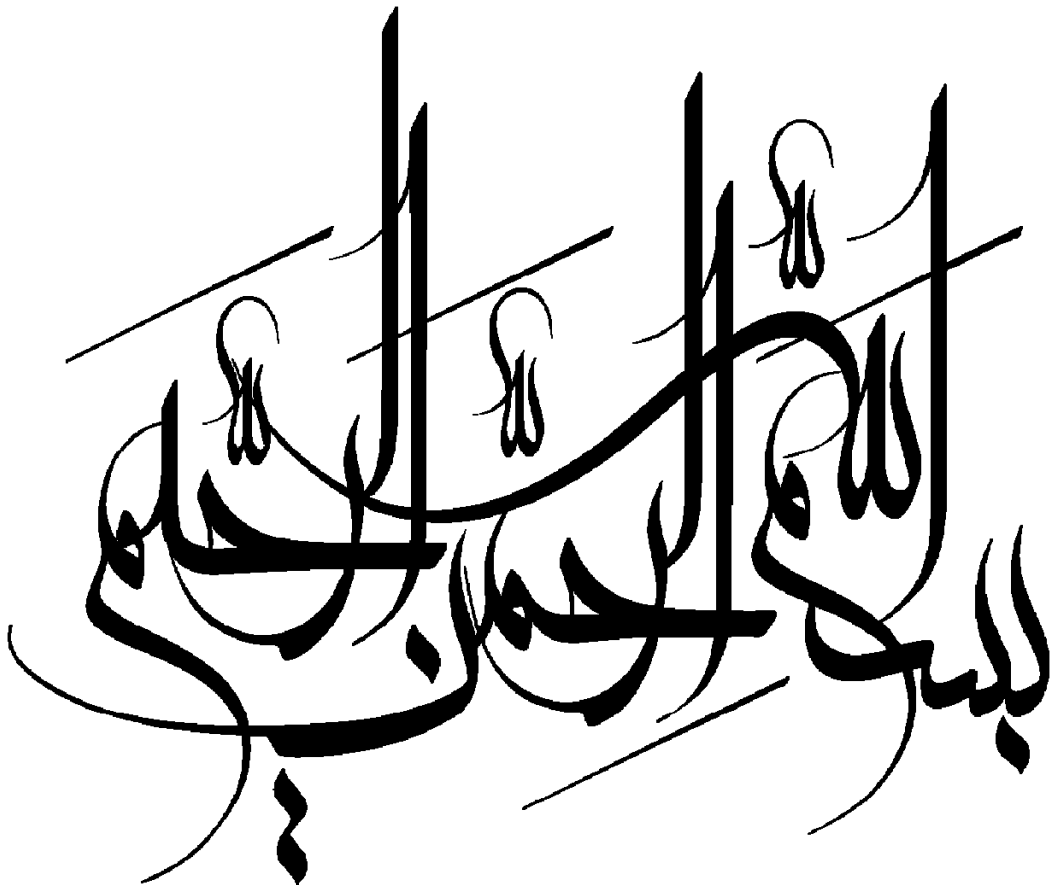

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده مهندسی معدن و متالورژی
گروه اکتشاف معدن

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
اکتشاف معدن

بررسی ارتباط خودپذیری مغناطیسی با کانی‌شناسی کانسنگ‌های آهن چغارت و سورک

استادان راهنما:
دکتر عبدالحمید انصاری
دکتر سید حسین مجتهد زاده

استاد مشاور:
دکتر امیرحسین کوهساری

پژوهش و نگارش:
سید محسن دهقان منشادی

مهر ۹۲

چکیده

شدت مغناطیدگی مواد در یک میدان مغناطیسی خارجی به وسیله ضریب تناسب K که با عنوان خودپذیری مغناطیسی شناخته شده است کنترل می‌شود. در هنگام قرارگیری یک ماده در میدان مغناطیسیH، مغناطش (گشتاور مغناطیسی در واحد حجم) القا شده در ماده با میدان H به صورت K= M/H رابطه دارد. در اکتشافات مغناطیسی، خودپذیری مغناطیسی به عنوان یکی از عوامل پایه‌ای است که می‌تواند باعث تعیین پراکندگی مکانی آن شود.

در این پژوهش جهت بررسی ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی کانسارهای آهن ایران مرکزی از داده‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی و لاگهای حفاری دو کانسار آهن چغارت و سورک استفاده شد. همچنین به کمک دستگاه خودپذیری‌سنج (کاپامتر) خودپذیری مغناطیسی نمونه‌های دستی برداشت‌شده و مغزه‌های حفاری انتخابی از این دو کانسار اندازه‌گیری گردید و سپس داده‌های به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت و ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و درصد غنی‌شدگی مگنتیت، FeO و نسبت $\frac{Total\ Fe}{FeO}$[1] مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی‌ها مشخص گردید خودپذیری مغناطیسی به طور مستقیم با درصد مگنتیت و FeO و به طور معکوس با نسبت $\frac{Total\ Fe}{FeO}$ ارتباط دارد. به کمک روابط به دست آمده از نمودارهای رسم شده می‌توان با اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی پارامترهای دیگر را به آسانی و با تقریب بسیار خوبی به دست آورد. همچنین با اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی بر روی مغزه‌های یکی از گمانه‌های کانسار سورک ارتباط این پارامتر با آلتراسیون و هوازدگی نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که خودپذیری مغناطیسی با آلتراسیون و هوازدگی رابطه معکوس دارد.

کلمات کلیدی: خودپذیری مغناطیسی، کانی‌شناسی، کانسنگ‌های آهن، کانسارهای آهن چغارت و سورک.

1-Ratio

فهرست

فصل اول؛ پیشگفتار

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ لزوم انجام تحقیق ۳

۱-۳ اهداف انجام پروژه ۳

۱-۴ متدولوژی ۴

۱-۵ ساختار گزارش ۴

فصل دوم؛ کلیاتی درباره‌ی مغناطیس و خواص مغناطیسی سنگ‌ها

۲ -۱ تاریخچه ۸

۲-۲ مغناطیس ۸

۲-۳ دو قطبی‌ها و گشتاورهای مغناطیسی ۹

۲-۴ طبقه‌بندی مواد مغناطیسی ۱۰

۲-۴-۱ دیامغناطیس ۱۱

۲-۴-۲ پارامغناطیس ۱۲

۲-۴-۳ فرو، پاد فرو و فری مغناطیس ۱۳

۲-۴-۴ ویژگی‌های مهم مواد فرو و فری مغناطیس ۱۷

۲-۴-۴-۱ مغناطش خودبخودی ۱۷

۲-۴-۴-۲ نقطه کوری ۱۸

۲-۵ انواع خصوصیات مغناطیسی سنگ‌ها ۲۰

۲-۶ برخی اصطلاحات مغناطیسی ۲۱

۲-۶-۱ میدان مغناطیسی ۲۱

۲-۶-۲ القای مغناطیسی ۲۲

۲-۶-۳ مغناطش ۲۳

۲-۶-۴ ممان مغناطیسی ۲۳

فصل سوم؛ خودپذیری مغناطیسی

۳-۱ تعریف ۲۶
۳-۲ خودپذیری مغناطیسی کانی‌ها ۳۰
۳-۳ روش‌های اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی ۳۴
۳-۳-۱ روش آزمایشگاهی..... ۳۴
۳-۳-۲ اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی مواد با استفاده از دستگاه‌های جدید ۳۷
۳-۳-۳ دستگاه کاپامتر مدل KT-10 S/C ۳۹

فصل چهارم؛ بررسی ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی با کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسارهای آهن

۴-۱- انواع کانه‌های اصلی آهن ۴۴
۴-۲-برخی پارامترهایی که هنگام آنالیز سنگ آهن اندازه‌گیری می‌شوند و ارتباط آن‌ها باهم . ۵۰
۴-۳- زمین‌شناسی اقتصادی و ارتباط آن با خودپذیری ۵۱
۴-۴- ارتباط خودپذیری مغناطیسی با کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی..... ۵۲
۴-۴- ۱ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و درصد حضور کانی‌های مغناطیسی در سنگ..۵۳
۴-۴-۲ رابطه بین خودپذیری مغناطیسی و سایز دانه‌های مغناطیسی ۵۶
۴-۴-۳ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و آلتراسیون ۵۸
۴-۴-۴ ارتباط خودپذیری مغناطیسی و اُکسایش ۶۱

فصل پنجم؛ بررسی ارتباط خودپذیری مغناطیسی با کانی‌شناسی کانسارهای آهن چغارت و سورک

۵-۱ مقدمه ۶۴
۵-۲ کانسار آهن چغارت ۶۴
۵-۳ کانسار آهن سورک ۶۶

۵-۴ جمع‌آوری داده‌ها و اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی.....۶۸
۵-۴-۱ انتخاب گمانه‌ها و مغزه‌های مناسب.....۶۸
۵-۴-۲ اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی روی مغزه‌های حفاری ۶۹
۵-۵ رابطه بین خودپذیری مغناطیسی و درصد مگنتیت ۷۳
۵-۶ ارتباط خودپذیری مغناطیسی و FeO ۷۶
۵-۷ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و نسبت آهن کل به FeO ۸۰
۵-۸ بررسی ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و آلتراسین در کانسار سورک ۸۱
فصل ششم؛ جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۸۶
۵-۱-۱ جمع‌بندی ۸۶
۵-۱-۲ نتیجه‌گیری ۸۷
۵-۲- پیشنهادها..... ۸۹
منابع ۹۱

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل۲-۱ a- رفتار مواد دیامغناطیس در حضور میدان خارجی و b- تغیر خودپذیری مواد دیامغناطیس با دما ۱۱
شکل ۲-۲ یک ماده پارامغناطیس هنگامی که در میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرد ۱۲
شکل ۲-۳ رفتار مواد پارامغناطیس هنگام قرار گرفتن در میدان خارجی ۱۳
شکل ۲-۴ یک ماده فرومغناطیس در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی خارجی. ۱۵
شکل ۲-۵ یک حوزه‌ی مربوط به ماده پادفرومغناطیس. ۱۵
شکل ۲-۶ ارتباط خودپذیری با دما در مواد پادفرومغناطیس ۱۶
شکل ۲-۷ یک حوزه‌ی مغناطیسی مربوط به ماده‌ی فری مغناطیس. ۱۶
شکل ۲-۸ نمودار مغناطش اشباع ۱۷
شکل ۲-۹ ارتباط مغناطش و دما ۱۸
شکل ۲-۱۰ منحنی مغناطیدگی (چرخه‌ی پسماند) یک ماده‌ی فرو یا فری مغناطیس ۲۰
شکل ۳-۱ a- ارتباط بین مغناطیدگی و شدت میدان مغناطیس کننده برای مواد دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس و b-تغییرات میدان و خودپذیری نسبت به هم ۲۷
شکل ۳-۲ رنج خودپذیری مغناطیسی در سنگ‌های مختلف ۳۰
شکل ۳-۳ ارتباط خودپذیری (خودپذیری) مغناطیسی و کانی‌شناسی ۳۱
شکل ۳-۴ دستگاه خودپذیری سنج ۳۵
شکل ۳-۵ نحوه قرار دادن دستگاه KT-10 S/C روی حالت اندازه‌گیری خودپذیری ۴۰
شکل ۳-۶ نحوه‌ی اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی به وسیله دستگاه KT-10 S/C ۴۰
شکل ۳-۷ نحوه واردکردن قطر مغزه‌ی حفاری در دستگاه KT-10 S/C ۴۱
شکل ۳-۸ نحوه‌ی اسکن نمودن مغزه‌های حفاری جهت به دست آوردن خودپذیری مغناطیسی در طول مغزه توسط دستگاه KT-10 S/C ۴۲

شکل ۴-۱ دیاگرام سگانه‌ی اکسیدهای آهن ۴۸
شکل ۴-۲ رنج خودپذیری انواع سنگ‌ها و همچنین درصد حجمی مگنتیت آن‌ها ۵۵
شکل۴-۳ خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها به عنوان تابعی از درصد کانی‌ها مغناطیسی ۵۶
شکل ۴-۴ ارتباط خودپذیری DC و آنهیسترتیک ۵۷
شکل ۴-۵ برخی از اثرات دگرگونی در خواص مغناطیسی سنگ‌ها ۵۹
شکل ۵-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی معدن چغارت ۶۵
شکل ۵-۲ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی معدن آهن سورک ۶۷
شکل ۵-۳ نمونه‌هایی از مغزه‌های حفاری دو معدن چغازت و سورک ۶۹
شکل ۵-۴ نحوه‌ی اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی روی مغزه‌های حفاری ۶۹
شکل۵-۵ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی (K) و درصد مگنتیت در کانسار چغارت ۷۴
شکل۵-۶ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی (K) و درصد مگنتیت در کانسار سورک ۷۴
شکل ۵-۷ نمودار خودپذیری مغناطیسی در مقابل درصد مگنتیت حاصل از تلفیق داده‌های چغارت و سورک ۷۶
شکل۵-۸ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی (K) و FeO در کانسنگ معدن چغارت ۷۸
شکل۵-۹ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی (K) و FeO در کانسنگ معدن سورک ۷۸
شکل ۵-۱۰ نمودار خودپذیری مغناطیسی در مقابل FeO، حاصل از تلفیق داده‌های چغارت و سورک ۷۹
شکل ۵-۱۱ ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و Ratio در کانسار سورک ۸۰
شکل ۵-۱۲ لاگ خودپذیری مغناطیسی در مقابل لیتولوژی مربوط به گمانه‌ی S-1-B-19 معدن سورک، متراژ ۱۹ تا ۳۷ متر ۸۲
شکل ۵-۱۳ لاگ خودپذیری مغناطیسی در مقابل لیتولوژی مربوط به گمانه‌ی S-1-B-19 معدن سورک، متراژ ۳۷ تا ۵۲ متر ۸۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مقایسه خودپذیری مغناطیسی مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس با توجه به دما . ۱۸
جدول ۳-۱ خودپذیری انواع مواد مغناطیسی از نظر مثبت یا منفی بودن ۳۰
جدول ۳-۲ مقدار خودپذیری مغناطیسی برخی سنگ‌ها ۳۲
جدول ۳-۳ متوسط مقدار خودپذیری مغناطیسی برخی از کانی‌ها و مواد..... ۳۳
جدول ۳-۴ مشخصات فنی دستگاه کاپامتر مدل KT-10S/C ۳۹
جدول ۴-۱ کانی‌های اصلی آهن و درصد آهن موجود در آن‌ها و متوسط خودپذیری آن‌ها ۴۸
جدول ۴-۲ رده مغناطیسی کانی‌های آهن..... ۴۹
جدول ۵-۱ داده‌های گمانه‌ی KID-23 معدن چغارت ۷۰
جدول ۵-۲ داده‌های گمانه‌ی KID-30 معدن چغارت ۷۱
جدول ۵-۳ داده‌های گمانه‌ی KID-28 معدن چغارت ۷۱
جدول ۵-۴ داده‌های گمانه‌ی S-2-C معدن سورک ۷۲

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱ مقدمه

در روش مغناطیس سنجی، ناهنجاری‌های بدست‌آمده از برداشت‌های صحرایی بر حسب تغییرات خودپذیری مغناطیسی[1] و یا مغناطیس شدن دائم، تعبیر و تفسیر می‌شوند. شدت مغناطیدگی مواد در یک میدان مغناطیسی خارجی به وسیله ضریب تناسب K که با عنوان خودپذیری مغناطیسی شناخته شده است کنترل می‌شود. در هنگام قرارگیری یک ماده در میدان مغناطیسی H، مغناطش (گشتاور مغناطیسی در واحد حجم) القا شده در ماده با میدان H به صورت M=KH رابطه دارد. از آنجا که اکثر کانی‌های آهن دارای خودپذیری بالایی هستند و حضور کانی‌های آهن در سنگ‌ها و سازندهای زمین‌شناسی عامل اصلی بالا بودن خودپذیری است در این تحقیق به بررسی ارتباط بین خصوصیات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسارهای آهن چغارت و سورک و خودپذیری مغناطیسی پرداخته می‌شود. اندازه کانی‌های مغناطیسی و درصد حضور کانی‌های آهن در سنگ بر میزان خودپذیری سنگ‌ها موثر است. همچنین پارامترهای دیگری مانند آلتراسیون بر خودپذیری سنگ‌ها اثر می‌گذارد.

در راستای بررسی ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و کانی‌شناسی ابتدا در مورد مغناطیس و ماهیت آن مطالعاتی انجام شد، سپس ماهیت خودپذیری مغناطیسی و پارامترهای موثر در آن و همچنین روش‌های اندازه‌گیری آن مورد بررسی قرار گرفت.

ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی با پارامترهای کانی‌شناسی از جمله اندازه کانی‌ها و درصد حضور کانه در سنگ و تأثیر آلتراسیون روی خودپذیری با توجه به مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته مشخص گردید. در پایان با نمونه‌برداری از معادن چغارت و سورک و همچنین انجام آزمایش‌هایی بر روی مغزه‌های حفاری این معادن سعی بر آن شد ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی و کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی این کانسارها مورد بررسی قرار گیرد.

1-Susceptibility

۱-۲ لزوم انجام تحقیق

اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی ساده، ارزان و سریع است و حتی به آسانی می‌شود آن را از روی رخنمون‌های سنگی و مغزه‌های حفاری اندازه‌گیری نمود. بنابراین اگر بتوان روابطی بین خودپذیری و دیگر پارامترهای کانی‌شناسی به دست آورد خیلی سریع و ارزان می‌توان اطلاعاتی راجع به کانسار حاصل نمود. بررسی این ارتباطات ما را قادر به شناسایی تغییرات نامحسوس در محتوای کانی‌های مغناطیسی در طول مغزه یا رخنمون می‌سازد.

۱-۳ اهداف انجام پروژه

در آنالیز سنگ آهن پارامترهایی همچون آهن کل[1]، FeO و نسبت $\frac{Total\ Fe}{FeO}$[2] اندازه‌گیری می‌شود. هدف این پژوهش این است که آیا ارتباطی بین خودپذیری مغناطیسی و این پارامترها وجود دارد یا خیر.

در صورت وجود رابطه آیا می‌توان با اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی این پارامترها را محاسبه کرد؟

همچنین از آنجایی که خودپذیری مغناطیسی توسط میزان کانی‌های مغناطیسی به ویژه مگنتیت کنترل می‌شود در این پروژه سعی بر آن است تا رابطه‌ای که بین درصد مگنتیت و خودپذیری وجود دارد را به دست بیاوریم. با به دست آوردن این رابطه می‌توان درصد مگنتیت سنگ آهن را به کمک اندازه‌گیری خودپذیری با تقریب بسیار خوبی محاسبه کرد.

از سوی دیگر با توجه به این که عواملی همچون شرایط تشکیل کانسار، تیپ کانی سازی و عوامل زمین‌شناسی تا حدودی روی خودپذیری مغناطیسی تأثیرگذار هستند در این پژوهش با مطالعه روی دو کانسار متفاوت سعی شد این مسئله نیز مورد بررسی قرار گیرد.

1-Total Fe
2-Ratio

۱-۴ متدولوژی

این پژوهش به طور کلی در سه مرحله انجام پذیرفت، در مرحله‌ی اول ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای صورت پذیرفت، کارهای گذشته و مقالات مرتبط مورد مطالعه قرار گرفتند و از لحاظ تئوری خودپذیری مغناطیسی و ارتباط آن با کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این بررسی‌ها و مطالعات به دست آوردن یک نقشه‌ی راه و چگونگی پیش برد مراحل بعدی بود.

در مرحله‌ی دوم با توجه به راه‌کارهایی که از مطالعات قبلی به دست آمده بود اقدام به جمع‌آوری داده‌ها شد. برای این منظور ابتدا با مراجعه به معادن چغارت و سورک و بررسی لاگهای حفاری این دو معدن چال‌ها و گمانه‌هایی که برای پیش برد اهداف ما مفید بودند انتخاب گردیده و سپس با مراجعه به انبار نگهداری مغزه‌های حفاری این دو معدن اقدام به اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی مغزه‌ها به وسیله‌ی دستگاه کاپامتر انجام گرفت.

در مرحله‌ی آخر با استفاده از داده‌هایی که از لاگهای حفاری و داده‌هایی که از اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی به دست آمده بود به وسیله‌ی نرم‌افزار اکسل اقدام به رسم نمودارهای مربوطه گردید. در پایان نمودارهای رسم شده و روابط به دست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

۱-۵ ساختار گزارش

پروژه حاضر در شش فصل تنظیم شده است. فصل اول به پیشگفتار اختصاص داده شده است. در فصل دوم به کلیاتی در مورد مغناطیس و خواص مغناطیسی سنگ‌ها پرداخته می‌شود. در این فصل طبقه‌بندی مواد مغناطیسی با توجه به رفتارشان در یک میدان مغناطیسی خارجی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل سوم خودپذیری مغناطیسی تشریح شده که شامل دو بخش است، در بخش اول در مورد خودپذیری مغناطیسی کانی‌ها توضیحاتی داده‌شده و میزان خودپذیری برخی مواد، کانی‌ها و سنگ‌ها نیز به صورت جدول ارائه شده است. در بخش دوم روش‌های

اندازه‌گیری خودپذیری و نیز مختصری درباره‌ی دستگاه کاپامتری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت توضیحاتی ذکر شده است. در فصل چهارم ارتباط بین خودپذیری مغناطیسی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین مختصری در مورد کانی‌های آهن و برخی پارامترهای مرتبط با سنگ آهن توضیحاتی داده شده است. فصل پنجم به بررسی ارتباط خودپذیری مغناطیسی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسارهای آهن چغارت و سورک اختصاص دارد. در این فصل ابتدا مختصری در مورد خصوصیات این کانسارها توضیحاتی داده شده است و سپس چگونگی اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی مغزه‌ها و استحصال داده تشریح گردیده است. در نهایت با رسم نمودارهای مربوطه ارتباط خودپذیری مغناطیسی و دیگر پارامترها بررسی می‌شود. در فصل ششم نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مطالب همراه با پیشنهادهایی ارائه گردیده است.

فصل دوم

کلیاتی درباره‌ی مغناطیس و خواص مغناطیسی سنگ‌ها

۲ -۱ تاریخچه

واژه مغناطیس کلمه‌ای یونانی است که به بعضی سنگ‌های طبیعی اکسید آهن اطلاق می‌شد. سنگ‌هایی از این خاصیت برخوردارند که بر یکدیگر و بر ذرات آهن یا فولاد نیرو وارد می‌آورند. یونانیان باستان، بیش از ۲۵۰۰ سال پیش با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، کانی مگنتیت (Fe_3O_4) که آهن را می‌رباید را می‌شناخت. این کانی بیشتر در مگنزیا (ترکیه امروزی) یافت می‌شده است و نام مگنتیت نیز از همین اسم گرفته شده است. چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربا آشنایی داشتند و تکه‌هایی از این سنگ‌ها را به صورت قطب‌نماهای ساده در دریانوردی به کار می‌بردند. اولین تحقیق علمی در مورد مغناطیس توسط ویلیام گیلبرت انجام شد که تصویر دقیقی از میدان مغناطیسی زمین ایجاد کرد و بسیاری از خرافات گذشته را از بین برد. سپس در سال ۱۸۲۵ اولین الکترومگنت به وسیله کشف بزرگ هانس کریستین اورستد ایجاد شد. اورستد دریافت که همواره در فضای اطراف رساناهای جریان یا ذرات باردار متحرک، میدان مغناطیسی پدید می‌آید.

۲-۲ مغناطیس[1]

هر ذره بارداری در حال حرکت، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. میدان مغناطیسی یک ذره باردار، مثل یک الکترون در حال حرکت، عمود بر مسیر حرکت ذره است. شدت میدان مغناطیسی به وسیله خطوط فرضی بیان می‌شود اگر حرکت ذره یک مسیر بسته باشد، همانند الکترون که به دور هسته می‌چرخد خطوط میدان مغناطیسی بر صفحه حرکت ذره عمود خواهند بود. الکترون‌ها همچنین به دور یک محور در جهت عقربه‌های ساعت و یا خلاف عقربه‌های ساعت، می‌گردند. این چرخش یک ویژگی از الکترون را به نام اسپین[2] به وجود می‌آورد. اسپین الکترون یک میدان مغناطیسی را به وجود می‌آورد که اگر در هر لایه از اتم، یک زوج الکترون وجود داشته

1- Magnetism
2- Spin

باشد، این میدان خنثی می‌گردد. خطوط میدان مغناطیسی همیشه حلقه های بسته ای هستند. این خطوط همانند میدان الکتریکی نقطه شروع و پایانی ندارند، چنین میدانی دوقطبی نامیده می‌شوند. این میدان همیشه یک قطب شمال و یک قطب جنوب دارد. مغناطیس کوچکی که به وسیله اسپین الکترون به وجود می‌آید، دایپلهای مغناطیسی نامیده می شود. چنین دایپلهایی با هم می‌توانند یک حوضه مغناطیسی[1] را به وجود آورند.

۲-۳ دو قطبی‌ها و گشتاورهای مغناطیسی

رفتار مغناطیسی مواد ناشی از حرکت الکترون هاست. هر الکترون در اتم دو گشتاور مغناطیسی دارد. یک گشتاور مغناطیسی از چرخش (اسپین) الکترون حول محور خود و دیگری از حرکت اوربیتالی الکترون حول هسته اتم ایجاد می شود. آرایش الکترونی هر سطح انرژی معین می تواند حداکثر شامل دو الکترون (یک جفت الکترون) با چرخش (اسپین) مخالف باشد؛ بنابراین از آنجا که گشتاورهای مغناطیسی هر جفت الکترون در هر سطح انرژی برابر و خلاف جهت یکدیگر بوده و در اغلب موارد آرایش الکترون‌ها در اتم‌ها به صورت جفت هستند. لذا در این عناصر رفتار مغناطیسی مشاهده نمی‌شود.

بر اساس این استدلال انتظار می رود که هر اتم از عنصر با عدد اتمی فرد یک گشتاور مغناطیسی ناشی از الکترون منفرد داشته باشد اما این حالت همیشه برقرار نیست، در اغلب این گونه عناصر تک الکترون مدار خارجی یک الکترون ظرفیت بوده و به دلیل تأثیر متقابل الکترون‌های ظرفیت هر اتم به طور متوسط گشتاورهای مغناطیسی یکدیگر را خنثی کرده و ماده در کل رفتار مغناطیسی نخواهد داشت؛ اما عناصر معینی مانند فلزات واسطه دارای سطح انرژی داخلی هستند که به طور کامل با جفت الکترون پر نشده است. ساختار الکترونی عناصر اسکاندیم (Sc) تا مس (Cu) از این نوع است به استثنای کرم و مس که در آن‌ها الکترون‌های ظرفیت در سطح ۴s با جفت الکترون پر شده است. تک الکترون‌ها در کرم و مس در نتیجه تأثیرات متقابل با دیگر اتم‌ها اثر خود را از دست می‌دهند بنابراین اوربیتالهای ۳d در مس به طور کامل پر است و

1- Magnetic domain

مس رفتار مغناطیسی از خود نشان نمی‌دهد. وجود تک الکترون‌ها در لایه‌های الکترونی داخلی می‌تواند گشتاورهای دو قطبی مثبت کوچکی داشته باشد، مانند الکترون‌های اوربیتالهای 3d در Fe, Co و Ni.

۲-۴ طبقه‌بندی مواد مغناطیسی

مواد مغناطیسی بر اساس منشأ خاصیت مغناطیسی طبقه‌بندی می‌گردند و سه نوع کلی از مواد مغناطیسی وجود دارند:

مواد مغناطیسی طبیعی[1]، مواد مغناطیسی که به طور مصنوعی خاصیت مغناطیسی دائمی را دارا شده‌اند و مواد الکترومغناطیس.

۱- مواد مغناطیسی طبیعی: بهترین مثال مواد مغناطیسی طبیعی کره زمین است. زمین دارای میدان مغناطیسی است، چون زمین به دور یک محور می‌چرخد.

۲- مواد مغناطیسی دائمی[2] که به طور مصنوعی و به شکل‌ها و اندازه‌های گوناگونی ساخته می‌شوند که عمدتاً از جنس آهن هستند. این مواد به وسیله قرار دادن آهن دریک میدان مغناطیسی الکتریکی ساخته می‌گردند.

۳- مواد الکترومغناطیس تشکیل شده‌اند از یک سیم که به دور یک هسته آهنی پیچیده شده است. هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور داده می‌شود، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌گردد که شدت این میدان وابسته به جریان عبوری از سیم است.

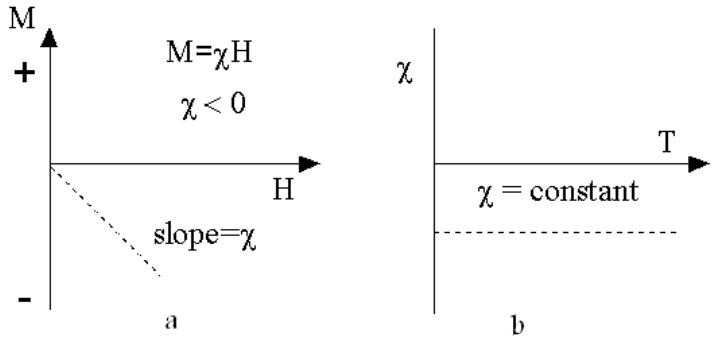
تمام مواد می‌توانند طبق عکس‌العمل‌هایشان در مقابل یک میدان مغناطیس خارجی طبقه‌بندی گردند، رفتار مغناطیسی مواد عمدتاً به ساختار الکترونی آن‌ها بستگی خواهد داشت که می‌توانند دوقطبی‌های مغناطیسی را ارائه دهند. تأثیرات متقابل بین این دوقطبی‌ها نوع رفتار مغناطیسی را مشخص می‌کند.

1-Natural Magnet
2-permanent magnet

مواد با توجه به رفتارشان در یک میدان مغناطیسی خارجی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، پادفرومغناطیس و فری‌مغناطیس.

۲-۴-۱ دیامغناطیس

خاصیت دیامغناطیس به وسیله مایکل فارادی در سال ۱۸۴۶ کشف گردید. این شکل از مغناطیس به عنوان یکی از پایه ای‌ترین مشخصات تمام مواد مطرح است و علت آن جهت ممان مغناطیسی مرتبط با گردش الکترون ها درون میدان مغناطیسی خارجی است. هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم‌کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آن جایی که همه‌ی مواد از اتم تشکیل شده اند، این پدیده در تمام مواد رخ می‌دهد؛ اما این ساختار الکترونی اتم است که در وجود یا عدم وجود یک گشتاور مغناطیسی دائم یا غیر دائم در اتم نقش دارد. پدیده‌ی دیامغناطیس در اتم‌های با پوسته‌ی بسته که در آن‌ها جمع برداری گشتاورهای مداری و اسپینی صفر است بیشتر نمایان می‌شود. جهت گشتاورهای مغناطیسی القایی در ماده، مطابق قانون لنز، در جهتی است که با حضور میدان مغناطیسی خارجی مخالفت می‌کند. بیسموت، بریلیم، متان، دی اکسید کربن، شیشه و... چند ماده‌ی دیامغناطیس هستند.



شکل ۲-۱ a- رفتار مواد دیامغناطیس در حضور میدان خارجی و b- تغیر خودپذیری مواد دیامغناطیس با دما [۱۵].

نکته اینکه وقتی میدان صفر است مغناطیدگی مواد دیامغناطیس نیز صفر است. دیگر رفتار خاص مواد دیامغناطیس مستقل بودن خودپذیری آن‌ها نسبت به زمان است.

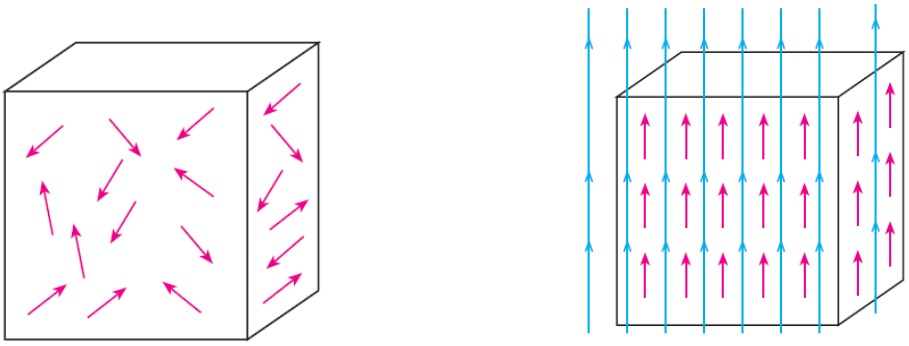
۲-۴-۲ پارامغناطیس

مواد پارامغناطیس موادی با ویژگی‌های زیر می‌باشند:

الف- پوسته‌ی الکترونی اتم‌های آن‌ها بسته نیست، بنابراین اتم‌های آن‌ها دارای یک گشتاور مغناطیسی دائم‌اند که منشأ آن گشتاور اسپنی و مداری الکترون‌هاست.

ب- در غیاب میدان مغناطیسی خارجی، جهت گشتاورهای دائمی اتم‌های آن‌ها به طور نامظم در داخل ماده توزیع شده‌اند؛ زیرا نیرویی که باعث جفت شدگی بین این گشتاورها در داخل ماده می‌شود ضعیف است. این نیرو به نیروی تبادلی موسوم است و منشأ آن کوانتومی است.

ج- اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه بر القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم های آن‌ها (پدیده‌ی دیامغناطیس)، تعدادی از گشتاورهای مغناطیسی دائم اتم ها در جهت میدان قرار می‌گیرند به طوری که با افزایش شدت میدان تعداد بیشتری از آن ها با میدان هم راستا می‌شوند. اگر میدان مغناطیسی خارجی خیلی قوی باشد همه‌ی گشتاورهای مغناطیسی ماده در جهت میدان قرار می‌گیرند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی دوباره جهت گشتاور مغناطیسی اتم‌های جسم به حالت نامنظم بازمی‌گردند. منگنز، پلاتین، آلومینیم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.



شکل ۲-۲ یک ماده پارامغناطیس هنگامی که در میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرد.