دکتر عبدالکریم قریب

مغناطیس زمین و تغییرات آن

نگاهی به تاریخ: خواص مغناطیسی بعضی از کانیهای آهن را در زمانهای بسیار قدیم شناخته بودند. در افسانه های چینی به عقربه‌ای مغناطیسی بسیار ساده که برای تعیین جهت در روی زمین، در ۴۰۰۰ سال پیش به کار می‌رفته، اشاره شده است. در اروپاخواص عقربه مغناطیسی را از سدهٔ ۱۱ به بعد می‌شناختند و در سدهٔ ۱۳ نخستین نوع ساده قطبنما را ساخته اند. اختراع قطبنما در عصری که زیاد به اکتشاف جغرافیایی پرداخته بودند، کمک زیادی به جغرافیدانان کرده و از آن زمان مطالعه مغناطیس زمین مورد توجه قرار گرفته است. دانشمندانی مانند:

M. Lomonossu, W. Gilbert, A. Humboldt, C. Gauss,
D. Poissan , N. Oumou,

و غیره تمام هم خود را متوجه این موضوع کرده‌اند.

*) با استفاده از کتاب زمین‌شناسی عمومی تألیف V. Militchauk و M. Arabadji و کتاب مبانی دیرین بوم‌شناسی تألیف R. Furon

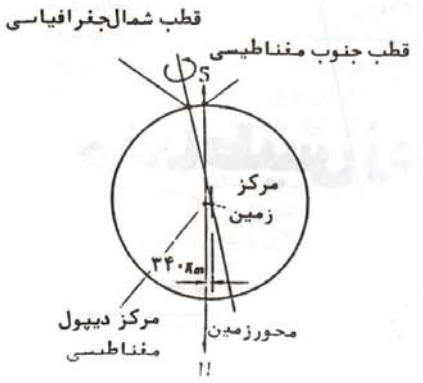
میدان مغناطیسی

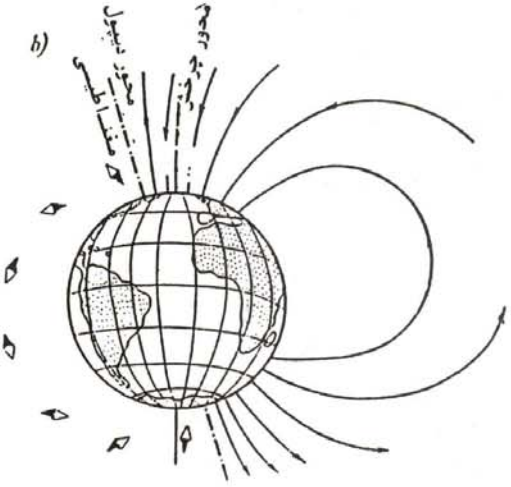
مطالعه میدان مغناطیسی نشان داده است که سیارهٔ ما مغناطیسی بسیار بزرگ است که میدان آن به شکل پدیده های گوناگون تظاهر می‌کند.شدت مغناطیسی زمین زیاد نبوده و از یک «ارستد»[1] که به «oe» نشان داده می‌شود بیشتر نیست، درصورتی که شدت میدان مغناطیسی مصنوعی آهنرباهای الکتریکی به چندین هزار «ارستد» می‌رسد. به کمک «سوپراکندوکتور»[2] امروز می‌توانند میدانی به شدت ۶۰ تا ۱۰۰ هزار ارستد ایجاد کنند. میدان مغناطیسی خارجی زمین به شکل خطهای نیروی میدانی است که به آن «دیپول»[3] می‌گویند و در نیمکره خاوری قرار دارد. میدان یک دیپول به شکلی است که در نگارهٔ (1,b) نمایش داده شده است.

b: شکل عمومی میدان دوقطبی و جهت عقربهٔ مغناطیسی.

قطب شمال آهنربایی در نزدیکی قطب جنوب جغرافیا واقع است و به عکس به این دلیل است که انتهای شمال عقربه آهنربایی شده به طورتقریب در جهت شمال جغرافیایی و انتهای جنوب عقربهٔ مزبور در جهت جنوب جغرافیایی قرار می‌گیرد. میدان آهنربایی زمین بسیار نزدیک با «دیپول» است. آزمایش نشان داده است که محور دیپول، نسبت به محور چرخش زمین ۱۱ درجه و ۲۶ دقیقه تغییر جا داده است و موجب شده است که قطبهای آهنربایی با قطبهای جغرافیایی منطبق نباشند. محور دیپول، سطح زمین را در دو نقطه: یکی به مختصات ۷۸ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۲۹۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول خاوری و دیگری به مختصات ۷۸ درجه و ۳۴ دقیقه عرض جنوبی و ۱۱۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول خاوری قطع می‌کند که قطبهای آهنربایی زمینی را تشکیل می‌دهند. باید توجه داشت که این مختصات با وضع حقیقی قطبهای آهنربایی تطبیق نمی‌کند. در حقیقت قطب جنوب آهنربایی زمین در نزدیکی گرانلند (۷۴ درجه عرض شمالی و ۱۰۰ درجه طول باختری) و قطب شمال آهنربایی در انتهای شمال خاوری سرزمین «ویکتوریا»[4] در جنوبکان (۶۸ درجه عرض جنوبی و ۱۴۵ درجه طول خاوری) واقع است(نگارهٔ ۲).

شدت میدان مغناطیسی زمین در جو، نسبت به مکعب فاصله از زمین فوران و به سرعت کاهش می‌یابد. تغییرات شدت میدان مغناطیسی زمین با تکاثف وتراکم خطوط نیرو مطابقت دارد: در قطبها این شدت به ۰/۶ تا۰/۷Oe و در استوا کاهش یافته و به ۰/۴Oe می‌رسد. خطوط نیروی میدان مغناطیسی زمین (از یکی از قطبها تا قطبی دیگر) شکل بسته ای دارند (نگارهٔ ۱) که سیستمی از «تله» های[5] مغناطیسی را برای خردیزه های بارداری که لایه های زیرین (فوقانی) جو، که براثر تشعشع خورشید حاصل می‌شوند و به طرف زمین می‌آیند می‌دهد. منشاء کمربندهای پرتوافکنی کیهانی[7] یا مناطق «وان آلن»[8] که در دور زمین قرار دارد نیز چنین است. این کمربندها از یونهای گازهای جوی و «خردیزه های اولیه» تشکیل شده اند (نگارهٔ ۳).



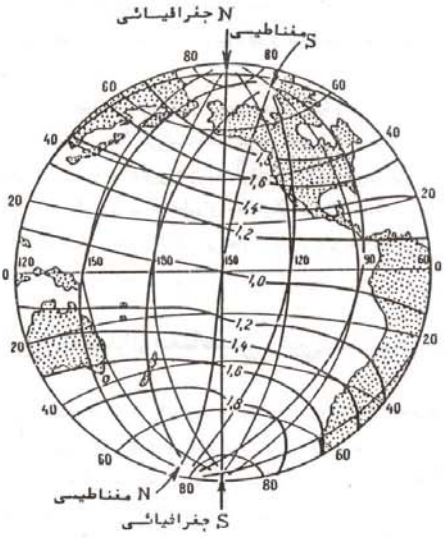


نگارهٔ ۱ : وضع معکوس محورهای چرخش و دیپول مغناطیسی که زاویه ۱۱°۲۶' را تشکیل می‌دهند،

1) Oersted
2) Supraconducteur
3) Dipole
4) Antarctide
5) Pièges
6) Particules
7) Radiation Consmique
8) D. Van Allen

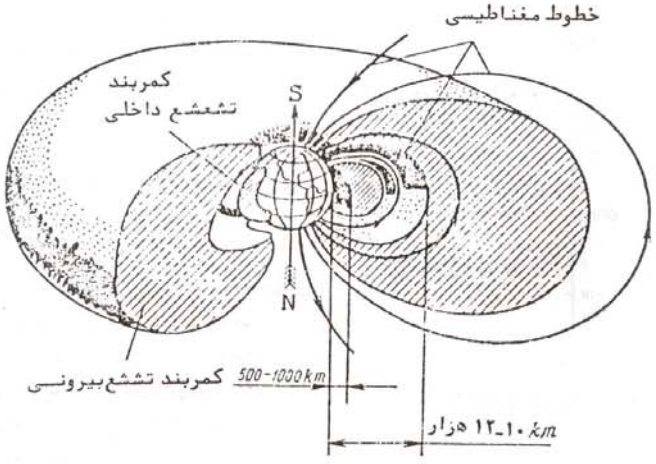
کمربندهای پرتوافکنی کیهانی در سال ۱۹۸۵، به وسیلهٔ دانشمندان شوروی سابق: س. ورنوو،[9] آ.چوداکوف[10] و دانشمند امریکایی: د.و ان. آلن کشف شدند. این کمربندها نقش مهمی در تشکیل میدان مغناطیسی خارجی زمین دارند و به ویژه در اختلالات الکترو مغناطیسی تولید شده در نواحی قطبی دخالت دارند. «شفقهای قطبی»[11] یکی از این اختلالات هستند که براثر «تابناکی»[12] گازها در لایه‌های زیرین (بالایی) جو حاصل می‌شوند (۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتری). اختلالهای الکترو مغناطیسی تقریباً به طور فوری و سریع (کمتر از یک ثانیه) در امتداد کمربندهای وان آلن از ناحیه قطبی تحریک شده و به قطب دیگر می‌رسند و موجب پیدایش تقریباً همزمان شفقهای قطبی در شمالگان و جنوبگان می‌شوند.

در روی نقشه، از اتصال نقاطی که شدت کلی میدان مغناطیسی آن برابر است، منحنیهایی به دست می‌آید که آنها را «ایزوپور»[13] می‌گویند. به همین ترتیب منحنیهایی که روی آنها، انحرافهای مغناطیسی برابرند به «ایزوگون»[14] و منحنیهایی که «میل» در روی انها برابر است «ایزوکلین»[15] می‌نامند.



نگارهٔ ۲ وضع قطبهای مغناطیسی (آهنربایی) و نصف النهارات مغناطیسی روی زمین در این نگاره نشان داده شده است.

نگارهٔ ۳ - شکل خطوط نیروی مغناطیسی و وضع پرتوافکنی کیهانی در فضای اطراف زمین.



9) S. Vernov
10) A. Tchaudikox
11) Auroresypolaires
12) Luminescence
13) Isopores
14) Isogones
15) Isoclines

در جهت قطبهای مغناطیسی برشدت افزوده می‌شود و در جهت استواری جغرافیایی منحنی «ایزوپور» دارای کمترین شدت مغناطیسی است.

«ایزکلینها» از صفر تا ۹۰ درجه محاسبه می‌شوند. ایزوکلین صفر را «استوای مغناطیسی»[16] می‌نامند که در افریقا و آسیا تقریباً از عرض ۱۰ درجه شمالی و در امریکای جنوبی تقریباً از عرض ۱۵ درجه جنوبی می‌گذرد.

«ایزوکونها» متوجه قطبهای مغناطیسی زمین هستند و بنابراین با نصف النهارات جغرافیایی تلاقی می‌نمایند. ایزوکونهای دارای انحراف صفر را «نصف النهار مغناطیسی» می‌نامند.

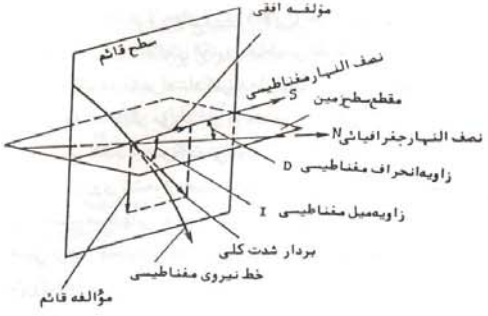
تغییرات میدان مغناطیس زمین

مشاهدات و آزمایشها و اندازه‌گیریهای بسیار زیاد میدان مغناطیسی زمین، در طول زمان، نشان می‌دهد که شدت میدان مغناطیسی زمین دارای تغییراتی دوره ای است که معمولاً بسیار منظم است (نگارهٔ ۵). شکل مزبور نشان می‌دهد که این تغییرات که به آن «تغییرات ساعات روز» می‌گویند احتمالاً براثر تغییرات وضع سطح زمین نسبت به خورشید است.

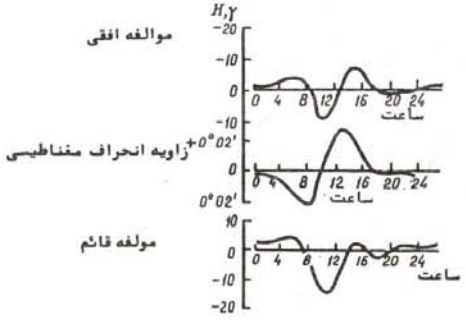
در ارتفاعی بین ۸۰ و ۶۰۰ کیلومتر، پرتوافکنی فروغ فرابنفش خورشید، هنگام روز، موجب «یونیزه» شدن بعضی از لایه های «یونکره»[17] می‌گردد. تغییر جای تودهٔ یونها در یونکره که براثر عمل جزر و مدها و «بهمریختگی» دمایی ایجاد می‌شود، موجب تشکیل جریانهای الکتریکی و میدانهای مغناطیسی محلی می‌شود که میدان مغناطیسی را در هر دو قطب تغییر شکل می‌دهد[18]. دامنه تغییرات در نواحی قطبی بسیار بزرگتر از استوا است. در عرضهای متوسط، در مدت ۲۴ ساعت، مؤلفه قائم تغییراتی از ۲۰ تا٪ ۳۰ (در قطبها از ۲۰۰ تا ٪ ۳۰۰) و انحراف از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه را رسم می‌کند (نگارهٔ ۵). در مدت تغییرات روزانه، تغییر شکل میدان دو قطبی[19] به نسبتی که قطبهای مغناطیسی تغییر جا می‌دهند بزرگتر است. این تغییر جاها در ۲۴ ساعت، محلی را به مساحت ۱۰۰ کیلومتر نسبت به وضع متوسط قطب مغناطیسی می‌پوشاند.

تغییرات نامنظم عناصر میدان مغناطیسی مربوط به «جستهای ناگهانی»[20] فعالیت خورشید است که دارای دامنه نسبتاً بزرگ هستند. در یونکره تغییرات مربوط به این فعالیت، موجب تغییرات میدان مغناطیسی از چند درجه انحراف و هزاران ٪ شدت می‌گردد. این تغییرات میدان که به آن «توفانهای مغناطیسی»[21] می‌گویند، اغلب همراه با شفقهای قطبی بوده و موجب اختلال و یا قطع ارتباط امواج کوتاه رادیویی می‌شوند.

توفانهای مغناطیسی، براثر دخالت پرتوافکنی ذرات[22] خورشید و میدان مغناطیسی «فضای اطراف»[23] زمین ایجاد می‌گردد. درصد یا دویست هزار کیلومتری زمین میدان به اندازه ای ضعیف است که قابل مقایسه با میدان مغناطیسی کیهانی است. این حد را «ماکنیتوپوز»[24] می‌نامند و فضایی که آن را جدا می‌سازد «مغناطکره»[25] می‌گویند.



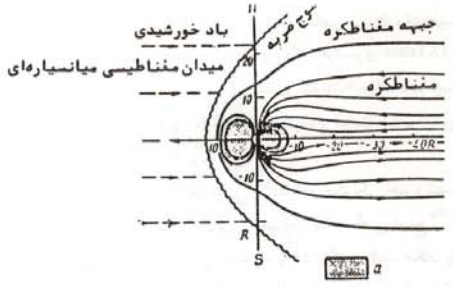
نگارهٔ ۴ عناصر میدان مغناطیسی زمین.



نگارهٔ ۵ - تغییرات میدان مغناطیسی زمین در ساعات روز.

16) Equateur magnetique
17) Ionosphere
18) Amplitude
19) Polaire
20) Sursauts
21) Orages magnetique
22) Corpuscules
23) Circumterrestre
24) Magnetopause
25) Magnetosphere

پرتوافکنی ذره ای خورشید، چیزی را ایجاد می‌کند که به آن «باد خورشیدی»[26] می‌گویند. منشاء آن میدان مغناطیسی کیهانی با شدتی برابر چندین γ است. هنگام فورانهای خورشیدی، شدت باد خورشیدی افزایش می‌یابد و هنگامی که داخل مغناطکره می‌شود، تولید موجی از «ضربه»[27] می‌کند که خطوط نیروی مغناطیسی را تغییر شکل می‌دهد. تحت تأثیر پرتو افکنی خورشید این خطها انحراف پیدا کرده و شکلی را به وجود می‌آورند که به آن «دم مغناطکره ای»[28] می‌گویند. طول این دم مغناطکره به ماه می‌رسد و مغناطکره شکلی نامتقارن به خود می‌گیرد (نگاره ۶).



نگاره ۶ تغییر شکل مغناطکره براثر عمل باد خورشیدی:

a) کمربندهای پرتوافکنی

منشاء این تغییر شکلهای مغناطکره براثر توفانهای مغناطیسی است، زیرا در این شرایط توده های مهمی از گاز یونیزه شده در بالای سیاره جا به جا می‌شوند. تغییرات «یونکره» به طور کلی موجب تغییر قدرت انعکاس موجهای رادیو و ارتباطات رادیوئی می‌شوند. توفانهای مغناطیسی ممکن است چندین روز طول بکشند. فرایند هایی نیز که محل آنها مغناطکره است کاملاً وابسته به یکی دیگر از میدانهای زمین که «میدان الکتریکی» است می باشند. برحسب داده های کنونی، بار بیشتر یونها و خردیزه های اولیه مثبت هستند. این امر موجب تجمع بارهای سنفی «سنگکره» می‌شود، درحالی که جابه جاییهای خردیزه های باردار در یونکره تولید جریانهای الکتریکی در پوشش جامد زمین می‌کنند. در مجموع، یونکره با سطح زمین تشکیل «کندانساتوری» کروی می‌کند که درآن بار الکتریکی ساکن یونکره، مثبت است و بار الکتریک سنگکره منفی است و نقش مجزاکننده بر عهده لایه های متراکم جو است.

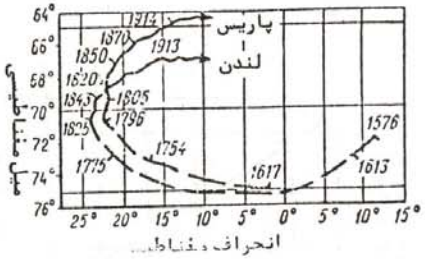
ارزش بار این کندانساتور بسیار زیاد است: در لایه های زیرین (پایینی) جو، شدت میدان الکتریک تقریباً ۱۰۰ ولت و در زمانهای توفانی بسیار زیاد است. بدین ترتیب، میدان الکتریک جوی زمین بر اثر یونیزه شدن لایه های‌زیرین (بالایی) جو، تحت عمل پرتو افکنی خورشید، ایجاد می‌شود. تغییرپذیری میدان الکتریکی براثر کم و زیاد شدنها و جهشهای ناگهانی است که به وسیلهٔ فورانهای «رنگین کره»[29] در سطح خورشید است. در ارتفاع ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتری این انفجارها نسبتاً کم بوده و بر اثر یونیزه شدن ناهمگن جو زمین می‌باشد، درصورتی که تغییر جای ناهمگن الکتریکی، بر اثر بادهای مربوط به تشکیل میدان الکترومغناطیسی متغییر، در جو و پوسته زمین ایجاد می‌گردد.

در سنگکره نیز جریانهایی ظاهر می‌شوند که به آنها «جریانهای زمینی»[30] می‌گویند. اگر الکترودهایی را در زمین نصب کنیم و آنها را به یک گالوانومتر متصل سازیم، مشاهده می‌کنیم که گالوانومتر جریانهای زمینی را که شدت آنها در حدود ۱۰۰ mA (میلی آمپر) است نشان می‌دهد و در دورهٔ اختلالهای میدان الکترو مغناطیسی تا ۲/۵ A نیز می‌رسد. شدت متوسط این جریانها: ۲ A/Km است.

علاوه بر جریانهای مربوط به حالت کندانساتور الکتریکی جوی، پوستهٔ زمین نیز محل میدانهای الکتریکی پیوسته و متناوب محلی است که بر اثرجریان طبیعی محلولهای کانی شده و فرایندهای الکترو شیمیایی در سطح سنگها و عواملی دیگر تولید می‌شوند.

معمولاً جریانهای زمینی بسیار متغییر هستند و دوره ای بودن این تغییر پذیری براثر فرایندهایی است که در خورشید و یونکره انجام می‌گیرند.

میدان مغناطیسی زمین، تغییرات دیگری را نیز نشان می‌دهد که درزمانهای طولانی (دهها و صدها سال) به وقوع می‌پیوندند. برحسب محاسبه انحراف و میل مغناطیسی که در لندن و پاریس در طول مدت ۳۵۰ سال اخیر اندازه گیری شده است این تغییرات برای انحراف، ۳۰ درجه و برای میل، ۱۰ درجه بوده است (نگاره ۷).



26) Vent solaire
27) choc
28) Que magnetosphere
29) Chromosphere
30) Courants tellurique

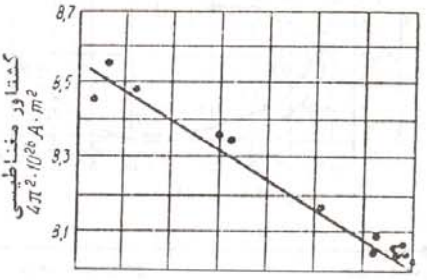
نگاره ۷ مثال برای تغییرات سال به سال مؤلفه های میدان مغناطیسی. تغییرات منظم شدت به طور کلی از یک دهم γ در سال تجاوز نمی‌کند که به آن تغییرات صد سال یک بار[31] می‌گویند. با مطالعه این تغییرات در نواحی مختلف زمین می‌توان شکل دیگری از تغییر پذیری میدان مغناطیسی زمین را کشف کرد. همچنین معلوم شده است که این «نابهنجاری»[32] به تدریج در جهت باختر و تقریباً در امتداد عرض جغرافیایی تغییر جا می‌دهد. این خاصیت میدان مغناطیسی را «انحراف باختری»[33] نامیده اند. سرعت آن که تقریباً ۱۸٪ درجه در سال است بسیار مهم می‌باشد. این سرعت تقریباً در ۱۸۰۰ سال، نابهنجاری میدان مغناطیسی، یک دور کامل زمین را می‌پیماید.

علاوه بر تغییراتی که در ساعات روز پدیدار می‌شوند و توفانهای مغناطیسی که مربوط به پرتوافکنی خورشید هستند، منشاء تغییرات صد سال به صد سال و انحراف باختری میدان مغناطیسی[34] در درون زمین است.

برحسب محاسبه تقریباً ۶ درصد کل منشاء میدان زمین مغناطیسی خارجی است که عمده آن مربوط به خورشید است ۹۴ درصد کل میدان زمین مغناطیسی نیز منشائی درونی دارد. جنبش سرچشمه های درونی هنوز به طور کافی مطالعه نشده است.

شدت یک منشاء (سرچشمه) درونی را از نظر مقدار می‌توان از روی شدت میدانی که آن سرچشمه (منشاء) ایجاد میکند اندازه گرفت. اندازه آن را می توان به وسیلهٔ «گشتاور مغناطیسی»[35] برابر با نیرویی که بتواند آهنربایی را به وضع عمود برمیدان مغناطیسی بیرونی قرار دهد، به دست آورد. برحسب محاسبات انجام شده مقدار گشتاور مغناطیسی ایجاد شده از سال ۱۸۲۹ تاکنون به تدریج با سرعت متوسط ۴٪ درصد در سال کاهش یافته است. اگر این کاهش بازهم در مدت ۲۰۰۰ سال آینده ادامه یابد، میدان زمین مغناطیسی ازبین می‌رود.

تغییرات میدان مغناطیسی زمین (تغییرات روزانه و صد ساله و انحراف باختری) موجب تکرار دوره ای اندازه های مغناطیسی و تجدید نظر در نقشه های میدان مغناطیسی می‌شود.



نگاره ۸ : کاهش سال به سال گشتاور مغناطیسی زمین.

دیرین مغناطیس

باستانشناسان با مطالعه سرامیکها و آجرهای پخته شده از خاک رس ثابت کرده اند که اشیاء مزبور تا اندازه ای حالت آهنربایی پیدا کرده اند. همچنین بعضی از سنگها مانند «بازالتها» نیز آهنربایی شده اند. درواقع این آهنربایی شدن نوعی «عکاسی» از میدان مغناطیسی قدیمی است که در عصر پختن سرامیک و آجر وتشکیل سنگ وجود داشته است. بدین ترتیب، تعیین عناصر میدان مغناطیسی قدیمی (وضع قطبها و شدت) امکان پذیر گردیده است و درنتیجه شاخه‌ای از دانش را به نام «دیرینمغناطیس»[36] را به وجود آورده است.

برای نخستین بار فکر اندازه گیری عناصر میدان مغناطیسی دیرین(قدیمی) در سدهٔ بیستم به وسیله پژوهندگان فرانسوی E, O.Telier ایجاد شد. آنها ثابت کردند که درسرزمین قدیمی کارتاژ، انحراف مغناطیسی در مدت ۲۵۰۰ سال از ۵۸ تا ۶۴ درجه تغییر کرده و شدت میدان، بیش از ۱/۵ مرتبه ضعیف‌تر گردیده است.

تعیین میدان «دیرین مغناطیسی» با مطالعه چگونگی آهنربا شدن و دراختیار داشتن ابزارهای بسیار دقیق و حساس مانند آهنرباسنج[37] که می‌تواند میدانهای مغناطیسی بسیار ضعیف را اندازه گیری کند، امکان پذیر گردیده است. از روی خواص مغناطیسی، اجسام را به ۳ دسته تقسیم کرده اند:

«فرومغناطیسی»[38]، «پارامغناطیسی»[39] و «دیامغناطیسی»[40].

فرو مغناطیسها از همه آسانتر مغناطیسی می‌شوند. مهمترین آنها عبارتند از فلزاتی مانند: آهن، نیکل، کوبالت و غیره. مکانیزم مغناطیسی شدن آنها در این است که در آنها گشتاورهای (عزمهای) مغناطیسی بلوکهای کوچک ماده، تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی، تجدید جهت پیدا می‌کنند.(نگاره۹)، بلوکهای مزبور تحت تاثیر دما، هنگامی که درجه دما از نقطه «کوری»[41] بالاتر برود،متحرک می‌شوند. این نقطه «کوری» برای هرنوع فرومغناطیسی فرق می‌کند. برای آهن، نقطه، کوری: ۷۷۰+ درجه و برای نیکل: ۳۵۸+ درجه و برای کوبالت: ۱۱۵۰+ درجه سانتی گراد است. در حال سرد شدن و عبور از نقطه کوری و قرار گرفتن در میدان مغناطیسی خارجی، اجسام فرومغناطیسی به مغناطیس دائمی تبدیل می‌شوند و خواص خود را حتی پس از حذف میدان مغناطیسی خارجی -حفظ می‌کنند.

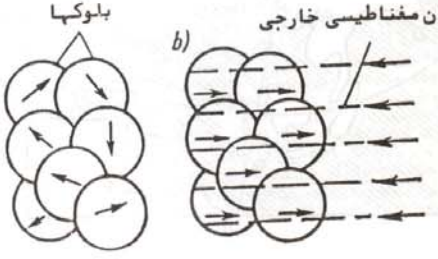
اجسام فرومغناطیسی بسیار کم هستند و بیشتر اجسامی که ما را احاطه کرده اند پارا و یا دیامغناطیس هستند.

31) Seculaires
32) Anomalie
33) Derive Occidentale
34) Geomagnetique
35) Monment magnetique
36) Paleomagnetique
37) Magnetometre
38) Ferromagnetique
39) Para - magnet ique
40) Diamagnetique
41) Curie

اجسام پارامغناطیسی همه مانند اجسام فرومغناطیسی خاصیت آهنربا شدن در جهت میدان مغناطیسی خارجی را دارند ولی این خاصیت در آنها بسیار ضعیف است. آهنربا شدن اجسام «دیامغناطیسی» نیز بسیار ضعیف می‌باشد و به علاوه آنها در جهت عکس میدان خارجی، خاصیت آهنربایی پیدا می‌کنند.

خواص مغناطیسی سنگها نیز به وسیلهٔ تجمع کانیهایی که دارای آهن و دیگر اجسام فرومغناطیس هستند مشخص می‌شوند.

مکانیزم آهنربایی شدن اجسام فرومغناطیس که پیش از این درباره آنها شرح دادیم به ما امکان می‌دهد که سنگها را مانند«عکسهای گرفته شده» از میدان مغناطیسی قدیمی مورد استفاده قرار دهیم.(نگاره ۹).



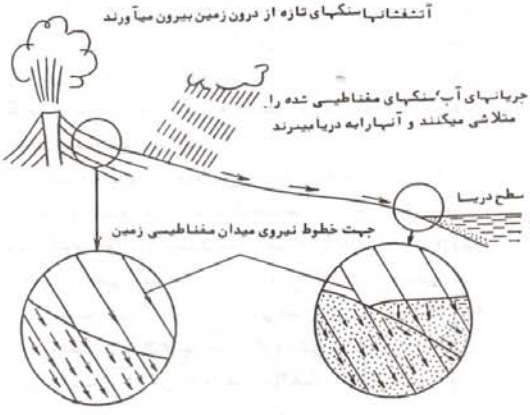
نگاره ۹ جهت یافتن فرومغناطیسی آهنربایی شده(a) آهنربایی نشده(b)

هرگاه در زمان تشکیل سنگ محتوی کانیهای فرومغناطیسی، درجه دما بالاتر از «نقطه کوری» باشد، پس از سرد شدن، اجسام مزبور خواص مغناطیسی پیدا کرده و در جهت میدان مغناطیسی زمین، در عصر خود قرار می‌گیرند. آهنربا شدن سنگها بدین طریق، نسبت به تغییرات بعدی میدان مغناطیس زمین ثابت می‌ماند. به این پدیده «آهنربایی شدن دمایی»[42] می‌گویند.

حال ببینیم از کدام سنگها می‌توان برای تعیین پارامترهای میدان مغناطیسی قدیمی زمین استفاده کرد؟ در درجه اول این سنگها باید محتوی کانیهای فرومغناطیسی بوده و در درجه دوم باید هنگام تشکیل شدن آنها دما زیاد بوده باشد. این شرایط به ویژه در سنگهای تفتالی[43] که از سرد شدن تفتال گداخته تشکیل شده اند، فراهم بوده است(نگاره ۱۰a).

سنگهایی که می‌توانند میدان مغناطیسی قدیمی را حفظ کنند ممکن است به طریق دیگری، بی‌آنکه از یک مرحله دمایی و نقطهٔ «کوری» بگذرند به وجود آیند. این گونه سنگها، سنگهای رسوبی هستند که از متلاشی شدن سایر سنگهای قدیمی تشکیل می‌شوند. مواد حاصل از متلاشی شدن آنها به وسیلهٔ جریان آب حمل شده و در کف رودخانه ها و دریاها و اقیانوسها قرار می‌گیرند. هنگام تهنشست شدن، مواد «فرومغناطیس» آهنربا شده در جهت خطهای نیروی میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند. فرایند بعدی تراکم (براثر فشار لایه های نهشته های جدید) و «ساروجی شدن»[44] موجب می‌شوند که خردیزه های آهنربایی شده در سنگ تثبیت شده و آهنرباهایی ثابت و هدایت شده (جهت دار) ایجاد کنند (نگاره ۱۰b).

نگاره ۱۰ طرحی از تشکیل سنگهای تفتالی (a) و رسوبی (b) و آهنربا شدن دمایی.



42) Aimentation Thermoremamente
43) Magmatique
44) Cimentation

سنگها نه تنها هنگام تشکیل شدن ممکن است، حالت آهنربایی پیدا کنند، بلکه ممکن است بعدها مثلاً براثر ته نشینی کانیهای محتوی آهن که از محلولهای درحال جریان در شکافی از سنگ حاصل می‌شوند، خاصیت آهنربایی پیدا کنند. کانیهای فرومغناطیسی ممکن است از راه شیمیایی در یک دمای نسبتاً بالا تشکیل شوند. دراین حال نیز خاصیت آهنربایی دائمی و هدایت شده در امتداد میدان مغناطیسی زمین پیدا می‌کنند.

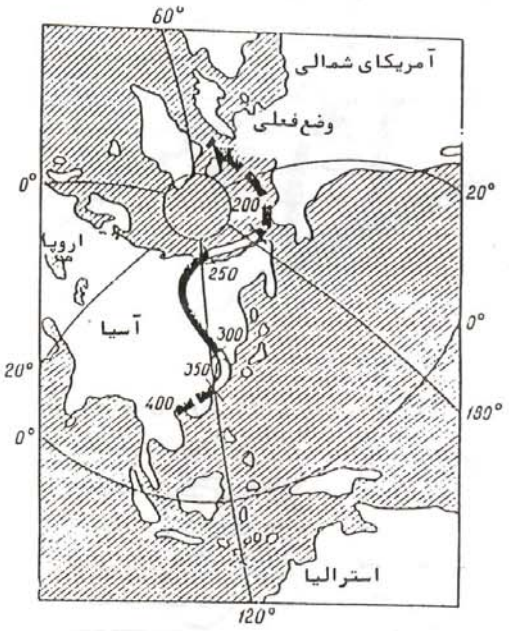
بدین ترتیب، پوستهٔ زمین دارای شمار بسیار زیادی از انواع سنگهایی است که در آنها آثار جهت میدان مغناطیسی قدیمی دیده می‌شود. با تعیین جهت آهنربایی حفظ شده در نمونه ای از این گونه سنگها، می‌توان میل و انحراف آن را تعیین کرد و درنتیجه وضع قطبها را هنگام تشکیل سنگ مشخص ساخت. تحقیقات «دیرین مغناطیسی» در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیقات به دقت نشان داده اند که در اعصار گذشته زمینشناسی وضع قطبهای مغناطیسی مانند وضع کنونی آنها نبوده است.همچنین ثابت شده است که در این نیم میلیارد سال اخیر، قطبهای مغناطیسی به طور دائم تغییر جا داده و تغییر محل آن منحنی پیچیده و درهمی را تشکیل داده است(نگاره ۱۱) به این تغییر جا در طول زمان «مهاجرت قطبهای مغناطیسی» می‌گویند.

با این حال، تغییرپذیری میدان زمین مغناطیسی به مهاجرت قطبها محدود نمی شود. این میدان، خصوصیت دیگری را نیز نشان می‌دهد که عبارت از ایجاد قطبهای معکوس است. تجزیه و تحلیل سطوح چینه شناسی سنگهای مغناطیسی شده گواه براین امر هستند که در طول تاریخ زمین، قطب میدان مغناطیسی زمین دستخوش تغییراتی شده است(نگاره ۱۱).تعیین سن سنگهای مغناطیسی شدهٔ معکوس،

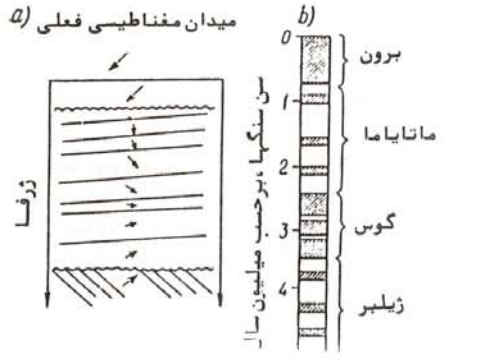
به ما نشان می‌دهد که قطبی شدن معکوس میدان مغناطیسی، پدیده ای است که بسیار زیاد، رخ داده است. در این باره کافی است نشان داده شود که در مدت ۷۰ میلیون سال اخیر، در هر میلیون سال، این پدیده یک یا دوبار رخ داده است. مهاجرت قطب مغناطیسی در نیمکره شمالی (نگاره ۱۱) نمایانده شده است و چنانکه دیده می‌شود قطب مزبور چندین بار محل خود را تغییر داده است و در مدت ۵ میلیون سال اخیر، نزدیک به ۲۰ بار تغییر میدان «زمین مغناطیسی» انجام گرفته است(نگاره ۱۲). به عنوان مثال در اعصار برون[45] وگوس[46] تغییر مستقیم و تغییر معکوس قطب دیده می‌شود.در مدت ۵ میلیون سال آخر، طول مدت میدان «زمین مغناطیسی» و قطبی شدن معکوس کمی بیشتر از قطبی شدن مستقیم است.

محتمل است که کاهش زمان مغناطیسی دیپول زمین (نگاره ۱) مربوط به تغییرات میدان «زمین مغناطیسی» باشد. این کاهش را داده های دیرین مغناطیسی تائید می‌کنند و مطابق آنها هنگام آخرین سالهای ۲۵۰۰، شدت میدان «زمین مغناطیسی» تقریباً نصف شده است (جدول ۱).

در مجموع، تغییرات میدان «زمین مغناطیسی» با سرعت زیادی نسبت به سایر فرایندهای زمینشناسی حاصل می‌شوند. و میزان سرعت مهاجرت قطبها یک سانتی متر در سال است.



نگاره ۱۱ مهاجرت قطب مغناطیسی در نیمکره شمالی - ارقام، وضع قطب را در گذشته به میلیون سال نشان می‌دهند.



نگارهٔ ۱۲ واژگونی قطبهای میدان مغناطیسی زمین.

45) Brunhes

46) Gausse

a تغییرات تدریجی جهت آهنربایی شدن دائمی در لایه های برش چینه بندی شده؛

b مدت اعصار قطبی شدهٔ مستقیم (هاشور مورب) و معکوسی میدان زمین مغناطیسی (سفید).

(برحسب داده های دیرین زمین‌شناسی)

مکان	زمان	شدت میدان زمین مغناطیسی
کارتاج	در پیش از ۲۵۰۰۰ سال	۰/۸۷ استر
پاریس	در ۲۰۰ پیش از میلاد	۰/۷۰ "
تفلیس	در ۱۷۰۰ میلادی	۰/۵۳ "
ورسایل	در ۱۷۵۰ میلادی	۰/۴۸ "
تفلیس	در ۱۸۵۰ میلادی	۰/۴۷ "
پاریس	در ۱۹۵۵ میلادی	۰/۴۶ "

جدول ۱ - تغییرات شدت میدان زمین مغناطیسی

منشاء میدان مغناطیسی زمین

منشاء میدان مغناطیسی زمین یکی از معماهای بزرگ ژئوفیزیکی را تشکیل می‌دهد.

فرضیه فرومغناطیسی

برحسب محاسبات انجام شده، مقدار مواد فرومغناطیس در پوسته زمین بسیار کم است و نمی‌تواند میدان زمین مغناطیسی را به وجود آورد. مقدار فلزات سنگین که احتمالاً در ژرفای زمین و به ویژه در هسته (Nife) که اساساً از آهن و نیکل تشکیل شده است، افزایش می‌یابد. وجود مواد فرو مغناطیسی و شکل کروی هسته زمین، نخستین دلیل فرضیه آهنربایی دائمی است. برحسب این فرضیه، هسته زمین جسمی آهنربایی شده است که میدان زمین مغناطیسی را به طور «دوقطبی» مشخص می‌سازد.

با این حال، فرضیهٔ مغناطیسی شدن هسته با داده های به دست آمده از دمای آن که از ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد تجاوز می‌کند و بیشتر از نقطه «کوری» است و از دمای گداز آهن و نیکل (به ترتیب ۱۵۳۵ درجه و ۱۴۵۳) نیز بیشتر است مطابقت ندارد. اگر فشار وارده برهسته زمین را در نظر بگیریم آنگاه می‌توان افزایش درجهٔ کوری را تا حدی پذیرفت. از طرفی ثابت کرده اند که هسته داخلی به حالت مایع است و در حالت مایع، آهنربای دائمی نمی تواند وجود داشته باشد.

فرضیهٔ مزبور توضیح نمی دهد که چه عواملی می‌توانسته اند، هستهٔ زمین را آهنربایی کنند و موجب تغییرات صد ساله و کاهش شدت و تغییر قطبین میدان «زمین مغناطیسی» گردند.

فرضیه الکتریکی

میدان «زمین مغناطیسی» به تغییرات نسبتاً شدیدی که دوره ای بودن آن از هزاران سال تجاوز نمی کند معلوم بوده است. به عقیدهٔ بسیاری از دانشمندان، این وضعیت ثابت می‌کند که میدان الکترو مغناطیسی با هسته ارتباط دارد و نه به «جبه» و یا «پوسته». فرایندهایی که محل ایجاد آنها در این پوششها است، مدت زیادی طول می کشند. مثلاًمیلیونها سال. هسته و بخش بیرونی آن که در حالت مایع است زیاد متحرکند. این موضوع سبب شده است که بسیاری از دانشمندان، جنس میدان زمین مغناطیسی را الکتریکی بدانند. تولید میدان زمین مغناطیسی موجب وجود جریان الکتریکی به شدتی برابر 10^9 آمپر گردیده است. امروز برای توضیح جریانهای الکتریکی در هسته، دو فرضیه ذکر می‌کنند. این جریان به ویژه ممکن است براثر «دمابرقی» (ترموالکتریک) تولید شده باشد. اگر مدار بسته‌ای را با دو هدایت کننده مختلف، مثلاً مس و آلیاژی از مس و نیکل به نام «کونستانتان»[47] درنظر بگیریم و اگر در طرف راست آن اختلاف دمایی ایجاد کنیم (مثلاً با گرم کردن یکی از این دو هادیها، جریان ترموالکتریکی در مدار ظاهر می‌شود و همچنین میدان مغناطیسی که مربوط به آن است به وجود می‌آید. می‌توان تصور کرد که در مرز جبه و هسته که ترکیب آنها متفاوت است دو منطقه دمایی مختلف وجود دارد. در این شرایط، قاعدهٔ جبه و لایه های زبرین (بالایی) هسته محل جریانی الکتریکی و میدانی مغناطیسی است. گرچه این فرضیه به خوبی شدت دما برقی (ترموالکتریک) را برای توضیح میدان زمین مغناطیسی بیان می‌کند ولی به هیچ وجه علت دو قطبی بودن میدان و بعضی از ویژگیهای دیگر را توضیح نمی‌دهد.

فرضیهٔ «دینامو»

فرضیه دیگری وجود دارد که معروف به فرضیهٔ «دینامو» است. این فرضیه برپایهٔ اصول «ماگنیتو هیدرو دینامیک»[48] (MHD)که مبتنی بر الکترو مغناطیس مایعات هادی است قرار دارد.

استفاده از میدان مغناطیسی زمین دراستخراج کانیها

استفاده از میدان مغناطیسی زمین در شناسایی کانیها مبتنی بر اختلاف سنگها از نظر خواص مغناطیسی است. چنانکه در جدول زیر مشاهده می شود خواص مغناطیسی سنگها با یکدیگر فرق می کنند.

47) Constantan

48) Magnetohydrodynamique

خواص مغناطیسی در کانیهای محتوی آهن و سنگهای تفتالی (ماگمایی) بیشتر و در سنگهای رسوبی کمتر است. به طور کلی خواص مغناطیسی سنگها برحسب مقدار کانیهایی که در ترکیب آنها آهن، تیتان[49]، نیکل و سایر فرومغناطیسها وجود داشته باشد فرق می‌کند. تجمع این گونه کانیها در پوستهٔ زمین «نابهنجاریهای» بزرگ مغناطیسی را ایجاد می کند مانند ناحیهٔ کورسک[50] (نگارهٔ ۱۳).

برحسب داده های کنونی، نابهنجاری کورسک، مربوط به دو رشته زیر زمینی است که از کوارتزیتهای آهندار تشکیل شده اند و صدها کیلومتر امتداد دارند(نگاره ۱۳).

نگاره ۱۳ نقشه نابهنجاری مغناطیسی کورسک

تاثیرپذیری مغناطیسی بعضی از کانیها و سنگها

کانی و سنگ	تأثیرپذیری مغناطیسی 10^{-6}واحد CGSM	کانی و سنگ	تأثیرپذیری مغناطیسی 10^{-6}واحد CGSM
ماگنیت	$10^{5} - 10^{6}$	رس	۵ - ۲۰۰
پریدوتیت	۴۰۰ - ۷۳۰۰۰	ماسه سنگ	۲ - ۵۰
بازالت	۱۲۵ - ۱۵۵۰۰	سنگ آهک	۵ - ۱۰
گرانیت	۰ - ۴۵۰۰	کوارتز	۰/۱

جدول ۲

(سطوح هاشور زده نابهنجاری را نشان می‌دهند)

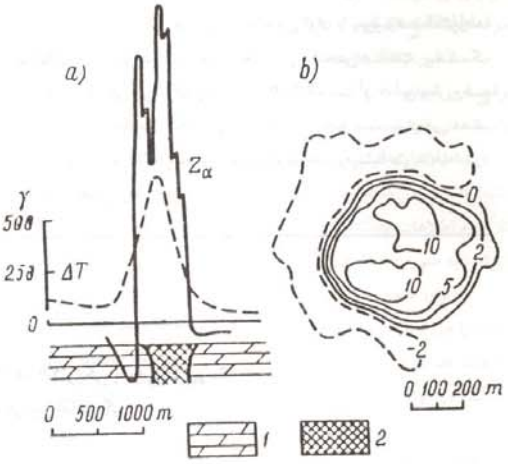
یکی از این دو به طول ۴۰۰کیلومتر و عرض ۲۵کیلومتر و دیگری به طول ۶۰۰کیلومتر و عرض ۳۰۰کیلومتر است که تقریباً به طور موازی از شمال باختری به جنوب خاوری امتداد دارند.

نابهنجاریهای نسبتاً بزرگ و متراکمی که مربوط به تجمعهای بزرگ فرومغناطیسی باشند بسیار کمیاب هستند. اختلاف در ترکیب سنگها(و درنتیجه تاثیر پذیری مغناطیسی آنها) معمولاً به شکل نابهنجاری مغناطیسی نسبتاً کم عرض و طول ظاهر می‌شوند. برای تعیین وجود این گونه نابهنجاریها مقدار اندازه گیری شده میدان مغناطیسی متوسط میدان طبیعی (نرمال) ناحیه را درنظر می گیرند. به این اختلاف میدانها که معمولاً مربوط به تغییرات موضعی خواص مغناطیسی سنگها است، نابهنجاریهای موضعی می گویند.

در «اکتشاف مغناطیسی» برای جستجوی کانیهای مفید، از میدان مغناطیسی استفاده می کنند. مؤلفه های میدان مغناطیسی (یا شدت کلی) به وسیلهٔ اسباب ویژه‌ای اندازه گیری می شود که به آن «مغناطسنج»[51] می گویند. از اندازه های به دست آمده در روی زمین و یا به وسیلهٔ اکتشافات هوایی (به وسیله هواپیمای ویژهٔ این کار) را بر روی نقشه رسم و ثبت می کنند.

تعیین نابهنجاریهای مغناطیسی موضعی به وسیله مغناطسنج نه تنها به ما در یافتن کانیهای آهن، بلکه به یافتن کانیهای مفید دیگر نیز با هزینه ای بسیار کم و سریع کمک می کند (نگاره ۱۴). چنانکه در شکل می بینیم، افزایش درجهٔ عقربه مغناطسنج دلیل وجود نابهنجاریهایی در ارتباط با «دودکشهای الماس»[52] است. این ساختارها براثر آتشفشانهای قدیمی حاصل شده اند و در آنها برای استخراج الماس به حفر چاه می پردازند.

49) Titane
50) Koursk
51) Magnetometre
52) Cheminees diamantifere



نگاره ۱۴ نابهنجاری مغناطیسی در بالای دودکش الماسدار» a : برش، b : طرح برحسب داده های روی زمین، $Z\alpha$: اندازه های انجام گرفته روی زمین، Δt :اندازه های انجام گرفته به وسیله هواپیما از ارتفاع ۱۰۰ متری،
۱ : سنگهای کربناته،
۲ - کیمبرلیت.

از مغناطسنج در کشف معادن نفت نیز زیاد استفاده می کنند. جدول ۲ نشان می دهد که تاثیر پذیری مغناطیسی سنگهای «بلورین»[53] معمولاً از تاثیرپذیری سنگهای رسوبی بیشتر است و سنگهای رسوبی بیشتر با معادن نفت و گاز در ارتباط هستند.

داده های به دست آمده از آزمایشهای مغناطیسی را می توان مستقیماً در اکتشاف نفت و گاز به کار برد. در لایه های رسوبی چین خورده، معادن نفت و گاز معمولاً در خمیدگی تا قدیسهای لایه های زمین که در نگاره ۱۵ می بینیم قرار دارند و اغلب با نفوذ سنگهای بلورین که در میدان مغناطیسی دخالت دارند همراه اند. بنابراین نابهنجاریهای مغناطیسی ممکن است مربوط به شکلهای مساعد برای تجمع نفت و گاز باشند.

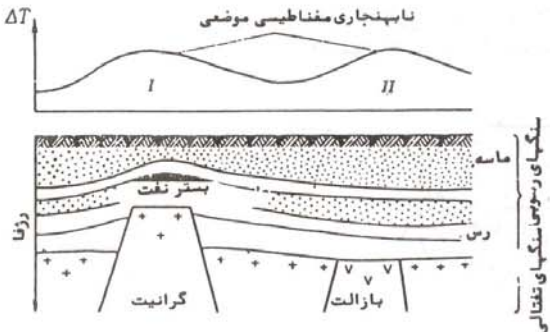
میدان الکتریکی زمین

میدان الکتریکی زمین که وابسته به میدان مغناطیسی است نیز کاربرد عملی بسیار وسیعی دا اکتشاف دارد. میدان الکتریکی، به ویژه به شکل جریانهای زمینی[54] تظاهر می کنند. میدانهای الکتریکی موضعی مربوط به مرز اجسامی از نوع کانیهای سولفوره یا جریان آبهای محتری کانیها است.

انتشار جریان الکتریکی در پوستهٔ زمین کاملاً در ارتباط با ویژگیهای ساختار زمینشناختی است که می تواند توزیع خواص الکتریکی سنگها را تعیین کند. مهمترین این خواص، مقاومت الکتریکی ویژهٔ سنگها است که برحسب فرمول: $\rho = R\frac{S}{d}$
محاسبه می شود. در این فورمول R مقاومت الکتریکی، S سطح مقطع هادی و d طول هادی است.

اندازه مقاومت الکتریکی ویژه به وسیله: اهم متر به دست می آید.

نگاره ۱۵ تفسیر نتایج حاصل از اکتشاف مغناطیسی:
I) نابهنجاریهای حاصل براثر بالا آمدن گرانیت،
II) نابهنجاریهای ناشی از نفوذ بازالت.



جدول ۳ نشان می دهد که مقدار مقاومت الکتریکی ویژهٔ سنگها از 10^{15} تا $0/0\times\Omega.m$ تغییر می کند. این کیفیت بسیار مهمی است زیرا به ما اجازه می دهد که ویژگیهای عبور جریان الکتریکی را برای مطالعه ساختار پوستهٔ زمین مورد استفاده قرار می دهیم.

مقاومت الکتریکی ویژهٔ بعضی از کانیها و سنگها

جدول ۳

کانی و سنگ	ρ_1 Ω.m	کانی و سنگ	ρ_1 Ω.m
الماس	10^{14}	سنگ آهک	$10^2 - 10^3$
گوگرد	$10^{12} - 10^{15}$	ماسه سنگ	$10 - 10^3$
کوارتز	$10^6 - 10^8$	رس	$1 - 10^3$
گرانیت	$10^3 - 10^5$	آنتراسیت	$10^{-2} - 10^2$

53) Criistalline
54) Courants tellurique

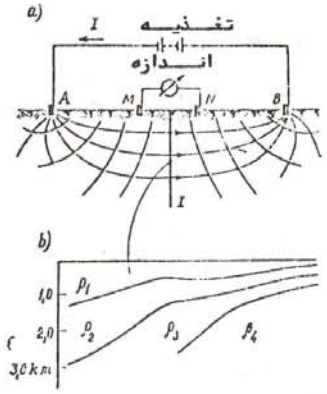
روشهای مختلفی را در اکتشافهای الکتریکی به کار می برند که در آنها میدانهای الکتریکی طبیعی یا میدانهای الکتریکی مصنوعی و جریانهای پیوسته و یا جریانهای متناوب را مورد استفاده قرار می دهند.

اکتشاف الکتریکی به ما امکان می دهد که به وضع انتشار خواص الکتریکی سنگهای تشکیل دهنده پوسته زمین پی ببریم. هنگام اکتشاف به وسیله جریان پیوسته نگارهٔ a,۱۶ می توان مقاومت الکتریکی ویژه را به وسیله فرمول: $\rho_1 = K \frac{\Delta u}{I}$ اندازه گرفت.

در این فرمول Δu اختلاف پتانسیلهای اندازه گرفته میان الکترودهای I , N , M شدت جریان در مدار تغذیه (میان‌الکترودهای B,A) و K ضریبی است که تابع فاصله و وضع نسبی الکترودهای N , M , B, A است.

برحسب فرمول بالا نه تنها می توان مقاومت الکتریکی ویژه سنگهای پوسته زمین را تعیین کرد، بلکه می توان با تغییر وضع الکترودها سنگهای دارای خواص الکتریکی مختلف را مشخص ساخت. به کمک اکتشاف الکتریکی می توان برش (۱۶/ b) را به دست آورد. این برش وضع سنگهایی را که مقاومت الکتریکی ویژه آنها مختلف است نشان می دهد. بدین طریق می توان شکل بستر[55] سنگها و ساختار زمینشناختی ناحیه مورد مطالعه را تعیین کرد.

نگاره ۱۶ طرح اصلی و نتایج اکتشاف الکتریکی با جریان پیوسته
a - شمای نصب دستگاه با تخلیه «زمین الکتریکی».



توضیح : بدینوسیله به اطلاع می‌رساند نگاره‌های ۱ تا ۵ صفحات ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۳ و ۱۶ نشریه شماره ۷ متعلّق به مقاله تفسیر جمعیّتی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی جمهوریهای نو استقلال آسیای مرکزی نوشتهٔ سرکار خانم دکتر فاطمه بهفروز استاد دانشگاه تهران بوده است که به دلیل مشابهت موضوع تحقیق، اشتباهاً آورده شده است.
مقاله نویسنده بهمراه نقشه ها در نشریه شماره ۱۰ سپهر به چاپ می‌رسد.
مدیر مسئول و سردبیر نشریه

55) Gisment