کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی کانسار منگنز زرشلو میانه، شمال غرب ایران

سیدجواد مرسلی[1]* محمدرضا حسین‌زاده[2]، محسن موید[2]، امین‌اله کمالی[3] ، محمد فداییان[4]

[1] دانشکده‌ی طراحی صنعتی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.
[2] گروه علوم زمین، دانشکده‌ی علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران.
[3] پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، گروه باستان‌سنجی و علوم طبیعی.
[4] دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
تاریخ تنظیم مقاله (۱۴۰۳/۰۷/۰۱)
E-Mail address: sjmgeo@yahoo.com

چکیده

کانسار منگنز زرشلو در شمال روستای زرشلو و ۴۰ کیلومتری جنوب‌غرب میانه، در استان آذربایجان‌شرقی قرار دارد. این محدوده بخشی از زون زمین‌ساختی البرز-آذربایجان است. واحدهای سنگی اصلی منطقه مربوط به دوره الیگوسن-میوسن بوده و شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت بازالتی و ایگنمبریت‌ها هستند. کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، پیروکسن و الیوین هستند که بافت هیالو میکرولیتی پورفیریک تا میکرولیتی پورفیریک دارند. کانی‌های اصلی کانسار شامل پیرولوسیت و منگانیت بوده و کانی‌های فرعی همچون باریت، سیلیس و کلسیت نیز در آن وجود دارند. بافت‌های متنوعی مانند گل‌کلمی، کلیه‌ای، دندریتی، نواربندی متحدالمرکز و رشد کروی پیزولیتی در این کانسار مشاهده می‌شود. کانسار زرشلو در یک زون برشی گسلی و در داخل سنگ‌های میزبان آندزیت بازالتی شکل گرفته است. رگه اصلی کانسنگ منگنز با راستای شمالی-جنوبی و طول حدود ۱۵۰ متر امتداد یافته است. سنگ‌ها در این منطقه به شدت برشی شده‌اند. ماده معدنی به‌صورت رگه‌های نامنظم با شیب تقریباً قائم وجود دارد که به دلیل سختی و پایداری در برابر هوازدگی، به‌طور برجسته قابل مشاهده است. شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که کانی‌سازی منگنز در ارتباط با سیالات گرمابی بوده و به‌صورت توده‌ای و سیمان پرکننده فضاهای خالی بین قطعات برشی با بافت‌های کلیه‌ای و گل‌کلمی دیده می‌شود. عیار متوسط منگنز در کانسنگ زرشلو برابر ٪۴۸ است.

واژه‌های کلیدی: کانی شناسی، آندزیت بازالت، منگنز، پیرولوسیت، منگانیت، زرشلو ، میانه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

Mineralogy, Petrology, and Geochemistry of the Zarshlo Manganese Deposit, Miyaneh, Northwest Iran

Seyed Javad Morsli[1*],Mohammadreza Hosseinzadeh[2],Mohsen Moayyed[2],Amin Allah Kamali[3] ,Mohammad Fadaeian[4]

[1]Faculty of Industrial Design, Tabriz Islamic Art University, Iran.
[2]Department of Geology, University of Tabriz, Tabriz 51664, Iran.
[3]Research Center for Conservation of Culture Relics (RCCCR), Research Institute of Cultural Heritage & Tourism, Tehran, Iran; a.kamali@richt.ir
[4]Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran. m_fadaeyan@pnu.ac.ir
Correspondence: sjmgeo@yahoo.com

Abstract

The Zarshloo manganese deposit is situated approximately 40 kilometers southwest of Mianeh city, in the northwestern part of Azerbaijan province, Iran. This region is tectonically located within the Alborz-Azerbaijan zone. The dominant lithology in the area consists of Oligocene-Miocene volcanic rocks, predominantly basaltic andesites and ignimbrites. These volcanic rocks exhibit a porphyritic to microlitic porphyritic texture, with phenocrysts of plagioclase, hornblende, pyroxene, and olivine. The principal ore minerals are pyrolusite and manganite, accompanied by minor barite, silica, and calcite. A variety of textures, including cauliflower, kidney, dendritic, concentric banding, and pisolitic growth, are observed in the deposit. The Zarshloo deposit is hosted within a fault-shear zone and is primarily confined to basaltic andesite. The main manganese orebody strikes north-south and extends for approximately 150 meters. The rocks in the area exhibit significant shearing. The ore mineral occurs as irregular veins with a nearly vertical dip, and is readily visible due to its hardness and resistance to weathering. Geochemical evidence suggests that the manganese mineralization is related to hydrothermal fluids, forming as massive and fracture-filling veins with kidney and cauliflower textures. The average grade of manganese in the Zarshloo ore is 48%.

Keywords: Mineralogy, Andesitic basalt, Manganese, Pyrolusite, Manganite, Zarshlu, Mianeh

مقدمه

با توجه به نیاز فراوان صنایع مختلف و از جمله صنایع فولاد کشور به منگنز و کافی نبودن ذخایر و منابع شناخته شده‌ی فعلی، کاوش برای یافتن منابع جدید امری اجتناب ناپذیر است. ذخایر منگنز بر پایه فرآیندهای موثر تشکیل، سرعت ته نشینی، سنگ میزبان و خصوصیات زمین‌شناسی کانسنگ به ذخایر گرمابی، آب آزاد، دیاژنزی و زیست زادی طبقه بندی می شوند[1,2]. ذخایر منگنز گرمابی در نتیجه ته نشینی منگنز از محلول‌های گرمابی در موقعیت های مختلف ساختاری مانند محیط‌های دریایی تا کمربندهای ماگمایی در ارتباط با فرورانش تشکیل میشوند. ذخایر آب زاد از ته نشینی منگنز از آب دریا به دور از محیط‌های آتشفشانی تشکیل می‌شوند[3]. کشور ایران سرزمینی است که ذخایر فلزی و غیرفلزی بسیار متنوعی دارد. از میان تمام این مواد معدنی می‌توان منگنز را از لحاظ میزان ذخایر، فراوانی و ارزش اقتصادی جزو مهم‌ترین مواد معدنی کشور به حساب آورد. در ایران بیش

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

از ۴۰ کانسار منگنز(ونارچ قم، رباط کریم، سبزوار، مروست، باغ قره ...) و چندین نقطه با پتانسیل بالای منگنز در واحدهای مختلف زمین‌شناسی از کامبرین آغازین تا میوسن – پلیوسن گزارش شده است [4]. مطالعات متعددی در مورد ذخایر منگنز در ایران توسط محققین مختلف انجام گرفته است[5-9]، ولی تاکنون بررسی و مطالعه جامعی در مورد کانسار منگنز زرشلو انجام نگرفته است. هدف از این پژوهش، تعیین مدل کانه‌زایی و نحوه تشکیل کانسار منگنز بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، بافت و ساخت می‌باشد که می‌تواند در جهت اکتشاف و بهره‌برداری معادن منگنز در سایر نقاط کشور مفید باشد.

زمین‌شناسی عمومی

محدوده‌ی مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی، شهرستان میانه، شمال روستای زرشلو و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ″۴۰ ′۱۸ °۴۷ تا ″۱۳ ′۱۸ °۴۷ شرقی و عرض‌های جغرافیائی ″۴۵ ′۱۷ °۳۷ تا ″۲۴ ′۱۸ °۳۷ شمالی و در ۳۹ کیلومتری جنوب‌غرب میانه واقع شده است (شکل ۱). براساس تقسیم‌بندی زمین‌شناسی و ساختمانی ایران توسط نبوی [10]، این محدوده بخشی از زون البرز – آذربایجان است، که در نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ هشترود[11] واقع شده است. با توجه به نقشه ترسیم‌شده ۱:۲۰۰۰۰ منطقه[11]، واحدهای سنگ‌چینه‌ای تشکیل‌دهنده منطقه شامل مجموعه‌ای از پیروکلاستیک‌ها، لایه‌های ماسه‌سنگی توفی تیره رنگ، کنگلومرا، برش‌های ولکانیکی و گدازه‌های بازیک تا متوسط (با ترکیب آندزیت، آندزیت-بازالتی، تراکی آندزیت و بازالت) است. این واحدها گسترشی فراگیر دارند و به سن الیگومیوسن-میوسن تعلق دارند (شکل ۲). واحد آندزیت بازالتی (Mb) بیشترین رخنمون را در منطقه دارند که کانه زایی منگنز دار آن رخ داده است(شکل۳-الف تا ث). آهک‌های رسیفی، مارن، گچ و نمک (M_1L) بخشی از سازند قم است که بخش کوچکی از آن در منطقه برونزد دارد. واحد کنگلومرا و مولاس (M_1C) که بخشی از سازند معادل تشکیلات قرمز بالایی است، به صورت همشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار دارد. در قاعده دارای ماسه‌سنگ ژیپس‌دار و قرمز تیره رنگ با شیل و سیلتستون است که سپس ماسه‌سنگ‌های حفره‌دار روی آن قرار می‌گیرند. کنگلومرا و ماسه‌سنگ (M_2C) دیگر واحد سنگی منطقه است که بخشی از کمپلکس آتشفشانی- رسوبی سهند بوده و گسترش نسبتاً زیادی دارد. این واحد را سنگ‌های آذرآواری تشکیل داده و رسوبات پیروکلاستیک به طور متناوب با کنگلومرا قرار دارند. این واحد به پیکر جریان گدازه بازیک (الیوین بازالت) (Na)و حفره دار است و قطر حفره‌های آن گاهی به چند ۱۰ متر میلی‌متر میرسد. در کوه مولو، چراغ مردان و شرق آبادی کیسجین، رخنمون‌هایی مشاهده می‌شود که از نظر سنی به دوره کواترنر تعلق دارند. این جریان به صورت ناهمساز بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته و در نهایت با رسوبات آبرفتی(Qt) ، که شامل رسوبات جوان رودخانه‌ای است، پوشیده می‌شود. رگه‌های منگنز موجود در منطقه زرشلو شیبی تقریباً قائم دارند و بیشترین تعداد رگه‌ها در راستای شمالی-جنوبی قرار گرفته‌اند. این رگه‌ها با ضخامت قابل‌توجه، مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین بخش کانسار را تشکیل می‌دهند. شواهدی همچون آینه‌گسلی رگه‌های منگنز و شکستگی‌های شدید آنها نشان می‌دهند که تکتونیک منطقه پس از تشکیل کانسار منگنز نیز فعال بوده است. با توجه به اطلاعات موجود درباره تکتونیک منطقه آذربایجان، ناحیه میانه-هشترود، مشاهدات صحرایی

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

در محدوده مورد مطالعه و همچنین گزارش‌های متعدد در رابطه با ارتباط ماگماتیسم و کانه‌زایی با تکتونیک، تکتونوماگماتیسم منطقه به اختصار بررسی شده است. مطالعات ناحیه‌ای نشان داده‌اند که در این ناحیه یک سیستم گسلی راست‌گرد فعال است که از جمله می‌توان به گسل‌های راست‌گرد قرانقوچای و حسین‌خان-کلب‌کندی اشاره کرد. تحت تأثیر این سیستم، شکستگی‌های متعددی ایجاد شده‌اند. در این سیستم، تقریباً تمامی گسل‌های موجود از نوع راست‌گرد بوده و راستای شکستگی‌ها عمدتاً شرقی-غربی است. در طی فعالیت این گسل‌ها، بازشدگی‌های قابل‌توجهی عمود بر راستای آنها مشاهده شده است. در مواردی که دو گسل راست‌گرد یا چپ‌گرد پایانه‌هایشان با یکدیگر همپوشانی داشته باشند، بخش میان این دو گسل تحت کشش قرار گرفته و ساختار Pull-apart ایجاد می‌شود [12]. نتیجه این‌که فعالیت محیط تراکششی در منطقه تحت تأثیر فعالیت گسل راست‌گرد تبریز و گسل‌های راست‌گرد فرعی و موازی آن در منطقه هشترود بوده است. این فعالیت با ایجاد شکستگی‌های عمود بر گسله‌ها از چند جهت در تشکیل کانسار منگنز زرشلو مؤثر بوده، شرایط را برای تولید و حرکت سیال‌های گرمابی حاوی فلزات تسهیل کرده و در نهایت مسیرهایی برای نشست و نفوذ سیالات جوی و سطحی در مرحله سوپرژن فراهم نموده است.

روش‌ها

پس از مطالعات اولیه به‌منظور آشنایی با سنگ‌شناسی منطقه و مطالعهٔ شیمی کانسنگ منگنز، بررسی‌های صحرایی انجام شد، ۷۰ نمونه دستی برای مطالعات آزمایشگاهی و تهیه مقاطع میکروسکوپی و همچنین انجام تجزیه‌های شیمیایی جمع‌آوری گردید. از این تعداد حدود ۸ مقطع نازک و ۷ صیقلی توسط سنگبری دانشگاه تبریز تهیه شد و پس از مطالعات میکروسکوپی، ۸ عدد از نمونه‌های تقریباً سالم (۴ عدد نمونه از سنگ‌های آندزیت‌بازالتی و ۴ نمونه از کانسنگ منگنز) برای آنالیز عناصر فرعی به روش ICP-MS انتخاب و توسط شرکت زرآزما به آزمایشگاه شرکت Lab West استرالیا ارسال گردید (جدول۱).

پتروگرافی

نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) و مطالعات صحرایی نشان می‌دهد که در منطقه زرشلو، بخش اعظم منطقه از سنگ‌های آتشفشانی آندزیت بازالتی و نهشته‌های ایگنمبریتی تشکیل شده است. با توجه به حضور سنگ‌های آذرین در این منطقه و به منظور تعیین ارتباط آن‌ها با منشأ منگنز، این سنگ‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

آندزیت‌های بازالتی

این واحد اصلی‌ترین و گسترده‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های این واحد، میزبان اصلی کانی‌سازی منگنز می‌باشند (شکل۳-الف). این سنگ‌ها از نظر ماکروسکوپی متراکم و سخت بوده و به طور عمده به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند. رنگ قرمز این آندزیت‌های بازالتی می‌تواند ناشی از اکسیداسیون کانی‌های آهن‌دار فراوان موجود در آن باشد که به مقدار زیاد در آن حضور دارند. سن

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

این واحد به الیگومیوسن نسبت داده شده است[11]. منگنز به همراه باطله‌هایی مانند باریت و سیلیس در کنار آندزیت‌های بازالتی تشکیل شده است (شکل۳-ب). بلورهای درشت پلاژیوکلاز با چشم غیر مسلح قابل مشاهده‌اند (شکل۳-پ).

کانیهای تشکیل دهند این سنگ شامل پلاژیوکلاز،هورنبلند، پیروکسن و الیوین است. پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار فراوان‌ترین درشت بلور سنگ‌های آندزیت بازالتی می‌باشد که هم به صورت فنوکریست و هم به شکل ریز بلور در زمینه وجود دارد. پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای ریز و درشت با بافت غربالی و ساخت منطقه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۴-الف و ب). علت تشکیل این بافت، کاهش سریع فشار (صعود سریع ماگما) و یا تغییرات فشار بخار آب ماگما است[13]. دگرسانی در پلاژیوکلازها در برخی نمونه‌ها سبب تشکیل سریسیت و کانی‌های رسی شده است. هورنبلند به همراه پلاژیوکلازها به صورت منشورهای کشیده‌ی شکل‌دار و نیمه شکل‌دار و در برخی موارد به صورت بی‌شکل و در اندازه‌ی متوسط دیده می‌شود (شکل۴-پ). مقدار این کانی در برخی مقاطع به ۱۰ - ۵ درصد حجمی نیز می‌رسد. همچنین بافت گلومروپورفیریک ناشی از تجمع این کانی مشاهده می‌شود. پیروکسن به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می شود. در خمیره نیز پلاژیوکلازهایی مشاهده می‌شود که آرایش ضربدری داشته و پیروکسن‌ها فضای بین آن‌ها را پر کرده‌اند (شکل۴-ت).کانی الیوین چند وجهی و گرد شده بوده و به صورت بلورهای کوچک دگرسان نیز دیده می‌شوند(شکل۴-ث). الیوین اغلب ایدنگزیتیه شده که در نتیجه دگرسانی دما بالا می‌باشد[14]. قابل ذکر است که غالباً الیوین‌های غنی از آهن (فایالیت) به ایدنگزیت تبدیل می‌شوند (شکل۴-ج).

زمینه‌ی این سنگ‌ها شیشه‌ای تا میکرولیتی بوده و فواصل میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، توسط کانی‌های پیروکسن، الیوین و اکسید آهن پر شده است. این سنگ‌ها دارای بافت هیالو میکرولیتی پورفیریک تا میکرولیتی پورفیریک می‌باشند. عمده‌ترین کانی‌های تیره در این سنگ‌ها اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشند که به صورت فنوکریست و نیز به صورت ریز دانه در متن سنگ پراکنده‌اند. کانی‌های تیره در این سنگ‌ها به صورت بلورهای شکل‌دار تا بی شکل در تمام نمونه‌ها دیده می‌شود. کانی‌های تیره حدود ۲ درصدِ حجمی مقاطع مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. برخی از این کانی‌ها از دگرسانی کانی‌های فرومنیزین به وجود آمده و در اطراف این کانی‌ها تمرکز یافته‌اند.

ایگنمبریت

واحد ایگنمبریتی که در مطالعات صحرایی در کانسار زرشلو شناسایی شده است، در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ هشترود ذکر نشده است. این واحد با رخنمون‌های قابل توجه خود، بخشی از توالی سنگی منطقه را تشکیل داده و به سن میوسن می‌باشند[11] . در بخشی از منطقه‌ی مورد مطالعه فرسایش پوست پیازی مشاهده شده است. این فرسایش به دو صورت فیزیکی و شیمیایی ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد که هوازدگی پوست پیازی منطقه‌ی زرشلو بیشتر تحت تأثیر عوامل فیزیکی می‌باشد تا عوامل شیمیایی (شکل۳-پ). قسمت اعظم ایگنمبریت‌های منطقه از خاکسترهاي شیشه‌اي به هم چسبیده تشکیل شده است. در این سنگ‌ها اکثراً تجمعی از اکسیدهای آهن و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

کانی‌های ثانویه‌ای همچون کانی‌های رسی نیز دیده می‌شود. در برخی از مناطق زینولیت‌های درشت بلور و خرد شده در زمینه‌ی خاکسترهای شیشه‌ای قابل مشاهده است (شکل۳-ب).

مینرالوگرافی کانسنگ منگنز منطقه‌ی مورد مطالعه

ماده‌ی معدنی منگنز به صورت رگه‌ای با شیب تقریباً قائم است که به علت سختی و پایداری در برابر هوازدگی، کاملاً برجسته و بر جای مانده است. رنگ رگه‌ها از قرمز جگری و قهوه‌ای (آهن فراوان) تا سیاه تغییر می‌کند. بیشتر دنباله‌ی رگه‌ها در روی زمین قابل تشخیص نیست(شکل۳-الف). با توجه به اینکه برخی رگه‌ها به موازات گسل ها با امتداد ۶۰ درجه هستند گمان می‌رود که کانی‌سازی در منطقه با با این گسل‌ها در ارتباط بوده است. با توجه به روند مشخص رگه‌های منگنز چنین استنباط می‌شود که این کانی‌سازی در درون شکافی از قبل موجود انجام شده که پس از تجمع منگنز مجدداً چندین بار خود رگه نیز در اثر تکتونیک فعال منطقه شکسته و تغییراتی در مسیر آن ایجاد شده است. مطلب مهمی که در منطقه قابل مشاهده است، سختی زیاد رگه‌ی منگنز، خلوص بالا و پایین بودن میزان کانی‌های باطله در آن است. این ویژگی‌ها به وضوح نشان‌دهنده‌ی این موضوع هستند که رگه‌ی منگنز تحت فرآیند گرمابی هیپوژن تشکیل شده است. زیرا یک سیال گرمابی حاصل از ماگمای نفوذی می‌تواند این حجم از اکسید منگنز را بدون آمیخته کردن با رسوبات سطحی در داخل رگه رسوب دهد. در کانسار منگنز زرشلو دو کانه‌ی مهم منگنز شامل پیرولوسیت و منگانیت و دو کانی مهم باطله شامل سیلیس و باریت مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. کانی پیرولوسیت به‌عنوان فراوان‌ترین کانه منگنز در منطقه شناخته می‌شود و رنگ آن از زرد متمایل به خاکستری تا زرد متمایل به قهوه‌ای متغیر است. این کانی دارای رخ نامنظم تا کمی منظم، چندرنگی ضعیف و انیزوتروپی بسیار قوی است که آن را به‌راحتی از سایر کانی‌های منگنز متمایز می‌کند. بر اساس شواهد صحرایی موجود، می‌توان پیرولوسیت را به‌عنوان یک کانی اولیه (گرمابی هیپوژن) در نظر گرفت. این کانی به‌صورت رگه و رگچه‌های با ضخامت‌های متفاوت در منطقه حضور دارد. فراوانی پیرولوسیت (۸۰٪ <) را می‌توان در میزان بالای محتوای منگنز در سیال گرمابی منشأ گرفته از یک توده‌ی نفوذی غنی از آن دانست که با فشار در داخل شکستگی‌های منطقه تزریق شده و به علت تغییر در شرایط فیزیکوشیمیایی در آن رسوب کرده است (شکل۵-الف). منگانیت بعد از پیرولوسیت فراوان‌ترین کانی موجود در کانسار منگنز زرشلو می‌باشد. این کانی با رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به قهوه‌ای، داشتن رخ مشخص، انیزوتروپی قوی از سایر کانی‌های منگنز تشخیص داده می‌شود. بافت منگانیت در کانسار زرشلو نسبتاً متنوع است. این کانی اساساً به صورت تجمعات پلی‌کریستالین و گاه سیمان بین قطعات برشی مشاهده می‌شود. رایج‌ترین بافت آن توده‌ای متشکل از بلورهای نیمه شکلدار می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که در منطقه‌ی زرشلو، منگانیت ثانویه می‌باشد. این کانی پس از تشکیل کانسار به دلیل تغییر شرایط محیطی خصوصاً افزایش فوگاسیته اکسیژن و تأثیر محلول‌های سوپرژن، جانشین کانی پیرولوسیت شده است(شکل۵-ب و پ).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

در کانسنگ منگنز زرشلو به طور کلی بافت‌های گل‌کلمی، کلیه‌ای، دندریتی، نواربندی متحدالمرکز و رشد کروی پیزولیتی به وفور مشاهده می‌شوند. این کانه‌ها همچنین به صورت بلورهای تیغه‌ای کوچک و نیز بلورهای سوزنی قابل مشاهده می‌باشند. بافت گل‌کلمی مشاهده شده در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی منگنز معمولاً نتیجه ته‌نشست از محلول‌ها می‌باشد(شکل۶-الف و ب). بافت دندریتی منگنز بر روی سطح شکستگی برخی از سنگ‌های منطقه، قابل مشاهده می‌باشند که این بافت نشانه‌ی ثانویه بودن آن‌ها است (شکل۶-پ).

باریت به صورت رگه‌های با ضخامت و طول ناچیز در محدوده‌ی کانسار منگنز زرشلو در داخل واحد کانه‌دار و گسل‌ها به همراه کوارتز و کلسیت دیده می‌شود. از لحاظ پاراژنتیکی، این باریت‌ها احتمالاً از دو نسل هستند. باریت نسل اول همزمان با تشکیل رگه‌های منگنز توسط سیال حامل منگنز حمل و نهشته شده است (شکل۵-ث). باریت نسل دوم که بیشتر در فضاهای خالی و شکستگی‌های رگه‌های منگنز تشکیل شده و احتمالاً نتیجه دو عامل است یکی تحول کانی به نام رومنشیت یا پسیلوملان (دارای ۱۶/۵ درصد BaO) به پیرولوسیت که در حین این تحول مقدار قابل توجهی باریم آزاد می‌شود و این باریم در شرایط سطحی قادر به تشکیل رگه‌های باریت است[15] و دیگری تأثیر فرآیندهای سوپرژن و انحلال باریت‌های اولیه و رسوب در فضاهای خالی و شکستگی‌ها می‌باشد.

در این کانسار، سنگ‌های آتش‌فشانی میزبان ماده‌ی معدنی در قرار گرفته و این سنگ‌ها در ترکیب خود مقادیر قابل توجهی سیلیس دارند. تحت تأثیر فرآیندهای مختلف و از جمله فرآیندهای هیپوژن (سیال گرمابی) و سوپرژن، مقداری سیلیس وارد رگه‌های منگنز شده و با کانسنگ همراه می‌شود. همچنین سیلیس را می‌توان به عنوان یک باطله‌ی مضر قلمداد نمود که افزایش میزان آن از ارزش کانسنگ می‌کاهد. برخی از مقاطع میکروسکوپی بلورهای کوارتز بر روی باریت‌ها تشکیل شده است که نشان از تشکیل آن‌ها بعد از باریت‌ها می‌باشد (شکل۵-ت). اکسیدهای آهن، نظیر هماتیت و گوتیت از دیگر کانی‌های باطله هستند که در کانسنگ منگنز زرشلو به چشم می‌خورند. همچنین بلورهایی از کلسیت هم در مقاطع مشاهده می‌شوند که از نظر مقدار، کم اهمیت‌ترین کانی‌های باطله می‌باشند (شکل۵-ج).

پاراژنز

بر مبنای مطالعات انجام شده در منطقه، نمونه‌های دستی و مشاهدات میکروسکوپی می‌توان توالی زیر را برای تشکیل کانی‌های موجود در واحد کانه‌دار و رگه‌های منگنز کانسار زرشلو تشخیص داد (شکل ۷). کانی پیرولوسیت احتمالاً اولین کانی است که در سیر تحولات کانسار به وجود آمده است. پیرولوسیت در محدوده‌ی وسیعتری از تحولات کانسار تشکیل شده است. در منطقه‌ی مطالعاتی زرشلو، پیرولوسیت در یک مرحله (گرمابی هیپوژن) تشکیل شده است. کانی منگانیت به عنوان کانی ثانویه، در اثر افزایش فوگاسیته اکسیژن و تأثیر محلول‌های سوپرژن آبدار از پیرولوسیت تشکیل شده است (مرحله‌ی سوپرژن). در نهایت سیلیس تحت تأثیر فرآیندهای مختلف و از جمله فرآیندهای هیپوژن و سوپرژن، به حالت محلول درآمده و در داخل حفرات و شکستگی رگه‌های منگنز ته نشین شده است.

ژئوشیمی

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

برای مطالعات ژئوشیمی ۷ نمونه با کمترین دگرسانی از سنگ‌های آندزیت‌بازالتی و کانسنگ منگنز به روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند. نسبت Mn/Fe در نهشته‌های گرمابی کمتر از ۰/۱ تا بیشتر از ۱۰ متغیر است. این در حالی است که همین نسبت برای نهشته‌های آبزاد برابر ۱ می‌باشد[16]. مقادیر بالا و پایین نسبت‌های Mn/Fe نشانگر تفریق شدید این دو عنصر در محیط‌های رسوبی است[17]. در کانسارهای منگنز گرمابی این نسبت (Mn/Fe) ممکن است به بالاتر از ۴۰ نیز برسد[18]، درحالی که در کانسارهای منگنز غنی از آهن این نسبت ممکن است زیر ۰/۵ باشد[19]. میانگین نسبت Mn/Fe در کانسنگ منگنز زرشلو حدوداً برابر ۲۵ می‌باشد. این نسبت بالامی‌تواند نشانگر نهشت منگنز از سیال‌های گرمابی باشد. در واقع نهشت آهن پیش از منگنز از این سیال‌ها به صورت جداگانه، می‌تواند مسئول نسبت بالای Mn/Fe باشد[20].

درکانسنگ منگنز زرشلو میانگین اورانیوم و توریم به ترتیب ۴/۸ ppm و ۰/۱۵ ppm بوده و نسبت U/Th برابر با ۳۲ می‌باشد. بعضی محققین از نسبت‌های U و Th به عنوان شاخصی برای تشخیص نهشته شدن سریع این عناصر در طی فرآیندهای گرمابی و یا فرآیندهای حاصل از ورود رسوبات آواری به حوضه رسوبی استفاده میکنند. نسبت‌های بالای U/Th می‌تواند نشانگر نهشت این عناصر از سیالات گرمابی و تأثیر کمتر مواد آواری باشد[21]. در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز بالا بودن این نسبت، نشان می‌دهد که فرآیندهای گرمابی هیپوژن در تشکیل کانسار منگنز زرشلو نسبت به فرآیند سوپرژن غالب بوده است.

در شکل۸-الف که بیشتر برای کانسارهای غنی از آهن به کار می‌رود و به گفته [22] در مورد کانسارهای غنی از منگنز فقط جای آهن و منگنز در نمودار عوض می‌شود. نمونه‌های مربوط به کانسار زرشلو در قسمت گرمابی قرار گرفته و به دلیل داشتن منگنزِ بیشتر نسبت به آهن از قطب Fe فاصله گرفته‌اند. مقادیر نسبتاً بالای Ti در کانسارهای منگنز می‌تواند بیانگر آمیختگی با مواد آواری در مدت رسوبگذاری باشد. از آنجایی که هر دو عنصر Ti و Al منشأ خاکزاد دارند، همبستگی بسیار خوب و مثبت این دو عنصر در یک کانسار می‌تواند بیانگر منشأ خاکزاد برای آن کانسار باشد[23]. بنابراین در کانسارهای گرمابی زیر دریایی، مقادیر کم Ti با تجمع پایین Al منطبق است. در نمونه‌های مربوط به کانسار زرشلو این مقادیر کم می‌باشد که نشان دهنده‌ی عدم اختلاط مواد آواری در مدت رسوبگذاری کانسنگ منگنز باشد. همین دلیل اثبات کننده‌ی تأثیرگذاری فرآیند گرمابی هیپوژن در تشکیل کانسار منگنز زرشلو می‌باشد(شکل۸-ب). مجموع غلظت عناصر Co، Ni و Cu در مقایسه با Fe و Mn می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های تفکیک انواع نهشته‌های منگنز به کار رود. کانسارهای گرمابی نسبت به انواع آبزاد دارای مقادیر کمتری عناصر کمیاب می‌باشند. اکسیدهای آبدار منگنز و آهن به عنوان عوامل روبشی می‌توانند عناصر فوق را در خود متمرکز کنند[24]. فقر شدید این گروه از عناصر در نهشته‌های منگنز تیغه میان اقیانوسی اطلس که دارای نرخ رسوبگذاری بالایی است نیز قابل مشاهده است. در نمودار سه متغیره $10 \times (Ni + Co + Cu) - Mn - Fe$ یافته‌های مربوط به نمونه‌های کانسنگ منگنز زرشلو، در محدوده‌ی گرمابی قرار می‌گیرند(شکل۸-پ) [17,25]. در شکل۸-ت سیالات حمل کننده‌ی منگنز از عناصری مانند Zn, Pb, Mo, Cu و As غنی‌شدگی نشان می‌دهند[26]. در مقابل، غنی‌شدگی این عناصر در منگنزهای آبزاد که بر روی کف دریا شکل

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

می‌گیرند بسیار کمتر می‌باشد. به کمک این عناصر می‌توان نهشته‌های منگنز گرمابی را از انواع غیر گرمابی تشخیص داد. بر اساس نمودار رسم شده کانسنگ منگنز زرشلو در محدوده‌ی گرمابی قرار می‌گیرد. همچنین در شکل۸-ث بر اساس نمودار Cu - Ni - Co کانسارهای تشکیل شده توسط فرآیندهای آتش‌فشانی و گرمابی بیشترین مقدار مس را دارا بوده[26] و نمونه‌های منگنزدار و آهن‌دار منطقه‌ی مورد مطالعه نیز به علت غنی بودن عنصر مس در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند.

یکی از تفاوت‌های اساسی بین کانسارهای آبزاد و گرمابی، میزان غنی‌شدگی این دو گروه کانسار نسبت به REE ها می‌باشد. ∑REE در کانسارهای آبزاد غنی‌شدگی بالایی را نشان می‌دهند. این درحالی است که مقدار ∑REE در کانسارهای گرمابی به طور مشخص پایین است. به طور کلی ∑REE در کانسارهای گرمابی در حدود ۱۰۰ppm، ولی این مقدار در کانسارهای آبزاد نزدیک به ۱۰۰۰ppm است[18]. مقدار ∑REE برای کانسار منگنز زرشلو در حدود ۱۶۲ ppm بدست آمده است که با انواع گرمابی بیشتر همخوانی دارد. تفاوت بارز بین کانسارهای آبزاد و گرمابی تفاوت در الگوی آنومالی Ce در این دو گروه می‌باشد. به گونه‌ای که آنومالی Ce در کانسارهای آبزاد مثبت ولی اکسیدهای فرومنگنز گرمابی عموماً دارای آنومالی Ce منفی می‌باشند. کانسارهای Fe - Mn گرمابی معمولاً به وسیله آنومالی‌های منفی Ce و آنومالی مثبت Eu مشخص می‌شوند[23]. آنومالی‌های ضعیف منفی Ce و مثبت Eu در شکل۸-ج بیانگر گرمابی بودن کانسنگ منگنز زرشلو است [27]. با توجه به اینکه نمودارهای رسم‌شده برای نمونه‌های منگنز و نمونه‌های سنگ آندزیت-بازالتی از یک روند خاص تبعیت می‌کنند، می‌توان فرض کرد که منشأ منگنزهای منطقه زرشلو از سنگ دربرگیرنده آندزیت-بازالتی باشد (فرآیند سوپرژن). همچنین، ماگمای مادر آندزیت‌های بازالتی منطقه می‌تواند با سیال‌های گرمابی حمل‌کننده منگنز یکسان باشد (فرآیند گرمابی هیپوژن). با توجه به تحلیل‌ها و تحقیقات ارائه‌شده در مطالب قبلی، این فرضیه محتمل‌تر به نظر می‌رسد و توده نفوذی نیز با سنگ‌های ولکانیک آذرین همخوانی داشته و سیالات ناشی از آن ممکن است حامل منگنز باشند.

ژنز کانسار منگنز زرشلو

تشکیل و تمرکز ماده‌ی معدنی مستلزم تأثیر عوامل گوناگونی است که از زمان تشکیل تا به حال به طور مداوم بر روی آن تأثیر داشته‌اند. تعیین نقش عوامل مختلف برای تشکیل و تمرکز ماده‌ی معدنی در کانسار زرشلو از اهداف مهم این بخش است. فعالیت گرمابی در مقیاس ناحیه‌ای کانسارها و اندیس‌های متعددی از مس، منگنز و خاک صنعتی را در منطقه‌ی زرشلو بوجود آورده است. سیالات نشأت گرفته از توده‌ی نفوذی عمقی که حاوی عناصر و کانی‌های مختلف از جمله منگنز و احتمالاً مس بوده، در حین بالا آمدن در مسیر خود توانسته‌اند، با شستشوی منگنز و سایر عناصر، از واحدهای گوناگون بویژه از واحد کانه‌دار (آندزیت‌بازالتی) غنی‌تر شده و عناصر مذکور را در محل فضاهای باز گسل‌ها متمرکز نمایند. تداوم این عمل سبب تشکیل رگه‌های اقتصادی منگنز در منطقه‌ی معدنی شده است. طبیعی است که گسل‌های کششی در تمرکز ماده‌ی معدنی نقش مهم‌تری داشته‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

نتایج تجزیه‌ی سنگ‌های آتش‌فشانی آندزیت‌بازالتی که به عنوان سنگ دربرگیرنده‌ی رگه‌های کانه‌دار هستند مقدار منگنز در این واحد را به طور متوسط بالای ppm ۳۵۰۰ نشان می‌دهد که در برخی موارد بیش از این مقدار است. تخلخل(درزه و شکستگی) قابل توجه باعث شده فضاهای موجود بوسیله سیالات ماگمایی حاوی منگنز پر شود. در مجموع سیالات مذکور نقش مهمی در تشکیل ماده‌ی معدنی اولیه داشته‌اند و بنابراین شاید بتوان فعالیت آتش‌فشانی و تشکیل سیالات فوق را از مهم‌ترین عوامل در تشکیل رگه‌ی کانه‌دار دانست. بعد از تشکیل همزمان این سیالات و محیط فراگیر آن‌ها، ماده‌ی معدنی توانسته از سیالات فوق مشتق شده و در بین قطعات برشی ته‌نشست کند.

مواد معدنی تشکیل شده در کانسار منگنز زرشلو نیز پس از تشکیل در معرض تأثیر فرآیندهای ثانویه و از جمله فرآیندهای سوپرژن قرار گرفته‌اند. بافت‌های گل‌کلمی در برخی از مناطق کانسار دیده می‌شود که این بافت‌ها نشانگر از انحلال و ته نشست بسیار آرام منگنز از سیالات کم حرارت جوی دارند و می‌توان آن‌ها را در نقاط مختلف کانسار بویژه در بخش‌های سطحی‌تر رگه‌ها در مقیاس‌های نمونه‌ی دستی و میکروسکوپی مشاهده نمود. تناوب‌های مکرر از باندهای هم مرکز اکسیدهای منگنز می‌تواند حکایت از دوره‌های متعدد ایجاد شرایط مساعد برای انحلال و ته نشست منگنز داشته باشد.

نتیجه‌گیری

واحدهای سنگی غالب منطقه‌ی زرشلو شامل نهشته‌های ایگنمبریتی و آندزیت‌بازالتی می‌باشند. طبق نمودارهای ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتش‌فشانی منطقه در محدوده‌ی کالک آلکالن قرار می‌گیرند. کانه‌های پیرولوسیت و منگانیت به عنوان کانه‌ی اصلی و باریت، سیلیس و کلسیت به عنوان کانی‌های فرعی کانسار زرشلو می‌باشند. عامل اصلی کانه‌زایی، توده‌های نفوذی و سیالات هیدروترمال منشأ گرفته از آن‌هاست. در ادامه، عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی که موجب ایجاد گسل‌ها، شکستگی‌ها و رگچه‌ها می‌شوند، مهم‌ترین عامل مهیا کننده‌ی شرایط کانی‌زایی به شمار می‌آید. این عوامل معبری مناسب برای حرکت و چرخه‌ی سیالات هیدروترمالی کانه‌دار فراهم کرده و علاوه بر این، باعث تمرکز رگه‌های کانه‌دار و افزایش عیار اقتصادی در این منطقه گردیده‌اند. بنابراین، ترکیب این توده‌های نفوذی با سیالات هیدروترمال و ساختارهای تکتونیکی، زمینه‌ساز تشکیل ذخایر معدنی با عیارهای بالا و کیفیت مطلوب شده است. رگه‌ها در امتداد زون‌های گسلی و کششی منطقه، غالباً با روند شمالی - جنوبی جای گرفته‌اند. همراهی و میزبانی سنگ آتشفشانی آندزیت‌بازالتی با رگه‌ی اصلی منگنز حکایت از ارتباط کانی‌سازی با فعالیت‌های آتشفشانی دارد. نمودارها و شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که کانسار منگنز زرشلو وابسته به کانسارهای گرمابی است.

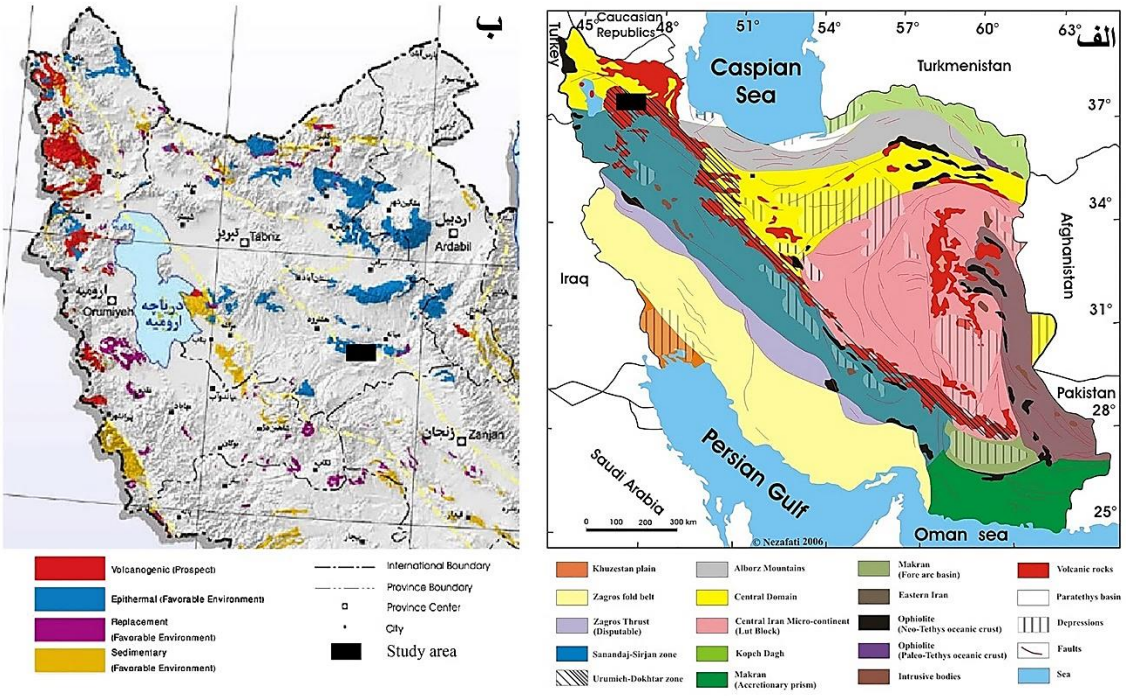
منابع

1. Polgári, M.; Hein, J.R.; Vigh, T.; Szabó-Drubina, M.; Fórizs, I.; B\'\iró, L.; Müller, A.; Tóth, A.L. Microbial Processes and the Origin of the Úrkút Manganese Deposit, Hungary. *Ore Geol. Rev.* **2012**, *47*, 87–109.
2. Oksuz, N. Geochemical Characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) Manganese Deposit, Turkey. *J. Rare*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

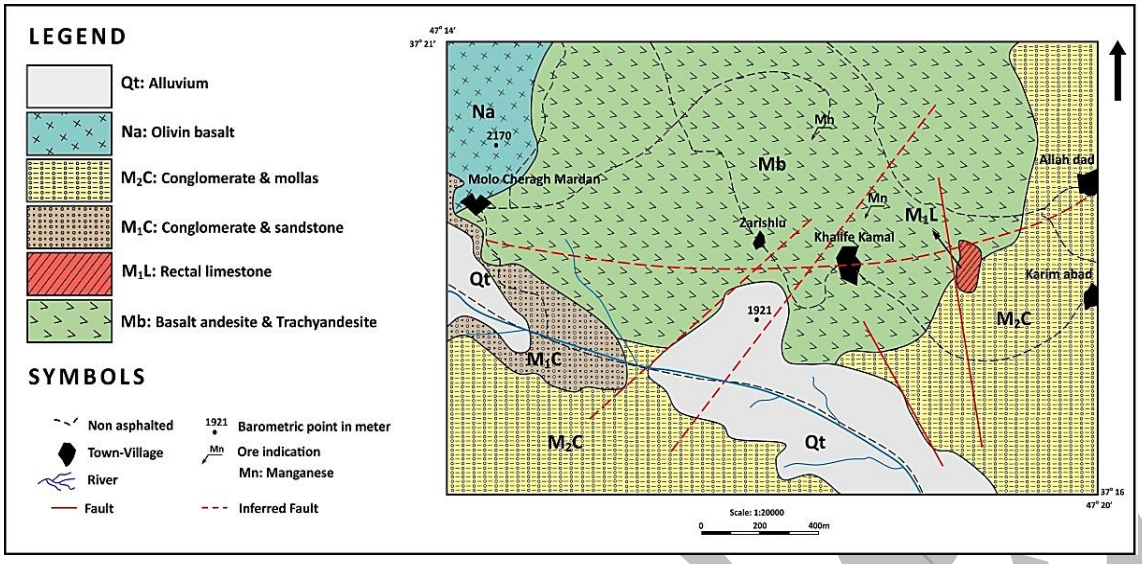
Earths **2011**, *29*, 287–296.
3. Prakash, L.S.; Ray, D.; Paropkari, A.L.; Mudholkar, A. V; Satyanarayanan, M.; Sreenivas, B.; Chandrasekharam, D.; Kota, D.; Raju, K.A.K.; Kaisary, S.; et al. Distribution of REEs and Yttrium among Major Geochemical Phases of Marine Fe--Mn-Oxides: Comparative Study between Hydrogenous and Hydrothermal Deposits. *Chem. Geol.* **2012**, *312*, 127–137.
4. Maghfouri, S.; Rastad, E.; Movahednia, M.; Lentz, D.R.; Hosseinzadeh, M.R.; Ye, L.; Mousivand, F. Metallogeny and Temporal--Spatial Distribution of Manganese Mineralizations in Iran: Implications for Future Exploration. *Ore Geol. Rev.* **2019**, *115*, 103026.
5. Rajabi, A.; Canet, C.; Rastad, E.; Alfonso, P. Basin Evolution and Stratigraphic Correlation of Sedimentary-Exhalative Zn--Pb Deposits of the Early Cambrian Zarigan--Chahmir Basin, Central Iran. *Ore Geol. Rev.* **2015**, *64*, 328–353.
6. Mosadegh, M. Mineralogy, Geochemistry and Genesis of the Halalan Mn Deposit, Moalleman Area, South of Damghan. *Unpubl. M. Sc. thesis, Shahrood Univ. Technol. Shahroud, Iran* **2015**.(In persian).
7. Rajabzadeh, M.A.; Haddad, F.; Polgári, M.; Fintor, K.; Walter, H.; Molnár, Z.; Gyollai, I. Investigation on the Role of Microorganisms in Manganese Mineralization from Abadeh-Tashk Area, Fars Province, Southwestern Iran by Using Petrographic and Geochemical Data. *Ore Geol. Rev.* **2017**, *80*, 229–249.
8. Mahdavi, M.; Dabiri, R.; Hosseini, E.S. Magmatic Evolution and Compositional Characteristics of Tertiary Volcanic Rocks Associated with the Venarch Manganese Mineralization, SW Qom, Central Iran. *Earth Sci. Res. J.* **2015**, *19*, 141–145.
9. Aminzadeh, B.; Rahimpour, Y. Geology, Geochemistry and Genesis of the Godar Sabz Mn Deposit in the Baft Region, Iran. *Geochemistry* **2021**, *81*, 125827.
10. Nabavi, M.H. *An Introduction to the Geology of Iran, Geological Survey of Iran*; Farsi, 1976; (In persian).
11. Amini, R.; Ghadirzadeh, A. *Geological Map 1:100000 of Heshtrod*; 2006; (In persian).
12. Kearey, P.; Klepeis, K.A.; Vine, F.J. *Global Tectonics*; John Wiley \& Sons, 2009;
13. Renjith, M.L. Micro-Textures in Plagioclase from 1994--1995 Eruption, Barren Island Volcano: Evidence of Dynamic Magma Plumbing System in the Andaman Subduction Zone. *Geosci. Front.* **2014**, *5*, 113–126.
14. Shelly, D. Igneous and Metamorphic Rocks under Microscope Chapman and Hall 1993.
15. Amiri, A. Study of Geology, Mineralogy, and Controlling Factors of Formation and Concentration of Mineral Matter in the Manganese Deposit of Rabat-Karim, Southwest of Tehran, Tarbiat Modares University, 1995. (In persian).
16. Rona, P.A. Hydrothermal Mineralization at Oceanic Ridges. *Can. Mineral.* **1988**, *26*, 431–465.
17. Bonatti, E. Metallogenesis at Oceanic Spreading Centers. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **1975**, *3*, 401–431.
18. Usui, A.; Someya, M. Distribution and Composition of Marine Hydrogenetic and Hydrothermal Manganese Deposits in the Northwest Pacific. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* **1997**, *119*, 177–198.
19. González, F.J.; Somoza, L.; Lunar, R.; Mart\'\inez-Fr\'\ias, J.; Rub\'\i, J.A.M.; Torres, T.; Ortiz, J.E.; D\'\iaz-del-R\'\io, V. Internal Features, Mineralogy and Geochemistry of Ferromanganese Nodules from the Gulf of Cadiz: The Role of the Mediterranean Outflow Water Undercurrent. *J. Mar. Syst.* **2010**, *80*, 203–218.
20. Roy, S. Manganese Metallogenesis: A Review. *Ore Geol. Rev.* **1988**, *4*, 155–170.
21. Heshmatbehzadi, K.; Shahabpour, J. Metallogeny of Manganese and Ferromanganese Ores in Baft Ophiolitic Mélange, Kerman, Iran. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* **2010**, *4*, 302–313.
22. Flohr, M.J.K. Geochemistry and Origin of the Bald Knob Manganese Deposit, North Carolina. *Econ. Geol.* **1992**, *87*, 2023–2040.
23. Choi, J.H.; Hariya, Y. Geochemistry and Depositional Environment of Mn Oxide Deposits in the Tokoro Belt, Northeastern Hokkaido, Japan. *Econ. Geol.* **1992**, *87*, 1265–1274.
24. TOTH, J.R. Deposition of Submarine Crusts Rich in Manganese and Iron. *Geol. Soc. Am. Bull.* **1980**, *91*, 44–54.
25. Crerar, D.A.; Namson, J.; Chyi, M.S.; Williams, L.; Feigenson, M.D. Manganiferous Cherts of the Franciscan Assemblage; I, General Geology, Ancient and Modern Analogues, and Implications for Hydrothermal Convection at Oceanic Spreading Centers. *Econ. Geol.* **1982**, *77*, 519–540.
26. Nicholson, K. Contrasting Mineralogical-Geochemical Signatures of Manganese Oxides; Guides to Metallogenesis. *Econ. Geol.* **1992**, *87*, 1253–1264.
27. Evensen, N.M.; Hamilton, P.J.; O'nions, R.K. Rare-Earth Abundances in Chondritic Meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **1978**, *42*, 1199–1212.
28. Whitney, D.L.; Evans, B.W. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *Am. Mineral.* **2010**, *95*, 185–187, doi:10.2138/am.2010.3371.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

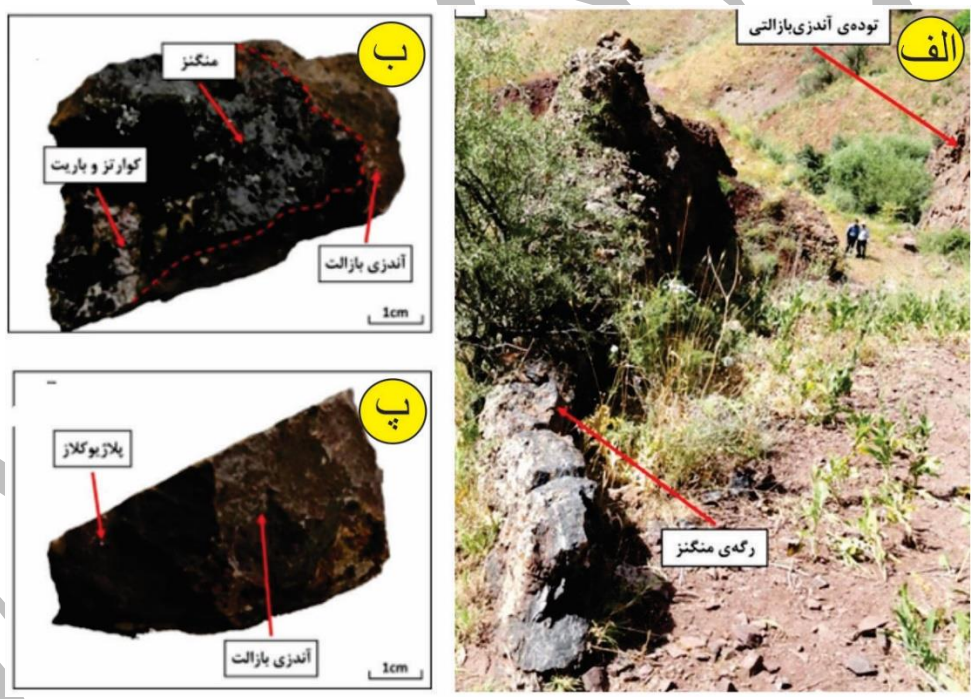


شکل۱. الف) نقشه ساختاری ایران[10]. ب) موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه توزیع کانسارهای منگنز ایران(سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

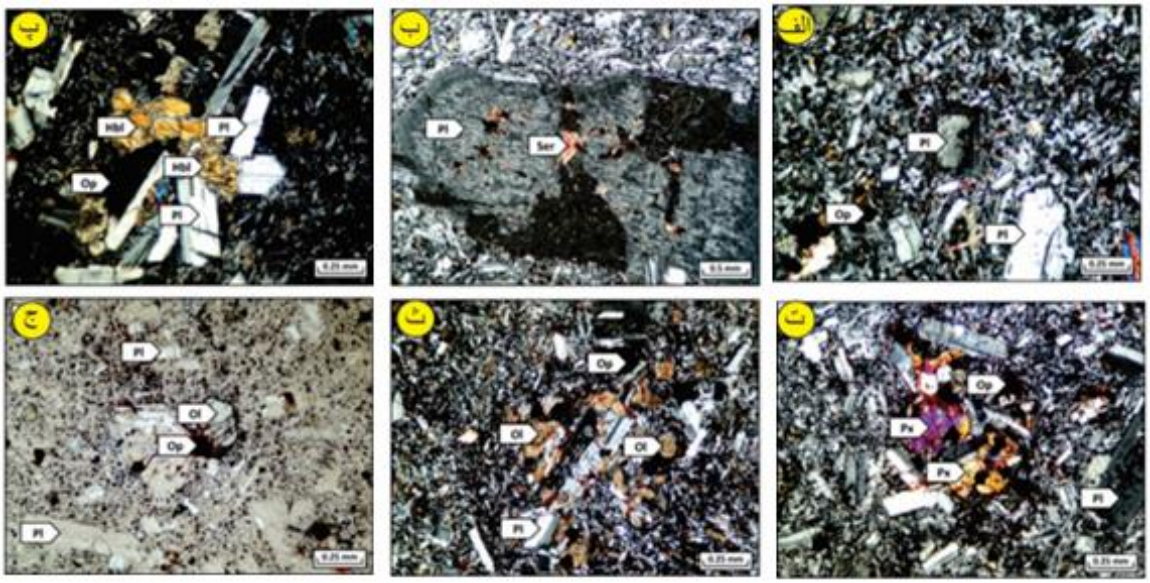


شکل۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ هشترود) [11].

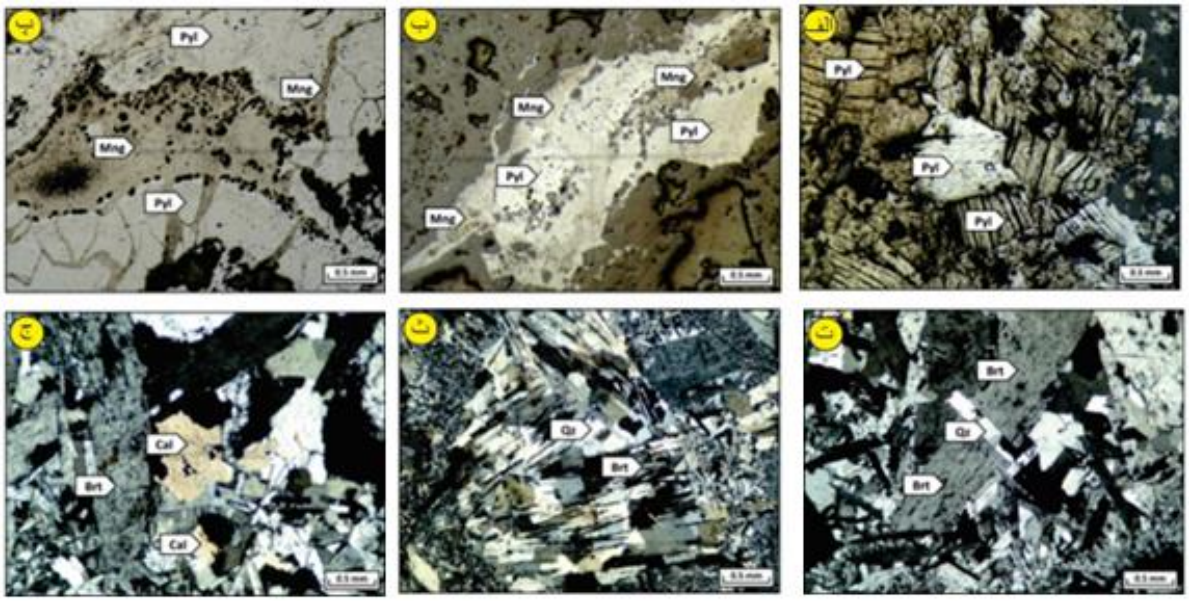


شکل ۳ تصاویر صحرایی الف) رگه‌ی اصلی منگنز در منطقه به همراه سنگ دربرگیرنده‌ی آندزیت‌بازالتی (دید به سمت جنوب، ب) ته‌نشست منگنز بر روی سنگ آندزیت‌بازالتی به همراه کانی‌های باطله‌ی کوارتز و باریت، پ) تصویر نمونه‌ی دستی از آندزیت‌های بازالتی منطقه‌ی زرشلو که در برخی از آن‌ها کانی‌های پلاژیوکلاز قابل مشاهده می‌باشد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

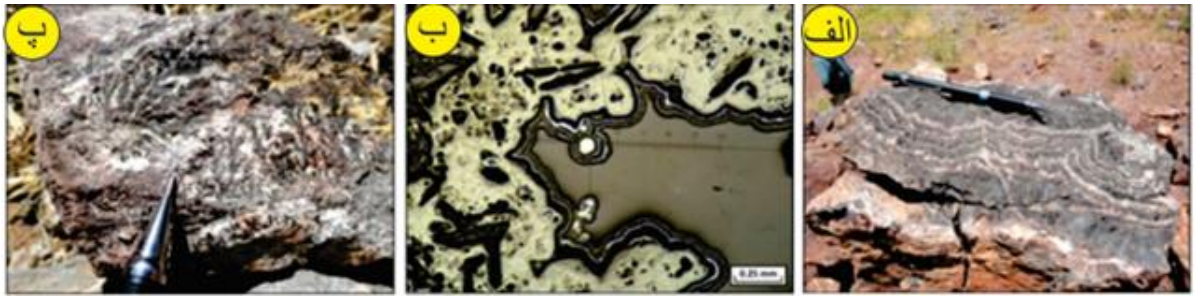


شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی سنگهای آندزیت بازالتی، الف) بافت پورفیریتیک با خمیره میکرولیتی، درصد بالای میکرولیت و فنوکریست پلاژیوکلاز زونه، ب) پلاژیوکلاز با بافت غربالی و سریسیتی شده، پ) بلورهای هورنبلند با بافت گلومروپورفیری، ت) بلورهای پیروکسن احاطه شده توسط پلاژیوکلازها، ث) بلورهای الیوین دارای بافت گلومروپورفیریک به همراه پلاژیوکلاز در زمینه ای با بافت دانه ریز، ج) الیوین شکل‌دار شش وجهی ایدنگزیته شده (علائم اختصاری از وینتی[28])

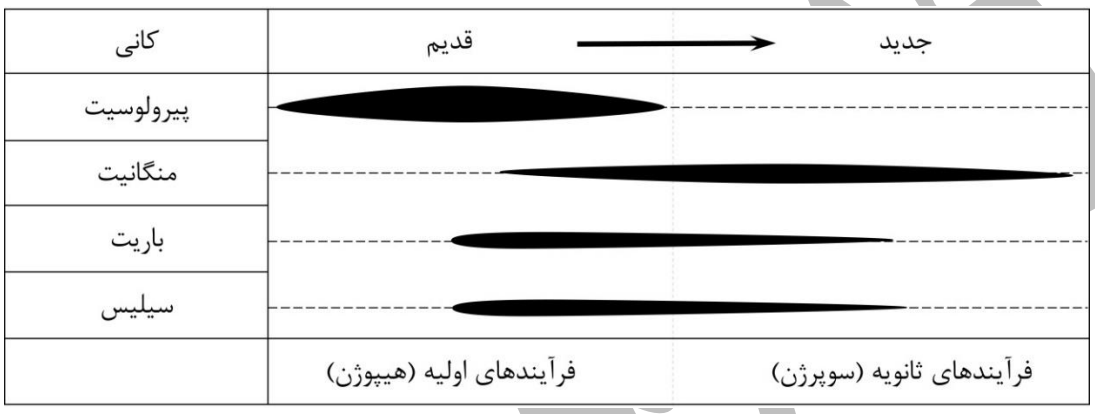


شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی. الف) بلورهای پیرولوسیت با رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای و رخ نامنظم تا کمی منظم. ب) جانشینی منگانیت از کناره-های بلور پیرولوسیت. پ) جانشینی بلورهای پیرولوسیت توسط منگانیت که باعث از هم گسستن بلور پیرولوسیت شده است. ت) بلور کوارتز تشکیل شده بر روی باریت‌های نسل اول. ث) باریت‌های شعاعی نسل دوم، که بر روی بلورهای سیلیس تشکیل شده‌اند. ج) بلورهای کلسیت

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

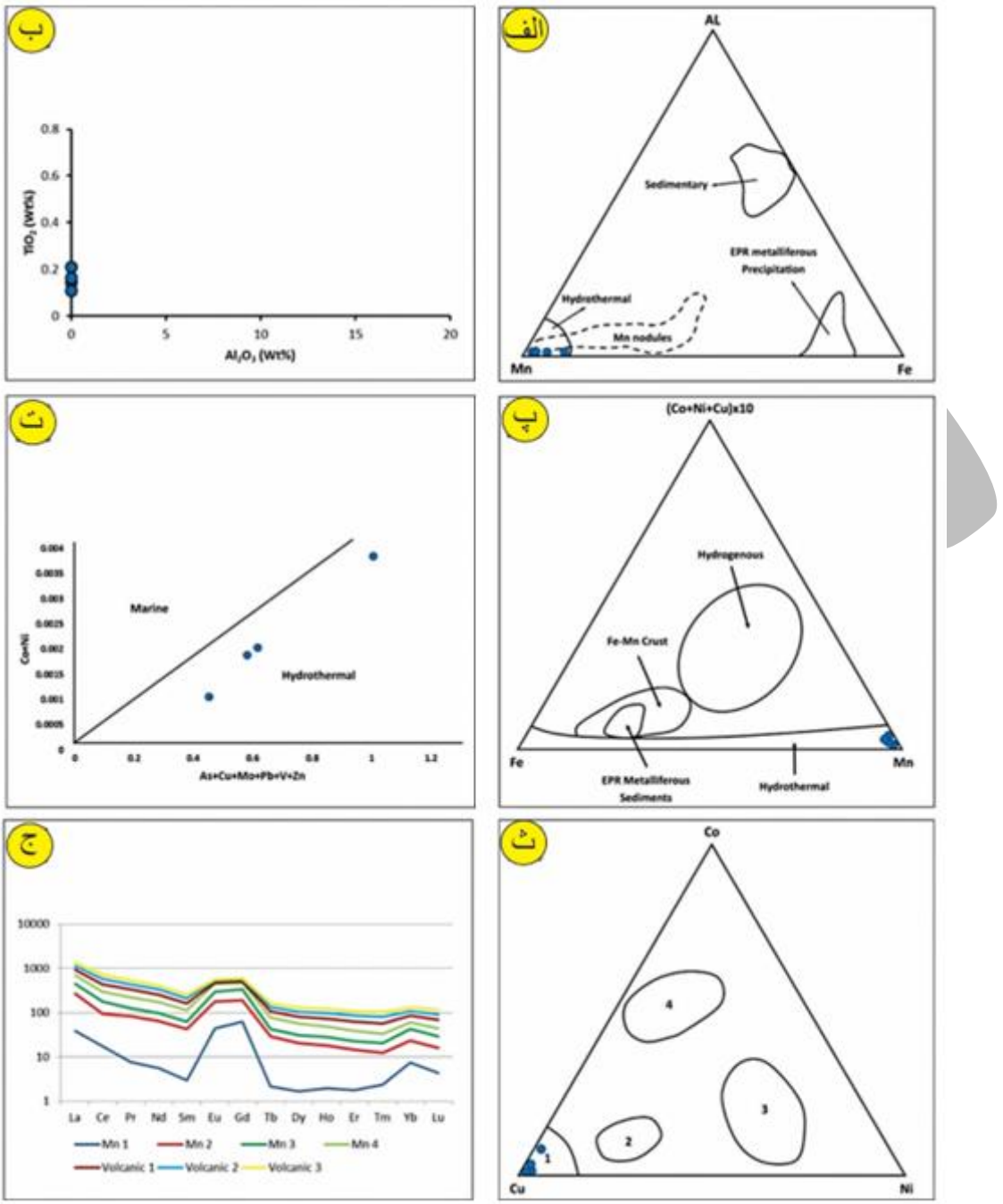


شکل ۶. الف) بافت گل‌کلمی که در نمونه‌ی. ب) بافت کلوفرم (گل‌کلمی) در مقاطع صیقلی مطالعه شده. پ) بافت دندریتی منگنز بر روی سطح شکستگی سنگ‌های منطقه.



شکل ۷ توالی پاراژنزی کانی‌های کانسنگ منگنز زرشلو

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]



شکل ۸. الف) نمودار مثلثی بر اساس فراوانی سه عضو انتهایی **Al - Fe - Mn** [22] و موقعیت نمونه‌های معدن منگنز زرشلو بر روی آن. ب) موقعیت نمونه‌ها در نمودار TiO_2 - Al_2O_3 [23]. پ) نمودار مثلثی بر اساس فراوانی سه عضو **Fe - Mn - (Ni + Co + Cu) × 10** [17,25]و موقعیت کانسنگ منگنز زرشلو. ت) نمودار دو متغیره مجموع فراوانی **(As + Cu + Mo + Pb)** در مقابل **(Co + Ni)** [26] برای تفکیک نهشته‌های گرمابی از دریایی. ث) موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز زرشلو در نمودارسه‌تایی **Ni - Cu - Co** [26]۱) نهشته‌های گرمابی ۲) نهشته‌های آتشفشان‌زاد ۳) گرهک‌های منگنز ۴) نهشته‌ی رسوبی. ج) نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی در نمونه‌هایی از سنگ میزبان و کانسنگ، نرمالیزه شده به کندریت .[27]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]

جدول۱- نتایج آنالیز ICP-Ms نمونه های مورد مطالعه .

Element	Mn-۱	Mn-۲	Mn-۳	Mn-۴	Vo-۱	Vo-۲	Vo-۳	Ba
Ag	۷/۶۰	۰/۳۳	۱/۹۰	۰/۳۶	۱/۴۰	۰/۷۱	۱/۹۰	۰/۵۹
Al	۱۱۰۰/۰۰	۷۴۸/۰۰	۵۶۴/۰۰	۸۵۷/۰۰	۹۲۴۰/۰۰	۸۱۱۰/۰۰	۵۶۴/۰۰	۲۳۳/۰۰
As	۱۰۵۰/۰۰	۱۳۲۰/۰۰	۱۴۳۰/۰۰	۱۳۴۰/۰۰	۱۲۲/۰۰	۳۶/۲۰	۱۴۳۰/۰۰	۱۴/۰۰
Ba	۱۴۰۰/۰۰	۲۰۴۰/۰۰	۲۸۴۰/۰۰	۱۸۴۰/۰۰	۱۰۱۰/۰۰	۹۲۶/۰۰	۲۸۴۰/۰۰	۱۸۱۰/۰۰
Be	۱۲/۵۰	۶/۳۰	۶/۴۰	۶/۳۰	۱/۹۰	۱/۵۰	۶/۴۰	< ۰/۲
Bi	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۱۰
Ca	۸۶۶۰/۰۰	۸۶۹۰/۰۰	۱۵۹۰/۰۰	۸۵۰۰/۰۰	۵۰۹۰/۰۰	۳۶۲۰/۰۰	۱۵۹۰/۰۰	۱۳۲۰/۰۰
Cd	۰/۹۹	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۴۸	< ۰/۰۵
Ce	۵/۵۶	۶۰/۸۰	۵۴/۳۰	۷۱/۰۰	۸۹/۶۰	۸۸/۶۰	۵۴/۳۰	۳/۸۹
Co	۴/۰۰	۱۶/۹۰	۳۶/۳۰	۱۸/۲۰	۱۹/۷۰	۱۷/۰۰	۳۶/۳۰	۰/۶۰
Cr	۵۶/۰۰	۱۳۱/۰۰	۹۷/۰۰	۱۵۴/۰۰	۸/۰۰	۷/۰۰	۹۷/۰۰	۵/۰۰
Cs	۰/۲۰	< ۰/۱	۰/۱۰	< ۰/۱	۵/۴۰	۲/۵۰	۰/۱۰	< ۰/۱
Cu	۳۲۱/۷۰	۷۹۸/۵۰	۷۳۱/۳۰	۷۸۷/۰۰	۳۵۵/۲۰	۲۸۵/۳۰	۷۳۱/۳۰	۱۱/۰۰
Dy	۰/۴۲	۴/۷۹	۲/۷۸	۶/۲۴	۶/۲۱	۶/۱۸	۲/۷۸	۰/۱۱
Er	۰/۳۰	۲/۰۸	۱/۳۷	۲/۶۵	۳/۸۵	۳/۸۴	۱/۳۷	< ۰/۰۵
Eu	۲/۵۸	۷/۶۶	۷/۰۷	۸/۳۶	۲/۱۶	۲/۱۰	۷/۰۷	۳/۳۴
Fe	۲۵۷۰/۰۰	۳۳۵۰/۰۰	۱۰۳۰/۰۰	۲۱۹۰/۰۰	۵۳۸۰/۰۰	۴۵۳۰/۰۰	۱۰۳۰/۰۰	۳۷۶۰/۰۰
Ga	۸/۷۷	۱۳/۰۰	۹/۰۰	۱۴/۷۰	۱۸/۱۰	۱۷/۴۰	۹/۰۰	۰/۲۲
Gd	۱۲/۶۰	۲۶/۰۰	۳۰/۰۰	۲۶/۴۰	۸/۵۹	۸/۵۲	۳۰/۰۰	۱۵/۷۰
Ge	۱۲/۱۰	۸/۱۵	۷/۵۸	۸/۷۹	۱/۸۶	۱/۴۵	۷/۵۸	۰/۴۰
Hf	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۴/۸۲	۴/۷۶	۰/۰۴	< ۰/۰۲
Hg	۰/۲۸	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	< ۰/۰۵	۰/۰۹
Ho	۰/۱۱	۰/۹۱	۰/۵۷	۱/۱۷	۱/۳۶	۱/۳۵	۰/۵۷	< ۰/۰۲
In	۰/۰۳	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۴۲	۰/۰۳
K	۴۹۷/۰۰	۴۴۱/۰۰	۴۱۹/۰۰	۵۳۸/۰۰	۲۰۴۰/۰۰	۱۷۳۰/۰۰	۴۱۹/۰۰	۱۰۷/۰۰
La	۹/۵۱	۵۵/۶۰	۴۲/۸۰	۶۱/۴۰	۵۳/۰۰	۵۱/۷۰	۴۲/۸۰	۵/۰۷
Li	۸/۵۰	۳/۹۰	۵/۴۰	۱/۸۰	۱۱/۵۰	۲۲/۵۰	۵/۴۰	۲/۳۰
Lu	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۳۲	۰/۰۸
Mg	۴۵۲/۰۰	۳۷۸/۰۰	۳۳۰/۰۰	۲۶۹/۰۰	۳۲۴۰/۰۰	۸۹۷۰/۰۰	۳۳۰/۰۰	۷۶/۰۰
Mn	۲۰۲۰۰/۰۰	۶۰۰۰۰/۰۰	۴۱۳۰۰/۰۰	۷۲۰۰۰/۰۰	۳۳۴۰/۰۰	۹۷۳/۰۰	۴۱۳۰۰/۰۰	۹۱۰/۰۰
Mo	۱۲۰/۰۰	۱۷۵/۰۰	۱۵۷/۰۰	۲۰۱/۰۰	۷/۱۰	۳/۸۰	۱۵۷/۰۰	۱/۵۰
Na	۲۲۵/۰۰	۲۱۳/۰۰	۲۰۱/۰۰	۲۱۱/۰۰	۳۳۸۰/۰۰	۳۱۰۰/۰۰	۲۰۱/۰۰	۹۲/۰۰
Nb	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	۲۸/۸۰	۲۷/۶۰	< ۰/۵	< ۰/۵
Nd	۲/۶۷	۲۸/۰۰	۱۴/۹۰	۳۴/۸۰	۳۸/۱۰	۳۷/۸۰	۱۴/۹۰	۱/۰۴
Ni	۵/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۸/۰۰	۶/۰۰	۷/۰۰	۲/۰۰
P	< ۵	< ۵	< ۵	< ۵	۲۱۷۰/۰۰	۱۸۹۰/۰۰	< ۵	< ۵
Pb	۱۷۳۰/۰۰	۱۵۶۰/۰۰	۵۳۳۰/۰۰	۱۸۵۰/۰۰	۲۳۳/۰۰	۳۸/۴۰	۵۳۳۰/۰۰	۲۵/۵۰
Pr	۰/۷۴	۷/۳۳	۴/۰۸	۹/۱۱	۱۰/۳۰	۱۰/۲۰	۴/۰۸	۰/۳۱
Rb	۰/۹۰	۰/۷۰	۰/۹۰	۰/۸۰	۵۴/۷۰	۴۷/۲۰	۰/۹۰	۰/۲۰
Re	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱
S	۴۶۱۰/۰۰	۲۹۰۰/۰۰	۲۴۸۰/۰۰	۲۲۶۰/۰۰	۱۵۲۰/۰۰	۸۱۰/۰۰	۲۴۸۰/۰۰	۱۱۳۰/۰۰
Sb	۱۵۸/۰۰	۱۲۵/۰۰	۵۶/۲۰	۱۲۹/۰۰	۴/۶۰	۱/۹۰	۵۶/۲۰	۶/۳۰
Sc	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	۲۰/۰۰	۱۸/۰۰	< ۱	< ۱
Se	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۲۵	۰/۱۷	< ۰/۰۵
Sm	۰/۴۵	۶/۰۹	۳/۰۵	۸/۰۱	۷/۱۹	۷/۱۱	۳/۰۵	۰/۲۰
Sn	۰/۲۰	۰/۳۰	< ۰/۲	۰/۳۰	۱/۸۰	۱/۶۰	< ۰/۲	۰/۴۰
Sr	۶۴۲/۰۰	۱۵۰۰/۰۰	۱۶۸۰/۰۰	۱۵۸۰/۰۰	۵۴۷/۰۰	۴۷۵/۰۰	۱۶۸۰/۰۰	۹۱۷۰/۰۰
Ta	< ۰/۰۱	۰/۱۱	< ۰/۰۱	۰/۶۲	۱/۰۸	۱/۱۰	< ۰/۰۱	۰/۱۶
Tb	۰/۰۸	۱/۰۰	۰/۵۴	۱/۲۸	۱/۰۸	۱/۰۷	۰/۵۴	۰/۰۳
Te	۱/۷۰	< ۰/۲	< ۰/۲	۲/۹۰	۰/۲۰	۰/۳۰	< ۰/۲	۳/۵۰
Th	۰/۳۲	< ۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۰	۱۲/۸۰	۱۲/۶۰	۰/۰۴	۰/۰۳
Ti	۷۷/۰۰	۳۹/۰۰	۴۳/۰۰	۳۸/۰۰	۸۰۹۰/۰۰	۷۱۷۰/۰۰	۴۳/۰۰	۲۱/۰۰
Tl	۰/۹۰	۲/۸۰	۱۲/۴۰	۲/۹۰	۰/۵۰	۰/۳۰	۱۲/۴۰	< ۰/۱
Tm	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۲۰	< ۰/۰۵
U	۳/۵۴	۴/۸۷	۵/۷۰	۵/۳۴	۳/۷۷	۳/۶۸	۵/۷۰	۰/۰۳
V	۱۱۶/۰۰	۲۳۷/۰۰	۵۴۹/۰۰	۲۸۲/۰۰	۱۵۹/۰۰	۱۴۶/۰۰	۵۴۹/۰۰	۲/۰۰
W	۳۳/۸۰	۱۹/۶۰	۱۱/۶۰	۲۱/۱۰	۱/۴۰	۱/۳۰	۱۱/۶۰	۰/۴۰
Y	۵/۸۱	۳۵/۸۰	۲۲/۷۰	۴۴/۸۰	۳۶/۹۰	۳۵/۹۰	۲۲/۷۰	۱/۰۴
Yb	۱/۲۳	۲/۶۶	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۸۱	۳/۸۳	۳/۰۸	۱/۳۴
Zn	۱۰۶۰/۰۰	۱۶۷۰/۰۰	۱۸۲۰/۰۰	۱۷۱۰/۰۰	۴۲۱/۰۰	۲۳۸/۰۰	۱۸۲۰/۰۰	۸۳۹/۰۰
Zr	۲/۰۰	< ۱	۱/۰۰	۲/۰۰	۱۸۴/۰۰	۱۷۴/۰۰	۱/۰۰	< ۱
Mn/Fe	۷/۸۶	۱۷/۹۱	۴۰/۰۹	۳۲/۸۸	۰/۶۲	۰/۲۱	۴۰/۰۹	۰/۲۴
ΣREE	۴۲/۲۳	۲۰۳/۴۸	۱۶۵/۰۶	۲۳۴/۲۰	۲۲۶/۴۷	۲۲۳/۳۱	۱۶۵/۰۶	۳۱/۱۸

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-05-24]