



## بررسی توزیع عیار وانادیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی بافق

پیمان افضل<sup>۱\*</sup>، دکتر محمدرضا محوی<sup>۲</sup>، افشارضیا ظریفی<sup>۳</sup>، رضا الوان دارستانی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
- ۲- استادیار گروه مهندسی معدن دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، کارشناس بخش اکتشاف سازمان انرژی اتمی
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

**peymanafzal@yahoo.com E-mail:**

### چکیده:

عنصر وانادیوم از عناصر استراتژیک در دنیای امروز می باشد که این امر به دلیل کاربرد آن در صنایعی چون تولید فولاد مقاوم مورد استفاده در صنایع نفت و گاز، صنایع نظامی و ... می باشد. تولید این فلز از حدود ۳۵،۰۰۰ تن در دهه ۱۹۹۰ به حدود ۶۰،۰۰۰ تن در سالهای اخیر افزایش یافته است. وانادیوم به صورت اقتصادی همراه کانسارهای آهن آپاتیتی یافت می شود (به خصوص کانسارهای تیتانومینیتیت). با توجه به ژنز کانسارهای آهن بافق از یک سو و بررسی های انجام شده قبلی، می توان عناصر ارزشمندی مانند وانادیوم را در این منطقه مورد اکتشاف قرار داد. در این مقاله در مورد کانسار آهن آنومالی شمالی بحث می شود. با مشاهدات زمین شناسی و بررسی آنها از یک سو و با استفاده از روابط و نمودارهای آماری مشاهده می نماییم که توده مرکزی این کانسار می تواند از نوع کانسارهای تیتانومینیتیت باشد. در این مقاله با استفاده از نرم افزارهای مناسب پراکندگی و تغییرات عیار وانادیوم در سطح و عمق توده بررسی شده ومدلهای دو بعدی و سه بعدی توزیع عیار در سطح و عمق تهیه شده و مورد تجزیه و تحلیل گرفته است.

**واژه های کلیدی: وانادیوم، آنومالی شمالی، توده مرکزی، تیتانومینیتیت، بافق**

\*کارشناس شرکت مهندسان مشاور همپا بهینه



## مقدمه

کانسار آهن آنومالی شمالی در ۱۱ کیلومتری شمال کانسار آهن چغارت در شهرستان بافق قرار دارد. این کانسار بر اثر شگستگیهای عرضی ناشی از گسلهای چاپدونی و پشت بادام به ۳ توده شرقی، مرکزی و غربی بخش شده است (شکل ۱). سنگ درونگیر آن از نوع آذرین اسیدی بیرونی (ریولیت) و درونی (گرانیت) می باشد. توده مرکزی این کانسار دارای بیشترین وسعت در بین این سه توده می باشد. هم اکنون عملیات حفاری اکتشافی در این توده در حال اجرا است. بررسی های زمین شناسی انجام شده بر روی این کانسار ژنز آن را از نوع آهن آپاتیتی نشان می دهد [۱]. در این توده دگرسانی های آلبیتی و آمفیبولیتی در کنتاکت با تشکیلات آهکی دیده می شوند. در شرق این توده آهکهای کارستی به همراه آهک مرمریزه دندریتی (شاخه شاخه ای) که نشانگر دگرگونی ضعیف است، دیده می شوند.

درصد بازیافت مغزه های حفاری (Core Recovery) در این توده بالا می باشد. ضخامت آبرفت در این توده نسبتاً کم و حداکثر به حدود ۱۰ متر می رسد. در تعداد اندکی از نمونه ها گوشت نیز دیده می شود. در این کانسار بلور آپاتیت دیده نشده است ولی در چند مقطع نازک تهیه شده از توده مرکزی، در مطالعات قبلی بلورهای آپاتیت به همراه بلورهای منیتیت به صورت منشوری دیده می شوند. تزریق دایکهای فراوان نیز از خصوصیات این کانسار می باشد.

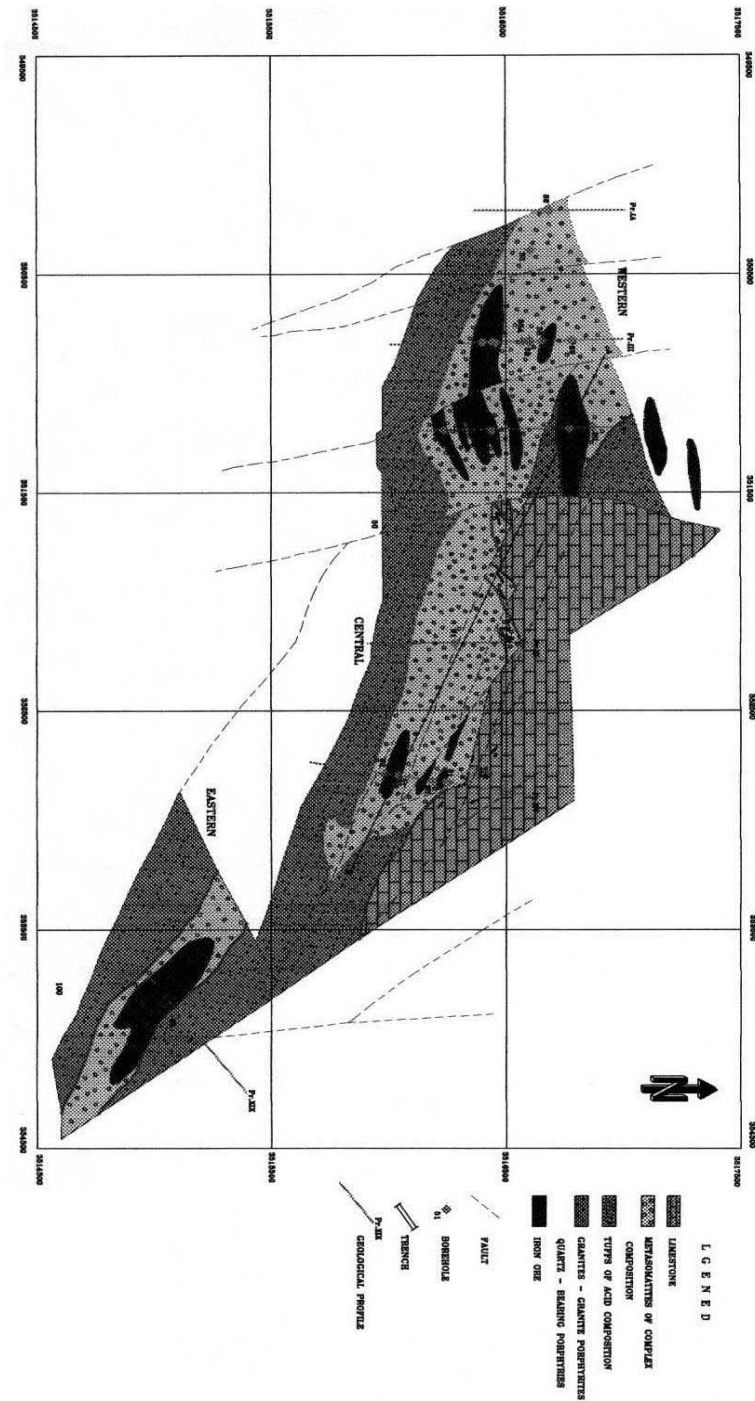
## بررسی نتایج آنالیز شیمیایی نمونه ها به کمک آمار کلاسیک

در این مرحله یک جامعه نمونه بر اساس عیار آهن نمونه ها تشکیل داده ایم. حداقل عیار آهن در این جامعه برابر ۲۵٪ (عیار حد جهانی) در نظر گرفته شده است، زیرا در صورتی این کانسار تیتانومنییت است که در بخش پرعیار آهن، تیتانیوم و وانادیوم به صورت اقتصادی وجود داشته باشند [۱]. با توجه به عیار حد، تعداد نمونه ها در این جامعه به ۱۶۸ عدد بالغ شد.

در این مرحله برای انجام محاسبات پارامترها و رسم نمودارهای مربوطه از نرم افزارهای Excel 2003، Spss 11، Rockworks 2002 استفاده شده است. پارامترهای بدست آمده از محاسبات آماری کلاسیک شامل میانگین، واریانس و انحراف معیار عناصر وانادیوم، تیتانیوم، آهن و فسفر و همچنین ضرایب همبستگی وانادیوم با آهن، تیتانیوم و فسفر می باشند که به کمک نرم افزار Excel 2003 محاسبه شده اند.



شکل ۱- نقشه کانسار آهن آنومالی شمالی بافق (مقیاس



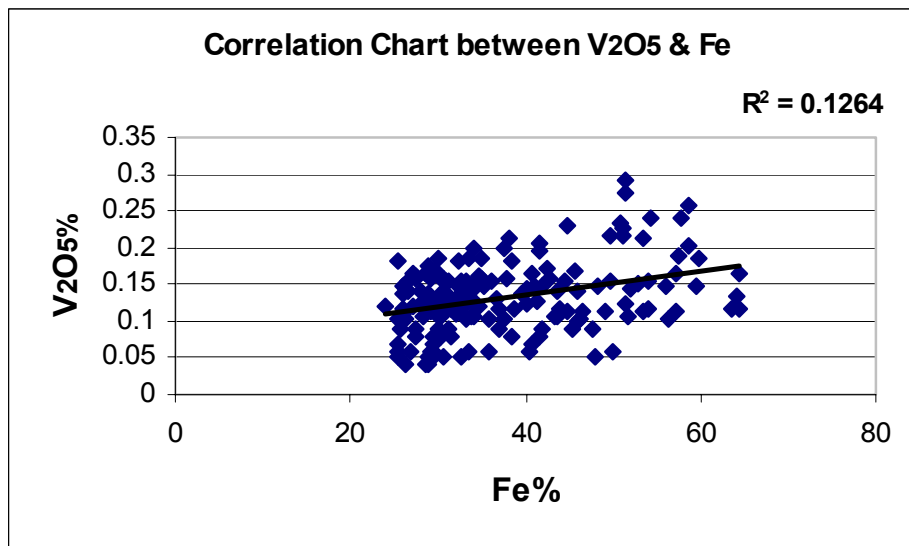


در جدول شماره ۱، پارامترهای بدست آمده از مطالعه آماری کلاسیک وانادیوم، تیتانیوم و آهن در توده مرکزی مشاهده می شوند.

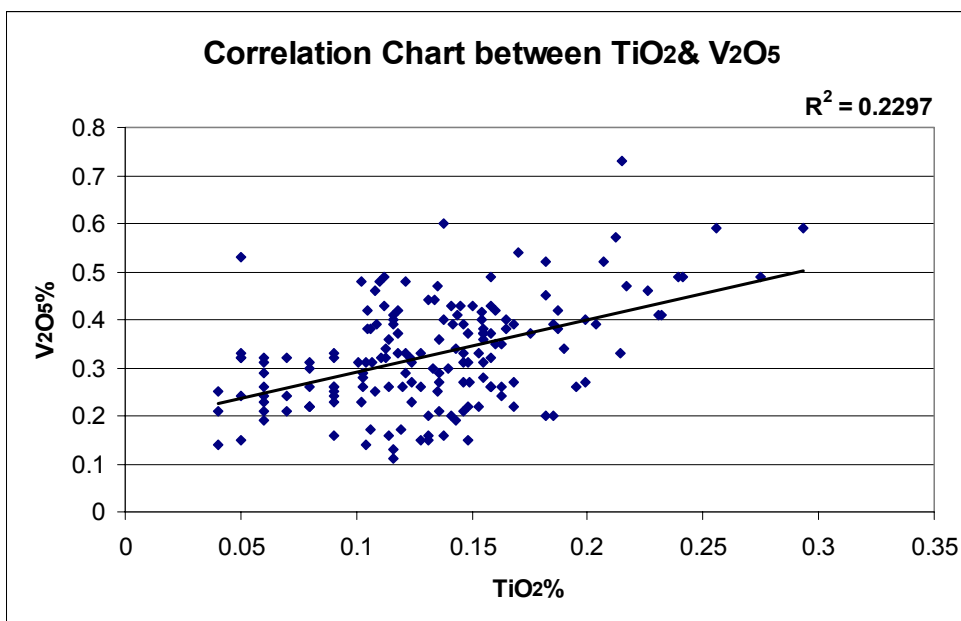
جدول ۱- پارامترهای آمار کلاسیک وانادیوم، تیتانیوم و آهن  
در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی

عنصر	میانگین (%)	واریانس	انحراف معیار
وانادیوم	۰/۱۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۴۷
تیتانیوم	۰/۳۲	۰/۰۱۲	۰/۱۰۹
آهن	۳۷/۸۷	۱۰۷/۱۹۹	۱۰/۳۵
فسفر	۰/۰۹۱	۰/۰۲۰۰۴	۰/۱۴۱

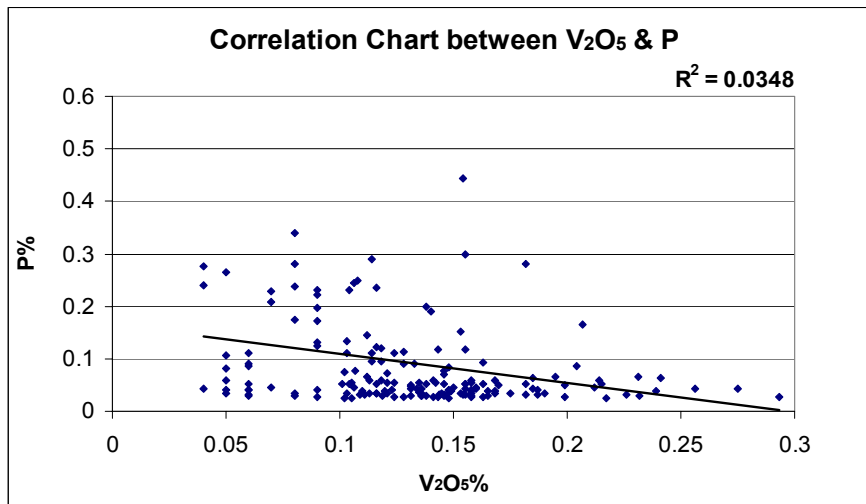
میانگین عیار وانادیوم طبق جدول شماره ۱ حدود ۰/۱۳۲٪ است که بیش از عیار حد جهانی این عنصر (۰/۱٪) در کانسارهای تیتانومینیتیت (کانسارهای آهن ماگمایی دارای مقادیر قابل توجه تیتانیوم و وانادیوم) می باشد [۲]. ضرایب همبستگی وانادیوم با آهن، تیتانیوم و فسفر به ترتیب برابر با ۰/۳۵، ۰/۴۷ و ۰/۱۸- می باشند. این ضرایب به کمک نرم افزار Excel2003 محاسبه شده اند. همبستگی نسبتاً مناسب وانادیوم با آهن و تیتانیوم نشانه ای از تیپ تیتانومینیتیتی توده مرکزی این کانسار است [۱]. البته همبستگی منفی بین وانادیوم و فسفر از یک سو و عیار نسبتاً کم تیتانیوم در توده مرکزی، تیپ این توده را بیشتر به تیپ کانسار کایرونای سوئد متمایل می سازد [۱]. کانسارهای تیتانومینیتیت شامل دو دسته کانسارهای آهن ماگمایی دارای تیتانیوم و وانادیوم می باشند. در دسته نخست، عیار تیتانیوم و وانادیوم بالا می باشد مانند کانسار آهن باند ریاس شیلی و در دسته دوم عیار تیتانیوم و وانادیوم متوسط یا کم می باشد مانند کانسار آهن کایرونا در سوئد [۳]. البته در سالهای اخیر با کاهش عیار حد جهانی وانادیوم، این عنصر از ذخایر تیتانومینیتیت دسته دوم هم برداشت می شود (در هندوستان و سوئد) [۲]. در شکل های ۲ تا ۴ نمودار همبستگی بین وانادیوم با آهن، تیتانیوم و فسفر، ترسیمی به کمک نرم افزار Excel2003 مشاهده می شود.



شکل ۲- نمودار همبستگی بین وانادیوم و آهن در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی

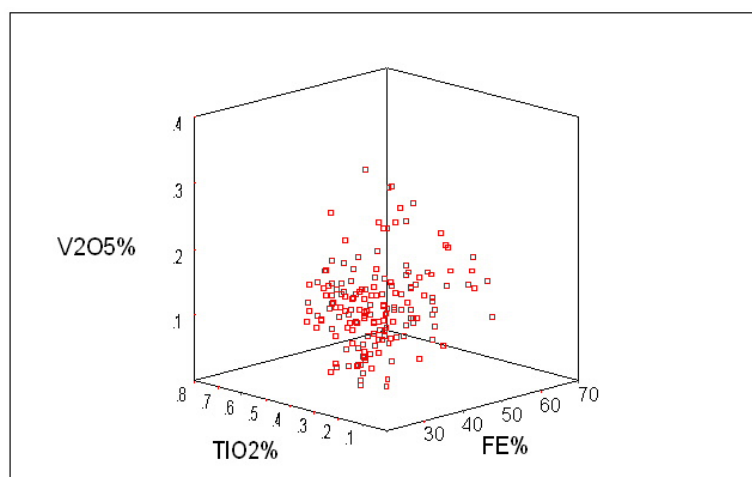


شکل ۳- نمودار همبستگی بین وانادیوم و تیتانیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی

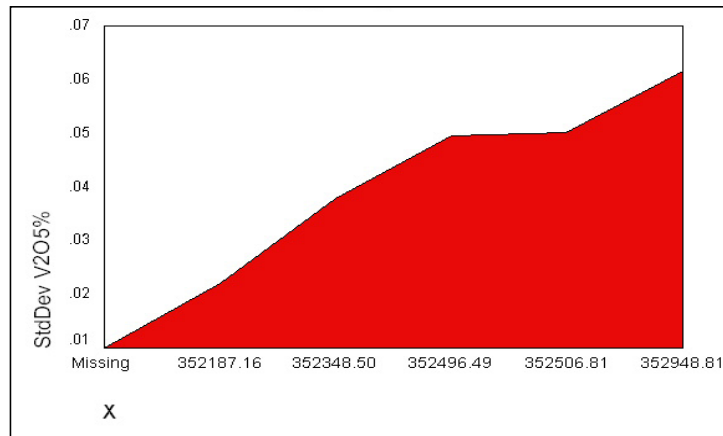


شکل ۴- نمودار همبستگی بین وانادیوم و فسفر در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی

در شکل ۵، نمودار همبستگی بین وانادیوم، تیتانیوم و آهن نشان داده شده است که در این نمودار یک همبستگی مثبت مناسب بین این سه عنصر برقرار می باشد. طبق این نمودار با افزایش عیار هر یک از عناصر در نمونه‌ها عیار دو عنصر دیگر نیز افزایش می‌یابد. در شکل شماره ۶ تغییرات انحراف معیار وانادیوم در امتداد محور غربی- شرقی منطقه را نشان می‌دهد. این تغییرات نشانگر تمرکز وانادیوم در جهت غرب به شرق منطقه می باشد. این دو نمودار به کمک نرم افزار SPSS 11 رسم شده اند.

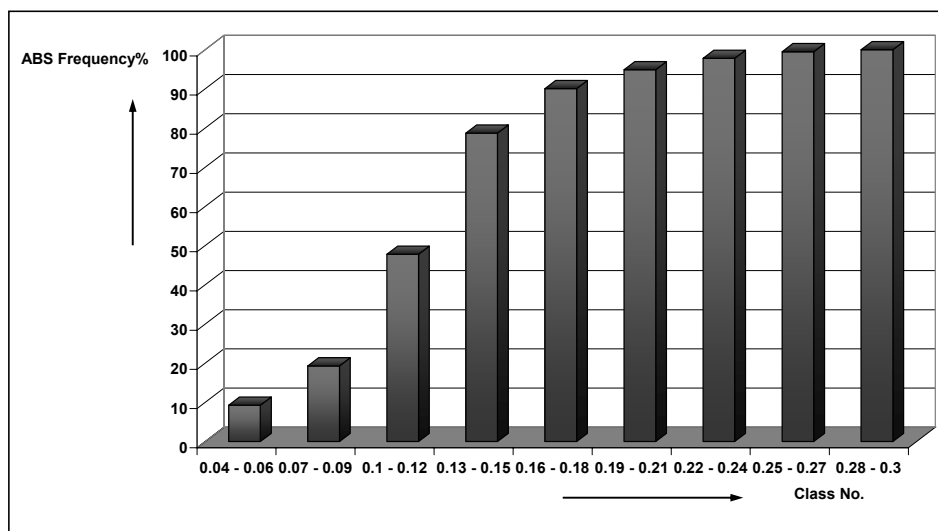


شکل ۵- نمودار همبستگی بین سه عنصر وانادیوم، تیتانیوم و آهن در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی

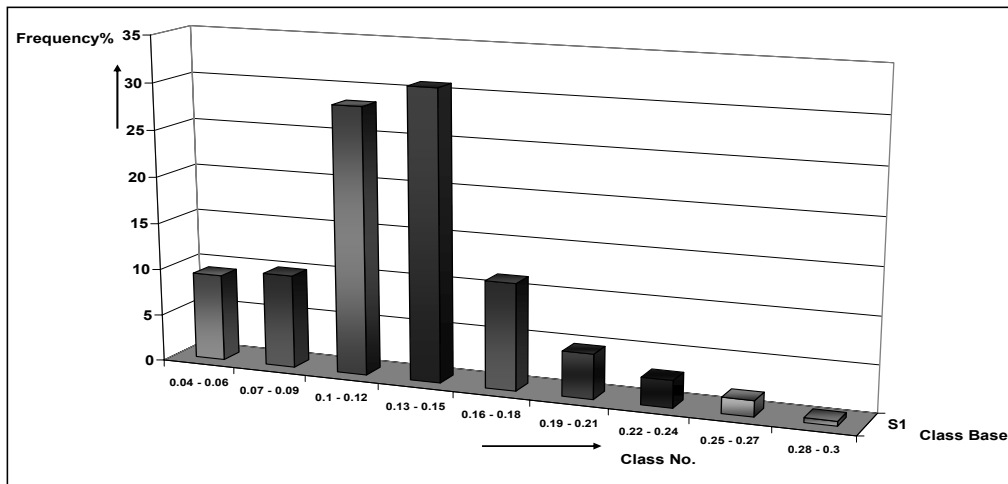


شکل ۶- نمودار تغییرات انحراف معیار در جهت غرب به شرق رسم شده به کمک نرم افزار SPSS 11

پس از رسم نمودارهای ذکر شده در این مرحله با استفاده از قاعده استورج داده های حاصل از آنالیزهای نمونه ها را کلاس بندی شده اند. برای بررسی توزیع داده های اکتشافی در مقیاس کانسار از این قاعده برای تخمین کلاسها استفاده می شود [۴]. بر این اساس داده ها در ۹ کلاس قرار گرفته اند و فراوانی هر کلاس بر اساس طول مغزه های آن کلاس محاسبه شده است (زیرا طول مغزه ها با هم مساوی نیستند). بر این اساس هیستوگرام وانادیوم به دو صورت بر حسب فراوانی و فراوانی تجمعی به کمک نرم افزار Excel 2003 ترسیم شده است.

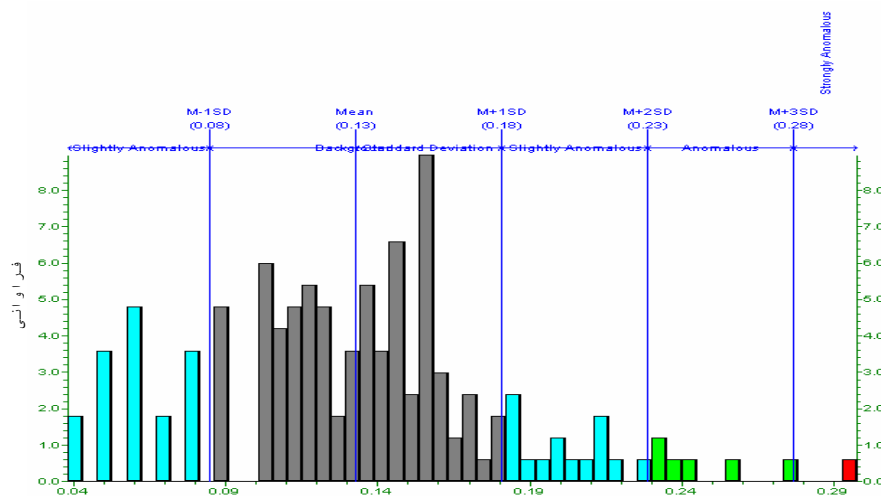


شکل ۷- هیستوگرام وانادیوم توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی بر حسب فراوانی تجمعی



شکل ۸- هیستوگرام وانادیوم بر حسب فراوانی هر گروه

همانطور که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود بیشترین فراوانی عیار متعلق به سومین و چهارمین کلاس و از عیار ۰/۱٪ تا عیار ۰/۱۵٪ می‌باشد. به عبارتی بیشترین فراوانی در اطراف میانگین وانادیوم در جامعه نمونه (۰/۱۳۲٪) دیده می‌شود. در شکل شماره ۹ به کمک نرم افزار Rockworks 2002 حد زمینه و آنومالی را در این جامعه بر حسب میانگین و انحراف معیار وانادیوم از یکدیگر جدا شده اند. بر اساس این نمودار حد آنومالی وانادیوم در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی به ۰/۲۳٪ در نظر گرفته شده است که این مقدار از عیار حد جهانی وانادیوم (۰/۱٪) بیشتر است و امیدوار کننده می‌باشد.

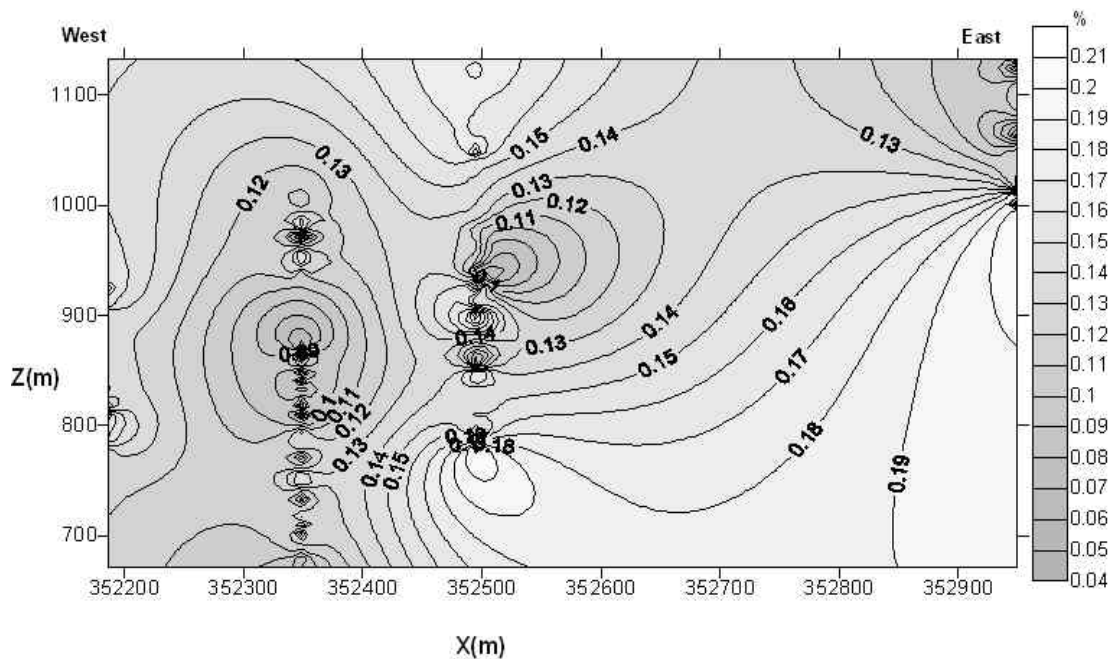


شکل ۹- جداسازی حد زمینه و آنومالی در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی

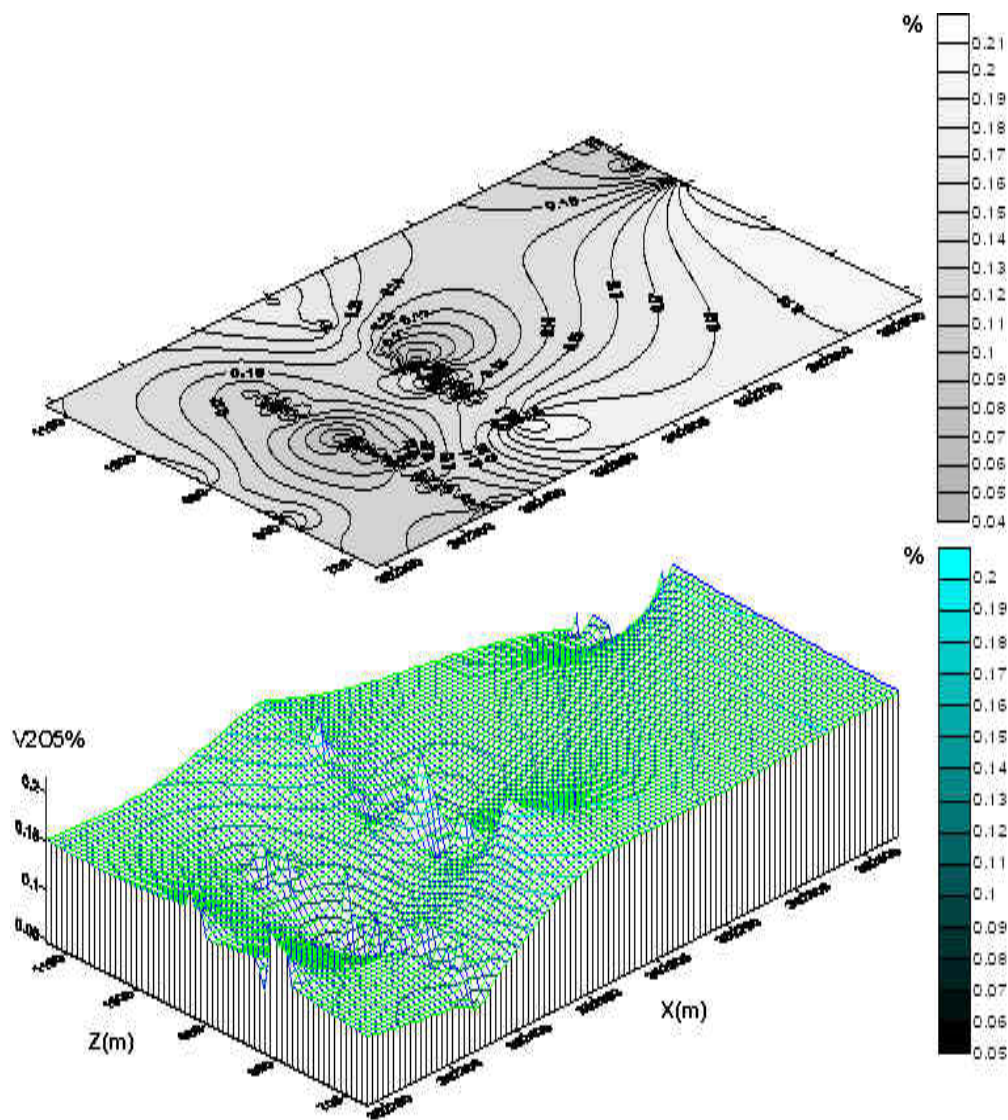


### مدلهای دو بعدی و سه بعدی توزیع عیار

در این مرحله از نرم افزارهای، Surfer 7.02 و Rockworks2002 برای ساخت مدل‌های دوبعدی و سه بعدی استفاده شده است. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، مدل‌های توزیع عیار در سطح و عمق، به کمک نرم افزار Surfer 7.02 به صورت دوبعدی و سه بعدی طراحی شده اند. بر طبق این شکل، عیار در عمق و به سمت شرق توده مرکزی کانسار، افزایش می‌یابد. بر طبق این شکل بیشترین عیارها از حدود عمق ۹۰ متر تا حدود عمق ۳۲۰ متر قرار دارند.

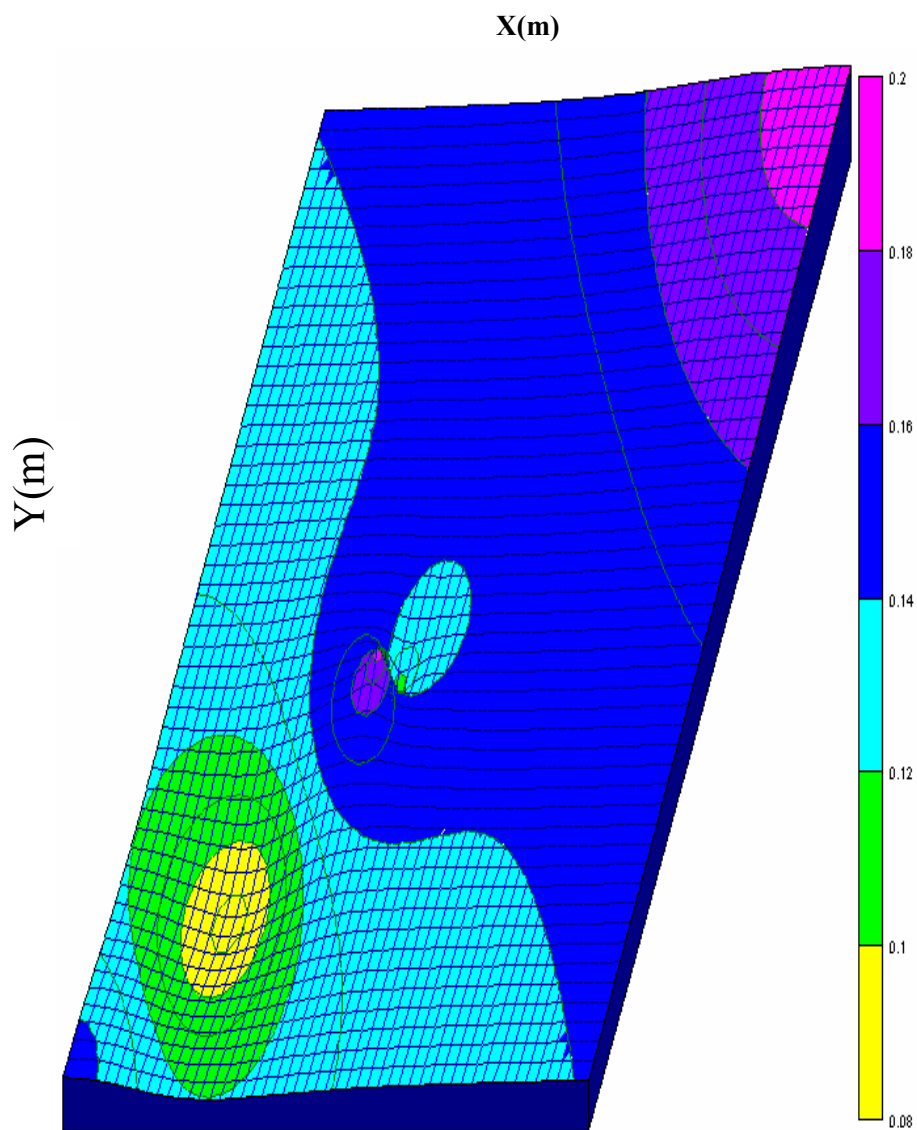


شکل ۱۰- مدل توزیع عیار به صورت دوبعدی در سطح (شرقی- غربی) و عمق حقیقی در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی



شکل ۱۱- مدل توزیع عیار به صورت دوبعدی و سه بعدی در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی

در شکل ۱۲ مدل توزیع عیار وانادیوم در توده مرکزی این کانسار به کمک نرم افزار Rockworks2002 تهیه شده است. این شکل نیز مطالب ذکر شده در بالا را تایید می نماید.



شکل ۱۲- مدل توزیع عیار وانادیوم در توده مرکزی کانسار آنومالی شمالی



## نتیجه گیری و پیشنهاد

بر اساس مطالب ارائه شده در این مقاله می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به عیار حد جهانی میزان عیار وانادیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی بافق قابل توجه است. بر اساس مدل‌های رسم شده توزیع عیار را در سطح و عمق مشاهده می‌شود و نشانگر این موضوع است که عیار در جهت عمق، بخصوص در شرق توده مرکزی و به سمت توده شرقی بیشتر می‌شود. نمودارها نشان می‌دهد بیشترین فراوانی عیار وانادیوم بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ است. این موضوع مشابهت این کانسار با کانسارهای تیپ تیتانومنیستیت از دسته دوم را نشان می‌دهد.

بر این اساس پیشنهاد می‌شود که بررسی‌های زمین آماری، مدل سازی سه بعدی توده و تخمین ذخیره وانادیوم در توده مرکزی کانسار آهن آنومالی شمالی صورت گیرد. ضمن اینکه، بررسی‌های بیشتر بر وانادیوم کانسارهای آهن منطقه بافق توصیه می‌شود.

## منابع

- [۱] اسپهری راد، رسول، (۱۳۸۲)، "بررسی اجمالی ژنز کانسارهای آهن ماگمایی با نگرشی بر کانسار آهن آنومالی شمالی در منطقه بافق"، مجموعه مقالات بیست و دومین سمپوزیوم علوم زمین
- [۲] کریم پور، محمد حسن، (۱۳۸۱)، "سنگها و کانیهای صنعتی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

[3] Nagata, Stacy, Banerjee, O'Reilly, Lindsley, 1984, Geochemistry of Iron-Titanium Oxides, Applied Geochemistry

- [۴] حسنی پاک، علی اصغر، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران