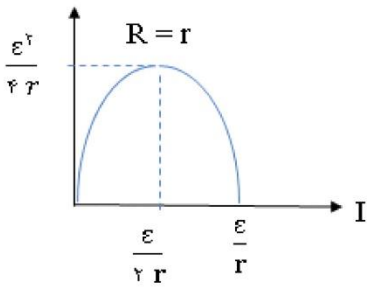
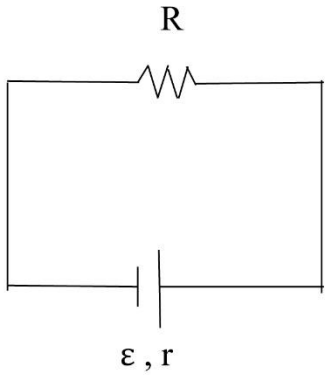
**نکته: نمودار تغییرات توان مفید مولد بر حسب جریان:**




**نکته: اگر در مدار زیر، به ازای دو مقدار متفاوت $R_1$ و $R_2$ برای R، توان خروجی مولد یکسان باشد، مقاومت درونی مولد از رابطه‌ی زیر محاسبه میشود:**



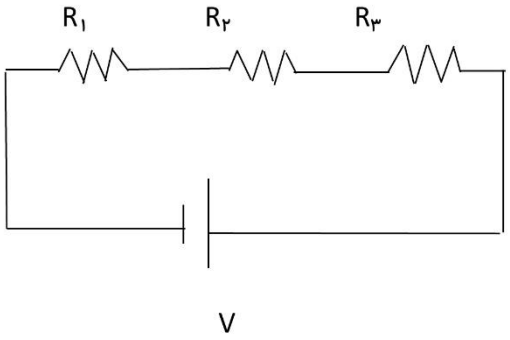

$$r = \sqrt{R_1 R_2}$$

## اتصال مقاومت‌ها:

### ۱- سری یا متوالی:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

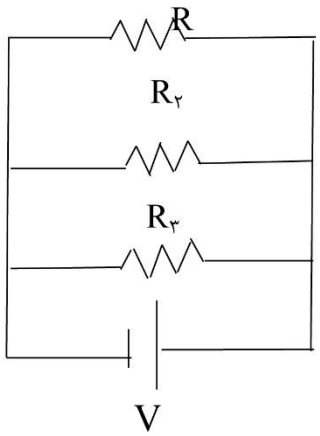
$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \Rightarrow R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$




### ۲- موازی:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots \Rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$



**حالات خاص:**

**۱) دو مقاومت موازی**

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

**۲) n مقاومت مشابه موازی**

$$R_T = \frac{R}{n}$$

**۳) n مقاومت مشابه سری**

$$R_T = nR$$

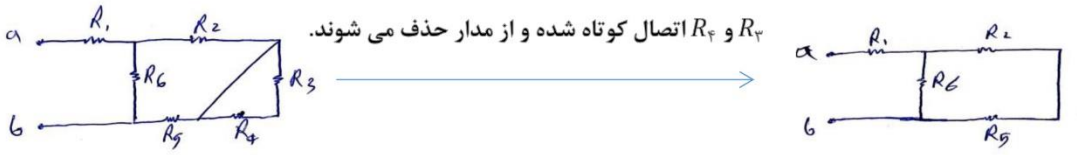
**نکته: طبق رابطه زیر در حالت سری، چون جریان عبوری از مقاومت ها یکسان است، مقاومتی دارای توان مصرفی بیشتری است که اندازه بیشتری داشته باشد.**

$$P = I^2 R$$

**و طبق رابطه زیر در حالت موازی چون اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ها یکسان است، مقاومتی دارای توان مصرفی بیشتری است که اندازه کمتری داشته باشد.**

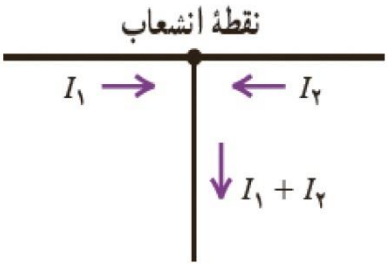
$$P = \frac{V^2}{R}$$

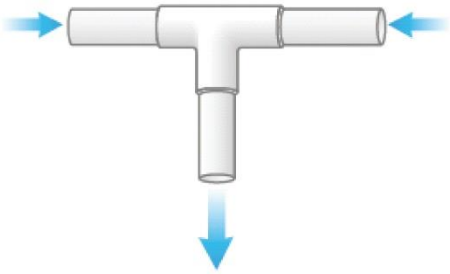
**نکته: اگر در مداری، دو سر یک یا چند مقاومت به وسیله سیم بدون مقاومتی به هم متصل شده باشند، اصطلاحا می گوییم مقاومت ها اتصال کوتاه شده و از مدار حذف می شوند.**




**نکته بسیار مهم: هرگاه در یک مجموعه‌ای از مقاومت‌ها (سری یا موازی یا مختلط) یکی از آن‌ها را کاهش دهیم مقاومت معادل مجموعه کاهش می‌یابد.**

**قاعده انشعاب: مجموع جریان‌هایی که به هر نقطه انشعاب (گره) مدار وارد می‌شود برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه انشعاب (گره) خارج می‌شود.**



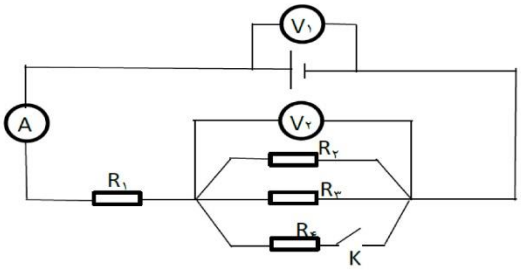
**نکته مهم: اگر در شاخه‌ای از مدار چند حلقه‌ای، ولت‌سنج یا خازن به صورت سری بسته شده باشد، جریان در این شاخه برابر صفر می‌باشد.**

**مدارهای چند حلقه‌ای:**

**برای حل مدارهای چند حلقه‌ای، ابتدا برای هر شاخه، جریانی را در نظر می‌گیریم. سپس در هر حلقه جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها را نوشته و برابر صفر قرار می‌دهیم (قاعده حلقه).**

**برای پیدا کردن جریان هر شاخه، نیاز به معادله‌ی دیگری داریم که از طریق قاعده انشعاب به دست می‌آوریم.**

**مثال ۱) در شکل مقابل اگر کلید $k$ بسته شود، مقادیری که ولت‌سنج‌های $V_1$ و $V_2$ و آمپرسنج می‌دهد چگونه تغییر می‌کنند؟**




۱) $V_1$ کم و $V_2$ زیاد و $A$ کم می‌شود

۲) $V_1$ زیاد و $V_2$ کم و $A$ کم می‌شود

۳) هر سه کم می‌شوند

۴) $V_1$ کم و $V_2$ کم و $A$ زیاد می‌شود

**پاسخ)**

گزینه ۴

**در شکل بالا اگر کلید $k$ بسته شود، چون یک مقاومت به صورت موازی به قسمت $Bc$ اضافه می‌شود، مقاومت معادل بین این دو نقطه کاهش می‌یابد و در نتیجه مقاومت معادل مدار کاهش می‌یابد.**

$$R_{ec} \downarrow \longrightarrow R_T = \downarrow R_{ec} + R_1 \longrightarrow_{R_T \downarrow}$$

$I_{\text{مدار}} = \frac{\varepsilon}{R_T + r}$ $(R_T \downarrow) \Rightarrow I_{\text{مدار}} \uparrow \Rightarrow A \uparrow$ A افزایش می‌یابد

$V_1 = \varepsilon - Ir$ $(I \uparrow) \Rightarrow V_1 \downarrow$ $V_1$ کاهش می‌یابد

$V_{AB} = IR_1$ $(I \uparrow) \Rightarrow V_{AB} \uparrow$

$V_1 = V_{AB} + V_2$ $(V_{AB} \uparrow , V_1 \downarrow) \Rightarrow V_2 \downarrow$ $V_2$ کاهش می‌یابد

**مثال۲) بار الکتریکی ذخیره شده در باطری یک اتومبیل برابر ۶۰ آمپرساعت می‌باشد، دو سر این باطری را به یک مقاومت ۲/۴ اهمی متصل کرده‌ایم، اگر انرژی الکتریکی مصرف شد در هر دقیقه توسط این مقاومت برابر با ۱۴۴۰۰ ژول باشد، با فرض ثابت بودن جریان، مدت زمانی که از باطری جریان گرفته می‌شود، چند دقیقه است؟**

**۱) ۸۴۰ ۲) ۱۲ ۳) ۷۲۰ ۴) ۳۶**

**پاسخ)**

گزینه ۳

انرژی الکتریکی مصرفی توسط مقاومت $: U = RI^2 t \xrightarrow[R=2/4\ \Omega\ ,U=14400\ j]{t=1\ min=60\ s}$

$14400 = 2/4 \times I^2 \times 60 \rightarrow I^2 = 100 \rightarrow I = 10A$

**با توجه به رابطه جریان الکتریکی ، مدت زمانی که باطری جریان الکتریکی تولید می‌کند را به دست می‌آوریم:**

$$I = \frac{q}{t} \xrightarrow[I = 10A]{q=120A.h=120\times3600C} 10 = \frac{120 \times 3600}{t} \rightarrow$$

$$t = 120 \times 360s = 720min$$

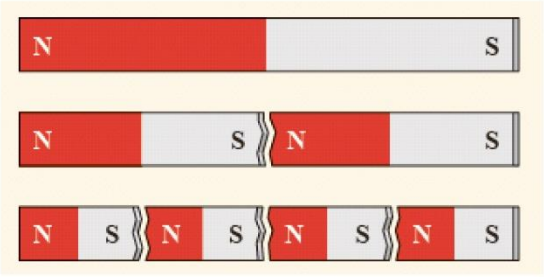
# مغناطیس و القای الکترومغناطیس

## مغناطیس و قطب های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست کم ۲۵۰۰ سال پیش در تکه هایی از سنگ آهن مغناطیسی شده در نزدیکی شهر باستانی مگنسیا (که نام امروزی آن مانیسا و در غرب ترکیه واقع است ) مشاهده شد.

در آهنربا دو ناحیه وجود دارد که خاصیت مغناطیسی در آنجا بسیار بیشتر از قسمت های دیگر است. به این نواحی، قطب های مغناطیسی می گویند.

نکته: ممکن است مفهوم قطب های مغناطیسی به نظر، مشابه مفهوم بارهای الکتریکی باشد و قطب های شمال و جنوب، مشابه بارهای مثبت و منفی به نظر بیاید؛ ولی این مشابهت می تواند گمراه کننده باشد زیرا بارهای مثبت و منفی مجزا وجود دارند، در حالی که تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد یعنی قطب های مغناطیسی همواره به صورت زوج ظاهر می شوند.



## میدان مغناطیسی

به خاصیتی که در اطراف هر آهنربا وجود دارد و به علت آن بر **مواد مغناطیسی** دیگر نیرو وارد می‌شود، **میدان مغناطیسی** می‌گویند که کمیتی **برداری** است و با $\vec{B}$ نشان داده می‌شود و یکای آن در SI **تسلا** است.

$$۱\ T = ۱\ \frac{N}{c.m/s} = ۱\ \frac{N}{A.m}$$

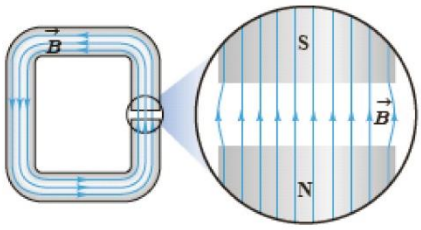
**نکته:** یکای دیگر میدان مغناطسی **گاوس** است هر گاوس معادل $۱۰^{-۴}$، تسلا است.

$$1T = 10^4 G \quad \text{یا} \quad 1G = 10^{-4} T$$

## میدان مغناطیسی یکنواخت

هرگاه در نقاط مختلف ناحیه ای از فضا **جهت و اندازه** میدان مغناطیسی یکسان باشد، در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه **یکنواخت** می گویند.

ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه بزرگی از فضا بسیار دشوار و **در عمل امکان نا پذیر است** .با این وجود، می توان در **ناحیه کوچکی از فضا**،مانند ناحیه بین قطب های یک آهنربای C شکل، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد.

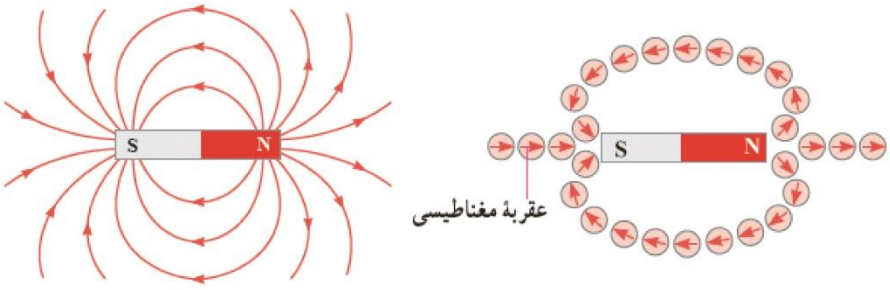


**القای مغناطیسی :**

هر گاه آهنربایی را به یک **میله آهنی(یا هر ماده مغناطیسی دیگر)** نزدیک کنیم، در آن‌ها خاصیت مغناطیسی **القا** می‌کند یعنی آن مواد را به آهنربا تبدیل می‌کند به گونه‌ای که قطب‌های غیر هم نام در مجاورت هم قرار می‌گیرند و سپس آن‌ها را **جذب** می‌کند.

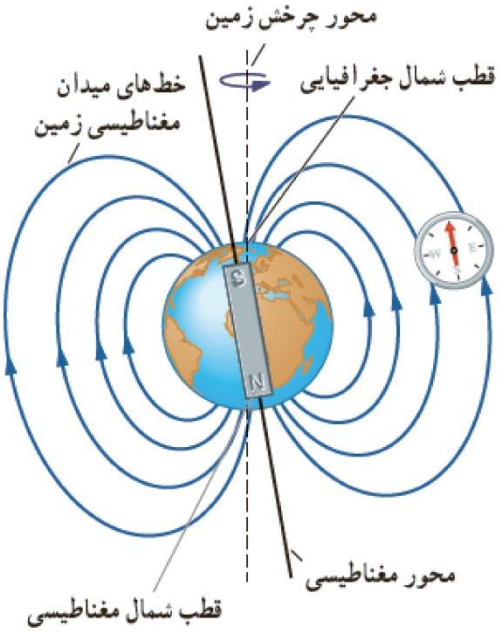
**خطوط میدان مغناطیسی:**

خطوط فرضی هستند که برای نشان دادن **میدان مغناطیسی** در اطراف هر ماده مغناطیسی رسم می شوند. این خطوط در خارج از آهنربا از **قطب N به سمت قطب S** و در داخل آهنربا از **قطب S به سمت قطب N** هستند. در هر نقطه‌ای که تراکم این خطوط بیشتر باشد، میدان مغناطیسی **قوی تر** است.



## میدان مغناطیسی زمین:

زمین مانند یک آهنربای عظیم است که قطب N (شمال) آن در جنوب جغرافیایی زمین و قطب S (جنوب) آن در شمال جغرافیایی زمین است. اما راستای شمال ـ جنوب جغرافیایی با راستای شمال ـ جنوب مغناطیسی زاویه ای می سازد یعنی قطب های مغناطیسی زمین بر قطب های جغرافیایی آن منطبق نیستن .در واقع، قطب های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصلهٔ نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصله ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد .این بدان معناست که عقربه مغناطیسی قطب نما درجهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.



## نیروی وارد بر ذره بار دار متحرک در میدان مغناطیسی

اگر بار الکتریکی q با سرعت v در میدان B حرکت کند، از طرف میدان مغناطیسی بر آن نیرویی وارد می شود که عمود بر راستای v و B بوده و جهت آن از **قانون دست راست** به شرح زیر به دست می آید:

اگر **چهار انگشت دست** راست خود را در جهت **سرعت بار** متحرک در نظر بگیرید به طوری که **کف دست** شما در جهت **میدان مغناطیسی** باشد، **انگشت شست** شما جهت **نیروی مغناطیسی** وارد بر ذره باردار را نشان می دهد.

**قانون دست راست**

چهار انگشت ⟵ V

کف دست ⟵ B

انگشت شصت ⟵ F

بزرگی نیروی وارد بر بار الکتریکی در **میدان مغناطیسی** از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$F = |q|VB\sin\theta$$

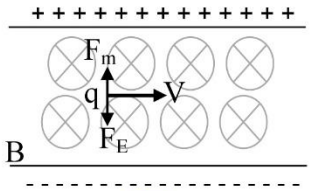
$\theta$: زاویه بین B,V

**نکته ۱:** هر گاه بار **هم راستا** با میدان حرکت کند نیرویی بر آن وارد می شود.

**نکته ۲:** هر گاه بار **عمود** بر میدان حرکت کند، نیرو وارد بر آن **بیشینه** است.

**نکته ۳:** نیروی وارد بر **بار منفی** در خلاف جهت نیروی وارد بر **بار مثبت** است یعنی برای بار منفی هم از همان قانون دست راست استفاده می کنیم ولی در آخر جهت نیروی به دست آمده را ، **عکس** کنید.

**نکته۴:** اگر بخواهیم بار الکتریکی ای به طور افقی وارد میدان مغناطیسی Bشود و **بدون انحراف** از این میدان عبور کند ، باید نیروی وارد بر بار وزن بار را خنثی کند و اگر جرم بار ناچیز باشد، یک **میدان الکتریکی** در داخل میدان مغناطیسی طوری باید ایجاد کنیم که **برآیند** نیروهای وارد بر بار از طرف این دو میدان برابر صفر شود.



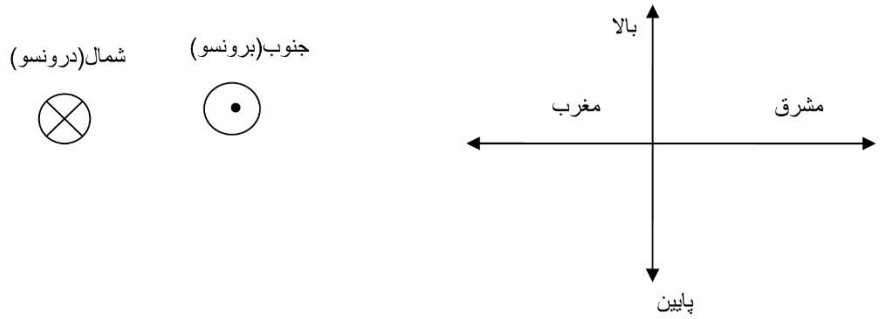

در شکل بالا q ذره بار داری با **جرم ناچیز و بار مثبت** می باشد.

$$\sum Fy = 0 \qquad F_M = F_E \qquad qvB = Eq \qquad E = vB$$

**یادآوری:** نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی از رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$ بدست می آید.این نیرو هم راستا با میدان الکتریکی است و اگر $q > 0$ باشد، E با F **هم جهت** است و اگر $q < 0$ باشد، E با F **خلاف جهت** است.

**نکته مهم:**دقت کنیم که چون نیروی مغناطیسی **بر مسیر حرکت بار عمود** است، **سرعتش** راتغییری نمی دهد بلکه فقط **جهت حرکت** آن را عوض می کند.

**نکته۶:** جهت های میدان مغناطیسی عبارت اند از:



## نیروی مغناطیسی وارد بر رسانای حامل جریان

موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند و اساس کار بسیاری از دستگا ه ها نظیر جاروی برقی، مته برقی، آسیاب برقی، ماشین لباسشویی، پنکه و...را تشکیل می دهند.

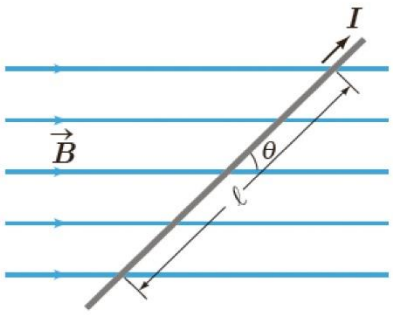
اورستد بیان کرد که نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می شود، بر راستای سیم و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است .جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می توان با استفاده از قاعده دست راست تعیین کرد.این قانون به صورت زیر تعریف می شود:

اگر چهار انگشت دست راست خود را درجهت جریان بگیرید به طوری که کف دست شما در جهت میدان‌مغناطیسی باشد، انگشت شصت شما جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.

قانون دست راست:

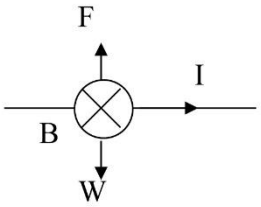
- چهار انگشت ⟵ I
- کف دست ⟵ B
- انگشت شست ⟵ F

و بزرگی این نیرو از رابطه ی رو به رو بهدست می آید: $F = ILBSin\theta$



در این رابطه I جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر، L طول بخشی از سیم بر حسب متر که در میدان مغناطیسی قرار دارد، B میدان مغناطسی بر حسب تسلا و θ زاویه بین امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می باشد.

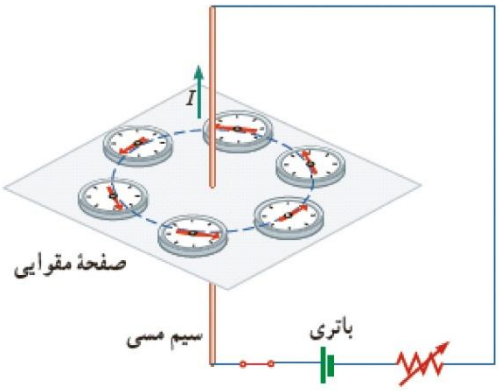
نکته: اگر بخواهیم سیم حامل جریان I درمیدان مغناطیسی B به طور افقی در حال تعادل قرار بگیرد ، باید نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم، وزن سیم را خنثی کند.




$$F = W \rightarrow ILB\sin\theta = mg$$

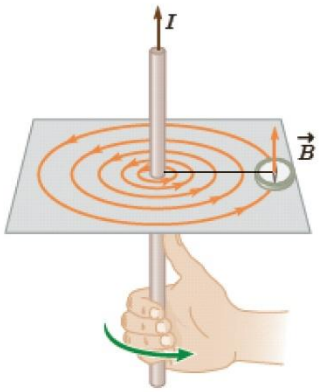
## میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

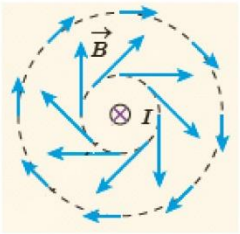
اورستد با انجام دادن آزمایش هایی کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به وجود می آورد. این کشف اورستد گام مهمی در راه درک رابطه بین الکتریسیته و مغناطیس بود که به گسترش مبحث الکترومغناطیس انجامید.



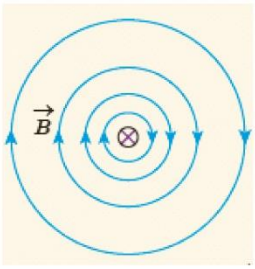
با توجه به جهت گیری عقربه های مغناطیسی مشاهده می کنیم که برای تعیین جهت میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامله جریان کافی است سیم را **در دست راست** خود بگیریم به طوری که انگشت شست ما در جهت جریان ($\vec{I}$) باشد، در این صورت **چهار انگشت خمیده** جهت میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) را نشان می دهد.**(قاعده دست راست)**

**نکته ۱:** خط های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل روبه رو به صورت **دایره های هم مرکز** در اطراف سیم حامل جریان هستند.



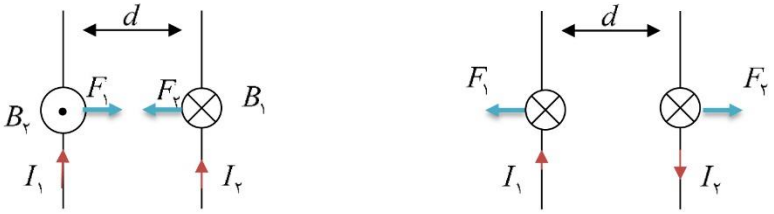

**نکته ۲:** با توجه به شکل روبه رو با دور شدن از سیم حامل جریان اندازه **بردارهای ناشی از میدان مغناطیسی** کوچک می شوند که نشان می دهد با دور شد از سیم، میدان مغناطیسی در حال کاهش است.




**نکته ۳:** از شکل صفحه ۹۶ کتاب درسی نتیجه می گیریم که با دور شدن از سیم حامل جریان **فاصله خطوط میدان مغناطیسی** بیشتر شده که نشان دهنده **کاهش** میدان مغناطیسی می باشد.

## نیروی بین سیم های موازی حامل جریان:

وقتی دو سیم حامل جریان در کنار یک دیگر قرار بگیرند، هر یک در محل دیگری میدان مغناطیسی به وجود می آورد در نتیجه بر آن نیرو وارد می‌کند که بنا به **قانون سوم نیوتون** این دو نیرو، همواره **هم اندازه** و در **خلاف جهت** یکدیگرند. چنانچه جریان ها در دو سیم **هم جهت** باشند، این دو نیرو به صورت **جاذبه** و اگر جریان ها در **خلاف جهت** باشند این دو نیرو به صورت **دافعه** می باشند.



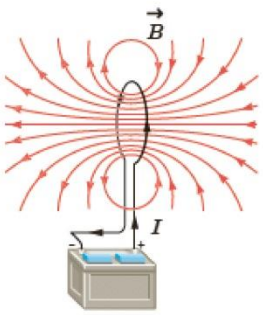

اندازه این نیرو از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_1 = B_2 I_1 L_1 \sin\theta \xrightarrow{\theta=90^\circ} F_1 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi d} I_1 L_1 \xrightarrow[\mu_o = 4\pi\times 10^{-7}]{L_o = L_2 = L}$$

$$F_1 = ۲\times ۱۰^{-۷} I_1 I_2 \frac{L}{d} \xrightarrow{\text{بنا به قانون سوم نیوتون}} F_1 = F_2 = F$$

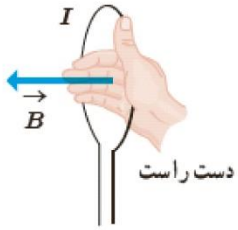
## میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقه دایره ای حامل جریان:

با توجه به شکل زیر که خط های میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقهٔ رسانای دایره ای نشان می دهد می توان به نکات زیر پی برد:

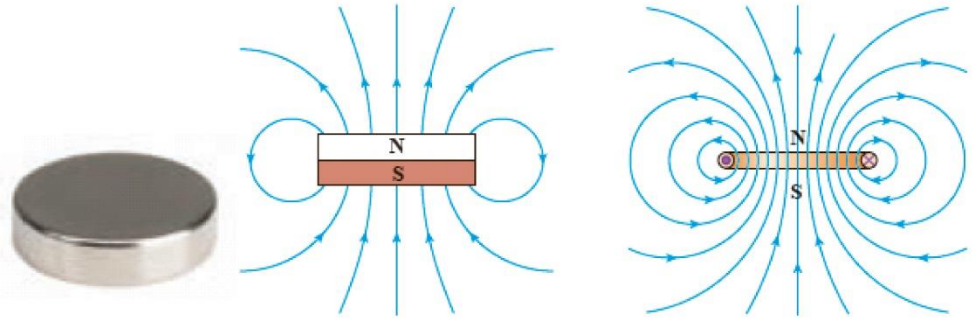


**نکته ۱:** خط های میدان مغناطیسی درون حلقه حامل جریان **تراکم بیشتری** نسبت به خارج آن دارند پس می توان نتیجه گرفت که **میدان مغناطیسی درون پیچه قوی تر از خارج از آن است.**

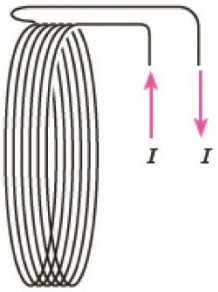
**نکته ۲:** همانند سیم حامل جریان برای تعیین جهت میدان مغناطیسی حاصل از حلقه حامل جریان اگر سیم را در دست راست خود بگیریم به طوری که انگشت شست ما در جهت جریان ($\vec{I}$)باشد، در این صورت چهار انگشت خمیده جهت میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) را نشان می دهد.




**نکته ۳:** بررسی و مقایسه میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان و یک آهنربای تخت دایره ای شکل، نشان می دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است. به همین دلیل، هر حلقه حامل جریان را به عنوان یک دو قطبی مغناطیسی در نظر می گیرند.



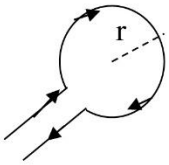

**نکته ۴:** استفاده از **یک تک حلقه** برای تولید میدانی با اندازه مطلوب ممکن است نیازمند آن چنان جریان بزرگی باشد که از بیشینه جریان مجاز سیمِ حلقه فراتر باشد .در چنین شرایطی به جای تک حلقه، از پیچه ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می شود.




پیچه ←

**بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز پیچه مسطح حامل جریان:**

**اگر به جای یک تک حلقه یک پیچه مسطح شامل N حلقه حامل جریان ($\vec{I}$) و به شعاع $(R)$داشته باشیم بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز پیچه از رابطه زیر به دست می آید.**




$$B = \frac{\mu . NI}{2R}$$

**در این رابطه R بر حسب متر، I بر حسب آمپر و $\mu.$ ثابت تراوایی مغناطیسی خلا می باشد که برابر $4\pi \times 10^{-7} T.m/A$ می باشد.**

**نکته: اگر سیم راستی به طول L را به صورت پیچه ای به شعاع r در آوریم ، تعداد حلقه های پیچه از رابطه زیر بدست می آید.**

$$N = \frac{L}{P} \rightarrow N = \frac{L}{2\pi r}$$

**$r$: شعاع پیچه**

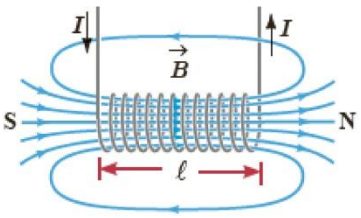
**L: طول سیم**

**سیملوله**

**سیملوله، سیم درازی است که به صورت مارپیچی بلند، پیچیده شده است .با عبور جریان الکتریکی از سیملوله، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می آید.**

**میدان مغناطیسی حاصل از سیملوله حامل جریان:**

**با توجه به شکل زیر که خط های میدان مغناطیسی را در اطراف یک سیملوله نشان می دهد می توان به نکات زیر پی برد:**



**نکته ۱:** خط های میدان **داخل سیملوله** بسیار متراکم تر از خط های میدان در خارج آن است و این نشانگر **بزرگ تر بودن میدان** در داخل سیملوله است.

**نکته ۲:** خط های میدان در داخل سیملوله، به ویژه در نقطه های نسبتاً دور از لبه های آن تقریباً **موازی و هم فاصله اند** و این، نشانگر **یکنواخت بودن میدان مغناطیسی** درون سیملوله است.

**نکته ۳:** همانند پیچه حامل جریان برای تعیین جهت میدان مغناطیسی حاصل از سیملوله حامل جریان اگر انگشت شست ما در جهت جریان باشد، در این صورت چهار انگشت خمیده جهت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

### سیملوله آرمانی

اگر **قطر حلقه های** سیملوله **در مقایسه با طول** آن، بسیار کوچک و حلقه های آن، خیلی به هم نزدیک باشند، به این سیملوله، **سیملوله آرمانی** گفته می شود.

### بزرگی میدان مغناطیسی داخل سیملوله آرمانی

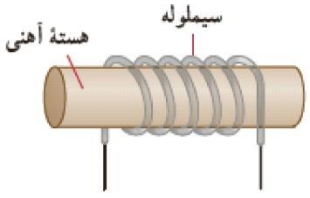
میدان مغناطیسی داخل یک **سیملوله آرمانی** در نقطه های دور از لبه ها یکنواخت است و اندازه آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$B = \frac{\mu_{\circ} NI}{l}$$

در این رابطه $I$جریان عبوری بر حسب آمپر، $l$ طول سیملوله بر حسب متر و $\mu_{\circ}$ **ثابت تراوایی مغناطیسی خلا** می باشد که برابر $۴\pi \times ۱۰^{-۷}\, T.m/A$ می باشد.

### آهنربای الکتریکی

اگر **یک هسته آهنی** را داخل سیملوله حامل جریان قرار دهیم، میدان مغناطیسی سیملوله در هسته آهنی خاصیت مغناطیسی **القا** می کند و **هسته آهنی آهنربا می شود**. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می نامند.



**نکته ۱: آهنربای الکتریکی صنعتی شامل پیچه ای حامل جریان است که تعداد دور سیم زیادی دارد و میدان مغناطیسی حاصل از آن قادر است مقدار زیادی میله های فولادی و دیگر قُراضه های آهن را بلند کند.**

**نکته ۲: هر چه تعداد دورهای سیملوله و جریانی که از آن می گذرد بیشتر باشد، آهنربای الکتریکی قوی تر خواهد بود. یعنی قدرت آهنربای الکتریکی به دو عامل وابسته است ۱_ تعداد دورهای سیملوله ۲_ جریان گذرنده از سیملوله**

**نکته ۳: وجود هسته آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می شود .میدان مغناطیسی سیملوله بدون هسته آهنی به قدری ضعیف است که در عمل کاربردهای کمی دارد.**

## مواد مغناطیسی

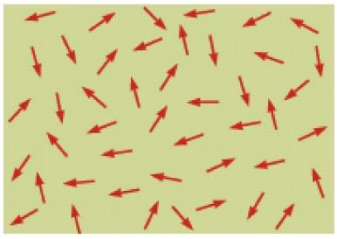
**موادی را که اتم ها یا مولکول های سازنده آنها خاصیت مغناطیسی داشته باشند، مواد مغناطیسی می نامند.یعنی می توان گفت کوچک ترین ذرّه های تشکیل دهنده این مواد( اتم ها یا مولکول ها)مانند دوقطبی مغناطیسی رفتار می کنند.**

**نکته: در کتاب درسی، دوقطبی های مغناطیسی را با یک پیکان کوچک نشان داده اند که می توانند جهت گیری های متفاوتی داشته باشند و هرکدام از آنها وابسته به یک اتم یا مولکول اند.**

**مواد مغناطیسی به سه دسته تقسیم بندی می شوند:**

- **مواد پارا مغناطیس**

اتم های مواد پارامغناطیسی، **خاصیت مغناطیسی دارند** اما دوقطبی های مغناطیسی وابستهٔ به آنها، به طور **کاتوره ای** سمت گیری کرده اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی کنند با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی( مثلا نزدیک یک آهنربای قوی)، **دو قطبی های مغناطیسی** آنها، مانند عقربهٔ قطب نما در نزدیکی آهنربا رفتار می کنند و به مقدار مختصری در راستای خط های میدان مغناطیسی منظم می شوند **و هر چه میدان مغناطیسی قوی تر باشد دو قطبی های بیشتری با میدان هم خط می شوند**. با دور کردن آهنربا از این مواد، دوقطبی های مغناطیسی آنها، دوباره به طور کاتوره ای سمت گیری می کنند. به این ترتیب، می توان گفت مواد پارامغناطیسی در حضور میدان های مغناطیسی قوی، خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت پیدا می کنند. .**اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن** از جمله مواد پارامغناطیسی اند.



سمت گیری کاتوره ای دوقطبی های مغناطیسی در یک مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

- **مواد دیا مغناطیس**

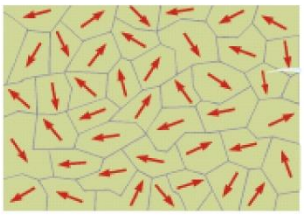
اتم های مواد دیامغناطیسی به طور ذاتی **فاقد خاصیت مغناطیسی اند** .به عبارت دیگر، هیچ یک از اتم های این مواد، دارای دوقطبی مغناطیسی خالصی نیستند .با وجود این، حضور میدان مغناطیسی خارجی، می تواند سبب القای دوقطبی های مغناطیسی در خلاف سوی میدان خارجی، در مواد دیامغناطیسی شود.**مس، نقره، سرب و بیسموت** از جمله مواد دیا مغناطیس هستند.

- **مواد فرومغناطیس**

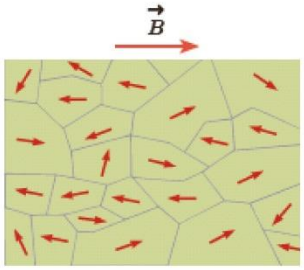
این نوع مواد از بخش های کوچکی به نام **حوزه مغناطیسی** تشکیل شده اند که در هر حوزه ، دو قطبی های مغناطیسی با هم ، **هم خط هستند** ولی سمت گیری دو قطبی های مغناطیسی هر حوزه با حوزه های مجاور آن تفاوت دارد. اگر این نوع مواد در میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، مرز حوزه ها جابه جا می شود، یعنی حوزه هایی که نسبت به میدان در وضع مناسبی قرار دارند( با میدان همسو هستند) رشد می کنند . یعنی حجمشان زیاد می شود و حوزه هایی که نسبت به میدان ، وضعیت مناسبی ندارند کوچک می شوند و جسم خاصیت مغناطیسی پیدا می کند.

**آهن و نیکل و کبالت و آلیاژهای این عناصر** از این نوع موادند.

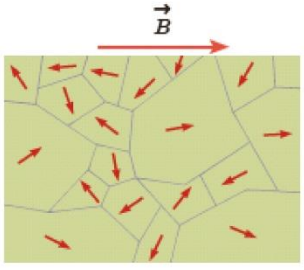
**نکته:** درون هر حوزه تقریباً از مرتبه $10^{19}$ اتم وجود دارد که دوقطبی های مغناطیسی وابسته به آنها هم جهت اند.



مادهٔ فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی




مادهٔ فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف




مادهٔ فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی

✓ مواد فرومغناطیس خود به دو دسته تقسیم می شوند:

۱_مواد فرو مغناطیس نرم : موادی هستند که به آسانی آهنربا شدن و به آسانی نیز این خاصیت را از دست می دهند. از این گونه مواد در هسته سیم لوله ها برای ساختن آهنربای الکتریکی غیر دائمی استفاده می کنند. آهن و نیکل و کبالت در صورتی که خالص باشند، از این نوع موادند.

۲_ مواد فرو مغناطیس سخت : موادی هستند که به سختی آهنربا شده و به سختی نیز این خاصیت را از دست می دهند. از این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی استفاده می کند.

فولاد (آهن به اضافه دو درصد کربن) ، آلیاژهای آهن ، کبالت و نیکل از این نوع موادند.

نکته : برای خاصیت آهنربایی هر مادهٔ فرومغناطیسی، مقدار اشباع یا بیشینه ای وجود دارد .این وضعیت هنگامی به وجود می آید که ماده فرومغناطیسی در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به طوری که درصد بالایی از دوقطبی های مغناطیسی حوزه ها به موازات یکدیگر هم خط شوند .به عبارت دیگر، حجم حوزه هایی که با میدان مغناطیسی خارجی همسو هستند، به بیشترین مقدار خود برسد.

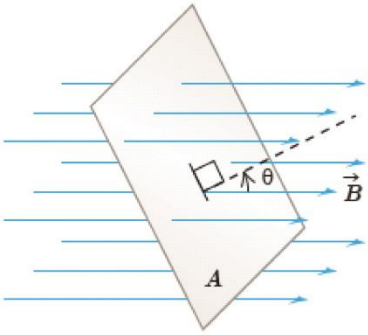
# القای الکترومغناطیسی

بعد از پدیده‌های **القای الکتریکی و مغناطیسی** که به ترتیب بار الکتریکی و خاصیت مغناطیسی به ماده‌ی دیگری القا می‌شد، به پدیده **القای الکترومغناطیسی** می‌رسیم که در آن جریان الکتریکی در یک رسانا القا می‌شود. به این جریان القاشده ، **جریان الکتریکی القایی** می‌گویند.

## شار مغناطیسی

هرگاه قابی به مساحت A در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی B قرار داشته باشد، شار مغناطیسی که از سطح آن می‌گذرد عبارت است از :

$$\varphi = BA\cos\theta$$




در رابطه بالا $B$ میدان مغناطیسی بر حسب **تسلا** ، $A$ مساحت قاب یا حلقه داخل میدان مغناطیسی بر حسب **مترمربع** و $\theta$ زاویهٔ بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر سطح حلقه می باشد.

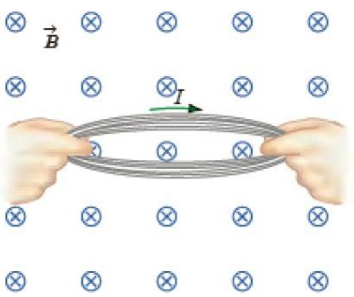
**نکته ۱:** شار مغناطیسی کمیت نرده ای است و یکای آن در SI وبر $(Wb)$ است که با توجه به رابطه بالا داریم:

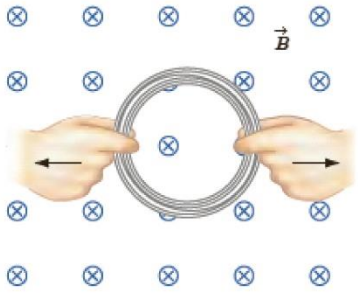
$$1Wb = 1T.m^2$$

**نکته۲: با توجه به رابطه شار مغناطیسی، که تغییر شار مغناطیسی عبوری از یک حلقه بسته به سه حالت ممکن است صورت گیرد:**

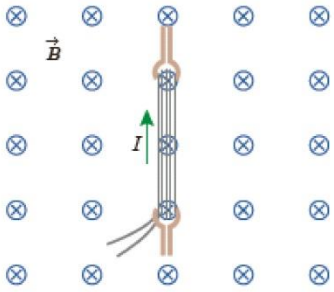
۱. **تغییر میدان مغناطیسی با زمان**

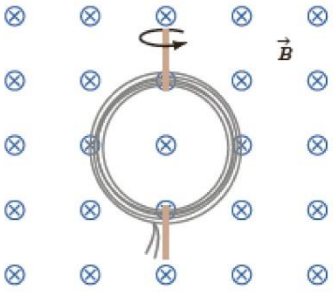
۲. **تغییر مساحت حلقه در میدان مغناطیسی**




۳. **چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی( تغییر زاویه خط عمود بر پیچه با میدان مغناطیسی)**




**نکته۳: اگر زاویه بین سطح و خطوط میدان داده شده باشد،باید متمم آن را حساب کنیم تا $\theta$ بدست آید.**

$$\theta = ۹۰ - \alpha$$

**نکته۴: اگر سطح هم راستا با میدان مغناطیسی باشد، شار عبوری از سطح صفر است و اگر سطح عمود بر خطوط میدان مغناطیسی باشد، شار عبوری از سطح بیشینه است.**

**نکته۵:** همواره **دو جهت** برای رسم نیم خط عمود بر یک سطح معین وجود دارد .علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد .برای مثال، در شکل بالا نیم خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده ایم که زاویهٔ بین آن و جهت میدان $\vec{B}$ **کمتر از ۹۰ درجه** است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می شود .اگر نیم خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت، زاویهٔ آن با جهت میدان $\vec{B}$ **بیشتر از ۹۰ درجه** خواهد شد و درنتیجه شار عبوری از سطح منفی می شود .هر دو انتخاب به یک اندازه مفیدند، **ولی در حلّ یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و تا پایان آن را تغییر ندهیم.**

## قانون القای الکترومغناطیسی فارادی

هر گاه شار مغناطیسی‌ای که از **مدار بسته‌ای** می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

نیروی محرکه القایی متوسط $\longrightarrow \overline{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$

**نکته ۱:** نیروی محرکه ای القا شده در حلقه یا قاب با **آهنگ تغییر شار مغناطیسی** $(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t})$ متناسب است؛ یعنی هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار **بیشتر** خواهد بود.

**نکته۲ :** اگر مقاومت پیچه برابر R باشد، جریان القاشده در آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\overline{\varepsilon}}{R} = \frac{-N}{R}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

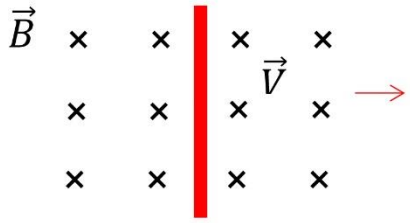
**نکته۳:** بر اساس رابطه $q = It$ ، مقدار بار الکتریکی القایی در حلقه یا پیچه را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$q = It \rightarrow \Delta q = I\Delta t \rightarrow \Delta q = \frac{-N}{R}\Delta\varphi$$

**همان‌طور که مشاهده می‌شود بار الکتریکی القایی به زمان تغییر شار بستگی ندارد.**

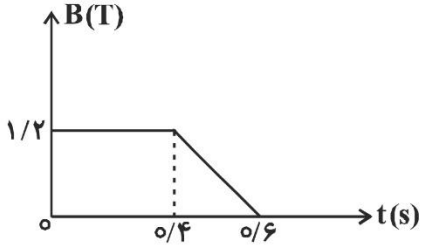
**نکته مهم :** اگر میله رسانایی به طول $L$ عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی $B$ با سرعت $V$ حرکت کند، در دو سر میله **نیروی محرکه‌ای** (اختلاف پتانسیلی) به وجود می‌آید که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = -BLV \rightarrow |\varepsilon| = BLV$$




**نکته۵ :** منفی شیب نمودار $\varphi - t$ برابر $\varepsilon$ و سطح زیر نمودار $\varepsilon - t$ برابر $-N\Delta\emptyset$ می‌باشد.

**مثال:** نمودار شکل زیر، اندازه‌ی یک میدان مغناطیسی یکنواخت را که بر سطح پیچه‌ای به مساحت $40\text{cm}^2$ عمود است، برحسب زمان نشان می‌دهد. اگر بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط در پیچه از لحظه‌ی $t_1 = 4\ \text{s}$ تا لحظه‌ی $t_2 = 6\ \text{s}$ برابر با ۳ ولت باشد، این پیچه شامل چند دور حلقه است؟




۱) ۲۵ ۲) ۵۰

۳) ۱۲۵ ۴) ۲۵۰

**پاسخ)**

تعداد دور حلقه‌ها به کمک رابطه‌ی فارادی به‌دست می‌آید:

$$\bar{\varepsilon} = \left| -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| \Rightarrow \bar{\varepsilon} = \left| -N\frac{A\Delta B}{\Delta t} \right| \xrightarrow[\Delta B = 0-1/2\,T,\ \Delta t = 0/6-0/4 = 0/2\,s]{|\bar{\varepsilon}| = 3V,\ A = 40\times10^{-4}\ m^2}$$

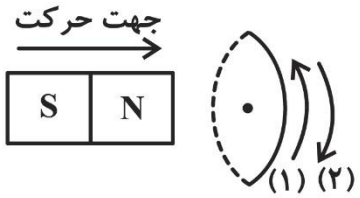
$$3 = \left| -N\times\frac{40\times10^{-4}\times(-1/2)}{0/2} \right| \Rightarrow N = 125 \text{ دور}$$

## قانون لنز

مدت کوتاهی پس از آنکه فاراده قانون القای الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لنز، دانشمندروس تبار، در سال ۱۸۳۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پیچه یا در هرمدار بسته دیگری پیشنهاد کرد .این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، حاکی از آن است که:

جریان حاصل از **نیروی محرکه القایی** در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل به وجود آورنده جریان القایی، یعنی **تغییر شار** مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

**مثال:** مطابق شکل زیر، یک آهنربا وارد یک حلقه‌ی رسانا شده و از آن خارج می‌شود. کدام گزینه جهت جریان القایی در حلقه را به‌ترتیب از راست به چپ در هنگام ورود و خروج آهنربابه‌درستی نشان می‌دهد؟




۱) (۱) و (۲)

۲) (۲) و (۱)

۳) (۱) و (۱)

۴) (۲) و (۲)

**پاسخ)**

در هنگام ورود آهنربا به حلقه، شار مغناطیسی عبوری از حلقه در حال افزایش است. در نتیجه، طبق قانون لنز جهت جریان القایی در حلقه به‌گونه‌ای است که با این افزایش شار مخالفت کند. یعنی طبق قاعده‌ی دست راست جریانی در جهت (۱) در حلقه القا می‌شود.

در هنگام خروج آهنربا از حلقه، شار مغناطیسی عبوری از حلقه در حال کاهش است. در نتیجه طبق قانون لنز جریانی در جهت (۲) در حلقه القا می‌شود تا با کاهش شار مخالفت کند.

## القاگر

وسیله‌ای است که برای **تولید میدان مغناطیسی** دلخواه و همچنین **ذخیره انرژی مغناطیسی** ، استفاده می‌شود علاوه بر این،نماد القاگر در مدار به صورت می‌باشد .

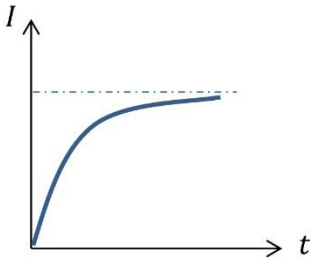
القاگر مانند مقاومت وخازن یکی از اجزای ضروری مدارهای الکترونیکی است.

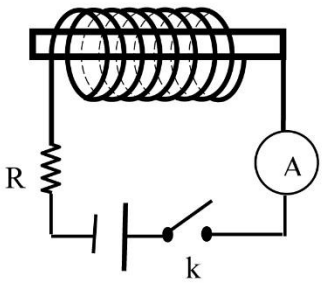
## پدیده خودالقایی

اگر جریان که از یک القاگر (پیچه یا سیم‌لوله یا ....) می‌گذرد تغییر کند، **شار مغناطیسی** نیز تغییر می‌کند و بنا به **قانون فارادی** ، در آن **نیروی محرکه‌ای** القا می‌شود که با عامل تغییر جریان مخالفت می‌کند، این پدیده را **خودالقایی** و نیروی محرک القاشده در خود این القاگر را **نیروی محرکه خودالقایی** می‌گویند.

**نکته :** در هنگام افزایش جریان (مثلا در لحظه وصل کلید در مدار شکل زیر) نیروی محرکه خودالقایی در خلاف جهت نیروی محرکه مولد است یعنی **سیم‌لوله** مانند باطری ای عمل می‌کند که از افزایش جریان اصلی جلوگیری کند و جریان القایی در خلاف جهت جریان اصلی در مدار است.

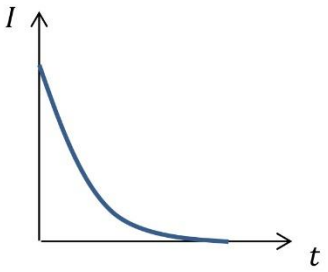
نمودار جریان بر حسب زمان به صورت زیر است:

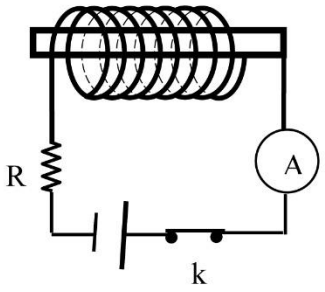


همچنین در هنگام کاهش جریان (مثلاً در لحظه قطع کلید در مدار شکل زیر) نیروی محرکه خودالقایی هم‌جهت با نیروی محرکه مولد است، یعنی سیم‌لوله مانند باطری‌ای عمل می‌کند که از کاهش جریان اصلی جلوگیری کند و جریان القایی هم‌جهت با جریان اصلی مدار است . نمودار جریان بر حسب زمان برای این حالت به صورت زیر است:

نمودار جریان بر حسب زمان به صورت زیر است:



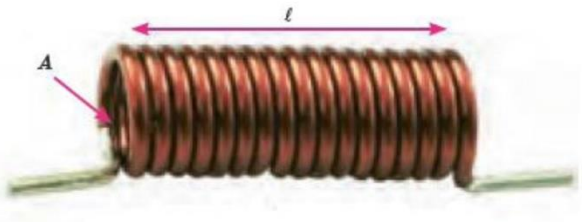




## ضریب القاوری

ویژگی های فیزیکی هر القاگر، توسط ضریب القاوری آن تعیین می شود .ضریب القاوری با L نمایش داده می شود و به عواملی همچون تعداد دور، طول و سطح مقطع القاگر و جنس هسته ای که داخل آن قرار می گیرد بستگی دارد.

یکای ضریب خود القاوری در SI اهم ثانیه $(\Omega.s)$ است که به احترام جوزف هانری هانری نامیده می‌شود و با نماد H نشان داده می‌شود. ضریب القاوری هر سیملوله ای از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$L = \mu . \frac{N^2}{l} A$$



**نکته ۱: اگر سیملوله ما دارای هسته باشد، ضریب القاوری آن از رابطه زیر محاسبه می شود.**

$$L = k\mu_{\cdot}\frac{N^{۲}}{l}A$$

**دقت کنید که k ضریب است و واحدی ندارد.**

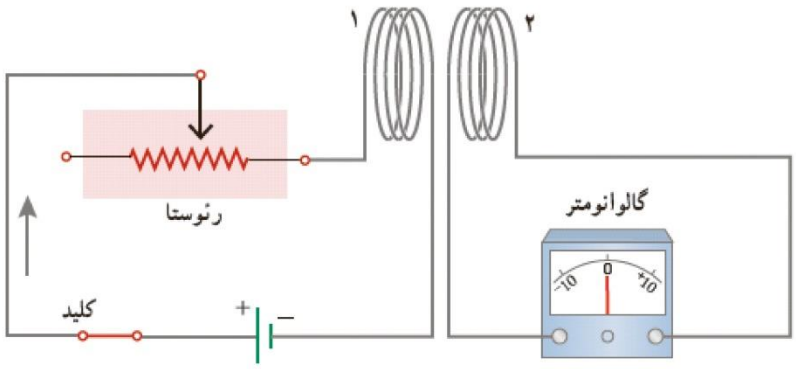
**نکته۲: ضریب خودالقاوری از مشخصات ساختمانی سیم‌لوله است که به تعداد حلقه ، طول سیم‌لوله ، مساحت مقطع سیم‌لوله و جنس هسته سیم‌لوله بستگی دارد.**

### انرژی ذخیره شده در القاگر

**وقتی جریان از القاگر می‌گذرد، انرژی که از طرف مولد در میدان مغناطیسی سیم‌لوله ذخیره می‌شود عبارت از :**

$$U = \frac{۱}{۲}LI^{۲}$$

### القای متقابل




**جریان گذرنده از سیملوله ۱ میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به وجود می آورد. این میدان $\vec{B}$ شار مغناطیسی ای را از پیچه ۲ می گذراند که در مجاورت آن قرار دارد .با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچه ۱، میدان مغناطیسی پیچه ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچه ۲ نیز تغییر می کند؛ بنابر قانون فاراده،این تغییر شار، نیروی محرکه ای را در پیچه ۲ القا می کند که به ایجاد جریان**

القایی در این پیچه می انجامد .همچنین تغییر جریان در پیچهٔ۲ ، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در پیچه ۱ می شود.این فرایند، **القای متقابل** نامیده می شود و به کمک آن می توان انرژی را از یک پیچه، به پیچه دیگر منتقل کرد.

**نکته ۱:** در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگرمی تواند **نیروهای محرکه ناخواسته ای** را در القاگرهای مجاور القا کند .به همین دلیل، در برخی ازمدارهای الکتریکی، القای متقابل می تواند مزاحم باشد .برای هرچه کمتر کردن این اثر ناخواسته، باید سطح حلقه های القاگرهای مجاور را مطابق شکل روبه رو به طور عمود بر یکدیگر قرار داد. در این صورت، **اثر القای متقابل** تا حد امکان کوچک می شود.

**نکته۲:** تفاوت مقاومت و القاگر در مدار های الکتریکی این است که هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به **انرژی گرمایی** تبدیل می شود(انرژی تلف می شود)؛ در حالی که در یک **القاگر آرمانی**( با مقاومت صفر ) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می شود که جریان در آن **افزایش** یابد .**این انرژی تلف نمی شود**؛ بلکه در میدان مغناطیسی القاگر **ذخیره** شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می شود.

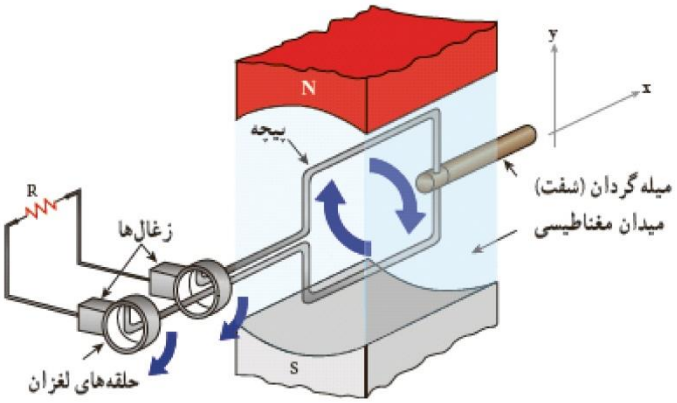
**نکته۳:** هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر آرمانی(سیم پیچ بدون مقاومت)، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی شود.

## جریان متناوب

تفاوت اساسی بین جریان متناوب(AC) و مستقیم(DC) این است که جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییرجهت جریان با گذشت زمان، نمی توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت .تمامی نیروگاه های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می شود.

## تولید جریان متناوب

برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار عبوری از پیچه تغییر کند .همچنین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت، شاری که از پیچه می گذرد از رابطه $\Phi = BA\cos\theta$ رایج ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه $\theta$ است.




اگر پیچه به طور یکنواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچه در مدت t ثانیه به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید.اگر هر دور چرخش پیچه معادل $2\pi$ رادیان باشد، و پیچه در زمان صفر عمود بر میدان مغناطیسی باشد($\theta = 0$) پس از گذشت t ثانیه زاویه $\theta$ برابر $(\frac{t}{T})(2\pi)$ می شود بنابراین شاری که در لحظه t از پیچه می گذرد برابر است با:

$$\Phi = BA\cos\frac{2\pi}{T}t$$

حال به کمک قانون فاراده(با مشتق گرفتن از رابطه بالا بر حسب زمان) می توان نشان دادنیروی محرکه القایی در پیچه در لحظه t از رابطه زیر به دست می آید:

$$\varepsilon = \varepsilon_m sin\frac{۲\pi}{T}t$$

نکته: زمان چرخش یک دور کامل پیچه (T) را دوره یا زمان تناوب می نامند.

نکته۲: عکس دوره، بسامد یا فرکانس می باشد که نشان می دهد پیچه در هر ثانیه چند مرتبه به طور کامل می چرخد. یکای SI بسامد $s^{-۱}$ یا هرتز(Hz) می باشد و آن را با نماد f نشان می دهند.

$$f = \frac{۱}{T}$$

نکته۳: در رابطه بالا $\varepsilon_m$ بیشینه مقدار نیروی محرکه القایی در پیچه است که برابر است با:

$$\varepsilon_m = NAB\frac{۲\pi}{T}$$

تعداد دور های پیچه :N

مساحت مقطع پیچه برحسب متر مربع: A

اندازه میدان مغناطیسی برا حسب تسلا: B

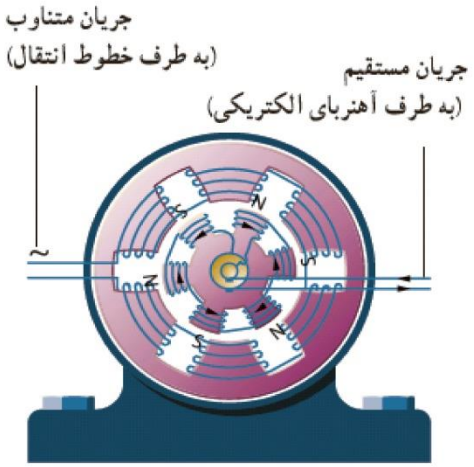
نکته۴: اگر مقاومت کل مدار پیچه برابر R باشد، با توجه به رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R}$ جریانی که در پیچه القا می شود برابر است با:

$$I = I_m \sin\frac{۲\pi}{T}t$$

نکته۵: در این رابطه $I_m$ بیشینه جریان القا شده در پیچه می باشد که برابر است با:

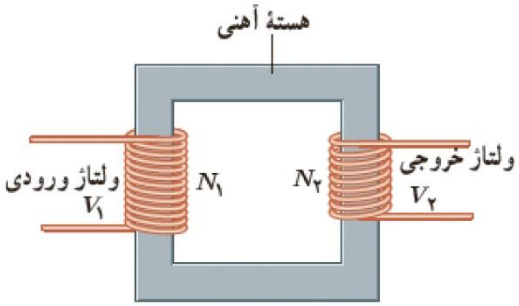
$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{R} = \frac{NAB\frac{۲\pi}{T}}{R}$$

**نکته۶: در نیروگاه های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می گویند .در مولدهای صنعتی پیچه ها ساکن اند و آهنربای الکتریکی در آنها می چرخد.**




## مبدل

**مبدل یا ترانسفورماتور، وسیله ای است که می تواند ولتاژ کم را به زیاد و با بالعکس تبدیل نماید. این وسیله شامل یک هسته آهنی( فرو مغناطیس نرم) با دو سیم پیچ در مقابل هم است که تعداد دورهای آن ها متفاوت است.**




**در مبدل بالا پیچه اولیه با $N_1$ دور به ولتاژ $V_1$ بسته شده است و پیچه ثانویه با $N_2$ دور ولتاژ $V_2$ را تامین می کند.**

**برای یک مبدل آرمانی که مقاومت پیچه های آن ناچیز است، رابطه زیر برقرار است:**

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$