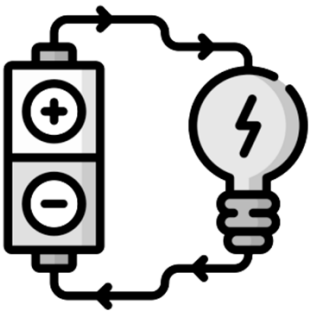
«به نام خدا»

فصل دوم: جریان الکتریکی و مدار

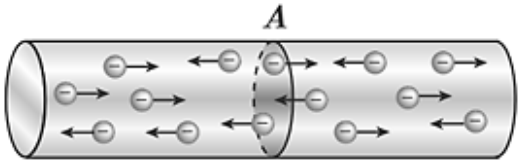


در فصل گذشته، دانستیم که اختلاف پتانسیل بین دو نقطه باعث می‌شود بارهای ساکن الکتریکی برای لحظاتی کوتاه به جریان در آیند. اما در این فصل به بررسی جریان دائم و ثابت الکتریسیته می‌پردازیم.

○ جریان الکتریکی: حرکت (شارش) بارهای الکتریکی در یک رسانا جریان الکتریکی نام دارد.

☑ بخش۱: جریان الکتریکی

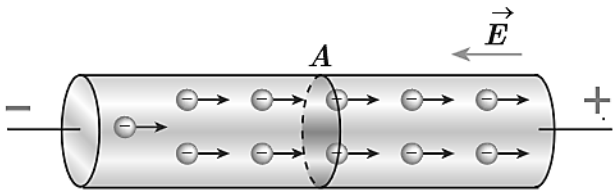
جریان الکتریکی چگونه ایجاد می‌شود؟ بارهای الکتریکی که همان الکترون‌های آزاد موجود در رسانا هستند با سرعت بسیار زیاد ($10^6 m/s$) در هر رسانایی در حرکت‌اند. اما چون این حرکت به صورت کاتوره‌ای و در همهٔ جهات است باعث ایجاد جریان الکتریکی نمی‌شود.



مثلاً اگر یک مقطع از سیم فلزی را در نظر بگیریم، مشاهده می‌کنیم که در یک بازهٔ زمانی معین، تعداد زیادی الکترون از سمت راست مقطع به سمت چپ حرکت می‌کنند و همزمان تعداد زیادی الکترون نیز در جهت مخالف (چپ به راست) از همان مقطع عبور می‌کنند. این حرکت‌های مخالف، اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند (جمع جبری بارهای عبوری صفر است) و باعث می‌شوند **شارش خالص بار** در آن مقطع صفر شود.

➢ **در حالت عادی، بین دو سر سیم(رسانا)، اختلاف پتانسیل الکتریکی وجود ندارد و لذا شارش خالص بار نیز نخواهیم داشت.**

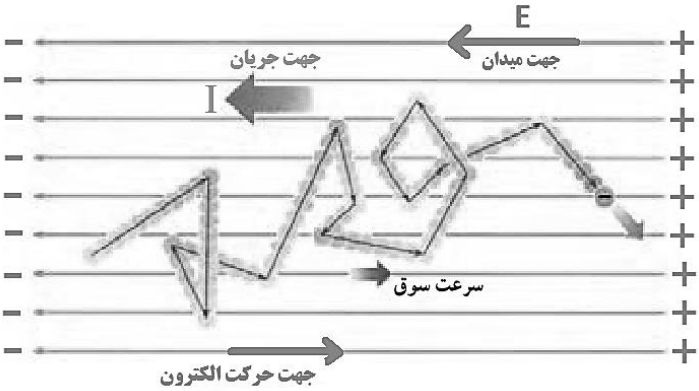
اما اگر سیم را در یک مدار الکتریکی(دارای باتری) قرار دهیم، در دو سر سیم اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود و درون سیم، میدان الکتریکی پدید می‌آید. در نتیجه به همهٔ الکترون‌های آزاد موجود در سیم در خلاف جهت میدان(به دلیل بار منفی آن‌ها)، نیرو وارد می‌شود که باعث حرکت منظم الکترون‌های آزاد به یک سو و ایجاد جریان می‌شود.



➢ **وقتی بین دو سر سیم(رسانا)، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شود، در هر سطح مقطع معین از سیم، شارش خالص بار خواهیم داشت.**

❖ سرعت سوق

وقتی میدان الکتریکی درون رسانا ایجاد شود، الکترون‌ها همچنان حرکت کاتوره‌ای خود را دارند اما این حرکت در اثر میدان الکتریکی کمی تغییر می‌کند به‌طوری که میل کلی آن با سرعت متوسطی موسوم به **سرعت سوق** در خلاف جهت میدان سوق پیدا می‌کند و همین باعث ایجاد جریان الکتریکی در سیم می‌شود. سرعت سوق بسیار کم و در حدود $10^{-5} m/s$ است.



○ نکته: چنان‌که در فصل پیش توضیح دادیم، جهت قراردادی **جریان الکتریکی**(I)، جهت حرکت بارهای مثبت بوده و از سمت پتانسیل الکتریکی بیشتر (پایانهٔ +) به سمت پتانسیل الکتریکی کمتر (پایانهٔ −) یعنی در جهت میدان الکتریکی(E) است. اما جهت **سوق** و جهت **حرکت الکترون‌ها** بر خلاف جهت میدان و جریان الکتریکی است. (شکل بالا)

فعالیت ۲-۱ کتاب درسی سرعت سوق الکترون‌های آزاد در یک رسانا می‌تواند به کندیِ سرعت حرکت یک حلزون باشد. اگر سرعت سوق الکترون‌ها این‌قدر کم است، پس چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟

(**راهنمایی:** شیلنگ شفافی را در نظر بگیرید. وقتی شیر را باز می‌کنید، هنگامی که شیلنگ پر از آب است، آب بلافاصله از سر دیگر شیلنگ جاری می‌شود؛ ولی اگر لکه‌ای رنگی را درون آب چکانده باشیم، می‌بینیم این لکهٔ‌رنگی به آهستگی در آب حرکت می‌کند.)

پاسخ: قرار نیست یک الکترون خود را از محل کلید به لامپ برساند، بلکه همانند جریان آب داخل شیلنگ، وقتی یک الکترون از یک طرف سیم وارد می‌شود، بلافاصله یک الکترون از طرف دیگر خارج می‌شود و لامپ را روشن می‌کند.

* رابطهٔ محاسبهٔ جریان الکتریکی (I)

آهنگ عبور بار خالص الکتریکی از هر مقطع مدار را شدت جریان الکتریکی متوسط ($\bar{I}$) می‌گویند و اگر این آهنگ، ثابت باشد، مقدار جریان (I) از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید: (حفظ کنید!)

$$I = \bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

یکا در SI $\longrightarrow$ $1\ \text{آمپر} = 1\ \frac{\text{کولن}}{\text{ثانیه}} = 1\ \frac{C}{S}$

- I ← جریان الکتریکی متوسط برحسب آمپر (A)
- Δq ← بار خالص عبوری از یک مقطع رسانا برحسب کولن (C)
- Δt ← بازهٔ زمانی که بار خالص مورد نظر از مقطع سیم عبور می‌کند برحسب ثانیه (s)

← یکای جریان $\frac{C}{S}$ است که به آن آمپر (A) می‌گویند.

(در این فصل، فقط با جریان مستقیم که مقدار ثابت دارد سرو کار خواهیم داشت.)

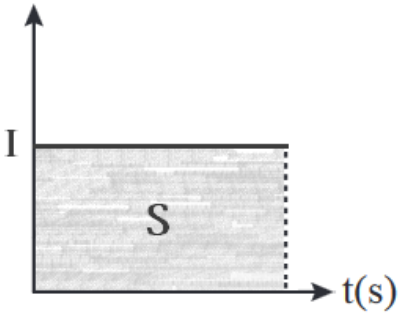
جریان مستقیم (DC): جریانی که **جهت** و **مقدار** آن با گذشت زمان ثابت بماند، جریان مستقیم نامیده می‌شود. (حفظ کنید!)

در این نوع جریان، جریان الکتریکیِ لحظه‌ای برابر با جریان الکتریکی متوسط خواهد بود. لذا می‌توانیم بنویسیم: $I = \frac{q}{t}$

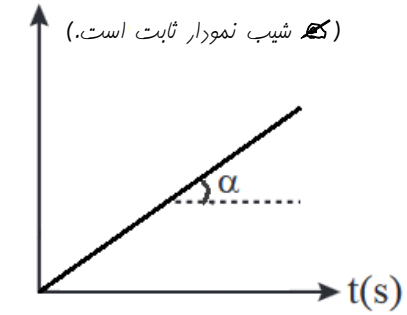
برای فهم بهتر مطالب فوق، می‌توان از نمودارهای زیر استفاده کرد:

(فقط برای اطلاع!)

جریان با مقدار ثابت

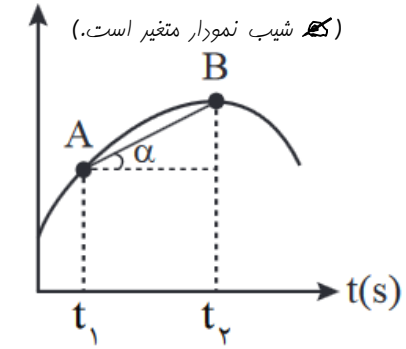


$S = \Delta q$



$\text{شیب نمودار} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q}{t} = I$

جریان با مقدار متغیر



$\text{شیب نمودار} = \tan\alpha = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \bar{I}$

- نمودار $q-t$ برای جریان مستقیم، نموداری خطی و مبدأ گذر است که شیب آن برابر آهنگ تغییر بار، یعنی جریان(I) است.
- سطح زیر نمودار $I-t$ برای جریان مستقیم، برابر تغییرات بار خالص عبوری از هر مقطع از جریان در بازهٔ زمانی دلخواه است.

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

کتاب درسی ○ مثال ۲-۱

○ **نکته: انرژی‌ای که باتری به مدار می‌دهد:** یکی از سوالاتی که در مسائل این فصل پرسیده می‌شود، مقدار انرژی‌ای است که باتری به یک مدار (مثل ماشین حساب یا لامپ و ...) داده است. این مقدار، برابر کاری است که باتری به عنوان یک نیروی خارجی بر روی مدار انجام داده است. از مباحث فصل پیش می‌دانیم:

$$W_{\text{خارجی}} = \Delta U = \boxed{q\Delta V}$$

* **آمپر ـ ساعت (یکایی برای بار الکتریکی):** بار الکتریکی(q)، یکی از کمیت‌هایی است که علاوه بر یکای اصلی خود(کولن)، یکای مشهور دیگری نیز دارد و آن **آمپر ـ ساعت** (**Ah**) است. نحوهٔ به دست آمدن این یکا به صورت زیر است:

$$\Delta q = I\Delta t \xrightarrow{\text{یکا}} C = A.s \xrightarrow[\text{به‌جای ثانیه، ساعت(h) بگذارید}]{\text{آمپر ـ ثانیه}} \boxed{A.h} \quad \text{آمپر ـ ساعت}$$

توضیح: در سیستم SI، یکای بار الکتریکی کولن(C) است که طبق رابطهٔ جریان، برابر A.s (آمپر ـ ثانیه) می‌شود. حال اگر یکای زمان را به جای ثانیه، ساعت(h) قرار دهیم، یکای بار الکتریکی برابر **A.h** (آمپر ـ ساعت) خواهد شد.

از این یکا بیشتر در سنجش میزان بار ذخیره شده دربرخی باتری‌ها استفاده می‌شود. $\boxed{۱Ah = ۳۶۰۰As = ۳۶۰۰C}$

هرچه آمپر ـ ساعتِ یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود بیشتر است.

معنای آمپر ـ ساعت: یک باتری۵۰Ah، می‌تواند ۵۰ ساعت جریان ۱ آمپری، یا ۲۵ ساعت جریان ۲ آمپری یا ..... را تأمین کند تا تخلیه شود.

تمرین ۲-۱ کتاب درسی الف) باتری استاندارد خودرویی، ۵۰ Ah است. اگر این باتری جریان متوسط ۵ A را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب) روی یک باتری قلمی مقدار ۱۰۰۰ mAh نوشته شده است. اگر این باتری جریان متوسط ۱۰۰۰μA را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟

○ **نکته:** با استفاده از رابطهٔ q = ne می‌توانید تعداد بار جابه‌جا شده (n) را در رابطهٔ جریان وارد کنید.

$$\boxed{I = \frac{q}{t}} \xrightarrow{q = ne} I = \frac{ne}{t}$$

○ **سوالات ترکیبی:** معمولاً سوالات مربوط به رابطهٔ جریان را با روابط انرژی و توان (مباحث فصل اول) ترکیب می‌کنند. پس باید به یاد داشت:

$$P = \frac{U}{t} \ (\text{توان W}) \qquad U = qV \ (\text{انرژی J})$$

مثال ۱ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۴): در یک آذرخش، 1×10^{9} J انرژی تحت اختلاف پتانسیل 5×10^{7} V در بازهٔ زمانی ۰/۲ s آزاد می‌شود. با استفاده از این اطلاعات:

الف) مقدار بار کل منتقل‌شده بین ابر و زمین را به‌دست آورید.

ب) جریان متوسط در یک یورش آذرخش را به‌دست آورید.

چ) توان الکتریکی آزاد شده در ۰/۲ s را به‌دست آورید.

☑ بخش۲: مقاومت الکتریکی و قانون اهم

پس از ایجاد اختلاف پتانسیل (یعنی **V**) در دو سر مدار، و برقراری جریان الکتریکی (یعنی **I**)، الکترون‌های آزاد در سیم رسانا شارش می‌یابند؛ اما این‌طور نیست که هیچ مانعی بر سر راه آن‌ها نباشد، چون این الکترون‌ها در حین حرکت با اتم‌های رسانا که در جای خود در حال نوسانند برخورد می‌کنند، و این اصطکاک و برخورد باعث گرم شدن رسانا می‌شود. یعنی بخشی از انرژی الکترون‌های آزاد به گرما تبدیل شده و تلف می‌شود. در واقع، این الکترون‌ها با نوعی مقاومت از طرف اتم‌های در حال ارتعاش مواجه می‌شوند. پس یک کمیت دیگر به نام **مقاومت الکتریکی** که با **R** نشان داده می‌شود در هر جریان الکتریکی وجود دارد که تعداد کمیت‌های اصلی این پدیده را به سه کمیت می‌رساند (V، I و R).

آقای **اُهم** رابطهٔ میان این سه کمیت را به صورت مقابل تعریف کرد:

$$R=\frac{V}{I} \quad \text{یکا در SI} \longrightarrow \quad \Omega \text{ اُهم} = \frac{\text{ولت } V}{\text{آمپر } A}$$

* مقاومت الکتریکی (R)

طبق رابطهٔ بالا، مقاومت یک رسانا، نسبت اختلاف پتانسیل دو سر آن رسانا به جریان گذرنده از آن است.

← یکای این کمیت V/A است که به پاس خدمات آقای اُهم، به نام **اُهم** نامگذاری شده و با حرف یونانی اُمگا (Ω) نشان داده می‌شود.

← نماد مقاومت در مدار الکتریکی: —WW—

(همیشه یادتان باشد!)

با زیاد شدن مقاومت، جریان کاهش می‌یابد.
(وبالعکس)

کاربرد اصلی مقاومت: هر جسم رسانایی، بر اساس ساختار اتمی خود، مقاومت مشخصی دارد و می‌تواند به‌عنوان مقاومت الکتریکی در مدار به‌کار رود. وجود مقاومت در سر راه جریان الکتریکی، راه را بر جریان تنگ می‌کند و باعث کاهش جریان الکتریکی می‌شود و کاربرد مقاومت در مدار هم همین است. یعنی، کاهش جریان.

از رابطهٔ اهم نیز می‌توان به این نتیجه رسید. اگر دو سر یک رسانا به یک اختلاف پتانسیل ثابت (باتری) وصل باشد، آنگاه، با افزایش مقاومت (R)، جریان (I) کاهش می‌یابد (چون در این رابطه، نسبت عکس دارند).

$$\uparrow R=\frac{V}{I}\downarrow$$