بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه
گروه زمین‌شناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی

بررسی زمین شناسی،کانی‌شناسی، ژئوشیمی و مگنتومتری کانسار آهن شترسنگ (بخش غربی) (شمال‌شرق سبزوار)

اساتید راهنما
پروفسور محمد حسن کریم‌پور
دکتر محمد رضا حیدریان شهری

استاد مشاور
دکتر سید احمد مظاهری

نگارش
سعیده غلامی

زمستان ۱۳۸۷

تقدیم به

ساحت تابناک مهدی موعود (عج)

وآستان مقدس هشتمین فروغ آسمانی، علی بن موسی الرضا (ع)

تقدیم به

مظهر فداکاری و دوستی زندگی ام، پدرم

تقدیم به

نماد عشق و لطافت زندگی ام، مادرم

تقدیم به

شادیهای زندگی ام، برادران و خواهرانم

می گویند که ما همه کوزه سفالین یک استادیم و مظروفان باده (نفخت من روحی) است. همه ما در یک جاده مستقیم و رو به یک چهره حاشقیم، این است راز عالم...

بار الها! در این میانه جرعه هایی برگرفتم به قدر ظرف خویش، کوشیدم تا تو را باز شناسم از میان هر آنچه گرد اگردم را فرا گرفته است. حالی که می دانم هر دم در چهره هایی رخ می نمایی و به جاهایی در می آیی و من به همان چهره عشق می ورزم و همان جامه بر تن احساسم می کشم...

من در آیینه شفاف کتاب

در شبستان دلم

کنج محراب دعا

در نماز ابدی

بار الها! به تو سوگند تو را می بینم.

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت، هر نفسی که فرو می رود ممد حیات است و چون بر می آید مفرح ذات.

به خواست و یاری پروردگار باری تعالی اتمام این رساله به انجام رسید، ستایش و سپاس ذات پاکش بیش از پیش بر من حتمی و واجب گردید.

اینک که پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خود را تقدیم می دارم بر خود وظیفه می دانم که مراتب سپاس خود را به تمامی عزیزانی که در این راه یاری گر من بودند و از وجودشان بهره بردم، ابراز کنم.

از اساتید فرزانه پروفسور محمد حسن کریم پور و دکتر محمد رضا حیدریان شهری که ضمن راهنمایی های ارزنده خود کمال حوصله و دقت را در این باب به خرج داده اند، از صمیم قلب سپاسگذارم. یقیناً نقاط قوت و اعتبار این رساله مرهون توجهات ایشان و کاستی ها متوجه اینجانب می باشد.

از راهنما و مشوق همیشگی و دوست داشتنی ام دکتر سید سعید سعادت که شخصیت والای اخلاقی ایشان در کنار ویژگی های ممتاز علمی آن بزرگوار الگویی نامبردنی است، بسیار سپاسگذارم.

از استاد عزیزم دکتر سید احمد مظاهری به خاطر همکاری های صمیمانه و ارشادات سودمندشان از آغاز تا انجام این رساله کمال تشکر و امتنان را دارم.

مراتب سپاس خود را به کلیه اساتید و اعضای هیأت علمی گروه زمین شناسی که در طول مدت تحصیل از وجودشان کسب فیض نموده ام، تقدیم می دارم.

قدردانی و تشکر مخصوص خود را به دوست و یار دیرینه و مسئول دفتر گروه زمین شناسی، سرکار خانم مهندس فاطمه حسین زاده هدیه می کنم. بدون شک نمی توان یاری ها و مساعدت های سرکار خانم دکتر یلیجه قورچی را طی مدت انجام پژوهش نادیده انگاشت، قدردانی و تشکر ویژه از ایشان کمترین کاری است که از عهده این حقیر بر می آید. از خانم دکتر آزاده ملک زاده که همیشه پاسخگوی سؤالات اینجانب بوده اند کمال تشکر را دارم.

از دوستان و همراهان عزیزم که وجودشان امید بخش ادامه این مسیر برای من بوده است، خانم مهندس مریم رجب زاده، خانم مهندس محدثه پناهی، خانم مهندس فاطمه شبانی، خانم مهندس سمیه حسینی نژاد، خانم مهندس سکلیبار مضانی و خانم مهندس معصومه ذاکریان بسیار سپاسگذارم و برای ایشان در ادامه مسیر زندگی خوشبختی و موفقیت های بیشتر را آرزومندم. از جناب آقای مهندس لطفیان نیز سپاسگذارم.

از کارکنان محترم گروه زمین شناسی و دانشکده علوم پایه آقایان بهادری، حافظی، وطن پرور، شجاعی، مشیری و فوده ی تشکر می کنم.

از همکاریهای بی دریغ جناب آقای مهندس ابراهیمی مسئول معدن ابوذر نیشاور و سایر کارکنان زحمتکش معدن کمال تشکر و قدردانی خود را ابراز می دارم. امید است این رساله بتواند نقطه عطفی برای پیشبرد بهتر و ادامه مصمم تر این عزیزان در فعالیت های آتی باشد.

در پایان برای تمامی عزیزان نامبرده از خداوند، هستی بخش آرزوی سلامتی، بهروزی و طول عمر با عزت را دارم.

چکیده **۱-۴**
چکیده فارسی ۱
چکیده انگلیسی ۳

فصل اول: کلیات **۶-۲۲**
مقدمه ۶
کانسارهای آهن ۶
کانسار آهن ابوذر ۱۶
محل و موقعیت جغرافیایی ۱۶
راه‌های دسترسی به منطقه ۱۶
شاخص‌های اقلیمی و اجتماعی منطقه ۱۸
ژئومورفولوژی منطقه ۱۸
تاریخچه مطالعات پیشین ۲۰
هدف از مطالعه ۲۰
روش مطالعه ۲۱

فصل دوم: زمین‌شناسی **۲۴-۴۰**
مقدمه ۲۴
جغرافیا و ریخت‌شناسی محدوده ورقه مشکان ۲۸
زمین‌شناسی ناحیه‌ای ورقه مشکان ۲۸
چینه‌شناسی ورقه مشکان ۲۹
زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک ورقه مشکان ۳۴
ماگماتیسم و سنگ‌های ماگمایی ورقه مشکان ۳۷
کانی‌سازی ورقه مشکان ۳۷
زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۳۷
چینه‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۳۸
زمین‌شناسی ساختمانی محدوده مورد مطالعه ۳۹

فصل سوم: پتروگرافی **۴۲-۶۶**
مقدمه ۴۲
مطالعات پتروگرافی محدوده مورد مطالعه ۴۳
سنگ‌های آذرین نیمه‌عمیق ۴۳
مونزودیوریت ۴۳
دیوریت پورفیری ۴۵
سنگ‌های دگرگونی ۴۶
مرحله پیشرونده ۴۶
مرمر ۴۹

اسکارن ۴۹
اندواسکارن ۴۹
اگزواسکارن ۵۱
گارنت اسکارن ۵۱
مرحله پسرونده آغازی ۵۷
گارنت- ایدوکراز اسکارن ۵۷
پلاژیوکلاز اسکارن ۵۸
زوئیزیت- اپیدوت اسکارن ۵۸
اکتینولیت اسکارن ۵۹
مرحله پسرونده تأخیری ۶۳

فصل چهارم: شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن ۶۹-۹۰
مقدمه ۶۹
مرحله پیشرونده ۶۹
مرحله پسرونده آغازی ۷۰
مرحله پسرونده تأخیری ۷۲
کانی‌سازی مرتبط با مراحل آلتراسیونی اسکارن ۷۲
کانی‌سازی اولیه ۷۳
کانی‌سازی ثانویه ۷۹
توالی پاراژنزی ۸۱
شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن شترسنگ ۸۳
تعیین T ، X_{CO2} و fO_2 ۸۳
تعیین fS_2 ۸۷

فصل پنجم: کانی‌سازی و ژئوشیمی کانسار ۹۲-۱۲۰
کانی‌سازی در محدوده ورقه مشکان ۹۲
کانی‌سازی فلزی در محدوده ورقه مشکان ۹۲
کانی‌سازی غیرفلزی در محدوده ورقه مشکان ۹۶
تعیین منشأ آهن در محدوده مورد مطالعه ۹۸
ژئوشیمی کانسار ۹۱
مقایسه ژئوشیمیایی کانسنگ سنگان و شترسنگ ۱۰۶
معرفی سایر اسکارن‌های آهن در جهان ۱۰۸
مقایسه کانسار آهن شترسنگ با کانسارهای Iron-Oxide ۱۱۹

فصل ششم: ژئوشیمی توده نفوذی ۱۲۸-۱۲۲
مقدمه ۱۲۲
ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی توده نفوذی منطقه مورد مطالعه ۱۲۲
نامگذاری سنگ‌ها بر مبنای ترکیب شیمیایی ۱۲۳
شاخص اشباع آلومین ۱۲۵
سری‌های ماگمایی و تکتونیک صفحه‌ای ۱۲۶

فصل هفتم: ژئوفیزیک ۱۵۹-۱۳۰
مقدمه ۱۳۰
روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف اسکارن‌ها ۱۳۰
مغناطیس سنگ ۱۳۱
پذیرفتاری مغناطیسی ۱۳۱
اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی ۱۳۴
اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۱۳۵
برداشت مغناطیس‌سنجی در منطقه مورد مطالعه ۱۳۸
تفسیر و تشخیص آنومالی‌های مغناطیسی از روی نقشه‌های مغناطیسی ۱۳۹
نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (TMI) ۱۴۰
نقشه منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی ۱۴۱
نقشه منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی به همراه پروفیل‌های برداشت ۱۴۵
نقشه انتقال به قطب (RTP) ۱۴۷
نقشه مشتق اول قائم (1VD) ۱۵۰
نقشه‌های فراسو یا ادامه به سمت بالا ۱۵۲
انطباق نقشه‌های مغناطیس‌سنجی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۵۷
مقایسه تصاویر سه‌بعدی شدت کل میدان مغناطیسی و انتقال‌یافته به قطب ۱۵۸

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۶۶-۱۶۱
پیشنهادات ۱۶۶-۱۶۵

منابع فارسی ۱۶۸-۱۶۷
منابع لاتین ۱۷۴-۱۶۹

چکیده

اسکارن آهن شترسنگ در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد، ۸۲ کیلومتری شمال شرق سبزوار و در زون ساختاری بینالود قرار دارد. در این منطقه اولین پدیده مرتبط با تشکیل اسکارن، نفوذ توده‌های ساب ولکانیک حدواسط با ترکیب غالب مونزودیوریت و دیوریت پورفیری پس از ائوسن در بین توالی کربناته (به طور غالب آهکی) کرتاسه زیرین قابل قیاس با سازند تیزکوه در البرز مرکزی می‌باشد. توده‌های مذکور مشخصه متا آلومینوس وابسته به سری کالک‌آلکالن دارند.

بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، اسکارن منطقه شامل دو زون اندواسکارن محدود و اگزواسکارن گسترده است. در اندواسکارن بافت پورفیری توده نفوذی حفظ شده است، با این تفاوت که پلاژیوکلازها آلتراسیون شدیدتری دارند. اگزواسکارن ۵ زون مشخص شامل ۱- گارنت اسکارن ۲- گارنت- ایدوکراز اسکارن ۳- پلاژیوکلاز اسکارن ۴- زوئیزیت- اپیدوت اسکارن ۵- اکتینولیت اسکارن دارد. این زون‌ها به ترتیب فاصله از توده‌های نفوذی به وجود آمده‌اند.

بر اساس شواهد پتروگرافی فرایندهای متاسوماتیکی پیشرونده و پسرونده اسکارنی منطقه در سه مرحله جداگانه و مشخص به وقوع پیوسته‌اند. مرحله پیشرونده بعد از جایگزینی و با شروع تبلور توده نفوذی در عمق و یا آزاد شدن سیالات هیدروترمالی مشتق شده از آن شروع می‌شود. در این مرحله کانسارسازی انجام نمی‌شود و در حکم آماده‌سازی زمینه محسوب می‌گردد. در این مرحله کالک‌سیلیکات‌های بدون آب مانند گارنت در زون اسکارنی تشکیل شده‌اند. بررسی شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن نشان می‌دهد که دمای مرحله اصلی تشکیل زون گارنت ۴۲۰-۵۵۰°C و 10^{-25}- 10^{-22} = fO_2 بوده است. افزایش محلی فوگاسیته اکسیژن ($>10^{-22}$) مانع تشکیل همزمان دو کانی گارنت و پیروکسن گردیده است. در مرحله پسرونده آغازی حجم عمده‌ای از کالک‌سیلیکات‌های بدون آب اسکارنی همانند گارنت و پیروکسن که در حرارت‌های نسبتاً بالا تشکیل شده‌اند، به مجموعه‌ای از سیلیکات‌های آبدار مثل اپیدوت، ترمولیت- اکتینولیت یا کانی‌هایی مثل کلسیت، کوارتز، مگنتیت و ... تبدیل شده‌اند. با توجه به دیاگرام پایداری کانی‌ها، این دگرسانی‌ها در دمای ۴۰۰-۴۲۰°C رخ داده و این محدوده دمایی X_{CO2}=۰/۱ و $fS_2 > 10^{-7}$ و $fO_2 < 10^{-25}$ را برای اسکارن مورد مطالعه پیشنهاد می‌کند. در مرحله پسرونده تأخیری کالک‌سیلیکات‌های آبدار و بدون آب تشکیل شده در مراحل قبلی به مجموعه‌های ریزدانه شامل کلریت، کلسیت، کوارتز و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند.

مرحله اصلی نهشت اکسیدها و بخصوص سولفیدها، بعد از مرحله تشکیل اسکارن پیشرونده یعنی در طی مراحل آغازی دگرسانی پسرونده رخ داده است. مگنتیت مهم‌ترین و فراوانترین کانه اکسیدی منطقه است. بافت جانشینی مگنتیت در بین بلورهای گارنت نشان می‌دهد که مگنتیت بعد از تشکیل اسکارن اولیه نهشته شده است. پیریت فراوانترین کانه سولفیدی است که در حفرات، شکستگی‌ها و مرز بلورهای مگنتیت به وجود آمده است. بنابراین تشکیل پیریت بعد از مگنتیت رخ داده است. فرایند تشکیل پیریت در مراحل انتهایی آلتراسیون کالک‌سیلیکات‌های اولیه (مرحله پسرونده تأخیری) رخ می‌دهد. کالکوپیریت دیگر کانه سولفیدی می‌باشد که به مقدار بسیار اندک همراه با مگنتیت و پیریت مشاهده می‌شود.

مقایسه طلا، مس و عناصر نادر خاکی منطقه شترسنگ با مهمترین کانسارهای Fe Oxides Cu-Au ثابت نمود که کانسار شترسنگ از لحاظ عناصر مورد قیاس در حد کانسارهای Fe Oxides Cu-Au نبوده و تنها کانه اقتصادی در آن مگنتیت است.

نقشه‌های مغناطیسی انتقال به قطب آنومالی‌های مغناطیسی هماهنگ با توده‌های کانی‌سازی مگنتیت را آشکار کردند. آنومالی‌های مغناطیسی نسبت به توده‌های معدنی اصلی رخنمون یافته بیشتر به سمت شمال تمایل دارند. این تمایل دلالت بر این دارد که وسعت کانی‌سازی از توده معدنی که در سطح رخنمون دارد، بیشتر است. نقشه مشتق اول قائم داده‌های مغناطیسی سطحی بودن منابع آنومالی که به وسیله توده‌های مگنتیت روی سطح آشکار شدند، نشان دادند. نقشه ادامه به سمت بالا تا عمق ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر نشان دادند که آنومالی‌های مغناطیسی اصلی A و B تا عمق ۱۵۰ متر همچنان ادامه دارند که چنین عمق وسعتی را برای منابع آنها (توده‌های معدنی) پیشنهاد می‌کند.

فصل اول

کلیات

مقدمه

کشور ایران با توجه به قرار گرفتن در پنجره تکتونکی پالئوتتیس و نئوتتیس و فعالیت‌های ماگمایی، دگرگونی و محیط رسوبی مناسب، از پتانسیل مواد معدنی فلزی و غیرفلزی 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 معادن 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 بهره-برداری 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.

کانسارهای آهن

کانسارهای آهن تقریباً در تمام دوره تاریخچه تکوین زمین تشکیل یافته و برحسب ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی به انواع مختلف و متعدد تقسیم می‌گردد. بخش عمده کانسارهای آهن به زمان پرکامبرین مربوط می‌شود و قدیمی‌ترین چرخه فلز زایی آن به زمان آرکئن مربوط می‌باشد.

تاکنون کانسارهای آهن را با توجه به نحوه تشکیل آنها به طرق مختلف تقسیم‌بندی نموده‌اند، اما به طور کلی می‌توان گفت که این کانسارها توسط فرآیندهای ماگمایی، رسوبی، دگرگونی و پدیده‌های مرتبط با آنها تشکیل می‌شوند. در این قسمت به اختصار در مورد مهم‌ترین انواع کانسارهای آهن توضیح داده می‌شود.

کانسارهای آهن رسوبی

امروزه قسمت اعظم (حدود ۹۰ درصد) آهن مصرفی دنیا از کانسارهای آهن رسوبی به دست می‌آید. این کانسارها را می‌توان به طور کلی به دو گروه عمده که شامل ذخایر برجا و ذخایر نابرجا می‌باشند، تقسیم کرد.

ذخایر برجای آهن

این نوع ذخایر آهن را می‌توان به نوبه خود به دو گروه نهشته‌های بازماندی آهن و نهشته‌های شیمیایی آهن تقسیم کرد (Evans, 1987).

الف- نهشته‌های بازماندی آهن: لاتریت‌های غنی از آهن، نهشته‌های بازماندی آهن را تشکیل می‌دهند. برای تشکیل نهشته‌های بزرگ لاتریت‌های غنی از آهن، انجام هوازدگی شیمیایی شدید نظیر هوازدگی موجود در شرایط آب و هوایی استوایی با بارندگی بالا بر روی سنگ مادر اولیه مناسب مانند دونیت‌ها ضرورت دارد. در این‌گونه نقاط، براثر هوازدگی سنگ‌ها، خاکی که تمام مواد قابل انحلال آن خارج شده، به وجود می‌آید که این قبیل خاک‌ها را لاتریت می‌گویند. از آنجا که هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم از غیر قابل حل‌ترین مواد طبیعی محسوب می‌شوند، لاتریت‌ها عمدتاً از آنها تشکیل یافته‌اند.

ب- نهشته‌های شیمیایی آهن: نهشته‌های شیمیایی آهن را می‌توان به دو گروه سازندهای آهن نواری (BIF) پرکامبرین و سنگ‌آهن‌های فانروزوئیک تقسیم کرد.

سازندهای آهن نواری(BIF)

این کانسارها از طریق ته‌نشست شیمیایی تشکیل شده‌اند، مهم‌ترین و بزرگترین ذخایر آهن را تشکیل می‌دهند. بسیاری از آنها شامل تناوبی از لایه‌های نازک غنی از آهن و سیلیس می‌باشند که اصطلاحاً آنها را سازندهای آهن نواری (BIF) می‌نامند. در این گونه ذخایر، لایه‌های غنی از آهن از اکسیدها، سولفیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌های آهن تشکیل شده‌اند. اغلب ذخایر آهن نواری در آرکئن و اوایل پروتروزوئیک تشکیل شده‌اند و به نظر می‌رسد که در این دوره زمانی افزایش اکسیژن اتمسفری در

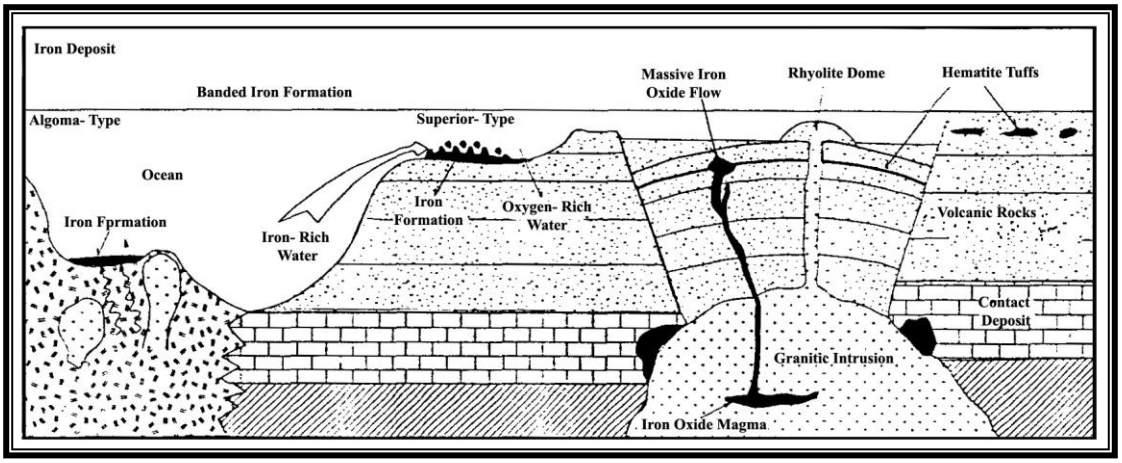
حوضه رسوبگذاری باعث تشکیل چنین ذخایر عظیمی شده باشد. سازندهای آهن نواری به دو نوع اصلی آلگوما و سوپریور تقسیم می‌شوند:

- سازندهای آهن نواری نوع آلگوما: سازندهای آهن نواری نوع آلگوما معمولاً دهها متر ضخامت داشته و گسترش جانبی آنها حداکثر چند کیلومتر است و به همراه آنها سنگ‌های ولکانیکی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد در محل چشمه‌های داغ ولکانیکی و در جاهائیکه شوراب‌های داغ غنی از آهن وارد حوضه‌های رسوبی می‌شده‌اند، این ذخایر آهن تشکیل شده است (شکل ۱).

سازندهای آهن نواری نوع سوپریور: از ذخایر نوع آلگوما بزرگتر بوده و صنایع آهن جهان به این نوع ذخایر وابسته است. ذخایر نوع سوپریور چند صد متر ضخامت داشته و گسترش جانبی آنها بیش از چند کیلومتر است (شکل ۱). از این ذخایر آهن در هامرسلی واقع در غرب استرالیا وجود دارد که حدود ۱۰۰۰ متر ضخامت داشته و مساحت آن بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. ذخایر مشابهی در اطراف دریاچه سوپریور و تراف لابرادور کانادا وجود دارد (Kesler, 1994).

سنگ آهن فانروزئیک

ذخایر آهن رسوبی که در فانروزوئیک تشکیل شده‌اند و فاقد چرت هستند، سنگ آهن نامیده می‌شوند. این ذخایر نسبتاً کمیاب بوده و فاقد لایه‌بندی ظریف می‌باشند. ظاهراً هنگامی تشکیل شده‌اند که آبهای زیرزمینی غنی از آهن، جانشین رسوبات کربناتی شده‌اند. سنگ آهن‌های فانروزئیک معمولاً به دو نوع تشکیلات کلینتون و کانسنگ‌های می‌نت تقسیم می‌شوند که فاقد ضخامت و گستردگی سازندهای آهن نواری هستند. برخلاف سازند آهن نواری، سنگ آهن‌های کلینتون و می‌نت هیچکدام دارای رخساره‌های مجزای اکسیدی، کربناتی و سیلیکاتی نمی‌باشند. این ذخایر هر دو کم عیار بوده و به دلیل فراوانی کانی‌های سیلیکاتی امکان سودآوری اقتصادی آنها پایین می‌باشد (Kesler, 1994).



شکل ۱. تصویر شماتیک تشکیل کانسارهای آهن به وسیله فرایندهای زمین‌شناسی (Kesler, 1994)

ذخایر نابرجای آهن

ذخایر نابرجای آهن آن دسته از ذخایر آهنی را تشکیل می‌دهند که از نقطه‌ای دیگر به محیطی که در آن نهشته شده‌اند منتقل گردیده‌اند (Evans, 1987). بعضی از کانه‌های آهن و بویژه مگنتیت در برابر هوازدگی مقاوم می‌باشند. این کانی دارای وزن مخصوص نسبتاً بالایی است و به همین علت ممکن است در پلاسرها تجمع یافته و سواحل ماسه سیاه (Black- sand beaches) را در جهان به وجود آورد. ماسه‌های مگنتیتی در نیوزیلند نمونه‌ای از این قبیل نهشته‌ها می‌باشد. منبع مگنتیت ممکن است سنگ‌های ساحلی، رگه‌های رخنمون‌یافته در طول ساحل یا بستر دریا، یا رودخانه‌ها و یا نهشته‌های پلاسری قدیمی‌تری باشد که به وسیله دریا دوباره حمل شده‌اند (Kesler, 1994).

کانسارهای آهن آذرین

بیشتر آهن مورد نیاز کشورهای مختلف جهان از کانسارهای آتشفشانی- رسوبی آهن استخراج می-شود. مقدار کم اما مهم (۱ تا ۲ درصد) نیز از کانسنگ‌های ماگمایی تفکیکی نفوذی و کمی بیشتر از آن از کانسنگ‌های آهن آتشفشانی فراهم می‌گردد. این دو نوع کانسار از تفکیک یک سیال غنی از آهن و حاوی ۴ تا ۵ درصد تشکیل می‌شوند. تفاوت این دو فقط در این است که مذاب غنی از آهن به صورت توده‌های نفوذی انبانی مگنتیتی به درون سنگ‌های کهن‌تر تزریق شود، یا آنکه به سطح زمین رسیده و به صورت روانه‌ها و توف‌های استراتی‌فرم و عموماً استراتی‌باند غنی از آهن همراه با سنگ‌های آتشفشانی لایه‌ای بویژه از نوع آندزیت و لاتیت نهشته شود. از نظر ژئوشیمیایی تفریقی که سبب تولید

سنگ‌های کالک‌آلکالن می‌شود بر غنی‌شدگی آهن در همان مذاب تأثیر می‌گذارد. معمولاً با افزایش تفریق، نسبت Mg/Fe کاهش و مقدار آهن کل افزایش می‌یابد؛ اما باید شرایط خاصی حاکم باشد تا یک مذاب اکسید آهن ناهم‌آمیز به وجود آید. از مهم‌ترین کانسارهای این گروه می‌توان به کایرونا در سوئد، Pea Ridge و Iron Mountain در ایالت میسوری و El Laco در شیلی اشاره کرد (شکل ۲) (Guilbert and Park, 1997).

کانسارهای اسکارن آهن

اسکارن‌های آهن بزرگ‌ترین ذخایر اسکارنی محسوب می‌شوند (Meinert, 1998). هم در محیط جزایر قوسی همراه با سنگ‌های دیوریتی و هم در حاشیه‌های قاره‌ای نوع آندی همراه با سنگ‌های کوارتزمونزونیتی یافت می‌شوند. این کانسارها در نواحی بعد از کوه‌زایی همراه با کوارتزمونزونیت و گرانیت و در حواشی قاره‌ای ریفت‌شده همراه با دیاباز تشکیل می‌شوند (Einaudi et al., 1981). آهن به صورت مگنتیت عمده‌ترین محصول قابل استخراج می‌باشد، هر چند مقادیر فرعی از عناصر Ni, Co, Cu و Au نیز ممکن است حضور داشته باشند (Grigoryev et al., 1990). بیشتر ذخایر شناخته شده خیلی بزرگ هستند (بیش از ۵۰۰ میلیون تن با مقدار آهن متجاوز از ۳۰۰ میلیون تن) و به طور عمده شامل مگنتیت با کالک‌سیلیکاته کم می‌باشند. معدن Sarbai در ایالت کانسنگ آهن تورگای در جمهوری قزاقستان با ۷۲۵ بیلیون تن ذخیره و عیار ۴۶ درصد در بین ذخایر اسکارنی ذخیره‌ای غول‌پیکر است. برخی از ذخایر شامل مقادیر قابل توجهی Cu می‌باشند و حد واسط اسکارن‌های تیپیک مس محسوب می‌شوند (Vidal et al., 1990).

آهن در میان فلزات بیشترین مصرف را به خود اختصاص داده است. این فلز بنیان تمدن امروزی را تشکیل می‌دهد و به دلیل فراوانی و سهولت تهیه آن پایه و اساس بیشتر صنایع کوچک و بزرگ را تشکیل می‌دهد. آهن خالص کاربرد نسبتاً کمی دارد. کاربردهای مهم آن در شیمی تجزیه و نیز در صنایع ساخت هسته‌های فشرده شده برای مدارهای الکترونیکی فرکانس بالا است. اما کاربرد اصلی آهن، در تهیه فولاد است. صنعت آهن و فولاد از صنایع مادر همه جوامع صنعتی است. آهن و فولاد یکی از اجزای اصلی در ساخت انواع ماشین‌های سبک و سنگین، کشتی‌ها، راه‌آهن، پل و سدها، سازه-

های مرتفع، مهمات و تسلیحات نظامی و غیره می‌باشد. حتی کانی‌های انرژی‌زا نیز بدون وجود کوره-ها، خطوط لوله، موتورها و رآکتورهایی که اساساً از فولاد ساخته می‌شود، غیر قابل مصرف می‌باشند. ساده‌ترین شکل فولاد، فولاد کربنی است که دارای کمتر از ۱ درصد کربن و ۰/۵ درصد منگنز است. فولاد آلیاژی که در آن، سایر فلزات با آهن مخلوط شده است حدود ۱۵ درصد از تولید جهانی فولاد را به خود اختصاص می‌دهد. این فلزات که آنها را فروآلیاژی می‌نامند، شامل کروم، منگنز، نیکل، سیلیسیوم، کبالت، مولیبدنیم، وانادیم، تنگستن، کولمبیوم، تلوریم، مس، سرب و نیوبیوم می‌باشند. وجود این فلزات هر کدام خواص و کاربرد معینی به فولاد می‌دهد (Kesler, 1994).

ذخایر جهانی آهن ۱۵۱ میلیارد تن برآورد شده است. این ذخایر حدود ۶۴ میلیارد تن آهن دارند. با توجه به اینکه استخراج سالیانه سنگ آهن حدود ۹۰۰ میلیون تن است، این مقدار ذخیره برای مدت بیش از یک قرن احتیاجات بشر به این فلز را برآورده می‌کند. قسمت اعظم ذخایر آهن در کشورهای شوروی سابق، اوکراین، استرالیا، کانادا، ایالات متحده، هند و برزیل متمرکز است (Kesler, 1994)، با این وجود نهشته‌های اقتصادی آن در بسیاری از کشورهای دیگر نیز وجود دارد (جدول ۱).

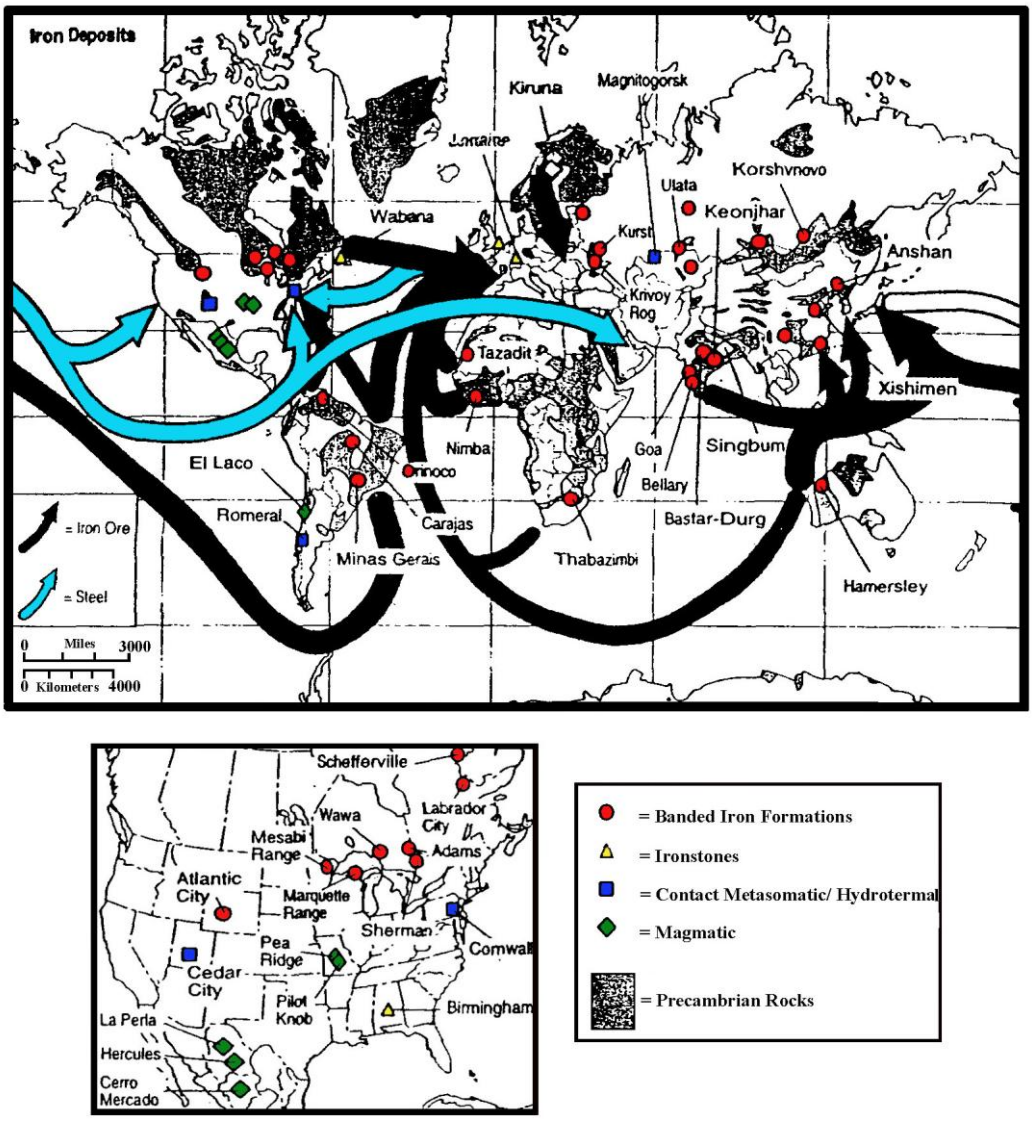
جدول ۱. ذخایر آهن جهان (نقل از فصلنامه معدن و فلزات شماره ۵۹-۵۸)

قاره	کشور	ذخایر (میلیون تن)	مجموع
آمریکای شمالی	کانادا	۱۲۰۰۰	۲۹۰۰۰
	ایالات متحد آمریکا	۴۰۰۰	۱۹۶۰۰
آمریکای جنوبی	برزیل	۱۸۰۰۰	۲۹۰۰۰
	ونزوئلا	۱۴۰۰	۳۹۰۰
اروپا	فرانسه	۱۸۰۰	۳۶۰۰
	سودان	۲۲۰۰	
	شوروی سابق	۳۱۰۰۰	۵۷۰۰۰
آفریقا	لیبی	۷۰۰	۸۰۰
	آفریقای جنوبی	۱۲۰۰	۴۰۰۰
آسیا	چین	۳۰۰۰	۷۱۰۰
	هند	۶۲۰۰	۸۷۰۰
اقیانوسیه	استرالیا	۱۱۸۰۰	۲۰۰۰۰
بقیه (کل قاره‌ها)		۹۳۰۰	۳۱۹۰۰

توزیع جغرافیایی انواع کانسارهای آهن در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان دریافت که کانسارهای آهن عمدتاً در سه قاره‌ی آمریکا، اروپا و آسیا گسترش یافته‌اند و در میان این سه قاره، آمریکا هم دارای تعداد معادن بیشتری است و هم شامل معادن مهم و بزرگ دنیاست.

همچنین می‌توان مشاهده نمود که منابع عمده آهن در دنیا از نوع تشکیلات نواری آهن هستند. کانسارهای ماگمایی و دگرگونی مجاورتی به ترتیب در درجه دوم و سوم اهمیت قرار دارند.

مسیر تجارت کانسنگ‌های آهن و فولاد به ترتیب با فلش‌های سیاه و آبی نمایش داده شده است (شکل ۲). همانگونه که مشاهده می‌شود مصرف‌کنندگان آهن در قاره آسیا و اروپا و مصرف‌کنندگان عمده فولاد در آمریکا واقع‌اند.



شکل ۲. توزیع جغرافیایی ذخایر آهن و مسیر تجارت آهن و فولاد (Kesler, 1994).

کانسارهای آهن در ایران به صورت ماگمایی (تیپ کایرونا)، اسکارنی، رسوبی و آتشفشانی- رسوبی می‌باشند. عقیده بر این است که قسمت اعظم ذخایر آهن ایران در محدوده زمانی پروتروزوئیک پسین تا پالئوزوئیک زیرین و در طی فاز کوه‌زایی پان‌آفریقایی که مشخصه آن ماگماتیسم قلیایی و کربناتیت- متاسوماتیت خطی می‌باشد، به وجود آمده است (سامانی، ۱۳۷۳). کانسارهای آهن ناحیه بافق- ساغند و ناحیه سیرجان از مهم‌ترین ایالت‌های معدنی کشور در این دوره محسوب می‌شوند. بزرگ‌ترین منابع و ذخایر کشف شده در استان‌های یزد، کرمان و خراسان واقع‌اند و کانسارهای کوچکتری در استان‌های زنجان، کردستان، آذربایجان شرقی، سمنان، اصفهان، مرکزی و هرمزگان

وجود دارند. کانسارهای گل‌گهر، چغارت، چادرملو، سه‌چاهون، سنگان و شمس‌آباد مهم‌ترین ذخایر سنگ آهن ایران را تشکیل می‌دهند (جدول ۲).

تقریباً در تمام دوره‌های فلز زایی ایران ذخایر بزرگ یا کوچکی از آهن به چشم می‌خورد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

الف) کانسارهای آهن پروتروزوئیک پسین- پالئوزوئیک زیرین (فاز پان‌آفریقایی):

۱) بافق: چادرملو، چغارت، ناریگان و سه‌چاهون.

۲) انارک: ترکمنی، کوه‌ده، گرگاب باختری، خالوحیدر، چاه‌سفید.

۳) سنندج- سیرجان: گل‌گهر.

۴) شمال غرب ایران: شابلاغ، ارجین و چهارطاق.

۵) بندرعباس: تنگ زاغ، آردان، تشکن، کوران، لارک و قشم.

ب) کانسارهای آهن تریاس- ژوراسیک زیرین:

هزارخانی، خسروآباد و چرمله بالا و پایین (سنقر)

ج) کانسارهای آهن ژوراسیک- کرتاسه‌ی پیشین (کیمرین پسین):

همه‌کسی (همدان)، دیواندره (ظفرآباد)، باباعلی (همدان)، چناربالا و گلالی (قروه)، شمس‌آباد (اراک).

د) کانسارهای آهن سنوزوئیک (آلپی):

۱) منطقه سهند- بزمان: نیاسر (کاشان)، داران (اصفهان)، شهرک (زنجان) و کوه‌بابا (هشترود).

۲) منطقه البرز: سمنان (البرز شرقی)، دیزج و مروارید (خرم‌دره).

۳) سنگان (خراسان رضوی).