به نام خدا

تهیه و تنظیم: حمیدرضا رحیمی
دبیرستان متوسطهٔ دوم سلمان فارسی

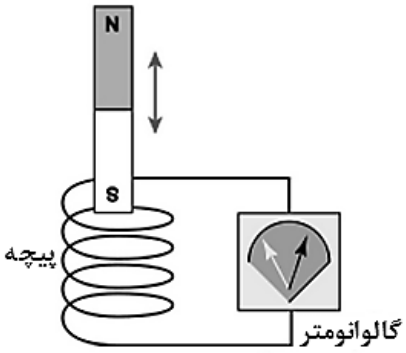


## فصل ۴:

# القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

در فصل پیش دانستیم که با عبور جریان الکتریکی در یک رسانا(سیم)، میدان مغناطیسی تشکیل می‌شود. حال این سوال پیش می‌آید که آیا عکس این حالت نیز امکان‌پذیر است؟ آیا می‌توانیم از یک میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی تولید کنیم؟ پاسخ مثبت است و مباحث این فصل به تشریح چگونگی این موضوع می‌پردازد.

## ☑ بخش اول: پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی




در سال ۱۸۳۱ میلادی «مایکل فاراده» متوجه شد که اگر دو سر یک پیچه یا سیملوله به گالوانومتر (*که وسیله‌ای برای تشخیص و اندازه‌گیری جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک است*) متصل شود و سپس یک آهنربا به آن نزدیک و دور شود (که در نتیجهٔ آن شدت میدان مغناطیسی در پیچه تغییر می‌کند)، عقربهٔ گالوانومتر حرکت می‌کند. یعنی عبور جریان الکتریکی را از آن مدار نشان می‌دهد. درست مانند وقتی که در مدار، باتری(نیروی محرکه) وجود دارد. در حالی که اگر آهنربا ثابت نگه داشته شود، عقربهٔ گالوانومتر نیز بی‌حرکت خواهد ماند.

علاوه بر این روش، اگر یک پیچهٔ انعطاف پذیر داشته باشیم و با فشردن یا رها کردن، مساحت آن پیچه را در میدان مغناطیسیِ یکنواخت تغییر دهیم، و یا حتی اگر پیچه‌ای را درون میدان مغناطیسی یکنواخت بچرخانیم، باز هم مشاهده می‌کنیم که در مدار جریان الکتریکی ایجاد می‌شود و یا به اصطلاح، جریان در مدار **القا** می‌شود. (شکل ۴-۳ کتاب درسی ـ صفحهٔ ۱۱۱)

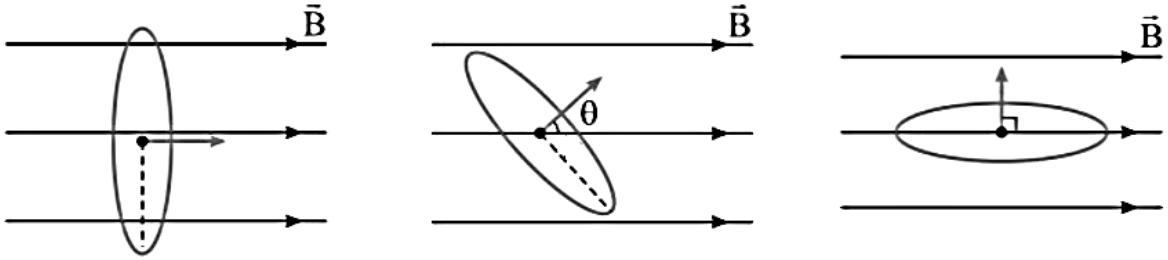
← این پدیده را **القای الکترومغناطیسی** و جریان تولید شده را **جریان الکتریکی القایی** می‌نامند.

## ☑ بخش دوم: قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

در بخش قبل دیدیم که سه عامل باعث ایجاد جریان الکتریکی القایی در پیچه می‌شود:

**۱- تغییر اندازهٔ میدان مغناطیسی در پیچه ۲- تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی ۳- چرخش پیچه در میدان مغناطیسی**

**اما در این سه حالت، چه اتفاقی می‌افتد؟** برای فهم این موضوع ابتدا عامل سوم یعنی چرخش پیچه را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در شکل‌های زیر، حلقهٔ دایره‌ای، سطح مقطع پیچه است و خطوط موازی نیز خطوط میدان مغناطیسی هستند. چنانکه مشاهده می‌کنید در شکل سمت چپ که خط عمود بر سطح پیچه، موازی با خطوط میدان است، سه خط از خطوط میدان از درون پیچه عبور می‌کنند. در شکل میانی، پیچه اندکی چرخیده و خط عمود بر سطحِ آن با خطوط میدان زاویهٔ $\theta$ می‌سازد. در این حالت، تعداد خطوط عبوری از میان پیچه کم می‌شود و به یک خط می‌رسد. سپس این چرخش ادامه می‌یابد تا در شکل سمت راست، زاویهٔ خط عمود بر سطح و خطوط میدان به ۹۰ درجه می‌رسد. در این حالت خطوط میدان از روی سطح پیچه رد می‌شوند و هیچ یک از خطوط میدان از درون حلقهٔ پیچه عبور نمی‌کنند.



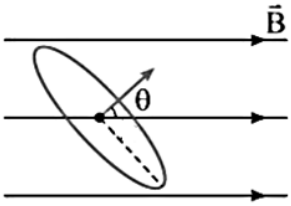

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید**

انبوه خطوط میدان مغناطیسی که از حلقهٔ بستهٔ پیچه عبور می‌کنند را **شار مغناطیسی** عبوری از حلقه می‌گویند. همانطور که مشاهده کردید، با چرخش پیچه در میدان مغناطیسی، شار مغناطیسی عبوری از حلقه تغییر می‌کند و این همان اتفاقی است که در سایر روش‌های ذکر شده نیز رخ می‌دهد. یعنی با تغییر مساحت پیچه، تعداد خطوط میدان مغناطیسی عبوری از پیچه نیز تغییر می‌یابد و همچنین با دور و نزدیک کردن آهنربا به پیچه، میدان مغناطیسی اطراف پیچه نیز شدت و ضعف پیدا می‌کند و در نتیجه، تعداد خطوط مغناطیسی و تراکم آن در پیچه نیز کم و زیاد می‌شود.

**نکته:** اگر به جای آهنربای معمولی، یک آهنربای الکتریکی، میدان مغناطیسی را ایجاد کند، شدت میدان مغناطیسی در آن با تغییر جریان الکتریکیِ آن تغییر می‌کند. پس چنانچه در ادامه نیز خواهید دید، برای این حالت، علاوه بر تغییر فاصله، شدت جریان در آهنربای الکتریکی نیز بر شدت میدان مؤثر است و می‌تواند شار مغناطیسی عبوری از پیچه را تغییر دهد.

پس عامل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در همهٔ این آزمایش‌ها **تغییر شار مغناطیسی** عبوری از پیچه است.

می‌توان گفت: سه عامل مذکور در کنار یکدیگر، کمیت جدیدی به نام **شار مغناطیسی** را می‌سازند که در رابطهٔ زیر قابل مشاهده است.




$$\Phi = BA\cos\theta$$

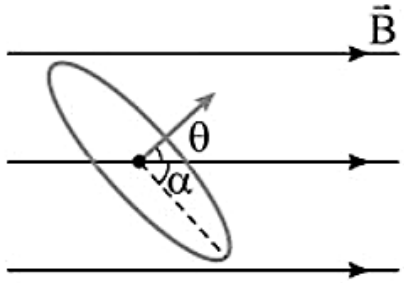
- $\Phi$: شار مغناطیسی (یکا: Wb ـ وِبر) – کمیت نرده‌ای
- B: اندازهٔ میدان مغناطیسی (T ـ تسلا)
- A: مساحت حلقهٔ بسته ($m^2$)
- $\theta$: زاویهٔ بین نیم‌خط عمود بر صفحه و راستای میدان مغناطیسی

کمیت جدید در این رابطه، شار مغناطیسی(**Φ**- با تلفظ **فی**) است که بنابر رابطهٔ بالا داریم: $1\,Wb = 1\,T \times 1\,m^2$

$\cos\theta$ در این رابطه نشان می‌دهد که بیشترین شار عبوری در $\theta=90^\circ$ رخ می‌دهد؛ و در $\theta=0^\circ$ شار عبوری صفر می‌شود.

---

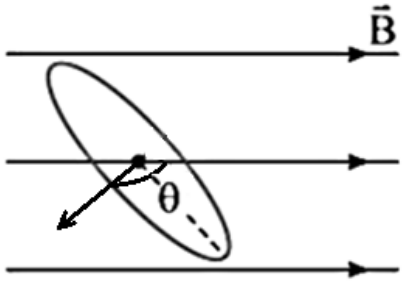
**نکته:** توجه کنید که ممکن است در مسائل، به جای $\theta$، زاویهٔ بین سطح حلقه و خطوط میدان داده شود(یعنی: $\alpha$). در این صورت، با توجه به اینکه $\alpha$ متمم زاویهٔ $\theta$ است می‌توانیم بنویسیم:




$$\theta = 90 - \alpha$$

---

**نکته:** نیم‌خط عمود بر سطح حلقه را می‌توان از طرف دیگر سطح نیز رسم کرد (مانند شکل مقابل ـ $\theta$ در این حالت، مکمل $\theta$ قبلی است). این کار باعث می‌شود که علامت شار مغناطیسی از + به - تغییر کند. در ادامه خواهیم دید که این موضوع تأثیری در مواردی که به دنبال محاسبهٔ آن‌ها هستیم ندارد. اما نکتهٔ مهم این است که در حل یک مسئله، نیم‌خط عمود را از هر طرف سطح که کشیدیم، تا آخر حل مسئله **نباید آن را عوض کنیم**.




**کتاب درسی** ○ **مثال ۴–۱** (بررسی شود) ○ **تمرین ۴–۱** (حل شود) ○ **پرسش ۴–۱** (حل شود)

□ **مثال۱:** طول سیملوله‌ای ۲۰ cm و تعداد دورهای آن ۲۰۰ حلقه است. اگر سطح مقطع سیملوله ۱۵ $cm^2$ و جریان عبوری از آن ۵A باشد، شار مغناطیسی گذرنده از داخل سیملوله چقدر است؟ $(\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \frac{T.m}{A},\ \pi \simeq 3)$

## * قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

سیملوله‌ای با $N$ حلقهٔ نزدیک به هم

تا اینجا دانستیم که تغییر شار مغناطیسی در یک حلقه، پیچه یا سیملوله باعث ایجاد جریان الکتریکی می‌شود. این مانند آن است که یک باتری در مدار قرار گرفته باشد و نیروی محرکه‌ای را به آن القا کند (القای الکترومغناطیسی) تا در اثر آن، جریان الکتریکی به‌وجود آید.

←در فصل ۲ خواندیم که نیروی محرکه را با $\mathcal{E}$ نشان می‌دهند و یکای آن نیز ولت است.

فاراده، رابطه‌ای برای محاسبهٔ نیروی محرکهٔ متوسط القایی به دست آورد که به **قانون القای فاراده** معروف است. این رابطه برای پیچه یا سیملوله‌ای که N حلقه دارد و شار مغناطیسیِ گذرنده از آن در مدت $\Delta t$ ، تغییری برابر $\Delta\Phi$ داشته باشد به این صورت است:

$$\overline{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- $\overline{\mathcal{E}}$: نیروی محرکهٔ القایی متوسط (بر حسب ولت)
- $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ : آهنگ تغییر شار مغناطیسی (یکا: Wb/s)
- N: تعداد حلقه‌های پیچه یا سیملوله
- **توجه:** دربارهٔ علامت منفیِ پشت رابطه، در مبحث بعدی صحبت خواهیم کرد.

← طبق این رابطه، قانون القای فاراده می‌گوید: **نیروی محرکهٔ متوسط القایی، متناسب است با آهنگ تغییر شار مغناطیسی.**

**به بیان ساده:** این قانون، محاسبه می‌کند که تغییر شار مغناطیسی در یک مدت معین، چند ولت نیروی محرکه تولید می‌کند.

---

← **نکته:** از رابطهٔ بالا معلوم می‌شود که یکای $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ یعنی Wb/s، معادل ولت(V) است. این را می‌توان از روش زیر نیز به‌دست آورد:

$$\text{ولت} = \frac{\overbrace{\frac{(\text{متر})(\text{نیوتون})}{(\text{ثانیه})(\text{آمپر})}}^{\text{ژول}}}{\underbrace{\qquad}_{\text{کولن}}} = \frac{(\frac{\text{نیوتون}}{(\text{آمپر})(\text{متر})})(\text{متر})^{۲}}{\text{ثانیه}} = \frac{(\text{تسلا})(\text{متر})^{۲}}{\text{ثانیه}} = \frac{\text{وبر}}{\text{ثانیه}}$$

---

← **نکتهٔ مهم:** با توجه به اینکه $\Phi=BA\cos\theta$ ، برای نوشتن $\Delta\Phi$ باید آن عواملی که ثابت هستند را از $\Delta$(دلتا) خارج کنیم و آن عاملی که متغیر است را همراه با $\Delta$ بنویسیم.

$$\overline{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \begin{cases} \text{اگر فقط میدان B تغییر کند}: \overline{\varepsilon} = -NA\cos\theta\dfrac{\Delta B}{\Delta t} \\ \text{اگر فقط مساحت A تغییر کند}: \overline{\varepsilon} = -NB\cos\theta\dfrac{\Delta A}{\Delta t} \\ \text{اگر فقط زاویهٔ } \theta \text{ تغییر کند}: \overline{\varepsilon} = -NBA\dfrac{(\cos\theta_{۲}-\cos\theta_{۱})}{\Delta t} \end{cases}$$

---

*** جریان القایی متوسط:** با توجه به اینکه تغییر شار مانند یک باتری عمل می‌کند و رابطهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط($\overline{\mathcal{E}}$) را نیز داریم، می‌توانیم جریان القایی متوسط($\overline{I}$) را از رابطه‌ای که در فصل ۲ آموختیم به‌دست آوریم:

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

← در این رابطه، **R** مقاومت پیچه یا سیملوله است (بر حسب اهم: $\Omega$) و با توجه به اینکه در مخرجِ کسر قرار گرفته است، هرچه بیشتر باشد، جریان کوچکتری در مدار القا می‌شود (وبالعکس).

← **نکته:** توجه کنید که باتری پدید آمده از سیملوله همانند باتری شیمیایی نیست که مقاومت داخلی (r) داشته باشد زیرا محلول شیمیایی ندارد. لذا تنها مقاومت موجود در این مدار، مقاومت خارجی R است که مربوط به خود پیچه یا سیملوله است.