

ارزیابی و تخمین ذخیره پلاسر تیتانیوم خانیک-غازان ارومیه، آذربایجان غربی

یوسف رحیم‌سوری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه، ارومیه

نویسنده مسئول: y.rahimsouri@urmia.ac.ir*

دریافت: ۹۵/۲/۱۴ پذیرش: ۹۶/۳/۱۰

چکیده

کانسار پلاسر تیتانیوم خانیک-غازان در ۸۲ کیلومتری شمال باختری شهر ارومیه و در انتهای شمال باختری زون ساختاری سنج-سیرجان واقع شده است. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری مشخص شد که کانه‌های فلزی اصلی این ذخیره، ایلمنیت، ایلمنو-مگنتیت و مگنتیت می‌باشند و مطالعات سنگ‌نگاری نیز سنگ‌های منشاء این کانی‌ها را عمدتاً گابروهای لایه‌ای مشخص نموده است. نتایج بررسی دانه‌بندی و تعیین ابعاد نمونه کلی این پلاسر نشان داده است که ۶۸ درصد از حجم رسوبات، ماسه (جزء ریزتر از ۲/۳۶ میلی‌متر) و ۳۲ درصد باقی‌مانده، گراول (بخش درشت‌تر از ۲/۳۶ میلی‌متر) می‌باشد. طراحی اکتشافی در بخش‌های امید بخش این ذخیره بر اساس مطالعات صحرایی، نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌برداری‌های اولیه و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی تهیه شده با مقیاس‌های ۱/۵۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ صورت گرفت و بر این اساس، تعداد ۸ ترانشه و ۴۳ چاهک اکتشافی در محل‌های مناسب حفر گردید. با رعایت اصول نمونه‌برداری مختص ذخایر پلاسر، تعداد ۲۵۲ نمونه از کارهای اکتشافی برداشت و به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. پردازش‌های آماری، میانگین عیار TiO_2 در ترانشه‌ها را ۱/۷۲ درصد وزنی (متغیر از ۰/۶ تا ۳/۲۹) و در چاهک‌های اکتشافی، ۲/۳۹ درصد وزنی (متغیر از ۱/۰۱ تا ۴/۸۳) تعیین کرده است. با استفاده از روش مقاطع قائم، ذخیره قطعی کانسنگ پلاسر تیتانیوم خانیک-غازان، ۱۲ میلیون تن با عیار میانگین ۲/۳۳ درصد وزنی TiO_2 تخمین زده شد. بر اساس بررسی‌های درجه آزادی صورت پذیرفته روی نمونه‌های معرف کانسنگ مشخص شد که محدوده ابعادی مناسب برای خردایش بخش ماسه‌ای، $500\mu m$ - و برای بخش گراولی، $250\mu m$ - می‌باشد. مطالعات فرآوری نیز نشان داده است که فراکسیون ۷۰+ مش (۲۱۰ میکرون) بخش ماسه‌ای کانسنگ پلاسر محدوده مورد مطالعه، کنسانتره‌پذیری بالایی داشته بطوریکه با استفاده از اسپیرال به عنوان پرعیار کننده اولیه و میز لرزان به عنوان پرعیار کننده نهایی، کنسانتره ایلمنیتی با عیار ۴۰/۱۱ درصد وزنی TiO_2 و بازیابی ۸۶/۴۱ درصد به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: ایلمنیت، کانسارهای پلاسر، ارزیابی ذخیره، درجه آزادی، کانسار خانیک-غازان، ارومیه

۱- مقدمه

حدود ۹۰ درصد از کل ذخایر تیتانیوم اکسیدی (TiO_2) اقتصادی جهان از کانی ایلمنیت و ۱۰ درصد دیگر از کانی روتیل تامین می‌شود. کانسارهای سنگی^۱ برجا در حدود ۳۰٪ از ذخایر ایلمنیت و ۷۰ درصد باقی‌مانده و تقریباً کل روتیل جهان از کانسارهای پلاسر نابرجا تامین می‌گردد [۱۷]. در سطح جهانی فعلاً از ۳ کانسار سنگی بهره‌برداری به عمل می‌آید که عبارتند از: لک تیو^۲ در کبک کانادا [۱۴]، تلنس^۳ در جنوب غرب نروژ [۱۳] و دامیائو^۴ در چین [۱۶]. امروزه به غیر از

آئورتوزیت‌ها و سنگ‌های وابسته، سنگ‌های گابرو و گابرونوریت نیز به عنوان منابع جدید مورد توجه واقع شده‌اند که دلیل آن به غیر از داشتن محصولات جانبی فسفر (آپاتیت) و واندایوم (در مگنتیت)، داشتن محتوای بسیار کمتر Cr و Mg ایلمنیت نسبت به سایر ذخایر می‌باشد [۱۵ و ۱۹].

محدوده اکتشافی تیتانیم خانیک-غازان ارومیه در شمال‌باختری ورقه سرو و در فاصله ۸۲ کیلومتری شمال‌باختری شهر ارومیه بین طول‌های شرقی $44^{\circ}38'20''$ تا $44^{\circ}41'13''$ و عرض‌های شمالی $37^{\circ}57'33''$ تا $37^{\circ}59'21''$ واقع شده است (شکل ۱). این کانسار دارای دو تیپ کانی‌سازی شامل: الف) تیپ ایلمنیت ماگمایی اولیه [۵] و ب) تیپ پلاسر ثانویه [۸] است. ذخیره پلاسر خانیک-غازان اولین ذخیره

^۱: Hard-rock

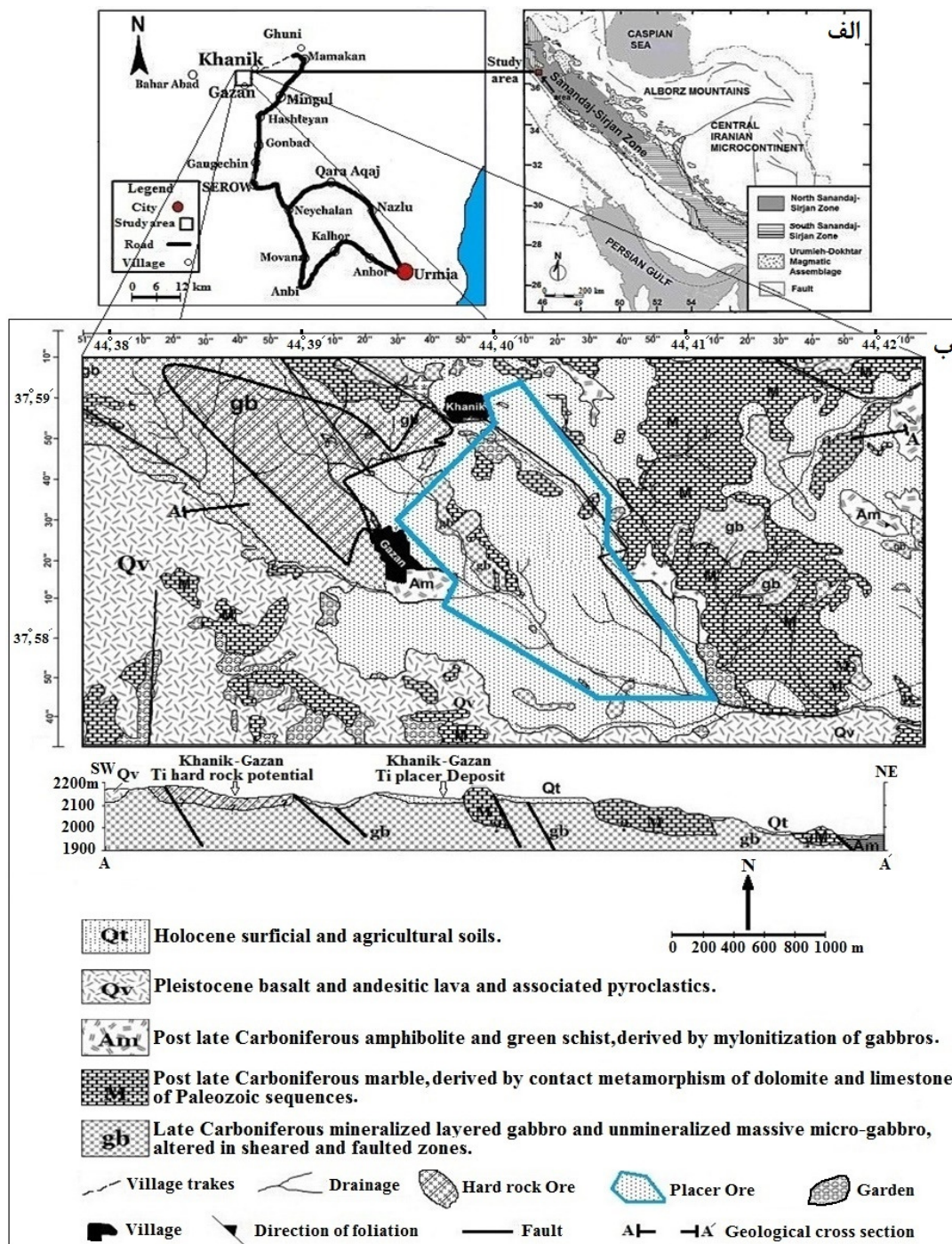
^۲: Lac Tio

^۳: Tellnes

^۴: Damiao

ذخایر مشابهی در استان‌های خراسان رضوی [۳]، کرمان و سیستان و بلوچستان [۱۱] گزارش شده است.

پلاسری در استان آذربایجان غربی بوده که در سال ۱۳۹۱ توسط شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری آتیه سپید آسیا (سهامی خاص) مورد اکتشاف تفصیلی قرار گرفته است.



شکل ۱. الف: موقعیت محدوده مورد مطالعه روی نقشه ساده شده زمین‌شناسی ایران [۱۸] و ب: نقشه زمین‌شناسی کانسار تیتان خانیک-غازان ارومیه [۸]

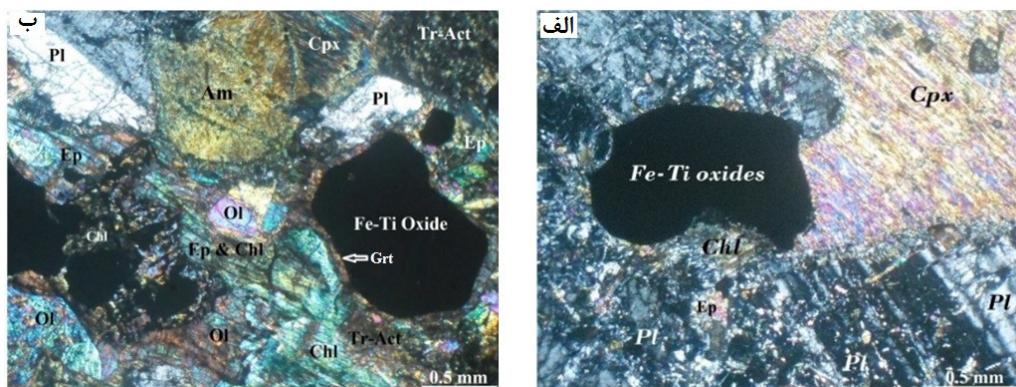
۲- زمین‌شناسی

ورقه سرو که بخش‌های شمال‌باختری آن در برگیرنده محدوده اکتشافی است در تقسیم‌بندی اشتوکلین [۲۰] در انتهای شمال‌باختری پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. علوی نائینی [۱۲] این منطقه را محل برخورد دو پهنه ساختاری ایران مرکزی و سنندج- سیرجان می‌داند. اژدری [۱] و آقائاتی و حقی‌پور [۴] محدوده نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سرو را لبه پلاتفرم ایران مرکزی می‌دانند که در پالئوزویک بالایی (قبل از پرمین) نخست مورد هجوم ماگماهای بازیک و اسیدی واقع شده و به دنبال آن به شدت تحت تاثیر حرکت‌های برشی قرار گرفته و تمامی سنگ‌های پالئوزویک و توده‌های آذرین (گابروها و گرانیت‌ها) و هاله دگرگونی آن‌ها میلونیتی شده‌اند. در مجموع این محققین نتیجه گرفته‌اند که ویژگی‌های اصلی پهنه سنندج- سیرجان در محدوده نقشه سرو دیده نمی‌شود ولی می‌توان این ناحیه را پایانه شمال‌باختری پهنه سنندج- سیرجان در نظر گرفت.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی (شکل ۱) و شواهد سنگ‌چینه‌شناسی از قدیم به جدید واحدهای سنگ‌شناسی محدوده به شرح زیر می‌باشند [۸]:

گابروهای با بافت لایه‌ای متوسط تا درشت بلور و توده‌ای ریزبلور متعلق به کربونیفر پسین [۲]. ملا- و مزو-گابروهای لایه‌ای این مجموعه، سنگ‌های منشاء ذخایر پلاسر تیتانیوم مناطق پایین دست هستند. این گابروها دارای بافت دانه‌ای متوسط تا درشت بلور بوده و از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز با دگرسانی سوسوریتی و کلینوپیروکسن‌های (عمدتاً اوژیت) با دگرسانی اورالیتی و کانی‌های فرعی آمفیبول، اولیوین و اکسیدهای $Fe-Ti$ تشکیل شده‌اند (شکل ۲).

روی این گابروها، مرمهرهای حاصل از دگرگونی مجاورتی سنگ‌های دولومیتی و آهکی پالئوزویک (اردوئین) قرار گرفته‌اند. در منطقه مطالعاتی رخنمون‌هایی محدود از آمفیبولیت و کلریت شایسته حاصل از میلونیتی شدن گابروها دیده می‌شوند. از جوان‌ترین واحدهای زمین‌شناسی نیز می‌توان به گدازه‌های بازالتی و آندزیتی منتسب به پلیستوسن و آبرفت‌های ضخیم و خاک‌های سطحی و کشاورزی هولوسن اشاره نمود.



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی گابروهای منشاء پلاسر تیتانیوم محدوده مورد مطالعه: الف: گابرو درشت بلور با کانی‌های پلاژیوکلاز (Pl) سوسوریتی شده و کلینوپیروکسن (Cpx) اورالیتی شده، ب: اولیوین گابروی متوسط بلور با کانی‌های پلاژیوکلاز (Pl) بطور بخشی دگرسان شده به اپیدوت (Ep) و کلریت (Chl) و کانی‌های فرعی آمیببول (Am)، اولیوین (Ol) در حال تجزیه شده به سرپنتین و کانی گارنت (Grt) حاصل از واکنش سیال غنی از اکسیدهای $Fe-Ti$ با کانی‌های سیلیکاتی (تصاویر در نور عبوری متقاطع گرفته شده است).

۳- روش مطالعه

پس از بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری‌های سطحی از رسوبات، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ از کل مساحت محدوده اکتشافی (۳۵ کیلومتر مربع) تهیه شد. در ادامه، شبکه اکتشافی مناسبی در مناطق امیدبخش طراحی و محل کارهای اکتشافی شامل ترانشه

و چاهک‌های اکتشافی تعیین گردید. در مجموع تعداد ۴۳ چاهک (با عمق‌های ۱ تا ۱۲ متر، مترافز حدود ۱۴۵ متر و ۱۲۱ نمونه جهت تجزیه شیمیایی) و ۸ ترانشه (با عمق متوسط ۲/۸ متر، مترافز طولی حدود ۹۸۰ متر و ۱۳۱ نمونه جهت تجزیه شیمیایی) حفر شدند. به ازای هر پنج متر طولی در امتداد ترانشه یک نمونه بطور

۴-۱- مطالعات درجه آزادی

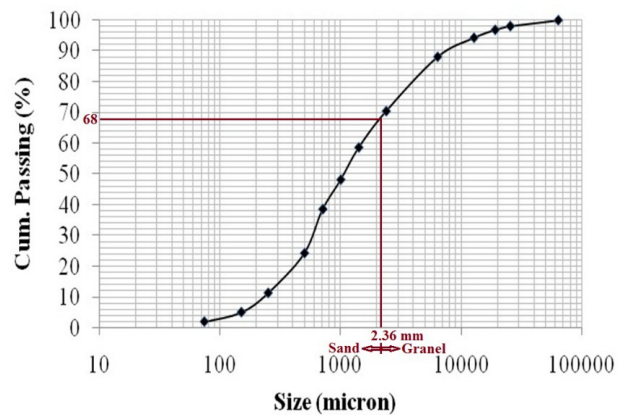
از بخش‌های ماسه‌ای و گراول نمونه معرف پلاس (ترانشه $T3$)، پس از آماده‌سازی‌های لازم، با استفاده از رزین و قالب‌گیری بطور جداگانه، مقاطع صیقلی و نازک- صیقلی تهیه گردید. با توجه به اهمیت کانه‌های کانسنگ و بخش‌های ابعادی آن‌ها، مطالعات کانه‌آرایی مقدماتی و میکروسکوپی روی مقاطع صیقلی از فراکسیون‌های مختلف نمونه دانه‌بندی شده با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان دو منظوره (نور عبوری و انعکاسی) مدل اولیمپوس انجام شد. عیار ایلمنیت در بخش گراولی نمونه کلی حدود ۳ درصد وزنی تعیین شده و درجه آزادی کانی ایلمنیت در فراکسیون ۷۰+ مش (۲۱۰+ میکرون) حدود ۷۳٪ گزارش شده است. بخش ماسه‌ای نیز دارای عیار ایلمنیت ۷ درصد وزنی بوده و درجه آزادی کانی ایلمنیت در فراکسیون‌های ۲۵+ مش (۷۱۰+ میکرون)، ۵۰+ مش (۳۰۰+ میکرون) و ۷۰+ مش (۲۱۰+ میکرون) به ترتیب حدود ۷۱٪، حدود ۸۰٪ و بیش از ۸۰٪ گزارش شده است [۹]. سایر اطلاعات کانی‌شناسی و کانه‌آرایی مقدماتی در جدول ۱ و تصاویر میکروسکوپی مقاطع صیقلی فراکسیون‌های مختلف در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده‌اند.

برای اطمینان از گسترش عمقی ذخیره پلاس (بویژه زیر زمین‌های کشاورزی محدوده اکتشافی) و کنسانتره‌پذیری آن، پس از حفر ترانشه‌ها، نمونه‌ای معرف از بخش گراولی و ماسه‌ای ترانشه $T3$ برداشت گردید و به روش XRF مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. میانگین TiO_2 بخش گراولی ۱/۴۲ درصد وزنی و بخش ماسه‌ای ۲/۵۲ درصد وزنی تعیین شد. بخش ماسه‌ای (مش ۸-) این ترانشه نیز پس از اختلاط و بدون خردایش اولیه توسط توسط میز لرزان، شستشو و بوسیله جداکننده مغناطیسی مورد آرایش قرار گرفت. فازهای اصلی شناسایی شده به روش XRD کنسانتره تولیدی، ایلمنیت با فرمول $FeTiO_3$ و ایلمنیت منیزیم‌دار با فرمول $(Fe, Mg)(Ti, Fe)O_3$ تعیین شده است. نتایج فرآوری مقدماتی نیز وجود کانی ایلمنیت و امکان کنسانتره‌پذیری کانسنگ مذکور را تایید نمود. تجزیه شیمیایی کنسانتره ایلمنیت تولیدی، عیار TiO_2 را ۳۷/۱۷ و Fe_2O_3 را ۴۲/۳۴ درصد وزنی نشان داده است [۶].

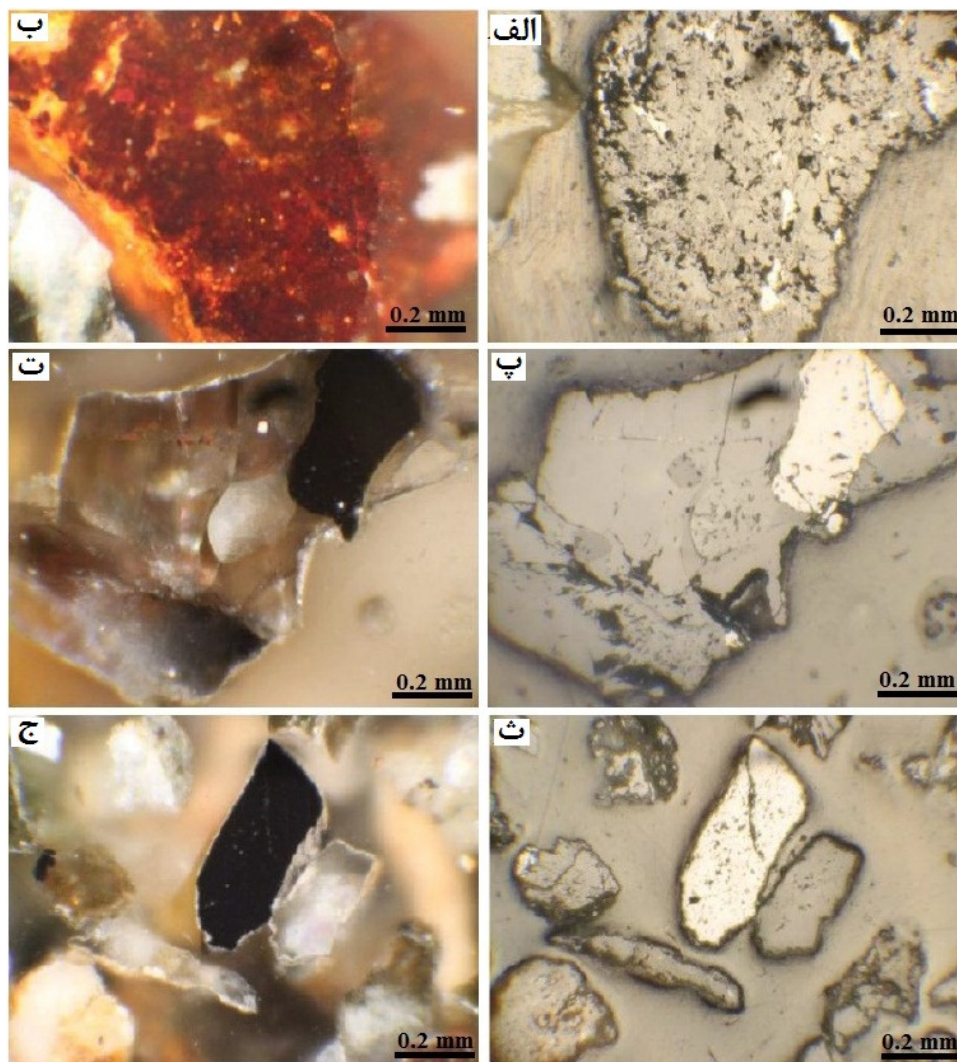
جداگانه از بخش عمقی (پر عیار) و یک نمونه از بخش سطحی (کم عیار) از طرفین ترانشه از پایین به بالا نمونه‌برداری شده و در مورد چاهک‌ها نیز بطور جداگانه یک نمونه از بخش عمقی پرعیار و یک نمونه از بخش سطحی کم عیار بصورت ترکیبی از ۴ طرف چاهک نمونه‌برداری شده است. برای بررسی‌های کانی‌شناسی و فرآوری مقدماتی (تعیین فازها، دانه‌بندی، درجه آزادی، تولید کنسانتره و تعیین عیار TiO_2 و سایر اکسیدهای اصلی) نیز از کامل‌ترین و طولی‌ترین ترانشه (ترانشه $T3$) نمونه‌ای کلی به وزن تقریبی ۷۵۰ کیلوگرم از رسوبات پلاس در طول ترانشه برداشت و مورد آزمایشات مربوطه قرار گرفت. جهت تولید کنسانتره و بررسی فازهای کانی‌شناسی و تعیین درصد وزنی کانی ایلمنیت نیز مقدار ۵ کیلوگرم از نمونه معرف پلاس توسط میز لرزان و جداکننده مغناطیسی نیز در دانشکده معدن دانشگاه صنعتی سهند- تبریز مورد آزمایش قرار گرفت. پس از آماده‌سازی‌های لازم، تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی نمونه‌های ترانشه و چاهک‌ها، به روش XRF در آزمایشگاه شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیرآهنی زنجان (سهامی خاص) با صلاحیت آزمایشگاه $NACI/Lab/291$ صورت گرفت. تعداد ۲۵ نمونه رسوب پلاسی نیز جهت تعیین فازهای کانی‌شناسی به روش XRD در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما مورد آزمایش قرار گرفت و به همین تعداد نیز مقطع صیقلی از کانسنگ پلاسی (پس از آماده‌سازی‌های لازم) تهیه و مطالعه شدند. در پایان جهت انتقال کارهای اکتشافی، بلوک‌بندی و تخمین ذخیره قطعی، نقشه توپوگرافی- زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۰۰۰ از مناطق امید بخش تهیه گردید.

۴-۲- بحث و بررسی

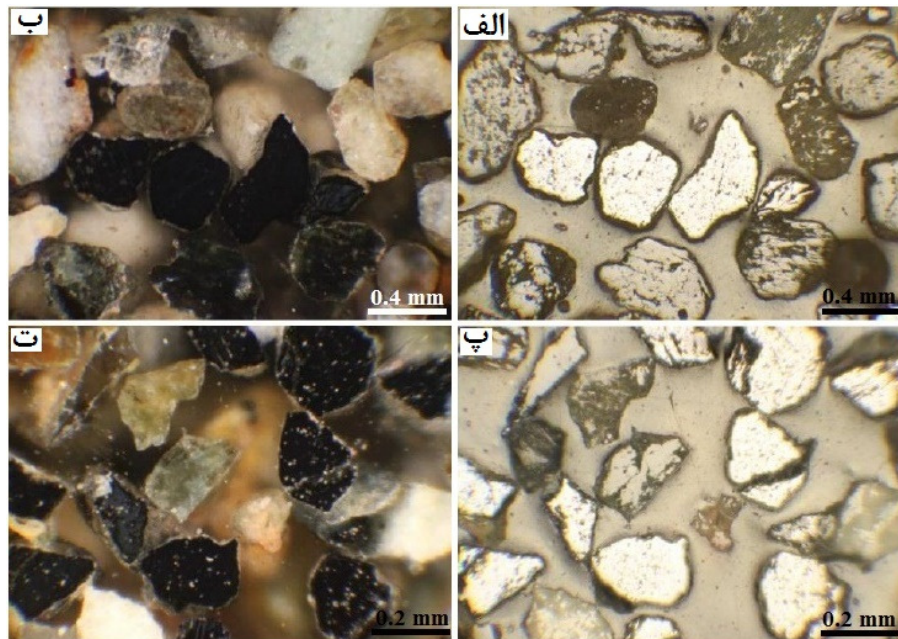
در ذخایر پلاسی پس از شناسایی ذخیره، بررسی دانه‌بندی و تعیین حجم بخش‌های مختلف ابعادی از اقدامات اولیه ارزیابی است. نتایج بررسی دانه‌بندی نمونه معرف پلاس خانیک- غازان ارومیه نشان داده است که ۶۸ درصد از حجم نمونه‌ها را رسوب در ابعاد ماسه (جزء ریزتر از ۲/۳۶ میلی‌متر) و ۳۲ درصد باقی‌مانده حجم را گراول (بخش درشت‌تر از ۲/۳۶ میلی‌متر) تشکیل داده است (شکل ۳).



شکل ۳. نمودار دانه‌بندی نمونه معرف پلاسز خائیک - غازان (ترانشه T3)



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی بخش گراولی رسوبات؛ الف: ایلمنیت درگیر در باطله‌های سیلیکاتی در بخش ابعادی ۲۵+ مش در نور پلاریزه بازتابشی ساده، ب: هماتیت در بخش ابعادی ۲۵+ مش در نور بازتابی متقاطع، پ و ت: درگیری ایلمنیت با باطله سیلیکاته در بخش ابعادی ۵۰+ مش به ترتیب در نور بازتابی ساده و متقاطع، ث و ج: کانی آزاد شده ایلمنیت در بخش ابعادی ۷۰+ مش به ترتیب در نور بازتابی ساده و متقاطع



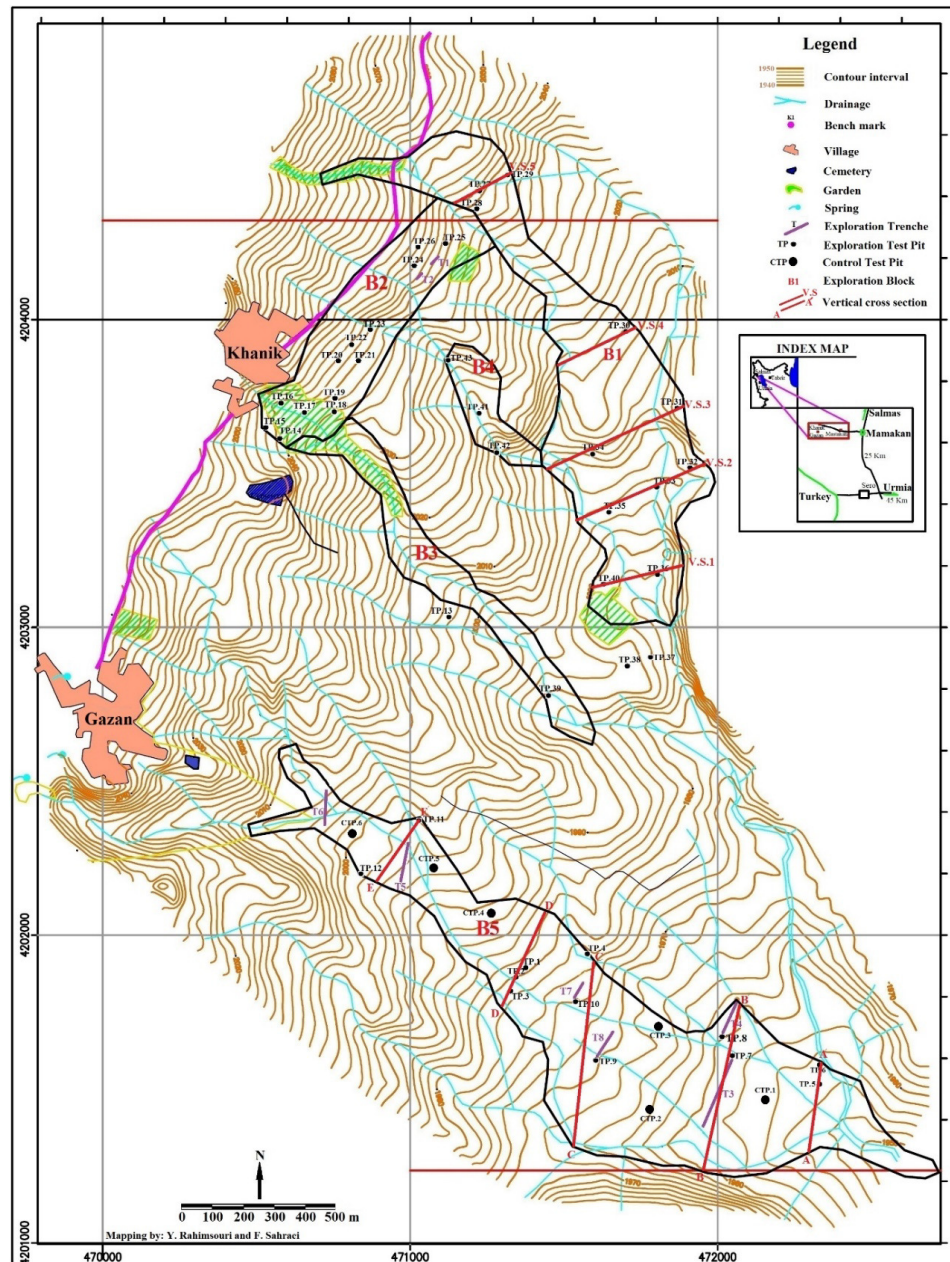
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی ایلمنیت آزاد شده بخش ماسه‌ای رسوبات؛ الف و ب: با درصد حجمی کمتر از ۳۰ در بخش ابعادی ۵۰+ مش، پ و ت: با درصد حجمی بیش‌تر از ۵۰ در بخش ابعادی ۷۰+ (الف و پ در نور بازتابی ساده، ب و ت در نور بازتابی متقاطع)

جدول ۱. نتایج مطالعات کانه‌نگاری و درجه آزادی ایلمنیت بخش گراولی و ماسه‌ای نمونه معرف پلاسردر فراکسیون‌های مختلف			
(الف) بخش گراولی: عیار ایلمنیت حدود ۳ درصد وزنی در همراهی با کانی‌های مگنتیت (با بافت برون‌رست درون ایلمنیت) و هماتیت			
فراکسیون ۷۱۰+ میکرون)	فراکسیون ۳۰۰+ میکرون)	فراکسیون ۷۰+ میکرون)	مش
کانه‌های عمده	باطله‌های سیلیکاته و کانه‌های ایلمنیت	باطله‌های سیلیکاته، کانه‌های ایلمنیت و مگنتیت	باطله‌های سیلیکاته، کانه ایلمنیت و مگنتیت
(با ابعاد ۳۰ تا ۴۰ میکرون و درگیر	با ابعاد ۳۰ تا ۴۰ میکرون و درگیر	با ابعاد ۳۰ تا ۴۰ میکرون و درگیر	با ابعاد ۳۰ تا ۴۰ میکرون و درگیر
بصورت اذخال در کانی‌های سیلیکاته)	بصورت اذخال در کانی‌های سیلیکاته)	بصورت اذخال در کانی‌های سیلیکاته)	بصورت اذخال در کانی‌های سیلیکاته)
و مگنتیت (با بافت برون‌رست درون ایلمنیت)	و مگنتیت (با بافت برون‌رست درون ایلمنیت)	و مگنتیت (با بافت برون‌رست درون ایلمنیت)	و مگنتیت (با بافت برون‌رست درون ایلمنیت)
۴۸	۶۷	۷۳	درجه آزادی
سایر توضیحات	درگیری‌های رگچه‌ای و اذخالی	تفاوت زیادی در مقدار کانی‌های با ارزش سنگین و آزادشدگی آنها نسبت به فراکسیون‌های ۵۰+ و ۲۵+ وجود دارد.	در این فراکسیون جداسازی تیغه‌های مگنتیت از ایلمنیت با روش‌های فیزیکی امکان پذیر نمی‌باشد.
(ب) بخش ماسه‌ای: عیار ایلمنیت ۷ درصد وزنی در همراهی با مگنتیت مارتنیتی شده			
فراکسیون ۷۱۰+ میکرون)	فراکسیون ۳۰۰+ میکرون)	فراکسیون ۷۰+ میکرون)	مش
درجه آزادی	۷۱٪	۸۰٪	> ۸۰٪
سایر	آثار تبدیل شدن به لوکوکسن بصورت	مقدار کانی‌های با ارزش سنگین	وجود اذخال در نمونه‌های بخش ماسه‌ای به مراتب کمتر از اذخال در نمونه‌های گراولی است.
توضیحات	حاشیه‌ای در ایلمنیت دیده می‌شود.	نسبت به فراکسیون ۲۵+ مش	بیش‌تر می‌باشد.

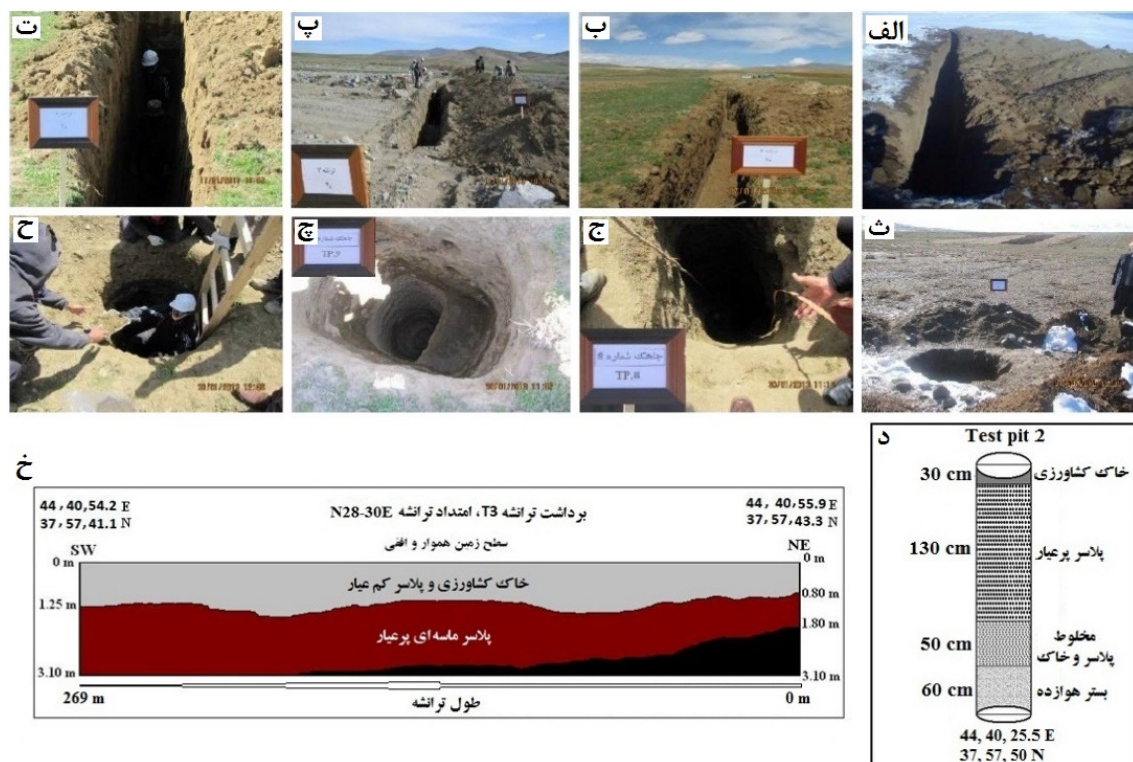
۴-۲- حفاری‌های اکتشافی

در شکل ۶ موقعیت ۸ ترانشه (T1-T8) و ۴۳ چاهک اکتشافی (TP.1-TP.43) و در شکل ۷ تصاویر تعدادی از آن‌ها آورده شده‌اند. ترانشه‌ها دارای مجموع طول حفاری شده ۷۷۸/۵ متر، عرض حدود ۱ متر و عمق حفاری متغیر از ۱/۵ تا ۳ متر و چاهک‌های اکتشافی نیز دارای مجموع عمق حفاری شده ۱۴۰/۳ متر با سطح مقطع متوسط ۱/۵ متر مربع می‌باشند. بر اساس نتایج

تجزیه‌های شیمیایی ۱۳۱ نمونه از ترانشه‌ها و ۱۲۱ نمونه از چاهک‌ها، میانگین عیار TiO_2 در ترانشه‌ها ۱/۷۲ درصد وزنی (متغیر از ۰/۶ تا ۳/۲۹) و در چاهک‌های اکتشافی ۲/۳۹ درصد وزنی (متغیر از ۱/۰۱ تا ۴/۸۳) تعیین شده است. مقطع هر ترانشه و چاهک اکتشافی بر اساس تغییرات ظاهری، دانه‌بندی و عیار بطور دقیق ترسیم شده‌اند [۹]. بررسی اکتشافی ترانشه‌ها و چاهک‌ها در زیر به تفکیک آورده شده‌اند.



شکل ۶. موقعیت ترانشه‌ها، چاهک‌های اکتشافی و مقاطع قائم روی بلوک‌های B1 و B5 کانسار پلاسری خانیک-غازان روی نقشه ۱/۲۰۰۰ توپوگرافی



شکل ۷. نمای تعدادی از ترانشه‌ها و چاهک‌های حفر شده در محدوده پلاسرخانیک-غازان؛ الف: ترانشه T3، ب: ترانشه T6، پ: ترانشه T7، ت: ترانشه T8، ث: چاهک TP.2، ج: چاهک TP.8، چ: چاهک TP.9، ح: چاهک TP.12، خ: برداشت ترانشه T3 و د: برداشت چاهک TP.2

۴-۲-۱- بررسی اکتشافی ترانشه‌ها

ترانشه‌های اکتشافی ۱ و ۲ در شمال‌خاوری روستای خانیک و سایر ترانشه‌ها در جنوب‌خاوری روستای غازان واقع شده‌اند (شکل ۶). میانگین عیار TiO_2 ترانشه ۱ بر اساس تجزیه‌های شیمیایی ۳/۲۹ درصد وزنی (متغیر بین ۲/۴۳ تا ۳/۷۲) و ترانشه ۲، ۲/۹۶ درصد وزنی تعیین شده است.

ترانشه ۳ که دارای بیش‌ترین طول حفاری است دارای عیار TiO_2 متغیر از ۱ درصد تا ۲/۷ درصد وزنی می‌باشد. نمونه‌های با عیار TiO_2 بین ۱/۴۵ تا ۱/۷ درصد دارای بیش‌ترین فراوانی هستند (شکل ۸-الف). با توجه به متفاوت بودن طول و عمق موثر نمونه‌های برداشت شده، میانگین وزنی TiO_2 در این ترانشه ۱/۶۱ درصد محاسبه شده است. نتایج کارهای اکتشافی ترانشه ۳، گسترش جانبی پلاسرخ را بیش از ۲۷۰ متر نشان می‌دهد، هر چند که تمرکز TiO_2 از سطح به عمق و در طول ترانشه دارای تغییراتی می‌باشد. بررسی آماری ۴۹ نمونه اخذ شده از ترانشه ۳ نشان می‌دهد که TiO_2 در نمونه‌های برداشت

شده دارای میانگین حسابی (غیر وزنی) ۱/۵۸ درصد است (شکل ۸-الف) که با نتایج میانگین وزنی (۱/۶۱ درصد) سازگاری بسیار خوبی نشان می‌دهد. این نتیجه بیانگر برداشت دقیق مشخصات نمونه‌ها از جمله طول و عمق معرف آن‌هاست. از طرفی حدود اطمینان در سطح اعتماد مهندسی ۹۵٪ برای میانگین نمونه‌های حاصل از این ترانشه ۱/۷۱-۱/۴۶ درصد محاسبه شده است. توزیع TiO_2 در ترانشه کم و بیش نرمال بوده ولی رابطه دقیق و مشخصی با سایر اکسیدهای اصلی به دلیل ثانوی بودن محیط از خود نشان نداده است. در شکل ۷-الف تصویری از بخش شمال‌خاوری ترانشه ۳ و در شکل ۷-خ برداشت ترانشه ۳ آورده شده است.

ترانشه ۴ در امتداد ترانشه ۳ به سمت آبراهه خانیک طراحی و اجرا شده است. این ترانشه به دلیل سخت بودن رسوبات و ظاهر شدن سنگ بستر از جنس مرمر در کف دارای عمق کمتری نسبت به سایر ترانشه‌ها می‌باشد. در مقایسه با سایر ترانشه‌های حفاری شده، افق سطحی این ترانشه نسبت به افق عمقی دارای عیار نسبتاً بالاتری از

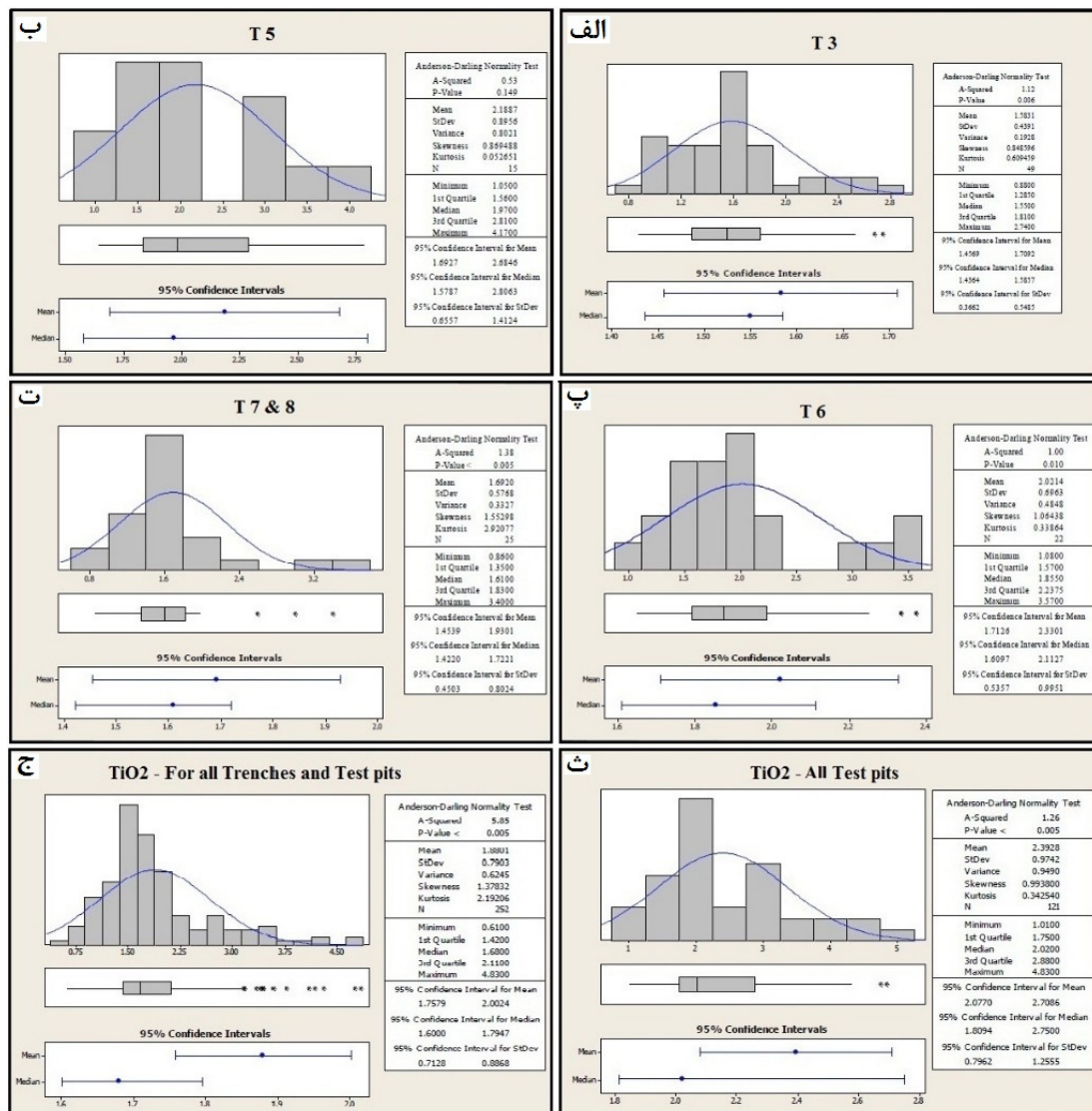
ممانعت روستائیان و محدودیت حفاری، ترانشه‌های ۷ و ۸ در امتداد هم حفر نشده‌اند. مقایسه این دو مقطع می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات کیفی و کمی تمرکز کانی‌های سنگین به سمت منشاء باشند. ترانشه‌های ۷ و ۸ را تقریباً می‌توان مقطعی واحد به سمت سنگ منشاء در نظر گرفت، لذا با هم توصیف شده‌اند. در شکل‌های ۷-ب و ۷-ت تصاویری از ترانشه‌های ۷ و ۸ آورده شده‌اند. ترانشه ۸ تقریباً در مسیر جدید آبراهه ولی ترانشه ۷ در تراس‌های قدیمی‌تر حفاری شده است. به همین دلیل تمرکز کانی‌های سنگین در تراس‌های قدیمی‌تر (ترانشه ۷) بیش‌تر از تراس‌ها و رسوبات جدیدتر (ترانشه ۸) می‌باشد. به عبارتی دیگر، با دور شدن از بسترهای جدید آبراهه به سمت تراس‌های قدیمی‌تر، کانی‌های سنگین تمرکز نسبتاً بالاتری را از خود نشان می‌دهند. البته این موضوع می‌تواند به دلیل عمق ترانشه‌ها نیز باشد بطوریکه در رسوبات جدید ضخامت بیش‌تر بوده و ترانشه حفر شده نتوانسته است رسوبات قدیمی را قطع نماید. این مطلب را می‌توان با مطابقت دادن با داده‌های چاهک‌های اکتشافی که به این منظور حفر شده‌اند مورد بررسی و تفسیر قرار داد. عیار TiO_2 در ترانشه ۷ از ۱/۴ تا ۳/۴ درصد (با میانگین وزنی ۱/۷۷ درصد) و در ترانشه ۸ از ۰/۸ تا ۲/۵ درصد (با میانگین وزنی ۱/۴۳ درصد) در تغییر است. بررسی آماری نتایج حاصل از دو ترانشه (شکل ۸-ت) نشان می‌دهد که عیار میانگین حسابی (غیر وزنی) TiO_2 این دو ترانشه ۱/۶۹ درصد (متغیر بین ۱/۴۵ تا ۱/۹۳ درصد با سطح اعتماد مهندسی ۰/۹۵) می‌باشد. میانگین حسابی با نتایج میانگین وزنی (۱/۶ درصد) سازگاری بسیار خوبی نشان می‌دهد، که این به نوبه خود نشان‌دهنده برداشت دقیق ترانشه‌هاست. با توجه به حداکثر عمق ترانشه‌ها، در هیچ نقطه‌ای از مقطع ترانشه‌ها، سنگ بستر مشاهده نشده است. به نظر می‌رسد گسترش عمقی پلاسز در محدوده ترانشه‌های ۷ و ۸ بیش‌تر از عمق حفاری شده باشد. میانگین فراوانی کانی ایلمنیت بر اساس مطالعات اولیه فرآوری روی نمونه‌های معرف ترانشه‌ها، ۳/۵۷ درصد وزنی تعیین شده است [۹].

TiO_2 است، بطوریکه عیار TiO_2 در افق عمقی (نزدیک سنگ بستر) تا ۰/۶ درصد هم کاهش یافته ولی افق سطحی دارای میانگین عیار ۲/۱ درصد می‌باشد. متوسط عیار وزنی TiO_2 در این ترانشه ۱/۳۳ درصد محاسبه شده است. حداکثر عمق پلاسز مطلوب در این ابتدای این ترانشه حدود ۰/۵ متر بوده ولی با گسترش آن به سمت آبراهه خانیک (شکل ۶) دارای عمق ۲/۳ متر و عیار نسبتاً خوبی می‌باشد.

ترانشه ۵ در فاصله تقریبی ۱۲۰۰ متری شمال باختری ترانشه ۳ و ۴ و ۸۰۰ متری جنوب خاوری روستای غازان حفر شده است (شکل ۶). عمق این ترانشه از ۲/۲ تا ۲/۷ متر متغیر بوده و دو افق سطحی و عمقی در آن بطور کامل از هم قابل تشخیص هستند. عیار TiO_2 در این ترانشه از ۱/۰۵ درصد تا ۴/۱۷ درصد وزنی در تغییر بوده است. افق سطحی در این ترانشه نسبت به سایر ترانشه‌ها عیار بالایی از کانی سنگین نشان داده است. بر اساس ارزیابی‌های آماری، میانگین حسابی TiO_2 حدود ۲/۱۸ درصد (با حدود اطمینان ۲/۷-۱/۷ در سطح اعتماد مهندسی ۰/۹۵) محاسبه شده است (شکل ۸-ب) که با میانگین وزنی داده‌ها (۲/۲۸ درصد وزنی) تطابق بسیار خوبی نشان می‌دهد. صرف نظر از عیار متوسط، فراوانی نمونه‌هایی که عیار بالای میانگین دارند در این ترانشه بیش‌تر از سایر ترانشه‌هاست.

ترانشه ۶ در ۳۰۰ متری شمال باختری ترانشه ۵ واقع شده و عمق متوسط این ترانشه حدود ۲/۴ متر می‌باشد. عیار TiO_2 در آن از ۱/۰۸ تا ۳/۵۷ درصد در تغییر است. مقایسه نتایج این ترانشه با ترانشه ۵ نشان می‌دهد که توزیع کانی‌های سنگین در مقطع ترانشه ۶ یکنواخت‌تر از مقطع ترانشه ۵ می‌باشد. نتایج واریانس محاسبه شده ترانشه ۶ (۰/۵۳ تا ۰/۹۹) نیز در مقایسه با ترانشه ۵ (با واریانس محاسبه ۰/۶۵ تا ۱/۴۱) گویای این واقعیت می‌باشد (شکل ۸-ب و ۸-پ). بر اساس ارزیابی‌های آماری، میانگین حسابی درصد TiO_2 در ترانشه ۶، ۲/۰۲ بوده که سازگاری بسیار نزدیکی با مقدار وزنی آن (۲/۰۴ درصد) دارد. در شکل ۷-ب تصویری از ترانشه ۶ نشان داده شده است.

ترانشه ۷ و ۸ به ترتیب در فاصله تقریبی ۶۰۰ و ۴۰۰ متری شمال باختری ترانشه ۳ و تقریباً در قسمت میانی آبراهه غازان طراحی و اجرا شده‌اند (شکل ۶). به دلیل



شکل ۸. نتایج آماری TiO_2 تجزیه‌های شیمیایی؛ الف تا ت: در ترانشه‌های اصلی، ت: در چاهک‌های اکتشافی و ج: در کل ترانشه‌ها و چاهک‌ها

۴-۲-۲- بررسی اکتشافی چاهک‌ها

اساس پارامترهای آماری، میانگین حسابی (غیر وزنی) عیار TiO_2 در کل چاهک‌ها، ۲/۳۹ درصد (با حدود اطمینان ۲/۰۷ تا ۲/۷ درصد در سطح اعتماد مهندسی ۹۵٪) ارزیابی شده است (شکل ۸-پ). میانگین وزنی TiO_2 نیز ۲/۵ درصد محاسبه گردیده با میانگین حسابی تطابق خوبی نشان داده است. واریانس نسبتاً بالای داده‌ها (۰/۷۹ تا ۱/۲۵) به دلیل پراکندگی چاهک‌ها در محدوده اکتشافی می‌باشد. در شکل ۸-ت نیز نتایج آماری کل تجزیه‌های شیمیایی TiO_2 (ترانشه‌ها و چاهک‌های اکتشافی) نشان داده شده است.

ترانشه‌های اکتشافی حفر شده در محدوده اکتشافی به خوبی تداوم کانی‌سازی را در طول ترانشه‌ها نشان داده‌اند ولی با توجه به اینکه عمق این ترانشه‌ها حداکثر ۳ متر بوده است لذا گسترش عمقی کانی‌سازی دقیق مشخص نشده است، به همین دلیل اقدام به حفر چاهک شده است. در مجموع تعداد ۴۳ چاهک با عمق‌های متغیر از ۱ متر تا ۱۱/۷ متر در محل‌های مناسب طراحی شده حفر گردیدند. حداقل عیار TiO_2 در چاهک‌ها ۱/۰۱ درصد وزنی (چاهک اکتشافی ۲۱) و حداکثر آن ۴/۸۳ درصد وزنی (چاهک اکتشافی ۱۱) اندازه‌گیری شده است. بر

۳-۴- تخمین ذخیره

در پژوهش فعلی جهت تخمین ذخیره پلاستی از روش کلاسیک مقاطع قائم استفاده شده است. لازم است اشاره شود ذخیره قطعی کانسار خانیک-غازان قبلاً به روش‌های زمین آمار (لاگ کریچینگ و عکس مجذور فاصله) محاسبه شده است. مجموع ذخیره محاسبه شده به روش‌های زمین‌آمار کانسار خانیک-غازان، ۱۱۷۶۷۰۰۰ تن با عیار میانگین TiO_2 ۲/۰۴ درصد وزنی محاسبه شده است [۷]. بر اساس مطالعات واریوگرام و رسم آن، شعاع تاثیر نمونه‌ها، ۳۵۰ متر محاسبه شده است. بر این اساس و با توجه همسانگرد بودن کانسار و موقعیت کارهای اکتشافی (ترانشه و چاهک‌ها)، فواصل بین مقاطع قائم در اکثر موارد کمتر از ۳۵۰ متر و در سه مورد به دلیل ممانعت‌های محلی (وقوع محل ترانشه طراحی شده در زمین‌های کشاورزی تعدادی از روستاییان)، فواصل طولی بین ترانشه‌ها بیش‌تر از شعاع تاثیر بوده که با حفر چاهک‌های تکمیلی بین این ترانشه‌ها (شکل ۵)، تغییرات عیار و ضخامت پلاست کنترل شده است.

زون خانیک بر اساس تغییرات رسوب‌شناسی و کیفیت به ۴ بلوک مختلف با نام‌های $B1$ ، $B2$ ، $B3$ و $B4$ تقسیم شده است (شکل ۶) که از این تعداد با توجه به موقعیت

کارهای اکتشافی فقط بلوک $B1$ را می‌توان به روش مقاطع قائم، تخمین ذخیره قطعی نمود. در مورد زون غازان نیز با توجه به مطالب اشاره شده فقط یک بلوک موسوم به $B5$ تخمین ذخیره قطعی شده است. لازم است یادآوری شود در مواردی که تفاوت مساحت سطح دو مقطع متوالی کمتر از ۳۰ درصد بوده از فرمول:

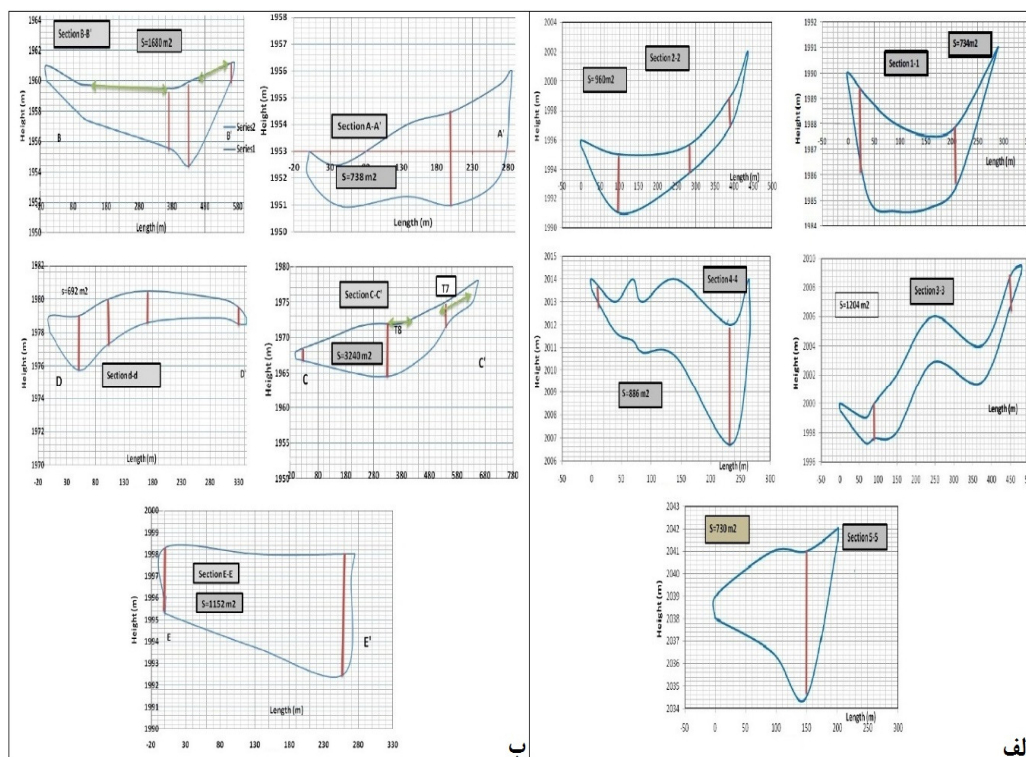
$$V = (S_1 + S_2)/2 \times L_1 + (S_2 + S_3)/2 \times L_2 + \dots + (S_{n-1} + S_n)/2 \times L_n$$

و در مواردی که تفاوت مساحت سطح دو مقطع متوالی بیش‌تر از ۳۰ درصد بوده از فرمول:

$$V = (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})/3 \times L_1 + (S_2 + S_3 + \sqrt{S_2 \cdot S_3})/3 \times L_2 + \dots + (S_{n-1} + S_n + \sqrt{S_{n-1} \cdot S_n})/3 \times L_n$$

برای محاسبه حجم کانسنگ استفاده شده است [۱۰].

تصاویر مقاطع قائم بلوک $B1$ زون خانیک و بلوک $B5$ زون غازان در شکل ۹ و مشخصات مقاطع قائم این دو بلوک در جدول ۲ و نتایج تخمین ذخیره در جدول ۳ به تفکیک آورده شده‌اند. بر اساس محاسبات به عمل آمده مجموع ذخیره پلاستی کانسار خانیک-غازان، ۱۲۰۰۶۲۸۲ تن با عیار میانگین ۲/۳۳۸ درصد وزنی TiO_2 و مجموع ذخیره TiO_2 ۲۸۰۷۰۷ تن تخمین زده شده است.



شکل ۹. تصاویر مقاطع قائم؛ الف: بلوک $B1$ زون خانیک، ب: تصاویر مقاطع قائم زون غازان (بلوک $B5$)

جدول ۲. مشخصات مقاطع قائم بلوک‌های اصلی کانسار پلاسری خانیک - گازان جهت تخمین ذخیره

مقطع	طول مقطع (متر)	مساحت (متر مربع)	مقطع	طول مقطع (متر)	مساحت (متر مربع)
۱	۲۸۹	۷۳۴	A	۲۸۲	۷۳۸
۲	۴۳۵	۹۶۰	B	۵۶۲	۱۶۸۰
۳	۴۷۸	۱۲۰۴	C	۶۳۰	۳۲۴۰
۴	۲۶۴	۸۸۶	D	۳۳۰	۶۹۲
۵	۲۰۱	۷۳۰	E	۲۵۹	۱۱۵۲

بلوک B1 زون پلاسری خانیک

بلوک B5 زون پلاسری گازان

جدول ۳. تخمین ذخیره قطعی کانسار پلاسری خانیک - گازان به روش مقاطع قائم

بلوک B1 زون پلاسری خانیک							
سطح مقطع	$(S_n + S_{n+1})/2$	فاصله متوسط بین دو مقطع (m)	حجم (m^3)	عیار متوسط (TiO_2 %)	چگالی (g/m^3)	وزن (تن)	ذخیره TiO_2 (تن)
	$(S_n + S_{n+1} + \sqrt{S_n \cdot S_{n+1}})/3$						
خارج از مقطع ۱	۷۳۴	۱۳۶	۹۹۸۲۴	۲/۵۷	۲/۶۹	۲۶۸۵۲۶/۵	۶۹۰۱
$S_1 - S_2$	۸۴۴/۵	۲۷۰	۲۲۸۰۱۵	۱/۸۷	۲/۶۹	۶۱۳۳۶۰/۳	۱۱۴۶۹/۸
$S_2 - S_3$	۱۰۸۲	۱۸۹	۲۰۴۴۹۸	۱/۸۶	۲/۷۲	۵۵۶۲۳۴/۵	۱۰۳۴۶
$S_3 - S_4$	۱۰۴۱	۲۷۸	۲۸۹۳۹۸	۲/۴۵	۲/۷۱	۷۸۴۲۶۸/۶	۱۹۲۱۴/۶
$S_4 - S_5$	۸۰۸	۶۰۵	۴۸۸۸۴۰	۳/۴۹	۲/۷۰	۱۳۱۹۸۶۸	۴۶۰۶۳/۴
خارج از مقطع ۵	۷۳۰	۲۵۵	۱۸۶۱۵۰	۳/۸۵	۲/۷۰	۵۰۲۶۰۵	۱۹۳۵۰/۳
کل	-	-	۱۴۹۶۷۲۵	۲/۸۰	۲/۷۰۲	۴۰۴۴۸۶۳	۱۱۳۳۴۵
بلوک B5 زون پلاسری گازان							
سطح مقطع	$(S_n + S_{n+1})/2$	فاصله متوسط بین دو مقطع (m)	حجم (m^3)	عیار متوسط (TiO_2 %)	چگالی (g/m^3)	وزن (تن)	ذخیره TiO_2 (تن)
	$(S_n + S_{n+1} + \sqrt{S_n \cdot S_{n+1}})/3$						
خارج از مقطع A	۷۳۸	۲۱۰	۱۵۴۹۸۰	۲/۰۶	۲/۷۲	۴۲۱۵۴۵/۶	۸۶۸۳/۹
$S_A - S_B$	۱۱۷۷	۳۲۸	۳۸۶۰۵۶	۱/۸۲	۲/۷۲	۱۰۵۰۰۷۲/۳	۱۹۱۱۱/۳
$S_B - S_C$	۲۴۱۷	۳۵۶	۸۶۰۴۵۲	۱/۸۷	۲/۷۰	۲۳۲۳۲۲۰/۴	۴۳۴۴۴/۲
$S_C - S_D$	۱۸۰۹	۳۷۹	۶۸۵۶۱۱	۲/۱۴	۲/۷۰	۱۸۵۱۱۴۹/۷	۳۹۶۱۴/۶
$S_D - S_E$	۹۱۲	۵۷۳	۵۲۳۵۷۶	۲/۵۶	۲/۶۹	۱۴۰۵۷۲۹/۴	۳۵۹۸۶/۷
خارج از مقطع E	۱۱۵۲	۲۹۲	۳۳۶۳۸۴	۲/۶۴	۲/۶۹	۹۰۴۸۷۳	۲۳۸۸۸/۶
کل	-	-	۲۹۴۶۰۵۹	۲/۱۳	۲/۷۰	۷۹۵۶۵۹۰/۴	۱۷۰۷۲۹/۳
مجموع ذخیره قطعی کانسار و محتوای TiO_2 کانسار							
مجموع ذخیره کانسنگ (تن)	عیار متوسط کانسار (TiO_2 %)			مجموع ذخیره TiO_2 (تن)			
۱۲۰۰۱۴۵۳/۴	۲/۳۳۸			۲۸۴۰۷۴/۳			

۴-۴- مطالعات فرآوری

مهم‌ترین نتایج مطالعات فرآوری کانسنگ پلاسری خانیک ارومیه به شرح زیر گزارش می‌گردد:

۱- بر اساس مطالعات درجه آزادی و تأیید آن‌ها در روش‌های مختلف فرآوری، محدوده ابعادی مناسب برای خردایش بخش ماسه‌ای $50\text{ }\mu\text{m}$ - و برای بخش گراولی $250\text{ }\mu\text{m}$ - تعیین شده است.

۲- ماریچ همفری با شیب ملایم به عنوان یک روش پرعیار سازی اولیه و حذف بخشی از باطله مناسب تشخیص داده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، امکان حذف حدود ۳۲ درصد از خوراک بدون هدرروی قابل توجه ایلمنیت میسر می‌باشد.

۳- میز لرزان به عنوان یک روش پرعیار سازی نهایی به منظور افزایش عیار کنسانتره، نسبت به تمامی روش‌های بررسی شده مؤثر و کارآمد تشخیص داده شد. به عبارتی، بدون به کارگیری میز لرزان امکان تهیه کنسانتره عیار بالای تجاری میسر نمی‌باشد.

۴- نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فلوشیت ترکیبی از سه جدا کننده فیزیکی اسپیرال، میز لرزان و مغناطیسی تر شدت بالا، قابلیت تولید کنسانتره‌ای با عیار بالاتر و بازیابی مناسب‌تری را داشته و برای فرآوری ماده معدنی مناسب می‌باشد.

۵- با به کارگیری اسپیرال به عنوان پرعیار کننده اولیه و میز لرزان به عنوان پرعیار کننده نهایی، کنسانتره ایلمنیتی با عیار $40/11$ درصد TiO_2 و $39/65$ درصد Fe_2O_3 و بازیابی $86/41$ درصد به دست آمده است [۶].

۵- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات اکتشافی نشان داده است که کانساری پلاسری با ذخیره مناسب از ایلمنیت در پایین‌دست روستاهای خانیک و غازان شکل گرفته است. این ذخیره معدنی از نظر تقسیم‌بندی کانسارهای پلاسری جزو پلاسره‌ای رودخانه‌ای بوده و سنگ‌های گابرویی توده موسوم به توده نفوذی غازان، سنگ‌های منشاء این پلاسری می‌باشند. مقدار ذخیره و میانگین عیار TiO_2 محاسبه شده به روش کلاسیک مقاطع قائم ($12001453/4$ تن با عیار میانگین $2/338$ درصد وزنی TiO_2) با روش‌های زمین‌آماري بسیار مشابه بوده و این به نوبه خود، بیانگر دقت بالا در طراحی شبکه اکتشافی و نمونه‌برداری

می‌باشد. مطالعات کانه‌نگاری و فرآوری اولیه کانسنگ نشان داده است که فراوانی کانی ایلمنیت در بخش گراولی به طور میانگین ۳ درصد وزنی و در بخش ماسه‌ای حدود ۷ درصد وزنی می‌باشد. درجه آزادی کانی ایلمنیت در فراکسیون $70+$ مش ($210+$ میکرون) بخش‌های گراولی و ماسه‌ای به ترتیب حداکثر ۷۳ درصد و بالای ۸۰ درصد تعیین شده است. مطالعات فرآوری نیز نشان داده است که کانسنگ پلاسری خانیک و غاران، کنسانتره‌پذیری بالایی داشته و با روش‌های فیزیکی به راحتی می‌توان کنسانتره مطلوبی تولید نمود. بر اساس درصد وزنی TiO_2 و Fe_2O_3 نمونه پلاسری و کنسانتره تولیدی و درصد بازیابی و همچنین نتیجه XRD می‌توان نتیجه گرفت که کانه اصلی کنسانتره تولیدی، ایلمنیت می‌باشد. بر اساس مطالعات اکتشافی و فرآوری صورت پذیرفته می‌توان نتیجه گرفت که کانسار پلاسری ایلمنیت خانیک- غازان ارومیه دارای کمیت و کیفیت مناسبی بوده و در آینده‌ای نزدیک قابلیت تبدیل شدن به معدنی فعال را دارد. کانسنگ پلاسری این کانسار و کانسارهای مشابه در منطقه می‌توانند بخشی از خوراک اولیه واحدهای تولید کنسانتره ایلمنیت و پیگمنت TiO_2 نظیر واحد در حال طراحی قره‌آغاج را تامین نمایند.

قدردانی

بدینوسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه ارومیه، همکاری علمی مشاور فرآوری شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری آتیه سپید آسیا (دارنده پروانه اکتشاف) و داوران محترم مقاله تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- [۱] اژدری، ک (۱۳۷۹) پترولوژی سنگ‌های مافیک و الترامافیک کمپلکس غازان واقع در چهارگوش سرو، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافی معدنی کشور، ۱۵۰ ص.
- [۲] اسدپور، م، پورمعافی، م، و هویس، ث (۱۳۹۲) ژئوشیمی، پترولوژی و تعیین سن توده مافیک- اولترامافیک غازان، شمال غرب ایران، پترولوژی، سال چهارم، شماره ۱۴، ۱-۱۶.
- [۳] اعلمی‌نیا، ز، و گل قندشتی، م (۱۳۹۰) بررسی کانسار تیتانیم پلاسری در استان خراسان رضوی. اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران.

- [16] Chen, W., Zhou, M. F., and Zhao, T. P (2013) Differentiation of nelsonitic magmas in the formation of the ~1.74 Ga Damiao Fe-Ti-P ore deposit, North China. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165: 1341-1362.
- [17] Gambogi, J (2010) Titanium and Titanium Dioxide. *Mineral Commodity Summaries. U.S Geological Survey, U.S. Government Printing Office, Washington DC*, 195.
- [18] Ghasemi, A. and Talbot, C.J (2006) A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 683-693.
- [19] Pang, K. N., Zhou, M. F., Lindsley, D., Zhao, D., and Malpas, J (2008) Origin of Fe-Ti Oxide Ores in Mafic Intrusions: Evidence from the Panzhihua Intrusion, SW China. *Journal of Petrology*, 49(2): 295-313.
- [20] Stocklin, J (1968) Structural history and tectonic of Iran, a review. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*. K52 (7): 1229-1258.
- [۴] آقائباتی، ع. و حقی‌پور، ع (۱۳۸۳) شرح نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سرو (گنجین)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۵] پرینی، ع. و رحیم‌سوری، ی (۱۳۹۴) مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی پتانسیل تیتانیم غازان ارومیه. هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۱۷ و ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۴، دانشگاه دامغان.
- [۶] پورقهرمانی، پ (۱۳۹۳) گزارش مطالعات فرآوری کانسنگ پلاسری خانیك ارومیه با استفاده از روش‌های فیزیکی ۷۸ ص.
- [۷] شرقی، ی (۱۳۹۳) تخمین ذخیره کانسار خانیك و غازان به روش زمین آمار (شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری آتیه سپید آسیا - سهامی خاص)، ۶۶ ص.
- [۸] رحیم‌سوری، ی (۱۳۹۳) گزارش زمین‌شناسی مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ محدوده اکتشافی تیتان خانیك- غازان ارومیه (ارائه شده به سازمان صنعت، معدن و تجارت استان آذربایجان غربی).
- [۹] رحیم‌سوری، ی. و پورقهرمانی، پ (۱۳۹۳) گزارش پایان عملیات اکتشافی تیتان خانیك ارومیه (شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری آتیه سپید آسیا - سهامی خاص)، ۱۹۷ ص.
- [۱۰] مدنی، ح (۱۳۷۶) اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی. انتشارات کیا، ۸۱۶ ص.
- [۱۱] مقدسی، س.ج. و یزدی، ج (۱۳۹۴) زمین‌شناسی و نحوه تشکیل پلاسره‌های تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج، استان سیستان و بلوچستان، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۲، ۳۴۱-۳۲۷.
- [12] Alavi-Naini, M (1972) Explanatory text and geological map of Djam. scale 1:250,000. Geological Survey of Iran. Tehran, Report 23, 288 pp (in French).
- [13] Charlier, B., Skår, Ø., Korneliussen, A., Duchesne, J. C., and Vander Auwera, J (2007) Ilmenite composition in the Tellnes Fe-Ti deposit, SW Norway: fractional crystallization, postcumulus evolution and ilmenite-zircon relation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154: 119-134.
- [14] Charlier, B., Namur, O., Malpas, S., de Marneffe, C., Duchesne, J. C., Vander Auwera, J., and Bolle, O (2010) Origin of the giant Allard Lake ilmenite ore deposit (Canada) by fractional crystallization, multiple magma pulses and mixing. *Lithos*, 117: 119-134.
- [15] Charlier, B., Namur, O., Bolle, O., Latypov, R., and Duchense, J. C (2015) Fe-Ti-V-P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks. *Earth-Science Reviews*, 141: 56-81.

Mineralogy and Reserve Evaluation of Khanik-Gazan Titanium Placer Deposit, Urmia, Northwest Iran

Y. Rahimsouri

Dept., of Geology, Faculty of Science, University of Urmia, Urmia

** y.rahimsouri@urmia.ac.ir*

Recieved: 2016/5/3 Accepted: 2017/5/31

Abstract

The Khanik-Qazan placer deposit is located at 82 km northwest of Urmia city, western Azarbaijan province. This area is a extremity northwest part of the Sanandaj-Sirjan structural zone. Microscopic studies show that ilmenite, ilmeno-magnetite and magnetite are the main ore minerals and layered gabbros are the main source rocks of these ore minerals. The prospecting activities in this area indicated good results relating to the existence of economic potential of ilmenite and titano-magnetite placer resource. Investigation of particles size distribution of representative total sample of the placer, indicated that 68 vol% of placer sample has sand size (< 2.36 mm), and the residual portion has gravel size (> 2.36 mm). An exploration plan was designed according to field geology studies, preliminary chemical analyses and prepared topographical and geological maps (1/5000 and 1/2000 scales). Eight trenches (a total length of 778.5 m and 1747 m³ total volume with 131 representative samples) and 43 test pits (a total depth of 140.3 m and 362 m³ volume with 121 representative samples) were drilled during the exploration phase. Geochemical analyses (carried out by XRF method) show that the grades of TiO₂, ranges from 0.6 to 3.29 wt% (1.72 wt% in average) in exploration trenches and 1.01 to 4.83 wt% (2.39 wt% in average) in test pits. Vertical cross sectional method and geostatistical methods were used to reserve estimation of the placer ore. The estimated ore (in proved category) were measured 12 Mt with TiO₂ grade of 2.338 wt% by classic method. Based on liberation degree study, suitable particle size for grinding of sand and gravel fractions were determined -500 μ m and -250 μ m for sand and gravel fractions, respectively. Mineral processing (ore dressing) studies show that the fraction +70 mesh (+210 micrometer) of sandy part of the Khanik-Qazan palcer ore have high concentrability, so that, an ilmenite concentrate containing 40.11 wt% TiO₂ and recovery percentage of 86.41 are produced by using spiral classifier as primary concentrator and shaking table as final concentrator.

Keywords: *Ilmenite, Placer deposits, Reserve estimation, Degree of liberation, Khanik-Gazan deposit, Urmia.*