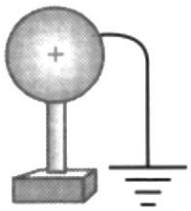
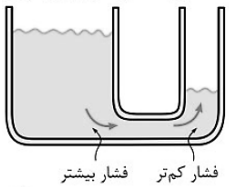
☑ بخش۴: نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها

مدارهای الکتریکی مورد بحث در کتاب درسی، بیشتر شامل مقاومت و باتری می‌شوند. در بخش قبل با مقاومت الکتریکی آشنا شدیم و پیش از آن‌که بخواهیم وارد بحث مدار شویم، باید با باتری که منبع نیروی الکتریکی مدار و از مهمترین اجزاء مدار است نیز آشنا شویم.

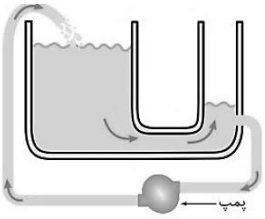
* منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی



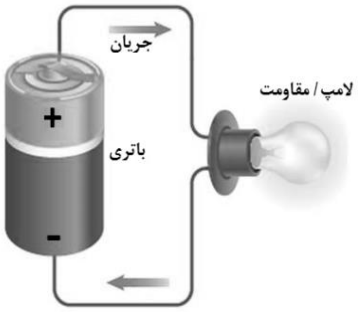
اگر یک جسم باردار را توسط یک سیم به زمین متصل کنیم، به دلیل اختلاف پتانسیلی که بین جسم و زمین وجود دارد در سیم، جریان الکتریکی به وجود می‌آید؛ اما این جریان و شارش بار در زمان کوتاهی پایان می‌یابد، چون پتانسیل جسم به سرعت با پتانسیل زمین برابر شده و جریان متوقف می‌گردد.

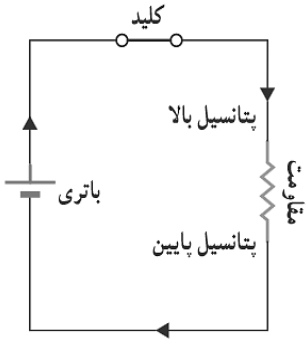


در دو مخزن متصل به هم که ارتفاع آب در یکی از آن‌ها بیشتر است نیز شبیه همین حالت می‌تواند رخ دهد. جریان آب در لولهٔ متصل کنندهٔ این دو مخزن تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که اختلاف ارتفاع (اختلاف پتانسیل گرانشی) بین دو مخزن وجود داشته باشد.



اگر بخواهیم جریان آب بین دو لوله به‌طور ثابت برقرار باشد باید کاری کنیم که اختلاف ارتفاع بین دو مخزن در حد ثابتی باقی بماند. برای این منظور می‌توانیم یک پمپ را به دو مخزن متصل کنیم تا با صرف **انرژی** و انجام **کار** روی آب، ارتفاع آب را در هر دو مخزن ثابت نگه دارد تا جریان آب در لوله با آهنگ ثابت ادامه یابد.





در مدارهای الکتریکی نیز باید وسیله‌ای مانند پمپ باشد تا با صرف انرژی و انجام کار بر روی بار، جریان ثابت الکتریسته را در مدار برقرار کند. این وسیله «**منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی**» نام دارد. باتری یکی از مشهورترین این منابع است. باتری هیچ بار الکتریکی‌ای تولید نمی‌کند (مانند پمپ که هیچ آبی تولید نمی‌کند) بلکه فقط انرژی لازم را برای شارش بارها در مدار تأمین می‌کند.

توضیح: در یک مدار ساده مانند شکل بالا، به خاطر اختلاف پتانسیل دو سر باتری، جریان بارهای مثبت از پایانهٔ مثبت باتری به سمت پایانهٔ منفی ایجاد می‌شود. بارهای مثبتی که نزدیک قطب مثبت باتری هستند، انرژی پتانسیل بالایی دارند و می‌خواهند از آن‌جا دور شوند، لذا خودبه‌خود و بدون انجام کاری جریان می‌یابند. این جریان پس از عبور از یک مصرف کننده (مانند لامپ یا مقاومت) دچار افت انرژی پتانسیل می‌شود و پس از اینکه به پایانهٔ منفی باتری رسید، تمام انرژی خود را مصرف کرده است و می‌خواهد متوقف شود. در ضمن، بار مثبت دوست دارد در کنار قطب منفی بماند و تمایلی ندارد که از درون باتری به سمت قطب مثبتی که یک‌بار از آن فرار کرده برود.

نقش باتری اینجا معلوم می‌شود. باتری با انجام کار روی بارهای مثبت، آن‌ها را به زور در خلاف جهت میدان درونی باتری، یعنی از پتانسیل پایین‌تر(پایانهٔ منفی) به پتانسیل بالاتر (پایانهٔ مثبت) هل می‌دهد. به این صورت، انرژی پتانسیل آن‌ها باز هم مثل سابق افزایش یافته، و بارهای مثبت دوباره به جریان در می‌آیند. باتری این‌گونه، با جبران افت انرژی بارها و حفظ اختلاف پتانسیل در مدار، جریان ثابت و دائمی را در مدار الکتریکی برقرار می‌کند. حالا می‌توانیم منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی را تعریف کنیم: (صفحهٔ بعد)

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

❖ **تعریف منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی:** وسیله‌ای است که با انجام کار روی بار الکتریکی، جریان ثابتی از بارهای الکتریکی در مدار ایجاد می‌کند. ← **نمونه:** باتری‌ها، پیل‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی و مولدهای الکتریکی. (✍ حفظ کنید!)

نکته: انرژی لازم برای ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در یک منبعِ نیروی محرکهٔ الکتریکی، و انجام کار بر روی بارهای الکتریکی، با سازوکارهای مختلفی به‌دست می‌آید. مثلاً باتری‌ها این انرژی را از طریق **واکنش‌های شیمیایی** که در آن‌ها رخ می‌دهد مهیا می‌سازند. (✍ مهم!)

نیروی محرکهٔ الکتریکی

تعریف: کاری که منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می‌دهد تا آن را از پایانهٔ با پتانسیل کمتر به پایانهٔ با پتانسیل بیشتر ببرد، اصطلاحاً **نیروی محرکهٔ الکتریکی** (emf) نامیده شده و با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$\text{نیروی محرکهٔ الکتریکی} = \frac{\text{کاری که باتری انجام می‌دهد}}{\text{بار}} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q}$$

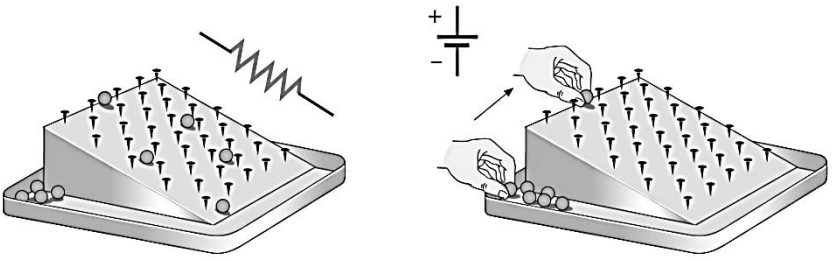
- یکای کار (W) : ژول (J)
- یکای بار (q) : کولن (C)

نکته: توجه کنید که یکای نیروی محرکه(ε)، **ولت (V)** است و اصطلاحاً به آن **نیرو** گفته می‌شود.

در واقع این کمیت، مقدار ولتاژی که باتری به مدار می‌دهد یا به عبارت دیگر، مقدار اختلاف پتانسیلی که در مدار ایجاد می‌کند را محاسبه می‌کند.

بر این اساس: اگر نیروی محرکهٔ یک باتری مثلاً $1/5\ V$ باشد (همان باتری ۱/۵ ولتی خودمان)، به این معناست که باتری روی هر کولن باری که از آن می‌گذرد، $1/5\ J$ کارانجام می‌دهد و به این ترتیب، انرژی پتانسیل الکتریکی آن را $1/5\ J$ افزایش می‌دهد.

مثال ۱۵ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۰): شکل زیر یک مشابهت‌سازی مکانیکی برای درک مقاومت و نیروی محرکهٔ الکتریکی را نشان می‌دهد که در آن بر سطح شیب‌داری میخ‌هایی تعبیه شده و تیله‌ها از ارتفاع بالای سطح شیب‌دار رها می‌شوند و سپس دوباره به بالای سطح شیب‌دار بازگردانده می‌شوند. این مشابهت سازی مکانیکی را توجیه کنید.



پاسخ: گلوله‌های بالای سطح شیب‌دار، دارای انرژی پتانسیل گرانشی هستند. وقتی رها می‌شوند میل دارند که به صورت خودبه‌خود به سمت پایین حرکت کنند و سرعت بگیرند، اما میخ‌هایی که روی سطح هستند انرژی گلوله‌ها را می‌گیرند و گلوله‌ها با سرعت آهسته‌تر و نسبتاً ثابتی حرکت می‌کنند تا به پایین سطح شیب‌دار برسند.

پس میخ‌ها کاری شبیه به **مقاومت** در مدار الکتریکی انجام می‌دهند. گلوله‌های پایین شیب، دیگر انرژی پتانسیلی ندارند که مصرف کنند، لذا متوقف می‌شوند. اما هنگامی که نیروی دست ما روی آن‌ها کار انجام می‌دهد و آن‌ها را به بالای سطح شیب‌دار باز می‌گرداند، دوباره دارای انرژی پتانسیل می‌شوند و به سمت پایین حرکت می‌کنند. پس دست ما کاری شبیه به **منبع نیروی محرکه** یا همان باتری در مدار انجام می‌دهد.

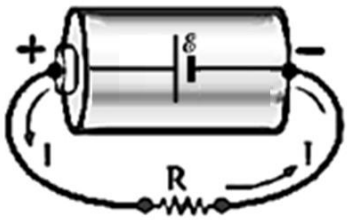
مثال ۱۶ (کتاب ماجرای ۲۰ فیزیک): نیروی محرکهٔ یک مولد آرمانی برابر $12V$ است. برای این که این مولد $4\mu C$ را در مدار شارش دهد، باید چند ژول کار روی آن بار انجام دهد؟

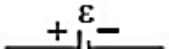
* انواع منبع نیروی محرکه

منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی، دو نوع هستند: ۱- آرمانی ۲- واقعی

منبع نیروی محرکهٔ آرمانی:

اگر اختلاف پتانسیل پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد برابر با نیروی محرکهٔ الکتریکی آن باشد، آن منبع آرمانی است:





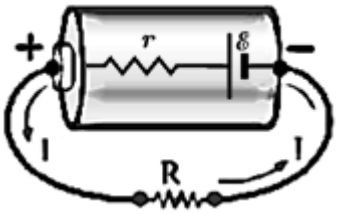
منبع نیروی محرکهٔ آرمانی

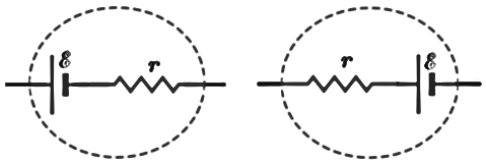
$$V_+ - V_- = \varepsilon$$

توضیح: اگر یک باتری، هیچ گونه تلفاتی در درون خودش نداشته باشد، ولتاژ باتری، همان ولتاژ خالص نیروی محرکه خواهد بود. یعنی تمام انرژی و ولتاژی که واکنش شیمیایی داخلی باتری تولید می‌کند بدون کم و کاست به مدار الکتریکی می‌رسد.

منبع نیروی محرکهٔ واقعی:

منبع آرمانی در واقعیت وجود ندارد و منابع واقعیِ نیروی محرکه، در درون خود مقداری مقاومت در برابر جریان الکتریکی دارند که به آن مقاومت داخلی گفته می‌شود و برای سادگی در تحلیل مدار، به صورت یک مقاومت مجزا با نام r در داخل باتری و کنار نیروی محرکه نمایش داده می‌شود. وقتی جریان از درون منبع واقعی حرکت می‌کند به خاطر این مقاومت، در همان فضای درونی باتری، مقداری از انرژی و پتانسیل الکتریکی خود را مصرف می‌کند و به اصطلاح دچار افت پتانسیل می‌گردد. لذا اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های آن، متفاوت از نیروی محرکهٔ الکتریکی(ε) خواهد شد و از آن کمتر است.





منبع نیروی محرکهٔ واقعی

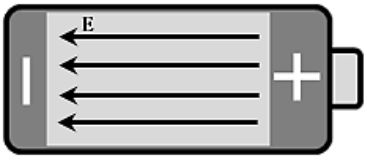
$$V_+ - V_- = \varepsilon - \underbrace{Ir}_{\text{افت پتانسیل داخلی منبع}}$$

(در ادامه خواهید خواند.)

توضیح: یعنی بخشی از ولتاژی که منبع تولید می‌کند، تلف شده و صرف غلبه بر مقاومت داخلی(r) می‌شود، و بقیهٔ آن به مدار می‌رسد.

نکته: در واقع می‌توان گفت که برای منبع **آرمانی**، مقاومت داخلی صفر در نظر گرفته شده است (r=۰) ← لذا $\Delta V = \varepsilon$

فعالیت ۲-۵ کتاب درسی میدان الکتریکی درون باتری از پایانهٔ مثبت به سمت پایانهٔ منفی است. توضیح دهید چرا وقتی از پایانهٔ مثبت باتری به سمت منفی آن می‌رویم، پتانسیل کاهش می‌یابد و بالعکس.

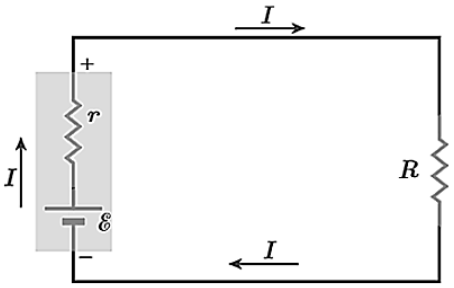


پاسخ: همیشه با جابه‌جایی در جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.

- پس وقتی از پایانهٔ مثبت به منفی باتری می‌رویم، چون در **جهت میدان** حرکت کرده‌ایم، پتانسیل کاهش می‌یابد؛
- و بالعکس وقتی از پایانهٔ منفی به مثبت باتری می‌رویم، که بر **خلاف جهت میدان** است، پتانسیل افزایش می‌یابد.

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

* مدار تک حلقه



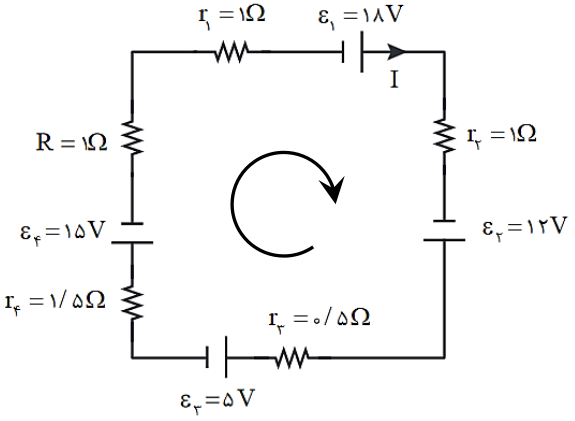
مدار تک حلقه، مدار بسته‌ای است که تمام اجزای آن مانند شکل مقابل، به صورت متوالی به هم وصل شده‌اند. نکتهٔ مهم دربارهٔ همهٔ مدارهای تک‌حلقه این است که: **جریان(I) در تمام نقاط آن یکسان است**. زیرا هیچ انشعابی ندارد که بخشی از جریان حلقه از آن خارج شود و یا جریان دیگری به آن وارد شود.

تمام مدارهای درس فیزیک۲ را می‌توان با ساده‌سازی به مدار تک حلقه تبدیل کرد. لذا مراحلی که در ادامه برای تحلیل و حل مسائلِ مدارِ تک‌حلقه بیان می‌شود را کاملاً به خاطر بسپارید و در حل مسائل مدار از این روش و ترتیب استفاده نمایید.

مراحل تحلیل مدار تک‌حلقه: ❶ تشخیص جهت جریان مدار ❷ محاسبهٔ اندازهٔ جریان(I) ❸ محاسبهٔ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار (Vab)

❶ تشخیص جهت جریان:

اگر در مدار یک باتری داشته باشیم، جریان الکتریکی مدار از قطب مثبت باتری خارج می‌شود؛ اما در مداری که دارای چند باتری است که **در خلاف جهت یکدیگر** قرار گرفته‌اند ابتدا باید نیروهای محرکهٔ باتری‌های هم جهت را با یکدیگر جمع کنیم و سپس حاصل‌جمع آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم. هر گروهی که نیروی محرکهٔ بزرگتری تولید می‌کنند، جهت جریان را تعیین خواهند کرد.



مثلاً: در مدار تک‌حلقهٔ مقابل، باتری‌های ε_1 و ε_2 می‌خواهند جریان **ساعتگرد** ایجاد کنند و باتری‌های ε_3 و ε_4 می‌خواهند جریان **پادساعتگرد** در مدار برقرار کنند.

← با توجه به اینکه $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 30V)$ و $(\varepsilon_3 + \varepsilon_4 = 20V)$ پس زور باتری‌های ساعتگرد بیشتر است و جریان در مدار، ساعتگرد خواهد بود.

❷ محاسبهٔ اندازهٔ جریان(I):

طبق رابطهٔ $R = \frac{V}{I}$ ، اندازهٔ جریان از رابطهٔ $I = \frac{V}{R}$ به دست می‌آید. در مدار تک‌حلقه نیز چون اندازهٔ جریان در تمام نقاط حلقه برابر است، کافی‌است از همین رابطه برای محاسبهٔ آن استفاده کنیم، اما به این نحو که **V** را برابر با «برایند تمام نیروهای محرکهٔ مدار» و **R** را برابر با «مجموع همهٔ مقاومت‌های مدار» قرار دهیم:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{محرک}} - \mathcal{E}_{\text{ضد محرک}}}{R_{eq} + r_{eq}}$$

$$I = \frac{\text{برایند نیروی باتری های محرک و ضد محرک}}{\text{مجموع مقاومت های مدار}}$$

توضیح: توجه کنید که باتری‌هایی که در خلاف جهت یکدیگر در مدار قرار گرفته‌اند نیروهای محرکهٔ یکدیگر را خنثی می‌کنند. باتری‌هایی که در جهت جریان هستند باتری‌های محرک ، و باتری‌هایی که در جهت خلاف جریان هستند باتری‌های ضد محرک نامیده می‌شوند. بنابراین بر خلاف مقاومت‌ها که همه با هم جمع می‌شوند، در باتری‌ها، مجموع نیروها برابر با **برایند** نیروی‌های باتری‌های محرک و ضد محرک است.

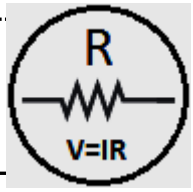
مثلاً: در مدار تک حلقهٔ بالا، اندازهٔ جریان مدار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\overbrace{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}^{\text{محرک}} - \overbrace{(\varepsilon_3 + \varepsilon_4)}^{\text{ضد محرک}}}{R + (r_1 + r_2 + r_3 + r_4)} = \frac{(18+12)-(5+15)}{5} = \frac{10}{5} = 2A$$

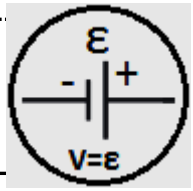
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

❸ محاسبهٔ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه(ΔV):

ما می‌دانیم که اختلاف پتانسیل دو سر یک مقاومت از رابطهٔ V=IRو اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری آرمانی نیز از رابطهٔ $V=\varepsilon$ محاسبه می‌شود. اما گاهی اختلاف پتانسیل میان دو نقطه از مدار را می‌خواهند که ممکن است میان آن‌ها اجزاء مختلفی وجود داشته باشد. برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل میان دو نقطه از مدار، کافی است که از یکی از نقاط به سمت نقطهٔ دیگر حرکت کرده و در این مسیر، پس از رسیدن به هر مقاومت یا باتری، تغییرات پتانسیل الکتریکی آن را **با توجه به همان جهتی که از آن عبور می‌کنیم** محاسبه و یادداشت کنیم تا به نقطهٔ دیگر برسیم. روش این محاسبه به صورت زیر است:



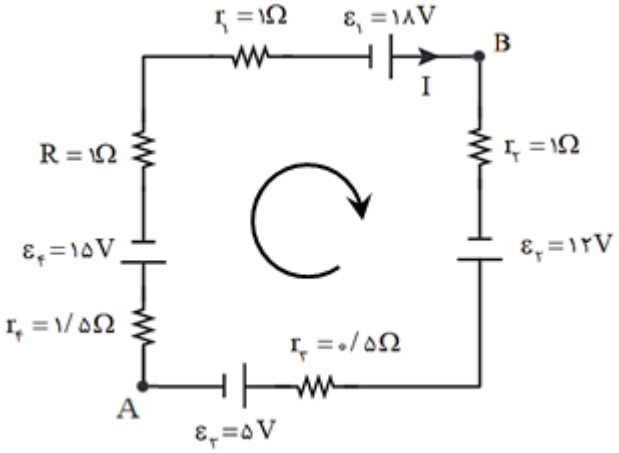
- با عبور از مقاومت (R) در **جهت جریان**، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ IR **کاهش** می‌یابد. ← $-IR$
- با عبور از مقاومت (R) در **خلاف جهت جریان**، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ IR **افزایش** می‌یابد. ← $+IR$



- با عبور از پایانهٔ **منفی** به **مثبت** باتری ، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ ε **افزایش** می‌یابد. ← $+\varepsilon$
- با عبور از پایانهٔ **مثبت** به **منفی** باتری ، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ ε **کاهش** می‌یابد. ← $-\varepsilon$

ⓘ **توجه:** توجه کنید که دو سر یک مقاومت یا باتری، پتانسیل‌های متفاوتی دارند که یکی بیشتر و دیگر کمتر است. لذا مهم است که در کدام جهت از آن‌ها عبور می‌کنید. اگر از پتانسیل بیشتر به کمتر بروید، اختلاف پتانسیل منفی می‌شود و بالعکس.

نکته: برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل میان دو نقطه، مهم نیست که از کدام نقطه شروع می‌کنید. فقط باید به علامت اختلاف پتانسیل مقاومت، در جهت‌های موافق و مخالف جریان دقت کنید. با این حال بهتر است از مسیری حرکت کنید که اجزاء کمتری دارد و محاسبات آن راحت‌تر است.



برای مثال، در مدار شکل مقابل (همان مدار مثال قبل)، اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطهٔ A و B را با پیمودن دو مسیر متفاوت (در جهت جریان و خلاف جهت جریان) به صورت زیر به دست می‌آوریم:

مشاهده می‌کنید که پاسخ از هر دو مسیر یکی است

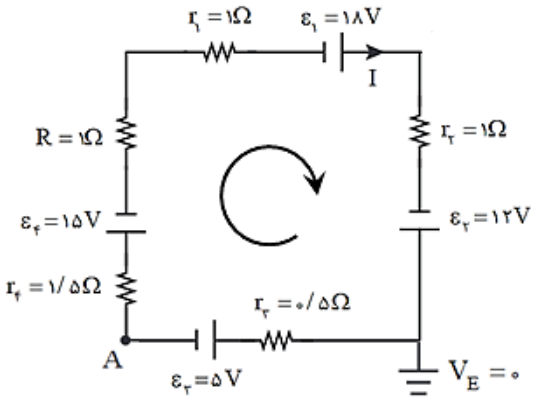
مسیر ۱: در جهت جریان $V_A - Ir_4 - \varepsilon_4 - IR - Ir_1 + \varepsilon_1 = V_B$ ⇨ $V_A - ۳ - ۱۵ - ۲ - ۲ + ۱۸ = V_B$ ⇨ $V_A - V_B = ۴V$

مسیر ۲: در خلاف جهت جریان $V_A + \varepsilon_3 + Ir_3 - \varepsilon_2 + Ir_2 = V_B$ ⇨ $V_A + ۵ + ۱ - ۱۲ + ۲ = V_B$ ⇨ $V_A - V_B = ۴V$

نکته: در این مثال ما $V_{AB} = V_A - V_B$ را محاسبه کردیم. اگر بخواهیم $V_{BA} = V_B - V_A$ را محاسبه کنیم کافیست علامت آن‌را عکس کنیم.

زیرا: $V_{AB} = -V_{BA}$

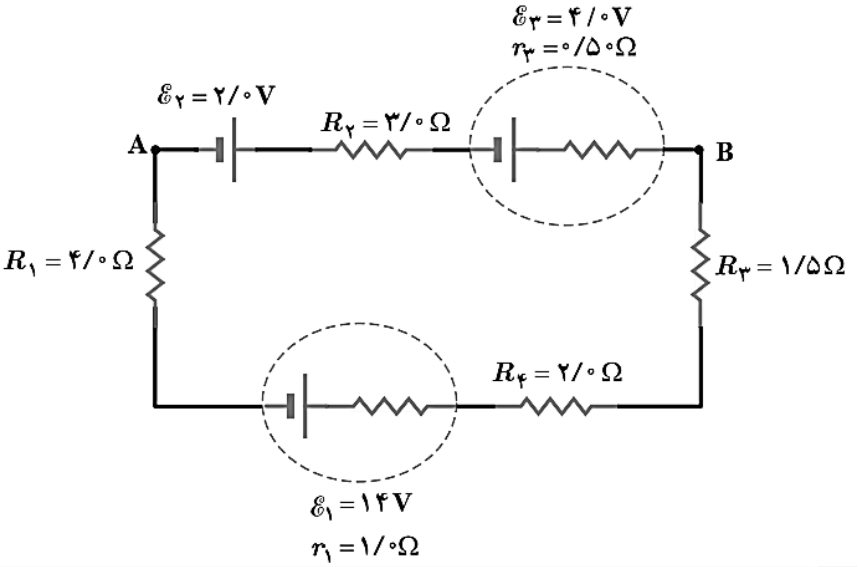
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **



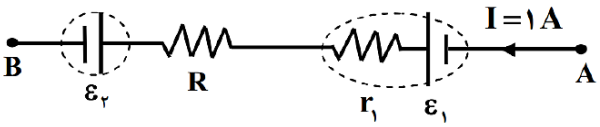
نکته: محاسبهٔ پتانسیل یک نقطه(V): در برخی مسائل ممکن است به جای اختلاف پتانسیل میان دو نقطه، پتانسیل یک نقطه (مثلاً VA در مدار مقابل) را بخواهند. در این حالت، روش کار تفاوتی نمی‌کند. برای این منظور کافی است که از آن نقطه به سمت نقطهٔ دیگری از مدار که پتانسیل مشخصی دارد حرکت کنیم و مجهول خود را بیابیم. معمولاً در چنین مواردی، یک نقطه از مدار را به عنوان زمین (با پتانسیل صفر) مشخص می‌کنند که می‌توانیم از آن نقطه به عنوان نقطهٔ دوم استفاده کنیم.

$$V_A+\varepsilon_3+Ir_3=\cancel{V_E}^{\circ}\Rightarrow V_A+5+1=0\Rightarrow V_A=-6V$$

مثال ۱۷ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۳): در مدار شکل زیر، جریان در مدار و اختلاف پتانسیل بین دو نقطهٔ A و B (V_B-V_A) را محاسبه کنید.



مثال ۱۸ (نهایی تجربی ـ خرداد ۹۹): شکل زیر قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. اگر جریان، در جهت نشان داده شده ۱A و اختلاف پتانسیل بین دو نقطهٔ A و B برابر ۹V باشد ($V_B-V_A=9V$) مقاومت R چند اهم است؟



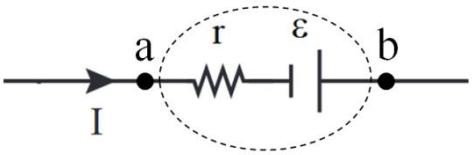
$\varepsilon_1=20V \quad \varepsilon_2=6V \quad r_1=1\Omega \quad R=?$

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

* اختلاف پتانسیل دو سر باتری واقعی

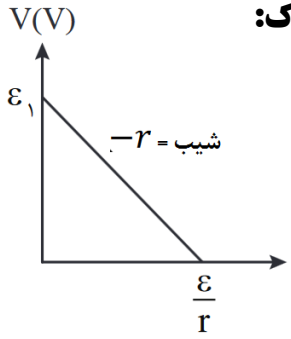
با توجه به نکات بیان شده، می‌توانیم اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری واقعی را (که دارای مقاومت داخلی r است) به دست آوریم. فقط این نکته را به یاد بیاورید که منظور از اختلاف پتانسیل دو سر باتری، $V_+ - V_-$ است، که همیشه مثبت است. پس در باتری زیر، برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل دو سر باتری باید $V_b - V_a$ را محاسبه کنیم. چه باتری محرک باشد و چه ضد محرک.

۱- اختلاف پتانسیل دو سر باتری محرک:



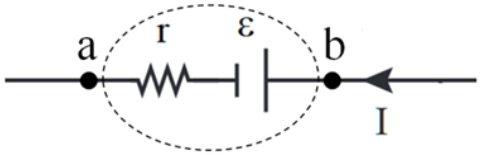
➢ باتری و جریان هم‌جهت

$$V_a + \mathscr{E} - Ir = V_b \Rightarrow \boxed{V_b - V_a = \mathscr{E} - Ir}$$



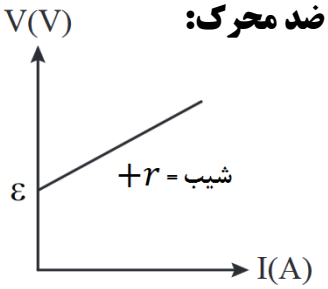
(مهم!)

۲- اختلاف پتانسیل دو سر باتری ضد محرک:



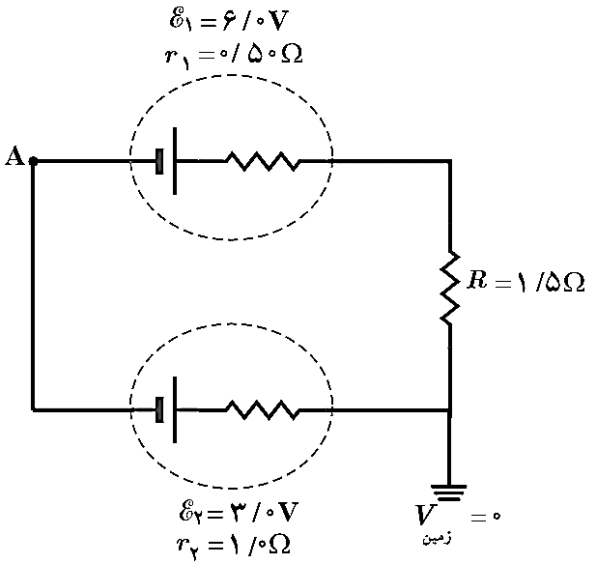
➢ باتری در خلاف جهت جریان

$$V_b - \mathscr{E} - Ir = V_a \Rightarrow \boxed{V_b - V_a = \mathscr{E} + Ir}$$



این دو رابطه را باید حفظ باشید: برای **باتری محرک:** $V = \varepsilon - Ir$ برای باتری **ضد محرک:** $V = \varepsilon + Ir$

مثال ۱۹ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۴): در شکل زیر:



الف) اختلاف پتانسیل دو سر منبع‌های نیروی محرکه را به دست آورید.

ب) پتانسیل نقطهٔ A را تعیین کنید.

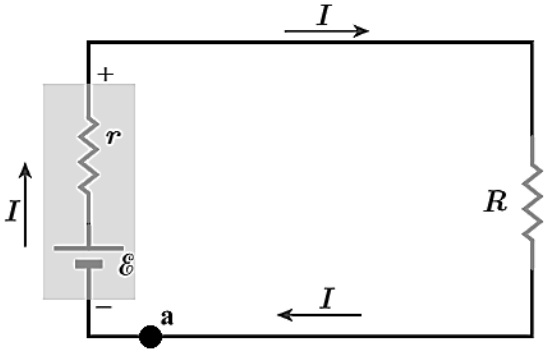
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

* قاعدهٔ حلقه (قانون ولتاژها)

تعریف قاعدهٔ حلقه: در هر دور زدن کاملِ حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است.

توضیح: می‌دانیم که هر نقطه از مدار با خودش اختلاف پتانسیل ندارد. پس اگر از یک نقطهٔ دلخواه از مدار، آغاز کنیم و جمع جبری اختلاف پتانسیل همهٔ اجزای مدار را حساب کنیم تا دوباره به همان نقطه برسیم، حاصل این جمع جبری برابر با صفر خواهد بود.

مثلاً: در شکل مقابل از نقطهٔ a در جهت جریان (ساعتگرد) شروع می‌کنیم و اختلاف پتانسیل همهٔ اجزای مدار را یادداشت می کنیم تا دوباره به نقطهٔ a برسیم.



$$V_a + \mathscr{E} - Ir - IR = V_a$$

می‌بینیم که در هر دو طرف رابطهٔ به دست آمده، V_a وجود دارد. لذا با حذف آن از دو طرف رابطه به معادلهٔ مقابل می‌رسیم:

$$\mathscr{E} - Ir - IR = 0$$

←چنان‌که ملاحظه می‌کنید، جمع جبری ولتاژ همهٔ اجزاء مدار، صفر شده است. در واقع، قاعدهٔ حلقه، چیزی جز **پایستگی انرژی** نیست.

(حفظ کنید!)

کاربردهای قاعدهٔ حلقه:

۱- این قاعده به ما می‌گوید که ولتاژی که توسط نیروی محرکهٔ باتری (یا برایند باتری‌ها) تولید می‌شود، بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود. مثلاً اگر مداری، یک باتری ۱/۵ ولتی آرمانی و یک مقاومت خارجی داشته باشد، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت نیز ۱/۵ ولت خواهد بود. اما اگر مانند شکل بالا، یک مقاومت داخلی (r) نیز به مدار اضافه شود (باتری واقعی شود)، و فرض کنیم که مقاومت داخلی، مقدار ۰/۵ ولت از ولتاژ نیروی محرکه را مصرف می‌کند، پس به مقاومت خارجی (R)، ۱ ولتِ باقی مانده رسیده است.

۲- با نوشتن این قاعده می‌توانیم یک رابطه برای حل مسائل و پیدا کردن کمیت مجهول مسأله به دست آوریم. اما خواهید دید که ما در عمل، برای حل مسائل **نیازی به استفاده از این قاعده نداریم!** چون، رابطه‌ای که قبلاً برای محاسبهٔ جریان مدار (یعنی **I**) گفتیم، صورت دیگری از همان نتیجه‌ایست که با نوشتن قاعدهٔ حلقه به دست می‌آید. مثلاً برای مدار شکل بالا:

قاعدهٔ حلقه

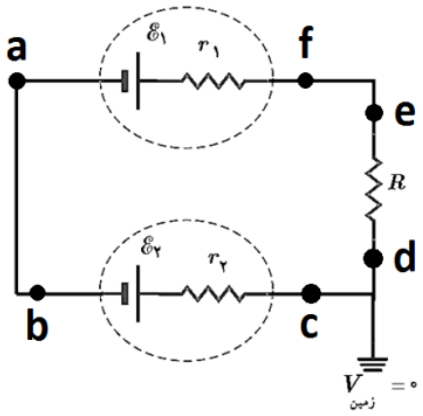
$$\mathscr{E} - Ir - IR = 0 \Rightarrow I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$$

پس می‌بینید که با نوشتن رابطهٔ جریان، انگار که قاعدهٔ حلقه را اجرا کرده‌ایم. در واقع، **رابطهٔ جریان، همان قاعدهٔ حلقه است** اما استفاده از آن آسان‌تر بوده و زودتر و راحت‌تر به نتیجه می‌رسد، زیرا بسیار منظم و منطقی چیده شده است.

ⓘ توجه: کتاب درسی چون جنبهٔ آموزشی دارد، در حل مثال‌های این قسمت از کتاب (مثال‌هایی که در کادر پایین مشخص شده‌اند)، ابتدا قاعدهٔ حلقه را نوشته و سپس به رابطهٔ **جریان** رسیده است و از طریق رابطهٔ جریان، مثال را حل کرده است. برای باتری محرک و ضد محرک نیز ابتدا رابطهٔ آن‌ها را اثبات کرده است. اما در امتحانات **نیاز نیست این راه طولانی را بروید** و می‌توانید مستقیماً از رابطهٔ جریان، و نیز روابطی که گفتیم برای باتری‌ها حفظ کنید استفاده نمایید. پس حالا بهتر است که نگاهی به مثال‌های کتاب داشته باشید:

کتاب درسی ○ مثال ۲-۳ ○ مثال ۲-۴ ○ تمرین ۲-۳ ← بر خلاف جهت جریان هم برویم باز هم پاسخ‌ها همان خواهد بود.

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

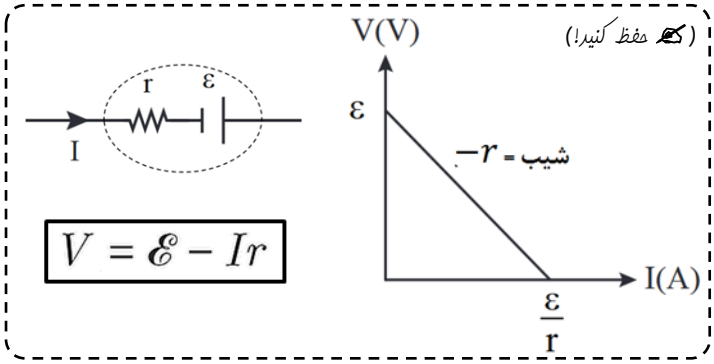


نکته: تنها با گذشتن از مقاومت یا باتری، ولتاژ در مدار تغییر می‌کند؛ پس:

- پتانسیل تمام نقاط روی یک سیم (یا سیم‌هایی که مستقیماً به یکدیگر وصلند) یکسان می‌باشد.
- پتانسیل سیم‌هایی که به زمین متصل‌اند، مشابه پتانسیل زمین (صفر) می‌باشد.

$\Rightarrow \quad V_a = V_b \quad و \quad V_e = V_f \quad و \quad V_c = V_d = 0$

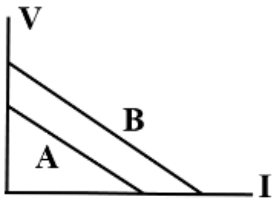
نکته: نمودار V-I برای باتری محرک، از نمودارهای مهم در این فصل است. بهتر است دربارهٔ آن کمی تأمل کنیم.



- این نمودار از رابطهٔ $V= \varepsilon - Ir$ که مربوط به باتری محرک به دست می‌آید. در ابتدا، جریانی در مدار نداریم ($I=0$) لذا عبارت Ir صفر می‌شود و خط می‌خورد. در نتیجه وقتی جریان صفر باشد $V= \varepsilon$ می‌شود. به همین دلیل، در نقطهٔ شروع نمودار، بر روی محور V، مقدار ε را مشاهده می‌کنید.
- در ادامه، هرچه جریان افزایش می‌یابد، مقدار عبارت Ir بیشتر می‌شود در حالی که مقدار ε ثابت است. پس مقدار V که برابر $\varepsilon - Ir$ است مدام کاهش می‌یابد. لذا شیب نمودار منفی است و به‌صورت خطی با شیب $-r$ کاهش می‌یابد. (**پس هرچه شیب نمودار بیشتر باشد r بیشتر است**)
- این کاهش ولتاژ تا جایی ادامه می‌یابد که $\varepsilon = Ir$ شود. در اینجا V برابر صفر می‌شود و $I=\frac{\varepsilon}{r}$ می‌شود. چنان‌که در نمودار دیده می‌شود.

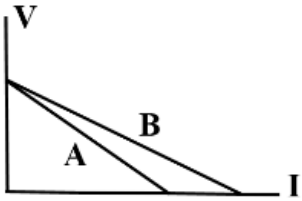
مثال ۲۰ (نهایی ریاضی و تجربی ـ خرداد ۹۰ و ۹۲ و ۹۳): درهر یک از شکل‌های زیر، نمودار V- I برای دو باتری A و B رسم شده است. نیروی محرکه و مقاومت درونی دو باتری را در هر شکل با هم مقایسه کنید.

(الف)

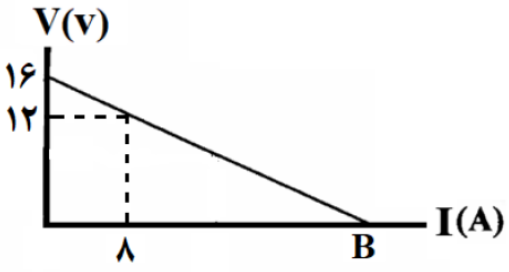


(دو خط موازی هستند)

(ب)



مثال ۲۱ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۹): شکل زیر نمودار تغییرات ولتاژ دو سر یک مولد بر حسب جریان عبوری از آن را نشان می‌دهد.



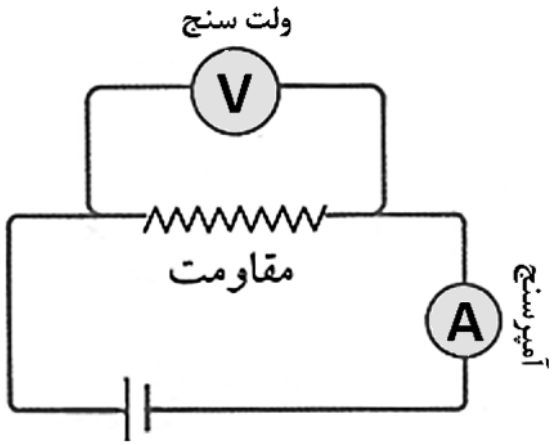
الف) نیروی محرکهٔ مولد چند ولت است؟

ب) مقاومت درونی این مولد چند اُهم است؟

پ) نقطهٔ B چند آمپر است؟

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

❋ آمپرسنج و ولت‌سنج در مدار:

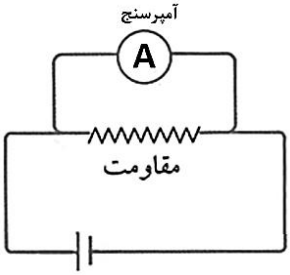


❖ **آمپرسنج:** این وسیله به‌صورت سری(متوالی) در مدار قرار می‌گیرد و اندازهٔ جریان در آن شاخه از مدار را نشان می‌دهد.

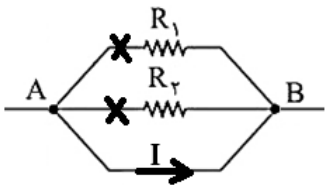
نکتهٔ مهم: مقاومت درونی آمپرسنج در حالت ایده‌آل **صفر** است.

❖ **ولت‌سنج:** این وسیله به‌صورت موازی در مدار قرار می‌گیرد و اختلاف پتانسیل میان دو نقطه از مدار را نشان می‌دهد.

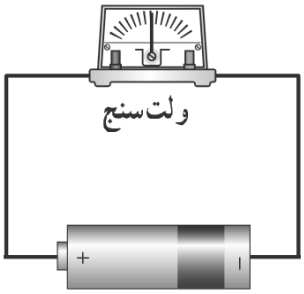
نکتهٔ مهم: مقاومت درونی ولت‌سنج در حالت ایده‌آل **بی‌نهایت** است.



نکته: اگر آمپرسنج به‌صورت موازی با شاخه (شاخه‌هایی) از مدار قرار گیرد، چون دارای مقاومت درونیِ صفر است، همانند یک سیم عمل کرده و باعث **اتصال کوتاه** می‌شود. در این صورت، جریان از شاخه‌های دیگر که موازی با آمپرسنج هستند عبور نخواهد کرد و صرفاً از شاخهٔ دارای آمپرسنج عبور می‌کند.



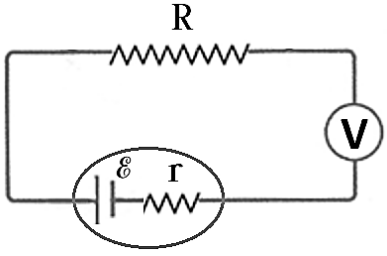
❖ **اتصال کوتاه:** هرگاه جریان‌الکتریکی برای رسیدن به یک نقطه، مسیری بدون مقاومت در اختیار داشته باشد، از مسیرهای دیگر عبور نخواهد کرد و بدین ترتیب، مسیرهای دارای مقاومت حذف می‌شوند که به این حالت **اتصال کوتاه** می‌گویند.



نکته: اگر ولت‌سنج را مستقیماً به دو سر یک باتری واقعی که جریانی در آن وجود ندارد وصل کنیم (این باتری، یا تنها است و در مدار نیست، و یا در مداری قرار دارد که قطع است)، آن‌گاه **ولت‌سنج، نیروی محرکهٔ باتری (یعنی ε) را نشان می‌دهد.** زیرا اگر جریان صفر باشد، طبق رابطهٔ $V = \varepsilon - Ir$ قسمت Ir حذف شده و $V = \varepsilon$ می‌گردد.

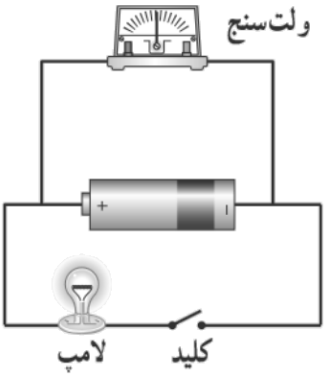
← توجه کنید که در شکل بالا، چون جریان نمی‌تواند از ولت‌سنج عبور نمی‌کند، جریان باتری نیز صفر است.

از این روش، برای به‌دست آوردن اندازهٔ ε در باتری مدار استفاده می‌شود.



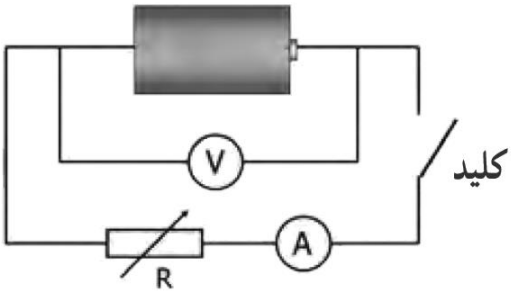
نکته: اگر ولت‌سنج به‌صورت متوالی در مدار قرار گیرد، چون دارای مقاومت بی‌نهایت است، اجازهٔ عبور جریان را از خود نمی‌دهد و در آن شاخه، جریان صفر خواهد شد. لذا در مدار تک‌حلقه، اگر ولت‌سنج به‌صورت متوالی در مسیر مدار قرار گیرد، **جریان تمام حلقه صفر می‌شود.**

اما این به معنی صفر شدن V نیست. زیرا وقتی جریان حلقه صفر می‌شود، طبق رابطهٔ $V = \varepsilon - Ir$ قسمت Ir حذف شده و ولت‌سنج اندازهٔ نیروی محرکهٔ باتری را نشان می‌دهد($V = \varepsilon$).



فعالیت ۲-۴ کتاب درسی به کمک یک باتری، سیم‌های رابط، لامپ کوچک، ولت‌سنج و کلید، مداری همانند شکل روبه‌رو درست کنید. قبل از بستن کلید، عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. سپس کلید را ببندید و دوباره عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. در کدام حالت ولت‌سنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؟ چرا؟

پاسخ: قبل از بستن کلید، چون جریان در مدار (و باتری) برقرار نیست، ولت‌سنج نیروی محرکهٔ باتری (ε) را نشان می‌دهد. در این حالت: $V = \varepsilon$. اما بعد از بستن کلید، جریان در مدار و باتری برقرار می‌شود و باتری دارای افت پتانسیل خواهد شد، در این حالت: $V = \varepsilon - Ir$ که مقدار آن کم‌تر از حالت قبل است. پس ولت‌سنجِ متصل به باتری، در هنگام باز بودن کلید (قطع بودن مدار) عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد.



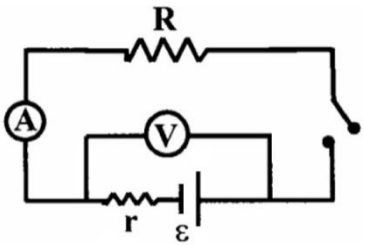
آزمایش(فعالیت ۲-۶ کتاب درسی) اندازه‌گیری مقدار مقاومت داخلی باتری:

لوازم مورد نیاز: آمپرسنج – ولت‌سنج – کلید – باتری – مقاومت(متغیر) – سیم‌های رابط

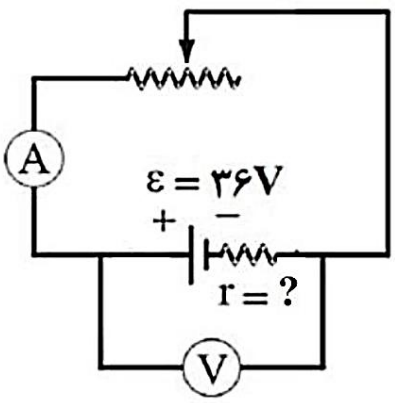
مداری همانند شکل روبه‌رو را آماده کنید. ابتدا در حالی که کلید قطع است، ولتاژ دو سر باتری را با ولت‌سنج اندازه بگیرید (← به این صورت مقدار ε باتری به دست می‌آید)، سپس کلید را ببندید و دوباره ولتاژ دو سر باتری را اندازه بگیرید (← به این صورت مقدار V باتری به دست می‌آید). همچنین در این حالت، جریان عبوری از مدار را نیز باید به کمک آمپرسنج اندازه بگیرید. حالا با استفاده از رابطهٔ $V = \varepsilon - Ir$ می‌توان مقاومت داخلی باتری را محاسبه کرد. (این آزمایش را یک‌بار برای باتری نو و یک‌بار برای باتری فرسوده انجام دهید).

نکته: تفاوت یک باتری نو و فرسوده عمدتاً در مقدار مقاومت داخلی آن است (مقاومت داخلی باتری فرسوده بسیار بیشتر است).

← به‌جای مقاومت می‌توان از یک لامپ نیز استفاده کرد. اما در یک اندازه‌گیری دقیق‌تر، از یک مقاومت خارجی متغیر استفاده می‌شود تا مقاومت داخلی باتری پس از چندین بار اندازه‌گیری محاسبه می‌شود.)



مثال ۲۲ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۰): در یک آزمایش، مداری مطابق شکل بسته می‌شود. هنگامی که کلید باز است، ولت‌سنج ۹ ولت را نشان می‌دهد و زمانی که کلید بسته است، ولت‌سنج و آمپرسنج به ترتیب، ۸ ولت و ۱ آمپر را نشان می‌دهند. مقاومت درونی این باتری چند اهم است؟

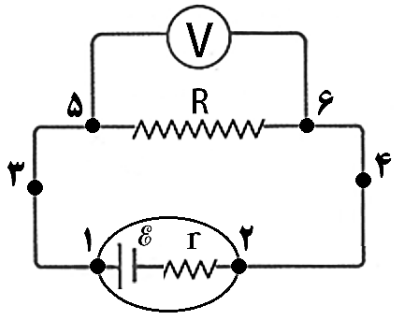


مثال ۲۳ (نهایی ریاضی ـ دی ۹۸): در مدار شکل مقابل، در وضعیت نشان داده شده، مقاومت رئوستا $8\,\Omega$ است. اگر آمپرسنج $4A$ را نشان دهد:

الف) مقاومت درونی مولد چند اهم است؟

ب) ولت‌سنج چه عددی را بر حسب ولت نشان می‌دهد؟

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

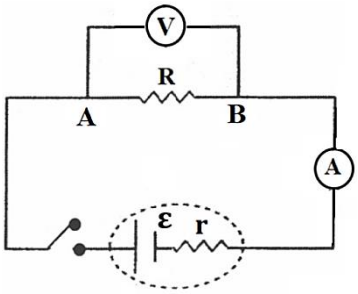


نکته: در مدار تک حلقهٔ مقابل، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R ($V_{۵۶}$) (یعنی عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد) برابر اختلاف پتانسیل دو سر باتری واقعی($V_{۲۱}$) است. چون میان این دو، فقط سیم قرار دارد و نقاط روی هر سیم نیز دارای پتانسیل برابر هستند.

$$V_۱=V_۳=V_۵ \quad و \quad V_۲=V_۴=V_۶ \rightarrow V_{۲۱}=V_{۳۴}=V_{۵۶}$$

این حالت در بسیاری از سوالات امتحانی تکرار شده است. ظاهر شکل به گونه‌ایست که دانش‌آموز، ولت‌سنج را تنها متعلق به مقاومت می‌بیند و فراموش می‌کند که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، برابر اختلاف پتانسیل نیمهٔ دیگر مدار است، لذا داده‌های مفیدی را که در آن سوی مدار برای حل مسئله وجود دارد، از دست می‌دهد. همچنین ممکن است این ولت‌سنج را به دو سر باتری واقعی وصل کنند که باز هیچ تفاوتی با شکل حاضر ندارد. پس ظاهر مدار نباید سبب شود که تحلیل ما از مدار به انحراف برود.

نکتهٔ بسیار مهم: چگونگی تغییر اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج با تغییر کمیت‌های مدار: این نکتهٔ مهم را همیشه در خاطر داشته باشید که در رابطه‌های مدار، مقدار نیروی محرکهٔ باتری (ε)، و مقدار مقاومت‌ها (R و r) همیشه ثابت است و تغییر نمی‌کند (مگر مقاومت‌های متغیر، مثل: رئوستا و پتانسیومتر). آنچه تغییر می‌کند مقدار جریان (I) است و با تغییر جریان، اختلاف پتانسیل دو سر اجزاء مدار (V) نیز تغییر می‌کند. از این نکته برای مسائلی استفاده می‌شود که از چگونگی تغییر اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج، به خاطر تغییر کمیت‌های مدار (جریان، ولتاژ، مقاومت متغیر) سوال می‌کنند.



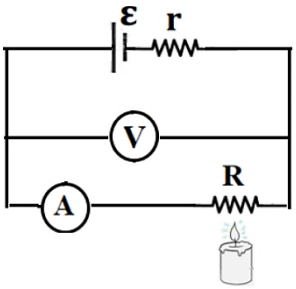
مثال ۲۴ (نهایی تجربی ـ دی ۸۹): در یک آزمایش، بین دو نقطهٔ A و B قطعه‌ای با طول معین از سیم تنگستن قرار می‌دهیم.

الف) پس از بستن کلید، مقاومت قطعه سیم را چگونه می‌توان اندازه‌گیری کرد؟

ب) اگر طول سیم بین A و B را کاهش دهیم و سپس کلید را ببندیم، اعدادی که ولت‌سنج و آمپرسنج نشان می‌دهند، هر یک چگونه تغییر می‌کنند؟

نکته: چنان‌که در این مثال دیدید، در این‌گونه سوالات، اگر در طرف راست یک رابطه (مانند V=IR) دو متغیر داشته باشیم که عکس یکدیگر تغییر می‌کنند، نمی‌توانیم قضاوتی دربارهٔ نحوهٔ تغییر کمیت سمت چپ داشته باشیم. پس باید از رابطهٔ دیگر استفاده کنیم که در این مسائل، معمولاً به این صورت است که باید از روابط طرف دیگر مدار کمک بگیریم.

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



مثال ۲۵ (نهایی ریاضی ـ شهریور ۸۸): در شکل مقابل، مقاومت R یک رشتهٔ تنگستن (رشتهٔ داخل لامپ) است. اگر شعلهٔ شمع را مطابق شکل، زیر این رشته قرار دهیم، عددهای آمپرسنج و ولت‌سنج چگونه تغییر می‌کنند؟ توضیح دهید.

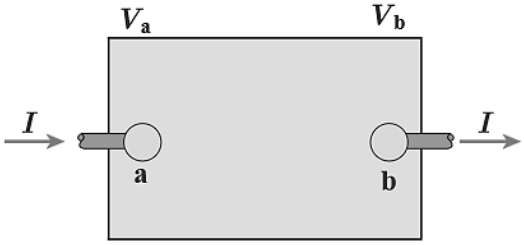
ⓘ توجه: در مدارهایی شبیه این، محل قرارگیری ولت‌سنج نباید باعث گیج شدن شما بشود! فقط کافیست به دو سر ولت‌سنج توجه کنید که در کجا قرار گرفته است تا بدانید اختلاف پتانسیل بین کدام نقاط را اندازه می‌گیرد. از خود ولت‌سنج نیز هیچ جریانی نمی‌گذرد و جزو مدار حساب نمی‌شود.

نکته: ولتاژی که روی بدنهٔ باتری‌ها درج می‌شود، در واقع نیروی محرکهٔ باتری است (یعنی ε) نه اختلاف پتانسیل دو سر باتری (V)، چون ε همواره ثابت است اما V با توجه به مقدار جریان تغییر می‌کند ($V=\varepsilon-Ir$) و هرچه جریان بیشتر شود V باتری کمتر می‌شود).

مثال ۲۶ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۱): اختلاف پتانسیل دو سر باتری خودروهای سواری برابر ۱۲ ولت است. اگر ۸ باتری قلمی ۱/۵ ولتی را به‌طور متوالی به یکدیگر وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ آن‌ها نیز برابر ۱۲ ولت می‌شود. توضیح دهید چرا در خودروها به جای باتری خودرو از هشت باتری قلمی استفاده نمی‌شود؟

پاسخ: مقاومت درونی باتری قلمی نسبتاً زیاد است. با بستن باتری‌های قلمی به‌طور متوالی، هرچند که نیروی محرکهٔ مجموعه برابر ۱۲ ولت می‌شود اما پس از برقراری جریان در خودرو، افت پتانسیل مجموعه نیز افزایش می‌یابد و ولتاژ دوسر مجموعه کمتر از ۱۲ ولت خواهد شد که برای روشن کردن اتومبیل کافی نخواهد بود. (**همچنین می‌توان گفت:** مجموع مقاومت‌های درونی ۸ باتری قلمی، زیاد است و باعث کاهش جریان برق خودرو می‌شود و چون استارت خودرو به جریان بالایی نیاز دارد این جریان برای آن کافی نخواهد بود)

☑ بخش۵: توان در مدارهای الکتریکی



شکل مقابل، یک جزء دلخواه از مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که می‌تواند مقاومت یا باتری یا ... باشد. فرض کنید که بار q در مدت زمان t تحت اختلاف پتانسیل $\Delta V=V_b-V_a$ از پایانهٔ a به b برود. با توجه به این که توان، آهنگ انجام کار است، برای محاسبهٔ توان الکتریکی این جزء از مدار می‌توان نوشت:

$$P=\frac{W}{t}=\frac{q\Delta V}{t}=\left(\frac{q}{t}\right)\Delta V=I\Delta V \Rightarrow \boxed{P=I\Delta V}$$

P : توان بر حسب وات (W)

اگر $P>0$: این جزء از مدار، به بقیهٔ مدار انرژی می‌دهد. (**توان تولیدی یا خروجی**)

اگر $P<0$: این جزء از مدار، از بقیهٔ مدار انرژی می‌گیرد. (**توان مصرفی**)