماده انجام عملیات ارزیابی ذخیره عناصر مورد نظر می‌باشد.

برای بلوک بندی این توده یک محدوده در جهات X، Y و Z به ترتیب در ابعاد ۱۰۰۰×۵۳۵×۷۰۰ متر برای در برگیری این توده در نرم افزار Data Mine تعریف شده است. سپس ابعاد بلوکها با توجه به وضعیت کانسار، ضخامت کانسنگ گرفته شده در هر یک از گمانه های اکتشافی و فاصله نیمرخ ها از یکدیگر ۲۵×۲۵×۱۰ تعریف شده اند. پس از آن، با استفاده از فایل اولیه مدل بلوکی این توده بر اساس عیارهای تیتانیوم و وانادیوم تهیه شده است. در شکل ۵ مدل بلوکی این کانسار بر حسب عیارهای تیتانیوم و وانادیوم آورده شده‌است.

۹- چگونگی ارزیابی ذخیره تیتانیوم و وانادیوم در این توده

از هشت نیمرخ زمین‌شناسی رسم شده در این توده تنها گمانه های حفر شده بر روی یک نیمرخ دارای عیار نیستند. از سویی فاصله هر نیمرخ از نیمرخ های دیگر در حدود ۲۰۰ متر می‌باشد. در این توده میزان نمونه های آنالیزشده برابر ۱۲۴۱ نمونه می‌باشد و از روش مجذور عکس فاصله (IDS) برای ارزیابی ذخیره به کمک نرم‌افزار Data Mine استفاده شده‌است. در این روش با توجه به فاصله نیمرخ ها از یکدیگر و وضعیت توده شعاع تأثیر در جهت های X، Y و Z به ترتیب برابر ۲۰۰×۲۰۰×۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

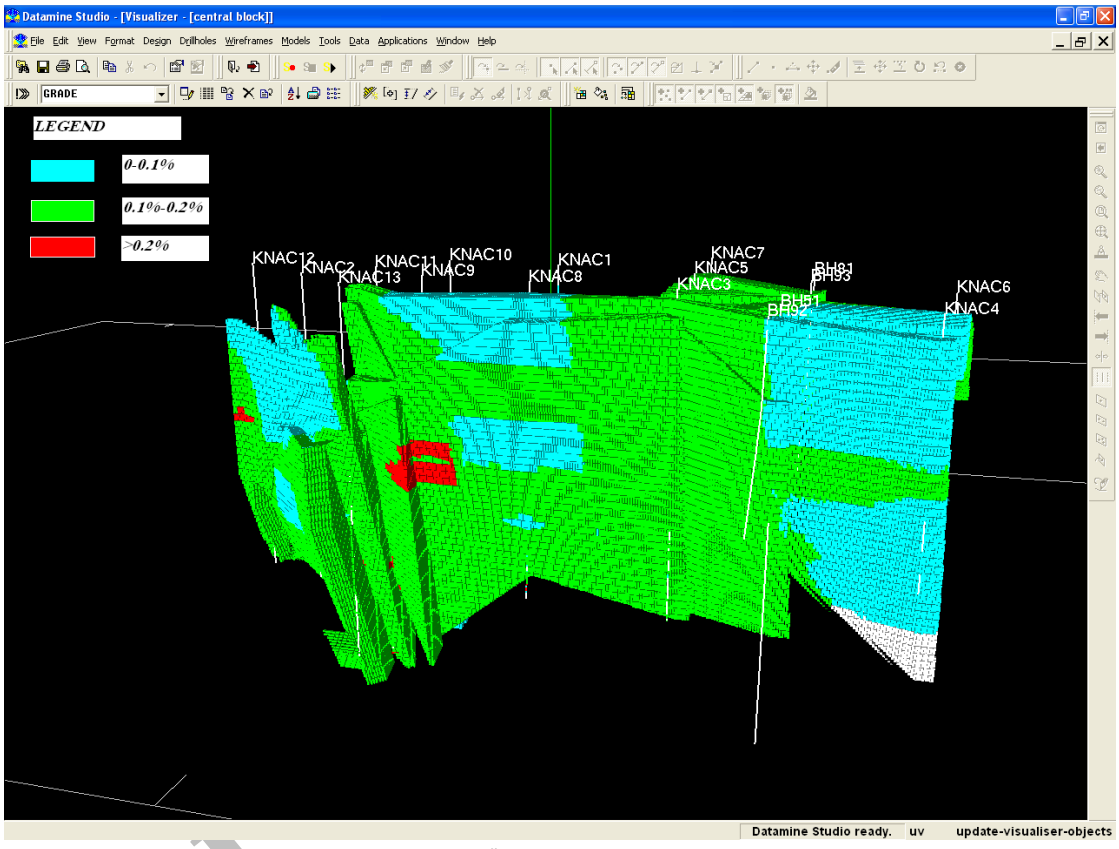
بر اساس شکل ۵، میزان ذخیره وانادیوم در این توده در فاصله‌های ۰ تا ۰/۱٪، ۰/۱٪ تا۰/۲٪ و بیشتر از ۰/۲٪ اندازه‌گیری شده است. همچنین بر اساس این شکل میزان ذخیره تیتانیوم در این توده در فاصله های ۰ تا ۰/۵٪، ۰/۵٪ تا ۱٪ و بیشتر از ۱٪ اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از ارزیابی ذخیره وانادیوم و تیتانیوم در فاصله های ذکرشده در جدول های ۱و۲ آورده شده است. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته وزن مخصوص متوسط در این توده $3ton/m^3$ بر اساس این دو جدول میزان ذخیره کانسنگ در این دو توده کمی بیش از ۱۱۲ میلیون تن می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

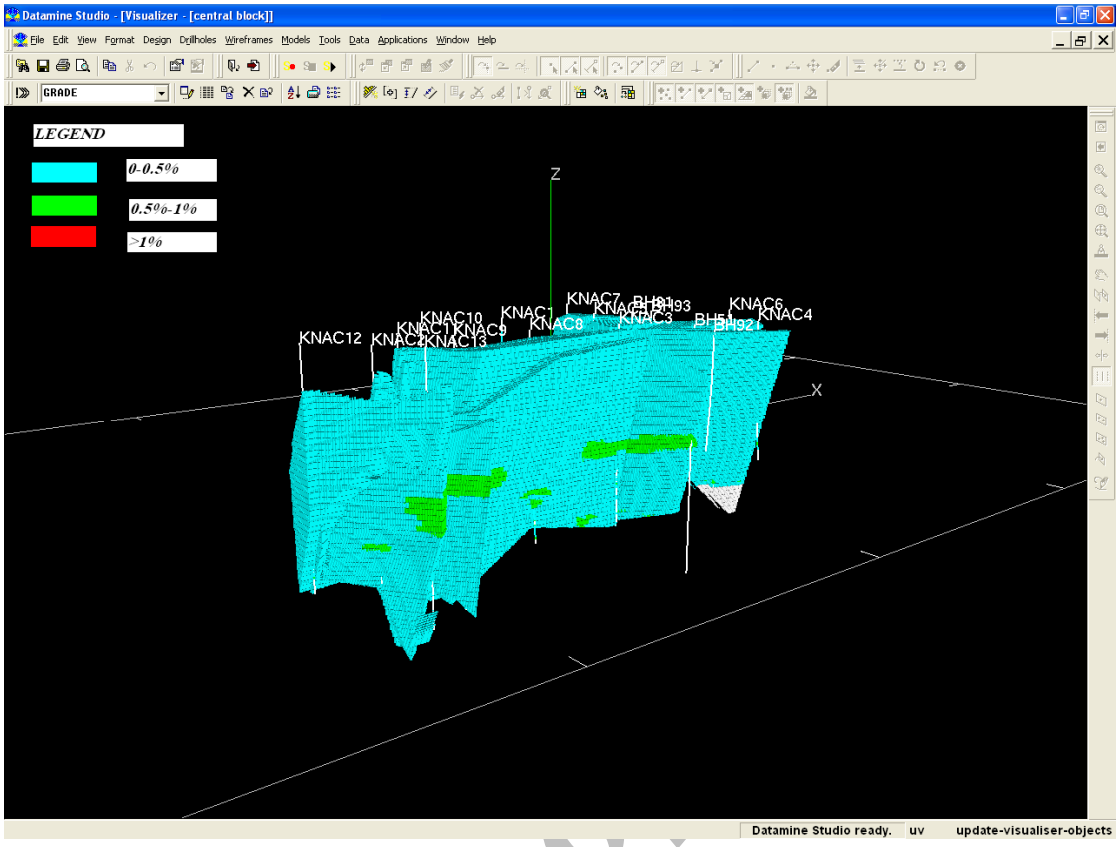
جدول ۱: ذخیره وانادیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی بافق

محدوده عیاری هر بخش (٪)	ذخیره هر بخش (تن)	عیار متوسط (٪)	ذخیره V_2O_5 (تن)
۰ -۰/۱	۲۶،۷۹۸،۰۰۰	۰/۰۸۲	۲۱،۹۷۴
۰/۱ -۰/۲	۸۳،۴۶۳،۰۰۰	۰/۱۴۱	۱۱۷،۶۸۳
بزرگتر از ۰/۲	۱،۶۲۵،۴۱۸	۰/۲۰۷	۳۳۶۵
مجموع	۱۱۲،۰۳۲،۴۷۸	۰/۱۲۸	۱۴۳،۰۲۲



شکل ۵ – الف: مدل بلوکی توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی بر اساس عیار وانادیوم

www.SID.ir



شکل ۵–ب: مدل بلوکی توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی بر اساس عیار تیتانیوم

جدول ۲: ذخیره تیتانیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی بافق

محدوده عیاری هر بخش (٪)	ذخیره هر بخش (تن)	عیار متوسط (٪)	ذخیره TiO_2 (تن)
۰ -۰/۵	۱۰۶،۸۴۰،۰۰۰	۰/۲۷۵	۲۹۳۸۱۰
۰/۵ -۱	۵،۰۳۸،۲۶۴	۰/۵۷۹	۲۹۱۷۱
بزرگتر از ۱	۴،۴۶۴	۱/۰۳۹	۴۶
مجموع	۱۱۲،۰۳۲،۴۷۸	۰/۲۸۸	۳۲۲۹۸۱

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۱ این است که بخش بزرگی از این کانسار دارای میزان مناسب وانادیوم می باشد. باتوجه به عیار قابل قبول جهانی وانادیوم (۰/۱٪)، بخش بزرگی، که بالغ بر حدود ۸۵ میلیون تن است، از توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی دارای وانادیوم با عیار ۰/۱٪ و بیشتر می باشد. به عبارتی بر اساس رده‌بندی جورک این توده را می توان جزو ذخایر وانادیوم حساب نمود زیرا از نظر عیار، تناژ، ضخامت، توپوگرافی و عمق دارای وضعیت مناسبی دارد و قابلیت تبدیل به یک ذخیره قابل استخراج را دارا می باشد [۱]. بر اساس این دو جدول میزان تیتانیوم و وانادیوم محتوی در این توده به ترتیب برابر ۳۲۳ هزار تن و ۱۴۳ هزار تن می باشد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۲ این است که بخش بزرگی از این کانسار دارای میزان کمی تیتانیوم می باشد. با توجه به عیار قابل قبول جهانی وانادیوم (۱٪)، به طور تقریبی تمام توده مرکزی کانسار آنومالی

Archive of SID

www.SID.ir

شمالی دارای تیتانیوم با عیار کمتر از ۱٪ می باشد. به عبارتی بر اساس رده‌بندی جورک این توده را می توان جزو منابع تیتانیوم حساب نمود نه جزو ذخایر، زیرا میزان عیار تیتانیوم در این توده نسبت به عیار حد جهانی بسیار پایین می باشد [۱]. اما اگر عیار تیتانیوم ۰/۵٪ و بالاتر را به عنوان مزاحم در عملیات معدنکاری به حساب آوریم کمی بیش از ۵ میلیون تن از کانسنگ این توده دارای عیار تیتانیوم ۰/۵٪ و بیشتر است.

۱۰-مقایسه میزان ذخیره تیتانیوم و وانادیوم در توده مرکزی با چند کانسار تیتانومنیتیت معروف در جهان

با توجه به مطالعات انجام شده در این کانسار و شباهت هایی که بین این کانسار با تیپ کانسارهای تیتانومنیتیت وجود دارد، جهت مطالعه بهتر بر روی این کانسار، مقایسه‌ای بین توده مرکزی کانسار و چند کانسار معروف تیتانومنیتیت از لحاظ تناژ و میزان عیارهای تیتانیوم و وانادیوم صورت پذیرفته است. این کانسارها به ترتیب لیگانگا در تانزانیا، کایرونا در سوئد، کاچ‌کانار در روسیه و سوالکی در لهستان می باشند. در جدول ۳ این مقایسه آورده‌شده‌است.

جدول ۳: مقایسه ذخیره و عیار تیتانیوم و وانادیوم در سه توده کانسار آنومالی شمالی با چند کانسار تیتانومنیتیت در دنیا [۱]

نام کانسار	ذخیره کانسنگ (میلیون تن)	عیار متوسط آهن (٪)	عیار متوسط TiO_2(٪)	عیار متوسط V_2O_5(٪)
لیگانگا	۱۲۰۰ - ۲۰۰	۶۱ - ۵۳	۱۳	۱/۷ – ۰/۵
کاچ کانار	۳۲۰۰	۱۷ - ۱۵	۲/۷ – ۲/۴	۰/۵ – ۰/۳
کایرونا	۱۸۰۰ - ۶۵۷	۴۸/۳ – ۴۶/۵	۱/۴ – ۰/۴	۰/۱۵ – ۰/۱
سوالکی	۱۳۴۰	۲۸	۷	۰/۳
توده مرکزی	۱۱۲	۲۰/۵	۰/۲۸۸	۰/۱۲۸

بر اساس این جدول میزان عیار متوسط تیتانیوم در این کانسارها به مراتب بیشتر از عیار تیتانیوم در توده مرکزی آنومالی شمالی می باشد و عیار تیتانیوم در توده مرکزی نزدیک به پایین ترین عیار تیتانیوم گرفته شده در معدن کایرونا می باشد. میزان عیار متوسط وانادیوم در این توده با وجود اینکه بیشتر از عیار حد جهانی می‌باشد ولی تنها با عیار وانادیوم گرفته شده در معدن کایرونا و پس از آن کانسار اسوالکی نزدیک می باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود عیار وانادیوم در دو کانسار لیگانگا و کاچ کانار از عیار وانادیوم در این توده بالاتر می باشد. با توجه به کارهای قبلی که این کانسار را جزو کانسارهای آهن ماگمایی معرفی کرده اند [۹]، باید این نکته ذکر شود بر اساس این مقایسه، کانسار آهن آنومالی شمالی از نوع کانسارهای آهن ماگمایی با میزان تیتانیوم و وانادیوم پایین یا به عبارتی از تیپ کایرونای سوئد می باشد. البته باید این امر مورد نظر قرار گیرد که در مورد ژنز این کانسار بحث های زیادی وجود دارد. با توجه به استخراج شدن کانسارهای پرعیار بسیاری از فلزها در طول قرنهای نوزدهم و بیستم و همچنین نظرهای آقای دانیل جکلینگ که بر اثر تجربه شخصی ایشان در سالهای ۱۹۰۳- ۱۹۰۵ در معدن بسیار عظیم مس بینگهام کانیون در ایالت یوتای آمریکا بیان شده‌اند، برای استخراج فلزهای پایه و فلزها و عناصر ارزشمند همراه آنها نظرها به کانسارهای با تناژ بالا و عیار پایین معطوف شده‌است که البته منظور از تناژ بالا یعنی ذخیره کانسنگ بالاتر از ۱۰۰ میلیون تن می‌باشد [۱۱]. از جمله این کانسارها کانسار کاچ‌کانار است که در جدول ۳ مشخصات آن آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به ذخیره بالای کانسنگ در توده مرکزی این کانسار، توده مرکزی نیز می‌تواند واجد این شرایط باشد. همچنین باید این نکته ذکر شود امروزه برای بدست‌آوردن سود بیشتر از کانسارهای فلزی برای استخراج و فرآوری چند فلز همزمان در این کانسارها برنامه‌ریزی می‌گردد (همانند کانسارهای لیگانگا و کاچ‌کانار) [۱].

۱۱- نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس مطالعات صورت گرفته نتایج زیر بدست آمده‌است:

۱. میزان ذخیره کانسنگ در توده مرکزی کانسار سنگ‌آهن آنومالی شمال بافق بالغ بر ۱۱۲ میلیون تن می‌باشد.
۲. عیار متوسط وانادیوم در این توده برابر ۰/۱۲۸٪ و بیش از عیار قابل قبول جهانی است. میزان V_2O_5 محتوی در حدود ۱۴۳ هزار تن می‌باشد. با توجه به استاندارد جورک این توده را می‌توان یک ذخیره (Reserve) وانادیوم در نظر گرفت.
۳. عیار متوسط تیتانیوم در این توده برابر ۰/۲۸۸٪ و به مراتب کمتر از عیار مورد قبول جهانی می‌باشد. میزان TiO_2 محتوی در این توده در حدود ۳۲۳ هزار تن است. با توجه به استاندارد جورک این توده را می توان یک منبع (Resource) تیتانیوم در نظر گرفت.
۴. با مقایسه این توده با چند کانسار دیگر تیتانومنیتیت مشخص گردید که این کانسار مشابه کانسارهای آهن ماگمایی با میزان تیتانیوم و وانادیوم پایین یا تیپ کانسار کایرونای سوئد می باشد.

بر اساس نتایج بدست‌آمده پیشنهاد زیر ارایه می‌شود:

۱. برای استحصال وانادیوم از آهن در این توده نمونه‌های مناسب برداشت شوند و بر روی آنها آزمایش فرآوری صورت گیرد.
۲. بر روی این توده مطالعات امکان سنجی و فنی – اقتصادی انجام شود به خصوص پارامتر بازگشت خالص از ذوب‌کننده (NSR) وانادیوم در آن محاسبه گردد. این امر می‌تواند حتی در چارچوب یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد یا دکتری انجام گردد.
۳. با توجه به نزدیکی این کانسار به معدن آهن چغارت و به خصوص طرح توسعه چغارت، پیشنهاد می‌شود که بر روی ایجاد خط استحصال وانادیوم از سنگ آهن این توده از کانسار، معدن آهن چغارت و معدن آهن سه‌چاهون در طرح توسعه چغارت مطالعه شود. این پیشنهاد می‌تواند حتی به عنوان یک پایان نامه دکتری مطرح شود.

۱۲- سپاسگزاری

در پایان نویسندگان لازم می‌دانند که از همکاری مسئولان محترم شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران و شرکت مهندسین مشاور کاوشگران به خصوص آقایان مهندس غلامرضا هاشمی مجری محترم طرح اکتشاف آنومالی‌های آهن ایران مرکزی، مهندس علیرضا شیوایی مدیریت محترم پروژه اکتشاف تفصیلی کانسار سنگ‌آهن آنوملی شمالی بافق و آقای مهندس فرامرز نساج سپاسگزاری نمایند.

Archive of SID

www.SID.ir

۱۳- منابع

۱. افضل پ.، ۱۳۸۴، "ارزیابی مقدماتی میزان تیتانیوم، وانادیوم و عناصرنادرخاکی در کانسار سنگ‌آهن آنومالی‌شمالی بافق"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی‌اکتشاف‌معدن، دانشکده تحصیلات‌تکمیلی فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب.

۲. یعقوب پور ع.، ۱۳۸۳، "اصول زمین شناسی ذخایر معدنی، انتشارات دانشگاه تربیت معلم"، ص ۹، ۱۱۵ و ۱۱۶.

۳. قربانی، م.، ۱۳۸۱، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۲۳۷.

4. M.P. Foose, V.J.S. Graunch, 1986, "Low Ti Iron Oxide CU-U-AU-REE Deposit", Mineral Deposit Model, U.S. Geological Survey Bulletin, 179-183.

۵. کسلر، ا.، ۱۳۷۵، "منابع معدنی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی"، موسسه انتشاراتی ویژه نشر، ص ۲۹۰- ۲۹۲ (ترجمه شده به فارسی).

۶. کریم‌پور م. ح.، ۱۳۸۱، "کانیها و سنگهای صنعتی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۱۷- ۳۳۰، ۳۶۴.

7. USGS, 2005, "Mineral Industry Surveys", http://minerals.usgs.gov/minerals.

۸. سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، ۱۳۸۴، "مقالات اکتشاف معدنی"، Imidro.html.

۹. سپهری راد، ر.، ۱۳۸۲، "بررسی اجمالی ژنز کانسارهای آهن ماگمایی با نگرشی بر کانسار آهن آنومالی شمالی در منطقه بافق"، مجموعه مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۱۰. کشمیری ب.، خدایاری ع. ا.، جعفری ا.، ۱۳۸۳، "کاربرد نرم افزار Data Mine در برآورد ذخیره کانسار انگوران"، مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی معدن ایران- ۸۳، جلد ۱،ص ۲۷۶- ۲۸۶.

11. Murray W. Hitzman, 2005, "®evolution in mining- implications for exploration", MINING ENGINEERING, 30- 33.

Archive of SID

www.SID.ir