

بسمه تعالی

جزوه کمک آموزشی

## فیزیک ۲

مناسب دانش آموزان یازدهم رشته ریاضی و تجربی

فصل دوم - جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

محتوای درسنامه:

ارائه و آموزش مطالب کتاب به زبان ساده و پاسخگویی تمامی

مسائل و سوالات درسی

تهیه شده توسط:

امین گرمرودی - دبیر فیزیک (کارشناس ارشد فیزیک ذرات بنیادی)

(نسخه ۱، ۰)

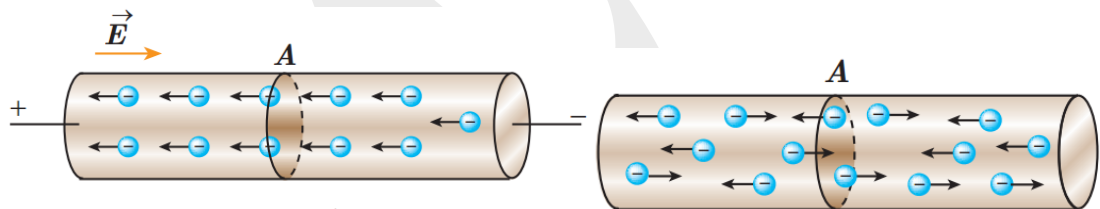
**جریان الکتریکی:** به شارش (حرکت) بارهای الکتریکی (الکترون‌ها) درون یک رسانا در مدت زمان معین را جریان الکتریکی می‌گویند.

**توجه!** جریان الکتریکی کمیتی نرده‌ای بوده و آن را با نماد  $I$  نشان می‌دهیم و یکای آن آمپر ( $A$ ) می‌باشد.

### انواع مواد از نظر رسانایی الکتریکی:

- مواد رسانا:** این مواد به راحتی بار الکتریکی را از خود عبور می‌دهند. فلزات جزو رساناها می‌باشند.
- مواد نارسانا (عایق):** این مواد بار الکتریکی را از خود عبور نمی‌دهند (یا بسیار کم عبور می‌دهند) پلاستیک، شیشه و ... از جمله مواد نارسانا می‌باشند.
- نیمه رسانا:** موادی هستند که نه به خوبی رساناها بار الکتریکی را از خود عبور می‌دهند نه مانند نارسانا بار را از خود عبور نمی‌دهند بلکه خاصیتی مابین این دو دارند. از نیم رساناهای معروف می‌توان به ژرمانیوم و سیلیسیم اشاره کرد.

**عامل ایجاد جریان الکتریکی:** در حالت عادی الکترون‌ها درون سیم به طور نامنظم (کاتوره‌ای) با تندی زیاد حرکت می‌کنند که این جریان محسوب نمی‌شود، اما اگر یک سیم یا رسانا را به یک اختلاف پتانسیل (مانند باتری) متصل کنیم، بارهای الکتریکی در جهت منظم با سرعت اندک (سرعت سوق) شروع به حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.



در حضور اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع  $A$  سیم، دیگر برابر صفر نیست.

در نبود اختلاف پتانسیل، شارش بار خالصی از مقطع معین  $A$  سیم، نداریم.

توجه! سرعت سوق داخل یک سیم رسانا تقریباً مرتبه‌ای از  $1 \text{ mm/s}$  می‌باشد که سرعت کمی می‌باشد.

## فعالیت ۲-۱

سرعت سوق الکترون‌های آزاد در یک رسانا می‌تواند به کندی سرعت حرکت یک حلزون باشد. اگر سرعت سوق الکترون‌ها این قدر کم است، پس چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟

**پاسخ فعالیت ۱-۲:** واضح است که الکترون های آزاد در تمامی طول سیم رسانا قرار دارند ، پس هنگامی که کلید را می زنیم الکترون های آزاد تمام سیم با هم شروع به حرکت می کنند چراغ روشن می شود. مانند شیلنگ پر از آب که با باز کردن شیر آب ، بلافاصله آب از انتهای شیلنگ به بیرون می آید.

**جریان الکتریکی متوسط:** نسبت مقدار بار الکتریکی جابجا شده  $\Delta q$  از سطح مقطع یک رسانا در مدت زمان معین  $\Delta t$  را جریان الکتریکی متوسط می گویند و از رابطه زیر بدست می آید:

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

**توجه!** یکای بار الکتریکی کولن C و یکای زمان ثانیه s می باشد. پس یکای جریان الکتریکی کولن بر ثانیه C/s باشد که به اختصار آن را آمپر A می نامیم.

**توجه!** دو نوع جریان الکتریکی وجود دارد: جریان مستقیم DC که با گذشت زمان جهت و مقدار جریان تغییر نمی کند ، و جریان متناوب AC که در آن جهت جریان با گذشت زمان تغییر می کند.

**توجه!** در پایه یازدهم فقط با جریان های الکتریکی ثابت و مستقیم DC سر و کار داریم.

### مثال ۱-۲



ولتاژ باتری یک نوع ماشین حساب  $3.0V$  است و وقتی ماشین حساب روشن است، این باتری باعث عبور جریان  $17mA$  در آن می شود. اگر این ماشین حساب یک ساعت روشن باشد:

الف) در این مدت چه مقدار بار از مدار می گذرد؟ ب) باتری چقدر انرژی به مدار ماشین حساب می دهد؟  
**پاسخ:** الف) باری که در یک ساعت از مدار می گذرد، با استفاده از رابطه ۱-۲ برابر است با

$$\Delta q = I(\Delta t) = (0.017 \times 10^{-2} A)(3/6 \times 10^2 s) = 0.61 C$$

ب) انرژی ای که باتری به مدار می دهد، بنابه رابطه ۱-۳  $q\Delta V$  (خارجی  $W$ ) چنین می شود:

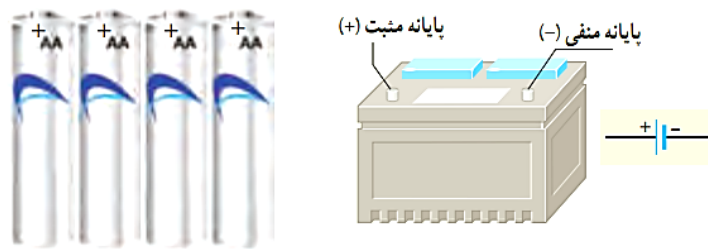
$$q\Delta V = (0.61 C)(3.0 V) = 1.8 J$$

## تمرین ۱-۲

در رابطه  $\Delta q = I(\Delta t)$  اگر  $I$  برحسب آمپر و  $\Delta t$  برحسب ساعت باشد، یکای  $\Delta q$ ، آمپر-ساعت می‌شود. باتری خودروها با آمپر-ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه با میلی-آمپر-ساعت (mAh) مشخص می‌شود. هرچه آمپر-ساعت باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

الف) باتری استاندارد خودرویی، ۵۰ Ah است. اگر این باتری جریان متوسط ۵/۰ A را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب) آمپر-ساعت نوعی از باتری‌های قلمی (AA)، برابر ۱۰۰۰ mAh است. اگر این باتری جریان متوسط ۱۰۰  $\mu$ A را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟



## پاسخ تمرین ۱-۲ :

**الف:** با استفاده از رابطه جریان به راحتی بدست می‌آید. فقط دقت کنید که چون یکای بار برحسب آمپر-ساعت می‌باشد، زمان بدست آمده نیز بر حسب ساعت خواهد بود.

$$\Delta q = I(\Delta t) \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta q}{I} = \frac{50 \text{ Ah}}{5 \text{ A}} = 10 \text{ h}$$

پس این باتری می‌تواند جریان ۵ آمپر را به مدت ۱۰ ساعت ایجاد کند.

**ب:** اینجا نیز دقت کنید که به جای m میلی مقدار  $10^{-3}$  و به جای  $\mu$  میکرو مقدار  $10^{-6}$  قرار دهید.

$$\Delta q = I(\Delta t) \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta q}{I} = \frac{1000 \text{ mAh}}{100 \mu\text{A}} = \frac{1000 \times 10^{-3} \text{ Ah}}{100 \times 10^{-6} \text{ A}} = 10^4 \text{ h}$$


پس این باتری می‌تواند جریان ۱۰۰ میکرو آمپر را به مدت ده هزار ساعت ایجاد کند.

**مقاومت الکتریکی R:** هرگاه درون یک رسانا جریان الکتریکی ایجاد شود، بارهای الکتریکی هنگام عبور از رسانا به اجزا و اتم‌های سازنده رسانا برخورد کرده و مقداری از انرژی خود را به صورت گرما از دست می‌دهند که به اصطلاح می‌گوییم رسانا دارای مقاومت الکتریکی است.

**توجه!** اگر جریان الکتریکی  $I$  تحت تاثیر اختلاف پتانسیل  $V$  در یک مدار ایجاد شود، مقاومت الکتریکی آن رسانا از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

**توجه!** مقاومت الکتریکی کمیتی نرده ای بوده و یکای آن با توجه به رابطه ذکر شده برابر  $V/A$  ولت بر آمپر می باشد که به اختصار آن را اهم می نامیم و با نماد  $\Omega$  (امگا) نشان می دهیم.

**توجه!** در رسم مدارهای الکتریکی مقاومت الکتریکی را به صورت  نشان می دهیم.

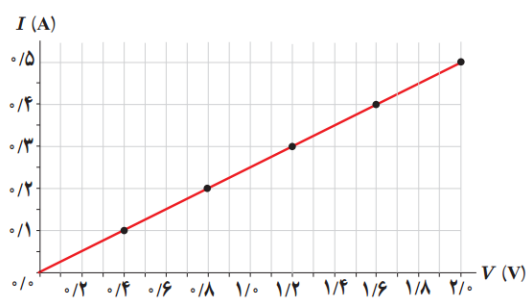
**نکته:** مقاومت الکتریکی به جنس، دما و ابعاد رسانا بستگی دارد و به جریان و اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در آن بستگی ندارد.

**توجه!** مقاومت الکتریکی و جریان الکتریکی با یکدیگر رابطه عکس دارند، یعنی هرچه قدر مقاومت یک رسانا بیشتر باشد جریان کمتری از آن عبور می کند و برعکس.

**قانون اهم:** نسبت اختلاف پتانسیل دوسر رسانا به شدت جریان عبوری از آن (به شرطی که دما ثابت بماند) مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت همان مقاومت رسانا است.

**نکته:** به رساناهایی که از قانون اهم پیروی می کنند (یعنی رساناهایی که در دمای ثابت مقاومتشان با تغییر جریان و ولتاژ تغییر نمی کند) را رساناهای اهمی می گویند. و رساناهایی که از قانون اهم پیروی نکنند را رساناهای غیراهمی می نامند.

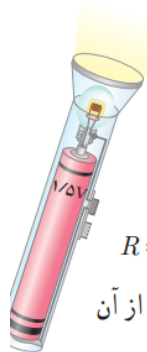
**توجه!** اکثر فلزات و رساناهای غیر فلزی از قانون اهم پیروی می کنند. نمودار ولتاژ-جریان رساناهای اهمی به صورت زیر است:



این نمودار نشان می دهد که در رساناهای اهمی با افزایش جریان مقدار اختلاف پتانسیل نیز به همان نسبت افزایش می یابد و بلعکس.

**توجه!** دیود نورگسیل (LED) وسیله ای است که از قانون اهم پیروی نمی کند. در ادامه توضیحات بیشتری در مورد دیودها خواهیم داد.

## مثال ۲-۲



یک لامپ چراغ قوه کوچک از یک باتری ۱٫۵V، جریانی برابر  $0.3\text{ A}$  می‌کشد. با فرض آنکه رشته لامپ، یک رسانای اهمی باشد، الف) مقاومت آن چقدر است؟ ب) اگر باتری ضعیف شود و ولتاژ به  $1.2\text{ V}$  افت کند، جریان چقدر می‌شود؟

**پاسخ:** الف) با استفاده از رابطه ۲-۲ برای مقاومت رشته لامپ داریم:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5\text{V}}{0.3\text{A}} = 5.0\Omega$$

ب) دوباره از رابطه ۲-۲ استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه اکنون مقاومت رشته لامپ را داریم، جریان عبوری از آن

چنین می‌شود:

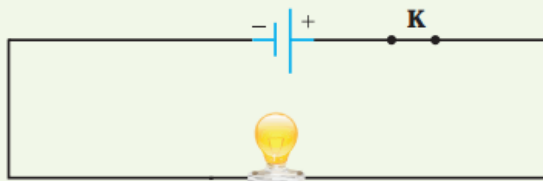
$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.2\text{V}}{5.0\Omega} = 0.24\text{A}$$

۱ در کدام یک از شکل‌های زیر، لامپ روشن می‌شود؟



**پاسخ تمرین ۱ آخر فصل:** توجه داشته باشید که مدار باید دارای مسیری دایره ای شکل برای ورود بار به وسیله و خروج آن از طرف دیگر وسیله باشد. گزینه الف روشن نمی‌شود زیرا فقط یک راه برای ورود بار به لامپ وجود دارد و راه خروجی وجود ندارد. در گزینه ب نیز سیم فقط به یک قطب (پایانه) باتری وصل شده است و اختلاف پتانسیل ایجاد نمی‌شود. در گزینه پ شرایط برای روشن شدن لامپ مهیا است.

۲ در مدار شکل زیر اختلاف پتانسیل دو سر لامپ  $4.0\text{ V}$  و مقاومت آن  $5.0\Omega$  است. در مدت ۵ دقیقه چه تعداد الکترون از لامپ می‌گذرد؟



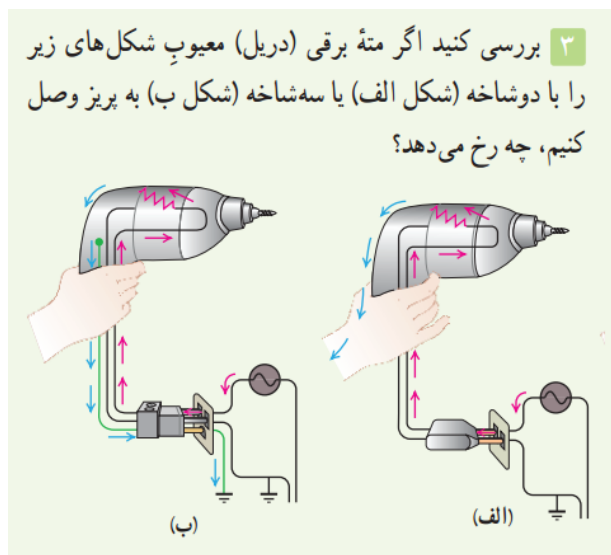
**پاسخ تمرین ۲ آخر فصل:** با استفاده از قانون اهم جریان الکتریکی را بدست می‌آوریم و سپس مقدار بار عبوری و

در نهایت تعداد الکترون‌ها بدست می‌آید:

$$R = \frac{V}{I} \rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{\epsilon v}{5 \Omega} = 0.8 A$$

$$q = I \Delta t \rightarrow q = 0.8 A \times 300 s = 240 C$$

$$q = ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{240 C}{1.6 \times 10^{-19} C} = 1.5 \times 10^{21}$$



**پاسخ تمرین ۳ آخر فصل:** سیم دریل کنده شده و به بدنه وصل است. در حالت اول که دریل دو شاخه ساده دارد جریان الکتریکی راهی جز ورود به دست انسان ندارد و موجب برق گرفتگی او می شود. اما در حالت دوم چون سیم اتصال به زمین وجود دارد جریان الکتریکی از سیم اتصال به زمین (که مقاومت الکتریکی کمتری نسبت به بدن انسان دارد) به زمین وارد می شود و فرد دچار برق گرفتگی نمی گردد.

۴ آذرخش مثالی جالب از جریان الکتریکی در پدیده های طبیعی است. در یک آذرخش نوعی  $10^9 J$  انرژی تحت اختلاف پتانسیل  $5 \times 10^7 V$  در بازه زمانی  $0.2 s$  آزاد می شود. با استفاده از این اطلاعات الف) مقدار بار کل منتقل شده بین ابر و زمین، ب) جریان متوسط در یک یورش آذرخش و پ) توان الکتریکی آزاد شده در  $0.2 s$  را به دست آورید.

**پاسخ تمرین ۴ آخر فصل:**

**الف:** از فصل قبل می دانیم که رابطه انرژی الکتریکی و بار و اختلاف پتانسیل به صورت زیر است:

$$U = q \Delta V \rightarrow q = \frac{U}{\Delta V} = \frac{1 \times 10^9 J}{5 \times 10^7 V} = 20 C$$

**ب:** جریان متوسط به صورت زیر بدست می آید:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{20 \text{ C}}{2 \times 10^{-1} \text{ s}} = 100 \text{ A}$$

**پ:** نسبت انرژی به مدت زمان برابر با توان می باشد:

$$P = \frac{U}{\Delta t} = \frac{1 \times 10^9 \text{ J}}{2 \times 10^{-1} \text{ s}} = 5 \times 10^9 \text{ W}$$

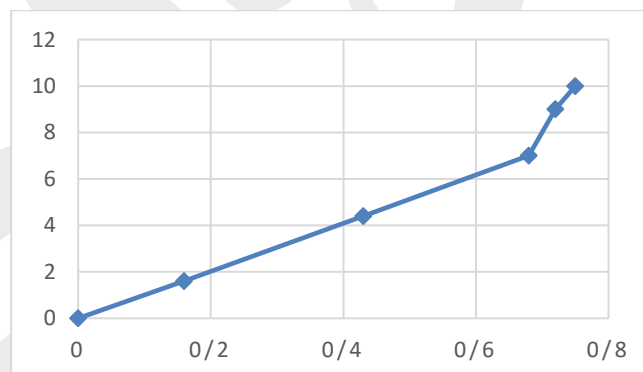
۵ در آزمایش تحقیق قانون اهم، نتایج جدول زیر به دست آمده است.

شماره آزمایش	عدد ولت سنج (V)	عدد آمپر سنج (A)
۱	صفر	صفر
۲	۱/۶	۰/۱۶
۳	۴/۴	۰/۴۳
۴	۷/۰	۰/۶۸
۵	۹/۰	۰/۷۲
۶	۱۰/۰	۰/۷۵

نمودار ولتاژ بر حسب جریان را رسم کنید و با فرض ثابت ماندن دما تعیین کنید در چه محدوده‌ای رفتار این مقاومت از قانون اهم پیروی می کند.

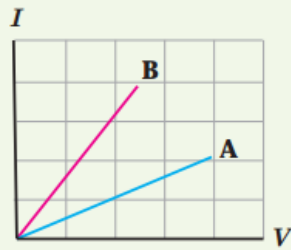
**پاسخ تمرین ۵ آخر فصل:** با توجه به نموداری که رسم کرده ایم، تا زمانی که نمودار این رسانا خط راست است

از قانون اهم پیروی می کند، پس در محدوده جریان و ولتاژ صفر تا جریان ۰,۶۸ آمپر و ولتاژ ۷ ولت به صورت رسانای اهمی می باشد.





۶ شکل زیر نمودار  $I-V$  را برای دو رسانای A و B نشان می دهد. مقاومت کدام یک بیشتر است؟ چرا؟



**پاسخ تمرین ۶ آخر فصل:** با توجه به شکل مشاهده می کنیم نمودار B با ولتاژ کمتر جریان بیشتری از خود عبور می دهد و اما شیب نمودار A کمتر است یعنی با جریان کمتری از خود عبور می دهد پس می توانیم نتیجه بگیریم چون نمودار A جریان کمتری از خود عبور می دهد و مقاومت بیشتری دارد.

### عوامل موثر بر مقاومت الکتریکی:

۱. **مساحت سطح مقطع A (ضخامت سیم):** هر چه مساحت سطح مقطع رسانا بیشتر باشد جریان به راحتی عبور خواهد کرد و مقاومت کمتر می شود.
  ۲. **طول رسانا (L):** هر چه طول رسانا بیشتر باشد، مقاومت رسانا افزایش می یابد.
  ۳. **جنس رسانا:** مقاومت هر رسانا با رسانای دیگر متفاوت است.
  ۴. **دما T:** هر چه دما افزایش یابد مقاومت یک جسم بیشتر خواهد شد.
- مقاومت رسانا بر اساس ساختار آن (در دمای ثابت): مقاومت یک رسانا با توجه به جنس و ساختار ظاهری آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

که در آن:

L: طول رسانا بر حسب متر m است

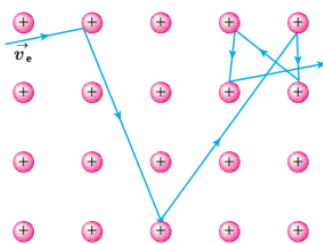
A: مساحت سطح مقطع رسانا بر حسب  $m^2$  است.

$\rho$ : مقاومت ویژه رسانا می باشد که به جنس ماده بستگی دارد و برای هر ماده ای مقدار خاصی می باشد و یکای آن  $m$ .  
 $\Omega$  اهم متر است.

در جدول زیر مقاومت ویژه برخی از مواد را مشاهده می کنید:

جدول ۲-۲ - مقاومت ویژه در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و ضریب دمایی مقاومت ویژه برخی از رساناها و نیم رساناها

ماده	مقاومت ویژه $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	ضریب دمایی مقاومت ویژه $\alpha$ ( $\text{K}^{-1}$ )
<b>رسانای فلزی</b>		
نقره	$1/6 \times 10^{-8}$	$4/1 \times 10^{-3}$
مس	$1/7 \times 10^{-8}$	$4/3 \times 10^{-3}$
طلا	$2/4 \times 10^{-8}$	$2/4 \times 10^{-3}$
آلومینیم	$2/8 \times 10^{-8}$	$4/4 \times 10^{-3}$
تنگستن	$5/5 \times 10^{-8}$	$4/5 \times 10^{-3}$
آهن	$9/7 \times 10^{-8}$	$6/5 \times 10^{-3}$
<b>عایق</b>		
انواع شیشه	$10^{10} - 10^{12}$	
لاستیک سخت	$10^{13}$	
کوارتز (ذوب شده)	$10^{16}$	
نیکروم <sup>۲</sup>	$100 \times 10^{-8}$	$4/0 \times 10^{-3}$
کنستانتان <sup>۱</sup>	$44 \times 10^{-8}$	$2/0 \times 10^{-6}$
سرب	$22 \times 10^{-8}$	$4/3 \times 10^{-3}$
بلاتین	$10 \times 10^{-8}$	$3/9 \times 10^{-3}$
گرافیت	$3/5 \times 10^{-5}$	$-5 \times 10^{-2}$
زرمانیم	$0/46$	$-5 \times 10^{-2}$
سیلیسیم خالص	$2/5 \times 10^3$	$-7 \times 10^{-2}$



**تغییر مقاومت رسانا با افزایش دما:** ارتعاشات شبکه اتمی یک رسانا با افزایش دما بیشتر می شود به طوری که این افزایش ارتعاش سبب برخوردهای بیشتر الکترون ها با شبکه اتمی شده و میزان جریان عبوری از مقطع رسانا کاهش یافته و مقاومت ویژه و در نتیجه مقاومت الکتریکی رسانا افزایش می یابد.

### رابطه مقاومت ویژه رسانا با دما :

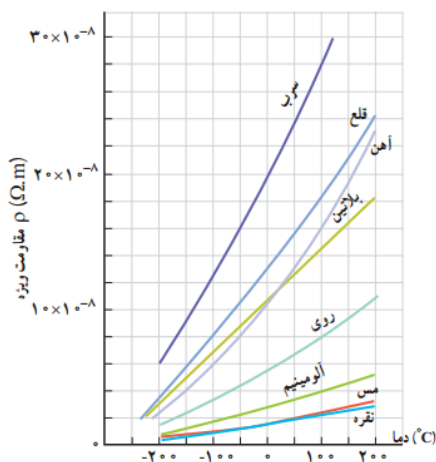
$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

در این رابطه  $T_0$  دمای مرجع ( $20^{\circ}\text{C}$ ) و  $\rho_0$  مقاومت ویژه رسانا در دمای مرجع است.

$\alpha$  عدد ثابتی است موسوم به ضریب دمایی مقاومت ویژه است که یکای آن  $\text{K}^{-1}$  یا  $\text{C}^{-1}$  است.

**توجه:** در این رابطه فرقی نمی کند که دما را برحسب کلوین  $K$  یا سلسیوس  $\text{C}$  قرار دهیم . اما نباید دما را برحسب فارنهایت  $F$  جایگذاری کنیم و اگر در مساله ای دما بر حسب فارنهایت بود باید آن را به سلسیوس یا کلوین تبدیل کنیم و سپس در رابطه قرار دهیم.

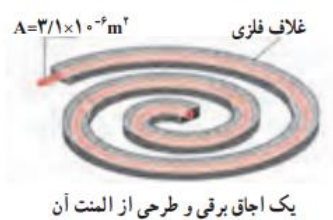
در جدول زیر تغییر مقاومت ویژه چند رسانا را با افزایش دما مشاهده می کنید:



**رفتار متفاوت نیم رساناها با افزایش دما:** نیم رساناها در دماهای پایین حامل های بار کمی دارند و عملاً نارسانا محسوب می شوند، اما هنگامی که دما افزایش می یابد رفتار متفاوتی از خود نشان می دهند به این ترتیب که حامل های بار به قدری افزایش می یابد که سبب رسانا شدن آن ها می گردد.

نکته: ضریب دمایی مقاومت ویژه نیم رساناها منفی است. یعنی با افزایش دما مقاومتشان کاهش می یابد.

### مثال ۲-۳



شکل روبه‌رو، المنت یک اجاق برقی را نشان می‌دهد. این المنت شامل سیمی به طول  $1/1\text{m}$  و سطح مقطع  $3/1 \times 10^{-6}\text{m}^2$  است که داخل ماده‌ای عایقی قرار گرفته است که خود، درون یک غلاف فلزی است. با عبور جریان، المنت داغ می‌شود. مقاومت ویژه ماده‌ی سازنده سیم در دمای  $T_0 = 32^\circ\text{C}$  برابر با  $\rho_0 = 6/8 \times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$  است و ضریب دمایی مقاومت ویژه آن  $\alpha = 2/0 \times 10^{-2}\text{K}^{-1}$  است. مقاومت سیم در دمای  $42^\circ\text{C}$  چقدر است؟

**پاسخ:** مقاومت ویژه  $\rho$  را از رابطه  $\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$  حساب می‌کنیم:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] = (6/8 \times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m})[1 + (2/0 \times 10^{-2}\text{K}^{-1})(10^\circ\text{K})]$$

$$= 8/2 \times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$$

حال از رابطه ۳-۲ مقاومت سیم در دمای  $42^\circ\text{C}$  برابر است با

$$R = \rho \frac{L}{A} = (8/2 \times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}) \frac{(1/1\text{m})}{(3/1 \times 10^{-6}\text{m}^2)} = 29\Omega$$

## مثال ۲-۵

سیم کشی خانه‌ها معمولاً با سیم‌های مسی نمره ۱۴ بر اساس استاندارد SWG صورت می‌گیرد که قطری برابر با  $2/032 \text{ mm}$  دارد. مقاومت  $100 \text{ m}$  از این سیم‌ها در دمای اتاق چقدر است؟

**پاسخ:** مساحت مقطع این سیم برابر است با

$$A = \pi r^2 = \pi D^2/4 = (3/14)(2/032 \times 10^{-3} \text{ m})^2/4 = 3/24 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

از طرفی مقاومت ویژه سیم مسی در دمای  $20^\circ \text{C}$  با استفاده از جدول ۲-۲، برابر  $1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  و طول سیم مسی  $100 \text{ m}$  است. بنابراین، با استفاده از رابطه  $R = \rho L/A$  برای مقاومت سیم مسی خواهیم داشت:

$$R = \rho \frac{L}{A} = (1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{(100 \text{ m})}{(3/24 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 0/522 \Omega$$

**۷** دو رسانای فلزی از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپری به قطر  $1/0 \text{ mm}$  است. رسانای B لوله‌ای توخالی به شعاع خارجی  $2/0 \text{ mm}$  و شعاع داخلی  $1/0 \text{ mm}$  است. مقاومت رسانای A چند برابر مقاومت رسانای B است؟

**پاسخ تمرین ۷ آخر فصل:** هر دو طول یکسانی دارند اما مساحت سطح مقطع شان متفاوت است. مساحت هر دو را بدست می‌آوریم، در فرمول مقاومت R قرار می‌دهیم و با هم مقایسه می‌کنیم:

$$\text{مساحت } A = \text{شعاع}^2 \times \pi = \left(\frac{1}{2} \times 10^{-3} \text{ m}\right)^2 \times \pi = \frac{1}{4} \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2$$

مساحت قسمت توخالی - مساحت کل سیم = مساحت B

$$= (2 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times \pi - (1 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times \pi \\ = 4 \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2 - 1 \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2 = 3 \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2$$

$$\text{مقاومت } A = R_A = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\frac{1}{4} \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2}$$

$$\text{مقاومت } B = R_B = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{3 \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2}$$

$$\frac{\text{مقاومت } A}{\text{مقاومت } B} = \frac{\rho \frac{L}{\frac{1}{4} \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2}}{\rho \frac{L}{3 \times 10^{-6} \pi \text{ m}^2}} = 12$$

پس مقاومت A به میزان ۱۲ برابر مقاومت B است.

۸ در ماشین‌های چمن‌زنی برقی برای مسافت‌های حداکثر تا ۳۵ m از سیم‌های مسی نمرة ۲۰ (قطر ۰/۰۸ cm) و برای مسافت‌های طولانی‌تر از سیم‌های ضخیم‌تر نمرة ۱۶ (قطر ۰/۱۳ cm) استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب مقاومت سیم را تا آنجا که ممکن است کوچک نگه دارند. الف) مقاومت یک سیم ۳۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ ب) مقاومت یک سیم ۷۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ (دمای سیم‌ها را  $20^{\circ}\text{C}$  در نظر بگیرید.)

### پاسخ تمرین ۸ آخر فصل :

**الف:** یک سیم ۳۰ متری از نوع نمرة ۲۰ خواهد بود، پس داریم:

شعاع سیم:  $m \times 10^{-4} \times 4$ ، طول سیم:  $m \times 30$ ، مقاومت ویژه مس:  $10^{-8} \times 1/7$

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{30 \text{ m}}{(4 \times 10^{-4} \text{ m})^2 \times \pi} = 1.01 \Omega$$

**ب:** یک سیم ۷۰ متری از نوع نمرة ۱۶ خواهد بود پس داریم:

شعاع سیم:  $m \times 10^{-4} \times 6.5$ ، طول سیم:  $m \times 70$ ، مقاومت ویژه مس:  $10^{-8} \times 1/7$

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{70 \text{ m}}{(6.5 \times 10^{-4} \text{ m})^2 \times \pi} = 0.89 \Omega$$

۹ مقاومت رشته درونی یک برشته‌کن که از جنس نیکروم است، در حالت روشن (دمای  $120^{\circ}\text{C}$ ) برابر  $44 \Omega$  است. مقاومت این رشته در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  چقدر است؟ (از تغییر طول و قطر رشته در اثر تغییر دما چشم‌پوشی شود).

**پاسخ تمرین ۹ آخر فصل :** می‌دانیم مقاومت ویژه یک رسانا در دماهای مختلف از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

که در این رابطه  $T_0$  دمای مرجع ( $20^\circ \text{C}$ ) و  $\rho_0$  مقاومت ویژه رسانا در دمای مرجع است.

از این رابطه برای مقاومت رسانا نیز میتوانیم بنویسیم:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

با استفاده از رابطه بالا مقاومت این رسانا در دمای  $20^\circ$  درجه برابر خواهد بود با:

$$R_0 = \frac{R}{[1 + \alpha(T - T_0)]} = \frac{44 \Omega}{[1 + 4 \times 10^{-4} \times (1200 - 20)]} = 29.89 \Omega$$

**انواع مقاومت ها:** کار اصلی مقاومت ها در مدار کنترل جریان عبوری می باشد که به دو نوع اصلی تقسیم می شوند:

### ۱. مقاومت پیچه ای ۲. مقاومت ترکیبی

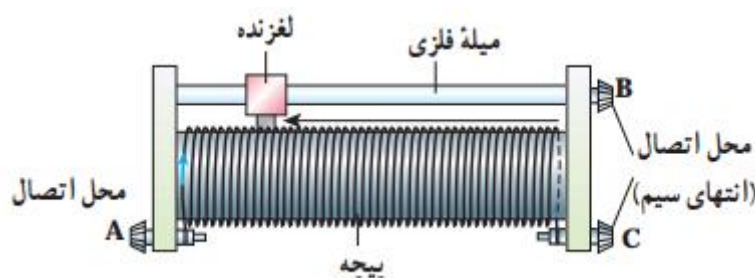
**مقاومت پیچه ای:** همانطور که از نامش پیداست این مقاومت ها شامل پیچه ای از یک سیم نازک هستند که معمولاً از جنس آلیاژهایی مانند نیکروم یا منگانهین می باشند. در شکل زیر ساختمان یک مقاومت پیچه ای را مشاهده می کنید:



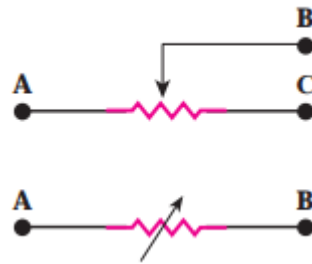
**کاربرد مقاومت پیچه ای:** برای بدست آوردن مقاومت های کوچک بسیار دقیق و همچنین توان های بالا به کار می رود.

**توجه:** از معروف ترین مقاومت های پیچه ای می توان به رئوستا و پتانسیومتر اشاره کرد که هر دو مقاومت های پیچه ای متغیر می باشند. به عبارتی می توان اندازه مقاومت این وسیله ها را تغییر داد.

**رئوستا:** مقاومتی است که توسط سیم هایی با مقاومت بالا که به دور یک استوانه نارسا پیچیده شده اند ساخته شده است. این نوع مقاومت دکمه ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه است می لغزد و میتوان به کمک این دکمه مقدار مقاومت را تغییر داد. شکل زیر:



نماد یک پتانسیومتر یا رئوستا در مدار به شکل زیر می باشد:

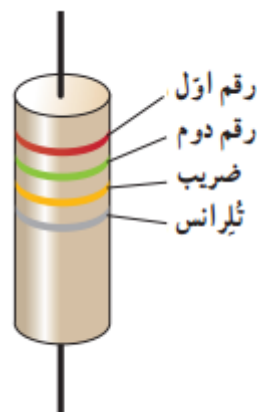


**مقاومت ترکیبی:** این نوع مقاومت که به احتمال زیاد دیده اید معمولاً از ماده‌هایی مانند کربن، برخی نیم رساناها و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته می‌شوند. مقدار اندازه این مقاومت‌ها را به صورت نوارهای رنگی روی آن مشخص می‌کنند که هر رنگ بیانگر عدد خاصی می‌باشد.

در جدول زیر مقدار عددی هر رنگ نشان داده شده است:

جدول ۲-۳-۴ کد رنگی مقاومت‌ها	رنگ	عدد	ضریب	تولرانس
	سیاه	۰	۱	
	قهوه‌ای	۱	$10^1$	
	قرمز	۲	$10^2$	
	نارنجی	۳	$10^3$	
	زرد	۴	$10^4$	
	سبز	۵	$10^5$	
	آبی	۶	$10^6$	
	بنفش	۷	$10^7$	
	خاکستری	۸	$10^8$	
	سفید	۹	$10^9$	
	طلایی		$10^{-1}$	٪۵
	نقره‌ای		$10^{-2}$	٪۱۰
	بی‌رنگ			٪۲۰

**نحوه خواندن مقدار مقاومت ترکیبی از روی رنگ‌های آن :** به شکل زیر توجه کنید، یک مقاومت ترکیبی است که چندین حلقه رنگی روی آن قرار دارد:

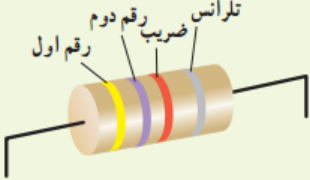


رنگ‌های مقاومت را از طرفی می‌خوانیم که به انتهای مقاومت نزدیکتر است. مثلاً در مقاومت شکل بالا رنگ قرمز به انتهای مقاومت نزدیکتر می‌باشد پس از رنگ قرمز شروع به خواندن می‌کنیم. دو رنگ اول دو رقم اول مقاومت را نشان می‌دهند، رنگ سوم ضریبی است که به صورت  $10^n$  به دو رقم قبلی اضافه می‌شود. رنگ چهارم که به صورت طلایی

یا نقره ای است تلرانس نامیده می شود که درصد خطا (یا انحراف) مجاز از مقدار مقاومت است. اگر حلقه چهارم نباشد به معنایی خطای ۲۰ درصد از مقدار مقاومت می باشد.

برای درک بیشتر مطلب تمرین ۲-۲ کتاب را حل می کنیم:

**تمرین ۲-۲**



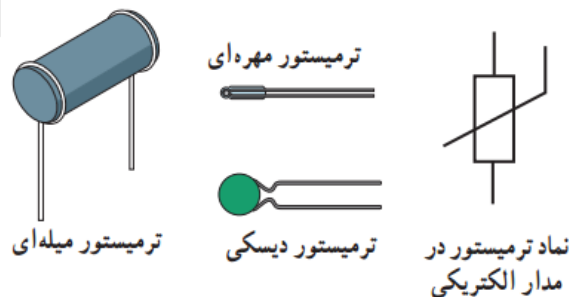
مقدار مقاومت نشان داده شده در شکل، و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت، بر حسب اهم چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۲-۲:** مقدار مقاومت را به صورت  $[ ] \times 10^n \pm [ ]$  خواهیم نوشت در خانه اول رنگ زرد قرار خواهد گرفت که در جدول ذکر شده رنگ زرد برابر با ۴ می باشد در خانه دوم مقدار رنگ بنفش که در جدول ۷ است قرار خواهد گرفت و رنگ سوم که رنگ قرمز است و مقدار آن در جدول ۲ می باشد به جای  $n$  قرار خواهد گرفت و رنگ چهارم که نقره ای است درصد خطای ما را نشان خواهد داد که برابر ده درصد می باشد. پس اندازه گیری مقاومت ما به صورت زیر خواهد بود:

$$47 \times 10^2 \pm 10\%$$

### مقاومت های خاص: ۱. ترمیستور ۲. مقاومت های نوری (LDR)


**ترمیستور:** نوعی مقاومت متغیر حساس به دما است که به وسیله تغییرات دمایی، مقاومتش تغییر می کند. در واقع با اندازه گیری مقاومت یک ترمیستور، می توان دمای آنرا تعیین نمود. به همین دلیل این ابزار بعنوان سنسور دما مورد استفاده قرار می گیرند. ترمیستورها معمولاً از مواد نیمه رسانا تشکیل شده اند. از این رو در دماهای بالا، زودتر خراب شده و عمر کوتاه تری دارند. مقاومت اغلب آنها با افزایش دما افزایش می یابد که به این نوع پی تی سی PTC گفته می شود و در برخی از انواع دیگر مقدار مقاومت با افزایش دما کاهش می یابد که اصطلاحاً به آنها ان تی سی NTC یا مقاومت دارای ضریب دمایی منفی گفته می شود. ترمیستورها شکل های متفاوتی دارند که عبارتند از دیسکی، مهره ای و میله ای.



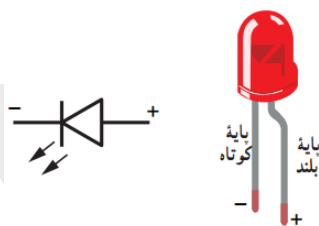


**۲. مقاومت های نوری LDR :** نوعی از مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به شدت نوری که به آن تابیده می شود بستگی دارد. به این صورت که با افزایش شدت نور تابیده شده مقاومت الکتریکی اش کاهش پیدا می کند. از مقاومت ها در تجهیزات گوناگونی از جمله چشم های الکترونیکی ، دزدگیر ها، کنترل کننده های خودکار و چراغ های روشنایی خیابان استفاده می شود.

**دیود:** وسیله ای است که هرگاه در مداری قرار گیرد، جریان الکتریکی را تنها از یک سو از خود عبور می دهد ، به همین علت است که به دیود یک سو کننده نیز می گویند.

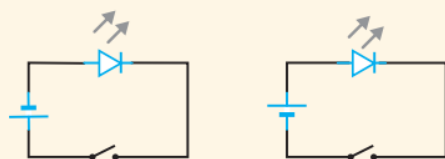
**توجه!** دیود ها را در مدار با نماد  نشان می دهند که جهت پیکان نشان می دهد که جریان چگونه می تواند از این دیود عبور کند. ، به عبارتی اگر مثلاً در شکل بالا جریان از چپ به راست باشد دیود مقاومت الکتریکی پایینی داشته و به راحتی جریان را از خود عبور می دهد و اگر جریان از راست به چپ شود ناگهان مقاومت دیود افزایش یافته و مانع عبور جریان می گردد.

**دیود نورگسیل LED :** معروف ترین نوع دیود ، LED یا دیود نورگسیل است که هنگام عبور جریان از این نوع دیود ها نور منتشر می شود. دیود های نورگسیل به دلیل نور زیاد و مصرف کم کاربردهای فراوانی دارند.

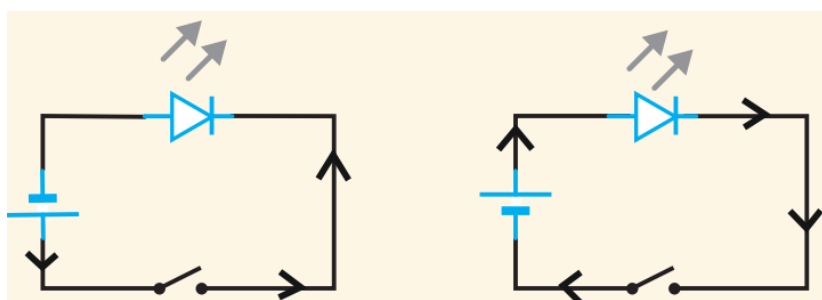


### پرسش ۱-۲

در کدام شکل با بستن کلید، LED روشن می شود؟



**پاسخ پرسش ۱-۲ :** جهت جریان ایجاد شده توسط باتری همواره از قطب مثبت (خط بزرگتر) به سمت قطب منفی (خط کوچکتر باتری) می باشد پس باتری در هر یک به صورت زیر می تواند جریان ایجاد کند:



با توجه به شکل جریان در مدار ایجاد می شود که هم جهت با پیکان دیود باشد در نتیجه جریان در شکل سمت راست برقرار می شود.

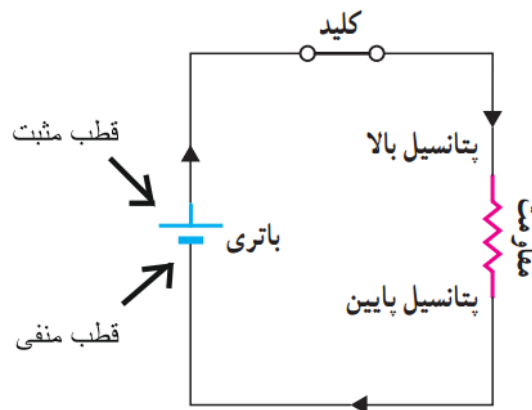
## نیروی محرکه الکتریکی و مدارها

**توجه!** برای ایجاد جریان الکتریکی باید اختلاف پتانسیل ایجاد شود، این وظیفه بر عهده وسیله هایی مانند باتری می باشد.

**منبع نیروی محرکه الکتریکی (emf):** به وسیله هایی مانند باتری که با انجام کار روی بارها اختلاف پتانسیل ایجاد می کنند مولد می گویند.

**ساز و کار منبع نیروی محرکه الکتریکی:** منبع نیروی محرکه بارهای مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی از پتانسیل پایین تر به پتانسیل بالاتر می برد. و باعث جریان الکتریکی می گردد. این عمل را میتوانیم با تلمبه آب مقایسه کنیم که آب را از ارتفاع پایین به ارتفاع بالا می برد.

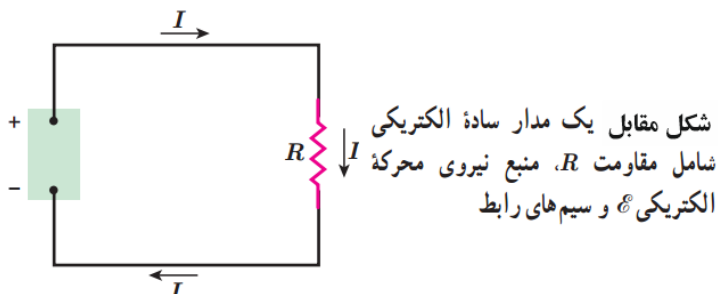
**نکته:** همانطور که در شکل زیر می بینید، قطب مثبت و منفی باتری را مشخص کرده ایم، توجه داشته باشید که جریان در مدار همواره از قطب مثبت به سمت قطب منفی می باشد.



**توجه!** در اینجا ما حرکت بارهای مثبت را در نظر گرفته ایم که قراردادی می باشد اما می دانیم که بارهای مثبت حرکت نمی کنند. پس در حقیقت اگر بخواهیم به طور صحیح به مسئله نگاه کنیم این بارهای منفی (الکترون ها) هستند که از قطب منفی باتری به سمت قطب مثبت آن حرکت می کنند. اما از آنجایی که در گذشته به اشتباه تصور می کردند بارهای مثبت حرکت می کنند از آن موقع به صورت قراردادی حرکت جریان را حرکت بارهای مثبت در نظر گرفته اند.

**نیروی محرکه الکتریکی  $\mathcal{E}$ :** کاری که منبع نیروی محرکه الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می دهد تا آن را از پایانه ی با پتانسیل کمتر به پایانه ی با پتانسیل بیشتر ببرد، اصطلاحاً نیروی محرکه الکتریکی نامیده می شود که از رابطه زیر بدست می آید:

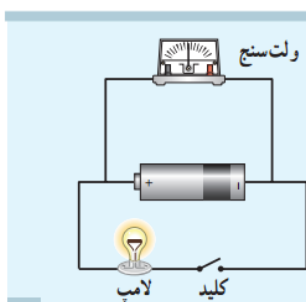
$$\mathcal{E} = \frac{\Delta W}{\Delta q}$$



**توجه!** یکای نیروی محرکه الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل است که ولت  $V$  (کولن بر ژول) می باشد.

**سوال:** وقتی می‌گوییم نیروی محرکه الکتریکی یک منبع (باتری)  $3V$  است یعنی چه؟ یعنی باتری روی هر کولن باری که از آن می‌گذرد به اندازه  $3$  ژول کار انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل الکتریکی آن را  $3$  ژول افزایش می‌دهد.

#### فعالیت ۲-۲



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؟ در ادامه با علت تفاوت این دو عدد آشنا خواهید شد.

**پاسخ فعالیت ۲-۲:** قبل از زدن کلید عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد دقیقاً برابر نیروی محرکه مولد است اما وقتی کلید زده می‌شود و جریان ایجاد می‌گردد ولت‌سنج مقدار کمتری را نشان خواهد داد که به علت اتلاف انرژی داخلی باتری می‌باشد.

**داخل باتری چه می‌گذرد: دو نوع باتری (یا منبع) می‌توانیم در نظر بگیریم**

۱. باتری‌های بدون مقاومت داخلی (آرمانی) و ۲. باتری‌های با مقاومت داخلی (حقیقی)

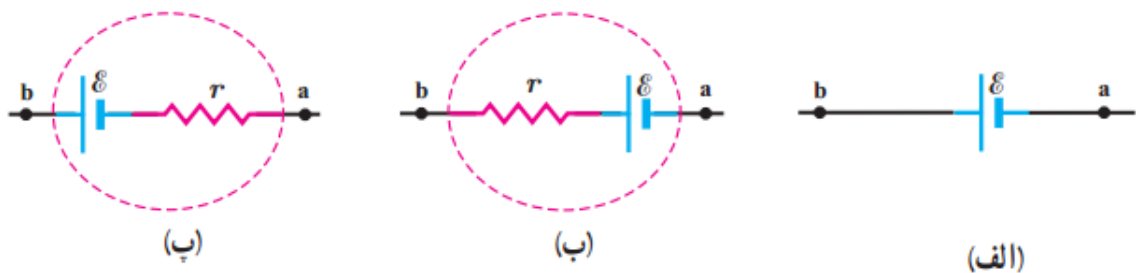
**منبع نیروی محرک آرمانی:** در این نوع منبع، مقاومت الکتریکی داخلی منبع صفر است و اختلاف پتانسیلی که این نوع منبع می‌تواند درست کند برابر با همان مقدار نیروی محرکه اش می‌باشد یعنی:

$$V_b - V_a = \mathcal{E}$$

**منبع نیروی محرکه حقیقی:** در این نوع منبع نیروی محرکه (باتری) به دلیل ساز و کاری که منبع دارد هنگام عبور جریان یک مقاومت داخلی  $r$  در آن ایجاد می شود و مقداری از انرژی منبع در مقاومت از بین می رود، اختلاف پتانسیلی که این منبع می توان ایجاد کند کمی کمتر از نیروی محرکه مولد  $\mathcal{E}$  است.

در شکل های زیر:

**الف** منبع آرمانی می باشد و **ب** و **پ** منبع های حقیقی هستند. که  $r$  مقاومت درونی آن ها است.



**نکته:** در دنیای واقعی منبع آرمانی وجود ندارد و همه منبع های محرکه مقداری مقاومت درونی در خود دارند.

**نکته:** اگر باتری آرمانی باشد اختلاف پتانسیل دو سر آن (یعنی اختلاف پتانسیلی که می تواند به مدار بدهد) همان

$$V_b - V_a = \mathcal{E} \quad \text{نیروی محرکه آن خواهد بود یعنی:}$$

و اگر باتری دارای مقاومت داخلی باشد با افت پتانسیل روبرو می شود و اختلاف پتانسیل دو سر باتری کمتر از نیروی

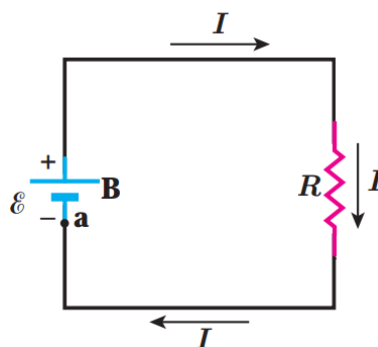
$$\text{محرکه آن می شود که از رابطه زیر بدست می آید:} \quad V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir$$

### فعالیت ۲-۵

میدان الکتریکی درون باتری از قطب مثبت به سمت قطب منفی است. توضیح دهید چرا وقتی از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن می رویم، پتانسیل کاهش می یابد و بالعکس.

**مدار تک حلقه ای:** مدار تک حلقه ای شامل یک یا چند باتری، سیم رسانا و یک یا چند مقاومت می باشد که ساده

ترین نوع آن را در شکل زیر رسم کرده ایم:



**توجه!** به خاطر داشته باشید قسمت بزرگتر باتری همواره قطب مثبت و قسمت کوچکتر آن قطب منفی می باشد، در ضمن به طور قراردادی حرکت جریان  $I$  را از سمت قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن در نظر می گیریم.

**مهم! حل مدار تک حلقه ای:** در مدارهای تک حلقه ای با مسائلی روبرو خواهیم شد که روش کلی آن به این صورت است:

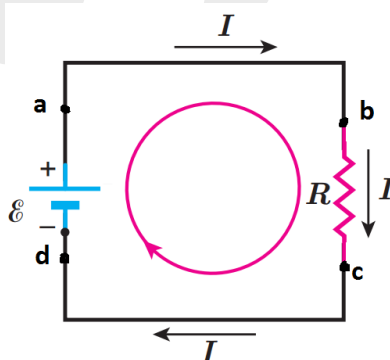
ابتدا جهت جریان در مدار را مشخص می کنیم، سپس یک نقطه از مدار را علامت می زنیم و پتانسیل الکتریکی آن نقطه را  $V_a$  در نظر می گیریم و شروع به حرکت در امتداد سیم می کنیم، هنگامی که در طول حرکت به یک مقاومت می رسیم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $IR$  (جریان  $\times$  مقاومت) تغییر می کند. و اگر در طول حرکت به یک باتری (منبع) برسیم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $\mathcal{E}$  (نیروی محرکه باتری) تغییر خواهد کرد. حال زمانی که به نقطه مورد نظر برسیم آنجا را علامت زده و پتانسیل الکتریکی آن نقطه را  $V_b$  در نظر می گیریم. (اگر به نقطه ابتدای مسیر برسیم پتانسیل آن نقطه همان  $V_a$  خواهد بود)

**نکته:** در مدار تک حلقه ای جریان در کل مدار یکسان است.

**توجه:** اگر حرکت ما در جهت جریان باشد هنگام عبور از مقاومت، پتانسیل الکتریکی به اندازه  $IR$  کاهش و اگر در خلاف جهت جریان باشد از مقاومت عبور کنیم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $IR$  افزایش می یابد.

اگر هنگام عبور از باتری از قطب منفی وارد و از قطب مثبت آن خارج شویم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $\mathcal{E}$  افزایش و اگر از قطب مثبت باتری وارد و از قطب منفی آن خارج شویم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $\mathcal{E}$  کاهش می یابد. (اگر کلاً متوجه مطلب نشدید! به مثالی که میزنم توجه کنید)

مثال: در مدار تک حلقه ای شکل زیر می خواهیم یک دور بزنیم! از نقطه  $a$  در جهت جریان شروع به حرکت می کنیم:



از نقطه  $a$  شروع می کنیم و پتانسیل این نقطه را  $V_a$  در نظر می گیریم و به سمت نقطه  $b$  حرکت می کنیم در طول این مسیر چون با هیچ مقاومت و مولدی روبرو نمی شویم افت یا افزایش پتانسیل نداریم (یعنی پتانسیل نقطه  $a$  و  $b$  یکسان است) هنگام عبور از مقاومت  $R$  و رسیدن به نقطه  $c$  پتانسیل به اندازه  $IR$  کاهش خواهد یافت حال از نقطه  $c$  به سمت  $d$  حرکت می کنیم، در این جابجایی هم چون با مقاومت مواجه نیستیم پتانسیل تغییر نمی کند، در مرحله

آخر (حرکت از  $d$  به سمت  $a$ ) از قطب منفی باتری وارد و از قطب مثبت آن خارج می شویم پس پتانسیل به اندازه  $\mathcal{E}$  افزایش می یابد و در آخر به نقطه  $a$  می رسیم. معادله این حرکت به صورت زیر بدست می آید:

$$V_a - IR + \mathcal{E} = V_a$$

خب حالا  $V_a$  ها را از دو طرف معادله حذف می کنیم و خواهیم داشت:

$$\mathcal{E} - IR = 0$$

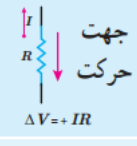
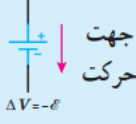
از این معادله نتیجه می گیریم جمع جبری اختلاف پتانسیل ها در مدار برابر با صفر است.

**توجه!** اگر در مدار ذکر شده به صورت برعکس دور می زدیم معادله به صورت زیر در می آمد که تفاوتی با حالت قبلی ندارد.

$$-\mathcal{E} + IR = 0$$

**قاعده طقه (قانون ولتاژها):** در هر دور زدن کامل حلقه ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل های اجزای مدار صفر است.

در جدول زیر قاعده کلی حل مدار (تغییرات پتانسیل) هنگام عبور از قطعات مدار آمده است:

عنصر مدار	جهت حرکت	تغییر پتانسیل	
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$	
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$	
منبع نیروی محرکه	از پایانه مثبت به پایانه منفی	$+\mathcal{E}$	
منبع نیروی محرکه	از پایانه منفی به پایانه مثبت	$-\mathcal{E}$	

## مثال ۲-۶

در مدار شکل ۲-۳۳ فرض کنید  $\mathcal{E} = 12V$ ،  $r = 2\Omega$  و  $R = 4\Omega$  باشد.

الف) جریان عبوری از مدار چقدر است؟ ب) اختلاف پتانسیل دوسر باتری را محاسبه کنید.

**پاسخ:** الف) اگر مدار را در جهت جریان نشان داده شده دور بزیم براساس آنچه گفته شد، در یک حلقه کامل با استفاده از قاعده حلقه داریم:

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

و در نتیجه

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{4\Omega + 2\Omega} = 2A$$

ب) با استفاده از رابطه ۲-۷ اختلاف پتانسیل دوسر باتری برابر است با

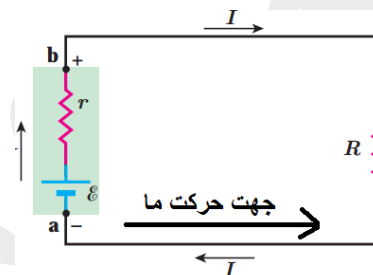
$$V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir = 12V - (2A)(2\Omega) = 8V$$

## تمرین ۲-۳

مثال بالا را با حرکت در خلاف جهت جریان نشان داده شده، حل و نتیجه را با پاسخ مثال مقایسه کنید.

## پاسخ تمرین ۲-۳:

**الف:** می‌خواهیم جریان را بدست آوریم ولی در خلاف جهت حرکت خواهیم کرد:



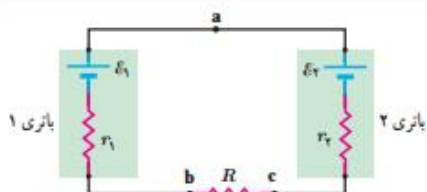
از یک نقطه اختیاری مثلاً نقطه  $a$  شروع می‌کنیم و پتانسیل آن را  $V_a$  می‌نامیم به سمت مقاومت  $R$  حرکت می‌کنیم و هنگام عبور از مقاومت  $R$  چون در خلاف جهت جریان الکتریکی حرکت می‌کنیم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $+IR$  افزایش می‌یابد تا اینجا به صورت  $V_a + IR$  می‌شود. حال به حرکت خود ادامه می‌دهیم و به نقطه  $b$  می‌رسیم. از مقاومت داخلی  $r$  عبور می‌کنیم و پتانسیل به اندازه  $Ir$  افزایش می‌یابد. در آخر هنگام عبور از باتری چون از قطب مثبت وارد و از قطب منفی خارج می‌شویم پتانسیل به اندازه  $\mathcal{E}$  کاهش می‌یابد و در آخر به نقطه ابتدایی مان می‌رسیم که پتانسیل اش همان  $V_a$  است. پس معادله ما به صورت زیر در می‌آید:

$$V_a + IR + Ir - \mathcal{E} = V_a \rightarrow IR + Ir - \mathcal{E} = 0 \rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{4\Omega + 2\Omega} = 2A$$

**ب:** اختلاف پتانسیل دو سر باتری نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir = 12V - 2A \times 2\Omega = 8V$$

## مثال ۲-۷



مدار شکل روبه‌رو را در نظر بگیرید. مقادیر نیروهای محرکه الکتریکی و مقاومت‌های مدار عبارت‌اند از:

$$\mathcal{E}_1 = 8/0\text{V}, \mathcal{E}_2 = 2/0\text{V}, r_1 = 2/0\Omega, r_2 = 1/5\Omega, R = 8/5\Omega$$

الف) جهت جریان عبوری از مدار و مقدار آن را تعیین کنید.

ب) اختلاف پتانسیل دوسر باتری‌های ۱ و ۲ را محاسبه کنید.

**پاسخ:** الف) با استفاده از دستورالعمل‌های حل مدارهای تک حلقه‌ای، مسئله را حل می‌کنیم. گرچه لازم نیست که جهت جریان  $I$  را بدانیم، ولی می‌توانیم آن را با مقایسه نیروهای محرکه الکتریکی دو باتری تعیین کنیم؛ چون  $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$  است جهت جریان را باتری ۱ تعیین می‌کند. بنابراین، جهت جریان، ساعتگرد است. در نتیجه با حرکت پادساعتگرد از نقطه a داریم:

$$V_a - \mathcal{E}_1 + Ir_1 + IR + Ir_2 + \mathcal{E}_2 = V_a$$

و از آنجا

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + R + r_2} = \frac{8/0\text{V} - 2/0\text{V}}{2/0\Omega + 8/5\Omega + 1/5\Omega} = 0/5\text{A}$$

ب) اختلاف پتانسیل بین دوسر باتری ۱ را با حرکت از نقطه b به سمت نقطه a به دست می‌آوریم:

$$V_b - Ir_1 + \mathcal{E}_1 = V_a$$

در نتیجه

$$V_a - V_b = \mathcal{E}_1 - Ir_1 = 8/0\text{V} - (0/5\text{A})(2/0\Omega) = 7/0\text{V}$$

که این نتیجه را می‌توانستیم به‌طور مستقیم از رابطه ۲-۷ نیز به دست آوریم. اما در مورد باتری ۲ که در آن جهت جریان از قطب مثبت وارد و از قطب منفی خارج می‌شود، نمی‌توانیم از این رابطه استفاده کنیم.

برای محاسبه اختلاف پتانسیل دوسر باتری ۲ حتماً باید مسئله را از نو حل کرد. به این منظور، از نقطه c به سمت نقطه a حرکت می‌کنیم:

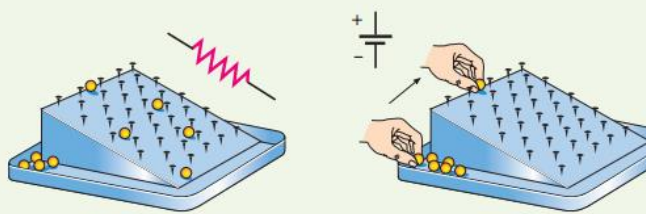
$$V_c + Ir_2 + \mathcal{E}_2 = V_a$$

و در نتیجه:

$$V_a - V_c = \mathcal{E}_2 + Ir_2 = 2/0\text{V} + (0/5\text{A})(1/5\Omega) = 2/8\text{V}$$

### ۱۰ شکل زیر یک مشابهت‌سازی مکانیکی برای درک مقاومت

و نیروی محرکه الکتریکی را نشان می‌دهد که در آن بر سطح شیب‌داری میخ‌هایی تعبیه شده و تپه‌ها از ارتفاع بالای سطح شیب‌دار رها می‌شوند و سپس دوباره به بالای سطح شیب‌دار بازگردانده می‌شوند. این مشابهت‌سازی مکانیکی را توجیه کنید.



### پاسخ تمرین ۱۰ آخر فصل:

ارتفاع همان پتانسیل الکتریکی می‌باشد، تپه‌ها هم به مانند الکترون‌ها می‌باشند، تپه‌ها از ارتفاع بالا رها می‌شوند و در حین حرکت خود به میخ‌ها برخورد می‌کنند و قسمتی از انرژی خود را در اثر برخورد به میخ و کاهش ارتفاع از



دست می دهند ، الکترون ها نیز از پتانسیل بالا شروع به حرکت می کنند و با عبور از میان اتم ها قسمتی از انرژی خود را از دست داده و در نهایت به پتانسیل کمتر می رسند، در شکل بالا دست ما تپله را دوباره به ارتفاع بالا برده و سبب حرکت آن ها می گردد که این کار را در مدار باتری انجام می دهد و الکترون ها را از پتانسیل کم تر به پتانسیل بالاتر می برد.

**۱۱** اختلاف پتانسیل دو سر باتری خودروهای سواری برابر ۱۲ ولت است. اگر هشت باتری قلمی ۱/۵ ولتی را به طور متوالی به یکدیگر وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه آنها نیز برابر ۱۲ ولت می شود. توضیح دهید چرا در خودروها به جای باتری خودرو از هشت باتری قلمی استفاده نمی شود.

**پاسخ تمرین ۱۱ آخر فصل:** آخه کی میاد به جای یک باتری از ۸ تا باتری استفاده کنه؟! به هر حال از لحاظ علمی به دلیل وجود مقاومت داخلی در هر باتری قلمی ، این ۸ باتری با افت پتانسیل و افت جریان الکتریکی مواجه شده و قدرت کافی برای روشن کردن و تامین انرژی خودرو را نخواهند داشت.

**۱۲** یک باتری را در نظر بگیرید که وقتی به مدار بسته نیست پتانسیل دو سرش برابر ۱۲/۰V است. وقتی یک مقاومت  $10\ \Omega$  به این باتری بسته شود، اختلاف پتانسیل دو سر باتری به ۱۰/۹V کاهش می یابد. مقاومت داخلی باتری چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۱۲ آخر فصل:** در زمانی که باتری به مدار وصل نیست اختلاف پتانسیل دو سر باتری همان نیروی محرکه باتری خواهد بود یعنی  $V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} = 12\text{ V}$  زمانی که یک مقاومت به این باتری وصل شده و جریان در آن ایجاد شود اختلاف پتانسیل دو سر باتری از رابطه  $V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} - Ir$  به دست می آید که در آن مقاومت درونی باتری می باشد.

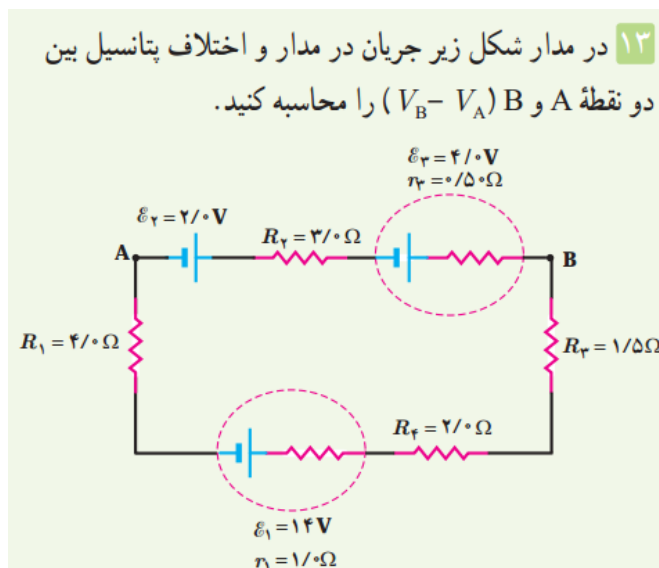
$$V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} - Ir = 10.9\text{ V}$$

حال با استفاده از معادله حلقه مقدار جریان را بدست می آوریم:

$$IR + Ir - \mathcal{E} = 0 \rightarrow IR = \mathcal{E} - Ir \rightarrow I = \frac{\mathcal{E} - Ir}{R} = \frac{10.9\text{ V}}{10\ \Omega} = 1.09\text{ A}$$

جریان بدست آمده را دوباره در معادله اول قرار داده و مقدار مقاومت درونی بدست می آید.

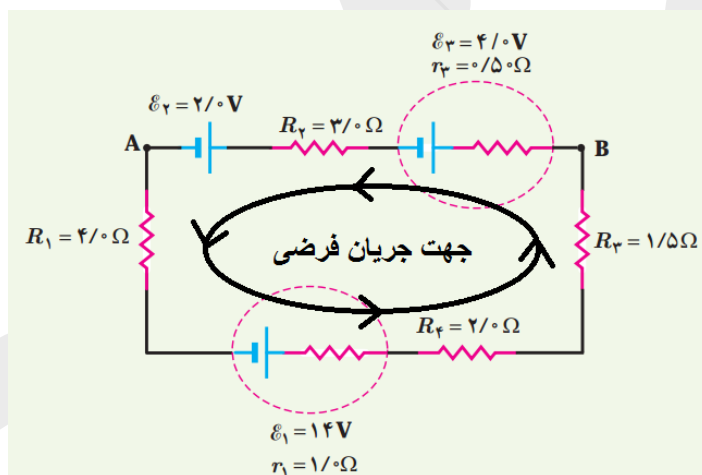
$$V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} - Ir \rightarrow r = \frac{\mathcal{E} - V}{I} = \frac{12 - 10.9}{1.09} = 1.009\ \Omega$$



**پاسخ تمرین ۱۳ آخر فصل:** مدار تک حلقه ای می باشد و جریان در تمام طول مدار یکسان است . برای شروع اگر

جهت جریان را نمی دانید یک جهت را شانسی انتخاب کنید ، مهم نیست! مثلاً در این مثال من جهت جریان را پادساعتگرد (عکس حرکت عقربه های ساعت در نظر گرفته ام ) در نهایت اگر جواب بدست آمده منفی آمد می

فهمیم جهت را اشتباه گرفته ایم و برعکس می کنیم.



از یک نقطه شروع به حرکت کرده و یک دور کامل می زنیم ، من از نقطه A شروع می کنم و پتانسیل آن نقطه را  $V_A$  در نظر می گیرم ، شروع به حرکت کرده به مقاومت  $R_1$  می رسم چون در جهت جریان حرکت کرده ام پتانسیل به اندازه  $-IR_1$  تغییر می کند سپس به باتری  $\mathcal{E}_1$  رسیده و از قطب مثبت آن خارج می شوم و به مقاومت درونی  $r_1$  و مقاومت  $R_4$  و  $R_3$  و  $r_3$  می رسیم پس پتانسیل به اندازه های  $+\mathcal{E}_1$  و  $-IR_4$  و  $-IR_3$  و  $-Ir_3$  و تغییر می کند حال به باتری  $\mathcal{E}_2$  می رسیم از قسمت منفی آن خارج می شویم که پتانسیل به اندازه  $-\mathcal{E}_2$  تغییر می کند در آخر از مقاومت  $R_2$  و باتری  $\mathcal{E}_2$  عبور می کنیم که پتانسیل الکتریکی به اندازه  $-IR_2$  و  $-\mathcal{E}_2$  تغییر می کند ، در آخر به نقطه ابتدایمان می رسیم، معادله حلقه ما به شکل زیر خواهد بود:

$$V_a - IR_1 + \varepsilon_1 - Ir_1 - IR_\xi - IR_3 - Ir_3 - \varepsilon_3 - IR_2 - \varepsilon_2 = V_a$$

از طرفین  $V_a$  را حذف می کنیم و نیروهای محرکه را به سمت چپ می بریم:

$$-IR_1 - Ir_1 - IR_\xi - IR_3 - Ir_3 - IR_2 = \varepsilon_3 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

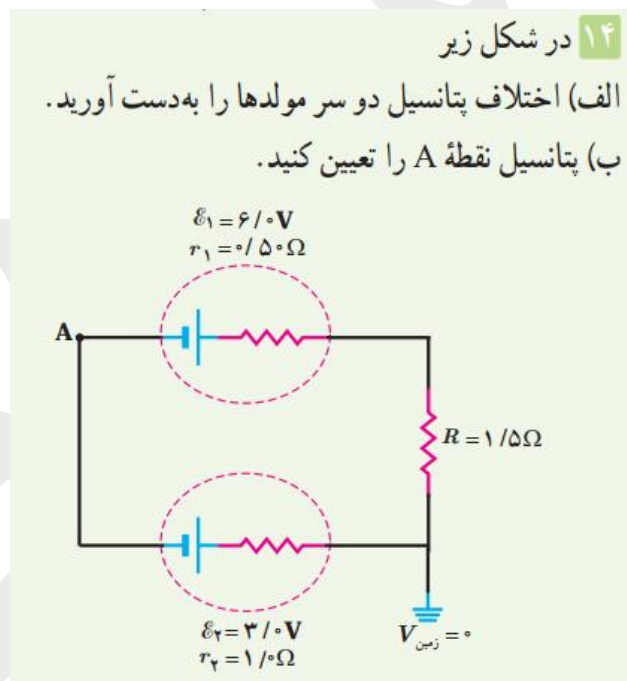
$$I(-R_1 - r_1 - R_\xi - R_3 - r_3 - R_2) = \varepsilon_3 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

$$I = \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1}{-R_1 - r_1 - R_\xi - R_3 - r_3 - R_2} = \frac{\xi + 2 - 1\xi}{-\xi - 1 - 2 - 1.5 - 0.5 - 3} = \frac{-8}{-12} = \frac{2}{3} A$$

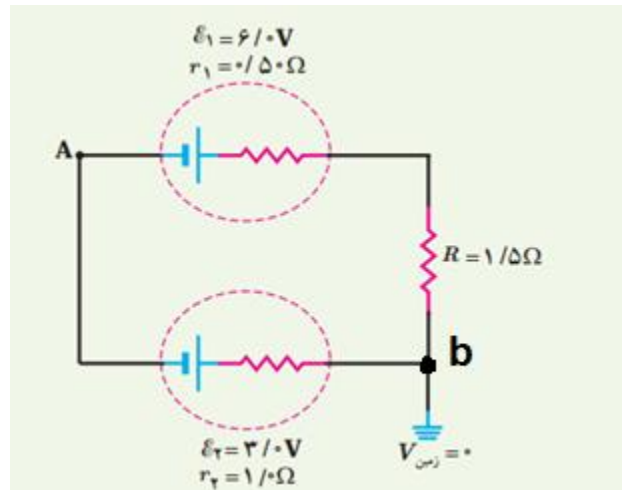
حال که جریان الکتریکی را پیدا کردیم می توانیم با حرکت از نقطه  $a$  به نقطه  $b$  اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه را بدست بیاوریم. می توانیم از دو مسیر به سمت  $b$  حرکت کنیم که من از مسیر بالایی حرکت می کنم و از باتری ۲ مقاومت ۲ و باتری ۳ عبور کرده به نقطه  $b$  می رسم و خواهیم داشت (خلاف جهت جریان حرکت می کنیم):

$$V_a + \varepsilon_2 + IR_2 + \varepsilon_3 = V_b$$

$$V_a + 2 + \frac{2}{3} \times 3 + \xi = V_b \rightarrow V_a + 8 = V_b \rightarrow V_b - V_a = 8 \text{ v}$$



**پاسخ سوال ۱۴ آخر فصل : نکته :** هرکجا که به زمین متصل بشود پتانسیل الکتریکی آن نقطه صفر خواهد بود پس پتانسیل نقطه  $b$  صفر است  $V_b = 0$ .



با توجه به جهت بسته شدن باتری ها جریان در جهت باتری قوی تر خواهد بود پس جهت جریان ساعتگرد است (یعنی مانند حرکت عقربه های ساعت). ما هم از نقطه  $a$  شروع می کنیم و طبق قوانینی که می دانیم در جهت جریان یک دور کامل می زنیم تا دوباره به نقطه  $a$  برسیم که خواهیم داشت:

$$V_a + \varepsilon_1 - Ir_1 - IR - Ir_2 - \varepsilon_2 = V_a$$

از دو طرف  $V_a$  ها حذف می شوند و جریان به شکل زیر بدست می آید:

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{r_1 + R + r_2} = \frac{6 - 3}{0.5 + 1.5 + 1} = 1 \text{ A}$$

اختلاف پتانسیل هر مولد برابر خواهد بود با:

$$\Delta V_1 = \varepsilon_1 - Ir_1 = 6 - 1 \times 0.5 = 5.5 \text{ V}$$

$$\Delta V_2 = \varepsilon_2 - Ir_2 = 3 - 1 \times 1 = 2 \text{ V}$$

برای یافتن پتانسیل نقطه  $A$  از نقطه زمین که پتانسیل اش صفر است شروع می کنیم و در جهت جریان از سمت پایین به سمت  $A$  حرکت می کنیم.

$$V_b - Ir_2 - \varepsilon_2 = V_a \rightarrow 0 - 1 - 3 = -4 = V_a \rightarrow V_a = -4 \text{ v}$$

**توان در مدارهای الکتریکی:** در مدارهای الکتریکی برخی از وسیله ها مانند مقاومت الکتریکی مقداری انرژی

مصرف می کنند و منبع های نیروی محرکه نیز انرژی تامین می کنند. مقدار انرژی که اجزای مدار در واحد زمان مشخص مصرف یا تولید می کنند را توان الکتریکی می گویند که از رابطه زیر بدست می آید:

$$P = I\Delta V$$

که در این رابطه  $P$  توان بر حسب وات  $w$  و  $I$  جریان عبوری از وسیله بر حسب آمپر  $A$  و  $\Delta V$  همان اختلاف پتانسیل دو سر وسیله بر حسب ولت  $v$  می باشد.

**توان مصرفی در مقاومت :** همان طور که گفتیم مقدار توان مصرفی (انرژی تلف شده در واحد زمان) در مقاومت از رابطه  $P = I\Delta V$  بدست می آید که می توانیم با استفاده از قانون اهم به جای  $I$  از مقدار  $\frac{V}{R}$  و همچنین به جای  $\Delta V$  می توانیم از  $I.R$  استفاده کنیم در نتیجه روابط توان مصرفی برای مقاومت به صورت زیر بدست می آید:

$$P_{\text{مقاومت}} = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

### مثال ۲-۸

وقتی دو سر یک بخاری برقی را به اختلاف پتانسیل  $220\text{V}$  وصل کنیم، جریان  $10\%$  از آن می گذرد. الف) توان این بخاری چقدر است؟ ب) اگر این بخاری به مدت  $3\%$  در روز کار کند و قیمت برق مصرفی به ازای هر کیلووات ساعت  $50$  تومان باشد، هزینه یک ماه مصرف این بخاری چقدر می شود؟

**پاسخ :** الف) بنا به رابطه ۲-۸ توان مورد نیاز بخاری چنین می شود :

$$P = I\Delta V = (10\%A)(220V) = 2/20 \times 10^2 W = 2/20 kW$$

ب) انرژی مصرفی بخاری برابر  $Pt$  می شود که بر حسب یکاهای SI،  $P$  بر حسب وات (W)،  $t$  بر حسب ثانیه (s) است و انرژی مصرفی بر حسب ژول (J) می شود. اما برای محاسبه مصرف برق،  $P$  را بر حسب کیلووات (kW) و  $t$  را بر حسب ساعت (h) می گیرند. بنابراین، انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kWh) می شود  $(3600s) = 3/6 \times 10^6 J$  (1kWh =  $1000 \frac{J}{s}$ ). پس انرژی مصرفی بخاری در یک ماه، برابر است با

$$U = Pt = (2/20 kW)(30 \times 3/00 h) = 198 kWh$$

در نتیجه بهای برق مصرفی این بخاری در یک ماه چنین می شود :

$$\text{تومان} = (198 kWh) \left( \frac{50 \text{ تومان}}{kWh} \right) = 9900 \text{ بها}$$

### پرسش ۲-۲



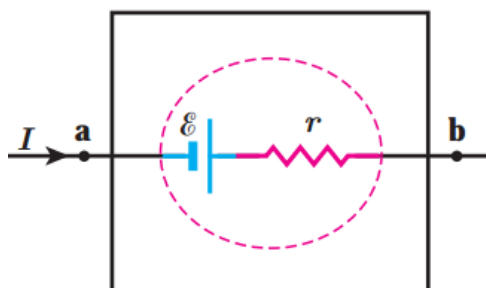
اگر لامپ های رشته ای (التهایی) را با لامپ های LED جایگزین کنیم، درخواهیم یافت که در مصرف انرژی تفاوت چشمگیری حاصل می شود. مثلاً درحالی که لامپ هالوژن یک کلاه ایمنی چند باتری را در ۳ ساعت مصرف می کند، نوع LED همان لامپ، آن باتری ها را در ۳۰ ساعت به مصرف می رساند. دلیل این اختلاف را بیان کنید.

**پاسخ پرسش ۲-۲ :** به این علت است که در لامپ های رشته ای با عبور جریان دما افزایش یافته و مقاومت الکتریکی نیز بیشتر می شود و با افزایش مقاومت توان مصرفی لامپ بالا می رود اما در LED ها به دلیل وجود نیم رساناها با افزایش دما مقاومت کاهش می یابد و انرژی آنچنانی مصرف نمی شود.

**توان خروجی یک منبع نیروی محرکه حقیقی:** اختلاف پتانسیل یک باتری حقیقی به دلیل داشتن مقاومت داخلی به صورت  $\Delta V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} - Ir$  می باشد پس توان تولیدی باتری از رابطه زیر بدست می آید :

$$P_{\text{خروجی}} = I\Delta V = I(\mathcal{E} - Ir) = \mathcal{E}I - rI^2$$

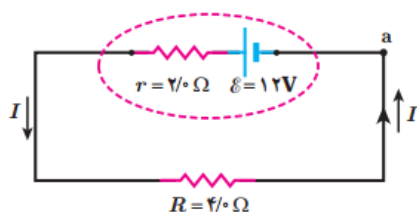
$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}I - rI^2$$



توان خروجی از باتری شکل، از رابطه  $P = (V_b - V_a)I$  به دست می‌آید.

**توجه!** باتری به اندازه  $\mathcal{E}I$  توان تولید می‌کند و مقاومت داخلی آن توان باتری را به اندازه  $Ir$  می‌کاهد.

### مثال ۲-۹



برای مدار نشان داده شده در شکل (الف) توان خروجی باتری و (ب) توان مصرفی در مقاومت را محاسبه کنید.

**پاسخ:** (الف) نخست، جریان را با استفاده از قاعده حلقه به دست می‌آوریم:

$$V_a + \mathcal{E} - Ir - IR = V_a \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{4\Omega + 2\Omega} = 2A$$

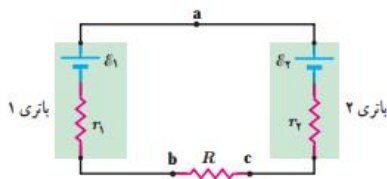
اکنون توان الکتریکی خروجی از باتری با استفاده از رابطه ۲-۱۱ چنین می‌شود:

$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}I - rI^2 = (12V)(2A) - (2\Omega)(2A)^2 = 16W$$

(ب) با استفاده از پایداری انرژی بدیهی است که توان الکتریکی مصرفی در مقاومت ۴ اهمی برابر با توان خروجی باتری، یعنی ۱۶W می‌شود. با این حال، این را می‌توانیم به‌طور مستقیم نیز نشان دهیم:

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^2 = (4\Omega)(2A)^2 = 16W$$

## مثال ۲-۱۰



در مثال ۲-۷ توان هریک از اجزای مدار را محاسبه کنید.  
**پاسخ:** توان مصرفی در مقاومت  $R = 8/5 \Omega$  با استفاده از رابطه ۲-۹ چنین می شود:

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^2 = (8/5 \Omega)(0/50 \text{ A})^2 = 2/1 \text{ W}$$

که در آن از  $I = 0/50 \text{ A}$  استفاده کرده ایم.

توان خروجی باتری ۱ را با استفاده از رابطه ۲-۱۱ محاسبه می کنیم:

$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}_1 I - r_1 I^2 = (8/0 \text{ V})(0/50 \text{ A}) - (2/0 \Omega)(0/50 \text{ A})^2 = 3/5 \text{ W}$$

اما توان باتری ۲ از رابطه ۲-۱۱ به دست نمی آید؛ زیرا همان طور که دیدیم اختلاف پتانسیل دوسر باتری ۲ از رابطه

پتانسیل  $V_c - V_a = \mathcal{E}_2 + Ir_2$  به دست می آید. اما طبق تعریف این کتاب، برای استفاده از رابطه ۲-۸  $(P = I \Delta V)$ ، باید اختلاف

پتانسیل  $V_c - V_a$  را در نظر بگیریم که  $-(\mathcal{E}_2 + Ir_2)$  می شود. بنابراین، مقدار (قدر مطلق) توان ورودی به باتری ۲ چنین می شود:

$$P_{\text{ورودی}} = |P| = |I \Delta V| = I(\mathcal{E}_2 + Ir_2) = \mathcal{E}_2 I + r_2 I^2 \\ = (2/0 \text{ V})(0/50 \text{ A}) + (1/5 \Omega)(0/50 \text{ A})^2 = 1/4 \text{ W}$$



این که باتری ۲ انرژی مصرفی خود را از باتری ۱ تأمین می کند، همان اتفاقی است که هنگام اتصال یک باتری به شارژکننده روی می دهد. شارژکننده به باتری انرژی الکتریکی می دهد. بخشی از این انرژی به انرژی شیمیایی تبدیل می شود و بقیه آن در مقاومت درون باتری تلف می شود و باتری را گرم می کند.

همان طور که انتظار داریم این نتیجه همچنین با پایستگی انرژی سازگار است:

توان خروجی باتری ۱ = توان ورودی باتری ۲ + توان مصرفی مقاومت  $R$

$$2/1 \text{ W} + 1/4 \text{ W} = 3/5 \text{ W}$$

## تمرین ۲-۴

با توجه به قانون ژول (فعالیت ۲-۷) و تعریف نیروی محرکه الکتریکی، برای یک حلقه ساده، شامل یک باتری و یک مقاومت نشان دهید که قاعده حلقه یا قانون ولتاژها چیزی جز پایستگی انرژی نیست.

**پاسخ تمرین ۲-۴:** قانون ژول بیان می دارد گرمای تولید شده توسط جریان  $I$  عبوری از یک مقاومت  $R$  در مدت

زمان  $t$  برابر با  $RI^2 t$  است.

قانون حلقه برای یک باتری و مقاومت به صورت  $\mathcal{E} - IR = 0$  است. که می شود:  $\mathcal{E} = IR$  که اگر طرفین معادله

را به  $It$  (زمان  $\times$  جریان، همان بار) ضرب کنیم خواهیم داشت:

$$\mathcal{E} It = RI^2 t$$

این معادله نشان می دهد هرچقدر که باتری انرژی تولید می کند همان قدر هم مقاومت مصرف می کند



**۱۵** دو لامپ رشته‌ای در اختیار داریم که جنس و طول رشته آنها یکسان است، ولی رشته لامپ B ضخیم‌تر از رشته لامپ A است. وقتی لامپ‌ها به ولتاژ یکسانی وصل شوند، کدام لامپ پرنورتر خواهد بود و چرا؟

**پاسخ تمرین ۱۵ آخر فصل:** لامپی پرنورتر خواهد شد که مقاومت کمتری دارد و جریان بیشتری از آن می‌گذرد و انرژی بیشتری مصرف کند، پس لامپ B که مساحت سطح مقطع بیشتری دارد پرنورتر می‌شود.

**۱۶** بر روی وسیله‌های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می‌شود. برای دو وسیله زیر،



کتری برقی  
۲۴۰۰ W، ۲۲۰ V



اتوی برقی  
۸۵۰ W، ۲۲۰ V

الف) سیم‌های اتصال به برق آنها باید بتواند حداقل چه جریانی را از خود عبور دهد؟  
ب) مقاومت الکتریکی هر وسیله در حالت روشن چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۱۶ آخر فصل:** با توجه به رابطه توان مصرفی می‌توان به صورت زیر جریان عبوری را بدست آوریم:

$$P_{\text{کتری}} = IV \rightarrow I = \frac{P_{\text{کتری}}}{V} = \frac{2400 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 10.9 \text{ A}$$

$$P_{\text{اتو}} = IV \rightarrow I = \frac{P_{\text{اتو}}}{V} = \frac{850 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 3.86 \text{ A}$$

ب: به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P_{\text{کتری}}} = \frac{220^2}{2400} = 20.16 \Omega$$

$$P_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P_{\text{اتو}}} = \frac{220^2}{850} = 56.9 \Omega$$



۱۷ لامپ یک چراغ قوه معمولی با ولتاژ ۲/۹V کار می کند و در این حالت جریان  $I = 0.3 \text{ A}$  از آن می گذرد. اگر مقاومت رشته تنگستنی این لامپ در دمای اتاق ( $20^\circ \text{C}$ ) برابر  $1.1 \Omega$  باشد، دمای این رشته وقتی که لامپ روشن است، چقدر می شود؟

**پاسخ تمرین ۱۷ آخر فصل:** بر اساس قانون اهم مقاومت سیم را بدست می آوریم:

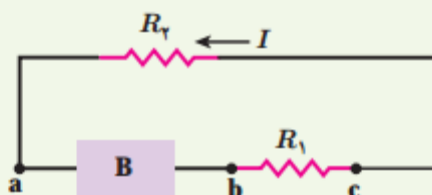
$$R = \frac{V}{I} = \frac{2.9 \text{ V}}{0.3 \text{ A}} = 9.6 \Omega$$

حال می توانیم از رابطه  $R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$  دما را بدست آوریم:

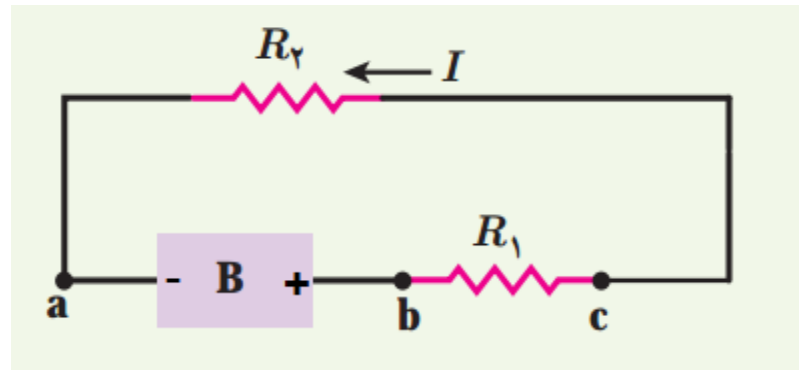
$$9.6 = 1.1 \times [1 + 4.5 \times 10^{-3}(T - 20)] \rightarrow \frac{9.6}{1.1} = 1.09 + 4.5 \times 10^{-3}T$$

$$4.5 \times 10^{-3}T = 7.63 \rightarrow T = \frac{7.63}{4.5 \times 10^{-3}} = 1695^\circ \text{C}$$

۱۸ شکل زیر جریان  $I$  را در یک مدار تک حلقه ای با باتری B و مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  (وسیم هایی با مقاومت ناچیز) نشان می دهد. الف) قطب های پایانه های B را مشخص کنید. در نقاط a، b و c، بزرگی جریان، پتانسیل الکتریکی و ت انرژی پتانسیل الکتریکی حامل های بار مثبت را به گونه ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



**پاسخ تمرین ۱۸ آخر فصل:** الف: در شکل زیر مشخص شده است:



ب: جریان در تمام مدار تک حلقه یکسان و برابر  $I$  است.

پ: قطب مثبت باتری بیشترین پتانسیل می باشد و با حرکت در جهت جریان پتانسیل کاهش می یابد پس:  $V_b >$

$$V_c > V_a$$

ت: هر چه در طول سیم حرکت کنیم انرژی حامل های بار کاهش می یابد پس:

$$U_b > U_c > U_a$$

**۱۹** تلویزیون و یکی از لامپ های خانه خود را در نظر بگیرید و فرض کنید که هر کدام روزی ۸ ساعت با اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت روشن باشد.

الف) انرژی الکتریکی مصرفی هر کدام در یک دوره یک ماهه (۳۰ روز) چند kWh است؟ (توان مصرفی هر وسیله را از روی آن بخوانید.)

ب) بهای برق مصرفی هر کدام از قرار هر کیلووات ساعت ۵۰ تومان در یک دوره یک ماهه چقدر می شود؟

پ) اگر در شهر شما هر خانه یک لامپ ۱۰۰ وات اضافی را به مدت ۳ ساعت در شب روشن کند، در طول یک ماه تقریباً چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی مصرف می شود؟

**پاسخ تمرین ۱۹ آخر فصل:** الف: فرض کنید یک لامپ کم مصرف ۲۰ W داریم. روزی هشت ساعت در ماه برابر

است با ۲۴۰ ساعت می شود پس انرژی مصرفی در طول ۳۰ روز برابر خواهد بود با:

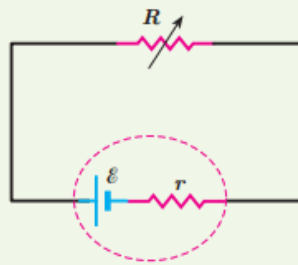
$$P = \frac{U}{t} \rightarrow U = P \cdot t = 20 \text{ W} \times 240 \text{ h} = 4800 \text{ Wh} = 4.8 \text{ kWh}$$

توجه کنید زمان را بر حسب ساعت قرار دادیم تا جواب بر حسب کیلو وات ساعت بدست آید. در مورد تلویزیون هم به همین روش محاسبه می کنیم.

ب: انرژی مصرف شده توسط یک لامپ ۱۰۰ واتی در مدت ۹۰ ساعت :

$$U = P \cdot t = 100 \text{ W} \times 90 \text{ h} = 9000 \text{ Wh} = 9 \text{ kWh}$$

۲۰ در شکل زیر، الف) نیروی محرکه الکتریکی و مقاومت



داخلی منبع را که توان خروجی آن به ازای  $I_1 = 5/00 \text{ A}$  برابر  $9/50 \text{ W}$  و به ازای  $I_2 = 7/00 \text{ A}$  برابر  $12/6 \text{ W}$  است، محاسبه کنید.  
ب) نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری بر حسب جریان گذرنده از آن را رسم کنید.

پاسخ تمرین ۲۰ آخر فصل:

$$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - r I^2$$

$$۱ : P_1 = 5\varepsilon - 25r = 9.5 \text{ W} \xrightarrow{\div 5} \varepsilon - 5r = 1.9 \text{ W}$$

$$۲ : P_2 = 7\varepsilon - 49r = 12.6 \text{ W} \xrightarrow{\div 7} \varepsilon - 7r = 1.8 \text{ W}$$

معادله ۲ را از ۱ کم می کنیم:

$$۱ - ۲ : \varepsilon - 5r - (\varepsilon - 7r) = 1.9 - 1.8 \rightarrow 2r = 0.1 \rightarrow r = 0.05 \Omega$$

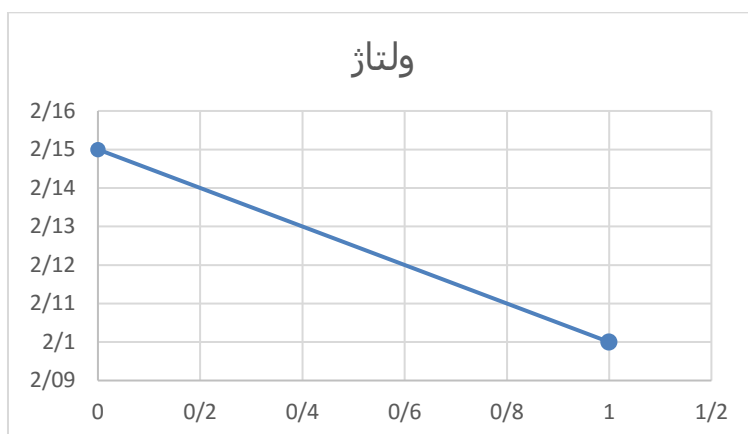
حال مقاومت بدست آمده را در یکی از معادله ها (مثلا معادله ۱) قرار می دهیم و نیروی محرکه را بدست می آوریم:

$$\varepsilon - 5 \times 0.05 = 1.9 \rightarrow \varepsilon = 2.15 \text{ V}$$

ب: با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل باتری از رابطه  $\Delta V = \varepsilon - Ir$  بدست می آید با جایگذاری مقاومت درونی و نیروی محرکه ای که در قسمت الف پیدا کردیم معادله ما به صورت زیر می شود:

$$\Delta V = 2.15 - 0.05 I$$

که معادله یک خط راست است با قرار دادن صفر به جای جریان، اختلاف پتانسیل ۲,۱۵ و با قرار دادن ۱ در جریان، اختلاف پتانسیل ۲,۱ می شود و با این دو نقطه می توانیم معادله خطمان را رسم کنیم:



یعنی با افزایش جریان، باتری با افت پتانسیل مواجه می شود.

**ترکیب مقاومت ها:** معمولاً در مدارهای وسیله های الکتریکی از تعداد بسیار زیادی مقاومت الکتریکی استفاده می شود که با انواع گوناگون پیچیده ای به هم متصل (ترکیب) می شوند.

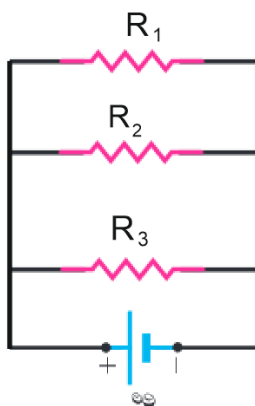
**انواع ترکیب (اتصال) مقاومت ها:** در حوزه کتاب درسی ما، دو نوع اتصال مقاومت را بررسی خواهیم کرد:

الف) ترکیب سری (متوالی) و ب) ترکیب موازی

**ترکیب سری (متوالی) مقاومت:** در این نوع ترکیب مقاومت ها پشت سر هم به یکدیگر متصل می شوند و انشعاب میان مقاومت ها وجود ندارد. (به شکل زیر):

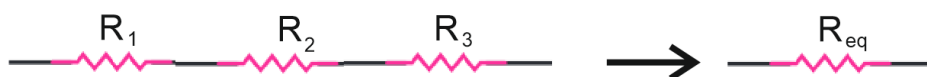


**ترکیب موازی:** در این نوع ترکیب دو سر هر مقاومت به دو سر مقاومت دیگری متصل می شود و همه مقاومت ها از یک طرف به قطب مثبت باتری و از طرف دیگر به قطب منفی باتری وصل می گردند (به شکل زیر توجه کنید):



**مقاومت معادل:** هنگام ترکیب مقاومت ها می توانیم تمام مقاومت ها را یک مقاومت بزرگ در نظر بگیریم که مقاومت الکتریکی آن معادل مقاومت هایی خواهد بود که به هم متصل می باشند.

**مقاومت معادل در ترکیب سری:** در ترکیب سری جریان عبوری از تک تک مقاومت ها یکسان می باشد و اختلاف پتانسیل کل مقاومت ها برابر با مجموع اختلاف پتانسیل های همه مقاومت ها می باشد همچنین مقاومت معادل برابر با جمع جبری مقاومت ها می باشد:



$$I_{eq} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

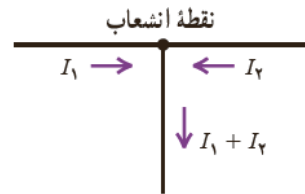
$eq$ : به معنای معادل است.

**نکته:** مقاومت معادل در حالت سری همواره از بزرگترین مقاومت آن سری بیشتر خواهد بود:

$$R_{eq} > R_{max}$$

قبل از اینکه به ترکیب موازی برسیم قاعده مهم انشعاب را ذکر می کنیم:

**انشعاب چیست؟** انشعاب (گره) به نقطه ای می گویند که در آنجا سه یا چند سیم به هم برسند.



**شاخه:** هر اتصالی بین دو نقطه انشعاب را شاخه می گویند. به عبارتی هر سیمی که از نقطه انشعاب خارج و به نقطه انشعاب دیگری می رسد یک شاخه است.

**توجه!** داخل شاخه اجزای مختلفی از جمله مقاومت، منبع محرکه و خازن و ... وجود دارد.

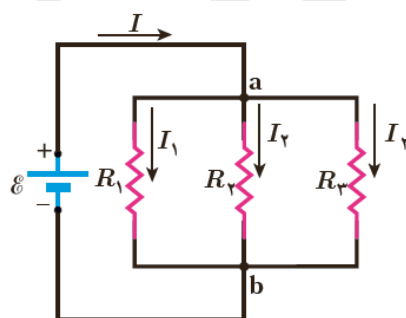
**قاعده انشعاب:** مجموع جریان هایی که به یک نقطه انشعاب وارد می شود برابر با مجموع جریان هایی است که از آن نقطه انشعاب خارج می گردد.

مجموع جریان های ورودی = مجموع جریان های خروجی

$$I_{out} = I_{in}$$

**مقاومت معادل در ترکیب موازی:** از این نوع ترکیب اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ها یکسان بوده اما جریان الکتریکی کل در مقاومت ها توزیع می شود.

در شکل زیر سه مقاومت به طور متوالی به هم متصل شده اند که اختلاف پتانسیل هر دو سر آنها با یکدیگر یکسان و برابر اختلاف پتانسیل باتری می باشد، همچنین مجموع جریان های عبوری از مقاومت ها برابر جریان کل خواهد بود، پس داریم:



$$I_{eq} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

و مقاومت معادل برای ترکیب موازی برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

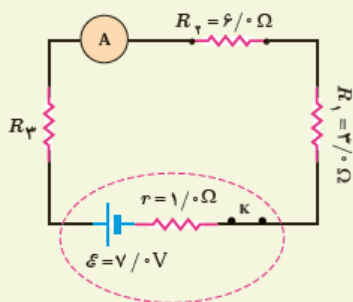
که پس از یافتن مقدار  $\frac{1}{R_{eq}}$  آن را معکوس می کنیم و مقاومت معادل بدست می آید.

**نکته:** مقاومت معادل در حالت موازی همواره از کوچکترین مقاومت نیز کوچکتر خواهد بود:

$$R_{eq} < R_{min}$$

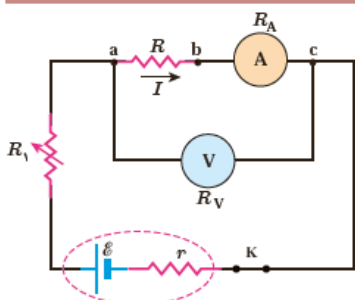
**نکته:** اگر  $n$  مقاومت هم اندازه  $R$  به صورت موازی بسته شوند مقاومت معادل برابر  $R_{eq} = \frac{R}{n}$  خواهد بود و اگر  $n$  مقاومت هم اندازه  $R$  به صورت متوالی بسته شود مقاومت معادل برابر  $R_{eq} = nR$  می شود.

### تمرین ۲-۵



در شکل روبه‌رو، سه مقاومت به همراه یک آمپرسنج به صورت متوالی به یک باتری وصل شده‌اند و مقاومت آمپرسنج صفر است (آمپرسنج آرمانی). اگر مقاومت معادل مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  برابر با  $13\Omega$  باشد (الف) مقاومت چقدر است؟ (ب) جریانی را که آمپرسنج نشان می‌دهد به دست آورید. (پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  در مدار برابر است.

### مثال ۲-۱۱



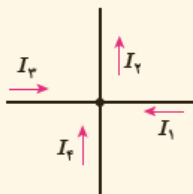
شکل روبه‌رو مداری را برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول  $R$  نشان می‌دهد. فرض کنید در این مدار ولت‌سنج  $24V$  و آمپرسنج  $0.2A$  را نشان دهد. مقاومت ولت‌سنج  $R_V = 10^4 \Omega$  و مقاومت آمپرسنج  $R_A = 10 \Omega$  است. مقاومت  $R$  را به دست آورید. **پاسخ:** مقاومت‌های  $R$  و  $R_A$  به طور متوالی به هم بسته شده‌اند و اختلاف پتانسیل دوسر آنها برابر با  $24V$  است. با توجه به اینکه آمپرسنج جریان  $0.2A$  را نشان می‌دهد و به طور متوالی به مقاومت  $R$  بسته شده است، جریان عبوری از این دو مقاومت نیز برابر  $0.2A$  است:

$$R_{eq} = \frac{V}{I} = \frac{24V}{0.2A} = 120\Omega$$

با توجه به اینکه  $R_{eq} = R + R_A$  و  $R_A = 10\Omega$  است مقاومت مجهول برابر با  $R = 110\Omega$  می‌شود.

### پرسش ۲-۳

برای نقطه انشعاب نشان داده شده در شکل، رابطه بین جریان‌ها را بنویسید.

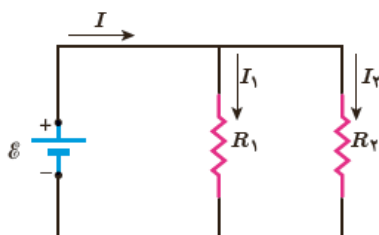


**پاسخ پرسش ۲-۳:** قاعده انشعاب بیان می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی با مجموع جریان‌های خروجی برابر

است پس داریم:

$$I_2 = I_1 + I_3 + I_4$$

### مثال ۲-۱۲ \*



در شکل روبه‌رو، یک باتری آرمانی پتانسیل  $\mathcal{E} = 12\text{V}$  را به دو سر مقاومت‌های  $R_1 = 4\ \Omega$  و  $R_2 = 6\ \Omega$  اعمال می‌کند. الف) جریان عبوری از هر مقاومت و ب) جریانی که از باتری می‌گذرد چقدر است؟

**پاسخ:** مطابق شکل جریان عبوری از باتری، مقاومت  $R_1$ ، و مقاومت  $R_2$  را به ترتیب با  $I$ ،  $I_1$  و  $I_2$  نشان داده‌ایم.

الف) بدیهی است که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  برابر با اختلاف پتانسیل باتری است. بنابراین داریم:

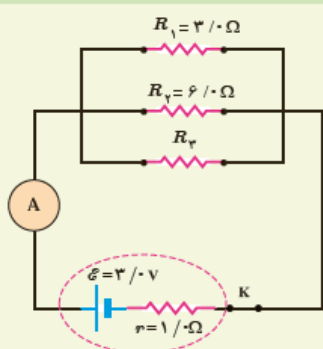
$$V_1 = \mathcal{E} = I_1 R_1 \Rightarrow I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{12\text{V}}{4\ \Omega} = 3\ \text{A}$$

$$V_2 = \mathcal{E} = I_2 R_2 \Rightarrow I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} = \frac{12\text{V}}{6\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

ب) اکنون با استفاده از قاعده انشعاب، جریان عبوری از باتری را می‌یابیم:

$$I = I_1 + I_2 = 3\ \text{A} + 2\ \text{A} = 5\ \text{A}$$

### تمرین ۲-۶



در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب  $1/6\ \Omega$  باشد، الف) مقاومت  $R_3$  چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  برابر است.

### پاسخ تمرین ۲-۶:

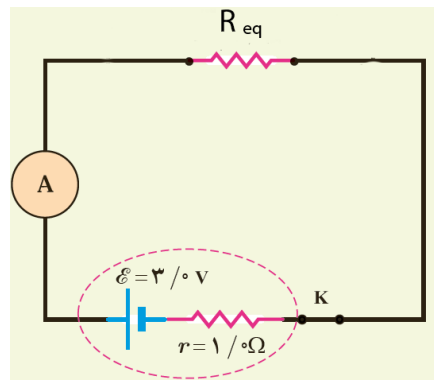
الف: سه مقاومت موازی به هم متصل هستند که از رابطه  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$  مقاومت مجهول را بدست می‌آوریم:

$$\frac{1}{1.6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R_3} \rightarrow \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1.6} - \frac{1}{3} - \frac{1}{6} = \frac{6 - 3.2 - 1.6}{9.6} = \frac{1.2}{9.6}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1.2}{9.6} \rightarrow R_3 = \frac{9.6}{1.2} = 8\ \Omega$$

ب: برای یافتن جریان آمپرسنج دقت کنید سه مقاومت موازی را یک مقاومت در نظر می‌گیریم که برابر  $1/6$  اهم می‌باشد (به اشتباه این سه مقاومت را هنگام یافتن جریان با هم جمع نکنید) در نتیجه مدار ما به شکل زیر در می‌آید:





$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} = \frac{3 \text{ V}}{(1 + 1.6) \Omega} = 1.15 \text{ A}$$

پ: توان خروجی باتری برابر  $\varepsilon I - rI^2 = P_{\text{خروجی}}$  است و توان مصرفی هر مقاومت را از رابطه  $P_{\text{مقاومت}} = \frac{V^2}{R}$  بدست می آوریم (این فرمول از همه راحت تره زیرا در اتصال موازی اختلاف پتانسیل تمام مقاومت ها یکسانه):

$$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^2 = 3 \times 1.15 - 1 \times 1.15^2 = 2.12 \text{ W}$$

اختلاف پتانسیل تمام مقاومت ها برابر اختلاف پتانسیلی است که باتری ایجاد می کند یعنی:

$$V = \varepsilon - Ir = 3 - 1 \times 1.15 = 1.85 \text{ V}$$

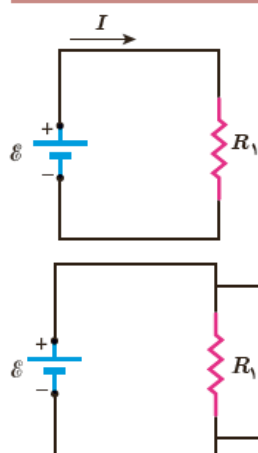
$$P_{\text{مقاومت ۱}} = \frac{V^2}{R_1} = \frac{1.85^2}{3} = 1.14 \text{ W}$$

$$P_{\text{مقاومت ۲}} = \frac{V^2}{R_2} = \frac{1.85^2}{6} = 0.57 \text{ W}$$

$$P_{\text{مقاومت ۳}} = \frac{V^2}{R_3} = \frac{1.85^2}{8} = 0.42 \text{ W}$$

اگر توان مصرفی این سه مقاومت را جمع کنیم برابر با توان خروجی باتری خواهد بود.

## مثال ۲-۱۳



مدار ساده شکل روبه‌رو را که شامل یک منبع نیروی محرکه الکتریکی آرمانی با  $\mathcal{E} = 150\text{V}$  و یک مقاومت با  $R_1 = 100\text{k}\Omega$  است، در نظر بگیرید.

الف) جریان عبوری از منبع را به دست آورید.

ب) اگر مقاومت  $R_2 = 10\text{M}\Omega$  به طور موازی به دو سر مقاومت  $R_1$  متصل شود، مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود و چه جریانی از منبع می‌گذرد؟

**پاسخ:** الف) با استفاده از تعریف مقاومت داریم:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{150\text{V}}{100 \times 10^3 \Omega} = 1/50 \times 10^{-3} \text{A} = 1/50 \text{mA}$$

ب) با استفاده از رابطه ۲-۱۳ داریم:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

در نتیجه

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(100 \times 10^3 \Omega)(10 \times 10^6 \Omega)}{100 \times 10^3 \Omega + 10 \times 10^6 \Omega} = 99/0 \text{k}\Omega$$

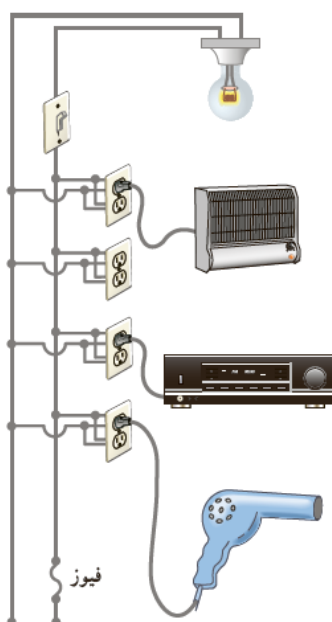
و بنابراین، جریان عبوری از منبع برابر است با

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{eq}}} = \frac{150\text{V}}{9/9 \times 10^4 \Omega} = 1/52 \times 10^{-3} \text{A} = 1/52 \text{mA}$$

همان‌طور که می‌بینید، مقاومت معادل در این حالت که یکی از مقاومت‌ها خیلی بزرگ‌تر از مقاومت دیگر است ( $R_2 \gg R_1$ )

تقریباً برابر با مقاومت کوچک‌تر ( $R_1$ ) است.

## مثال ۲-۱۴



یک لامپ رشته‌ای  $100\text{W}$ ، یک بخاری برقی  $2000\text{W}$ ، یک دستگاه بخش صوت  $200\text{W}$ ، و یک سشوار (موخشک‌کن)  $2200\text{W}$  مطابق شکل به پریزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی  $220\text{V}$  وصل شده است.

الف) اگر فیوز شکل  $15\text{A}$  باشد، یعنی حداکثر بتواند جریان  $15\text{A}$  را تحمل کند، آیا فیوز خواهد پرید؟

ب) نشان دهید توان الکتریکی مصرفی مقاومت معادل برابر با مجموع توان‌های الکتریکی مصرفی در هریک از آنهاست.

**پاسخ:** الف) همان‌طور که در شکل می‌بینیم در سیم‌کشی منازل همه مصرف‌کننده‌ها به طور موازی متصل می‌شوند. بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر با مجموع جریان‌های عبوری از هریک از مصرف‌کننده‌هاست. با استفاده از رابطه  $I = P/V$  جریان عبوری از هریک از این چهار مصرف‌کننده را به دست می‌آوریم. بنابراین، به ترتیب داریم:

$$I_{\text{بخاری}} = \frac{P_{\text{بخاری}}}{V} = \frac{2000\text{W}}{220\text{V}} = 9/09 \text{A}$$

$$I_{\text{لامپ}} = \frac{P_{\text{لامپ}}}{V} = \frac{100\text{W}}{220\text{V}} = 0/455 \text{A}$$

$$I_{\text{سوار}} = \frac{P_{\text{سوار}}}{V} = \frac{2200W}{220V} = 10A$$

$$I_{\text{بخش}} = \frac{P_{\text{بخش}}}{V} = \frac{200W}{220V} = 0.909A$$

بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر است با:

$$I_{\text{سوار}} = I_{\text{کل}} = I_{\text{لامپ}} + I_{\text{بخاری}} + I_{\text{بخش}} + I_{\text{سوار}}$$

$$= 0.455A + 0.909A + 0.909A + 10A = 20.5A$$

چون فیوز ۱۵A است. بنابراین، فیوز خواهد پرید. در اغلب منازل چند مدار سیم کشی جداگانه داریم که هر یک فیوز مربوط به خود را دارد. برای اینکه بتوانیم به طور هم زمان از چند وسیله برقی استفاده کنیم، باید وسایل برقی را به طور هم زمان به یک مدار وصل نکنیم و مدارهای دیگر را نیز به کار گیریم.

ب) دیدیم که همه مصرف کننده ها به طور موازی متصل می شوند. بنابراین، مقاومت معادل مصرف کننده های شکل از رابطه ۲-۱۳ به دست می آید. بنابراین، برای محاسبه مقاومت لازم است مقاومت هر یک از وسیله ها را به طور جداگانه محاسبه کنیم. مقاومت

هر مصرف کننده با استفاده از رابطه  $P = \frac{V^2}{R}$  به دست می آید. بنابراین، به ترتیب داریم:

$$R_{\text{بخاری}} = \frac{V^2}{P_{\text{بخاری}}} = \frac{(220V)^2}{2000W} = 24.2\Omega$$

$$R_{\text{لامپ}} = \frac{V^2}{P_{\text{لامپ}}} = \frac{(220V)^2}{100W} = 484\Omega$$

$$R_{\text{سوار}} = \frac{V^2}{P_{\text{سوار}}} = \frac{(220V)^2}{2200W} = 22\Omega$$

$$R_{\text{بخش}} = \frac{V^2}{P_{\text{بخش}}} = \frac{(220V)^2}{200W} = 242\Omega$$

پس مقاومت معادل چنین محاسبه می شود:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{1}{R_{\text{بخاری}}} + \frac{1}{R_{\text{بخش}}} + \frac{1}{R_{\text{سوار}}} =$$

$$= \frac{1}{484\Omega} + \frac{1}{24.2\Omega} + \frac{1}{242\Omega} + \frac{1}{22\Omega} = 0.093\Omega^{-1}$$

و در نتیجه  $R_{\text{eq}} = 10.75\Omega \approx 10.8\Omega$ . بنابراین، توان مصرفی مقاومت معادل چنین می شود:

$$P_{R_{\text{eq}}} = \frac{V^2}{R_{\text{eq}}} = \frac{(220V)^2}{10.75\Omega} = 450kW$$

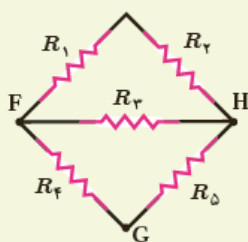
اکنون می خواهیم این نتیجه را با مجموع توان های هر یک از مصرف کننده ها مقایسه کنیم.

مجموع توان مصرف کننده ها برابر است با:

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} + P_{\text{بخش}} + P_{\text{سوار}} = 100W + 2000W + 200W + 2200W = 4500W$$

که همان توان مصرفی مقاومت معادل است.

## تمرین ۲-۷



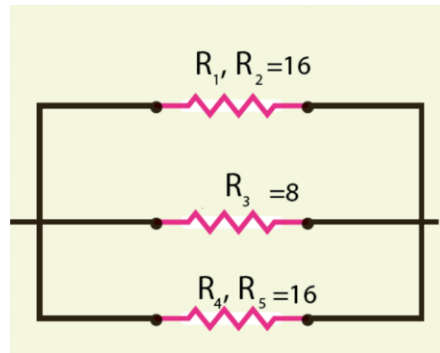
شکل روبه رو پنج مقاومت ۸/۰ اهمی را نشان می دهد.

الف) مقاومت معادل بین نقطه های F و H چقدر است؟

ب) مقاومت معادل بین نقطه های F و G چقدر است؟

## پاسخ تمرین ۲-۷:

الف: برای یافتن مقاومت معادل بین نقطه های  $F$  و  $H$  دقت کنید که مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  با هم متوالی و مقاومت های  $R_4$  و  $R_5$  نیز به صورت متوالی بسته شده اند پس شکل ما به صورت زیر در می آید:



مقاومت معادل سه موازی به صورت زیر بدست می آید:

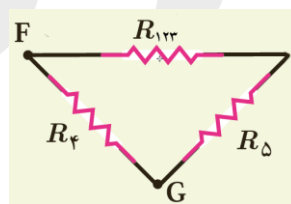
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{45}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} + \frac{1}{8} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1+1+2}{16} = \frac{4}{16}$$

$$R_{eq} = 4 \Omega$$

ب: در این حالت ابتدا مقاومت معادل  $R_1$  و  $R_2$  که متوالی هستند را بدست می آوریم که ۱۶ اهم می شود سپس این مقاومت با مقاومت  $R_3$  موازی هست که مقاومت معادل  $R_{123}$  با مقاومت  $R_3$  به صورت زیر بدست می آید:

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} = \frac{1+2}{16} = \frac{3}{16} \rightarrow R_{123} = \frac{16}{3}$$

مدار ما به شکل زیر ساده می شود:

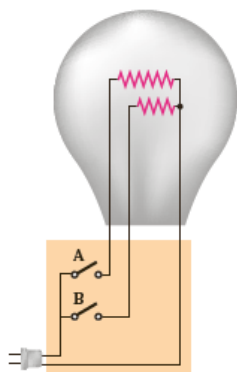


حال  $R_{123}$  با  $R_4$  متوالی است که معادلشان می شود:  $R_{1234} = 8 + \frac{16}{3} = \frac{24+16}{3} = \frac{40}{3}$

در آخر دو مقاومت  $R_{1234}$  و  $R_5$  با هم موازی هستند و داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{1234}} + \frac{1}{R_5} = \frac{3}{40} + \frac{1}{8} = \frac{3+5}{40} = \frac{8}{40} \rightarrow R_{eq} = \frac{40}{8} = 5 \Omega$$

## مثال ۲-۱۵



یک لامپ سه‌راهه  $220\text{V}$  که دو رشته دارد مطابق شکل برای کار در سه توان مختلف ساخته شده است. کمترین و بیشترین توان مصرفی این لامپ به ترتیب  $50\text{W}$  و  $150\text{W}$  است. مقاومت هر یک از رشته‌ها را بیابید.

**پاسخ:** همان‌طور که می‌دانیم توان الکتریکی مصرفی از رابطه  $P = V^2/R$  به دست می‌آید. بنابراین، بیشترین توان مربوط به کمترین مقاومت و کمترین توان مربوط به بیشترین مقاومت است. در بستن موازی مقاومت‌ها دیدیم مقاومت معادل کوچک‌تر از هر یک از مقاومت‌هاست. بنابراین، بیشترین توان مربوط به وقتی است که کلیدهای a و b هر دو بسته‌اند؛ یعنی:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

که در آن  $R_1$  و  $R_2$  مقاومت‌های دو رشته لامپ‌اند. بنابراین، برای مقاومت معادل داریم:

$$R_{\text{eq}} = R_{\text{min}} = \frac{V^2}{P_{\text{max}}} = \frac{(220\text{V})^2}{150\text{W}} = 323\Omega$$

از طرفی کمترین توان مربوط به وقتی است که کلید مربوط به رشته با مقاومت بیشتر بسته شده است. اگر این مقاومت را با

$$R_1 = R_{\text{max}} = \frac{V^2}{P_{\text{min}}} = \frac{(220\text{V})^2}{50\text{W}} = 968\Omega$$

نمایش دهیم، داریم:

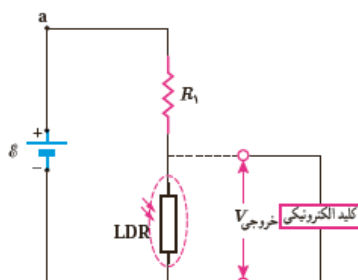
بنابراین، مقاومت مجهول  $R_2$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{\text{eq}}} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{323\Omega} - \frac{1}{968\Omega} = 2/06 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$R_2 = \frac{1}{2/06 \times 10^{-3} \Omega^{-1}} = 485\Omega$$

در نتیجه

## مثال ۲-۱۶



در بسیاری از مدارهای الکتریکی از تغییر مقاومت برای تقسیم ولتاژ استفاده می‌کنند. از این ویژگی در برخی از تجهیزات الکتریکی به‌عنوان کلید الکترونیکی بهره‌برداری می‌شود. آژیر خطر، کلید خودکار روشن شدن چراغ‌ها و ... مثال‌هایی از این دست هستند. شکل رویه‌رو چنین مداری را که در چراغ روشنایی خودروها به‌کار می‌رود، نشان می‌دهد. در این مدار از دو مقاومت  $R_1$  و مقاومت متغیر LDR استفاده شده است که به‌طور متوالی به هم وصل‌اند. همان‌طور که می‌دانیم وقتی تابش نور به LDR قطع می‌شود، مقاومت آن افزایش می‌یابد. در نتیجه ولتاژ خروجی ( $V_{\text{خروجی}}$ ) زیاد می‌شود. این افزایش ولتاژ سبب فعال شدن کلید الکترونیکی می‌شود که به چراغ وصل است و بدین ترتیب چراغ روشن می‌شود. بنابراین تا زمانی که نور به اندازه کافی نباشد، کلید فعال نمی‌شود. فرض کنید در شکل بالا، منبع نیروی محرکه، آرمانی و ولتاژ آن  $12/0\text{V}$  باشد و ولتاژ موردنیاز برای فعال شدن کلید الکترونیکی  $5/0\text{V}$  باشد. وقتی مقاومت LDR به  $20\text{k}\Omega$  می‌رسد، کلید الکترونیکی فعال می‌شود. مقاومت  $R_1$  چقدر است؟ (مقاومت کلید الکترونیکی آنقدر زیاد است که جریان قابل ملاحظه‌ای از آن عبور نمی‌کند. بنابراین می‌توانیم  $R_1$  و LDR را متوالی در نظر بگیریم.)

**پاسخ:** با استفاده از قاعده حلقه داریم:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{\text{LDR}}}$$

از طرفی بدیهی است

$$V_{\text{خروجی}} = R_{\text{LDR}} I$$

از ترکیب دو معادله بالا خواهیم داشت:

$$V_{\text{خروجی}} = R_{\text{LDR}} \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{\text{LDR}}}$$

و از آنجا برای  $R_1$  چنین به‌دست می‌آوریم:

$$R_1 = \frac{R_{\text{LDR}} (\mathcal{E} - V_{\text{خروجی}})}{V_{\text{خروجی}}} = \frac{(20\text{k}\Omega)(12/0\text{V} - 5/0\text{V})}{5/0\text{V}} = 28\text{k}\Omega$$

## تمرینات آخر فصل:

## ۲-۶ ترکیب مقاومت‌ها

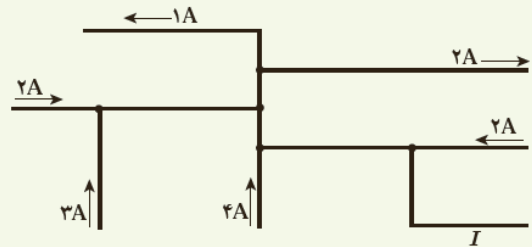
**۲۱** لامپ‌های یک درخت زینتی، به‌طور متوالی متصل شده‌اند. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد، چه اتفاقی می‌افتد؟ به نظر شما چرا همه چراغ‌های خودرو (چراغ‌های جلو، عقب و ...) به‌طور موازی بسته می‌شوند؟

**پاسخ تمرین ۲۱ آخر فصل:** اگر یکی بسوزد انگار مدار را از آن نقطه قطع کرده ایم، پس چون تمام لامپ‌ها پشت سر هم وصل شده‌اند همه لامپ‌ها خاموش می‌شوند به همین دلیل است که سیم کشی چراغ‌های خود را موازی متصل می‌کنند زیرا در حالت موازی این مشکل وجود ندارد و با سوختن یک لامپ، جریان از سایر لامپ‌ها می‌تواند عبور کند.

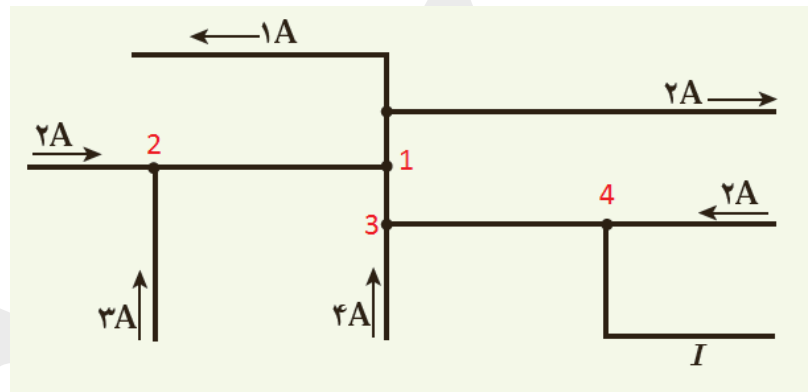
**۲۲** مقاومت یک آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریان در یک مدار باید چگونه باشد تا جریان اندازه‌گیری شده توسط آمپرسنج با جریان قبل از قرار دادن آمپرسنج، نزدیک به هم باشد؟

**پاسخ تمرین ۲۲ آخر فصل :** مقاومت یک آمپر سنج باید تا حد امکان بسیار کم باشد تا تاثیری در جریان عبوری از سیم نداشته باشد.

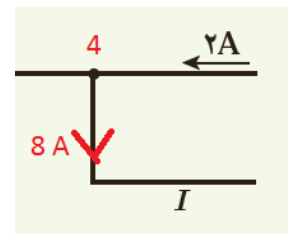
**۲۳** شکل زیر بخشی از یک مدار را نشان می‌دهد. بزرگی و جهت جریان  $I$  در سیم پایین سمت راست چیست؟



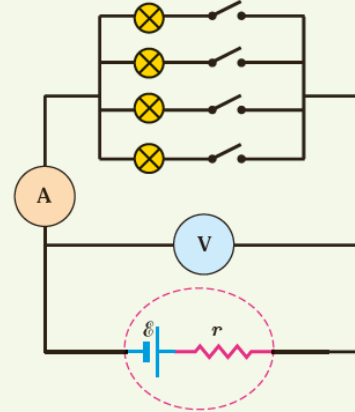
**پاسخ تمرین ۲۳ آخر فصل :** مجموع جریان های ورودی برابر جریان های خروجی است، به شکل زیر توجه کنید:



از نقطه ۲ جریان های دو و سه آمپری (میشه ۵ آمپر) وارد می شوند و از نقطه ۱ جریان سه آمپری به سمت بالا می‌رود که به دو شاخه یک و دو آمپری تقسیم شده، پس از سمت چپ ۵ آمپر وارد نقطه ۱ و سه آمپر از آن خارج شده، که می ماند دو آمپر که باید از نقطه ۱ به سمت پایین حرکت کند و همراه با جریان چهار آمپری از نقطه ۳ به سمت راست حرکت کنند (پس شش آمپر از نقطه ۳ به سمت نقطه ۴ حرکت می کند) در نقطه ۴ جریان شش آمپری از طرف چپ با جریان ۲ آمپری از طرف راست به سمت سیم مجهول وارد می شود.



۲۴ در شکل زیر، تعدادی لامپ مشابه به طور موازی به هم متصل شده‌اند و هر لامپ با کلیدی همراه است. بررسی کنید که با بستن کلیدها یکی پس از دیگری، عددهایی که آمپرسنج و ولت سنج نشان می‌دهند، چه تغییری می‌کند؟



**پاسخ تمرین ۲۴ آخر فصل :** آمپرسنج: در ابتدا آمپرسنج عدد صفر را نشان خواهد داد! زیرا جریانی از سیم عبور نمی‌کند، با بستن اولین کلید جریان عبور خواهد کرد و آمپرسنج عددی را نشان خواهد داد، با ادامه بستن کلیدها آمپرسنج عدد بزرگتری را نشان خواهد داد! زیرا لامپ‌ها به صورت موازی متصل شده‌اند و اتصال موازی باعث کاهش مقاومت و افزایش جریان عبوری می‌شود.

ولت سنج: در ابتدا که جریان وجود ندارد ولت سنج همان نیروی محرکه باتری  $\mathcal{E}$  را نشان خواهد داد، هنگام بستن کلیدها چون جریان مداوم افزایش خواهد یافت با افزایش جریان باتری با افت پتانسیل مواجه خواهد شد (در اثر وجود مقاومت داخلی) پس عددی که ولت سنج نشان می‌دهد با بستن کلیدها کاهش خواهد یافت.

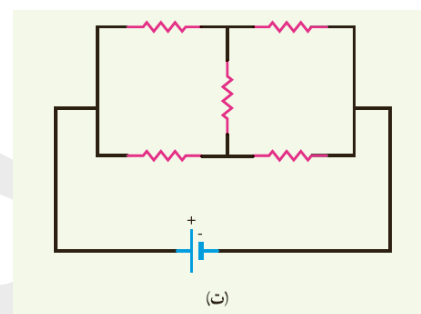
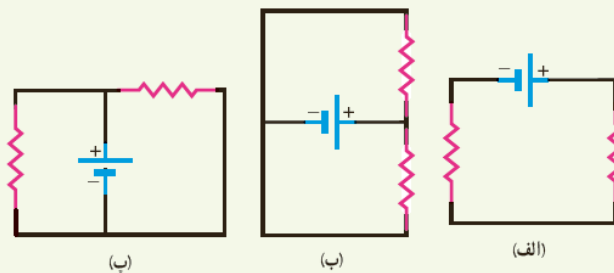
۲۵ دو لامپ با مقاومت مساوی  $R$  را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و آنها را هر بار به ولتاژ  $V$  وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف شده در حالت موازی به توان مصرف شده در حالت متوالی چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۲۵ آخر فصل :** در حالت موازی مقاومت معادل برابر  $\frac{R}{۲}$  و در حالت سری مقاومت معادل برابر  $۲R$  می‌باشد پس نسبت توان مصرفی در حالت موازی به توان مصرفی در حالت متوالی به شکل زیر بدست می‌آید:

$$\frac{P_{\text{موازی}}}{P_{\text{متوالی}}} = \frac{\frac{V^2}{R_{\text{موازی}}}}{\frac{V^2}{R_{\text{متوالی}}}} = \frac{R_{\text{متوالی}}}{R_{\text{موازی}}} = \frac{۲R}{\frac{R}{۲}} = ۴$$



۲۶ در شکل‌های زیر، آیا مقاومت‌ها به‌طور متوالی بسته شده‌اند یا موازی و یا هیچ کدام؟



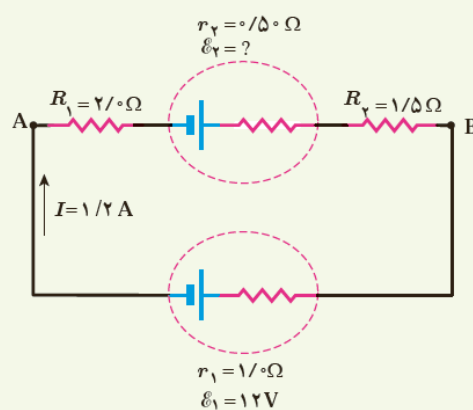
**پاسخ تمرین ۲۶ آخر فصل :** الف: مقاومت‌ها پشت سرهم بسته شده‌اند و متوالی هستند.

ب: هر دو سر مقاومت به دو سر مقاومت دیگری متصل است و موازی هستند.

پ: مانند شکل ب است و تفاوتی ندارد.

ت: در این شکل مقاومت‌ها نه موازی و نه متوالی است.

۲۷ در مدار شکل زیر جریان در جهت نشان داده شده  $1/2$  A است.  
الف) نیروی محرکه  $\mathcal{E}_2$  و  $V_A - V_B$  چقدر است؟  
ب) انرژی مصرف شده در  $R_1$  و  $R_2$  در مدت  $5/0$  ثانیه چقدر است؟



**پاسخ تمرین ۲۷ آخر فصل :** الف: از نقطه A شروع می‌کنیم و در جهت جریان یک دور می‌زنیم:

$$-IR_1 + \varepsilon_2 - Ir_1 - IR_2 - Ir_2 - \varepsilon_1 = 0$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + I(R_1 + r_1 + R_2 + r_2) = 12 + 1.2(2 + 0.5 + 1.5 + 1) = 18 \text{ V}$$

$$V_a - IR_1 + \varepsilon_2 - Ir_1 - IR_2 = V_b \rightarrow V_a - V_b = -\varepsilon_2 + I(R_1 + r_1 + R_2)$$

$$V_a - V_b = -18 + 1.2(2 + 0.5 + 1.5) = -13.2 \text{ V}$$

ب:

$$U_1 = R_1 I^2 t = 2 \times 1.2^2 \times 5 = 34.56 \text{ J}$$

$$U_2 = R_2 I^2 t = 1.5 \times 1.2^2 \times 5 = 10.8 \text{ J}$$

**۲۸** سه مقاومت مشابه ۱۲ اهمی را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و به اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟

**پاسخ تمرین ۲۸ آخر فصل:** اگر سه مقاومت مشابه ۱۲ اهمی را متوالی وصل کنیم مقاومت معادل سه برابر می‌شود یعنی ۳۶ اهم و اگر به صورت موازی وصل کنیم یک سوم برابر می‌شود یعنی ۴ اهم، حال با استفاده از قانون اهم می‌توانیم جریان عبوری از هر کدام را بدست آوریم:

در مقاومت سری جریان عبوری از هر مقاومت یکسان و برابر جریان عبوری از مقاومت معادل است پس:

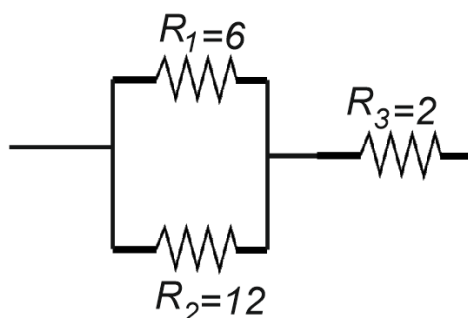
$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12 \text{ V}}{36 \Omega} = \frac{1}{3} \text{ A}$$

در حالت موازی جریان عبوری در هر مقاومت تقسیم می‌شود و باید جریان هر مقاومت را جداگانه بدست آوریم اما از آنجایی که مقاومت هر سه یکسان است پس جریان هر سه یکسان می‌شود:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12 \text{ V}}{12 \Omega} = 1 \text{ A}$$

**۲۹** دو مقاومت موازی ۶/۰ اهمی و ۱۲ اهمی به طور متوالی به یک مقاومت ۲/۰ اهمی وصل شده است. اکنون، مجموعه مقاومت‌ها را به دو سریک باتری آرمانی ۳۶ ولتی می‌بندیم. توان مصرفی در مقاومت ۶/۰ اهمی را محاسبه کنید.

پاسخ تمرین ۲۹ آخر فصل : مدار مسئله به شکل زیر است :



مقاومت معادل  $R_1$  و  $R_2$  از رابطه  $\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$  بدست می آید سپس با مقاومت سوم جمع جبری می شود:

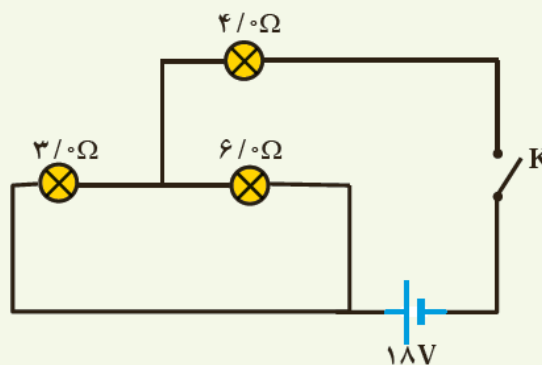
$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} \rightarrow R_{12} = 4 \Omega$$

$$R_{eq} = R_{12} + R_3 = 4 \Omega + 2 \Omega = 6 \Omega$$

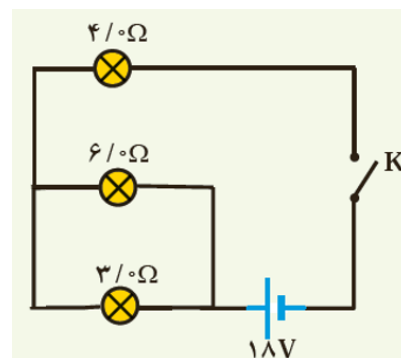
حال جریان عبوری از کل مقاومت ها برابر مقدار  $I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{36}{6} = 6 A$  می شود. که چون مقاومت  $R_1$  نصف مقاومت  $R_2$  است پس جریان عبوری از  $R_1$  دو برابر جریان عبوری از  $R_2$  می باشد. در نتیجه از ۶ آمپر ۴ آمپر از مقاومت ۶ اهمی عبور خواهد کرد، پس توان مصرفی مقاومت ۱ از رابطه زیر بدست می آید:

$$P = RI^2 = 6 \times 6^2 = 216 W$$

۳۰ در شکل زیر، وقتی کلید بسته شود چه جریانی از هر لامپ رشته‌ای می‌گذرد؟



پاسخ تمرین ۳۰ آخر فصل : این مدار کمی دانش آموز را به اشتباه می اندازد، برای درک بیشتر لامپ سه اهمی را می کشیم و به زیر لامپ ۶ اهمی می آوریم (روی یک شاخه سیم تا جایی که به گره برخورد نکرده ایم می توانیم مقاومت را جابجا کنیم که هیچ تاثیری در مدار ندارد) در نتیجه مدار ما به شکل زیر تبدیل می شود:



دو مقاومت ۳ و ۶ اهمی با هم موازی اند که معادلش می شود :

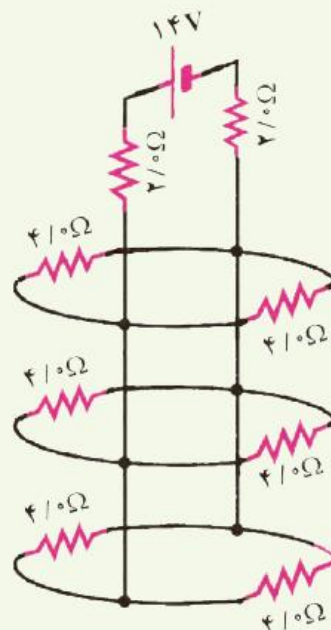
$$\frac{1}{R_{\text{موازی}}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{6}{12} \rightarrow R_{\text{موازی}} = 2 \Omega$$

که با مقاومت ۴ اهمی متوالی است در نهایت مقاومت معادل کل می شود :

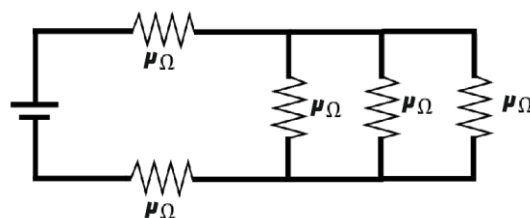
$$R_{\text{eq}} = R_{\text{موازی}} + R_{\text{سری}} = 2 \Omega + 4 \Omega = 6 \Omega$$

جریان عبوری از سیم اصلی برابر  $I = \frac{V}{R_{\text{eq}}} = \frac{18}{6} = 3 \text{ A}$  می شود پس از مقاومت ۴ اهمی ۳ آمپر می گذرد و اما این ۳ آمپر بین دو مقاومت ۳ و ۶ اهمی تقسیم می شود مقاومت ۳ اهمی چون نصف مقاومت ۶ اهمی است جریان دو برابر بیشتر از آن نسبت به مقاومت شش اهمی می گذرد یعنی از ۳ آمپر یک آمپر از مقاومت ۶ اهمی و دو آمپر از مقاومت ۳ اهمی عبور خواهد کرد.

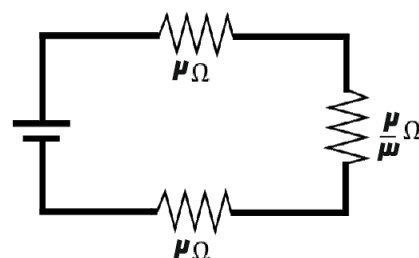
۳۱ جریانی که از منبع نیروی محرکه آرمانی و هر یک از مقاوت‌های شکل روبه‌رو می‌گذرد، چقدر است؟



**پاسخ تمرین ۳۱ آخر فصل :** هر مقاومت ۴ اهمی با مقاومت روبروی خودش موازی است که دو مقاومت موازی ۴ اهمی برابر یک مقاومت ۲ اهمی می‌شوند پس شکل ما به صورت زیر می‌شود:



سه مقاومت سمت راستی موازی هستند که معادلشان می‌شود  $\frac{2}{3}$  که با دو مقاومت دیگر سری می‌شود یعنی :

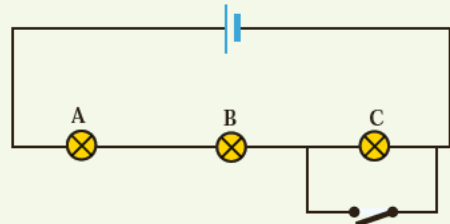


پس جریان عبوری از هر مقاومت شکل بالا برابر  $I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{14}{2+2+\frac{2}{3}} = 3 A$  می‌شود. مقاومت  $\frac{2}{3}$  اهمی همان شکل

قبلی است که شامل سه مقاومت ۲ اهمی می‌باشد پس این سه آمپر بین این سه مقاومت تقسیم می‌شود و از هر مقاومت ۱ آمپر می‌گذرد این مقاومت‌های ۲ اهمی هم همان مقاومت‌های ۴ اهمی موازی هم بودند پس این یک

آمپر هم بین آن ها تقسیم می شود در نتیجه با توجه به شکل اصلی از مقاومت های ۴ اهمی جریان ۰,۵ آمپر می گذرد و از مقاومت های ۲ اهمی ۳ آمپر عبور خواهد کرد.

۳۲ لامپ های A، B و C در شکل زیر همگی یکسان اند. با بستن کلید، کدام یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد).



الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی کند.  
ب) اختلاف پتانسیل دو سر C به اندازه ۵۰٪ کاهش می یابد.

پ) هر یک از اختلاف پتانسیل های A و B به اندازه ۵۰٪ افزایش می یابد.

ت) اختلاف پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می یابد.

**پاسخ تمرین ۳۲ آخر فصل :** گزینه ب و ت صحیح است .

ادامه درسنامه در نسخه بعدی .....

پی نوشت: بی شک این جزوه درسی عاری از اشکال نگارشی و محاسباتی و همچنین غلط های املائی نیست. از شما خوانندگان گرامی تقاضا دارم نقد های خود را برای هر چه بهتر شدن این جزوه و همچنین جزوات بعدی برایمان ارسال فرمایید.

راههای ارتباطی :

سایت : [www.garmroudi.ir](http://www.garmroudi.ir)

تلگرام : <https://telegram.me/gmrdr>

توجه: هر گونه استفاده از مطالب جزوه بدون ذکر منبع و نام نویسنده حرام بوده و پیگرد قانونی دارد..