

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تبریز

دانشکده علوم طبیعی

گروه زمین‌شناسی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی

(گرایش اقتصادی)

عنوان

بررسی دگرسانی‌های متاسوماتیک در اطراف توده کرائیوتیدی کمال، خاروانا- آذربایجان شرقی

استاد راهنما

پروفور علی اصغر کاگری

استاد مشاور

دکتر قادر حسین زاده

مهندس قربان سهرابی

پژوهشگر

رسول فردوسی

بهار ۱۳۹۰

نام خانوادگی: فردوسی ملامحمود	نام: رسول
عنوان پایاننامه: بررسی دگرسانی های متاسوماتیک در اطراف توده گرانیتوئیدی کمتال، خاروانا- آذربایجان شرقی	
استاد راهنما: پروفسور علی اصغر کلاگری استاد مشاور: دکتر قادر حسین زاده، مهندس قهرمان سهرابی	
رشته: زمین شناسی مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد گرایش: زمین شناسی اقتصادی دانشکده: علوم طبیعی دانشگاه: تبریز تعداد صفحه: ۱۲۳ تاریخ فارغ التحصیلی:	
لغات کلیدی: خاروانا، کمتال، اسکارن، آلتراسیون متاسوماتیک، شرایط فیزیکوشیمیایی، تغییرات جرم	
<p>چکیده:</p> <p>اسکارن کمتال در ۱۵ کیلومتری شمال شرق خاروانا در استان آذربایجان شرقی واقع شده است که بخشی از کمربند فلززائی قره داغ- سبلان محسوب می شود. نفوذ استوک کوارتز مونزونیتی کمتال به سن الیگوسن به داخل توالی رسوبی کرتاسه فوقانی (آهک رس دار، مارن و سیلتستون) باعث گسترش زون های آلتراسیون متاسوماتیک قابل توجه و واحدهای دگرگونی مجاورتی در امتداد کنتاکت شده است. اسکارن کمتال از نوع کلسیک بوده و زون های اسکارنی هم به صورت اندواسکارن (کمتر از ۱ متر)، و هم اگزواسکارن (۳۰ تا ۶۰ متر) متشکل از دو زون گارنت اسکارن و اپیدوت اسکارن در آن تکامل یافته اند. فرایند اسکارنی شدن به دو مرحله اصلی (۱) پیشرونده و (۲) پسرونده تقسیم می شود. در مرحله پیشرونده جایگیری توده نفوذی باعث دگرگونی ایزوکمیکال سنگ های درونگیر و تشکیل مرمر و هورنفلس شده است. تبلور توده نفوذی باعث تکامل فاز سیال هیدروترمال و نفوذ آن به داخل سنگ های درونگیر شده است. واکنش این سیالات با سنگ های دگرگون شده اولیه باعث ایجاد آلتراسیون متاسوماتیک گسترده شده که توسط تشکیل کانی های کالک-سیلیکاته بی آب نظیر گارنت و پیروکسن در درجه حرارتی حدود ۵۵۰°C تا ۴۲۰°C و فوگاسیته اکسیژن 10^{-25} تا 10^{-22} مشخص می شود. در مرحله پسرونده با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی نظیر کاهش دما ($>۴۲۰^{\circ}\text{C}$) و افزایش $f\text{S}_2$ کانی های کالک سیلیکاته بی آب به کانی های کالک سیلیکات های آبدار (اپیدوت و ترمولیت-اکتینولیت)، سیلیکاته (کوارتز، کلریت)، اکسیدی (مگنتیت و هماتیت)، سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و تتراهدریت)، کربناته (کلسیت) دگرسان شده اند.</p> <p>مطالعات تغییرات جرم نشان داده است که Cu و SO_3، MgO، Fe_2O_3، SiO_2 از سیالات نشأت گرفته از توده نفوذی به داخل سیستم اسکارنی اضافه شده و CaO، Na_2O و K_2O تهی شده اند. در مقایسه ای که بین اسکارن کمتال و برخی از کانسارهای اسکارنی مشابه در سطح کشور و دیگر نقاط دنیا انجام گرفته، مشخص شده است که کانسار اسکارن کمتال از نظر خصوصیات زمین شناسی شباهت های زیادی به اسکارن انجرد و پهناور دارد.</p>	

۱	مقدمه
	فصل اول: بررسی منابع
۲	(۱-۱) ژئوشیمی آهن و مس
۲	(۱-۱-۱) آهن
۳	(۲-۱-۱) مس
۳	(۲-۱) کانی‌شناسی عناصر
۳	(۱-۲-۱) کانی‌شناسی آهن
۵	(۲-۲-۱) کانی‌شناسی مس
۷	(۳-۱) کانسارهای آهن
۸	(۱-۳-۱) کانسارهای آذرین
۸	(۲-۳-۱) کانسارهای آتشفشانی
۸	(۳-۳-۱) کانسارهای رسوبی
۸	الف) کانسارهای مردابی
۹	ب) تشکیلات آهن نواری
۹	ج) سنگ آهن فانروزوئیک
۱۰	(۴-۳-۱) کانسارهای لاتریتی آهن
۱۰	(۵-۳-۱) کانسارهای پلاسری آهن
۱۱	(۶-۳-۱) کانسارهای اسکارن آهن
۱۱	(۴-۱) کانسارهای مس
۱۱	(۱-۴-۱) کانسارهای همراه با سولفید ماگمائی
۱۱	(۲-۴-۱) کانسارهای همراه با سنگ‌های گرانیتوئیدی
۱۲	(۳-۴-۱) کانسارهای اسکارن مس
۱۲	(۴-۴-۱) کانسارهای ماسیوسولفایدی
۱۲	(۵-۴-۱) کانسارهای رسوبی
۱۳	(۶-۴-۱) کانسارهای اپی‌ترمال
۱۳	(۵-۱) ایالت‌ها و ادوار کانی‌سازی آهن در ایران
۱۵	(۶-۱) کانی‌سازی مس در ایران
۱۵	(۷-۱) کانسارهای اسکارن
۱۵	(۱-۷-۱) تعاریف اسکارن
۱۸	(۲-۷-۱) طبقه‌بندی کانسارهای اسکارنی

۲۱	(۳-۷-۱) تکامل زمانی و مکانی کانسارهای اسکارنی
۲۱	(۴-۷-۱) مینرالوژی اسکارن
۲۴	(۵-۷-۱) ژئوشیمی کانسارهای اسکارن
۲۵	(۶-۷-۱) تیپ‌های آلتراسیونی در اسکارن‌ها
۲۶	(۷-۷-۱) اکتشافات ژئوفیزیکی در مورد اسکارن‌ها
۲۶	(۸-۱) جایگاه زمین‌شناسی و تکتونیکی اسکارن‌ها
۲۹	(۹-۱) ارتباط بین کانسارهای اسکارنی و ترکیب توده نفوذی همراه
۳۰	(۱۰-۱) کانسارهای اسکارن آهن
۳۲	(۱۱-۱) پیشینه پژوهش
۳۳	(۱۲-۱) هدف از مطالعه

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۳۴	(۱-۲) مقدمه
۳۶	(۲-۲) فعالیت‌های پلوتونیک در ایران و آذربایجان
۳۷	(۳-۲) شرایط آب و هوایی
۳۷	(۴-۲) موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه
۳۹	(۵-۲) زمین ریخت‌شناسی منطقه
۴۱	(۶-۲) زمین‌شناسی ناحیه‌ای
۴۲	(۷-۲) روش کار و سیر مطالعاتی
۴۲	(۱-۷-۲) مطالعات صحرایی
۴۲	(۲-۷-۲) مطالعات آزمایشگاهی

فصل سوم: بحث و نتایج

۴۳	(۱-۳) زمین‌شناسی عمومی منطقه کمتال
۴۶	(۱-۱-۳) واحدهای رسوبی
۴۶	الف) واحد Ku^1
۴۸	ب) واحد M^m
۴۸	ج) واحد Q^{tf}
۴۸	د) واحد Q^{al}
۴۹	(۲-۱-۳) توده نفوذی الیگوسن O^{qmz}
۵۰	(۳-۱-۳) واحدهای متاسوماتیکی
۵۰	توده اسکارنی
۵۰	الف) اندواسکارن
۵۰	ب) اگزواسکارن

۵۱	(۳-۱-۴) واحدهای دگرگونی مجاورتی
۵۱	الف) واحد مرمر
۵۲	ب) واحد هورنفلس
۵۳	(۳-۱-۵) واحد ولکانیکی Ku^V
۵۴	(۳-۲) تحلیل ساختمانی درزه‌های موجود در محدوده اسکارنی
۵۸	(۳-۳) پتروگرافی واحدهای سنگی
۵۸	(۳-۳-۱) واحد آهکی کرتاسه فوقانی
۵۸	(۳-۳-۲) توده نفوذی الیگوسن
۵۸	الف) پتروگرافی
۶۱	ب) طبقه بندی مودال
۶۲	(۳-۳-۳) پتروگرافی توده اسکارنی
۶۳	الف) اندواسکارن
۶۵	ب) اگزواسکارن
۶۵	۱) زون گارنت‌اسکارن
۶۸	۲) زون اپیدوت‌اسکارن
۷۰	(۳-۳-۴) پتروگرافی واحدهای دگرگونی مجاورتی
۷۰	الف) زون مرمر
۷۲	ب) زون هورنفلس
۷۳	(۳-۳-۵) واحد ولکانیکی
۷۴	(۳-۴) مینرالوگرافی کانه‌ها
۸۰	(۳-۵) آلتراسیون و مینرالیزاسیون
۸۰	(۳-۵-۱) آلتراسیون در اندواسکارن
۸۱	(۳-۵-۲) آلتراسیون در اگزواسکارن
۸۱	۱) مرحله پیشرونده (Prograde stage)
۸۱	الف) زیر مرحله دگرگونی - بای متاسوماتیک
۸۱	ب) زیر مرحله متاسوماتیک
۸۳	۲) مرحله پسرونده (Retrograde stage)
۸۳	الف) زیرمرحله پسرونده پیشین
۸۴	ب) زیرمرحله پسرونده پسین
۸۵	(۳-۶) مینرالیزاسیون و مکانیسم ته نشست کانی‌ها
۸۵	الف) کانه‌زائی هیپوژن
۸۶	ب) کانه‌زائی سوپرژن
۸۷	(۳-۷) توالی پاراژنری کانی‌های اسکارن کمتال
۸۹	(۳-۸) شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن کمتال

۸۹	(۱-۸-۳) تعیین دما، f_{O_2} و X_{CO_2}
۹۱	(۲-۸-۳) تعیین f_{S_2}
۹۴	(۹-۳) ژئوشیمی اسکارن
۹۴	(۱-۹-۳) تغییرات عناصر اصلی و فرعی
۱۰۲	(۱۰-۳) مدل تکاملی اسکارن کمتال
۱۰۷	(۱۱-۳) مقایسه اسکارن کمتال با سایر کانسارهای اسکارنی

فصل چهارم: نتایج و پیشنهادات

۱۰۹	(۱-۴) نتیجه گیری کلی
۱۱۴	(۲-۴) پیشنهادات

منابع

۱۱۵	منابع فارسی
۱۱۶	منابع لاتین

فهرست اشکال و تصاویر

فصل اول

۷	شکل (۱-۱). نمائی از تشکیل کانسارهای آهن توسط فرایندهای زمین شناسی
۱۷	شکل (۲-۱). شکل شماتیکی از مراحل تشکیل اسکارن
۲۸	شکل (۳-۱). محیط های تکتونیکی تشکیل سیستم های اسکارنی
۲۹	شکل (۴-۱). متوسط ترکیب توده های نفوذی همراه انواع مختلف کانسارهای اسکارنی

فصل دوم

۳۵	شکل (۱-۲). تقسیم بندی واحدهای زمین ساختی ایران
۳۸	شکل (۲-۲). نقشه راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه
۴۰	شکل (۳-۲). تصویر مدل ارتفاعی رقومی (DEM) از محدوده مورد مطالعه (توسط نرم افزار Global Mapper)

فصل سوم

۴۳	تصویر (۱-۳). نمائی از منطقه مورد مطالعه (دید به سمت غرب)
۴۴	شکل (۲-۳). عکس ماهواره ای محدوده مورد مطالعه
۴۵	شکل (۳-۳). نقشه زمین شناسی، نقشه راهنما و پروفایل مربوطه در منطقه کمتال
۴۶	تصویر (۴-۳). آهک کرتاسه بالائی در اطراف زون اسکارنی (دید به سمت غرب)
۴۷	

- ۴۹ تصویر (۵-۳). طبقات آهکی چین خورده کرتاسه بالائی (دید به سمت شمال غرب)
- ۵۱ تصویر (۶-۳). نمائی از مارن میوسن و رسوبات آبرفتی کواترنر (دید به سمت غرب)
- ۵۲ تصویر (۷-۳). نمائی از توده نفوذی الیگومیوسن، اندواسکارن و آگرواسکارن کمتال
- ۵۳ تصویر (۸-۳). واحد مرمره همراه روکشی از اکسید آهن بین کتتاکت اسکارن و آهک ری کریستالیزه
- ۵۴ تصویر (۹-۳). زون دگرگونی هورنفلس با نوارهای تیره و روشن
- ۵۵ تصویر (۱۰-۳). توالی ولکانیکی آندزیت پورفیری دگرسان شده به رخساره پروپیلیتیک
- ۵۷ شکل (۱۱-۳). تصاویری از درزه‌های موجود در محدوده اسکارنی
- ۶۰ شکل (۱۲-۳). رزدیگرام و دیاگرام تراکمی مربوط به سیستم‌های درزه‌ای محدوده اسکارنی
- ۶۲ شکل (۱۳-۳). تصاویر میکروسکوپی از آهک ری کریستالیزه و توده نفوذی
- ۶۴ شکل (۱۴-۳). نمودار (Streckeisen, 1967) و موقعیت سنگ‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه
- ۶۷ شکل (۱۵-۳). تصاویر میکروسکوپی از اندواسکارن کمتال
- ۶۹ شکل (۱۶-۳). تصاویر صحرائی، ماکروسکوپی و میکروسکوپی از زون گارنت اسکارن کمتال
- ۷۱ شکل (۱۷-۳). تصاویر صحرائی، ماکروسکوپی و میکروسکوپی از زون اپیدوت اسکارن کمتال
- ۷۳ شکل (۱۸-۳). تصاویر میکروسکوپی و میکروسکوپی از واحدهای دگرگونی مجاورتی
- ۷۷ شکل (۱۹-۳). تصاویر میکروسکوپی از واحد ولکانیکی آندزیت پورفیری
- ۷۸ شکل (۲۰-۳). تصاویر ماکروسکوپی، صحرائی و میکروسکوپی از کانه‌زائی اسکارن کمتال
- ۷۹ شکل (۲۱-۳). تصاویر ماکروسکوپی، صحرائی و میکروسکوپی از کانه‌زائی اسکارن کمتال
- ۸۸ شکل (۲۲-۳). تصاویر صحرائی و میکروسکوپی از کانه‌زائی اسکارن کمتال
- شکل (۲۳-۳). توالی پاراژنتیکی کانی‌های تشکیل شده در کانسار اسکارن کمتال
- ۹۲ شکل (۲۴-۳). نمودار اصلاح شده $T-Logf_{O_2}$ که محدوده پایداری کانی‌های کالک‌سیلیکاته اسکارنی،
 ۹۳ اکسیدها، سولفیدها و کانی‌های کربناته را نشان می‌دهد
- شکل (۲۵-۳). دیاگرام دما در برابر X_{CO_2} در فشار فلوتید 300Mpa برای سیستم $Si-Al-Mg-Ca-C-O-H$
- ۹۳ شکل (۲۶-۳). نمودار $Logfs_2-Logf_{O_2}$ برای میدان پایداری گارنت نوع آندرادیت در محدوده حرارتی $^{\circ}C$
 ۴۲۰ - ۴۰۰
- ۱۰۵ شکل (۲۷-۳). تصویری شماتیک از سیر تکاملی اسکارن کمتال

فهرست جداول و نمودارها

۴	فصل اول
۶	جدول (۱-۱). مشخصات برخی از کانی‌های مهم آهن
۱۹	جدول (۱-۲). مشخصات برخی از کانی‌های مهم مس
۲۳	جدول (۱-۳). ویژگی‌های کانسارهای اسکارنی و مشخصات آنها
	جدول (۱-۴). ویژگی‌های کانسارهای اسکارنی و مشخصات آنها
۵۶	فصل سوم
۶۱	جدول (۳-۱). اطلاعات تکتونیکی مربوط به درزه‌های محدوده اسکارن کمتال
۹۵	جدول (۳-۲). اطلاعات مربوط به درصد حجمی کانی‌های اصلی و فرعی مقاطع مربوط به توده نفوذی کمتال
۹۶	جدول (۳-۳). آنالیزهای شیمیایی عناصر اصلی و فرعی از نمونه‌های سیستماتیک زون اسکارنی و مرمریزه
۱۰۰	جدول (۳-۴). تغییرات جرم اجزای اصلی و فرعی نمونه‌های مختلف زون اسکارنی بر اساس جزء غیرمتحرک
۱۰۱	(E.F)Ti فاکتور غنی‌شدگی، R.C ترکیب بازسازی شده و M.C تغییر جرم)
۱۰۶	نمودار (۳-۱). تغییرات جرم عناصر در نمونه‌های اسکارنی نسبت به مرمر.
۱۰۸	نمودار (۳-۲). تغییرات جرم عناصر در نمونه‌های اسکارنی نسبت به مرمر.
	جدول (۳-۵). مهمترین خصوصیات زمین‌شناسی اسکارن کمتال
	جدول (۳-۶). مقایسه اسکارن کمتال با اسکارن‌های مشابه در سطح کشور و دنیا

مقدمه

استان آذربایجان شرقی و به خصوص نواحی شمالی آن به خاطر قرارگیری بر روی کمربند متالوژنی قره‌داغ- سبلان از نظر کانه‌زائی بسیار مستعد بوده و باتولیت قره‌داغ از دیرباز مورد توجه معدن‌کاران و زمین‌شناسان می‌باشد.

علیرغم وجود مناطق امیدوار کننده از لحاظ کانی‌زائی فلزات مس، آهن، مولیبدن، طلا و تنگستن در کنسارهای (قره‌چیلر، قره‌دره، پهناور، کمتال، کیتال و آستامال)، در حال حاضر هیچکدام از این مناطق به صورت اقتصادی در حال بهره‌برداری نیستند.

با توجه به وجود معادن فعال در کشورهای همسایه ایران مانند جمهوری آذربایجان و ارمنستان (به خصوص اسکارن‌های مس، آهن و تنگستن) و اینکه توده‌های نفوذی ایجاد کننده این کنسارها ادامه توده‌های نفوذی موجود در شمال آذربایجان شرقی هستند، می‌توان با انجام برنامه‌های اکتشافی علمی و منظم کنسارهای با ارزش این بخش از ایران را شناسائی و بهره‌برداری کرد.

اسکارن آهن- مس کمتال در منتهی‌الیه جنوبی استوک کمتال (توده نفوذی مغری- اردوباد) قرار گرفته و با توجه به اینکه این منطقه جزو مناطق حفاظت شده محسوب می‌شود. تاکنون کار علمی دقیقی بر روی کنسار اسکارن کمتال صورت نگرفته است، لذا این مهم به عنوان موضوع رساله کارشناسی ارشد انتخاب شد.

در این رساله سعی شده است تا در حد امکان تحقیق کامل و جامعی در مورد کانی‌شناسی و کانه-زائی، آلتراسیون‌های متاسوماتیک، ژئوشیمی و تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن ارائه گردد. امید است نتایج حاصل از این تحقیق کلیدی برای اکتشاف توده‌های کنساری مشابه بوده و از قیاس آن با سایر کنسارهای موجود در منطقه، دیدی کلی در مورد نحوه فرایندهای متالوژنی در منطقه حاصل آید.

فصل اول :

بررسی منابع

۱-۱ ژئوشیمی آهن و مس

۱-۱-۱ آهن

آهن چهارمین عنصر فراوان در روی زمین همچنین دومین فلز فراوان بعد از آلومینیوم در پوسته زمین می‌باشد. آهن عنصری دیرگداز، دارای خاصیت مغناطیسی و رفتار ژئوشیمیایی سیدروفیل می‌باشد. اشکال متداول آهن شامل آهن عنصری، Fe^0 آهن فروس، Fe^{2+} و آهن فریک Fe^{3+} می‌باشند. شعاع یونی برای Fe^{2+} برابر با 0.61 \AA و برای Fe^{3+} برابر 0.55 \AA بوده و از ایزوتوپ‌های پایدار آهن می‌توان به Fe_{54} ، Fe_{56} ، Fe_{57} و Fe_{58} اشاره کرد. این عنصر دارای وزن اتمی 55.847 ، نقطه ذوب 1535 درجه سانتیگراد و نقطه جوش 2800 درجه سانتیگراد می‌باشد. آهن در محیط‌های آبی توسط کمپلکس‌های کلریدی و هیدروکسیدی انتقال یافته و مدت اقامت آن در دریا حدود 55 سال می‌باشد. رفتار آهن در طول واکنش آب - سنگ بواسطه خصوصیات متفاوت Fe^{2+} و Fe^{3+} در محلول مشخص می‌شود. اگرچه Fe^{3+} قویاً توسط یون‌های Cl^- کمپلکس می‌گردد، اما تمرکز آن توسط حلالیت اکسیدهای فریک محدود می‌شود. همچنین در مقام مقایسه Fe^{2+} بسیار حلال‌تر از Fe^{3+} می‌باشد. رفتار آهن ما بین آب دریا و پوسته اقیانوسی مجموعه‌ای از فرایندهای اصلی ژئوشیمیایی را نشان می‌دهد، به این صورت که با چرخش آب دریا از میان پوسته اقیانوسی Fe^{2+} بازالت به واسطه جانشینی توسط منیزیم و در نهایت احیای سولفات (SO_4^{2-}) آب دریا به سولفید (S^{2-}) به صورت Fe^{3+} تثبیت می‌شود (Albarede, 2008).

رفتار ژئوشیمیایی آهن در کل در ترکیبات مختلف به شرایط اکسیداسیون-احیائی محیط بستگی دارد. بر اساس شرایط متفاوت Eh-pH و فوگاسیته اکسیژن ترکیبات مختلفی از آهن ممکن است به وجود آید. آهن در شرایط اکسیدان و قلیائی نامحلول ولی در شرایط اسیدی و احیائی محلول می‌باشد (Goldschmidt, 1958).

1-Elemental iron

2-Ferrous iron

3-Ferric iron

۲-۱-۱ ژئوشیمی مس

مس از اولین فلزاتی است که توسط بشر مورد استفاده قرار گرفت. این فلز در طبیعت به حالت آزاد و یا ترکیب با سایر فلزات در کانی‌های مختلف اعم از کانی‌های سولفیدی، اکسیدی و کربناته یافت می‌شود. از نظر شیمیایی مس جزء عناصر واسطه بوده و در گروه فرعی اول و دوره تناوب چهارم از جدول تناوبی قرار دارد و دارای عدد اتمی ۲۹ و وزن اتمی ۶۴ می‌باشد. ایزوتوپ‌های پایدار مس شامل ^{63}Cu و ^{65}Cu بوده و به دو حالت اکسیده Cu^+ و Cu^{2+} وجود دارد (Fairbridge, 1972). از نظر ژئوشیمیایی، مس در گروه عناصر کالکوفیل قرار دارد و در پوسته زمین به طور عمده در فازهای سولفیدی تجمع می‌یابد، با این وجود در فازهای اکسیدی، کربناتی و سیلیکاتی نیز می‌تواند حضور داشته باشد (Goldschmidt, 1958). تمرکز مس در آب دریا کم بوده (۰/۰۰۳ ppm) و مقدار گزارش شده از رس‌های عمیق دریا (۲۵۰ ppm) همیشه پنج برابر بیشتر از مقادیر متوسط پوسته است که این خود نشان دهنده این است که بیشتر مقادیر مس به دریاها حمل می‌شود زیرا تحرک مس در محلول بسیار بالاست (Fairbridge, 1972).

۲-۱ کانی شناسی

۱-۲-۱ کانی شناسی آهن

ترکیبات و کانی‌های آهن در روی زمین بسیار فراوان، گسترده و متنوع هستند. اگر چه اکسیدهای آهن یعنی هماتیت و مگنتیت از نظر کمیت و از نظر اقتصادی جزو مهمترین کانی‌های آهن هستند، ولی کانی‌های هیدروکسیدی، کربناتی، سیلیکاتی و سولفیدی آهن نیز دارای اهمیت می‌باشند. هماتیت و مگنتیت از رایجترین اکسیدهای آهن، گوتیت از مهمترین هیدروکسیدها و سیدریت و آنکریت از مهمترین کربناتهای آهن می‌باشند. همچنین از سیلیکاتهای آهن می‌توان به شاموزیت، گلاکونیت و گرین‌آلایت اشاره کرد. پیریت فراوانترین کانی سولفیدی آهن می‌باشد که ممکن است مانند کانسار هلن (Helen) در کانادا جزء تشکیل دهنده اصلی یک کانسار باشد. مشخصات برخی از کانی‌های اصلی آهن در جدول (۱-۱) آورده شده است (Stanton, 1972).

جدول (۱-۱) مشخصات برخی از کانی‌های مهم آهن (Firbridge, 1972).

گروه	نام کانی	فرمول شیمیایی	درصد آهن
عنصر	آهن خالص	Fe	~100
اکسیدها	مگنتیت	Fe ₃ O ₄	72
	هماتیت	Fe ₂ O ₃	70
	مگهمیت ^۱	Fe ₂ O ₃	70
هیدروکسیدها	گوتیت	FeOOH	62
	لیمونیت	Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O	62
	لپیدوکروسیت	FeOOH	62
کربنات‌ها	سیدریت	FeCO ₃	48
سیلیکات‌ها	شاموزیت	(Fe ⁺² , Mg, Fe ⁺³) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,O) ₈	30-40
	گرینالیت	(Fe, Mg) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	10-20
	گلاکونیت	(K, Na, Ca) _{0.5-1} (Fe ⁺³ , Al, Fe ⁺² , Mg) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O	-
سولفیدها	پیریت	FeS ₂	46
	پیروتیت	FeS	63-73

۲-۲-۱ کانی‌شناسی مس

کانی‌شناسی مس به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته و نسبتاً مشخص می‌باشد گرچه به علت وجود فازهای نیمه پایدار پیچیدگی‌هایی در کانسارهای رسوبی وجود دارد. عمدتاً تنها سولفیدها و فلزات طبیعی مس از نظر اقتصادی با اهمیت هستند، با این وجود کربنات‌هایی چون مالاکیت و آزوریت نیز رایج می‌باشند (Maynard, 1983).

از میان حدود ۱۵۰ کانی شناخته شده دارای مس کانی‌های مهم مس عبارتند از (Fairbridge, 1972):

(۱) مس خالص

(۲) سولفیدها و محصولات سمتاسیون^۱: کالکوپیرت، کالکوسیت، بورنیت، کولیت، انارژیت، تراهدریت، تنانتیت

(۳) محصولات اکسیداسیون: آتاکامیت، مالاکیت، کریزوکولا، کوپریت، تنوریت، بروشانیت، آنتلریت

برخی از ویژگی‌های مهم کانی‌های مس در جدول (۲-۱) آمده است.

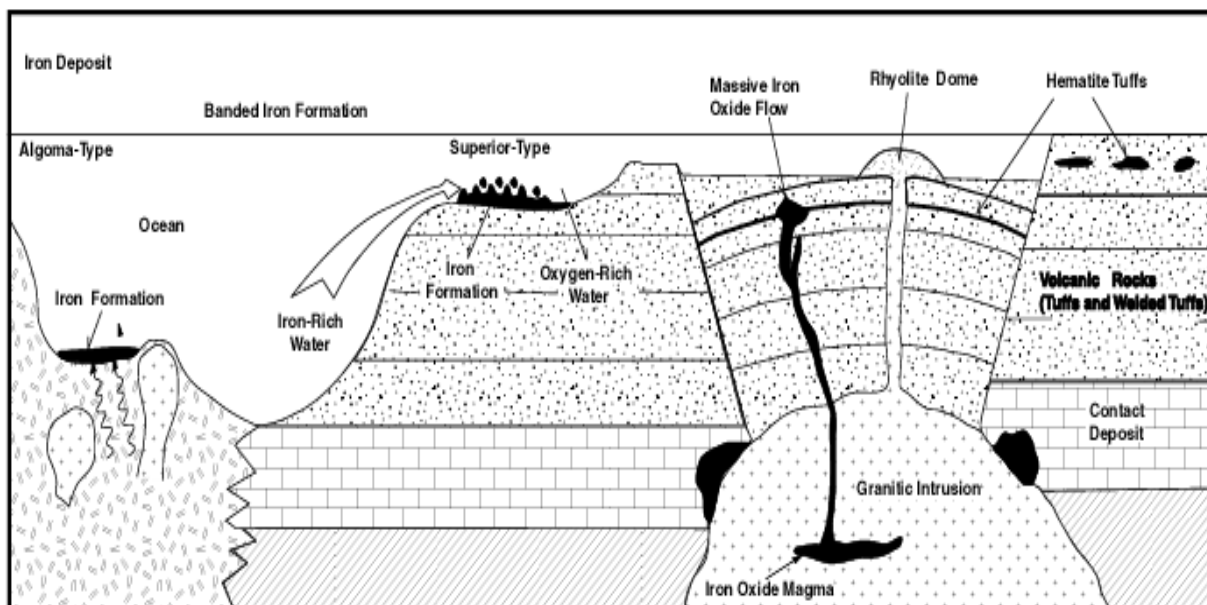
جدول (۱-۲) مشخصات برخی از کانی‌های مهم مس (Firbridge, 1972)

نام فارسی	فرمول	سیستم	جلا	چگالی	پیدایش
مس خالص	Cu	ایزومتریک	فلزی	۸/۵-۹	معمولاً همراه با سنگ‌های خروجی بازیک
کوپریت	Cu ₂ O	ایزومتریک	نیمه فلزی	۵/۸-۶/۱	توده ای، دانه ای، خاکی و رشته ای در زون اکسیداسیون
تنوریت	CuO	مونوکلینیک	-	۴/۵-۴/۷	به صورت پودر سیاه در زون اکسیداسیون کانسار های مس
آناکامیت	Cu ₂ (OH) ₃ Cl	ارتورومبیک	شیشه ای	-	سوزن های منشوری، کانی ثانویه زون اکسیداسیون
مالاکیت	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	مونوکلینیک	ابریشمی	۳/۷-۴	توده ای یا پوسته ای در زون اکسیدان
آزوریت	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	مونوکلینیک	شیشه ای	۳/۷-۳/۸	توده ای یا استالاکتیتی در زون های اکسیدان فوقانی
دیوپتاز	CuSiO ₃ .H ₂ O	هگزاگونال	شیشه ای	-	کانی نادر در زون های اکسیدان و هوازده
کالکانتیت	CuSO ₄ .5H ₂ O	تریکلینیک	شیشه ای	-	کانی غیر معمول در زون اکسیدان خصوصاً در شرایط صحرانی
کالکوپریت	CuFeS ₄	تراگونال	فلزی	۴/۱-۴/۳	به صورت توده ای، مهمترین کانی مس در اغلب شرایط
بورنیت	Cu ₅ FeS ₂	ایزومتریک	فلزی	۴/۹-۵/۳	توده ای همراه با کالکوپریت در سنگ های بازیک، اسیدی
تتراهدريت	Cu ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃	ایزومتریک	فلزی	۴/۶-۵/۱	توده ای، در رگه های حرارت پایین تا حرارت متوسط
بروکانتیت	(Cu ₄)(OH) ₆ SO ₄	مونوکلینیک	صدفی	۳/۹-۴	کانی ثانوی درون حفرات کوارتز
آنتلریت	Cu ₃ (OH) ₄ SO ₄	ارتورومبیک	شیشه ای	۳/۷-۴	اگرگات دانه ای و الیافی به صورت ثانوی
کریزوکولا	O ₃ nH ₂ O SiCu	مونوکلینیک	شیشه ای	۳/۷-۴	کانی ثانویه قلوه ای، استالاکتیت، اگرگات خوشه ای
انارژیت	Cu ₃ AsS ₄	ارتورومبیک	فلزی	۴/۴	توده ای، دانه ای یا منشوری به صورت رگه ای یا جاننشینی
بورنونیت	PbCuSbS ₃	ارتورومبیک	فلزی	-	توده ای یا دانه ای، در رگه های حرارت متوسط
کالکوسیت	Cu ₂ S	ارتورومبیک	فلزی	۵/۵-۵/۸	توده ای یا دانه ای، اساساً در زون های غنی شدگی سوپرژن
کولیت	CuS	هگزاگونال	فلزی	۴/۶-۴/۷	توده ای، ندرتاً بلورین، درزون سوپرژن به همراه کالکوسیت

۳-۱ کانسارهای آهن

طبقه‌بندی کانسارهای آهن عمدتاً بر اساس فرایندهای تشکیل آنها اعم از کانسارهای آهن نوع آذرین، رسوبی، دگرگونی، ولکانیکی و ولکانوسدیمتری می‌باشد. در این بخش مهمترین انواع کانسارهای آهن به اختصار شرح داده می‌شود.

در شکل زیر تشکیل کانسارهای آهن توسط فرایندهای زمین‌شناسی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) نمایی از تشکیل کانسارهای آهن توسط فرایندهای زمین‌شناسی (Kesler, 1994).

۱-۳-۱ کانسارهای آذرین

بسیاری از کانسارهای مگنتیت با ابعاد کوچک و متوسط در توده‌های نفوذی گابروئی یافت می‌شوند همچنین کانسارهای بزرگ مگنتیت در لوپولیت‌های لایه‌ای حادث می‌گردند که برخی از این کانسارها به خاطر وانادیم و همچنین آهن استخراج می‌شوند. از این نوع کانسارها می‌توان به مگنتیت‌های وانادیم دار آپرزون (Upper zone) در مجموعه بوشفیلد اشاره کرد. لایه‌های غنی از مگنتیت ممکن است در نتیجه ته‌نشینی ثقیلی بلورهای مگنتیت در یک مذاب فلدسپاتی باشند یا آنکه در اثر تبلور آرام ماگمای در حال سکون به وجود آمده باشند. همچنین لایه‌های کرومیت الترامافیک و لایه‌های آنورتوزیت - مگنتیت - ایلمنیت گاهاً در میان نفوذی‌های لایه‌ای مشاهده می‌شوند (Guilbert and Park, 1997).

۱-۳-۲ کانسارهای آتشفشانی

کانسارهای آتشفشانی آهن از جدایش یک ماگمای غنی از آهن که معمولاً حاوی ۴ تا ۵ درصد فسفر است، حاصل می‌شود. از کانسارهای آتشفشانی آهن می‌توان به کانسار El Iaco در شیلی و کانسار Cerre de Mercado در مکزیک اشاره نمود (Guilbert and Park, 1997).

۱-۳-۳ کانسارهای رسوبی

در حال حاضر بیش از ۹۰٪ تولید آهن جهان از کانسارهای رسوبی آهن صورت می‌گیرد. کانسارهای رسوبی آهن شامل کانسارهای آهن مردابی، تشکیلات آهن نواری یا BIF^۱ ها، کانسارهای ائولیتی آهن یا Ironstone ها می‌باشند.

الف) کانسارهای آهن مردابی: این نوع کانسارها در مناطق معتدلی تا یخچالی مربوط به نیمکره شمالی به صورت توده‌های عدسی شکل تا نواری لیمونیتی که حاوی رس، ماسه و مواد آلی می‌باشند و در دریاچه‌ها، رودخانه‌های دارای جریان کند و باتلاق‌ها تشکیل می‌شوند. تجزیه مقادیر زیادی از مواد آلی در خاک‌های اشباع از آب باعث تشکیل آبهای غنی از CO₂ می‌شود. این آبها باعث می‌شوند که آهن فریک غیر محلول موجود در محیط به بی‌کربنات Fe²⁺ یعنی Fe(HCO₃)₂ محلول تبدیل شود.

1-Banded Iron Formation

برخورد و اختلاط آبهای حاوی بی‌کربنات Fe²⁺ با آبهای غنی از اکسیژن باعث اکسید شدن

Fe^{2+} موجود در آنها و ته‌نشینی آهن به صورت لیمونیت می‌شود (Stanton, 1972).

ب) **تشکیلات آهن نواری**: تشکیلات آهن نواری یا BIFها مهمترین رده از طبقه‌بندی کانسارهای آهن می‌باشند. در حقیقت شکی نیست که کانسارهای این گروه با اهمیت تر از همه رده‌های کانسارهای آهن باشند (Stanton, 1972).

این کانسارها از طریق ته‌نشست شیمیایی تشکیل شده‌اند و بسیاری از آنها شامل تناوبی از لایه‌های نازک غنی از آهن و سیلیس می‌باشند. در این گونه ذخایر لایه‌های غنی از آهن از اکسیدها، سولفیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌های آهن تشکیل شده و لایه‌های غنی از سیلیس معمولاً شامل کوارتز دانه‌ریز (چرت) می‌باشند. در تشکیلات آهن نواری چهار رخساره اکسیدی، کربناته، سیلیکاتی و سولفیدی قابل تشخیص است که تفاوت کانی شناسی این چهار رخساره در اثر کاهش Eh از رخساره اکسیدی به طرف رخساره کربناته و سولفیدی می‌باشد (Evans, 1997). تشکیلات نواری آهن بیشتر متعلق به زمان پری‌کامبرین بوده و به کانسارهای نوع آگوما و نوع دریاچه لیک سوپریور تقسیم می‌شوند. کانسارهای نوع آگوما اغلب متعلق به زمان آرکنن بوده که نسبتاً کوچک هستند و ارتباط مشهودی با ولکانیسم نشان می‌دهند ولی کانسنگ‌های نوع لیک سوپریور بیشتر به یک فاصله زمانی به خصوص در حدود ۲ میلیارد سال پیش محدود میشوند. این کانسارها از نظر اندازه بسیار بزرگتر بوده و متعلق به محیط‌های کم عمق فلات قاره هستند و عمدتاً مرتبط با ارتوکوارتزیت - کربنات می‌باشند (Maynard, 1983).

ج) **سنگ آهن فانروزوئیک**: این گروه از کانسنگ‌های آهن دارای بافت ائولیتی بوده و عمدتاً متعلق به فانروزوئیک می‌باشند. این کانسارها فاقد لایه‌بندی ظریف همچنین به مراتب کوچکتر از کانسنگ‌های آهن پری‌کامبرین می‌باشند (Maynard, 1983).

کانسارهای ائولیتی آهن بسیار متنوع بوده و در برخی از آنها دانه‌های ائولیت در زمینه‌ای از رس یا سنگ آهک پراکنده شده‌اند. جنس ائولیت‌ها ممکن است هماتیت، لیمونیت، سیدریت یا شاموزیت همراه یا بدون همراهی کلسیت یا کلسدون باشد.

این کانسارها را می‌توان به دو گروه کلیتون و می‌نت^۱ تقسیم کرد (Evans, 1997).

سنگ آهن‌های نوع کلیتتون و می‌نت هیچکدام دارای رخساره‌های مجزای اکسیدی، کربناته و سیلیکاته نمی‌باشند. این ذخایر هر دو کم عیار بوده و به دلیل فراوانی کانی‌های سیلیکاته امکان سود-آوری اقتصادی آنها پائین می‌باشد (Kesler, 1994).

از نظر ژنز مکانیسم قابل قبولی برای تشکیل این ذخایر وجود نداشته و احتمالاً پلی‌ژنتیک می‌باشند. در حال حاضر به نظر می‌رسد که تامین آهن به صورت ذرات آواری توسط رودخانه‌های حاره ای بوده که ائولیت‌ها از همین آهن به صورت میکرو کنکرسیون در داخل رخساره گلی (شاموزیت) و یا در آبهای آشفته‌تر به صورت ائولیت‌های واقعی (گوتیت) تشکیل شده‌اند (Maynard, 1983).

۱-۳-۴ کانسارهای لاتریتی آهن

اکثر لاتریت‌ها که از هوازدگی در جای سنگ‌های مافیک و الترامافیک حاصل شده‌اند، غنی از آهن می‌باشند. ضخامت این کانسارها امکان دارد به ۲۰ متر برسد. آنها حاوی هماتیت، گوتیت، و ۱۲٪ آلومینا می‌باشند. برای تشکیل لاتریت‌های غنی از آهن رخداد هوازدگی شیمیائی شدید نظیر هوازدگی-های موجود در مناطق استوائی با میزان بارندگی بالا بر روی سنگ‌های اولیه لازم است. زیرا در حین فرایند هوازدگی هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم از غیرمحلول‌ترین مواد طبیعی محسوب می‌شوند (Evans, 1997).

۱-۳-۵ کانسارهای پلاسری آهن

هرگاه سنگ‌های حاوی کانی‌های سنگین و مقاوم تحت تاثیر فرسایش قرار گیرند، کانی‌های سنگین رها شده از سنگ توسط عوامل انتقال (که ممکن است آب رودخانه، امواج دریا، و یا باد باشد) به محل تجمع انتقال می‌یابند. این کانسارها به کانسارهای پلاسری معروفند. (Guilbert and Park, 1997)

برخی از کانه‌های آهن به ویژه مگنتیت در برابر هوازدگی مقاوم می‌باشند. مگنتیت دارای وزن مخصوص بالائی است و به همین علت ممکن است در پلاسرها تجمع یافته و سواحل ماسه سیاه (black-sand beach) را در جهان به وجود آورد (Kesler, 1994).