





دانشکده علوم پایه
گروه زمین شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی اقتصادی

زمین شناسی، کانی سازی، ژئوشیمی و مطالعات
مغناطیس سنجی در کانی سازی کلاه ابوذر

استاد راهنما

پروفسور محمد حسن کریم پور

دکتر محمد رضا حیدریان شهری

نگارش

سکینه صبوری

زمستان ۱۳۸۸

فصل اول: کلیات

۱.....	چکیده.....
۵.....	مقدمه.....
۵.....	کانی‌شناسی آهن.....
۶.....	ژئوشیمی آهن.....
۸.....	انواع کانسارهای آهن.....
۱۶.....	کانسارهای آهن در ایران.....
۱۷.....	مصارف عمده، میزان ذخایر، تولید و قیمت جهانی آهن.....
۱۸.....	کانسار آهن کلاه‌بودر.....
۱۹.....	راههای دسترسی به منطقه.....
۲۱.....	شاخصهای اقلیمی و اجتماعی منطقه.....
۲۵.....	ژئومورفولوژی.....
۲۵.....	تاریخچه مطالعاتی و فعالیتهای پیشین.....
۲۵.....	اهداف و روش تحقیق.....
۲۵.....	مطالعات کتابخانه‌ای.....
۲۶.....	مطالعات صحرایی.....
۲۶.....	مطالعات آزمایشگاهی.....

فصل دوم: زمین‌شناسی

۲۸.....	مقدمه.....
۲۸.....	زون بینالود.....
۲۹.....	گسل بینالود.....
۲۹.....	جغرافیا و ریخت‌شناسی محدوده ورقه مشکان.....
۳۲.....	زمین‌شناسی ناحیه‌ای ورقه مشکان.....
۳۴.....	چینه‌شناسی ورقه مشکان.....
۳۸.....	زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک.....
۳۹.....	ماگماتیسم و ژئوشیمی سنگهای ماگمایی.....
۳۹.....	کانی‌سازی ورقه مشکان.....
۳۹.....	زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه.....
۳۹.....	چینه‌شناسی محدوده مورد مطالعه.....
۴۰.....	زمین‌شناسی ساختمانی محدوده مورد مطالعه.....

فصل سوم: پتروگرافی

۴۱.....	مقدمه.....
---------	------------

۴۳	پتروگرافی سنگ میزبان
۴۳	واحدهای آهکی
۴۷	واحد ماسه سنگی
۴۹	سنگهای آذرین منطقه مورد مطالعه
۴۹	واحد هورنبلند دیوریت پورفیری
۵۱	واحد دیوریتی
۵۳	واحد گرانیت پورفیری
۵۶	آلتراسیون
۵۶	آلتراسیون کربناتی
۵۶	آلتراسیون سیلیسی

فصل چهارم: کانی سازی و ژئوشیمی

۵۹	کانی سازی
۶۰	کانی سازی های آهن ورقه مشکان
۶۲	کانی سازی در منطقه مورد مطالعه
۶۶	کانی سازی اولیه (هیپوژن)
۶۷	کانی سازی ثانویه (سوپرژن)
۶۸	توالی پاراژنزی
۷۰	فرآیندهای سوپرژن
۷۱	رگچه ها و ریزرگچه ها
۷۵	شرایط تشکیل کانسار
۷۶	مطالعات ژئوشیمیایی کانسنگ آهن منطقه مورد مطالعه
۷۹	بررسی و تفسیر نتایج

فصل پنجم: ژئوفیزیک (مغناطیس سنجی)

۸۰	مقدمه
۸۱	روش مغناطیس سنجی
۸۳	برداشت های جهانی مغناطیس سنجی
۸۳	میدان مغناطیسی اصلی
۸۴	آنومالی های مغناطیسی و منابع زمین شناسی آنها
۸۴	مغناطیس سنگ
۸۵	پارامغناطیس و دیامغناطیس
۸۵	کانی های فرومغناطیس
۸۷	اندازه گیری آنومالی میدان مغناطیسی
۸۷	برداشت های زمینی

۸۸.....	پردازش داده ها.....
۸۸.....	کاربرد مغناطیس سنجی در تیپ‌های مختلف کانی‌سازی.....
۸۹.....	انجام عملیات مغناطیس‌سنجی تفصیلی.....
۹۰.....	مطالعات صحرایی.....
۹۵.....	دستگاه اندازه‌گیری مغناطیس زمینی.....
۹۵.....	فاکتورهای مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی.....
۹۶.....	دستگاه پذیرفتاریسنج.....
۹۹.....	مطالعات آزمایشگاهی.....
۹۹.....	انجام تصحیحات بروی داده‌های برداشت زمینی.....
۱۰۱.....	ارائه و پردازش داده‌ها.....
۱۰۲.....	نمایش و تشخیص آنومالی مغناطیسی از روی نقشه‌های مغناطیسی.....
۱۰۲.....	نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی (Total Magnetic Intensity map) TMI.....
۱۰۲.....	۲-نقشه‌های منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی (TMI Contour Map).....
۱۰۳.....	۳-نقشه‌های سیاه و سفید تابش نورشدت کل میدان مغناطیسی (TMI Grey Scale Sun shade).....
۱۰۳.....	MAP).....
۱۰۳.....	۴-نقشه‌های انتقال به قطب (Rotation to the pole) RTP.....
۱۰۳.....	۵-نقشه‌های مشتق اول قائم (First Vertical Derivative Map) (IVD).....
۱۰۴.....	۶-نقشه‌های فراسو یا ادامه به سمت بالا (Upward Continuation MaP).....
۱۰۵.....	تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس‌سنجی.....
۱۰۵.....	پروفیل 0E.....
۱۰۷.....	پروفیل 20E.....
۱۰۹.....	پروفیل 40E.....
۱۱۱.....	پروفیل 60E.....
۱۱۳.....	پروفیل 80E.....
۱۱۵.....	پروفیل 100E.....
۱۱۶.....	پروفیل 120E.....
۱۱۸.....	پروفیل 140E.....
۱۲۰.....	پروفیل 160E.....
۱۲۲.....	پروفیل 180E.....
۱۲۴.....	تفسیر کیفی نقشه‌های مغناطیس‌سنجی.....
۱۲۴.....	نقشه شدت کل میدان مغناطیسی.....
۱۲۷.....	نقشه رنگی شدت کل میدان مغناطیسی همراه با منحنی میزان و موقعیت پروفیل‌ها.....
۱۳۰.....	نقشه سایه تابش نورشدت کل میدان مغناطیسی.....

۱۳۲.....	نقشه انتقال به قطب
۱۳۴.....	نقشه گرادیان اول عمودی
۱۴۱.....	نقشه‌های فراسو یا ادامه به سمت بالا (Upward continuation).....
۱۴۲.....	تصاویر سه بعدی شدت کل میدان مغناطیسی و شبکه برداشت مغناطیس‌سنجی بر روی آن
۱۴۳.....	قراردادن نقشه RTP بر روی نقشه زمین‌شناسی و عکس ماهواره‌ای.....
	فصل ششم: بحث و نتیجه‌گیری
۱۵۶.....	بحث و نتیجه‌گیری.....
۱۶۱.....	منابع فارسی.....
۱۶۴.....	منابع لاتین.....

چکیده:

کانسار آهن کلاه‌ابوذر در ۹۰ کیلومتری جاده نیشابور- قوچان (استان خراسان رضوی) در زون ساختاری بینالود واقع گردیده است. واحدهای رسوبی منطقه شامل آهک‌ها و ماسه‌سنگ‌های کرتاسه زیرین می‌باشند. سنگ‌های آذرین منطقه شامل واحدهای دیوریتی، هورنبلند دیوریت پورفیری و گرانیت پورفیری می‌باشند که به درون این واحدها نفوذ کرده‌اند. شسکتگی‌ها و ریزشکستگی‌ها بصورت رگه- رگچه‌های مختلف ظاهر شده و مجاری مناسبی برای نفوذ محلول‌های هیدروترمالی فراهم نموده‌اند. دو نوع آلتراسیون در منطقه رخ داده است: (۱) کربناتی‌شدن (۲) سیلیسی‌شدن. کانی‌سازی آهن به صورت توده‌ای و رگه- رگچه‌ای در واحدهای کربناته منطقه دیده می‌شود. کانی‌سازی در منطقه به دو صورت هیپوزن و سوپرزن رخ داده است. بخش اعظم کانی‌سازی در منطقه در مرحله هیپوزن صورت گرفته است. کانه‌زایی هیدروترمال هیپوزن شامل تشکیل کانی‌های هماتیت و پیریت می‌باشد. در مرحله سوپرزن گوتیت با بافت جانیشینی تشکیل شده است. کانی گوتیت حاصل از اکسیداسیون سولفیدهای آهن مخصوصاً پیریت در اثر فرآیندهای سوپرزن بوده است. میانگین فراوانی آهن در کانسنگ هماتیتی منطقه مورد مطالعه ۲۴.۹۵٪ می‌باشد. با توجه به دیگرام $T-fS_2$ هماتیت به همراه پیریت از محلول‌های هیدروترمال در دمای کمتر از 200°C تشکیل شده است.

با توجه به حضور هماتیت در سطح و احتمال حضور مگنتیت در عمق، روش مغناطیس‌سنجی برای شناسایی ذخایر پنهان تشخیص داده شد. شدت کل میدان مغناطیسی در ۲۲۰ نقطه در شبکه‌های 20×5 متر اندازه‌گیری شد. میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه مغناطیس‌هوایی منطقه، ۴۸۶۰۰ گاما در نظر گرفته شد. شدت میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده ۴۹۳۶۹ تا ۴۹۱۹۷ گاما بوده است.

همچنین پذیرفتاری مغناطیسی در ۷۳ نقطه بر روی رخنمون‌های سنگی واقع در طول پروفیل‌های برداشت مغناطیسی اندازه‌گیری شد. تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در سنگ‌های منطقه بین 3×10^{-5} SI تا 2600×10^{-5} تغییر می‌کند. بیشترین پذیرفتاری مربوط به واحد هورنبلند دیوریت پورفیری و کمترین پذیرفتاری مربوط به واحدهای آهکی منطقه می‌باشد.

جمعاً ۱۰ پروفیل برداشت گردید. در هر پروفیل سه نیمرخ حساسیت مغناطیسی، شدت کل میدان مغناطیسی و زمین‌شناسی سطحی برای مقایسه با هم رسم شد. نتیجه این مقایسه‌ها با توجه به ناهماهنگ بودن حساسیت و شدت کل میدان و یا ناهماهنگ بودن بودن آن، اطلاعاتی راجع به عمق نسبی آنومالی‌ها فراهم می‌کند.

نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی، منحنی‌میزان، سیاه و سفید تابش نور، انتقال به قطب، مشتق اول قائم، ادامه به سمت بالا و سه‌بعدی به وسیله نرم افزار ER Mapper تهیه شد.

بررسی این نقشه‌ها وجود آنومالی‌های مجزا با فاصله کمتر از ۲۰ متر از هم با روند SE-SW را نشان می‌دهد. طول و عرض آنومالی A در جنوب منطقه به ترتیب حدود ۵۰ و ۳۰ متر و آنومالی‌های B, C و D در مرکز منطقه به ترتیب حدود ۱۰ و ۵ متر می‌باشد.

با بررسی نقشه‌های ادامه به سمت بالا در ارتفاعات مختلف، علاوه بر آنومالی‌های جنوب منطقه، آنومالی‌هایی در غرب منطقه مشاهده شد. عمق نسبی تمام آنومالی‌های مشاهده شده از کمتر از ۱۰ متر تا ۱۰۰ متر تخمین زده شد. منبع

ایجاد کننده آنومالی جنوب و مرکز واحد هورنبلند دیوریت پورفیری تفسیر می شود. محل آنومالی غرب که منطبق بر محل ترانسه هماتی می باشد، به عنوان نقاط حفاری پیشنهاد می شود.

Abstract:

Kolah Aboozar Iron mineralization is located at 90 Km from Neishabor to Ghoochan (in Khorasan Razavi) and Structural zone of Binalood. Sedimentary units include limestone and sandstone lower cretaceous. Bodies diorite, hornblende diorite porphyry and granite porphyry intruded these limestone and sandstone.

Fractures and micro-fractures as vein and veinlets provided suitable conduits for hydrothermal fluids. Two types of alteration occurred in area: (1) carbonatization and (2) silicification. Both hypogene and supergene mineralization processes were involved in area. The hypogene hydrothermal minerals include hematite and pyrite. The supergene mineral is goethite (with replacement texture).

Goethite was derived from the oxidation of Fe-bearing sulfides (especially pyrite) by supergene processes. Studied area has average amount of Iron 24.95% in hematite deposit.

According to T-fs2 diagram hematite as well as pyrite is formed by hydrothermal liquids in temperature less than 200°C.

Magnetometry method which is used for detection of hidden deposits is preferred because of appearance of hematite and magnetite in surface and deep respectively.

Total magnetic field Intensity (TMI) was measured in 220 points in grid of 20×5 meter. The main Magnetic field in the study area considered as 48600 gammas on the aeromagnetic map. The range of TMI measured in these sections was between 49197 to 49369 gammas.

Magnetic susceptibility was also measured in 73 points over rock outcrops along the survey profiles. Susceptibility on rocks of area varies between 2600×10^{-5} SI to 3×10^{-5} SI.

Overall 10 profiles were surveyed. TMI, magnetic susceptibility and observed geology were plotted for comparison in each profile. The result of this comparison in terms of consistency between susceptibility, TMI and geology or inconsistency, provides information about the relative depth of the anomalies.

Maps of TMI contours, shaded grey, rotation to pole, upward continued and three dimension as well as first vertical derivative maps were produced using ER Mapper. Investigation of these maps indicated isolated anomalies separated 20 meters from each other with SE-SW trend. The length and width of the A anomaly on the southern part of area are 50 and 30 meters and B, C and D anomalies on the central part of area are 15 and 10 meters. Investigation of the upward continued maps at various elevations, in addition to southern anomalies area, anomalies with NW-SE trend were also observed on the western part of area. Estimated relative depth anomalies from 10 to 100 meters. The causative sources of observed anomalies on the southern and central parts of area are hornblende diorite porphyry unit. The location of the western anomaly proposed as a drilling target.

مقدمه

کشور ایران با توجه به قرار گرفتن در پنجره تکتونکی پالئوتیتیس و نئوتیتیس و فعالیت‌های ماگمایی، دگرگونی و محیط رسوبی مناسب، از پتانسیل مواد معدنی فلزی و غیر فلزی بسیار بالایی برخوردار است. این مواد اساس و پایه صنایع کشور را تشکیل می‌دهد. حال آنکه ذخایر معدنی کشف شده در مقایسه با وسعت ایران بسیار اندک است. در این راستا یکی از اهداف دولت، سرمایه‌گذاری در بخش اکتشاف و بهره‌برداری از معادن بویژه به وسیله بخش خصوصی است. بکارگیری دانش فنی و استفاده از دستگاه‌های پیشرفته و نرم‌افزارهای تخصصی در جهت شناسایی، اکتشاف، طراحی و بهره‌برداری از این نعمت‌های خدادادی می‌تواند زمینه لازم را در جهت شکوفایی سرمایه‌های ملی و ایجاد اشتغال در کشور فراهم نماید.

یافته‌های حاصل از مطالعات و بررسی‌های زمین‌شناسی جایگاه مناسب استان خراسان رضوی را به لحاظ پتانسیل و تنوع ذخایر معدنی در کشور نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که ذخایر معدنی از جمله مس، روی، آهن، زغال سنگ، سنگ‌های ساختمانی، منیزیت، خاک‌های صنعتی و ... در این استان کشف و یا در حال بهره‌برداری است.

کانی‌شناسی آهن

آهن در طبیعت به اشکال مختلف وجود داشته و ترکیبات آن فراوان و گسترده‌اند. این فلز در شبکه کانی‌های مختلف اکسیدی، سولفیدی، سیلیکاتی و کربناتی تمرکز پیدا می‌کند. بیش از ۳۰۰ نوع کانی آهن‌دار در طبیعت شناخته شده است. قسمت عمده کانسارهای آهن از اکسیدها، سیلیکاتها و کربنات‌ها تشکیل شده‌اند که در این میان مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، شاموزیت و سیدریت ارزش اقتصادی بیشتری دارند. کانی‌های سیلیکاته آهن متعدد و فراوانند.

قابل ذکر است سولفیدهای آهن مثل پیریت، مارکاسیت و پیروتیت دارای مقادیر قابل توجهی آهن می‌باشند (۴۶-۷۳٪)، اما به خاطر هزینه زیاد جداسازی گوگرد از آهن و مشکلات زیاد دیگری همچون آلوده سازی محیط زیست، استخراج ذخایر آنها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Kesler, 1994). تشکیل انواع کانی‌های آهن وابسته به شرایط مختلف EH و PH و فوگاسیته اکسیژن می‌باشد. در جدول (۱-۱) تعدادی از مهمترین کانی‌های آهن معرفی شده‌اند.

جدول ۱-۱- مهمترین کانی‌های تجاری آهن (Kesler, 1994, Maynard, 1983)

درصد آهن	فرمول	نام کانی	گروه کانیایی
75/35 70 68/2 تا 48 38/8	Fe ₃ O ₄ Fe ₂ O ₃ FeOOH-FeOOH.nH ₂ O FeTiO ₃	مگنتیت هماتیت (مارتیت) گوتیت و هیدروگوتیت (لیمونیت) ایلمنیت	اکسیدها
68/2 تا 48 45/1	FeCO ₃ (Mg,Fe)CO ₃	سیدریت سیدروپلازیت	کربنات‌ها
27 تا 38	Fe ₃ AlSi ₄ O ₁₀ (OH) ₂	شاموزیت و تورینگیت	سیایکات‌ها

ژئوشیمی آهن

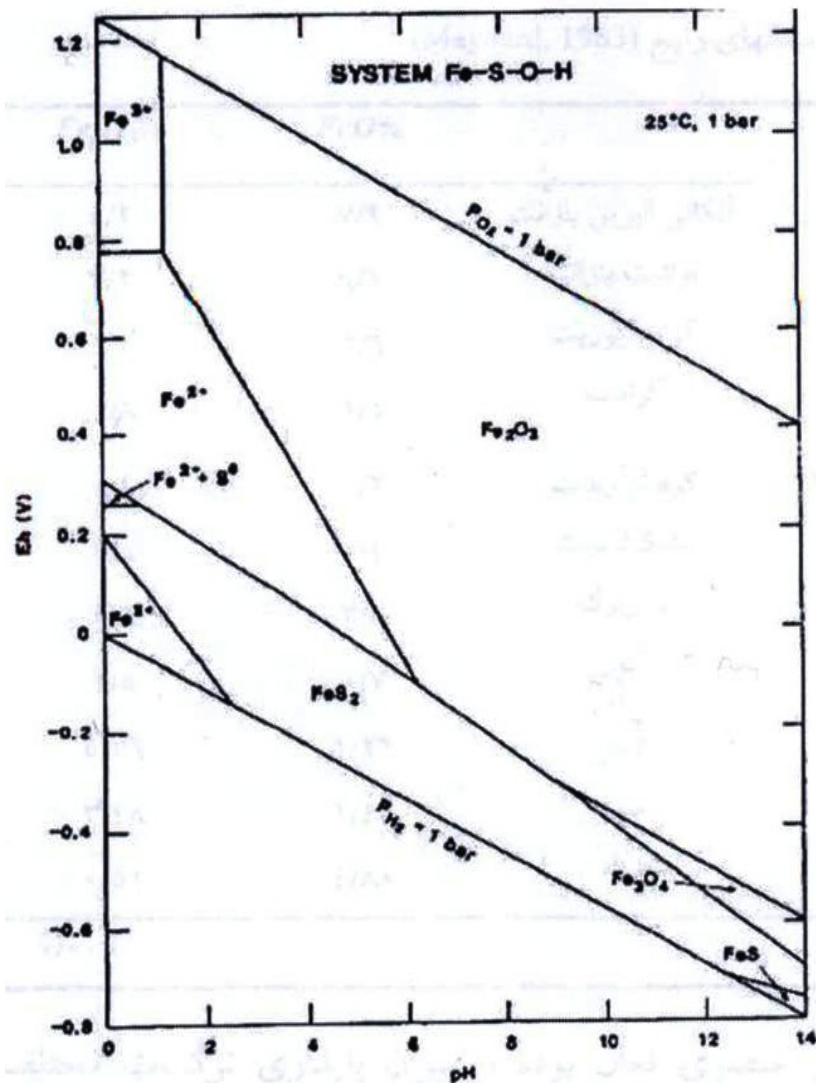
آهن با علامت اختصاری Fe، متعلق به گروه B(VIII) از عناصر واسطه که دارای عدد اتمی ۲۶، وزن اتمی ۵۵/۸۵، شعاع یونی ۰/۲۸، سختی ۴/۵، وزن مخصوص ۷/۲ gr/cm³ تا ۷/۹، نقطه ذوب و جوش به ترتیب ۱۵۳۵°C و ۲۰۰۰°C می‌باشد. آهن خالص، رنگ سفید نقره‌ای تا سیاه با جلای فلزی داشته و چکش‌خوار و شکل پذیراست. مهمترین مشخصه آهن، خاصیت فرومغناطیسی آن است که در دماهای بالاتر از ۷۷۰°C این خاصیت از بین می‌رود (Mason and Moor, 1982).

کلارک آهن در پوسته ۵ است و این فلز از نظر فراوانی، چهارمین عنصر در پوسته به شمار می‌آید و پس از Al فراوانترین عنصر فلزی پوسته زمین است. ذخایر آهن دارای ۲۵ تا ۶۵ درصد آهن بوده و تمرکز آهن در این نهشته‌ها تا حدودی به حالت رخداد آهن به صورت Fe²⁺ و Fe³⁺ وابسته بوده است. کانه‌های رایج آهن مثل هماتیت و گوتیت دارای آهن فریک (Fe³⁺) بوده و در حضور اکسیژن زیاد پایدار هستند اما کانه‌هایی مثل مگنتیت و سیدریت دارای آهن فرو (Fe²⁺) بوده و در محیط‌های کم اکسیژن (احیاکننده‌تر) پایدارند (Kesler, 1994).

آهن به صورت ۴ ایزوتوپ پایدار ⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe, ⁵⁸Fe شناخته شده که از میان آنها ⁵⁶Fe با فراوانی ۹۱/۶۸٪ بیشترین مقدار را داراست (Fairbridge, 1972). آهن در قسمت‌های عمیق پوسته و جبهه عنصری سیدروفیل است اما در نزدیکی سطح زمین عنصری لیتوفیل تا کالکوفیل به شمار می‌آید (Mason and Moor, 1982).

به طور کلی رفتار ژئوشیمی آهن در ترکیبات مختلف به شرایط اکسیداسیون- احیاء محیط بستگی دارد. آهن در شرایط احیائی، متحرک و تحت شرایط اکسیدان ته‌نشین می‌شود از اینرو از مناطق با اکسیژن پایین به سمت مناطق با اکسیژن بالا مهاجرت می‌کند (Maynard, 1983). لذا با توجه به فوگاسیته اکسیژن و هیدروژن

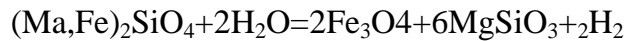
محیط، غلظت آهن و سایر اجزای موجود در سیستم در شرایط PH و EH محیط‌های مختلف (شکل ۱-۱)، ترکیبات متفاوتی از آهن می‌توانند تشکیل شوند (Brookins, 1988).



شکل ۱-۱- محدوده پایداری برخی از ترکیبات آهن در دیاگرام Eh و Ph (Brookins, 1988).

برخی از کانی‌های اکسیدی و سولفیدی آهن مستقیماً از تبلور ماگما در اولین مراحل تفریق ماگمایی حاصل می‌شوند که در این حالت ترکیبات سولفیدی و اکسیدی با آهن دو ظرفیتی در اتاقت ماگمایی روی هم انباشته می‌شوند و در ادامه تفریق ماگمایی، کانی سولفیدی پیروتیت و کانی‌های آهن ۲ و ۳ ظرفیتی می‌توانند از ماگما جدا و متبلور شوند و حجم قابل توجهی از آهن را از ماگما جدا سازند. با کاهش دمای ماگما و همزمان

با تبلور کانی‌های مافیک، ترکیبات آهن ممکن است بصورت یک فاز مایع اختلاط‌ناپذیر از ماگما جدا و مقادیر زیادی مگنتیت تشکیل دهند که این فرآیند به صورت واکنش زیر توسط گلداشمیت (1970) ارائه شده است:



در دماهای پایین‌تر و در شرایط پنوماتولیتی و هیدروترمالی، سولفیدهای آهن (مخصوصاً پیریت) ممکن است به صورت اولیه از ماگما حاصل شده و کانیهای Fe^{3+} مثل هماتیت می‌توانند در مراحل انتهایی تبلور ماگما تشکیل شوند (Craig and Vaughan, 1994)

آهن از نظر شیمیایی عنصری فعال بوده و میزان پایداری ترکیبات مختلف آهن‌دار در برابر فرآیندهای هوازدگی متفاوت است. سولفیدهای آهن مخصوصاً پیرویت و مارکازیت سریعاً اکسیده شده و سولفات آهن و اسید سولفوریک تشکیل می‌دهند. همچنین سیلیکات‌های آهن به آسانی هوازده شده و یون‌های Fe^{2+} تولید می‌کنند. اما برخی ترکیبات اکسیدی آهن مثل مگنتیت و ایلمنیت در برابر هوازدگی مقاومند. در اثر هوازدگی، آهن غالباً به صورت $FeSO_4$ و $Fe(HCO_3)$ به شکل محلول درمی‌آید. با افزایش PH محلول، شرایط اکسیدان و هیدرولیز باعث تشکیل کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن می‌شود (James, 1966).

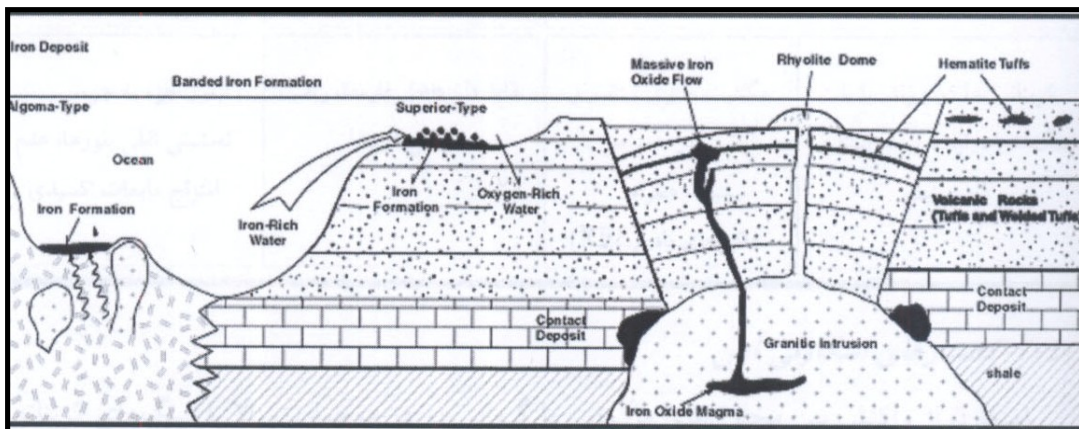
به طور کلی وقتی یک کانی آهن دچار هوازدگی می‌شود، اگر آهن در حالت فرو (Fe^{3+}) باشد به صورت محلول منتقل می‌شود، اما اگر در حالت فریک (Fe^{2+}) باشد به صورت گوتیت رسوب می‌کند. بنابراین کانی‌های آهنی که ضمن هوازدگی در محیط‌های نزدیک سطح (غنی از اکسیژن) دچار انحلال می‌شوند تشکیل یک رخنمون زنگ‌زده و غنی از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن فریک می‌دهند. در مقابل محلول‌های احیاء زیرسطحی، شامل بسیاری از محلول‌های گرمابی و آب برخی از چاه‌ها دارای آهن فروی محلول هستند (Kesler, 1994).

انواع کانسارهای آهن

کانسارهای آهن مهمی توسط فرآیندهای رسوبی، گرمابی و آذرین تشکیل شده‌اند که در شکل (۱-۲) نحوه تشکیل دخیار آهن توسط این فرآیندها دیده می‌شود (Kesler, 1994).

شکل ۱-۲- تصویر شماتیک از تشکیل کانسارهای آهن توسط فرآیندهای زمین‌شناسی

تاکنون کانسارهای آهن را به شکل‌های مختلف، براساس خاستگاه، نحوه تشکیل، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی



طبقه‌بندی نموده‌اند (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۷۴؛ شهاب‌پور، ۱۳۸۰؛ Kesler, 1994). بر این اساس به انواع کانسارهای آهن و خلاصه‌ای از مهمترین مشخصات آنها می‌پردازیم.

کانسارهای آهن ماگمایی

کانسارهای آهن ماگمایی حدود ۲ یا ۳ درصد یا کمی بیشتر از کانسارهای آهن مصرفی دنیا را تشکیل می‌دهند. این کانسارها معمولاً در اثر تفکیک یک سیال غنی از آهن و حاوی ۴ یا ۵ درصد فسفر تشکیل می‌شوند که مذاب غنی از آهن به صورت توده‌های نفوذی انبانی مگنتیتی به درون سنگهای میزبان تزریق می‌شوند. این کانسارها همراه سنگهای مافیک، الترامافیک لایه‌ای (از نوع آنورتوزیت- گابرو) و کربناتیت‌ها (همراه سنگهای الترامافیک دونیت، پریدوتیت، پیروکسنیت و گاه سینیت‌ها) هستند (Guilbert and Park, 1997). سایر خصوصیات این نوع کانسارهای آهن با هم در جدول (۱-۲) مقایسه شده است.

جدول ۱-۲ - خصوصیات کانسارهای آهن ماگمایی (Guilbert and Park, 1997; Evans, 1997)

نوع سنگ همراه	کانه‌سازی	محیط تکتونیکی	نحوه تشکیل
توده‌های نفوذی مافیک والترامافیک در پیوند با سنگ‌های درونی آنورتوزیت- گابرو	مگنتیت حاوی وانادیم وایلمنیت	نقاط داغ داخل قاره‌ها همراه کمپلکس‌های لایه‌ای نظیر بوشولد	تبلور جزء به جزء، ته نشینی ثقیلی بلورها، عدم امتزاج مایعات اکسیدی
کربنات‌های در پیوند با سنگ‌های دونیت، پریدوتیت و گاه سینیت	مگنتیت حاوی تیتانیوم وآپاتیت در همراهی با سینیت، همراه خاکی‌های نادر (REE)	نقاط داغ قاره‌ها، ریفت داخل قاره‌ها	تبلور جزء به جزء، ته نشینی ثقیلی بلورها، عدم امتزاج مایعات اکسیدی

کانسارهای اسکارنی آهن

اسکارن از واکنش بین محلول‌های ماگمایی یا گرمایی در درجه حرارت بالا با سنگ‌های کربناته و در نتیجه جاننشینی Si, Fe و Mg در سنگ‌های آهکی خالص و دولومیت‌ها و تشکیل سیلیکات‌های Ca, Fe و Mg از طریق متاسوماتیزم حاصل می‌شود. آهن در این کانسارها ریشه ماگمایی داشته و درون بخش آهکی عمدتاً به صورت اکسیدی برجای گذاشته می‌شود (Einaudi et al, 1981).

اسکارن‌های آهن بزرگترین ذخایر اسکارنی محسوب می‌شوند (Meinert, 1992) و کانی مگنتیت عمده-ترین محصول قابل استخراج همراه با مقادیر فرعی از عناصر Cu, Ni, Co, Au می‌باشد (Grigoryev et al, 1990).

به طور کلی برای انواع کانسارهای اسکارن طبقه‌بندی گوناگونی ارائه شده است. این طبقه‌بندی‌ها شامل (الف) براساس کانی‌های کالک سیلیکاته که شامل دو گروه کلسیمی (در سنگ‌های آهکی و حاوی کالک

سیلیکات‌های Fe و Cu دار) و منیزی می (در دولومیت‌ها و حاوی کالک سیلیکات‌های Mg دار) می-شوند (Einaudi et al, 1981). (ب) براساس نوع سنگ جانشین شونده شامل اندواسکارن (داخل توده نفوذی) و اگزواسکارن (مابین اندواسکارن و آهک ری کریستالیزه و به عنوان زون اصلی اسکارن) می‌باشند (Einaudi and Bert, 1988) (ج) بر اساس فلزات غالب اقتصادی شامل هفت گروه اسکارن‌های Sn, Mo, W, Pb-Zn, Au, Cu, Fe می‌باشند (Meinert, 1998).

اسکارن‌های آهن در زون فرورانش جزایر قوسی از نوع کلسیک و در زون فرورانش حاشیه قاره‌ها از نوع منیزی می هستند که مهمترین خصوصیات آنها در جدول (۱-۳) آمده است (Ray, 1995). از کانسارهای معروف اسکارن آهن می‌توان به Iron Springer و سنگان (ایران) اشاره کرد.

جدول ۱-۳- مهمترین خصوصیات انواع اسکارن‌های آهن (Ray, 1995)

نوع اسکارن آهن	نوع سنگ همراه	کانه‌سازی	نحوه تشکیل و محل قرارگیری ذخیره
کلسیمی	سنگ‌های گابروبی- دیوریتی	کانه اصلی مگنتیت+ کالکوپیریت+ پیریت+ آرسنوپیریت+ اسفالریت+ گالن+ هماتیت+ طلا	متاسوماتیزم که قسمت اعظم ذخیره در زون گارنت- پیروکسن و بخشی از آن در اندواسکارن
منیزی می	سنگ‌های گرانودیوریتی- کوارتز مونزونیتی	کانه اصلی مگنتیت+ کالکوپیریت+ بورنیت+ پیریت+ پیروتیت+ اسفالریت+ مولیبدنیت	متاسوماتیزم که به علت فقر آهن در سنگ‌های کوارتز مونزونیتی حاشیه قاره فقط در سنگ‌های دولومیتی و فاقد اندواسکارن

کانسارهای آهن آتشفشانی

کانسارهای آهن آتشفشانی نیز همانند کانسارهای آهن ماگمایی، معمولاً از جدایش یک ماگمای حاوی آهن که حاوی ۴ یا ۵ درصد فسفر است حاصل می‌شود اما تفاوت آن با نوع ماگمایی در تشکیل یک مذاب غیر قابل امتزاج اکسیدی و فلیسیک می‌باشد. از نظر ژئوشیمیایی، تفریقی که سبب تولید سنگ‌های کالک‌آلکان می‌شود بر غنی‌شدگی آهن در همان مذاب تأثیر گذاشته و معمولاً با افزایش تفریق نسبت Mg/Fe کاهش و مقدار آهن کل افزایش می‌یابد. این کانسارها از نقطه نظر تکتونیک همراه با فعالیت‌های آتشفشانی، هم در نواحی قاره‌ای و هم در جزایر قوسی دیده می‌شوند. در این نوع کانسارها مذاب غنی از آهن به سطح رسیده و به صورت روانه‌ها و توف‌های استراتی فورم و عموماً استراتی‌باند از آهن همراه با سنگ‌های آتشفشانی لایه‌ای به ویژه از نوع آندزیت و لایتیت نهشته می‌شوند (Guilbert and Park, 1997). از کانسارهای معروف آن می‌توان به ال‌کو (شیلی) و میشدوان (ایران) اشاره کرد. که در آنها جریان‌های از گدازه‌های مگنتیتی (عمدتاً حاوی مگنتیت و به طور فرعی هماتیت و آپاتیت هستند) همراه سنگ‌های آندزیت- ریوداسیت دیده می‌شوند (Forster and Knittel, 1979).

کانسارهای گرمابی آهن

کانسارهای گرمابی آهن در مقایسه با دیگر منابع آهن، از اهمیت کمتری برخوردارند. این کانسارها از طریق دگرسانی گرمابی و به شکل رگه‌ای و استوک‌ورک حاصل می‌شوند. محلول‌های گرمابی غنی از آهن در شرایط مناسب EH و PH و با کاهش دما و فشار، در اثر واکنش با سنگ‌دیواره، باعث تشکیل این نوع ذخایر می‌شوند. کانه اصلی فلزی از نوع هماتیت و سیدریت است که هماتیت در کانسارهای گرمابی حرارت بالا و سیدریت در کانسارهای گرمابی حرارت پایین تشکیل می‌شود. در نوع حرارت بالا و رگه‌ای، ممکن است طلا نیز به صورت ذرات ریز و پراکنده در هماتیت دیده شود. کانسارهای سیدریت گرمابی مهمتر از نوع هماتیتی بوده و تقریباً تمامی آنها دارای مقدار قابل توجهی منگنز هستند (Guilbert and Park, 1997).

کانسارهای رسوبی آهن

ذخایر رسوبی- شیمیایی آهن بزرگترین و مهمترین ذخایر آهن را تشکیل می‌دهند (جدول ۱-۴). آهن موجود در این کانسارها از دو منبع تأمین می‌شود:

(۱) هوازدگی کانی‌های مافیک موجود در قاره‌ها، (۲) فعالیت آتشفشانی. انتقال آهن از منابع آتشفشانی به صورت کلرور انجام می‌شود. در مورد انتقال مقادیر زیاد آهن توسط رودخانه‌ها از قاره‌ها، مشکل اصلی، شرایط اکسیدان آب‌های سطحی است چون Fe^{2+} فقط در شرایط شدیداً اسیدی به حالت محلول در می‌آید (Kesler, 1994) و (James, 1966) معتقدند که امروزه در اثر فرسایش، آهن به صورت هیدروکسیدفریک کلوئیدی، یونهایی که با ذرات آواری پیوند شیمیایی دارند و ذرات کانیایی به داخل اقیانوس حمل می‌شود.

انواع کانسارهای رسوبی آهن عبارتند از: (۱) کانسارهای آهن مردابی، (۲) کانسارهای آهن اولیتی یا سنگ-آهن‌ها (Iron stone)، (۳) تشکیلات آهن لایه‌ای (BIF).

کانسارهای آهن مردابی

این کانسارها عمدتاً در مناطق معتدله تا یخچالی مربوط به نیمکره شمالی به صورت توده‌های عدسی شکل تا نواری لیمونیتی حاوی رس، ماسه و مواد آلی رخ می‌دهند که در دریاچه‌ها، باتلاق‌ها و رودخانه‌هایی با جریان کند تشکیل می‌شوند. منگنز نیز در این کانسارها حضور داشته و گاهی مقدار MnO_2 در آنها به ۴۰ درصد هم می‌رسد. بعضی از این کانسارها به سنگ‌آهن نوار سیاه موسومند و اساساً از سیدریت با مقادیر متغیری از مواد آلی و آواری تشکیل شده‌اند (Stanton, 1972).

در مورد نحوه تشکیل، عقیده بر این است که تجزیه مقادیر زیادی از مواد آلی در خاک‌های اشباع از آب، باعث تشکیل آب‌های غنی از CO_2 شده که این آب‌ها، آهن فریک غیرمحلول در محیط را به $Fe(HCO_3)_2$ محلول تبدیل کرده و برخورد این آبها با آبهای غنی از اکسیژن باعث اکسید شدن Fe^{2+} به Fe^{3+} و ته‌نشینی آن به صورت لیمونیت می‌شود (Craig, 1979).

کانسارهای آهن الیتی یا سنگ آهنها

این کانسارها بسیار متنوع و در آنها دانه‌های الیت از جنس هماتیت، لیمونیت، سیدریت یا شاموزیت همراه یا بدون کلسیت یا کلسدونی در زمینه‌ای از رس یا سنگ آهک پراکنده‌اند. این کانسارها را می‌توان به دو گروه کلینتون و مینت تقسیم‌بندی کرد که مهمترین خصوصیات آنها در مقایسه با آهن لایه‌ای در جدول (۱-۴) آورده شده است (Maynard, 1983).

کانسارهای آهن لایه‌ای (BIF)

این کانسارها، رسوبات شیمیایی، نازک لایه و ورقه‌ای، حاوی ۳۰ تا ۳۵٪ یا بیشتر آهن با منشأ رسوبی هستند که در آنها ۴ رخساره قابل شناسایی است که عبارتند از: (۱) رخساره اکسیدی، (۲) رخساره کربناتی، (۳) رخساره سیلیکاتی و (۴) رخساره سولفیدی، که تفاوت کانی شناسی این ۴ رخساره ناشی از تفاوت EH محیط تشکیل آنهاست. این کانسارها به دو گروه آگوما و سوپریور رده‌بندی می‌شوند که مهمترین خصوصیات آنها در جدول (۱-۴) آورده شده است. از نمونه‌های معروف کانسارهای رسوبی آهن می‌توان کانسار لیک سوپریور (آمریکا) را نام برد.

کانسارهای آهن الیتی		کانسارهای آهن نواری		موارد مقایسه
نوع مینت	نوع کلینتون	نوع سوپریور		نوع آلگوما
مزوزوئیک در اروپا	کامبرین تا دونین	۱/۸ تا ۲/۵ میلیارد سال پیش	آرکئن، محدود به فانروزویک	سن
رسوبات کلاستیک کم عمق و با اکسیژن زیاد	رسوبات کلاستیک کم عمق و با اکسیژن زیاد	دولومیت، کوارتزیت و شیل‌های سیاه، کنگلومرا و چرت	مجموعه سنگ‌های آتشفشانی اسید حدواسط، گری- وک، شیل، اسلیت	نوع سنگ همراه
رسوبی - شیمیایی	رسوبی - شیمیایی	رسوبی شیمیایی با بیوشیمیایی (+مواد آتشفشانی)	آتشفشانی - متصاعدی - رسوبی	نحوه تشکیل
سیدریت - شاموزیت و یا سایر کلریت‌های آهن	هماتیت، شاموزیت و سیدریت	رخساره‌های اکسیدی - کربناتی و سیلیکاتی که هماتیت کانه اصلی است	رخساره‌های اکسیدی - کربناتی - سولفیدی و سیلیکاتی که هماتیت کانه اصلی است	کانه‌شناسی
دریاهای درون قاره‌ای، فلات قاره و دریاچه‌ها	فلات قاره	حوضه‌های فلات قاره - ای و پلاتفرمی	کمربندهای آتشفشانی مناطق قوسی، گرابن‌ها	محیط تکتونیکی

جدول ۱-۴- مهمترین خصوصیات کانسارهای آهن رسوبی و مقایسه انواع آنها برگرفته از
Evans, 1997; Maynard, 1983; Stanton, 1972

کانسارهای رسوبی آواری آهن (پلاسرها)

کانی‌هایی که دارای وزن مخصوص بالا، مقاومت شیمیایی و مکانیکی بالایی هستند، می‌توانند تشکیل پلاسرها دهند که در مورد آهن مگنتیت این شرایط را دارد. سنگ منشأ در این مورد، می‌تواند آنورتوزیت‌ها، کربناتیت‌ها و سنگ‌های بازیک همراه آنها و بازالت‌های جریان‌ی باشد. در اثر فرسایش، مگنتیت به صورت پلاسرها بادی، ساحلی و آبرفتی نهشته می‌شود. از کانسارهای معروف آن می‌توان کانسار تیتانومگنتیت زلاندنو اشاره کرد که به سواحل ماسه سیاه معروفند (Evans, 1997).

کانسارهای آهن حاصل از هوازدگی (لاتریت‌ها)

برای تشکیل این کانسارها، هوازدگی شیمیایی باید شدید باشد که چنین شرایطی در مناطق حاره‌ای گرم و مرطوب حکمفرماست. در چنین شرایطی اکثر سنگ‌ها تمام مواد محلول خود را از دست داده و خاکی فاقد مواد محلول به نام لاتریت تولید می‌کنند. اغلب لاتریت‌های آهن دارای سنگ منشأ بازیگ و الترامافیک بوده که از لحاظ کبالت و نیکل هم غنی هستند. کانه‌های اصلی شامل هماتیت و گوتیت می‌باشد. لاتریت‌ها حاوی ۱۲٪ آلومینا بوده و از کانسارهای معروف آن می‌توان کانسار کناگری را در گینه که بر روی یک دونیت تشکیل شده نام برد (Guilbert and Park, 1997).

کانسارهای گروه Iron oxide

این کانسارها نخستین بار توسط هیتزمن و همکارانش (1992) معرفی شدند، اما در حال حاضر کمبود مثال‌های شناخته شده آنها و همچنین بزرگ مقیاس بودن چنین سیستم‌هایی مانع شناخت کامل آنها شده است. با وجود موفقیت‌های اکتشافی در مورد چنین کانی‌سازی‌هایی، تا کنون مدل ژنتیکی مشروح و کاملی برای تمایز سیستم‌های اقتصادی، نیمه اقتصادی و عقیم آنها ارائه نشده است. این ذخایر همچنین با واژه‌هایی نظیر نوع المپیک دم، کایرونا، ارنست هنری، کندل‌آرنا، رگه‌ها و برش‌های اکسید آهن، کانسنگ آهن آپاتیتی، ذخایر مگنتیت با میزبان ولکانیکی و ذخایر غنی از اکسید آهن نیز شناخته شده‌اند (Lefbaur, 2005; Ray, 1999). با این حال به برخی از مشخصات مهم این ذخایر می‌پردازیم. در جدول (۱-۵) خصوصیات مهم این کانسارها آمده است.

جدول ۱-۵- برخی خصوصیات مهم کانسارهای Iron Oxide برگرفته از Ray, 1999 و Hitzman, 2000

سن	سنگ‌های همراه	مورفولوژی	محیط تکتونیکی
اوایل پروتروزوئیک تا پلیوسن، انواع شناخته شده مربوط به اواسط پروتروزوئیک	گابرو، دیوریت تا گرانودیوریت با ترکیب تولییتی تا کالک‌آلکان	استراتی‌باند تا نیمه-افقی و کاملاً شیبدار، عدسی، انبانه‌ای شیبدار، رگه‌ای، لوله‌ای، برشی و استوک ورک	زون فرورانش حاشیه قاره‌ای، ریفت درون قاره‌ای و نقاط داغ

ذخایر Iron Oxide توسط هیتزمن و همکاران (1992) به دو رده مگنتیت-آپاتیت و اکسید آهن-مس-طلا گروه بندی شده‌اند. هیتزمن معتقد است که این دو گروه دارای ارتباط ژنتیکی بوده و هرچند ممکن است با هم دیده شوند ولی لزوماً همزمان نبوده و به طور کلی ذخایر مگنتیت-آپاتیت نسبت به ذخایر IOCG زودتر تشکیل می‌شوند. کریم پور (۱۳۸۴) نیز زیر رده‌های جدیدی را برای این ذخایر ارائه داده است (جدول ۱-۶).

جدول ۱-۶- رده بندی کانسارهای Iron Oxide توسط کریمپور، ۱۳۸۴

مگنتیت	نوع مگنتیت
مگنتیت- آپاتیت	
مگنتیت- عناصر کمیاب	
REE, U, Au, Cu همراه مگنتیت	نوع اکسید آهن-مس-طلا (IOCG)
Cu, Au همراه مگنتیت	
Cu, Au همراه اسپیکولاریت	
Au, Cu همراه اسپیکولاریت	

این ذخایر توسط مقادیر فراوان کانی‌های اکسید آهن و کمبود نسبی سولفیدهای آهن مشخص و متمایز می‌شوند. هر دو رده ذکر شده ممکن است حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای کربنات و عناصر P, F و Ba باشند. همچنین ذخایر IOCG می‌توانند حاوی مجموعه‌ای از فلزات فرعی شامل Zn, Ag, U, Co و As باشند. تقریباً در همه ذخایر Iron Oxide، ناهنجاری‌هایی از REEها نیز وجود دارد (Hitzman, 2000).

سه محیط تکتونیکی ذکر شده در جدول (۱-۵) برای این ذخایر، دارای فعالیت‌های گسترده آذرین، جریان‌های گرمایی بالا و سنگ منشأهای مناسب می‌باشند شکل (۱-۲). با این وجود، در اغلب ذخایر نوع IOCG ظاهراً ارتباط مستقیم بین توده نفوذی و سطوح کانی‌سازی شده برقرار نمی‌باشد و در برخی نواحی، میزبان این ذخایر به وضوح حاوی رخساره‌های تبخیری از نمک‌های دریایی و دریاچه‌ای می‌باشند (Hitzman, 2000; Barton and Jahnson, 1996).

معمولاً سنگ میزبان این ذخایر متحمل آلتراسیون شدید شده و نوع آلتراسیون وابسته به ترکیب سنگ میزبان و ترکیب محلول کانه‌دار می‌باشد، از اینرو زونهای آلتراسیون در آنها متنوع است. ذخایر رده مگنتیت - آپاتیت معمولاً با زونهای آلتراسیون سدیک- یا سدیک-کلسیک همراهند که در افق‌های بالاتر به سیستم‌های غنی از هماتیت تبدیل شده و در این حالت، آلتراسیون پتاسیک یا سرسیتیک غالب می‌شود. ذخایر رده IOCG بیشتر دارای آلتراسیون سدیک، پتاسیک، سرسیتیک و کربناتی بوده و زون‌های سدیک و سدیک - کلسیک در آنها، اندازه قابل ملاحظه‌ای (۱۰ها تا ۱۰۰ متر) دارد (Hitzman, 2000).

در مورد ترکیب و منشأ سیال‌های کانسار ساز اختلاف نظرهایی بین محققین وجود دارد. برخی پژوهشگران اکثر سیال‌های مولد کانه‌زایی این سیستم‌ها را دارای منشأ ماگمایی می‌دانند (Pollard et al., 1998) و برخی توده‌های نفوذی را تنها به عنوان موتور حرارتی در ایجاد چرخش محلولها (دگرگونی و جوی) در فرآیند کانی‌سازی دانسته و عده‌ای نیز سنگ دیواره و رسوبات را کنترل کننده اصلی کانی‌سازی می‌دانند (Barton and Jahnson, 1996). غنی‌شدگی عناصر REE, U, Mo و F در برخی کانسارهای Iron Oxide به خصوصیات ماگما و ترکیب شیمیایی محلول گرمایی نسبت داده شده است. بدین ترتیب که در محیط‌های ریفت درون قاره-