

### مغناطیس و الکترومغناطیس

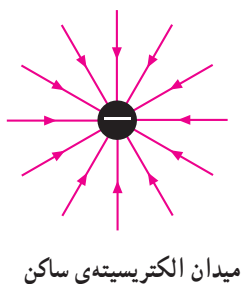
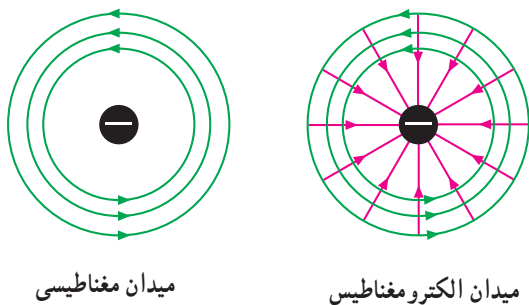
#### اهداف‌های رفتاری

- در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:
- ۱- میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی بار الکتریکی الکترون را شرح دهد.
  - ۲- مولکول مغناطیسی را شرح دهد.
  - ۳- اجسام مغناطیسی را نام ببرد.
  - ۴- روش‌های ساختن یک مغناطیس و از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا را شرح دهد.
  - ۵- خطوط میدان و میدان مغناطیسی را تعریف کند.
  - ۶- پوشش مغناطیسی را شرح دهد.
  - ۷- الکترومغناطیس را تعریف کند.
  - ۸- اثر الکترومغناطیس را در یک سیم بیان کند.
  - ۹- چگونگی تعیین جهت میدان در یک سیم و بوبین را بیان کند.
  - ۱۰- اثر الکترومغناطیس در دو سیم جریان‌دار را شرح دهد.
  - ۱۱- اثر الکترومغناطیس را در یک حلقه شرح دهد.
  - ۱۲- اثر الکترومغناطیس را در بوبین شرح دهد و دلیل قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی بوبین با هسته‌ی مغناطیسی را توضیح دهد.
  - ۱۳- کاربردهای مغناطیس را نام ببرد و ساختمان ساده‌ی هر یک از وسایلی را که با مغناطیس کار می‌کنند، به‌طور مختصر توضیح دهد.

#### ۱-۵- سنگ آهن مغناطیسی

را مغناطیس خواندند. بعدها کشف شد که اگر این سنگ را به‌وسیله‌ی یک نخ آویزان کنند، به خودی خود جنوب و شمال را مشخص می‌کند. به همین دلیل، آن را سنگ راهنما یا آهن‌ربا نامیدند. پس آهن‌ربا در اصل یک مغناطیس طبیعی است.

در حدود دو هزار سال پیش یونانیان قدیم سنگ آهن مغناطیسی را کشف کردند. چون این سنگ‌ها آهن را جذب کردند و در ناحیه‌ی مگنزیا در آسیای صغیر پیدا شده بود، آن‌ها



شکل ۲-۵- میدان الکترومغناطیسی



شکل ۱-۵- سنگ آهن طبیعی

## ۲-۵- میدان الکترومغناطیسی

نیروهای الکتریکی و مغناطیسی به یکدیگر مربوط اند ولی کاملاً با هم تفاوت دارند. نیروهای مغناطیسی و نیروهای الکترواستاتیک تا هنگامی که حرکتی وجود نداشته باشد، بر یکدیگر بی‌اثرند ولی در صورتی که میدان نیروی هر یک از آن‌ها متحرک باشد، اثرات متقابل برهم می‌گذارند. چون الکترون کوچک‌ترین جزء هر اتم است، برای تشریح رابطه‌ی بین الکتروسیسته و مغناطیس نظریه‌ای به وجود آمده است که به آن نظریه‌ی **الکترومغناطیس** می‌گویند.

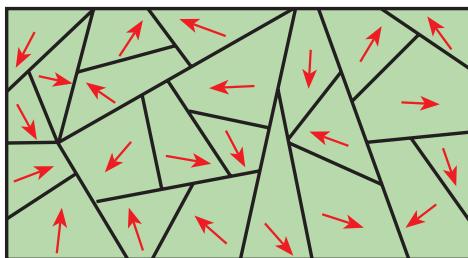
می‌دانیم که الکترون دارای بار منفی است. این بار خطوط نیروی الکتریکی‌ای تولید می‌کند که از تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند. بار گردنده نیز به علت حرکت وضعی، در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. این میدان به صورت دایره‌ای هم‌مرکز در دور الکترون نشان داده می‌شود. در هر نقطه، خطوط نیروی الکتریکی و خطوط نیروی مغناطیسی بر یکدیگر عمودند. به ترکیب این دو میدان، **میدان الکترومغناطیسی** می‌گویند.

## ۳-۵- مولکول مغناطیسی

عناصر آهن، نیکل، کبالت و کادمیم تنها انواع فلزات مغناطیسی طبیعی هستند ولی چون همه‌ی عناصر الکترون دارند، این سؤال پیش می‌آید که چرا همه‌ی اجسام خاصیت مغناطیسی (آهن‌ربایی) ندارند. پاسخ این است که هر جفت الکترون در مدارها دارای گردش وضعی مخالف یکدیگرند. لذا میدان‌های مغناطیسی مخالف هم ایجاد می‌کنند که یکدیگر را خنثی می‌سازند. ممکن است این فکر پیش آید که فقط اجسامی که تعداد الکترون‌هایشان فرد است، خاصیت مغناطیسی دارند. پاسخ این است که اگر این اتم‌ها می‌توانستند به صورت مجزا باشند، این فکر درست بود ولی هنگامی که اتم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا مولکول تشکیل دهند، خود را به صورتی درمی‌آورند که ۸ الکترون والانس داشته باشند و در نتیجه‌ی چرخش‌های وضعی الکترون‌ها در اغلب اجسام، میدان مغناطیسی هم‌دیگر را خنثی می‌کنند. در شکل ۳-۵ با حرکت وضعی جفت الکترون‌ها اثر مغناطیسی آن‌ها خنثی می‌شود.

از جمله‌ی این مواد آهن و آلیاژهای آهن هستند که به آن‌ها **مواد فرو مغناطیسی** می‌گویند. فرو در یونانی به معنی آهن است.

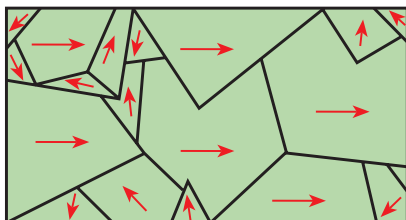
اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که در شرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به‌طور پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یک‌دیگر را خنثی می‌کنند؛ بنابراین، فلز خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل ۵-۵ مولکول‌های مغناطیسی یک فلز مغناطیس نشده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۵ - فلز مغناطیس نشده

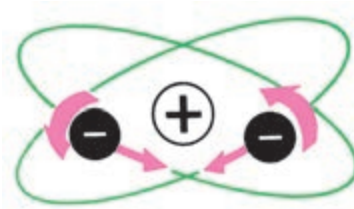
اگر همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم‌جهت قرار بگیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با یک‌دیگر جمع شده و در این صورت فلز مغناطیس می‌شود. اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم‌جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم و زیاد کرد.

شکل ۶-۵ مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فلز مغناطیس شده را نشان می‌دهد.



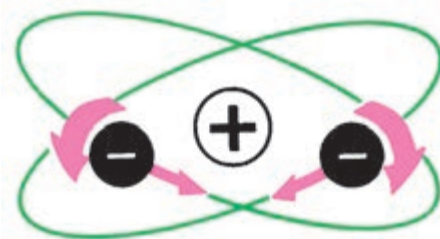
شکل ۶-۵ - فلز تقریباً مغناطیس شده

اجسام غیر مغناطیسی: برخی از اجسام تقریباً خاصیت مغناطیسی ندارند. این اجسام را **اجسام غیر مغناطیسی** می‌نامند؛ مانند روی و چوب. اجسام غیر مغناطیسی به دو گروه پارامغناطیس و دیامغناطیس تقسیم می‌شوند.



شکل ۳-۵ - اتم غیر مغناطیس

بنا به دلایلی، این حالت در فلزات گفته شده در بالا وجود ندارد. هنگامی که اتم‌های این فلزات با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند، به صورت یون درمی‌آیند و الکترون‌های والانسشان را طوری به اشتراک می‌گذارند که بسیاری از میدان‌های مغناطیسی حاصل از چرخش‌های وضعی الکترون‌ها یک‌دیگر را خنثی نمی‌کنند، بلکه به هم اضافه می‌شوند. این عمل باعث به‌وجود آمدن ذرات مغناطیسی در فلز می‌شود. به ذرات مغناطیسی، **مولکول‌های مغناطیسی** نیز می‌گویند. مولکول‌های مغناطیسی عیناً مانند مغناطیس‌های کوچک عمل می‌کنند. اگر چه آهن، نیکل و کبالت تنها اجسام مغناطیسی طبیعی هستند ولی با به‌کارگیری روش‌های مخصوص می‌توان ترکیباتی ساخت و به آن‌ها خاصیت آهن‌ربایی داد. در شکل ۴-۵ در مولکول‌های مغناطیسی حرکت وضعی الکترون‌ها طوری است که میدان‌های مغناطیسی یک‌دیگر را خنثی نمی‌کنند؛ بنابراین، مولکول خاصیت مغناطیسی دارد.



شکل ۴-۵ - اتم مغناطیسی

### ۵-۴ - خواص مغناطیسی اجسام

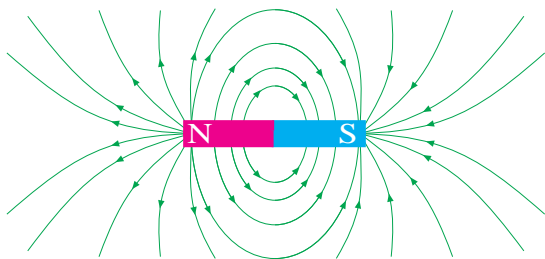
اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف - اجسام مغناطیسی، ب - اجسام غیر مغناطیسی.

اجسام مغناطیسی: اجسامی که خواص آهن‌ربایی از خود نشان می‌دهند، دارای خاصیت مغناطیسی یا آهن‌ربایی هستند.

تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهن ربا نیست و دوباره به طرف قطب شمال زمین جذب می‌شود. فضایی را که در آن آهن ربا بر اجسام مغناطیسی دیگر اثر می‌گذارد، **میدان مغناطیسی** می‌گویند.

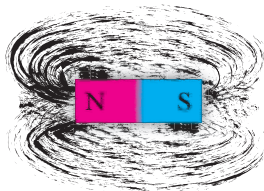
### ۵-۶ - خطوط نیرو (فلو - شار)

میدان مغناطیسی یک آهن ربا از خطوط نیرویی تشکیل شده است که بنا به قرارداد، از قطب N بیرون می‌آیند، در فضا امتداد می‌یابند و به قطب S وارد می‌شوند. این خطوط نیرو یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند و مرتباً از آهن ربا دور می‌شوند. هر چه خطوط نیرو به یک‌دیگر نزدیک‌تر و تعدادشان بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر است. خطوط نیرو یا شار مغناطیسی را با (فی) نشان می‌دهند.



شکل ۵-۸ - نمودار خطوط نیروی مغناطیسی

وجود خطوط نیرو با پاشیدن براده‌های آهن بر یک سطح صاف و قرار دادن آهن ربا در زیر آن معلوم می‌شود. براده‌های آهن به طور مرتب در طول خطوط نیرو قرار می‌گیرند و جهت‌گیری میدان را نشان می‌دهند. به این خطوط نیرو **فلو** نیز می‌گویند.

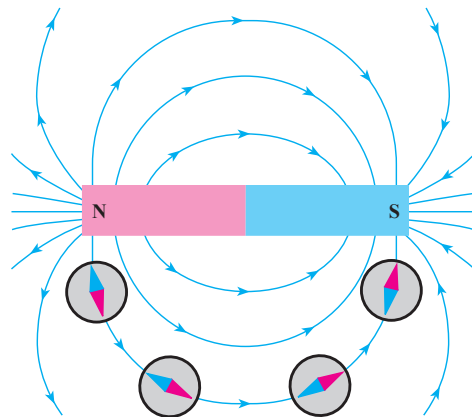


شکل ۵-۹ - براده‌های ریز آهن نشانگر خطوط قوای مغناطیسی

هرگاه چند ماده‌ی غیر مغناطیسی را به یک آهن ربا بسیار قوی نزدیک کنیم، برخی از آن‌ها به آرامی جذب و برخی دیگر به آرامی دفع می‌شوند. البته این جذب و دفع‌ها ممکن است آن قدر ضعیف و کند باشد که به چشم دیده نشود. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی جذب آهن ربا می‌شوند، به مواد پارامغناطیس موسوم‌اند؛ مانند چوب، اکسیژن، آلومینیم و پلاتین. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی از آهن ربا دفع می‌شوند، مواد دیامغناطیس نامیده می‌شوند؛ مانند روی، نمک، طلا و جیوه.

### ۵-۵ - میدان مغناطیسی

با توجه به جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نیروهای خارج شده از قطب‌های مغناطیسی باعث این اثر می‌شوند. البته این رویداد فقط در قطب‌ها اتفاق نمی‌افتد، بلکه نیروی مغناطیسی مغناطیس را در یک میدان دربرمی‌گیرند. این پدیده را طبق شکل ۵-۷ می‌توان هنگام حرکت قطب‌نما در اطراف یک آهن ربا مشاهده کرد. در هر موقعیت، در دور آهن ربا یک انتهای عقربه‌ی قطب‌نما در جهت قطب مخالف آهن ربا قرار می‌گیرد.

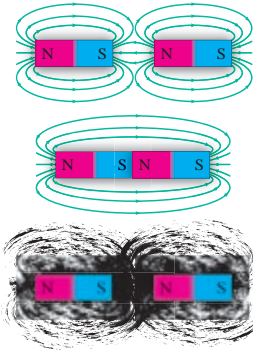


شکل ۵-۷ - میدان مغناطیسی آهن ربا

هم‌چنین، با قرار دادن قطب‌نما در فاصله‌های دورتر از آهن ربا می‌توان مشاهده کرد که این میدان مغناطیسی دورتر از آهن ربا نیز وجود دارد. چنان‌چه قطب‌نما را به آرامی از آهن ربا دور کنیم، به نقطه‌ای خواهیم رسید که عقربه‌ی قطب‌نما دیگر

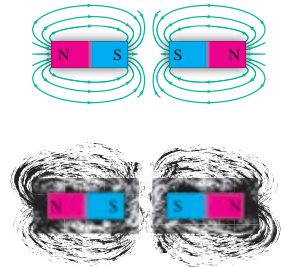
## ۷-۵- اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی

هنگامی که دو مغناطیس در مجاورت هم قرار گیرند، میدان‌های مغناطیس آن‌ها بر یک‌دیگر اثر می‌کنند. اگر خطوط نیرو هر دو در یک جهت باشند، یک‌دیگر را جذب می‌کنند و به هم می‌رسند. به همین دلیل است که قطب‌های ناهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.



شکل ۱-۵- نیروهای جاذبه بین دو قطب غیرهمنام

اگر خطوط نیرو در جهت‌های مخالف باشند، نمی‌توانند با هم ترکیب شوند و چون نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، نیروهای مخالف بر یک‌دیگر وارد می‌کنند. به همین دلیل است که قطب‌های همنام یک‌دیگر را دفع می‌کنند. این اثر متقابل خطوط نیرو را به وسیله‌ی براده‌های آهن نیز می‌توان نشان داد.



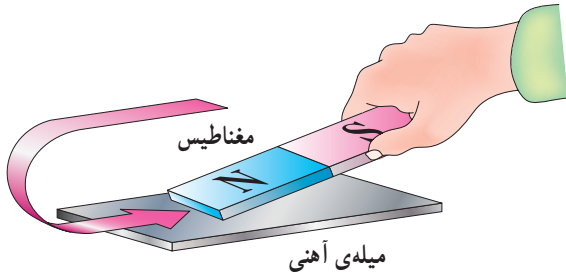
شکل ۱۱-۵- نیروهای دافعه بین دو قطب همنام

## ۸-۵- روش‌های به‌وجود آوردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا (آهن‌رباهای مصنوعی)

جسم آهنی (فرومغناطیسی) را می‌توان با منظم کردن مولکول‌های مغناطیسی‌اش مغناطیسی کرد. بهترین راه انجام این عمل، وارد کردن نیروی مغناطیسی است. این نیرو بر میدان

مغناطیسی هر مولکول اثر کرده و همه‌ی آن‌ها را در یک جهت منظم می‌کند. ساخت آهن‌رباهای مصنوعی به دو روش امکان‌پذیر است: (۱) مالش مغناطیسی، (۲) جریان الکتریکی.

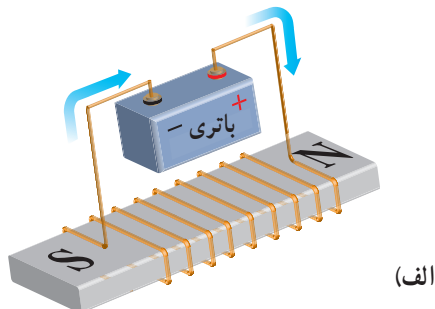
۱- مالش مغناطیسی: هنگامی که جسم مغناطیس شده به سطح یک آهن مغناطیس نشده (طبق شکل ۱۲-۵) مالش داده شود، میدان مغناطیسی، مولکول‌های آهن را مرتب می‌کند و آهن مغناطیس می‌شود.



شکل ۱۲-۵- مغناطیس کردن فلز در اثر مالش مغناطیس

۲- جریان الکتریکی: اگر سیمی را به دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن را به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل ۱۳-۵ چگونگی تولید قطعه‌ی مغناطیسی به وسیله‌ی جریان الکتریکی DC را نمایش می‌دهد.

اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن **مغناطیس دائمی** می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست بدهد، **مغناطیس موقتی** نام دارد. آهن سخت و فولاد مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به کار برده می‌شود.



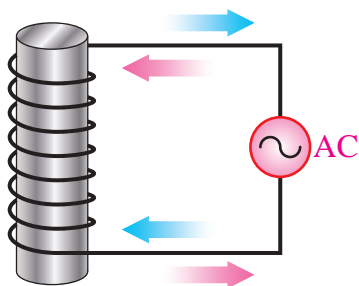
(الف)



شکل ۱۵-۵- خنثی کردن اثر مغناطیسی یک آهن ربا به وسیله گرمی

### ۳- جریان الکتریکی متناوب (AC): اگر مغناطیس را

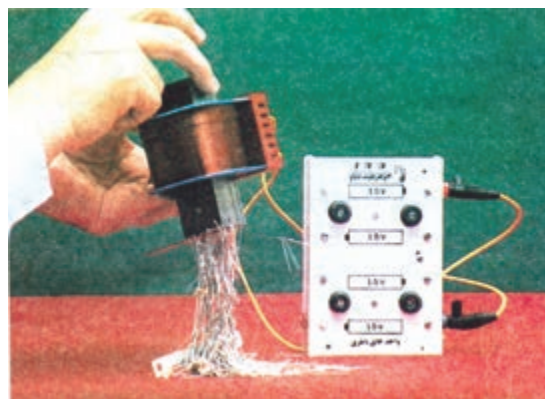
در میدانی مغناطیسی قرار دهیم که جهت آن به سرعت تغییر می کند، نظم مولکول ها به هم می خورد؛ زیرا مولکول ها می خواهند از میدان پیروی کنند. میدان مغناطیسی متغیر را می توان به وسیله ی یک جریان متناوب تولید کرد. این مطلب را در آینده توضیح خواهیم داد.



شکل ۱۶-۵- خنثی کردن اثر مغناطیسی توسط جریان متناوب (AC)

### ۱۰-۵- پوشش مغناطیسی

خطوط نیروی مغناطیسی می توانند از اجسام - حتی آن هایی که خواص مغناطیسی نیز ندارند - بگذرند. البته بعضی از اجسام در مقابل عبور خطوط نیرو (فلو) مقاومت می کنند. به این خاصیت (مقاومت در برابر عبور خطوط نیرو) **رلوکتانس** می گویند. اجسام مغناطیسی در مقابل عبور خطوط نیرو رلوکتانس خیلی کمی دارند. در نتیجه، خطوط فلو به وسیله ی یک جسم مغناطیسی حتی با طی کردن مسیری طولانی جذب می شوند. این خاصیت باعث می شود که بتوانیم اجسام را به وسیله ی پوششی از ماده ی مغناطیسی در مقابل خطوط فلو محافظت کنیم. از این



(ب)

شکل ۱۳-۵- کاربرد جریان DC برای تولید مغناطیس

### ۹-۵- روش های از بین بردن خاصیت مغناطیسی آهن ربا

برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن ربا باید مولکول های مغناطیسی آن را دوباره به صورت نامرتب درآوریم تا میدان هایشان در خلاف جهت یک دیگر قرار گیرد. این عمل به سه روش انجام می گیرد: ۱- ضربه ی سخت، ۲- گرما، ۳- جریان الکتریکی متناوب.

۱- ضربه ی سخت: اگر به یک آهن ربا ضربه ی سختی وارد کنیم، نیروی وارد شده مولکول ها را به شدت تکان می دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آن ها می شود. گاهی اوقات لازم است ضربه را چند بار وارد کنیم.

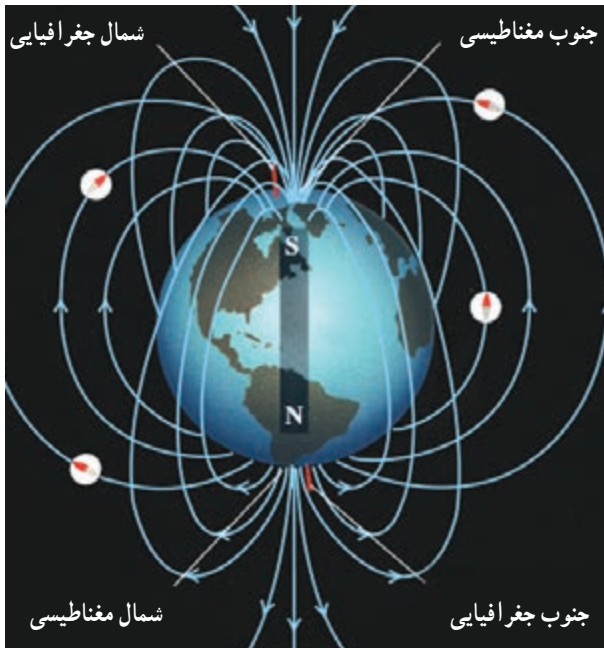


شکل ۱۴-۵- خنثی کردن اثر مغناطیسی آهن ربا با زدن ضربه

۲- گرما: اگر آهن ربا را گرم کنیم، انرژی حرارتی باعث نوسان مولکول های مغناطیسی می شود و ترتیبشان را به هم می زند.

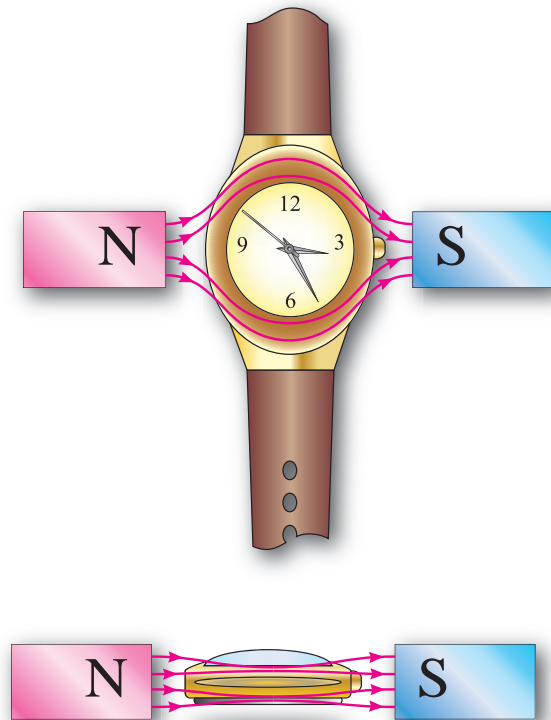
## ۱۱-۵- میدان مغناطیسی زمین

زمین جرمی چرخنده است (حرکت وضعی دارد) و در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. در واقع، در مرکز آن مغناطیسی قرار گرفته که قطب S آن در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی و قطب N آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی است.

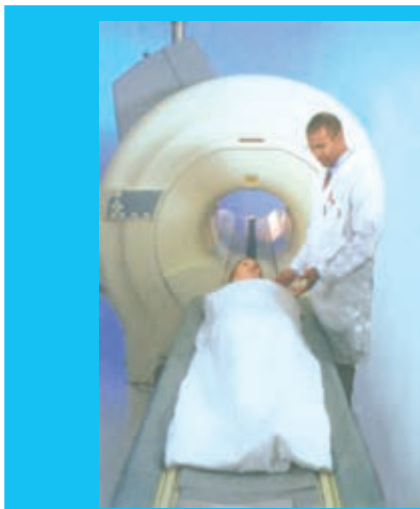


شکل ۱۸-۵- میدان مغناطیسی زمین

روش برای ساختن ساعت‌های ضد مغناطیس استفاده می‌کنند.



شکل ۱۷-۵- پوشش مغناطیسی

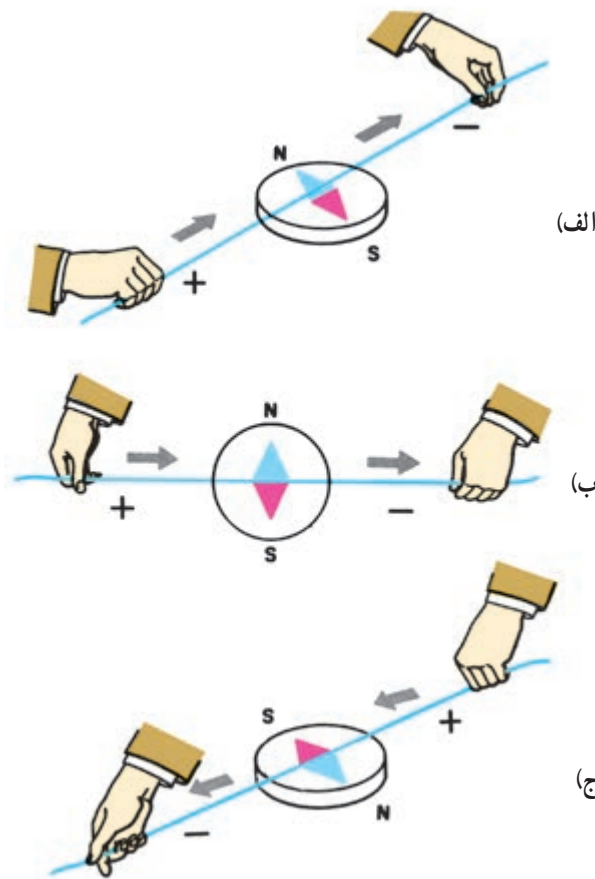


## برای هنرجویان علاقه‌مند

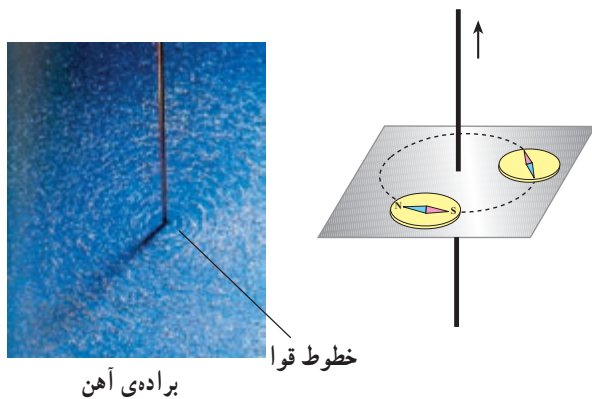
امروزه مغناطیس، حضوری چشم‌گیر در تشخیص پزشکی ایفا می‌کند. در ارتباط با اثر میدان مغناطیسی بر روی موجودات زنده به‌ویژه انسان گزارش تهیه و به کلاس ارائه دهید.

شکل ۱۹-۵- دستگاه تصویربرداری MRI

وقتی موقعیت سیم را تغییر دهیم، عقربه قطب نما نیز متناسب با آن می‌چرخد.



شکل ۵-۲۰ - میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان



شکل ۵-۲۱ - تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قطب‌نما

## ۱۲-۵- میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان

چون الکترون‌ها به علت حرکت وضعی در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کنند، چنین به نظر می‌آید که انباشتن الکترون‌های اضافی در جسم می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند ولی الکترون‌ها با چرخش‌های وضعی مخالف هم آثار مغناطیسی یک‌دیگر را خنثی می‌کنند. در نتیجه، الکتروسیته‌ی ساکن دارای میدان مغناطیسی نیست ولی هنگامی که با اعمال ولتاژی به دو سر سیم‌ها جریان الکتریکی در آن برقرار می‌شود، الکترون‌های جهت گرفته نمی‌توانند با چرخش‌های وضعی مخالفت کنند و اثر مغناطیسی یک‌دیگر را خنثی نمایند. بر عکس، چون همه در یک جهت حرکت می‌کنند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با هم جمع می‌شوند. در سال ۱۸۱۹، **هانس کریستین آرستد** کشف کرد که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند که این میدان بر عقربه‌ی قطب‌نما اثر می‌گذارد.

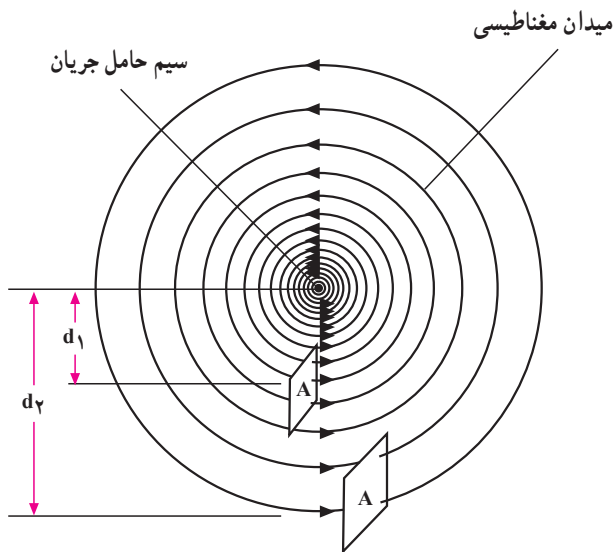
چون میدان مغناطیس به دور یک الکترون حلقه‌ای را به وجود می‌آورد، میدان‌های مغناطیسی اطراف الکترون‌های جهت گرفته در یک سیم با یک‌دیگر تشکیل حلقه‌هایی به دور سیم می‌دهند. هر یک از این حلقه‌ها را یک خط نیرو یا یک **ماکسول** و  $10^8$  خط نیرو را یک **بر (wb)** می‌نامند.

طبق شکل ۵-۲۰ چنان‌چه موقعیت سیم را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما با جهت خطوط نیرو منطبق می‌شود. عقربه‌ی قطب‌نما همیشه عمود بر سیم حامل جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما تغییر جهت می‌دهد. اثر الکترومغناطیس بر یک سیم: جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب‌نما و قانون دست راست استفاده کرد. طبق شکل ۵-۲۱ چنان‌چه قطب‌نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N عقربه‌ی قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



**چگالی (تراکم) خطوط نیرو:** هر چه جریانی که از سیم می‌گذرد بیش‌تر شود، میدان مغناطیسی حاصل قوی‌تر خواهد بود. همان‌طور که در میدان مغناطیسی آهن‌ربا دیدید، خطوط نیرو در نزدیکی آهن‌ربا به هم نزدیک‌ترند. این خطوط نیرو در نزدیکی سیم نیز به هم نزدیک‌ترند و هر چه بیش‌تر از سیم دور شوند، از یک‌دیگر فاصله می‌گیرند. در نتیجه، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر می‌شود و هر چه از مرکز سیم دورتر می‌شویم، تراکم خطوط ضعیف‌تر می‌شود.

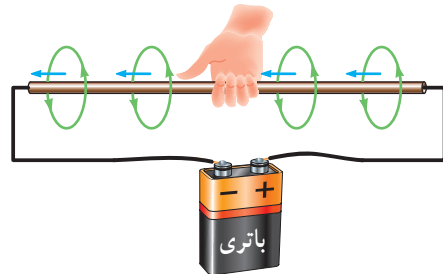
برای مشخص کردن شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم حامل جریان، چگالی میدان مغناطیسی را تعریف می‌کنند. بنا به تعریف، **چگالی میدان** عبارت است از تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح عبور می‌کند. طبق شکل ۵-۲۴ تعداد خطوط نیرو در واحد سطح با فاصله‌ی آن تا مرکز سیم، نسبت عکس و با شدت جریان عبوری، نسبت مستقیم دارد.



شکل ۵-۲۴ - تراکم خطوط نیرو اطراف سیم حامل جریان

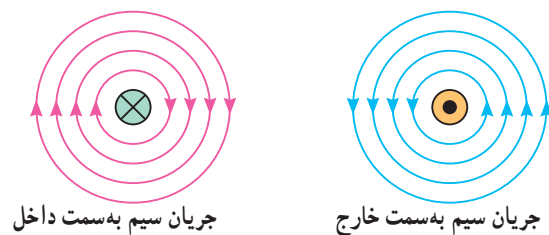
اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی بر یک‌دیگر: اگر دو سیم را که جریان‌هایی در جهت‌های عکس‌یک‌دیگر از آن‌ها می‌گذرند به هم نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها یک‌دیگر را دفع می‌کنند؛ زیرا جهت خطوط نیرویشان عکس‌یک‌دیگر است. چون خطوط نیرو نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، میدان‌ها باعث دور شدن سیم‌ها از هم می‌شوند.

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان از قانون دست راست نیز استفاده کرد. چنان‌چه طبق شکل ۵-۲۲ انگشت‌های دست راست را به دور سیم بپیچیم، به طوری که انگشت شست در جهت جریان قرار بگیرد، بسته‌شدن بقیه‌ی انگشتان جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



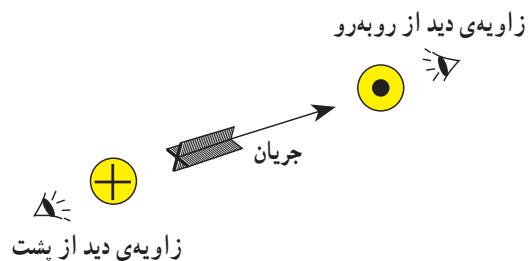
شکل ۵-۲۲ - تعیین جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست

طبق شکل ۵-۲۳ از این پس برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان، مقطع سیم را - که دایره است - نشان می‌دهیم. در صورتی که جهت جریان در مقطع سیم از طرف ناظر به طرف صفحه‌ی کاغذ باشد، با علامت (x) و اگر از طرف مقطع سیم به طرف ناظر باشد، با علامت (.) نمایش داده می‌شود. طبق قانون دست راست در مورد (x) جهت میدان موافق عقربه‌ی ساعت و در مورد (.) مخالف حرکت عقربه‌ی ساعت خواهد بود.

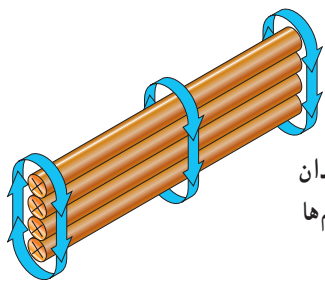


جریان سیم به سمت داخل

جریان سیم به سمت خارج



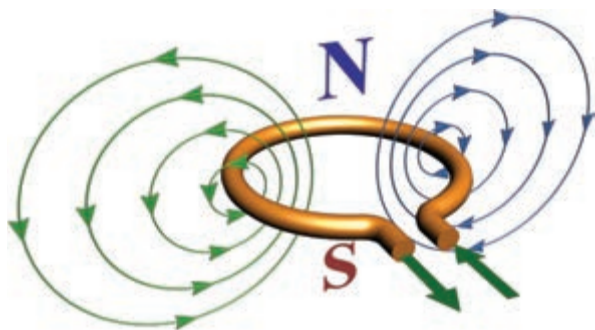
شکل ۵-۲۳ - جهت میدان مغناطیسی



شکل ۲۷-۵ - قوی تر کردن میدان مغناطیسی از طریق افزایش سیم‌ها

اثر الکترومغناطیسی در یک حلقه: اگر سیمی را به صورت حلقه درآوریم و از آن جریان الکتریکی عبور دهیم، خطوط نیروی مغناطیسی اطراف سیم همه طوری مرتب خواهند شد که از یک طرف به حلقه وارد و از طرف دیگر خارج می‌شوند. در مرکز حلقه، خطوط نیرو متمرکز می‌شوند و یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورند.

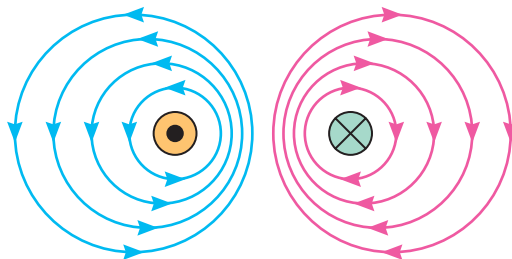
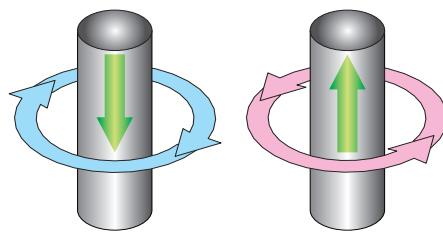
در نتیجه‌ی این عمل قطب‌های مغناطیسی به وجود می‌آیند. به طوری که قطب شمال در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو از آن خارج می‌شوند و قطب جنوب در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو به آن وارد می‌شوند.



شکل ۲۸-۵ - میدان مغناطیسی حاصل در یک حلقه

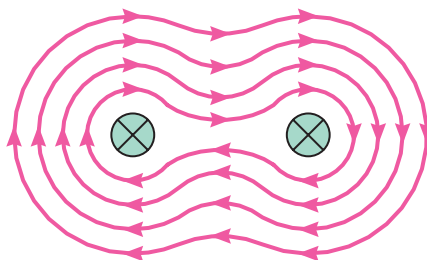
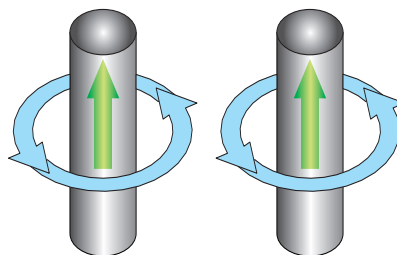
چگالی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه بیش‌تر است. هم‌چنین هر قدر شدت جریان عبوری بیش‌تر باشد، تراکم خطوط نیرو قوی‌تر خواهد بود.

اثر الکترومغناطیسی در یک بوبین: اگر سیمی در یک جهت به صورت حلقوی پیچیده شود، یک بوبین تشکیل می‌دهد. اگر از این بوبین جریانی عبور کند، میدان‌های مغناطیسی حلقه‌ها به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. هر چه تعداد حلقه‌ها بیش‌تر باشد و حلقه‌ها به صورت فشرده کنار هم پیچیده شوند، میدان‌های مغناطیسی بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و در نتیجه، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر خواهد بود.



شکل ۲۵-۵ - نیروی دافعه بین دو سیم جریان‌دار غیر هم‌جهت

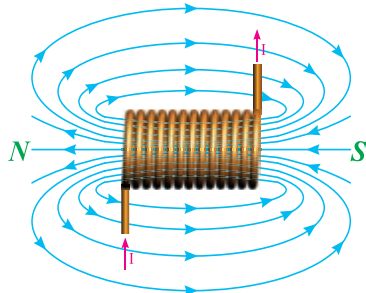
هنگامی که دو سیم را که جریان‌های هم‌جهت دارند به یک‌دیگر نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها به هم ملحق می‌شوند. در نتیجه، سیم‌ها به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری تولید می‌کنند.



شکل ۲۶-۵ - نیروی جاذبه بین دو سیم جریان‌دار هم‌جهت

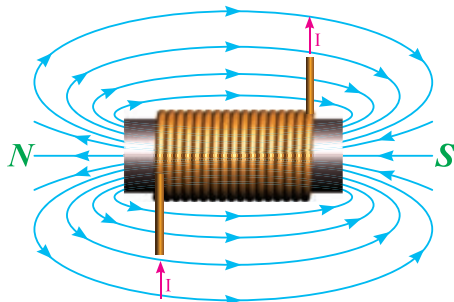
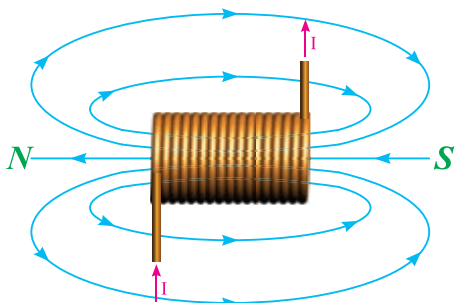
چنان‌چه سه یا چهار سیم را طوری کنار هم قرار دهیم که جهت جریان در همه‌ی آن‌ها یکسان باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر خواهد شد.

پیچیده شده باشند، میدان‌های بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند که این عمل باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی می‌شود. به عبارت دیگر، چگالی میدان مغناطیسی با طول بوبین ( $L$ ) نسبت عکس دارد.



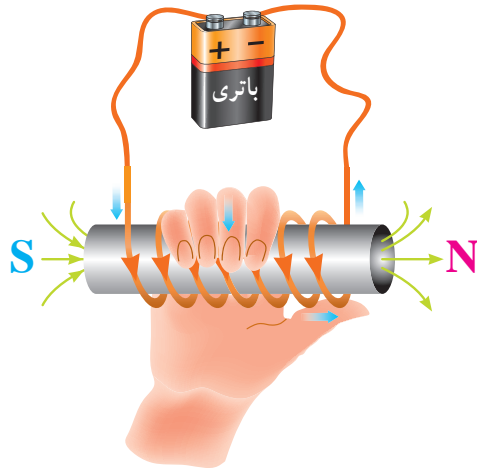
شکل ۳۱-۵ اثر فشردگی سیم‌ها بر چگالی میدان

۴- چنان‌چه هسته‌ی آهنی را در داخل بوبین قرار دهیم، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. آهن نرم جسم مغناطیسی است که رلوکتانس کمی دارد و باعث می‌شود که خطوط نیرو بیش‌تر در مقایسه با هوا در آن متمرکز شود. هر چه خطوط نیرو در هسته بیش‌تر متمرکز شوند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است.



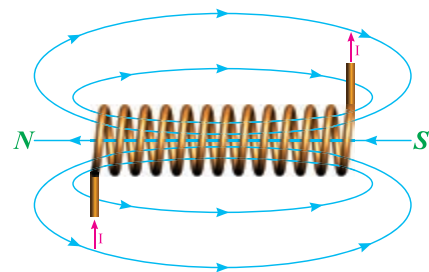
شکل ۳۲-۵ اثر هسته‌ی آهنی بر چگالی میدان

برای تعیین قطب‌های یک بوبین از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۲۹-۵ چنان‌چه انگشت‌هایتان را در جهت جریان و حلقه‌های بوبین به دور بوبین حلقه کنید انگشت شست در جهت قطب N قرار می‌گیرد.



شکل ۲۹-۵ تعیین دو قطب یک بوبین با قانون دست راست

چگالی خطوط نیرو در مرکز بوبین به عوامل زیر بستگی دارد:  
 ۱- هر چه تعداد حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی حلقه‌ها با هم جمع می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری خواهیم داشت. بنابراین، تراکم خطوط نیرو با تعداد حلقه‌های بوبین ( $N$ ) نسبت مستقیم دارد.



شکل ۳۰-۵ اثر تعداد حلقه‌ها بر چگالی میدان

۲- هر چه شدت جریان عبوری از بوبین نیز بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود؛ بنابراین، چگالی میدان مغناطیسی (تراکم خطوط نیرو) با شدت جریان ( $I$ ) نسبت مستقیم دارد.  
 ۳- اگر حلقه‌های بوبین به صورت خیلی فشرده کنار هم

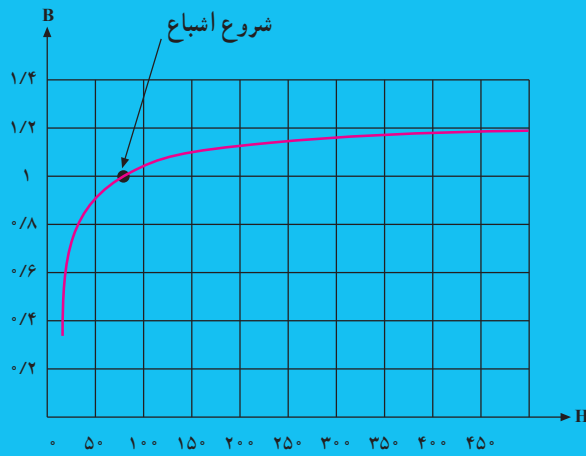
## برای هنرجویان علاقه‌مند

منحنی مشخصه‌ی مواد فرومغناطیسی: در یک بوبین

با هسته‌ی آهنی که طول بوبین ثابت است، افزایش تعداد حلقه‌ها یا شدت جریان (یا هر دو) باعث افزایش نیروی محرکه‌ی مغناطیسی و نهایتاً افزایش تراکم خطوط نیرو خواهد شد. این امر تا جایی ادامه خواهد یافت که همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی هسته منظم شوند و پس از آن، هر چه شدت جریان زیاد شود، تراکم خطوط نیرو ثابت خواهد ماند. نقطه‌ی آغاز این حالت را **نقطه‌ی اشباع مغناطیسی** می‌نامند؛ زیرا مولکول مغناطیسی دیگری باقی نمانده است که منظم شود. تغییرات تراکم خطوط نیرو برحسب شدت میدان مغناطیسی، منحنی مشخصه‌ی هسته‌ی بوبین نامیده می‌شود. در شکل ۳۳-۵ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی را مشاهده می‌کنید.

## چگالی میدان مغناطیسی

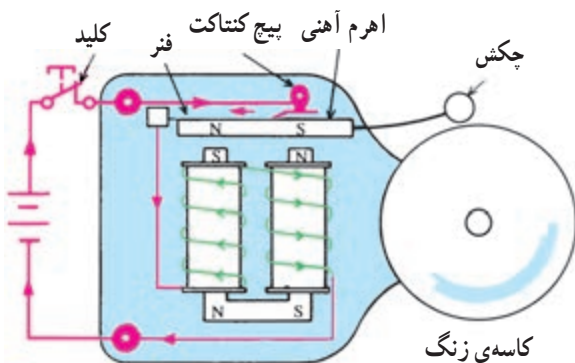
برحسب وبر بر مترمربع



شکل ۳۳-۵ - منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی

می‌شوند.

هنگامی که اهرم به طرف پایین نوسان می‌کند، فنر از اتصال پیچی جدا می‌شود. این عمل مدار را باز می‌کند. در نتیجه، جریان از حرکت باز می‌ایستد، الکترومغناطیس‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند و دیگر اهرم را جذب نمی‌کنند. فنر اهرم را دوباره به محل قبلی‌اش برمی‌گرداند و به همین دلیل، اتصال فتری و پیچ دوباره باعث بسته شدن مدار می‌شوند. در نتیجه، این عمل تکرار می‌گردد.



شکل ۳۴-۵ - زنگ الکترومغناطیسی DC

## ۱۳-۵ کاربرد مغناطیس

مصرف‌کننده‌های الکتریکی از قبیل لامپ روشنایی و بخاری برقی توسط عبور جریان الکتریکی فعال می‌شوند و کار مفید انجام می‌دهند اما مصرف‌کننده‌های دیگری وجود دارند که عبور جریان از آن‌ها باعث خاصیت مغناطیسی می‌شود و نیروی حاصل از مغناطیس تولید کار می‌کند. در این جا به شرح چند وسیله‌ی الکتریکی که با خاصیت مغناطیسی کار می‌کنند، می‌پردازیم.

### ۱- زنگ الکترومغناطیسی DC: در زنگ

الکترومغناطیسی از عمل میدان مغناطیسی برای به نوسان درآوردن یک اهرم استفاده می‌کنند. این اهرم به چکشی متصل است که بی‌دربی به کاسه‌ی زنگ می‌خورد. هنگامی که شستی بسته می‌شود، باتری جریان الکتریکی را از طریق اتصال پیچی به یک فنر می‌فرستد ولی قبل از این که جریان به قطب منفی باتری باز گردد، توسط یک تکه سیم از بوبین‌های الکترومغناطیسی می‌گذرد. الکترومغناطیس‌ها پس از دریافت انرژی اهرم را به پایین جذب می‌کنند و باعث برخورد چکش با کاسه‌ی زنگ

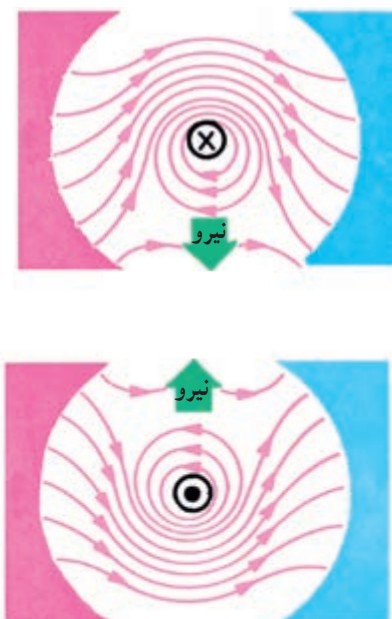
به الکترومغناطیسی که اهرم را به کار می‌اندازد تا کنتاکت‌ها را قطع و وصل کند، رله می‌گویند.

### تحقیق کنید

در مورد رله‌های به کار رفته در صنعت برق تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

### ۳- موتور الکتریکی ساده: اگر یک سیم حامل جریان

را در داخل یک میدان مغناطیسی قرار دهیم، میدان مغناطیسی اثری مخالف بر سیم حامل جریان وارد می‌کند. سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این میدان شکل خطوط نیرویی را که بین دو قطب مغناطیسی وجود دارد، تغییر می‌دهد. خطوط نیروی تغییر شکل داده سعی دارند خود را به وضعیت قبل از ورود سیم حامل جریان درآورند. در نتیجه، نیروی دافعه‌ای بر سیم وارد می‌کنند. بدین ترتیب، سیم به محلی رانده می‌شود که خطوط نیروی از بقیه‌ی جاها ضعیف‌ترند. جهت نیروی دافعه به جهت جریان و جهت خطوط نیرو بستگی دارد. در صورتی که هر کدام از کمیت‌ها تغییر جهت پیدا کنند، جهت نیروی دافعه نیز تغییر خواهد کرد اما اگر جهت هر دو کمیت با هم عوض شود، جهت نیرو تغییر نخواهد کرد.

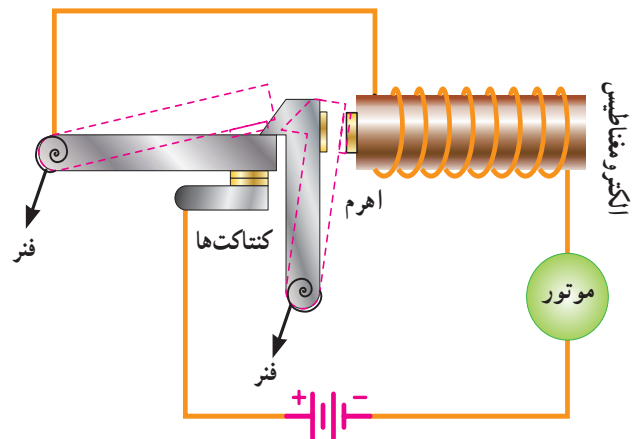


شکل ۳۶-۵ اثر میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان

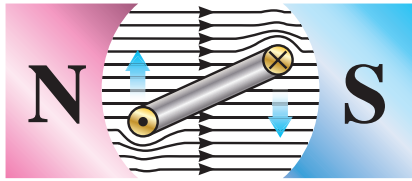
الکترومغناطیسی‌ها انرژی دریافت می‌کنند و آن را به سرعت از دست می‌دهند و باعث نوسان اهرم به بالا و پایین می‌شوند. چکش نیز نوسان می‌کند و به‌طور مداوم به کاسه‌ی زنگ می‌خورد.

### ۲- کلید مغناطیسی قطع مدار: کلید قطع مدار برای

این منظور در مدارها به کار می‌رود تا مانند فیوز از مدار در مقابل اتصال کوتاه یا اضافه بار محافظت کند. با این تفاوت که فیوز می‌سوزد اما کلید قطع مدار جریان را قطع می‌کند که البته می‌توان آن را دوباره وصل کرد. طبق شکل ۳۵-۵ مسیر جریان از باتری شروع می‌شود و از کنتاکت‌هایی که توسط یک اهرم بسته شده‌اند می‌گذرد. پس از آن، جریان از طریق یک الکترومغناطیسی به موتور می‌رود و دوباره به باتری باز می‌گردد. تا هنگامی که جریان خیلی زیادی عبور نکند، میدان ایجاد شده توسط الکترومغناطیسی آن قدر قوی نیست که بتواند اهرم را جذب کند ولی اگر جریان خیلی زیادی عبور کند - مثلاً هنگامی که موتور ترمز می‌کند یا اتصال کوتاه می‌شود - میدان الکترومغناطیسی خیلی قوی می‌شود و اهرم را به طرف خود می‌کشد. این عمل به فتر امکان می‌دهد که بازوی اتصال را قطع و کنتاکت‌ها را باز کند. در نتیجه، مدار قطع می‌شود، الکترومغناطیسی انرژی‌اش را از دست می‌دهد و اهرم به حالت اول برمی‌گردد. در این حالت، بازوی اتصال توسط فنر خارج نگاه‌داشته شده است. هنگامی که مشکل برطرف شود، بازوی اتصال مدار را می‌توان به حالت اول درآورد و از آن مجدداً استفاده کرد.



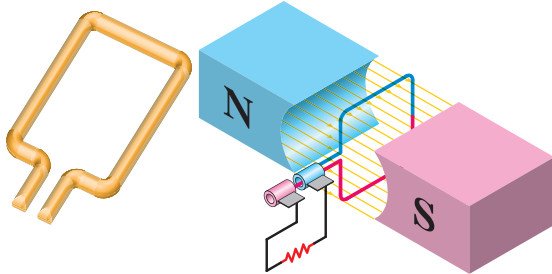
شکل ۳۵-۵ کلید مغناطیسی قطع مدار



جهت نیروی دافعه را به سهولت می توان از قانون دست چپ پیدا کرد.

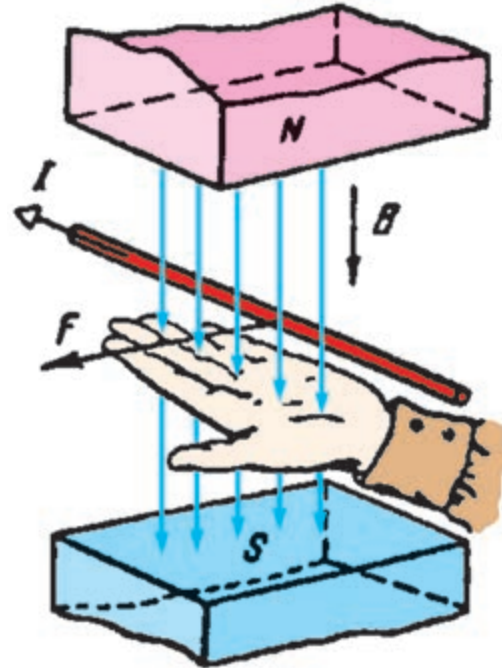
### قانون دست چپ

اگر دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند (B) و جهت جریان در سیم حامل جریان (I) در جهت سایر انگشتان باشد، جهت نیروی وارد شده (F) در جهت انگشت شست خواهد بود.



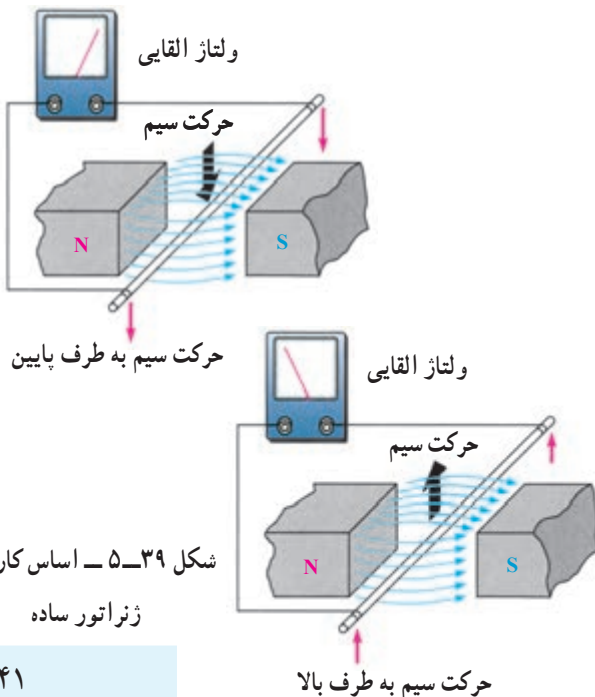
شکل ۳۸-۵ - تولید گشتاور در موتور الکتریکی

۴- ژنراتور ساده: طبق شکل ۳۹-۵ اگر یک هادی را در داخل میدان مغناطیسی آهن را حرکت دهیم، انرژی مغناطیسی آهن را باعث حرکت الکترون ها در یک جهت و تجمع آنها در یک طرف هادی می شود. این روند را **تولید نیروی محرکه ی القایی** می گویند. حال اگر به دو سر سیم میلی ولت متری را وصل کنیم، مشاهده می شود که با حرکت سیم به طرف پایین، عقربه ی میلی ولت متر در یک جهت و با حرکت سیم به طرف بالا عقربه در جهت مخالف حرکت می کند. نتیجه می گیریم که با تغییر جهت حرکت سیم، جهت نیروی محرکه ی القایی تغییر می کند. این مطلب در مورد تغییر جهت خطوط نیرو نیز صادق است.



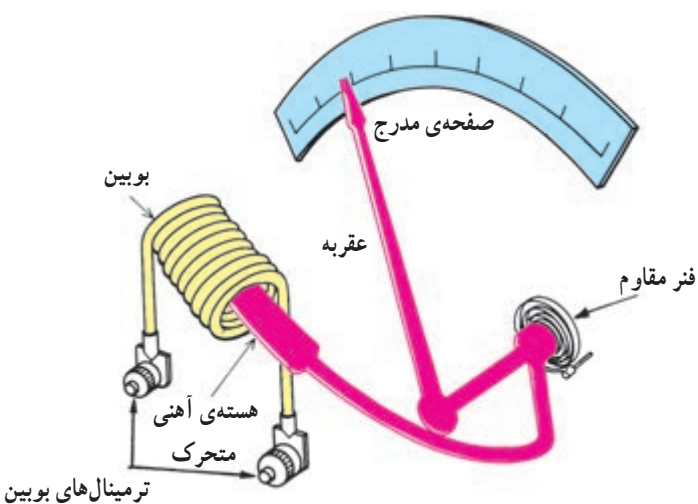
شکل ۳۷-۵ - قانون دست چپ

اگر طبق شکل ۳۸-۵ سیم را به صورت کلاف درآوریم و آن را درون میدان مغناطیسی قرار دهیم، وقتی از کلاف جریان عبور کند اثر متقابل میدان های مغناطیسی باعث می شود که یک سمت آن به طرف بالا و سمت دیگر به طرف پایین حرکت کند؛ به عبارت دیگر، به کلاف جفت نیرو وارد می شود و تولید گشتاور می کند. این فرآیند، اساس کار موتورهای الکتریکی است که در درس ماشین های الکتریکی به طور مفصل درباره ی آن توضیح خواهیم داد.



شکل ۳۹-۵ - اساس کار یک ژنراتور ساده

برای به دست آوردن جهت نیروی محرکه‌ی القایی از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۵-۴۰ اگر کف دست راست را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند، در صورتی که جهت حرکت سیم در جهت انگشت شست باشد، جهت نیروی محرکه‌ی القایی در جهت سایر انگشتان خواهد بود.



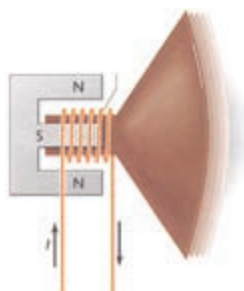
شکل ۵-۴۱ - دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی

۶- آهن‌ربای صنعتی: از کاربردهای دیگر مغناطیس می‌توان آهن‌ربای صنعتی را نام برد. شکل ۵-۴۲ یک نمونه آهن‌ربای صنعتی را نشان می‌دهد.

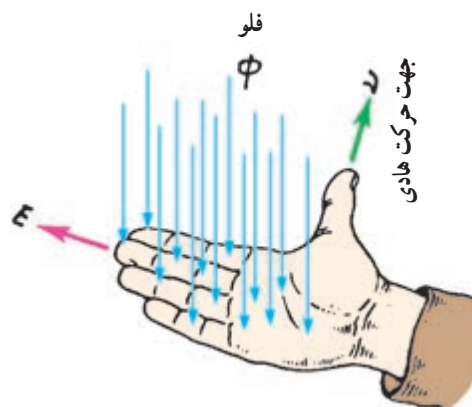


شکل ۵-۴۲

**تحقیق کنید**  
در مورد ساختمان بلندگو و طرز کار آن تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهید.



شکل ۵-۴۳



شکل ۵-۴۰ - قانون دست راست

۵- دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی: در دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار ساده برای اندازه‌گیری جریان عبوری از یک سیم پیچ (بوئین) و یک هسته‌ی متحرک استفاده می‌کنند. هرگاه جریانی از بوئین بگذرد، میدان مغناطیسی‌ای ایجاد می‌کند که هسته را به طرف خود جذب می‌کند. انتهای دیگر هسته به فتری متصل است که سعی دارد آن را به عقب بکشد. مسافتی را که هسته طی می‌کند، به شدت میدان مغناطیسی بستگی دارد. شدت میدان مغناطیسی به وسیله‌ی مقدار جریانی که از بوئین می‌گذرد تعیین می‌شود. در نتیجه، هر چه جریان بیشتر باشد، هسته بیشتر به داخل بوئین کشیده می‌شود. در روی محور گردنده یک عقریه سوار شده است که در طول یک صفحه‌ی مدرج برای نشان دادن مقدار جریان اندازه‌گیری شده منحرف می‌شود.



- ۱- ذرات یا مولکول‌های مغناطیسی را تعریف کنید.
- ۲- میدان الکترومغناطیسی چیست؟
- ۳- خطوط فلو را تعریف کنید.
- ۴- تفاوت بین مغناطیس‌های دائمی و موقتی چیست؟
- ۵- جهت میدان مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان را کدام قانون تعیین می‌کند؟
- ۶- بوبین یا سلونوئید چیست؟ در مورد میدان مغناطیسی چه عملی را انجام می‌دهد؟
- ۷- قانون دست راست را برای سلونوئید بیان کنید.
- ۸- چرا در الکترومغناطیس‌ها هسته به کار می‌برند؟ آیا هرگز از هسته‌های فولادی استفاده می‌کنند؟
- ۹- عوامل مؤثر در مقدار نیروی محرکه‌ی مغناطیسی چیست؟
- ۱۰- منظور از نقطه‌ی اشباع چیست؟
- ۱۱- قانون دست چپ در موتور را شرح دهید.
- ۱۲- تفاوت کلید قطع‌کننده‌ی مغناطیسی و فیوز چیست؟
- ۱۳- چگونه دستگاه اندازه‌گیری شدت جریان را اندازه می‌گیرد؟
- ۱۴- قانون دست راست در ژنراتور را شرح دهید.
- ۱۵- ساختمان زنگ اخبار الکترومغناطیسی DC را شرح دهید.