مجله زمین‌شناسی اقتصادی
جلد ۷، شماره ۲ (سال ۱۳۹۴)
صفحات ۳۲۷ تا ۳۴۱

Journal of Economic Geology
Vol. 7, No. 2 (2015-2016)
ISSN 2008-7306

زمین‌شناسی و نحوه تشکیل پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج، استان سیستان و بلوچستان

سید جواد مقدسی* و جواد یزدی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۸/۲۵، پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۵

چکیده

پلاسرهای تیتانیوم‌دار منطقه فنوج در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان فنوج در جنوب‌باختری استان سیستان و بلوچستان واقع است. منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از پیکره افیولیتی فنوج - مسکوتان (رمشک) با سن کرتاسه پسین را تشکیل می‌دهد. اکتشافات مقدماتی و نیمه‌تفصیلی در منطقه فنوج نشان داده است که ناحیه دره جوگز بالا پرعیارترین ناحیه تیتانیوم‌دار در منطقه فنوج است. واحدهای هورنبلند گابرو و الیوین گابرویی منطقه، سنگ مادر پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا هستند و از نظر کانی‌شناختی شامل پلاژیوکلازهای دگرسان‌شده، کلینوپیروکسن، الیوین و آمفیبول می‌باشند. ایلمنیت مهمترین کانه تیتانیوم‌دار در واحدهای سنگی ذکر شده است. مطالعات کانی‌شناختی نشان می‌دهد که بخش سنگین رسوبات تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا عمدتاً شامل ایلمنیت است و کانیهای تیتانومگنتیت، روتیل و اسفن نیز به مقدار جزئی حضور دارند. بررسی میزان تمرکز کانی ایلمنیت در رسوبات رودخانه‌ای همچنین نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از سنگ مادر، میزان تمرکز افزایش پیدا می‌کند و در پایین‌دست به حداکثر مقدار خود می‌رسد. شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در اثر تخریب و هوازدگی سنگهای مادر گابرویی حاوی کانیهای تیتانیوم‌دار، و تمرکز و نهشته شدن آنها در بستر رودخانه جوگز بالا تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *پلاسرهای تیتانیوم‌دار، ایلمنیت، دره جوگز بالا، فنوج.*

مقدمه

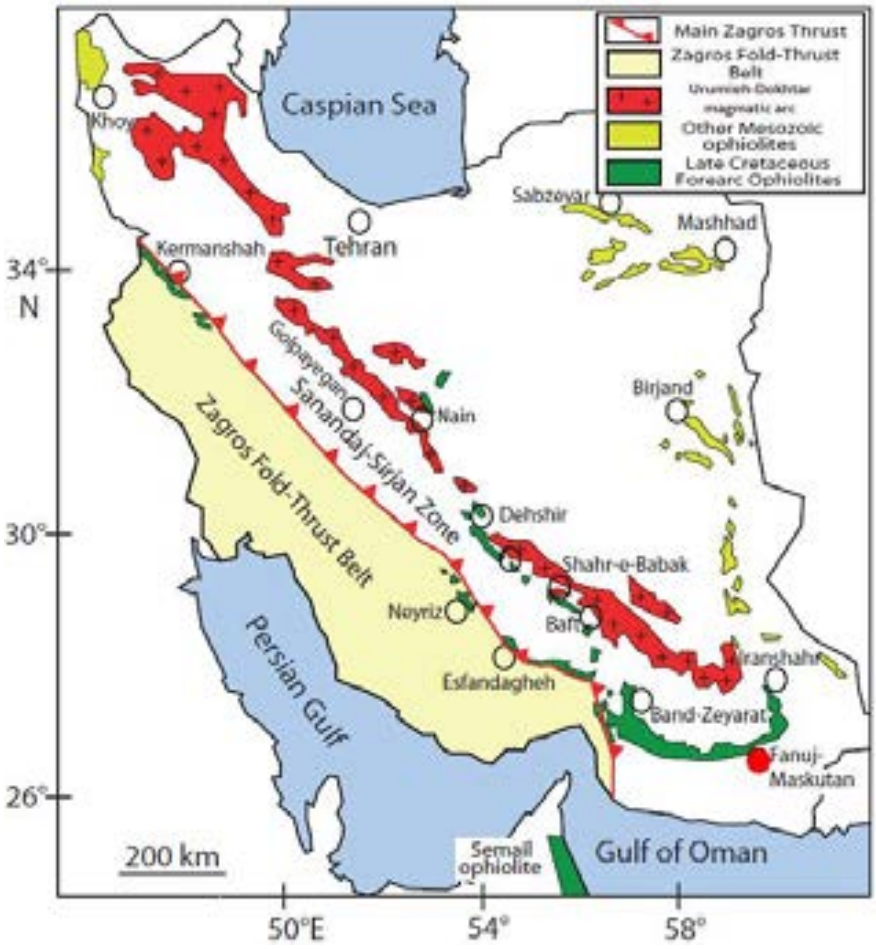
واژه پلاسر به نهشته‌های آواری با سن فانروزوئیک اطلاق می‌شود که دارای ارزش اقتصادی باشند (Garnet and Bassett, 2005). پلاسرها محصول چرخه‌های فرسایش و رسوب‌گذاری هستند و در نتیجه مجموعه‌ای از رخدادهای زمین‌شناختی تشکیل می‌شوند، که در طی یک دوره یا دوران زمین‌شناسی اتفاق می‌افتند. این چرخه با رخنمون و هوازدگی واحدهای سنگی کانه‌دار آغاز می‌شود و هوازدگی فیزیکی و شیمیایی به‌طور مجزا یا همزمان با هم، در تشکیل پلاسرها دخالت دارند (Garnet and Bassett, 2005; Patyk-Kara et al., 2001). اساس تشکیل کانسارهای پلاسری، فرآیند جدا شدن کانیهای سبک از کانیهای سنگین در حین رسوب‌گذاری است (Robb, 2005). بیشتر کانسارهای پلاسری متعلق به عهد حاضر هستند و از آن‌جا که در سطح زمین قرار دارند، ممکن است در اثر فرسایش از بین بروند. پلاسرها منابع مهمی برای سنگهای جواهری، فلزات قیمتی، کانیهای حاوی عناصر خاکی کمیاب، زیرکن و کانیهای تیتانیوم‌دار هستند (Morley, 1982; MacDonald, 1983; Williams, 1990; Rattigan and Stitt, 1990; Harben and Kuzvart, 1997). نهشته‌های پلاسری اغلب کم عیار هستند ولی با توجه به این‌که مواد سازنده آنها سست است به‌آسانی قابل معدن‌کاری می‌باشند (Guilbert and Park, 1997; Dill, 2010). فرسایش و هوازدگی سنگهای مافیک و اولترامافیک موجود در توالیهای افیولیتی که حاوی کانی‌سازی تیتانیوم هستند و نهشته‌شدن آنها در آب‌رفتهای پایین‌دست، می‌تواند موجب تشکیل پلاسرهای غنی از تیتانیوم شود

*مسؤول مکاتبات: sjmoghad@pnu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

(Dimanche and Bartholome, 1976). ایلمنیت در گروه کانیهای سنگین جای دارد که دارای وزن مخصوص حدود ۵ هستند و بیشتر در ماسه‌های طبیعی یافت می‌شوند (Laznicka, 2006). کانسار تیتانیوم کهنوج واقع در استان کرمان یکی از مهمترین ذخایر پلاسری شناخته شده تیتانیوم در ایران است (Kowsari et al., 1987) و منطقه اکتشافی فنوج نیز از ذخایر بالقوه تیتانیوم در ایران به‌شمار می‌رود.

محدوده اکتشافی تیتانیوم‌دار فنوج در محدوده جغرافیایی بین طولهای '۰۰ °۵۹ تا '۰۰ °۶۰ خاوری و عرضهای '۳۰ °۲۶ تا '۰۰ °۲۷ شمالی قرار دارد. این منطقه با وسعت تقریبی ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در بخش مرکزی رشته کوههای بشاگرد و جنوب گودال جازموریان در استان سیستان و بلوچستان واقع است و بخشی از پیکره افیولیتی فنوج - مسکوتان (رمشک) را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). کانسار تیتانیوم پلاسری فنوج که در طی اکتشافات سیستماتیک منطقه فنوج کشف شده است (Tadayon and Azarm, 1983) در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان فنوج از توابع نیک‌شهر در جنوب باختری استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. در مطالعات اکتشاف مقدماتی و نیمه تفصیلی صورت گرفته در منطقه (Yazdi, 2010) ناحیه دره جوگز بالا به‌عنوان پرعیارترین ناحیه کانی‌سازی تیتانیوم معرفی شده است که طی این تحقیق، زمین‌شناسی و نحوه تشکیل آن به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱. نقشه پراکندگی افیولیت‌های ایران و موقعیت جغرافیایی پیکره افیولیتی فنوج- مسکوتان (رمشک) در جنوب‌شرقی آن که با دایره قرمز توپر مشخص شده است (با تغییرات از (Shafaii Moghadam and Stern, 2011)).

Fig. 1. Simplified distribution map of ophiolites in Iran and geographic situation of Fanuj-Maskutan (Rameshk) ophiolite shown by solid red circle (modified after Shafaii Moghadam and Stern, 2011).

www.SID.ir

روش مطالعه

حدود ۷۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را رخنمون واحدهای سنگی و بقیه را رسوبات سطحی تشکیل می‌دهند. عملیات صحرایی به‌منظور شناسایی نواحی کانه‌دار طی دو مرحله به شرح زیر انجام شد: ۱) اکتشافات مقدماتی که طی آن ۴۰ نمونه از رسوبات سطحی برداشت و بعد از لاوک‌شویی، مطالعات کانی سنگین بر روی آنها انجام گردید. در این مرحله با توجه به بالا بودن میزان کانیهای مغناطیسی در بیشتر نمونه‌ها، فقط ۵ نمونه به روش برموفرم‌گیری و سایر نمونه‌ها به روش جداسازی مغناطیسی بررسی شدند. پس از مشخص‌شدن نمونه‌های غنی از تیتانیوم (سرشار از ایلمنیت)، ناحیه مناسب برای اکتشاف نیمه‌تفصیلی انتخاب گردید. در این مرحله نمونه‌برداری از رخنمونهای سنگی مختلف برای مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و تعیین منشأ کانی‌سازی تیتانیوم انجام گردید. ۲) اکتشافات نیمه‌تفصیلی که طی آن ۲۹ چاهک و ۹ ترانشه در مناطق امیدبخش با اعماق متفاوت از ۱ تا ۴ متر حفر گردید و ۶۱ نمونه نیز از این حفریات برای مطالعات کانی‌سنگین برداشت و آماده‌سازی شد. در این مرحله، تعداد ۱۵ نمونه از نمونه‌های برداشت‌شده که بیشترین میزان کانی‌سازی تیتانیوم را نشان می‌دادند، برای تعیین مقدار TiO_2 به‌روش شیمی تر (تیتراسیون) انتخاب گردیدند.

پس از اکتشافات مقدماتی و نیمه‌تفصیلی در منطقه فنوج که در آن کانی‌سازی پلاسری تیتانیوم به‌صورت ماسه‌های سیاه در ۴ محدوده یافت شد، ناحیه دره جوگز بالا به‌عنوان پرعیارترین ناحیه تیتانیوم‌دار در محدوده تیتانیوم‌دار مسکوتان در شرق چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ فنوج شناسایی گردید (شکل ۲). در این ناحیه با توجه به وجود ماسه‌های سیاه مشخص در بستر دره و افزایش مقدار ماسه‌های سیاه در سطح در مقایسه با نواحی دیگر، تعداد ۱۲ حلقه چاهک با عمق متوسط ۲ تا ۳ متر و ۵ فقره ترانشه با طولهای ۲ تا ۴ متر حفر گردید و در مجموع ۲۶ نمونه از چاهکها و ترانشه‌ها برای مطالعات کانی سنگین برداشت شد. موقعیت چاهکهای حفرشده در ناحیه دره جوگز بالا در شکل ۳ نشان داده شده است. دیواره چاهکها و ترانشه‌های اکتشافی روی زمین برداشت و با استفاده از نرم‌افزار لاگ‌پلات[1] ترسیم گردید. چاهکهای اکتشافی با آرایش تقریباً خطی و در طول دره جوگز بالا، در امتداد تقریباً شمالی- جنوبی حفر شدند (شکل ۳). مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری بر روی واحدهای سنگی احاطه کننده ناحیه دره جوگز بالا و همچنین ۴ نمونه از کانیهای سنگین رسوبات پلاسری دره جوگز بالا با استفاده از میکروسکپ پلاریزان انجام شد. همچنین برای مشخص شدن میزان غنی‌شدگی TiO_2 در نهشته‌های پلاسری منطقه مورد مطالعه، علاوه بر ۱۵ نمونه برداشت شده در مرحله اکتشافات نیمه‌تفصیلی، تعداد ۷ نمونه از نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده از دیواره چاهکها به روش تیتراسیون تجزیه شدند.

زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از یک پیکره افیولیتی به‌نام کمپلکس فنوج- مسکوتان (رمشک) است که در جنوب و جنوب خاوری دشت جازموریان قرار دارد (Arshadi and Mahdavi, 1987). در تقسیم‌بندی افیولیت‌های ایران، این مجموعه در افیولیت‌های پیرامون ریزقاره ایران مرکزی (Takin, 1972) و افیولیت‌های پیش‌کمان حوضه جازموریان (Shafaii Moghadam and Stern, 2011) به سن کرتاسه پسین قرار می‌گیرد. این مجموعه از نظر سنی با افیولیت‌های کرتاسه پسین زاگرس در غرب ایران و سایر نواحی هم‌ارز است (Shafaii Moghadam and Stern, 2011; Aghanabati, 2006). از نظر زمین‌شناختی و سنگ‌شناختی سه گروه واحد سنگی در منطقه قابل تشخیص است: ۱) مجموعه افیولیتی، ۲) سنگهای رسوبی- تخریبی و ۳) سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی برون‌زد شده در منطقه به سن پرمین و اوایل کرتاسه هستند و عمدتاً در کمپلکس آزاوا گسترش یافته‌اند. این کمپلکس شامل زون فلسی با روند شرقی- غربی است و یک برآمدگی از پوسته قاره‌ای محسوب می‌شود (Arshadi and Mahdavi, 1987). این کمپلکس مجموعه مرتفع و کشیده‌ای را در شمال مکران و حاشیه جنوبی فروافتادگی جازموریان می‌سازد و از آهک کم‌عمق کرتاسه همراه با رسوبات تخریبی، سنگهای آتشفشانی و دگرگونی تشکیل شده است (Arshadi and Mahdavi, 1987).

در منطقه مورد مطالعه، تمام بخشهای یک توالی افیولیتی کلاسیک قابل مشاهده است که از پایین به بالا شامل دپریدوتیت‌های تکتونیزه و انباشتی، گابروهای لایه‌ای و توده‌ای، دایک‌های ورقه‌ای دیابازی، بازالت‌های بالشی و

1. Logplot

Archive of SID

www.SID.ir

رسوبات پلاژیک می‌باشند. پریدوتیت‌ها گسترده‌ترین واحد تشکیل‌دهنده افیولیت‌ها هستند که در شمال‌غربی منطقه در کوه اگریچان و همچنین جنوب‌غربی منطقه در کوه شهریار برون‌زد دارند.

سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری توالی افیولیتی

همان‌طور که اشاره شد در منطقه مورد مطالعه تمام بخشهای یک توالی افیولیتی کلاسیک قابل مشاهده است. مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که به‌طور کلی دو نوع بافت انباشتی و تکتونیزه در پریدوتیت‌های منطقه وجود دارد.

پریدوتیت‌های انباشتی که دارای بافت انباشتی هستند شامل هارزبورژیت، دونیت، لرزولیت، ورلیت و پریدوتیت‌های پلاژیوکلازدار می‌باشند. پریدوتیت‌های تکتونیزه با وجود فابریک‌های دگرشکلی که شامل بافت تکتونیزه، دگرشکلی و برگ‌وارگی کانیهاست، شناخته می‌شوند (Adabi and Karimpour, 2002).

گابروهای لایه‌ای و توده‌ای که در شمال و شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شوند، شامل پریدوتیت‌های پلاژیوکلازدار تا گابروهای سرشار از پلاژیوکلاز و آنورتوزیت می‌باشند. گابروهای لایه‌ای دارای بافت انباشتی هستند و شامل پریدوتیت‌های پلاژیوکلازدار، تروکتولیت و الیوین گابرو می‌باشند (شکل ۴-A). گابروهای توده‌ای دارای بافت گرانولار درشت دانه هستند و عمدتاً از کانیهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۴-B). بلورهای زینومورف پلاژیوکلاز با ماکل مکرر و اندازه متوسط تا بزرگ، بیشتر زمینه سنگ را می‌سازند و به مقدار جزئی رسی و سریسیتی شده‌اند (شکل ۴-C). کانی‌سازی تیتانیوم عمدتاً در گابروهای لایه‌ای از نوع هورنبلند گابرو و الیوین گابرو به شکل کانی ایلمنیت مشاهده می‌شود (شکل ۵). گابروهای توده‌ای با شدت هوازدگی بالا و بافت گرانولار دانه‌درشت در تپه‌های کم‌ارتفاع اطراف روستای مسکوتان و شمال و شمال‌غرب منطقه فنوج به‌خوبی توسعه یافته است.

دایک‌های ورقه‌ای بیشتر از ۲۰ درصد افیولیت‌های منطقه را می‌سازند و منطقه بزرگی را در جنوب‌شرق و جنوب‌غرب مسکوتان و در امتداد راه مسکوتان- فنوج اشغال می‌کنند. این واحد به‌طور گسترده‌ای به مجموعه کانیهای رخساره شیست سبز شامل آلبیت، کلریت، اپیدوت، اکتینولیت و کربنات دگرسان شده است (Arshadi and Mahdavi, 1987). در بسیاری از نواحی، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی واقع در بالاترین بخش افیولیت‌ها را تغذیه نموده‌اند. بازالت‌های بالشی بالاترین بخش توالی افیولیتی منطقه را می‌سازند و تقریباً همه گدازه‌های بازالتی ترکیب تولئیتی دارند (Arshadi and Mahdavi, 1987).

بخشهای غربی و شمالی ناحیه دره جوگز بالا که پرعیارترین ناحیه کانی‌سازی تیتانیوم منطقه است، توسط واحدهای اولیوین گابرو و هورنبلند گابرویی (kper5/6) و بخش شرقی از واحد دولریتی (دیابازهای دگرسان‌شده) (kpedb) پوشیده شده است (شکل ۳). کانیهای سازنده این سنگها عمدتاً شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، الیوین، اکسید آهن و برخی کانیهای کدر هستند. بافت غالب این سنگها از نوع گرانولار تا انباشتی است. پلاژیوکلازهای درشت‌بلور و زینومورف که زمینه سنگ را می‌سازند، فراوان‌ترین کانی سنگ‌ساز هستند و به کانیهای رسی و سریسیت دگرسان می‌شوند (شکل ۴-C). کلینوپیروکسن‌ها با بافت پوئی‌کلیتیک به آمفیبول، ترمولیت و اکسیدهای آهن دگرسان می‌شوند (شکل ۴-D). الیوین به مقدار جزئی در بین بلورهای پلاژیوکلاز دیده می‌شود.

مطالعه مقاطع صیقلی نمونه‌های برداشت شده از واحدهای گابرویی (الیوین گابرو، هورنبلند گابرو و دولریت) پیرامون دره جوگز بالا، وجود کانی تیتانیوم‌دار ایلمنیت را تایید می‌کند (شکل ۵). ایلمنیت که با شدت بازتابش ضعیف، رنگ قهوه ای متمایل به صورتی، چندرنگی ضعیف ولی واضح و ناهمسانگردی قوی شناخته می‌شود (Moghaddasi, 2006) عمدتاً به‌صورت بلورهای زینومورف تا ساب‌اتومورف با ابعاد ۵ تا ۴۰۰ میکرون به‌شکل پراکنده در متن سنگ یافت می‌شود. با توجه به این‌که بخشهای غربی و شمالی ناحیه دره جوگز بالا توسط واحدهای گابرویی احاطه شده است و همچنین فراوانی کانیهای تیتانیوم‌دار در آن واحدها، می‌توان آنها را سنگ مادر کانی‌سازی تیتانیوم در منطقه دانست.

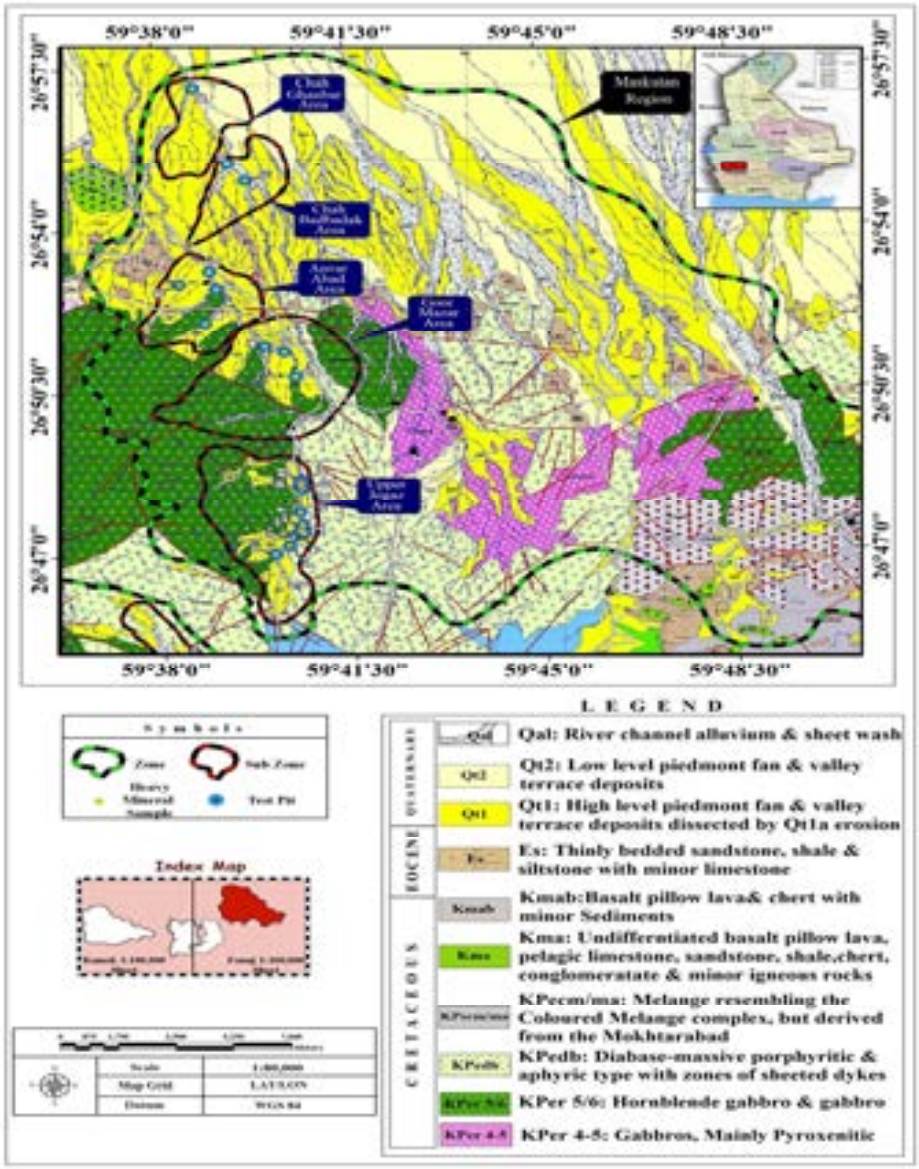
رخداد کانیهای تیتانیوم‌دار در نهشته‌های پلاسری

برای مطالعه نحوه رخداد نهشته‌های تیتانیوم‌دار در ناحیه دره جوگز بالا تعداد ۱۲ حلقه چاهک در رسوبات بستر رودخانه حفر گردید که از این تعداد، ۹ حلقه چاهک در محدوده‌های A و B (محدوده A در بالادست و محدوده B در پایین‌دست)

Archive of SID

www.SID.ir

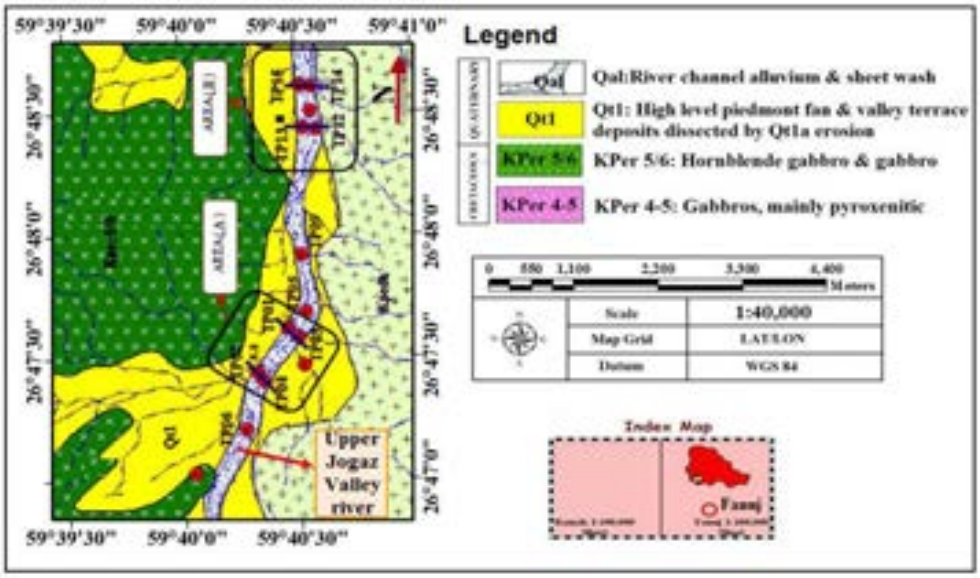
و ۳ حلقه چاهک در امتداد شمالی- جنوبی، در طول مسیر دره حفر گردید (شکل ۲). شکل ۶، تصویری از یک چاهک حفر شده در رسوبات آبرفتی ناحیه دره جوگز بالا را نشان می‌دهد. علاوه بر چاهکها، به منظور مشخص نمودن میزان غنی‌شدگی تیتانیوم در پادگانه‌های آبرفتی قدیمی دیواره دره جوگز بالا، تعداد ۵ ترانشه نیز حفر گردید. تعداد ۲۶ نمونه از ۱۲ حلقه چاهک و ۵ ترانشه حفر شده، برداشت گردید. فاصله متوسط چاهکهای شرقی- غربی که در بستر رودخانه دره جوگز بالا حفر شده‌اند، ۸۰ متر است. جدول ۱ مشخصات نمونه‌های برداشت شده از چاهکها و ترانشه‌های حفر شده در ناحیه دره جوگز بالا را نشان می‌دهد. شکل ۷ برش‌های عمودی ۶ چاهک منتخب از ناحیه دره جوگز بالا را به‌ترتیب از جنوب به شمال نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت ناحیه دره جوگز بالا در محدوده مسکوتان منطقه فنوج و چاهکهای حفر شده در آن. راهنما و جزئیات نقشه عیناً از نقشه زمین‌شناسی فنوج با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (Arshadi and Mahdavi, 1987) اقتباس شده است.

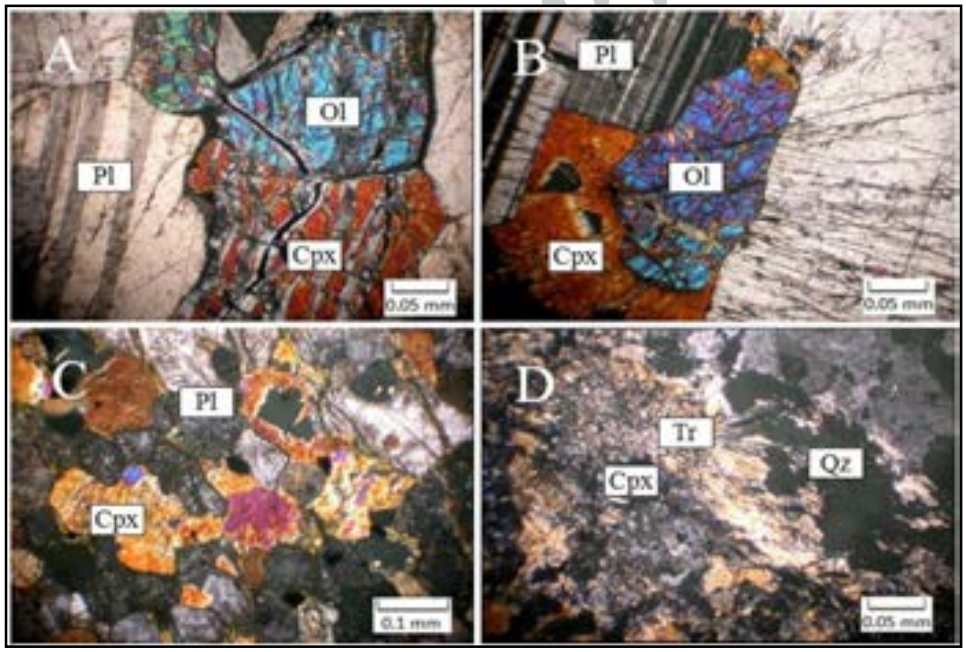
Fig. 2. Situation of Upper Jogaz Valley area at Maskutan region (Fanuj), including the location of exploration boreholes. Legend and the map details were adopted from 1:100000 geological map of Fanuj (Arshadi and Mahdavi, 1987).

www.SID.ir



شکل ۳. موقعیت محدوده‌های A و B و چاهک‌های حفر شده در بستر رودخانه دره جوگز بالا در منطقـه فنـوج. واحـد kper5/6 اولیـوین گـابرو و هورنبلند گابرو، و واحد kpedb دولریت (دیابازهای دگرسان شده) است.

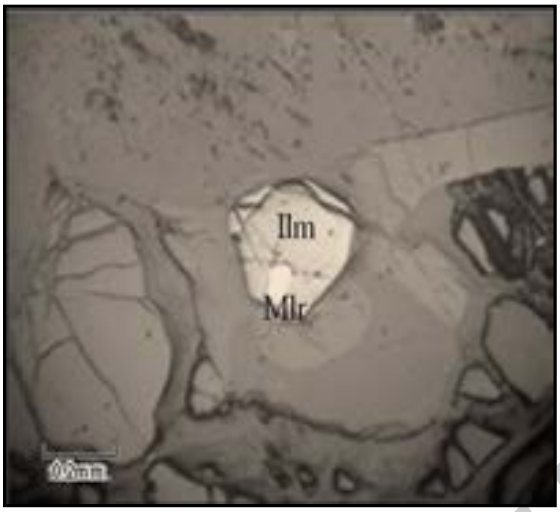
Fig. 3. Situation of A and B exploration areas and drilled boreholes in streambed of the Upper Jogaz Valley river in Fanuj area. kper5/6 is olivine- and hornblende- gabbro, and kpedb is dolerite.



شکل ۴. A: بافت انباشتی در گابروهای لایه‌ای منطقه فنوج، B: بلورهای زینومورف پلاژیوکلاز (Pl)، کلینوپیروکسن (Cpx) و الیوین (Ol) در واحد الیوین گابرویی منطقه فنوج، C: بلورهای زینومورف کلینوپیروکسن و پلاژیوکلازهای رسی و سریسیتی شده در گابروهای لایه‌ای منطقه فنـوج و D: کلینوپیروکسن ترمولیتی شده (Tr) و رگه‌چه کوارتزی (Qz) در واحد گابرویی منطقه فنوج (همـه تصـاویر در نـور عبـوری پلاریـزه متقـاطع تهیـه شده‌اند).

Fig. 4. A: Cumulate texture in the layered gabbros of Fanuj area, B: xenomorph crystals of plagioclase (Pl), clinopyroxene (Cpx) and olivine (Ol) in the olivine gabbro unit, C: xenomorph crystals of clinopyroxene and argilized- and sericitized- plagioclase in the layered gabbro unit, and D: tremolitized clinopyroxene (Tr) and quartz veinlet (Qz) in the gabbroic unit of Fanuj area (all photomicrographs are taken in cross polarized transmitted light, XPL).

www.SID.ir



شکل ۵. همراهی کانیهای ایلمنیت (Ilm) و میلریت (Mlr) در سنگ مادر الیوین گابرویی منطقه فنوج (نور پلاریزه انعکاسی ساده).

Fig. 5. Ilmenite (Ilm) and millerite (Mlr) intergrowth in the olivine gabbro source rock of the Fanuj area (plane polarized reflected light, PPL).

شکل ۶. تصویری از یک چاهک حفر شده (TP-04) در ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج و لایه‌های ماسه سیاه فوقانی آن.

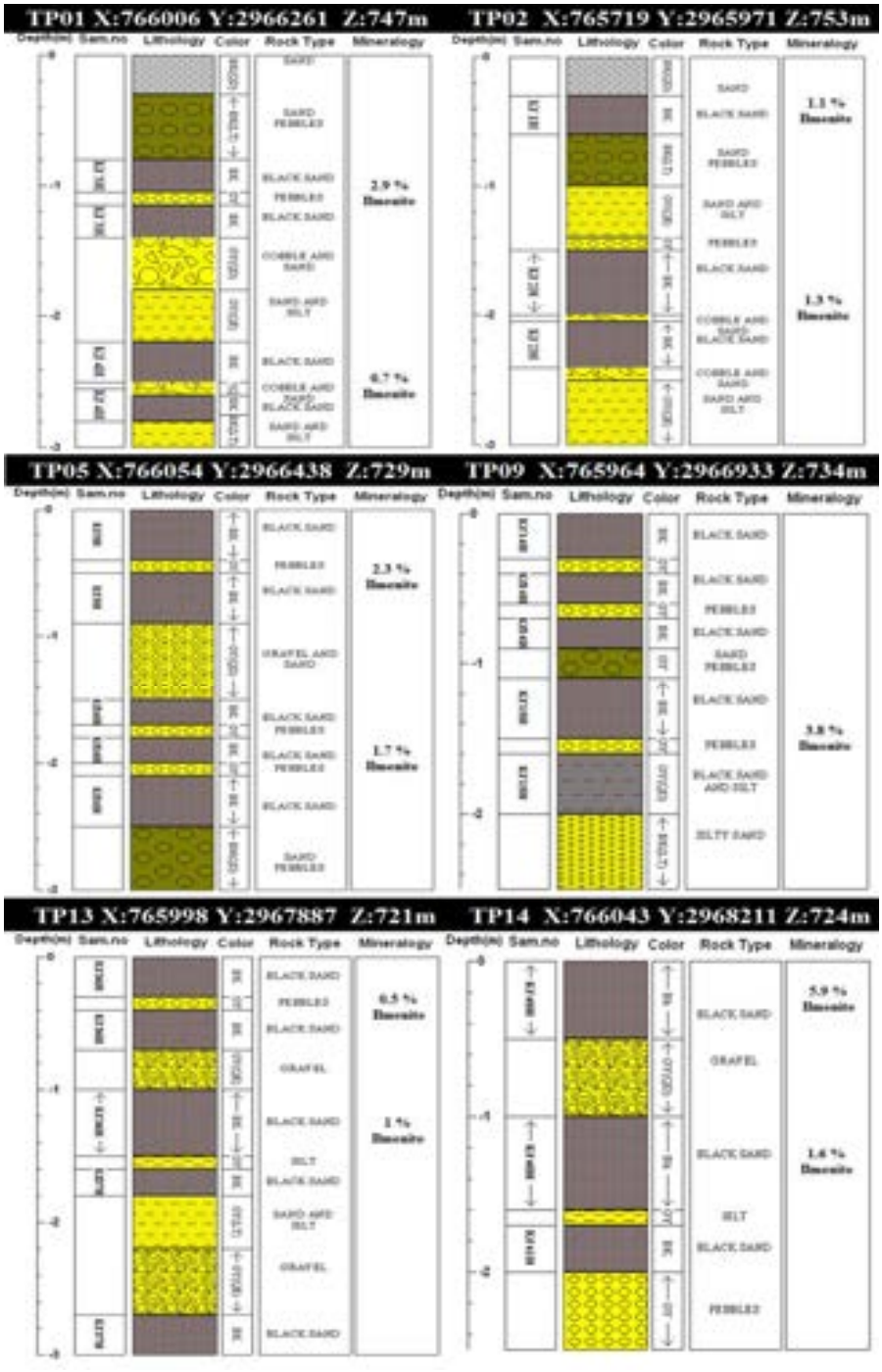
Fig. 6. View of a drilled borehole (TP-04) at the Upper Jogaz Valley area along with top layers of black sand.

بررسی چاهکها و ترانشه‌های حفر شده در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که شکل نهشته‌های پلاسری کانیهای تیتانیوم‌دار از شکل بستر رودخانه دره جوگز بالا تبعیت می‌کند. تمرکز کانیهای تیتانیوم‌دار عمدتاً در سه افق با ضخامت بین ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود (شکل ۷). میزان گسترش رسوبات پلاسری رودخانه‌ای در ناحیه دره جوگز بالا حدود ۰/۸ کیلومتر مربع برآورد می‌شود.

مطالعات کانی سنگین نشان داد که ترکیب کانی‌شناختی بخش سنگین آبرفتهای تیتانیوم‌دار دره جوگز بالا عمدتاً شامل ایلمنیت است (شکل ۸) و کانیهای تیتانومگنتیت، روتیل و اسفن نیز به‌صورت فرعی حضور دارند. ابعاد کانی ایلمنیت از حدود ۱۲۰ میکرون تا ۳ میلی‌متر متغیر بوده و به‌صورت دانه‌های نیمه‌زاویه‌دار تا گردشده با جورشدگی ضعیف مشاهده می‌شوند (شکل ۸-A و ۸-B). کانیهای پنتلاندیت، مگنتیت، کالکوپیریت و میلریت نیز به‌صورت ادخال و یا درهم‌رشدی با ایلمنیت مشاهده می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷. برشهای عمودی ۶ چاهک منتخب از ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج که در آن موقعیت (افقهای خاکستری رنگ) و عیار افقهای تیتانیوم‌دار مشخص شده است. موقعیت جغرافیایی چاهکها بر روی شکل ۳ نمایش داده شده است. شماره هر چاهک در بالای برش درج شده است.

Fig. 7. Lithological columns of six selected drilled boreholes from Upper Jogaz Valley area showing the situation (gray color horizones) and ore grades of titaniferous horizons. Location of exploration pits were indicated on figure 3. Borehole numbers are displayed above the columns.

www.SID.ir

برای بررسی چگونگی روند غنی‌شدگی پلاسرهای ناحیه دره جوگز بالا از کانی ایلمنیت و سایر کانیهای تیتانیوم‌دار، نتایج مطالعات کمی کانی سنگین و تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از چاهکهای حفر شده در امتداد بستر رودخانه دره جوگز بالا در امتداد جنوب- شمال مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲ و جدول ۱). بر همین اساس عیار کانیهای سنگین تیتانیوم‌دار شامل ایلمنیت، تیتانومگنتیت، روتیل و اسفن در هر نمونه به روش کمی (Azarm, 1985) اندازه‌گیری و نتایج آن با توجه به شماره چاهکها و فاصله آنها از سنگ منشأ واقع در بالادست رودخانه جوگز بالا در جدول ۱ مرتب گردید. چاهکها به ترتیب در فاصله ۱/۶، ۲/۲، ۲/۴، ۲/۹ و ۴/۲ کیلومتری از سنگ مادر قرار دارند. روند غنی‌شدگی کانیهای تیتانیوم‌دار در رسوبات آبرفتی با توجه به فاصله از سنگ مادر در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

با توجه به نمودار نشان داده شده در شکل ۹-A مقدار کانی ایلمنیت در فاصله ۱/۶ کیلومتری از سنگ مادر ۰/۹۵ درصد است. با افزایش فاصله از سنگ مادر روند غنی‌شدگی کانی ایلمنیت ادامه می‌یابد و در فاصله ۲/۴ کیلومتری از سنگ مادر به ۲/۲۰ درصد می‌رسد. اگر چه در فاصله ۲/۹ کیلومتری از سنگ مادر روند غنی‌شدگی ایلمنیت متوقف شده است، ولی با افزایش فاصله از سنگ مادر روند غنی‌شدگی کانی ایلمنیت ادامه پیدا می‌کند و در پایین‌دست، در محل چاهکهای شماره ۱۴ و ۱۵ که در فاصله ۴/۲ کیلومتری از سنگ مادر قرار دارند به ۳/۷۶ درصد می‌رسد. در نمودارهای مربوط به روند غنی‌شدگی تیتانومگنتیت، روتیل و اسفن (شکل ۹- B، C و D) نیز کم و بیش همین روند افزایشی دیده می‌شود و مقدار هر کدام از آنها در فاصله ۴/۲ کیلومتری از سنگ مادر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. انطباق بسیار خوب روند غنی‌شدگی ایلمنیت با روند غنی‌شدگی کانیهای سنگین دیگر مانند اسفن، روتیل و تیتانومگنتیت نشان از رفتار مشابه کانیهای تیتانیوم‌دار در محیط رسوبی دارد.

بر اساس داده‌های نشان داده شده در جدول ۱، عیار متوسط ایلمنیت برای تمامی نمونه‌های برداشت شده از چاهکها و ترانشه‌ها حدود ۲ درصد است. اگر عیار نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌های حفر شده در پادگانه‌های آبرفتی (Q^{t1} و Q^{t2}) از این میزان کسر گردد، عیار میانگین برای نمونه‌های برداشت شده از بستر رودخانه (Q^{al}) به حدود ۲/۵۷ درصد ایلمنیت افزایش می‌یابد. همچنین عیار میانگین برای محدوده A که در بالا دست رودخانه دره جوگز قرار گرفته است ۲/۳ درصد ایلمنیت و برای محدوده B که در پایین دست قرار دارد ۵/۰۶ درصد ایلمنیت محاسبه شده است (Yazdi, 2010).

فرآیندهای سازنده پلاسرهای تیتانیوم‌دار دره جوگز بالا

اساس تشکیل کانسارهای پلاسری بر فرآیندهایی استوار است که موجب جداشدن مواد سبک از کانیهای سنگین در حین رسوب‌گذاری می‌شوند (Robb, 2005). تجمع کانیهای سنگین در طبیعت در مقیاسهای مختلف اتفاق می‌افتد. تجمع کانیهای سنگین در محیط رودخانه، مانند آنچه در رودخانه جوگز بالا روی داده است، شامل عوارض متوسط تا کوچک مقیاس می‌باشد.

شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا (فنوج) در اثر تخریب و هوازدگی سنگهای گابرویی (الیوین گابرو و هورنبلند گابرو) حاوی کانه‌های تیتانیوم‌دار مانند ایلمنیت، و پرعیارشدن و نهشته‌شدن آنها در بستر رودخانه دره جوگز بالا تشکیل شده‌اند. افزایش عیار متوسط کانیهای تیتانیوم‌دار در چاهکهای واقع در پایین دست رودخانه دره جوگز بالا (جدول ۱ و شکل ۹) نشان می‌دهد که احتمالاً کاهش سرعت جریان آب در پایین دست رودخانه دره جوگز بالا نقش مهمی در پرعیارسازی پلاسر ایفا کرده است. روند غنی‌شدگی ایلمنیت و سایر کانیهای تیتانیوم‌دار مانند تیتانومگنتیت، اسفن و روتیل، کم و بیش یکسان است (شکل ۹) که نشان می‌دهد فرآیندهای تغلیظ کننده تیتانیوم بر همه کانیهای تیتانیوم‌دار یکسان عمل کرده و در پایین دست رودخانه دره جوگز بالا (در فاصله تقریبی ۴/۲ کیلومتری از سنگ مادر) بیشترین پرعیارسازی انجام شده است.

یولشتروم[1] به نقل از فریدمن و همکاران (Friedman et al., 1992) نشان داد که فرسایش، حمل و نقل، و رسوب‌گذاری در محیط رودخانه تابعی از سرعت جریان و اندازه دانه‌ها (یا هر دو) است. سازوکارهای جورشدگی هیدرولیکی را می‌توان به چهار گروه طبقه‌بندی کرد (Slingerland and Smith, 1986): ته‌نشست آزاد دانه‌ها، برداشتن و حمل‌کردن دانه‌ها از یک بار بستری دانه‌ای توسط جریان آب، برشی‌شدن دانه‌ها در یک بستر سیال در حال حرکت، و انتقال تفریقی دانه‌ها توسط جریان آب.

1. Ulstrom

Archive of SID

www.SID.ir

ته‌نشست ثقلی نقش مهمی در تشکیل پلاسرهای تیتانیوم‌دار دارد. تعادل هیدرولیکی می‌تواند سرعت ته‌نشست یکسان دانه-ها را توضیح دهد و منجر به تجمعات جورنشده کانیهای سنگین در یک رسوب دانه درشت مانند کنگلومرا شود. وجود نهشته‌های کم عیار و دانه‌های پراکنده از کانیهای سنگین در رسوبات دانه درشت رودخانه دره جوگز بالا را می‌توان به تعادل هیدرولیکی نسبت داد. اگر سرعت ته‌نشست دانه‌ها یکسان نباشد و ته‌نشست در یک محیط در حال جریان مانند رودخانه اتفاق افتد، کانیهای سنگین به‌صورت جانبی به سمت پایین دست رودخانه به‌عنوان تابعی از اندازه و چگالی از یکدیگر جدا می‌شوند. پرعیارشدن رسوبات بستر رودخانه دره جوگز بالا از کانیهای تیتانیوم‌دار در پایین دست را می‌توان به عملکرد این فرآیند مربوط دانست. میانگین عیار ایلمنیت در نمونه‌های بالادست رودخانه دره جوگز بالا (محدوده A) ۲/۳ درصد و در پایین‌دست (محدوده B) ۵/۰۶ درصد است.

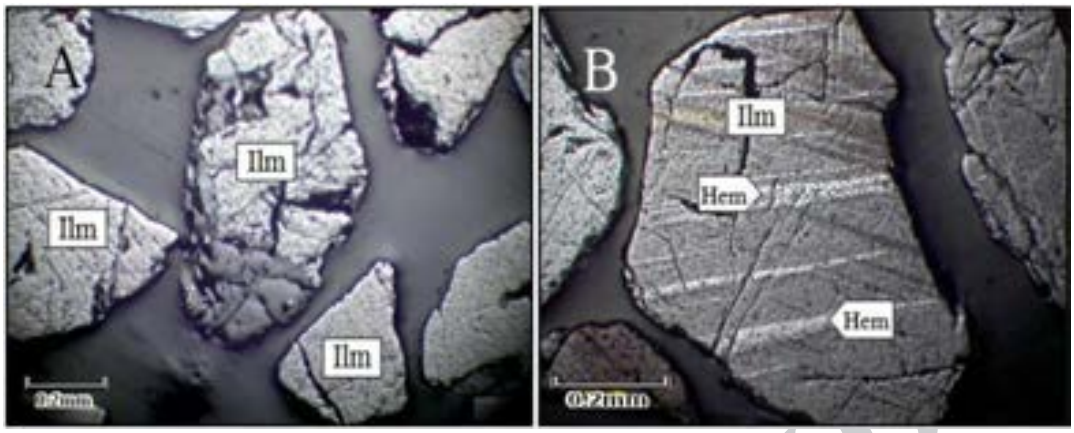
جدول ۱. مشخصات نمونه‌های برداشت شده از چاهکهای حفر شده در ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج و عیار متوسط ایلمنیت و سایر کانیهای تیتانیوم‌دار در آنها. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانی سنگین مربوط به چاهکهای حفر شده در بستر رودخانه جوگز بالا به روش تیتراسیون در ستون آخر (عیار TiO_2) درج شده است.

Table 1. Properties of collected samples from drilled boreholes in the Upper Jogaz Valley area and average grade of ilmenite and other Ti minerals in it. The result of geochemical analysis of heavy minerals from drilled boreholes in the Upper Jogaz Valley area was measured by titration method (TiO_2 grade) in end columns.

Borehole No.	Drilling depth (m)	Sample No.	Distance from source rock (km)	Concentration of ilmenite (%)	Average concentration of ilmenite (%)	Concentration of titanomagnetite (ppm)	Average concentration of titanomagnetite (ppm)	Concentration of rutile (ppm)	Average concentration of rutile (ppm)	Concentration of sphene (ppm)	Average concentration of sphene (ppm)	Concentration of TiO_2 (%)
TP-06	3.0	KF12H	1.2	11.59		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
		KF13H		2.05		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
TP-02	3.0	KF1H		1.14		40		1.66		5.48		n.d.
		KF2H	1.6	1.33	0.95	7787	2297	4.34	4.26	21.33	14.96	n.d.
TP-04	3.0	KF8H		1.12		1254		12.06		24.86		n.d.
		KF9H		0.21		108		0.99		8.18		n.d.
TP-01	3.0	KF3H		2.99		2157		12.82		10.57		12.76
		KF4H	2.2	0.67	1.39	59	1363	8.7	11.42	17.93	18.09	n.d.
TP-03	2.0	KF6H		0.88		729		9.69		19.98		n.d.
		KF7H		1.02		1507		14.49		23.9		n.d.
TP-05	3.0	KF5H	2.4	2.32	2.20	3423	3132	11.58	11.58	9.55	9.71	16.13
		KF16H		1.73		2841		0.0		9.87		n.d.
TP-09	2.5	KF14H	2.9	0.62	2.03	412	3266	3.02	1.76	24.88	18.25	n.d.
		KF15H		3.77		6120		0.5		11.62		13.64
TP-12	1.5	KF34H	3.9	1.39		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
		KF35H		2.53		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
TP-13	3.0	KF36H		0.58		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
		KF37H		1.01		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.
TP-14	2.5	KF40H	4.2	5.88	3.76	3950	4073	32.59	14.35	10.65	24.18	14.68
		KF41H		1.61		3744		9.25		64.58		n.d.
TP-15	2.5	KF42H		1.00		363		12.08		19.96		n.d.
		KF43H		6.60		8234		3.5		1.55		24.33

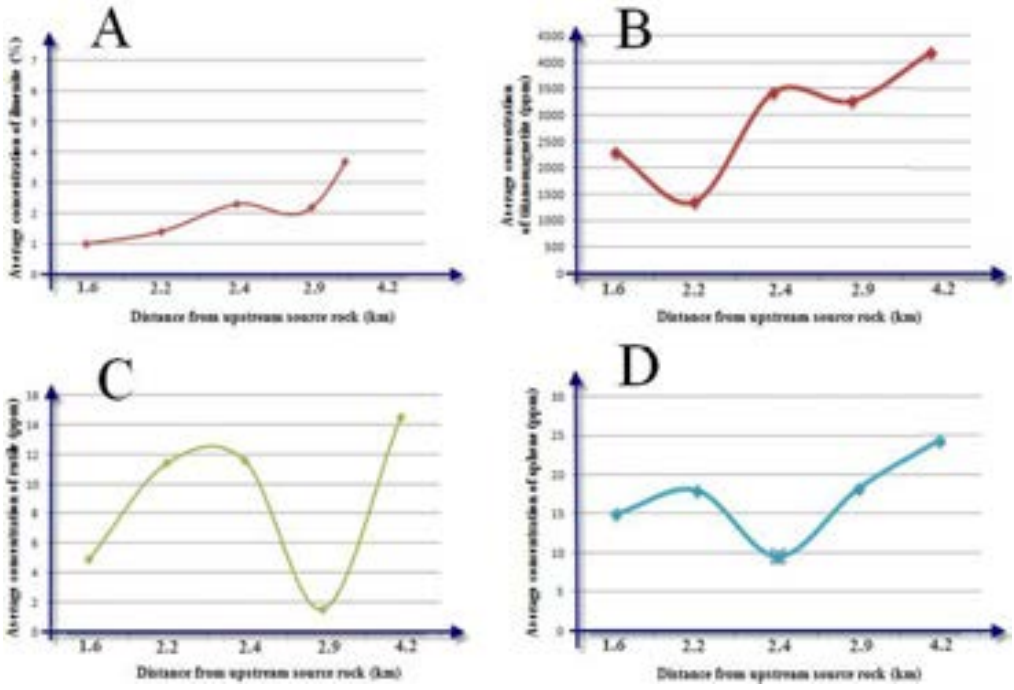
n.d.= not detected

www.SID.ir



شکل ۸. تصاویر میکروسکپی دانه‌های کانه ایلمنیت (Ilm) در بخش سنگین رسوبات تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در منطقه فنوج. A: بلورهای زاویه‌دار تا نیمه گرد شده کانه ایلمنیت در بخش سنگین و B: تشکیل تیغه‌های ناآمیختگی هماتیت (Hem) در کانه ایلمنیت (نور پلاریزه انعکاسی ساده).

Fig. 8. Photomicrograph of ilmenite (Ilm) grains from heavy part of the Upper Jogaz Valley titaniferous sediments. A: angular to semi-rounded grains of ilmenite, and B: formation of hematite exsolution lamellae (Hem) in ilmenite ore mineral (plane polarized reflected light, PPL).



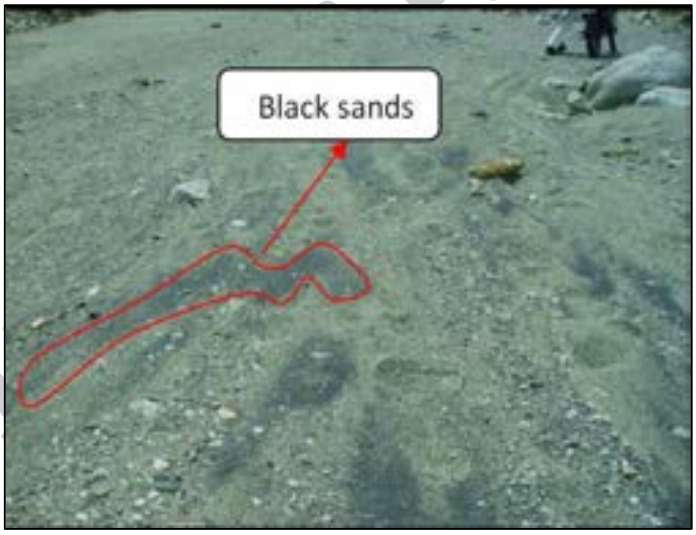
شکل ۹. روند غنی‌شدگی کانیهای تیتانیوم‌دار در بستر رودخانه دره جوگز بالا در مقابل فاصله از سنگ مادر واقع در بالا دست رودخانه. A: کانی ایلمنیت، B: کانی تیتانومگنتیت، C: کانی روتیل و D: کانی اسفن.

Fig. 9. Enrichment trend of titaniferous minerals in the Upper Jogaz Valley streambed versus distance away from the upstream source rock. A: ilmenite, B: titanomagnetite, C: rutile, and D: sphene.

www.SID.ir

توانایی یک سیال برای جابه‌جاکردن دانه‌های معین از یک بار بستری و حرکت آنها به سمت پایین دست را جورشدگی ناشی از برداشتن و حمل کردن گویند (Robb, 2005). اندازه ذرات و چگالی، عوامل کنترل اصلی در این فرآیند هستند. در یک لایه یا رسوب بستری، ذرات سبک‌تر (مانند دانه‌های پلاژیوکلاز) برداشته و حمل می‌شوند و در نتیجه ذرات سنگین را ترک کرده و غربال می‌شوند. این فرآیند موجب برجا ماندن تجمعات بازماندی و تشکیل لایه‌های نازک کانی سنگین در محیط رودخانه‌ای و یا لایه‌بندی مورب می‌شود. شکل ۱۰ لایه‌های سطحی نازک سرشار از کانیهای سنگین مانند ایلمنیت و تیتانومگنتیت (با چگالی متوسط بالاتر از ۴/۷gr/cm^3 (Klein and Dutrow, 2008)) در بستر رودخانه جوگز بالا را نشان می‌دهد که احتمالاً بر اثر عملکرد این فرآیند ایجاد شده‌اند. همچنین وجود نواربندی ظریف متشکل از لایه‌های متناوب سرشار از کانیهای سنگین و لایه‌های فاقد کانیهای سنگین (Dill and Ludwig, 2008) نشان از اهمیت این فرآیند در تشکیل پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا دارد. تمرکز کانیهای تیتانیوم‌دار در افقهای نسبتاً دانه‌درشت ماسه‌ای (شکل ۷) می‌تواند اهمیت جریانهای رودخانه‌ای را در تشکیل آنها نشان دهد (Dill and Ludwig, 2008).

جریان متمرکز ذرات معلق در بستری روان که با برخورد دانه‌ها به یکدیگر و ایجاد شبکه‌ای از نیرو عمود بر صفحه برشی همراه است (فرآیند جورشدگی برشی)، می‌تواند دانه‌ها (به‌ویژه دانه‌های بزرگ و چگال) را به سمت سطوح آزاد یعنی به طرف بالا هدایت کند (Robb, 2005). تغلیظ کانیهای سنگین در افقهای بالاتر از رسوبات بستری دانه‌ریزتر و سبک‌تر، مانند آنچه که در برداشتهای صحرایی از چاهک شماره ۱۳ (شکل ۷) مشاهده می‌شود، می‌تواند ناشی از عملکرد این فرآیند باشد. به این ترتیب پلاسرهای سرشار از کانیهای سنگین تیتانیوم‌دار روی رسوبات نسبتاً دانه ریزتر ماسه‌ای و سیلتی قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰. لایه‌های سطحی ماسه‌ای سیاه رنگ نازک سرشار از کانی سنگین (ایلمنیت) در بستر رودخانه دره جوگز بالا که احتمالاً بر اثر عملکرد فرآیند برداشتن و حمل کردن هیدرولیکی تشکیل شده‌اند.

Fig. 10. Superficial thin black sand layers enriched in heavy mineral (ilmenits) at the Upper Jogaz Valley streambed, which are probably formed by hydraulic entrainment process.

مقایسه پلاسرهای تیتانیوم‌دار دره جوگز با پلاسرهای تیتانیوم‌دار کهنوج

پلاسرهای تیتانیوم‌دار کهنوج که در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان کهنوج از توابع استان کرمان قرار دارند، در مجاورت مجموعه افیولیتی کهنوج تشکیل شده‌اند. پیکره اصلی این مجموعه افیولیتی شامل گابروهای لایه‌ای، گابروهای توده‌ای،

Archive of SID

www.SID.ir

دایک‌های ورقه‌ای و گدازه‌های بالشی است. رخدادهای فرسایشی دوران چهارم بر روی این مجموعه موجب شده است تا عیار کانی ایلمنیت در پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های دوران چهارم منطقه کهنوج به حدود ۸ تا ۱۰ درصد و در رسوبات رودخانه‌ای عهد حاضر به حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد برسد (Kowsari et al., 1987). ضخامت پادگانه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای بین ۲ تا ۱۰ متر متغیر است و در برخی نواحی به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. عیار متوسط اکسید تیتانیوم در پلاسرهای منطقه حدود ۳/۷ درصد، مساحت آن حدود ۳/۲ کیلومتر مربع و ذخیره احتمالی حدود ۴۴ میلیون تن برآورد می‌شود (Amadeh et al., 2000). از نظر خاستگاه، هر دو نهشته پلاسری دره جوگز بالا و کهنوج در افیولیت‌های پیش‌کمان حوضه جازموریان (Shafaii Moghadam and Stern, 2011) در شمال مکران قرار دارند و از نظر سنی با افیولیت‌های کرتاسه پسین زاگرس در غرب ایران هم ارز هستند (Shafaii Moghadam and Stern, 2011; Aghanabati, 2006). برخی از ویژگیهای مهم دو نهشته در جدول ۲ مقایسه شده است. اگرچه ارزیابی دقیقی از میزان ذخیره پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در دست نیست، ولی با توجه به گسترش و ضخامت قابل توجه نهشته‌های پلاسری کهنوج، به نظر می‌رسد میزان ذخیره تیتانیوم ناحیه دره جوگز بالا، بسیار کمتر از منطقه کهنوج باشد. درهرحال با انجام مطالعات تکمیلی در منطقه فنوج، احتمال یافتن ذخایر بزرگتر دور از انتظار نیست.

جدول ۲. مقایسه پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا و منطقه کهنوج بر اساس یافته‌های این پژوهش و (Kowsari et al., 1987; Yazdi, 2010; Amadeh et al., 2000).

Table 2. Comparison of titaniferous placer deposits between Upper Jogaz Valley area and Kahnouj region (this study and Kowsari et al., 1987; Yazdi, 2010; Amadeh et al., 2000).

Criteria	Upper Jogaz Valley Ti placers	Kahnuj Ti placer
Geological setting	Fore-arc ophiolites of Jazmurian basin	Fore-arc ophiolites of Jazmurian basin
Source rock	Hornblende- and olivine- gabbro	Gabbro (mainly olivine gabbro)
Major source rock-forming minerals	Plagioclase, olivine, clinopyroxene, amphibole	Plagioclase, clinopyroxene, olivine
Number of titaniferous horizons in exploration areas	2 to 3 horizons	5 to 10 horizons
Thickness of titaniferous horizons	0.3 -1 m	1-3 m
Thickness of placer deposits in exploration areas	1-4 m	2-10 m
Ti minerals in placer	Ilmenite, titanomagnetite, rutile, sphene	Ilmenite, titanomagnetite, rutile, sphene
Other ore minerals	Magnetite, pentlandite, pyrite, chalcopyrite, covelite, milerite, iron	Magnetite, pentlandite, pyrite, malachite, iron oxide and hydroxide
Average concentration of ilmenite in placer deposit	3.7%	5.3%
Average content of TiO_2 in placer deposit	2.57%	3.7%
Approximate extent of placer deposit	0.8 km^2	3.2 km^2

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

اکتشافات مقدماتی و نیمه‌تفصیلی در منطقه فنوج که در آن کانی‌سازی پلاسری تیتانیوم به‌صورت ماسه‌های سیاه یافت می‌شود، نشان می‌دهد که ناحیه دره جوگز بالا، پرعیارترین ناحیه تیتانیوم‌دار در منطقه فنوج را تشکیل می‌دهد. مطالعات زمین‌شناسی عمومی منطقه و همچنین سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت شده نشان می‌دهد که سنگ مادر پلاسرهای تیتانیوم‌دار دره جوگز بالا، واحدهای هورنبلند گابرو و الیوین گابرو هستند که خود بخشی از کمپلکس افیولیتی فنوج- رمشک می‌باشند. از نظر کانی‌شناختی، کانیهای اصلی سازنده این سنگها شامل پلاژیوکلازهای دگرسان‌شده، کلینوپیروکسن، الیوین و آمفیبول است. ایلمنیت عمدتاً به‌صورت بلورهای زینومورف تا ساب‌اتومورف به‌شکل پراکنده در متن واحدهای سنگی ذکرشده یافت می‌شود.

بررسی چاهکها و ترانشه‌های حفر شده در منطقه نشان می‌دهد که شکل نهشته‌های پلاسری کانیهای تیتانیوم‌دار از شکل بستر رودخانه دره جوگز بالا تبعیت می‌کند و تمرکز این کانیها عمدتاً در سه افق با ضخامتی بین ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر روی داده است. میزان گسترش رسوبات پلاسری در ناحیه مورد مطالعه حدود ۰/۸ کیلومتر مربع برآورد می‌شود. مطالعات کانی سنگین نشان می‌دهد که ترکیب کانی‌شناسی بخش سنگین رسوبات تیتانیوم‌دار دره جوگز بالا عمدتاً شامل ایلمنیت است و کانی‌های تیتانومگنتیت، روتیل و اسفن نیز به مقدار جزئی حضور دارند. بررسی میزان غنی‌شدگی کانی ایلمنیت در رسوبات رودخانه‌ای همچنین نشان می‌دهد که با افزایش فاصله ازسنگ مادر، میزان غنی‌شدگی افزایش پیدا می‌کند و در پایین دست به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که پلاسرهای تیتانیوم‌دار ناحیه دره جوگز بالا در اثر تخریب و هوازدگی سنگهای گابرویی حاوی کانه‌های تیتانیوم‌دار مانند ایلمنیت، و تمرکز و نهشته‌شدن آنها در بستر رودخانه جوگز بالا تشکیل شده‌اند. وجود نهشته‌های کم عیار و دانه‌های پراکنده کانیهای سنگین در رسوبات دانه درشت رودخانه دره جوگز بالا را می‌توان به فرآیند تعادل هیدرولیکی نسبت داد. جورشدگی ناشی از برداشتن و حمل کردن می‌تواند موجب تشکیل لایه‌های سطحی نازک سرشار از کانی سنگین (ایلمنیت) در بستر رودخانه دره جوگز بالا شود. همچنین قرار گرفتن پلاسرهای سرشار از کانی‌های سنگین تیتانیوم‌دار روی رسوبات نسبتاً دانه ریزتر ماسه‌ای و سیلتی در دره جوگز بالا را می‌توان به عملکرد فرآیند جورشدگی برشی نسبت داد.

قدردانی

این مقاله مستخرج از پژوهشی است که با حمایت مالی دانشگاه پیام نور انجام شده است. لذا از تمامی افرادی که به نحوی در تصویب و اجرای آن نقش داشته‌اند تشکر می‌شود. همچنین این پژوهش از حمایت شرکت مهندسین مشاور کان ایران برخوردار بوده است، که بدین‌وسیله از مدیر عامل و کارشناسان محترم آن شرکت صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

Adabi, M.H. and Karimpour, M.H., 2002. Nomenclature and comprehensive classification of sedimentary, igneous and metamorphic rocks. Ferdowsi University publication, Mashhad, 272 pp. (in Persian)

Aghanabati, A., 2006. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp. (in Persian)

Amadeh, A.A., Paydar, M.H., Ataei, A., Emami, M. and Vaghar, R., 2000. Upgrading of ilmenite and titanomagnetite concentrates of Kahnuj ore by Slag-making method. Journal of the college of engineering, 34(3): 35-43. (in Persian with English abstract)

Arshadi, S. and Mahdavi, M.A., 1987. Geological map of the Fanuj quadrangle, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.

Azarm, F., 1985. Study and evaluation of heavy minerals. Geological Survey of Iran, Tehran, 55 pp. (in Persian)

Dill, H.G., 2010. The chessboard classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Earth-Science Reviews, 100(1-4): 1-420.

Dill, H.G. and Ludwig, R.R., 2008. Geomorphological-sedimentological studies of landform types and modern placer deposits in the savanna (southern Malawi). Ore Geology Reviews, 33(3): 411-434.

Archive of SID

www.SID.ir

Dimanche, F. and Bartholome, P., 1976. The alteration of ilmenite in sediments. Minerals Science and Engineering, 6(3): 187-200.

Friedman, G.M., Sanders, J.E. and Kopaska-Merkel, D.C., 1992. Principles of sedimentary deposits, stratigraphy and sedimentology. Macmillan, New York, 717 pp.

Garnet, R.H.T. and Bassett, N.C., 2005. Placer deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), Economic Geology 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists. Littleton, Colorado, pp. 813-843.

Guilbert, J.M. and Park, Jr.C.F., 1997. The geology of ore deposits. Freeman and Company, New York, 985 pp.

Harben, P.W. and Kuzvart, M., 1997. Industrial minerals: A global geology. Industrial Minerals Information Limited, London, 462 pp.

Klein, C. and Dutrow, B., 2008. Manual of mineral science. John Wiley & Sons, New York, 716 pp.

Kowsari, S., Alavi Naeini, M., Azarm, F. and Rezvani, B., 1987. Detailed exploration report of Kahnuj titanium deposit. Geological Survey of Iran, Tehran, 250 pp. (in Persian)

Laznicka, P., 2006. Giant metallic deposits: future sources of industrial metals. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 732 pp.

MacDonald, E.H., 1983. Alluvial mining, the geology, technology and economic of placers. Chapman and Hall, London-,New York, 508 pp.

Moghaddasi, S.J., 2006. Principle of mineralography. Payame Noor University publication, Tehran, 224 pp. (in Persian)

Morley, I.W., 1982. Black sands: A history of the mineral sand mining industry in eastern Australia. University of Queensland Press, Australia, 278 pp.

Patyk-Kara, N.G., Gorelikova, N.V., Bardeeva, E.G. and Shevelev, A.G., 2001. Mineralogy of placers: Modern approaches and solutions. Lithology and Mineral Resources, 36(5): 393-405.

Rattigan, J.H. and Stitt, P.H., 1990. Heavy minerals. In: K.R. Glasson and J.H. Rattigan (Editors), Geological aspects of the discovery of some important mineral deposits in Australia. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 369–378.

Robb, L.J., 2005. Introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing, United Kingdom, 373 pp.

Shafaii Moghadam, H. and Stern, R.J., 2011. Late Cretaceous forearc ophiolites of Iran. Island Arc, 20(1): 1-4.

Slingerland, R. and Smith, N.D., 1986. Occurrence and formation of Water-Laid placers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 14(1): 133-147.

Tadayon, A. and Azarm, F., 1983. Systematic exploration of the Taham quadrangle, scale 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran, 116 pp. (in Persian)

Takin, M ., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. Nature, 235(5334): 147-150.

Williams, V.A., 1990. WIM 150 detrital heavy mineral deposit. In: F.E. Hughes (Editor), Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 1609–1614.

Yazdi, J., 2010. Economic geology of Fanuj titaniferous placer deposit (southwest of Zahedan) and its comparison with Kahnuj titanium placer (Kerman). Unpublished master's thesis, Payame Noor University, Tabriz, Iran, 236 pp. (in Persian with English abstract)

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Economic Geology
Vol. 7, No. 2 (2015-2016)
ISSN 2008-7306

مجله زمین‌شناسی اقتصادی
جلد ۷، شماره ۲ (سال ۱۳۹۴)
صفحات ۱۵ و ۱۶

Geology and formation of titaniferous placer deposits in Upper Jogaz Valley area, Fanuj, Sistan and Baluchestan province, Iran

Seyed Javad Moghaddasi* and Javad Yazdi

Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Submitted: Nov. 16, 2013
Accepted: Oct. 27, 2014

Keywords: *Titaniferous placer, ilmenite, Upper Jogaz Valley, Fanuj*

Introduction

The Fanuj titaniferous placer deposits are located 35 km northwest of the Fanuj, Sistan and Baluchestan province (1) . The studied area comprises a (2) small part of the late Cretaceous Fanuj-Maskutan (Rameshk) ophiolite complex (Arshadi and Mahdavi, 1987). Reconnaissance and comprehensive exploration programs in the Fanuj district (East of the 1:100000 Fanuj quadrangle map,Yazdi, 2010) revealed that the Upper Jogaz Valley area has the highest concentration of titaniferous placer deposits. In this study, geology and formation of the titaniferous placer deposits in Upper Jogaz Valley area are discussed.

Materials and Methods

(3) Forty samples were collected from surface and drainage sediments to evaluate the potential for titaniferous placers. Mineralogical studies indicated the high Ti (ilmenite bearing) areas, which led to detailed exploration by 29 shallow drill holes and 9 trenches. A total of 61 sub-surface samples were collected for heavy mineral studies and ore grade determination.

The exploration studies suggest that the the Upper Jogaz Valley area in the Fanuj district has a high potential for titaniferous placer deposits. Extensive exposures of black sands in the sreambeds of this area suggested detailed sampling, so that 12 holes were drilled (2-3 m depth)from which 26 samples were collected, and five trenches were excavated to 2-4 m depth (4). The distribution of drill holes and trenches were plotted with "Logplot" software for further interpretation. Twenty-two samples from these drill holes were analyzed for TiO_2.

Results

The reconnaissance and comprehensive exploration in Fanuj district shows that the Upper Jogaz Valley area has the highest concentration of titaniferous placer deposits. The general geology of the region and petrology and mineralogy of collected samples suggest that the source rock of the Upper Jogaz Valley titaniferous placers is the hornblende- and olivine-gabbro unit of the Fanuj-Ramesh ophiolites.

The Ti-rich sediment distribution in drill holes and trenches indicates that the titaniferous placers are distributed in an area of about 0.8 km^2 and follow the Upper Jogaz river system. The titaniferous placers are concentrated mainly in three beds with thicknesses of 30 to 100 cm. The study of heavy minerals shows that ilmenite is the main ore mineral and titanomagnetite, rutile and sphene are present as trace minerals. The ilmenite concentration varies in the Upper Jogaz Valley fluvial sediments, in which the concentration of ilmenite generally increases away from source rock to reach a maximum concentration downstream.

The geological evidence indicates that the titaniferous placers were deposited as a fluvial placer and originated from weathering and erosion of ilmenite-rich gabbros. The presence of low-grade deposits and sparse heavy minerals in the Upper Jogaz river coarse sediments is probably related to hydraulic equilibrium (Robb, 2005). Entrainment sorting created thin layers of heavy minerals (i.e., ilmenite) on the Upper Jogaz streambed. The occurrence of Ti-rich layers in fine sand and silt beds is probably due to shear sorting.

(5)The ophiolite sequence is well exposed in the study area. This sequence is composed of

Archive of SID

www.SID.ir

*Corresponding authors Email: sjmoghad@pnu.ac.ir

cumulative peridotites, layered and massive gabbros, diabasic sheeted dikes, basaltic pillow lavas and pelagic sediments. The layered gabbros were the main source of the ilmenite Ti mineralization. The highest concentration of Ti was observed in the eastern and northern parts of Upper Jogaz Valley area, which are mainly covered by olivine- and hornblende-gabbros (6). The western part of the area is covered by an unaltered diabase unit. The study of several polished sections from the Upper Jogaz Valley gabbros shows ilmenite as the main Ti-bearing mineral with anhedral to subhedral crystals 5 to 400 microns in size.

The drill hole and trench data suggest that the deposits follow the morphology of the present-day Upper Jogaz river. The Ti placer beds accumulated over an area of 0.8 km^2 with 2.3 % and 5.06% ilmenite in Upper Jogaz Valley upstream and downstream consequently.

The study of heavy minerals shows that ilmenite is the main heavy mineral in the Upper Jogaz Valley sediments with 120µ to 3 mm, semi-angular to rounded grains with weak sorting. Titanomagnetite, rutile and sphene are present as accessory minerals. Pentlandite, magnetite, chalchopyrite and millerite are also observed as intergrowths or inclusions in ilmenite.

Conclusions

The investigation of ilmenite concentration in fluvial sediments of the Upper Jogaz deposit represents a gradual increase of ilmenite concentration away from the source rock. Titanomagnetite, sphene and rutile have similar enrichment patterns to ilmenite. This suggests that all Ti-bearing minerals had a similar behavior in the Upper Jogaz Valley fluvial system.

The geological and petrographic evidence suggests that the origin of the Upper Jogaz Valley placer is the weatherlng of the Ti-rich gabbros. The higher concentration of ilmenite in the lower part of the valley is probably caused by the lower water energy and flow downstream. The mechanisms of hydraulic sorting (Slingerland and Smith, 1986), such as free settling of grains, entrainment of grains from a granular bed load by flowing water and shear sorting of grains in a moving fluidized bed were important in the enrichment of titaniferous placers in the downstream sediments.

References

Arshadi, S. and Mahdavi, M.A., 1987. Geological map of the Fanuj quadrangle, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.

Robb, L.J., 2005. Introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing, United Kingdom, 373 pp.

Slingerland, R. and Smith, N.D., 1986. Occurrence and formation of Water-Laid placers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 14(1): 133-147.

Yazdi, J., 2010. Economic geology of Fanuj titaniferous placer deposit (southwest of Zahedan) and its comparison with Kahnuj titanium placer (Kerman). Unpublished master's thesis, Payame Noor University, Tabriz, Iran, 236 pp. (in Persian with English abstract)

Archive of SID

www.SID.ir