

## فصل پنجم

# جریان و مدارهای الکتریکی

حتماً تاکنون به ریشه‌هایی که برای تزئین خیابان‌ها و معابر استفاده می‌شود نگاه کرده و متوجه شده‌اید که با وجود سوختن یکی از لامپ‌ها بقیه همچنان روشن هستند. آیا فکر کرده‌اید که چرا چنین است؟ آیا شیوه‌ای به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریشه‌ها مهم است؟



انرژی الکتریکی مصرفی



اختلاف پتانسیل (ولتاژ)  
مقاومت الکتریکی



شدت جریان الکتریکی

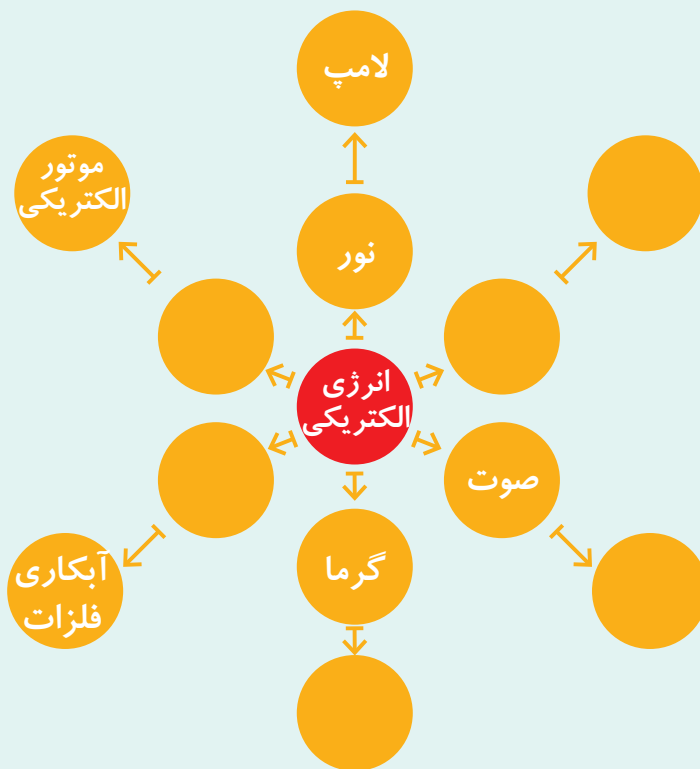


خواص الکتریکی مواد

امروزه انرژی الکتریکی به عنوان مهم ترین منبع انرژی نقش اساسی در زندگی روزمره ایفا می کند. با نگاهی به اطراف خود، متوجه اکثر وسایل خانگی و صنعتی که با انرژی الکتریکی کار می کنند، می شویم.

شکل زیر نمونه هایی از کاربرد انرژی الکتریکی را نشان می دهد. جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.

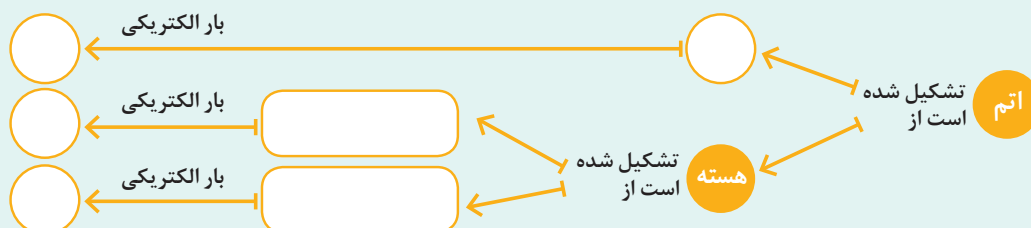
فکر کنید



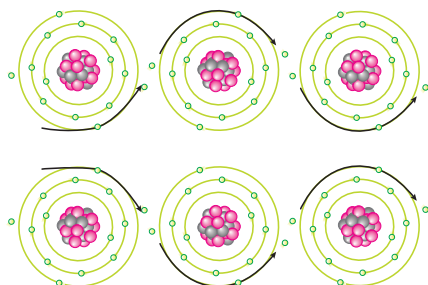
همان طور که از «فکر کنید» متوجه شدید، بدون وجود انرژی الکتریکی تقریباً اکثر فعالیت های صنعتی مختل می شود. اما برق و الکتریسیته چیست؟ و چگونه به وجود می آید؟ و چه استفاده هایی دارد؟ قبل از اینکه به پاسخ این پرسش ها بپردازیم، بهتر است مروری بر دانش خود درباره اتم ها و ساختمان آنها داشته باشیم. در کتاب علوم پایه هشتم با ساختمان اتم آشنا شدید.

جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.

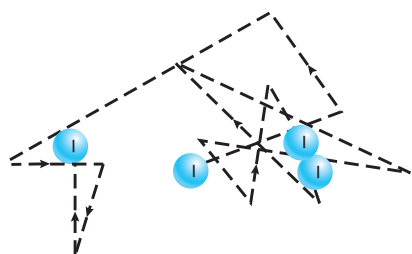
فکر کنید



## ۱-۵ الکترون آزاد



شکل ۱-۵ انتقال الکترون آزاد در یک اتم به اتم دیگر



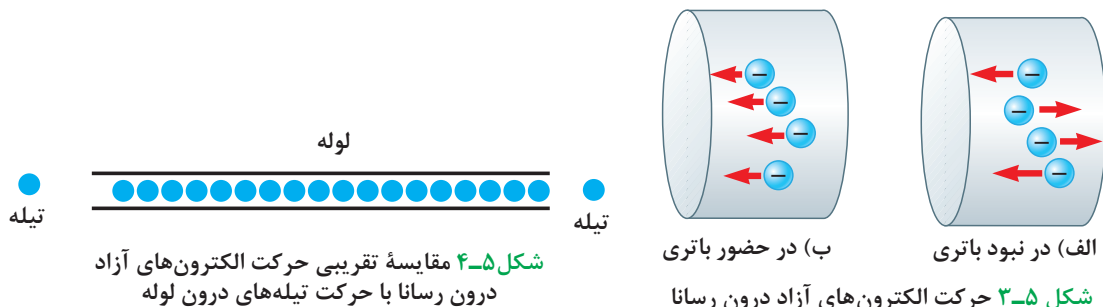
شکل ۲-۵ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌های آزاد

همان‌طور که در کتاب علوم تجربی پایه هشتم بیان شده، تفاوت بین مواد رسانا و نارسانا در ساختمان اتمی آنها نهفته است. الکترون‌ها در فضای اطراف هسته قرار دارند. آن دسته از الکترون‌هایی که از هسته دور هستند تحت اثر نیروی جاذبه ضعیفی قرار می‌گیرند. همچنین الکترون‌هایی که در لایه‌های پایین‌تر هستند آنها را دفع می‌کنند. بنابراین الکترون‌های لایه‌های آخر (که به آنها الکترون‌های والانس نیز می‌گویند) بستگی کمتری به اتم‌های خود دارند و با کمترین انرژی از اتم‌ها کنده شده و به شکل توده‌ای از ابر، شبکه‌های اتمی فلزات را در برمی‌گیرند. این الکترون‌ها بدون آنکه به اتم خاصی وابسته باشند آزادانه درون ماده حرکت می‌کنند و پیوسته از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شوند (شکل ۱-۵)؛ بنابراین به آنها الکترون آزاد می‌گویند. همان‌طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، الکترون‌های آزاد به صورت کاتوره‌ای در رساناها حرکت می‌کنند، زیرا الکترون‌ها در اثر برخورد با اتم‌ها، الکترون‌های آزاد دیگر و ... مرتباً مسیر خود را تغییر می‌دهند.

## ۲-۵ شدت جریان الکتریکی

همان‌طور که مولکول‌های آب درون یک لیوان به اطراف خود حرکت دارند و آب در کل ساکن به نظر می‌رسد؛ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌ها در درون رسانا نیز باعث ایجاد جریان در رسانا نمی‌گردد. اگر سیم رسانا را با یک صفحه فرضی قطع کنیم و سطح مقطعی از آن را در نظر بگیریم، الکترون‌های آزاد در همه جهت‌ها حرکت می‌کنند و بنابراین هیچ گونه انتقال خالص باری از مقطع معین نداریم و در نتیجه جریانی از سیم نمی‌گذرد (شکل ۳-۵ الف). ولی اگر دو طرف رسانا را به دو پایانه مثبت و منفی باتری وصل کنیم، شارش (حرکت) آرامی از بارها در یک جهت ظاهر می‌شود (شکل ۳-۵ ب). در این حالت انتقال خالصی از بارها به وجود آمده در نتیجه جریان الکتریکی در رسانا ایجاد می‌گردد.

الکترون‌های آزادی که در رسانا حرکت می‌کنند، هرکدام الکترون بعد از خود را هل می‌دهند به‌طوری که همه الکترون‌ها همانند یک گروه حرکت می‌کنند. با استفاده از یک تشبیه می‌توان حرکت الکترون‌های آزاد را شبیه حرکت تیله‌ها در یک لوله پر از تیله در نظر گرفت (شکل ۴-۵).



همانند لوله که پر از تیله است، رسانا نیز پر از الکترون‌های آزادی است که تحت تأثیر باتری برای حرکت آماده است. اگر یک تیله به‌طور ناگهانی از طرف چپ وارد لوله پر از تیله شود، تیله دیگری سعی می‌کند از سمت راست لوله خارج شود. این حرکت با سرعت بالایی انجام می‌شود در حالی که تیله‌های وسطی با سرعت کمی حرکت می‌کنند. در الکتریسیته نیز انتقال انرژی از یک سر رسانا به سر دیگر آن با سرعت نور ( $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ ) انجام می‌شود، اما الکترون‌ها با سرعت خیلی کمتری ( $10^{-5} \frac{m}{s}$ ) این مسیر را طی می‌کنند.

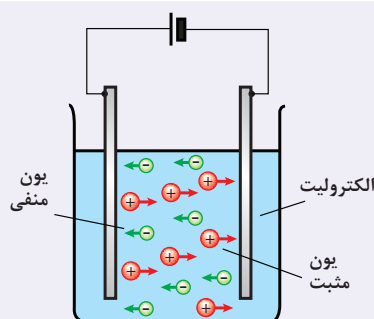
فکر کنید



نکته



چرا هنگامی که کلید لامپ را فشار می‌دهید، بلافاصله لامپ روشن می‌شود؟



حامل‌های بار در رساناها الکترون‌ها هستند. در حالی که در محلول‌های یونی یا نیم‌رساناها، حامل‌های بار متفاوت‌اند؛ مثلاً در محلول‌های یونی که الکترولیت نامیده می‌شوند یون‌های منفی و مثبت حامل‌های بار هستند.



### آندره‌ماری آمپر

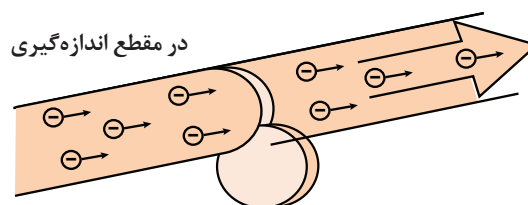
دانشمند فرانسوی در دهکده‌ای نزدیک شهر لیون به دنیا آمد. چون در آن دهکده مدرسه‌ای نبود، آمپر به خودآموزی پرداخت. آمپر استاد ریاضیات در دانشگاه پاریس شد و در تکامل علوم فیزیک، ریاضی و فلسفه سهم بسزایی ایفا کرد. آمپر پس از آزمایش‌های بسیار متوجه شد که دو سیم موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

اکنون می‌خواهیم تعریفی کمی از جریان الکتریکی ارائه نماییم: به مقدار بار الکتریکی خالصی که از یک مقطع رسانا، در زمان معینی عبور می‌کند، شدت جریان الکتریکی متوسط گویند. شدت جریان الکتریکی متوسط را با نماد  $\bar{I}$  نشان می‌دهند و یکای آن آمپر (A) است.

اگر جریان در طول زمان تغییر نکند جریان متوسط و جریان لحظه‌ای با هم برابرند.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-5)$$

در رابطه بالا  $\Delta q$  مقدار بار جابه‌جا شده بر حسب کولن (C) و  $\Delta t$  زمان بر حسب ثانیه (s) می‌باشد.



شکل ۵-۵ جریان الکتریکی



## جریان DC

ساده‌ترین نوع جریان الکتریکی جریان مستقیم (Direct Current) است که در آن ولتاژ با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بارهای الکتریکی همواره در یک جهت عبور می‌کنند. تمامی باتری‌ها و پیل‌های الکتریکی جریان مستقیم تولید می‌کنند.



در رابطه  $\Delta q = \bar{I}(\Delta t)$  اگر  $\bar{I}$  بر حسب آمپر و  $\Delta t$  بر حسب ساعت باشد، یکای  $\Delta q$  آمپر ساعت می‌شود. باتری خودروها یا گوشی‌های همراه عموماً با آمپر ساعت آنها مشخص می‌شود و هر چه آمپر ساعت یک باتری بیشتر باشد، حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.



هنگامی که یک ماشین حساب جیبی روشن می‌شود از باتری آن جریان  $0.15\text{mA}$  می‌گذرد. اگر این ماشین حساب  $10$  دقیقه روشن باشد، چه مقدار بار خالص از مدار ماشین حساب عبور می‌کند؟

پاسخ:

$$\Delta t = 10 \times 60 = 600\text{ s}, \quad \bar{I} = 0.15\text{mA}, \quad \Delta q = ?$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow \Delta q = I \Delta t \rightarrow \Delta q = 0.15 \times 10^{-3} \text{ A} \times 600 \text{ s} = 9 \times 10^{-2} \text{ A.s} = 9 \times 10^{-2} \text{ C}$$



در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی از وسیله‌ای به نام آمپرسنج استفاده می‌شود.

شکل ۵-۶ نمونه‌هایی از آمپرسنج

## کاربرد در صنعت و فناوری: قوس الکتریکی در جوش کاری



جریان الکتریکی از جاری شدن الکترون‌ها در یک مسیر رسانا به وجود می‌آید. هرگاه در چنین مسیری یک شکاف هوا (گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان زیاد باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می‌شود. هنگام جوش کاری نیز، الکتروود انبر نقش پایانه مثبت و قطعه کار نقش پایانه منفی را دارد. زمانی که الکتروود با قطعه کار برخورد می‌کند جرقه‌ای ایجاد می‌شود که همان قوس الکتریکی است.

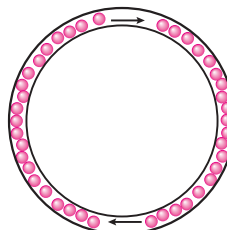


## ۵-۳ مدار الکتریکی

اگر بخواهیم الکترون‌ها در یک جهت خاص و از مکان معینی شارش کنند، باید مسیر مناسبی برای حرکت آنها ایجاد کنیم، این مسیر باید یک مسیر بسته باشد، که آن را مدار الکتریکی می‌گویند (شکل ۵-۷). هرگونه قطع شدگی در مدار مانع حرکت الکترون‌ها می‌گردد (شکل ۵-۸).

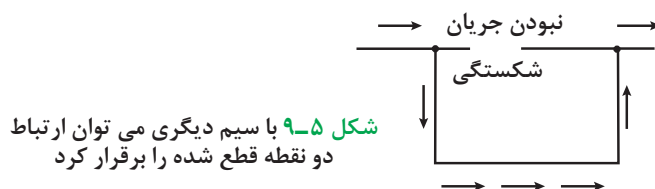


شکل ۵-۸ قطع شدگی در مدار



شکل ۵-۷ مسیر بسته برای عبور جریان (مدار)

برای ارتباط دو نقطه قطع شده می‌توانیم از سیم دیگری استفاده کنیم و شارش الکترون‌ها را دوباره برقرار نماییم (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹ با سیم دیگری می‌توان ارتباط دو نقطه قطع شده را برقرار کرد



جریان الکتریکی همواره مسیری را برای عبور انتخاب می‌کند که کوتاه‌ترین و سریع‌ترین مسیر ممکن باشد. از آنجا که ۷۰ درصد بدن ما را آب تشکیل داده و آب رسانای بسیار خوبی برای گذر جریان الکتریکی است، هنگامی که انگشت ما با یک چرخه جریان تماس پیدا می‌کند یعنی کوتاه‌ترین راه برای گذر جریان الکتریکی پیدا شده است. لازمه برق‌گرفتگی، عبور جریان الکتریکی از بدن است. یعنی اگر قسمتی از بدن جاندار، در مسیر ورود جریان الکتریسیته قرار بگیرد ولی جریان از بدن آن خارج نشود، برق‌گرفتگی رخ نخواهد داد؛ زیرا عبور برق است که موجب این امر می‌شود، نه ورود آن. وقتی یک پرنده بر روی سیم حامل جریان می‌نشیند، برق به بدن او وارد شده است، اما راهی برای خروج ندارد. در نتیجه جریان ورودی به بدن رسیده و پدیده برق‌گرفتگی اتفاق نمی‌افتد. در همین موقع، اگر بدن پرنده به هرصورت ممکن با زمین یا دیوار یا سیم دیگر برخورد نماید، دچار برق‌گرفتگی خواهد شد.

بیشتر بدانید

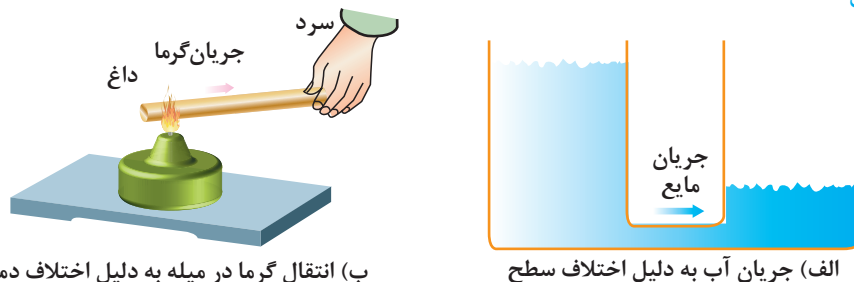


## ۵-۴ اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)

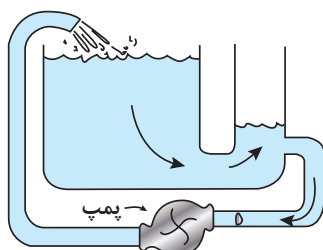
اختلاف پتانسیل الکتریکی را می‌توان با اختلاف دما که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا اختلاف سطح مایع بین دو ظرف به هم پیوسته که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد، مقایسه کرد. همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما و اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز جهت جریان را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱۰). جریان آب در شکل ۵-۱۰ الف، بعد از

مدتی قطع خواهد شد. برای برقراری مداوم این جریان وجود پمپ الزامی است (شکل ۵-۱۱). باتری خشک، باتری اتومبیل و... منابع تولید اختلاف پتانسیل در مدار هستند، و نقش آنها همانند پمپ آب است که باعث تداوم جریان الکتریکی در مدار می‌شود.

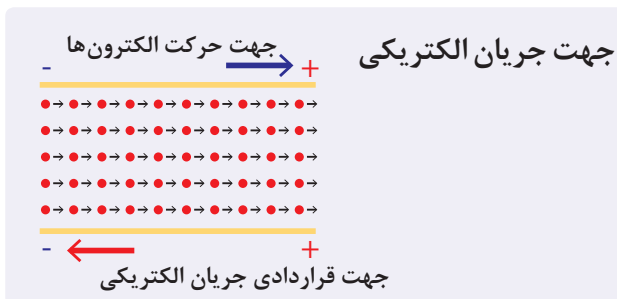
طبق قرارداد، جریان از پتانسیل بیشتر (پایانه مثبت باتری) به سمت پتانسیل کمتر (پایانه منفی باتری) شارش می‌کند.



الف) جریان آب به دلیل اختلاف سطح  
ب) انتقال گرما در میله به دلیل اختلاف دما  
شکل ۵-۱۰ همواره اختلاف پتانسیل بین دو نقطه باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی می‌شود.



شکل ۵-۱۱ پمپ آب عامل تداوم جریان



نکته



بیشتر بدانید



پیل الکتریکی در ایران باستان در فاصله سال‌های ۲۵۰ ق.م تا ۲۲۴ پ.م در تیسفون ساخته شده است. در سال ۱۳۱۷ خورشیدی باستان‌شناس آلمانی، ویلهلم کونیک و همکارانش، ابزارهایی را در نزدیکی تیسفون، پایتخت ایران، در زمان اشکانیان یافتند. پس از بررسی معلوم شد، این ابزارها پیل‌های الکتریکی هستند و در دوره اشکانی ساخته شده‌اند. او این پیل‌ها را باتری پارسی نامید که برای آبکاری و انتقال لایه‌ای از طلا یا نقره از سطحی به سطح دیگر به کار می‌رفته است.

## کاربرد در صنعت و فناوری: فازمتر



فازمتر وسیله‌ای برای تشخیص وجود ولتاژ الکتریکی است. برای تشخیص سیم فاز از سیم نول نیز به کار می‌رود. هرگاه نوک فازمتر را داخل یکی از خانه‌های پریز یا سر سیمی که برق در آن جریان دارد بگذاریم و انگشت دست را روی پیچ انتهایی دسته آن قرار دهیم، اگر لامپ آن روشن شد آن

سیم فاز است. وقتی که فازمتر را وارد پریز برق می‌نمایید بخش بسیار کمی از الکترون‌ها که از مقاومت فازمتر عبور می‌کنند وارد بدن فرد شده و لامپ درون فازمتر در اثر عبور این جریان کم روشن می‌شود. بدن ما نقش سیم را ایفا می‌کند و زمین نقش نول، اگر ما کفش عایق پوشیده باشیم، ارتباط ما با زمین قطع شده و لامپ روشن نمی‌شود.

## ۵-۵ مقاومت الکتریکی

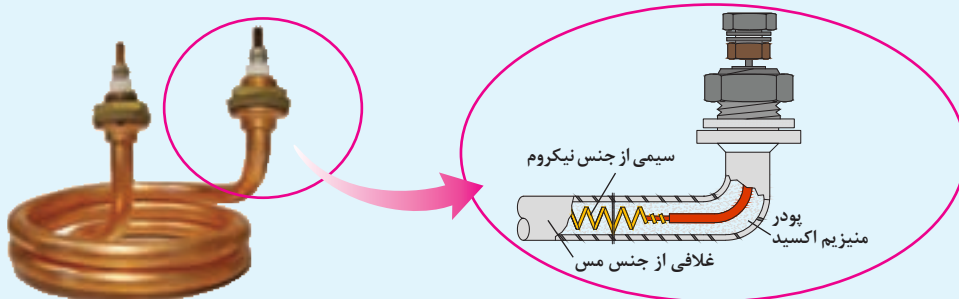


در مسیر حرکت الکترون‌ها درون مواد مواعی وجود دارد (اتم‌های جسم ماده، الکترون‌های آزاد دیگر و ...). هرچه این موانع کمتر باشند عبور جریان بهتر صورت می‌گیرد و می‌گوییم جسم مقاومت کمتری دارد و رسانای بهتری است. الکترون‌ها در مسیر حرکت خود، طی برخوردهایی که با اتم‌های جسم رسانا دارند، با انتقال انرژی جنبشی به اتم‌ها، باعث گرم شدن قطعه می‌شوند (شکل ۵-۱۲). گاهی این گرما به قدری است که باعث تابش نور می‌گردد؛ شکل ۵-۱۲ حرکت همانند نور تابش شده از فیلامان لامپ‌های رشته‌ای. گاهی مقاومت مانند مقاومت سیم‌های الکترون در اتم رابط به صورت ناخواسته و مزاحم باعث اتلاف انرژی الکتریکی می‌شود و گاهی می‌تواند به‌عنوان عاملی از پیش تعیین‌شده به صورت یک مصرف‌کننده در مدارهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد، مانند فیلامان داخل سماور برقی، اتو، بخاری برقی و ... که در اثر مقاومت زیاد، گرما ایجاد می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت الکتریکی را با نماد  $R$  نشان می‌دهند و یکای آن اهم است که با حرف یونانی  $\Omega$  نمایش داده می‌شود.

بیشتر بدانید

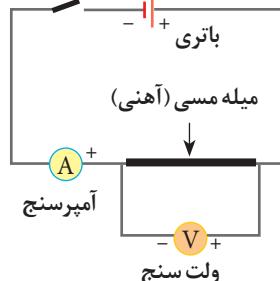


سماورها و کتری‌های برقی یکی از انواع گرم‌کن‌های الکتریکی به‌شمار می‌آیند که با تبدیل انرژی الکتریکی دریافتی به گرما منجر به گرم شدن آب درون مخزن خود می‌شوند. در ساختمان اینگونه گرم‌کن‌ها به‌طور معمول از المنت‌های حرارتی حلزونی شکلی با غلافی از مس استفاده شده است. در درون این غلاف رشته سیمی از جنس نیکروم (معمولاً ۸۰ درصد نیکل و ۲۰ درصد کروم) قرار دارد که وظیفه آن تبدیل انرژی الکتریکی به گرما است. آلیاژ نیکروم به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا (در حدود  $1400^{\circ}\text{C}$ )، عدم اکسید شدن، انبساط طولی ناچیز و داشتن مقاومت الکتریکی نسبتاً بالا و ثابت جز مرسوم‌ترین آلیاژهای انتخابی در ساخت بخش داخلی المنت‌های حرارتی به‌شمار می‌آید. همچنین برای عایق کردن این سیم از بخش بیرونی المنت‌های حرارتی از پودر سفید رنگی به نام منیزیم اکسید استفاده شده است. این پودر یک عایق الکتریکی به‌شمار می‌آید که توانایی انتقال حرارت خوبی دارد و باعث عایق شدن سیم نیکروم و عدم تماس الکتریکی آن با بدنه المنت و آب درون کتری یا سماور می‌شود.



جدول ۵-۱ نمادهای مربوط به مدار

نماد در مدار	قطعه
	باتری
	مقاومت
	آمپرسنج
	ولت‌سنج
	کلید



شکل ۵-۱۳ مدار ساده قانون اهم

## ۵-۵-۱ قانون اهم: شما در کتاب علوم

و کار و فناوری پایه هشتم با قانون اهم آشنا شده‌اید. در این بخش آشنایی بیشتری با این قانون پیدا خواهید کرد. هنرجویی مداری را مطابق شکل ۵-۱۳ بسته و کلید را برای لحظه‌ای کوتاه می‌بندد، سپس اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج را یادداشت کرده و بلافاصله کلید را قطع می‌کند. برای بار دوم، او دو باتری را



پشت سرهم قرار داده و آزمایش را تکرار می‌کند. این آزمایش را برای باتری‌های دیگر نیز تکرار کرده ولی در مدت آزمایش، جسمی را که در مدار قرار داده، تغییر نمی‌دهد.

فکر کنید



اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج آزمایشی که هنرجو انجام داده در جدول زیر آمده است.

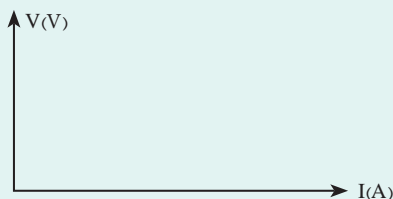
I(A)	V(V)	$\frac{V}{I}$
۰/۲	۲	
۰/۴	۴	
۰/۶	۶	
۰/۸	۸	

**الف)** نمودار زیر را برای اعداد به دست آمده در جدول رسم کنید.

**ب)** چه رابطه‌ای بین  $V$  و  $I$  وجود دارد؟

**پ)** خانه‌های ستون سوم جدول را کامل کنید.

**ت)** از محاسبه اعداد ستون سوم چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



همان‌طور که از «فکر کنید» بالا مشخص شد، چنانچه دمای رسانا ثابت باشد و جنس جسم تغییر نکند، نسبت  $\frac{V}{I}$  ثابت است و نمودار  $V$  بر حسب  $I$  خط راستی است که از مبدأ می‌گذرد. جرج سیمون اهم، ریاضی‌دان آلمانی، در سال ۱۸۲۷ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان ارتباط بین ولتاژ  $V$ ، جریان  $I$  و مقاومت  $R$  را در یک مدار به دست آورد. نتایج آزمایش‌های اهم به نام قانون اهم شناخته شده است که رابطه آن چنین بیان می‌شود:

نسبت ولتاژ دوسر مقاومت به شدت جریان گذرنده از آن در دمای ثابت مقدار ثابتی است که این مقدار همان مقاومت الکتریکی است.

$$R = \frac{V}{I} \quad (۲-۵)$$

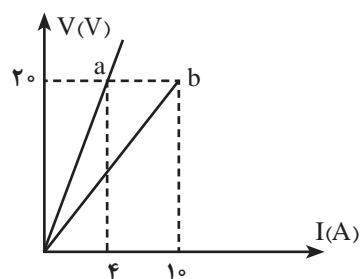
نکته



معادله  $R = \frac{V}{I}$  اشاره به تعریف مقاومت دارد (و نه لزوماً قانون اهم). این معادله برای همه رساناها به

کار می‌رود، خواه آن رسانا از قانون اهم پیروی کند یا پیروی نکند.

مثال



شکل مقابل مربوط به دو نوع رسانا در دمای ثابت است. مقاومت

کدام رسانا بیشتر است؟

**پاسخ:**

$$R_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{20V}{10A} = 2\Omega$$

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{20V}{4A} = 5\Omega$$

**نتیجه:** مقاومت  $a$  بیشتر شد و همان‌طور که از شکل مشخص

است شیب نمودار  $a$  نیز بیشتر است.

در نتیجه در نمودار  $V-I$  شیب نمودار بیانگر مقاومت است؛ هرچه شیب بیشتر باشد، مقاومت نیز

بیشتر است.

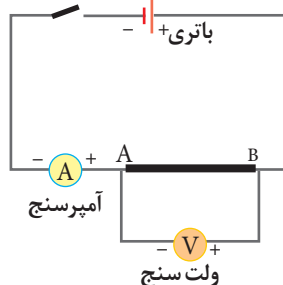
## ۵-۵-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت

آزمایش کنید



**وسایل آزمایش:** منبع تغذیه، سیم رابط، سیم‌هایی از جنس تنگستن، نیکروم (یا آلیاژهای مختلف دیگر)، آمپرسنج، ولت‌سنج و کلید.

### شرح آزمایش



۱- در مداری مطابق شکل روبه‌رو بین دو نقطه A و B قطعه‌ای با طول معین مثلاً ۱ متر (از سیم تنگستن) را قرار دهید. پس از بستن کلید، به مدت خیلی کوتاه، اختلاف پتانسیل دو سر سیم (برحسب ولت) و جریانی که از مدار می‌گذرد را (برحسب آمپر)، اندازه بگیرید. سپس با استفاده از تعریف مقاومت  $R = \frac{V}{I}$  مقاومت قطعه سیم را (برحسب اهم) به دست آورید و در جدول زیر ثبت کنید.

۲- آزمایش را اکنون با همان سیم (تنگستن) اما با قطعه‌ای به طول ۲ متر انجام دهید و با اندازه‌گیری I و V مقاومت قطعه اخیر را به دست آورید. نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

۳- حال آزمایش را با دو قطعه سیم هم طول و با سطح مقطع یکسان، یکی از جنس تنگستن و دیگری از جنس نیکروم تکرار کنید و نتیجه را در جدول زیر بنویسید.

۴- سرانجام با انجام دادن آزمایش با سیم‌های هم طول از یک جنس ولی با سطح مقطع‌های متفاوت، به همان ترتیب، نتیجه‌های به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس گزارش دهید. مقاومت هریک از سیم‌ها را به دست آورید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

شماره آزمایش	جنس	طول	سطح مقطع	I	V	$R = \frac{V}{I}$

جدول ۵-۲ مقاومت ویژه مواد مختلف در دمای  $20^\circ\text{C}$

مقاومت ویژه $\rho (\Omega\text{m})$	ماده (رسانای الکتریکی)
$1/62 \times 10^{-8}$	نقره
$1/69 \times 10^{-8}$	مس
$2/35 \times 10^{-8}$	طلا
$2/75 \times 10^{-8}$	آلومینیوم
$5/60 \times 10^{-8}$	تنگستن
$9/68 \times 10^{-8}$	آهن
$10/6 \times 10^{-8}$	پلاتین
$100 \times 10^{-8}$	نیکروم

همان‌گونه که آزمایش نشان می‌دهد، مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس رسانا بستگی دارد. اگر سطح مقطع سیم در تمام طول آن یکسان باشد، مقاومت سیم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (5-3)$$



شکل ۵-۱۴ عوامل مؤثر بر مقاومت رسانا

که در آن L طول سیم برحسب متر (m) و A مساحت مقطع سیم برحسب مترمربع ( $\text{m}^2$ ) و R مقاومت الکتریکی سیم برحسب اهم ( $\Omega$ ) است. در این رابطه  $\rho$  کمیتی به نام **مقاومت ویژه** رساناست که برای رساناهایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند فقط به جنس رسانا و دمای آن بستگی دارد.

وقتی دمای یک رسانای فلزی افزایش می‌یابد ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌های آن نیز افزایش می‌یابد و موجب افزایش برخورد الکترون‌های آزاد با شبکه اتمی رسانای فلزی می‌شود. به این ترتیب، مقاومت ویژه رسانا در برابر عبور جریان افزایش می‌یابد.

یکای  $\rho$  را با توجه به مطالب فصل اول به دست آورید.

فکر کنید



فکر کنید



فکر کنید



چرا در «آزمایش کنید» صفحه قبل توصیه شده به مدت خیلی کوتاه کلید وصل و سپس قطع شود؟

موادی که دارای مقاومت ویژه کم هستند، مانند نقره و مس در چه مواردی کاربرد دارند؟ موادی که مقاومت ویژه بالایی دارند چه کاربردی می‌توانند داشته باشند؟

**استانداردهای مهندسی سیم‌ها:** در استانداردهای مهندسی، سیم‌ها را برحسب قطر و مساحت مقطع آنها نمره‌بندی می‌کنند. در صنعت تولید سیم، سیم‌ها را با ضخامت‌های معینی می‌سازند و معلوم می‌کنند هر سیم چه جریان بیشینه‌ای را می‌تواند تحمل کند. به هر سیم با ضخامت معین کد مشخصی را اختصاص می‌دهند. جدول زیر برخی از این کدگذاری‌ها با جریان مجاز بیشینه هر سیم را براساس یکی از استانداردها نشان می‌دهد.

جدول ۵-۳ کدگذاری سیم‌ها

نمره سیم	قطر سیم (اینچ)	جریان بیشینه مجاز (آمپر)	نمره سیم	قطر سیم	جریان بیشینه مجاز
۰۰۰۰	۰/۴۶	۳۸۰	۲۱	۰/۰۲۸۴۶	۹
۰۰۰	۰/۴۰۹۶۵	۳۲۸	۲۲	۰/۰۲۵۳۵	۷
۰۰	۰/۳۶۴۸	۲۸۳	۲۳	۰/۰۲۲۵۷	۴/۷
۰	۰/۳۲۴۸۵	۲۴۵	۲۴	۰/۰۲۰۰۱	۳/۵
۱	۰/۲۸۹۳	۲۱۱	۲۵	۰/۰۱۷۹	۲/۷
۲	۰/۲۵۷۶۳	۱۸۱	۲۶	۰/۰۱۵۹۴	۲/۲
۳	۰/۲۲۹۴۲	۱۵۸	۲۷	۰/۰۱۴۲	۱/۷
۴	۰/۲۰۴۳۱	۱۳۵	۲۸	۰/۰۱۲۶۴	۱/۴
۵	۰/۱۸۱۹۴	۱۱۸	۲۹	۰/۰۱۱۲۶	۱/۲
۶	۰/۱۶۲۰۲	۱۰۱	۳۰	۰/۰۱۰۰۲	۰/۸۶
۷	۰/۱۴۴۲۸	۸۹	۳۱	۰/۰۰۸۹۳	۰/۷
۸	۰/۱۲۸۴۹	۷۳	۳۲	۰/۰۰۷۹۵	۰/۵۳
۹	۰/۱۱۴۴۳	۶۴	۳۳	۰/۰۰۷۰۸	۰/۴۳
۱۰	۰/۱۰۱۸۹	۵۵	۳۴	۰/۰۰۶۳	۰/۳۳
۱۱	۰/۰۹۰۷۴	۴۷	۳۵	۰/۰۰۵۶۱	۰/۲۷
۱۲	۰/۰۸۰۰۸	۴۱	۳۶	۰/۰۰۵	۰/۲۱
۱۳	۰/۰۷۱۹۶	۳۵	۳۷	۰/۰۰۴۴۵	۰/۱۷
۱۴	۰/۰۶۴۰۸	۳۲	۳۸	۰/۰۰۳۹۶	۰/۱۳
۱۵	۰/۰۵۷۰۷	۲۸	۳۹	۰/۰۰۳۵۳	۰/۱۱
۱۶	۰/۰۵۰۸۲	۲۲	۴۰	۰/۰۰۳۱۴	۰/۰۹
۱۷	۰/۰۴۵۲۶	۱۹			
۱۸	۰/۰۴۰۳	۱۶			
۱۹	۰/۰۳۵۸۹	۱۴			
۲۰	۰/۰۳۱۹۶	۱۱			

\* American Wire Gauge

مثال



سیمی از جنس تنگستن با مقاومت ویژه تقریباً  $5/6 \times 10^{-8} \Omega m$  به طول  $31/4 m$  و به قطر  $0/4 mm$  را در نظر بگیرید. الف) مقاومت الکتریکی سیم چقدر است؟ ب) اگر اختلاف پتانسیل (ولتاژ)  $224 V$  در دو سر سیم برقرار شود چه جریانی از سیم می‌گذرد؟

پاسخ:

$$\rho = 5/6 \times 10^{-8} \Omega m, L = 31/4 m, r = 0/2 mm, V = 224 v, R = ?, I = ?$$

(الف)

$$A = \pi r^2 = 3/14 \times (0/2 \times 10^{-3})^2 = 12/56 \times 10^{-8} m^2$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{5/6 \times 10^{-8} \Omega m \times 31/4 m}{12/56 \times 10^{-8} m^2} = 14 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{224 V}{14 \Omega} = 16 A$$

(ب)

مثال



مهندس ناظر برق یک ساختمان در حال ساخت، به استادکار موارد زیر را یادآوری می‌کند:

نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ روشنایی ۱۵ (قطر  $0/5707$  اینچ) معادل  $1/44 \times 10^{-3} m$   
 نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ پریز ۱۳ (قطر  $0/07196$  اینچ) معادل  $1/82 \times 10^{-3} m$   
 نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ برق اصلی ۱۲ (قطر  $0/0808$  اینچ) معادل  $2/05 \times 10^{-3} m$   
 مقاومت  $20 m$  از هر کدام از سیم‌ها، در دمای اتاق چند اهم است؟

$$A = \pi r^2 = \pi \left( \frac{D}{4} \right)^2 = 1/62 \times 10^{-6} m^2 \quad \text{سیم لامپ روشنایی}$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{1/69 \times 10^{-8} \times 20}{1/62 \times 10^{-6}} = 2/08 \times 10^{-1} \Omega$$

$$\text{سیم پریز} \quad A = \pi r^2 = 2/6 \times 10^{-6} \Rightarrow R = 1/3 \times 10^{-1} \Omega$$

$$\text{سیم اصلی} \quad A = \pi r^2 = 3/2 \times 10^{-6} \Rightarrow R = 1/05 \times 10^{-1} \Omega$$

## ۵-۳ انواع مقاومت: در بسیاری از مدارها، به خصوص در وسایل الکترونیکی مقاومت‌ها برای کنترل

جریان و ولتاژ استفاده می‌شوند. اندازه یک مقاومت می‌تواند کمتر از ۱ اهم تا میلیون‌ها اهم (مگا اهم) باشد.

مقاومت‌های اهمی با توجه به نوع استفاده به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: الف) **مقاومت‌های ثابت**<sup>۱</sup>

ب) **مقاومت‌های متغیر**<sup>۲</sup> که خود شامل دو دسته هستند: مقاومت‌های معمولی و مقاومت‌های وابسته.

### الف) مقاومت‌های ثابت

همان‌طور که از اسم آنها بر می‌آید، مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها ثابت است. شکل ۵-۱۵ نمونه‌ای از این مقاومت‌ها و ساختار داخلی آنها را نشان می‌دهد. این مقاومت‌ها ترکیبی از کربن با یک نوع چسب هستند که هر اندازه میزان کربن بیشتر باشد، مقاومت کمتر خواهد بود.



شکل ۵-۱۵ انواع مقاومت ثابت



شکل ۵-۱۶ نحوه خواندن مقاومت رنگی

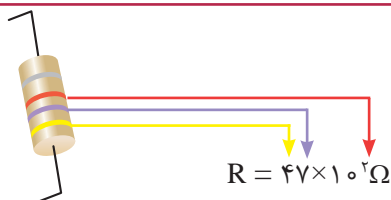
در مقاومت‌هایی که توان بالایی دارند، عدد مقاومت بر روی بدنه نوشته می‌شود ولی در مقاومت‌هایی با توان کمتر از ۲ وات، به دلیل ساخته شدن آنها در ابعاد کوچک، جایی برای نوشتن مقدار مقاومت روی بدنه وجود ندارد. به همین منظور برای تشخیص مقدار مقاومت بر روی بدنه آنها معمولاً از ۴ نوار رنگی استفاده می‌کنند (نوار چهارم درصد خطا را نشان می‌دهد). هر نوار با توجه به رنگ خود، مبین یک کد یا عدد است (شکل ۵-۱۶). برای پیدا کردن عدد مقاومت طبق شکل ۵-۱۶ و با کمک جدول ۴-۵ عمل می‌کنیم.

جدول ۴-۵ کدهای رنگی مقاومت‌ها

رنگ	کد رنگ	درصد خطا
سیاه	۰	-
قهوه‌ای	۱	۱ درصد
قرمز	۲	۲ درصد
نارنجی	۳	۳ درصد
زرد	۴	۴ درصد
سبز	۵	-
آبی	۶	-
بنفش	۷	-
خاکستری	۸	-
سفید	۹	-
طلایی	-	۵ درصد
نقره‌ای	-	۱۰ درصد

با توجه به کد هر رنگ، مقاومت روبه‌رو چند اهم است؟

پاسخ:



مثال



اگر مقدار مقاومت نمایش داده شده در شکل، ۳۴۰۰ اهم باشد، رنگ نوارها را تعیین کنید.



تمرین کنید





## ب) مقاومت‌های متغیر

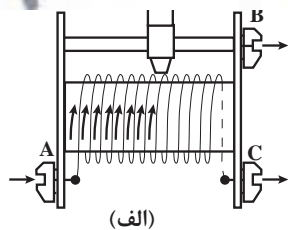
مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها را می‌توان توسط عوامل مختلف مانند تغییر مشخصه مکانیکی (متغیر معمولی)، یا تغییر نور (تابع نور) و حرارت (متغیر وابسته) تغییر داد.

مقاومت‌های متغیر معمولی مقاومت‌هایی هستند که مقدار مقاومت آنها را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه محور متحرکی که دارند تنظیم کرد. یکی از انواع مشهور این نوع از مقاومت‌ها، **رئوستا** نام دارد که در مدارهای الکترونیکی **پتانسیومتر**<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد ساخته شده است. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد و به این ترتیب جریان را در مدار تنظیم و کنترل کند. شکل ۵-۱۷ طرحی از یک رئوستا را نشان می‌دهد.

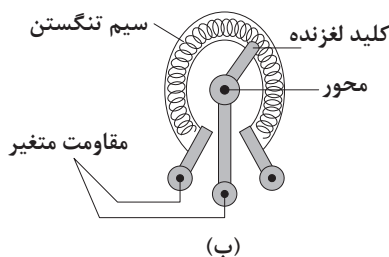
**مقاومت‌های وابسته به حرارت :** به آن دسته از مقاومت‌های متغیری که مقدار آنها توسط عواملی از قبیل نور، حرارت، ولتاژ و ... تغییر می‌کند، **مقاومت وابسته** گفته می‌شود. این مقاومت‌ها به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

**مقاومت‌های وابسته به حرارت:** مقدار این دسته از مقاومت‌ها که به آنها **ترمیستور**<sup>۲</sup> نیز گفته می‌شود وابسته به حرارت است. این مقاومت‌ها در دو شکل **NTC**<sup>۳</sup> و **PTC**<sup>۴</sup> وجود دارند. مقاومت‌های **PTC** با افزایش دما مقاومتشان افزایش و با کاهش دما کاهش می‌یابند. مقاومت‌های **NTC** با افزایش دما مقاومتشان کاهش می‌یابد و برعکس (شکل ۵-۱۸). از این مقاومت‌ها در مدارها به صورت حس‌کننده‌های حرارتی در مسیر دستگاه‌های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌ها، سیستم‌های تهویه و تبرید استفاده می‌شود. همچنین این مقاومت‌ها برای جریان زیاد در لحظه روشن شدن یک دستگاه به کار می‌رود. به طور کلی ترمیستورها در مدارهایی که دما را اندازه‌گیری یا کنترل می‌کنند به کار می‌روند.

**مقاومت وابسته به نور (LDR):**<sup>۵</sup> این مقاومت‌ها با تغییرات نور تابیده شده به سطح آنها، مقدار مقاومتشان تغییر می‌کند (شکل ۵-۱۹). از این مقاومت در ساخت فوتوسل‌ها یا به عنوان سنسور نور در برخی دستگاه‌ها استفاده می‌شود. همچنین در



(الف)



(ب)

شکل ۵-۱۷ نمونه‌ای از (الف) رئوستا و (ب) پتانسیومتر



شکل ۵-۱۸ مقاومت‌های وابسته به حرارت



شکل ۵-۱۹ مقاومت نوری

۱- Potentiometer

۲- Thermistor

۳- Negative Temperature coefficient

۴- Positive Temperature Coefficient

۵- Light Dependent Resistor

مدارهای الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده نور (نورسنج) مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله کاربردهای دیگر این مقاومت استفاده از آن در دوربین های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم های الکترونیکی است. **مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR):** ولتاژ و مقدار مقاومت در این نوع مقاومت ها، با هم رابطه عکس دارند. به این صورت که با افزایش ولتاژ دو سر قطعه، مقاومت آن کاهش می یابد. از این مقاومت ها برای محافظت از مدار در برابر ولتاژهای بالای زودگذر ناخواسته استفاده می شود. در ایستگاه تقویت نیروگاهی نیز برای حفاظت شبکه استفاده می شود.

## ۵-۶ انرژی الکتریکی مصرفی

همان طور که در قسمت مقاومت ذکر شد، علت تولید گرما در مقاومت در اثر عبور جریان، آن است که الکترون ها به اتم های درون رسانا برخورد می کنند. این برخوردها انرژی جنبشی اتم ها و در نتیجه دمای مقاومت را افزایش می دهد. هیتتر، بخاری برقی و المنت یک سشوار براساس تبدیل انرژی الکتریکی به گرما طراحی شده اند. مقدار گرمایی که در یک رسانا ایجاد می شود به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقاومت رسانا

- مجذور شدت جریان عبوری از رسانا

- مدت زمان عبور جریان

$$U = RI^2t \quad (۴-۵)$$

مقاومت قسمت گرماده یک سماور برقی  $50\Omega$  است. وقتی آن را به برق وصل می کنیم شدت جریان  $4A$  از آن می گذرد. انرژی الکتریکی مصرف شده در آن را در مدت  $5$  دقیقه حساب کنید.

پاسخ:

$$t = 5 \times 60 = 300s, \quad I = 4A, \quad R = 50\Omega, \quad U = ?$$

$$U = RI^2t = (4)^2 \times 50 \times 300 = 2/4 \times 10^5 J$$

مثال



**۵-۶-۱ توان مصرفی:** توان به معنی سرعت تبدیل انرژی است. در دستگاه هایی که برای تبدیل انرژی به کار می روند، هرچه این سرعت بیشتر باشد، قدرت دستگاه نیز بیشتر است. سرعت تبدیل انرژی از تقسیم مقدار انرژی بر زمانی که آن انرژی تبدیل شده (آهنگ مصرف انرژی) به دست می آید. توان مصرفی را با نماد  $P$  نمایش داده و یکای آن وات با نماد  $W$  است.

$$P = \frac{U}{t} \quad (۵-۵)$$

$$P = RI^2 \quad (۶-۵)$$

با استفاده از قانون اهم، رابطه های دیگری برای توان مصرفی به دست آورید.

تمرین کنید



در دستگاه‌هایی مانند لامپ رشته‌ای، اتو، کتری برقی و... که در قسمت اصلی آنها یک سیم گرماده (المنت حرارتی) وجود دارد، توان مصرفی در صورتی برابر توان نوشته شده روی آن (توان اسمی) است که دستگاه به اختلاف پتانسیل نوشته شده بر روی آن (اختلاف پتانسیل اسمی) وصل شده باشد. اگر دستگاه به اختلاف پتانسیل کمتر یا بیشتری وصل شود توان مصرفی دستگاه تغییر می‌کند.

مثال



روی یک آسیاب برقی دو عدد  $800\text{ W}$  و  $200\text{ V}$  نوشته شده است. این آسیاب برقی را به اختلاف پتانسیل  $200\text{ V}$  وصل می‌کنیم.

الف) شدت جریانی که از آن می‌گذرد چند آمپر است؟ ب) انرژی الکتریکی مصرفی ماهانه این دستگاه در صورتی که هفته‌ای دو بار و هر بار به مدت  $20$  دقیقه مورد استفاده قرار گیرد چند ژول و چند کیلو وات ساعت<sup>۱</sup> است؟

پاسخ:

$$\text{الف) } P = VI \rightarrow 800 = 200 \cdot I \rightarrow I = 4\text{ A}$$

$$\text{ب) } t = 4 \times 2 \times 20 \times 60 = 9600\text{ s} \approx 2/7\text{ h}$$

$$P = \frac{U}{t} \rightarrow 800\text{ W} = \frac{U}{9600} \rightarrow U = 7/68 \times 10^6\text{ J}$$

$$800\text{ W} = \frac{U}{2/7\text{ h}} \Rightarrow U = 2160\text{ Wh} = 2/16\text{ kWh}$$

روی لامپی دو عدد  $60$  وات و  $220$  ولت نوشته شده است. با فرض ثابت ماندن مقاومت لامپ اگر این لامپ را به اختلاف پتانسیل  $110$  ولت وصل کنیم توان مصرفی آن تقریباً چقدر می‌شود؟

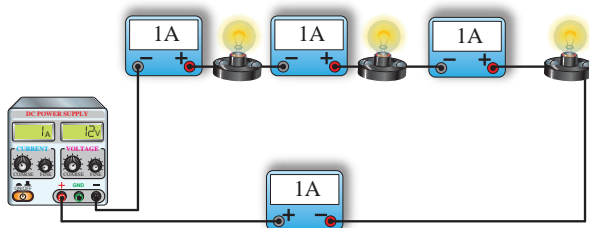
تمرین کنید



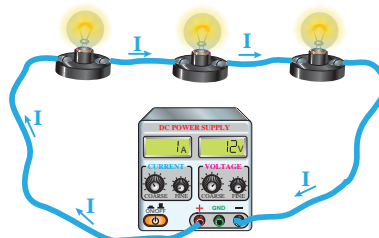
## ۷-۵ نحوه به هم بستن مقاومت‌ها

۷-۵-۱ به هم بستن سری: اتصال متوالی یا سری به معنی بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است به طوری که هیچ انشعابی بین آنها وجود نداشته باشد (شکل ۷-۵-۲) اگر در مدار شکل ۷-۵-۲ در مسیر هر یک از لامپ‌ها آمپرسنج‌هایی را قرار دهیم (شکل ۷-۵-۲) مشاهده خواهید کرد که همه آمپرسنج‌ها جریان برابری را نشان می‌دهند. پس می‌توان در مدار سری چنین نوشت:

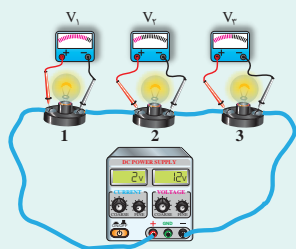
$$I_1 = I_2 = I_3 = I_{eq} \quad (7-5)$$



شکل ۷-۵-۲ قرار دادن آمپرسنج در مدار



شکل ۷-۵-۲ لامپ‌هایی که به طور متوالی به هم بسته شده‌اند



هرگاه مطابق شکل، ولت‌سنج‌هایی را به صورت جداگانه به دو سر لامپ‌ها ببندیم، چه مشاهده خواهید کرد؟

فکر کنید

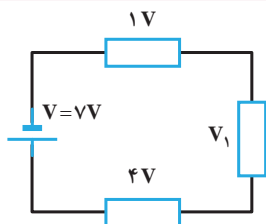


همان طور که از «فکر کنید» متوجه شدید ولتاژ معادل به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین آنها تقسیم می‌شود، بر پایه همین مطلب می‌توان ولتاژ معادل را از حاصل جمع ولتاژهای دو سر هر مقاومت به دست آورد.

$$V_1 + V_2 + V_3 = V_{eq} \quad (۸-۵)$$

مقاومت معادل به مقاومتی گفته می‌شود که با جایگزینی‌اش به جای مقاومت‌ها، اثری مشابه و معادل با آن مقاومت‌ها در مدار از خود نشان می‌دهد. اگر ترکیب مقاومت‌ها را با  $R_{eq}$  جایگزین کنیم از آنجا خواهیم داشت:

$$R_1 + R_2 + R_3 = R_{eq} \quad (۹-۵)$$

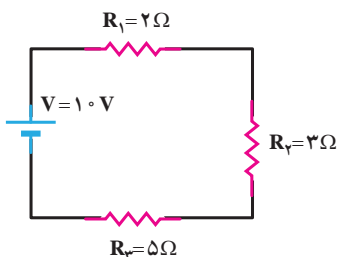


در مدار داده شده ولتاژ مجهول را تعیین کنید.

پاسخ:

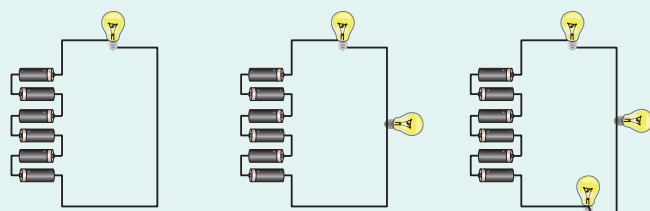
$$V_1 + V_2 + V_3 = V_{\text{باتری}} \Rightarrow V_1 + 1 + 4 = 7 \Rightarrow V_1 = 2V$$

مثال



مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود؟

تمرین کنید

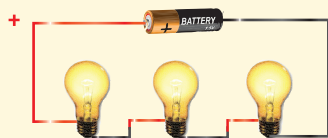


در سه شکل روبه‌رو، ابتدا یک لامپ، سپس دو لامپ و در نهایت سه لامپ در مدار قرار گرفته است. روشنایی لامپ‌ها را مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فکر کنید



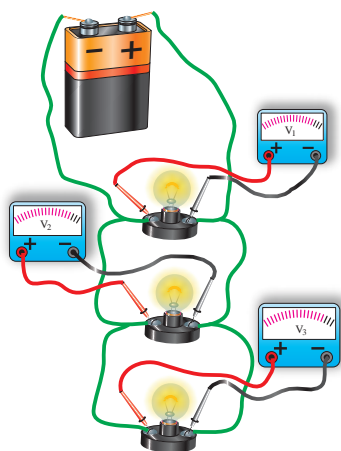
تجربه کنید



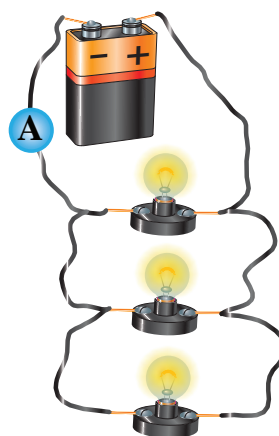
مداری را با ۳ لامپ ببندید. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد برای بقیه لامپ‌ها چه اتفاقی می‌افتد؟ برای برطرف کردن این مشکل چه پیشنهادی دارید؟

**۵-۷-۲ به هم بستن موازی:** نوع دیگری از به هم بستن مقاومت‌ها، حالت موازی است. در این حالت دو سر مقاومت‌ها مستقیماً به هم وصل می‌شود و اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر مقاومت‌ها اعمال می‌شود (شکل ۵-۲۲). هرگاه مطابق شکل ۵-۲۳ ولت‌سنج‌هایی را به طور جداگانه به دو سر هر یک از لامپ‌ها متصل کنیم، مشاهده می‌کنیم که مقادیر ولت‌سنج‌ها با یکدیگر برابر هستند.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_{eq} \quad (۵-۱۰)$$



شکل ۵-۲۳ ولتاژ در لامپ‌های موازی



شکل ۵-۲۲ لامپ‌هایی که به طور موازی به هم بسته شده‌اند

در مدارهای موازی بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد، بنابراین جریان به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.

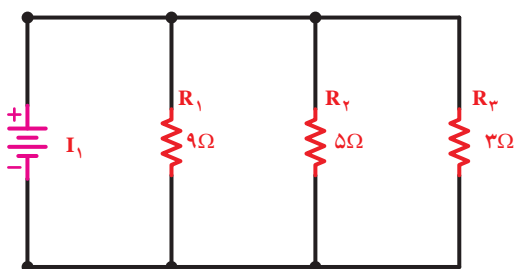
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{eq} \quad (۵-۱۱)$$

مقاومت معادل در این مدارها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}} \quad (۵-۱۲)$$



مثال



در مدار روبه‌رو مقاومت معادل را به‌دست آورید.

پاسخ:

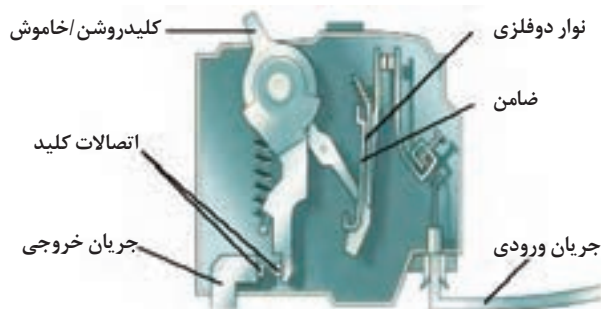
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{1}{9} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{5+9+15}{45} = \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow R_{eq} = \frac{45}{29} \Omega$$

فکر کنید



الف) به نظر شما سیم‌کشی داخل ساختمان‌ها از چه نوعی است؟ متوالی یا موازی؟  
 ب) روش به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریشه‌ها چگونه است؟  
 پ) آیا می‌توانید نمونه‌هایی از کاربرد اتصال موازی و متوالی را که در زندگی روزمره با آنها برخورد دارید، نام ببرید؟

## کاربرد در صنعت: فیوز



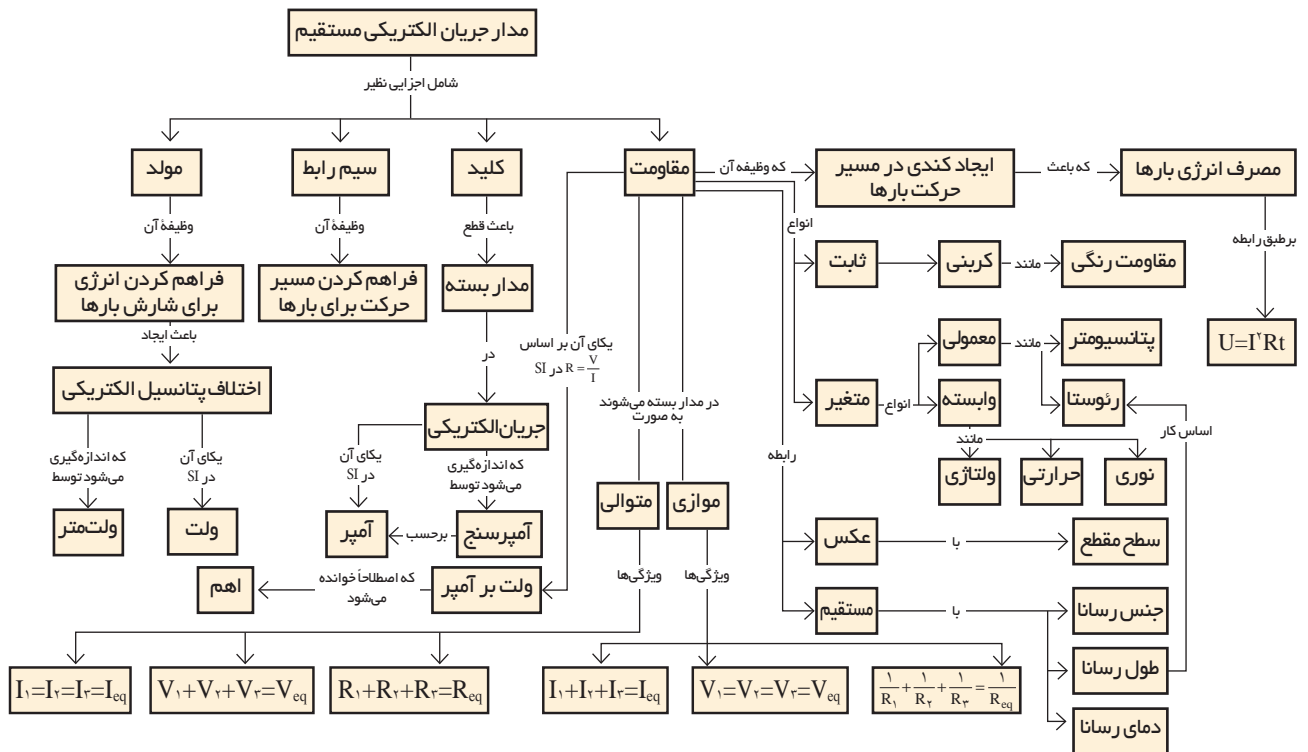
دستگاه‌های الکتریکی در خانه به‌طور موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند و یک فیوز را به‌طور متوالی با کل مدار مصرف‌کننده‌های خانگی قرار می‌دهند و این مجموعه به مولد جریان الکتریکی متصل می‌شود. فیوز از سیم باریکی که در اثر جریان الکتریکی بالا ذوب می‌شود تشکیل شده است. بعد از اینکه فیوز ذوب شد باید جایگزین شود (مثل فیوز موتور اتومبیل). امروزه در منازل

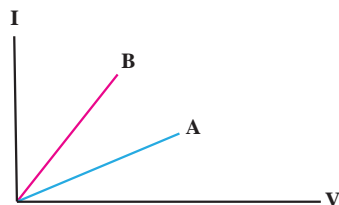
از فیوزهایی استفاده می‌شود که جریان الکتریکی بالا در آنها سبب قطع مدار می‌گردد و با وصل کردن یک کلید در آنها فیوز دوباره در مدار قابل استفاده است. هرچه تعداد مصرف‌کننده‌ها در خانه بیشتر شود به دلیل موازی بسته‌بودنشان، مقاومت کل مجموعه کمتر خواهد شد و شدت جریان الکتریکی بیشتری از مدار خواهد گذشت. چون فیوز به‌طور متوالی در مدار قرار دارد جریان الکتریکی بیش از حد مجاز نیز از فیوز می‌گذرد و به قطع شدن جریان (در صورتی که از حد معینی بیشتر شود) می‌انجامد. فیوز به عنوان یک عنصر کنترل‌کننده و پیشگیری از خطر در منازل است.

تحقیق کنید



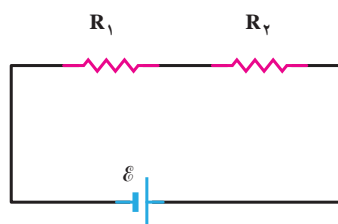
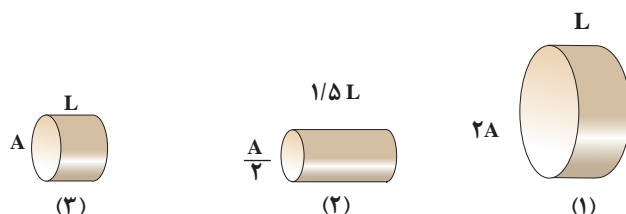
حتماً تاکنون سه شاخه را دیده‌اید. در شکل روبه‌رو، ساختمان داخلی این سه شاخه نشان داده شده است. در مورد مزیت این سه شاخه‌ها نسبت به دوشاخه‌ها با هم گروهی‌های خود تحقیقی را انجام دهید.





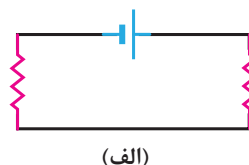
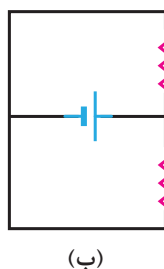
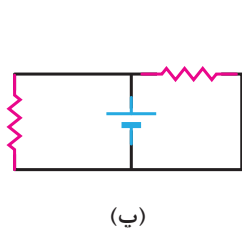
۱- با توجه به نمودار  $I-V$  که برای دو رسانا در شکل روبه‌رو نشان داده شده، مقاومت کدام رسانا بیشتر است؟

۲- در شکل زیر سه رسانای مسی استوانه‌ای بر حسب طول  $L$  و مساحت مقطع بر حسب  $A$  نشان داده شده است. اگر به دو سر هر یک از آنها اختلاف پتانسیل یکسان اعمال شود این رساناها را با توجه به جریان‌های گذرنده از آنها از بیشترین تا کمترین مقدار مرتب کنید.

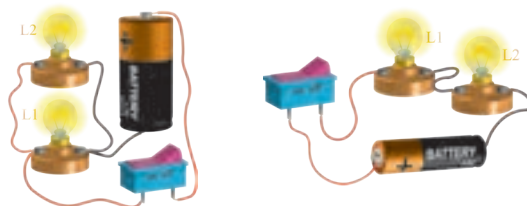


۳- در مدار شکل روبه‌رو  $R_2 > R_1$  است. کدام یک از جمله‌های زیر درست و کدام نادرست است؟  
 (الف) جریان در جهت چرخش عقربه‌های ساعت در مدار شارش می‌کند.  
 (ب) جریان گذرنده از  $R_1$  بیشتر از  $R_2$  است.  
 (پ) اختلاف پتانسیل دو سر  $R_2$  بیشتر از  $R_1$  است.  
 (ت) توان مصرفی در مقاومت  $R_2$  بیشتر از  $R_1$  است.

۴- یک مهندس نیاز به مقاومت‌های  $6\text{ k}\Omega$  و  $9\text{ k}\Omega$  دارد. اما فقط مقاومت‌های  $18\text{ k}\Omega$  را در اختیار دارد. آیا باید مقاومت‌های مورد نیاز او را خریداری کرد؟ توضیح دهید.  
 ۵- در سه مدار زیر نوع ترکیب مقاومت‌ها را تعیین کنید: موازی، متوالی یا هیچ کدام.

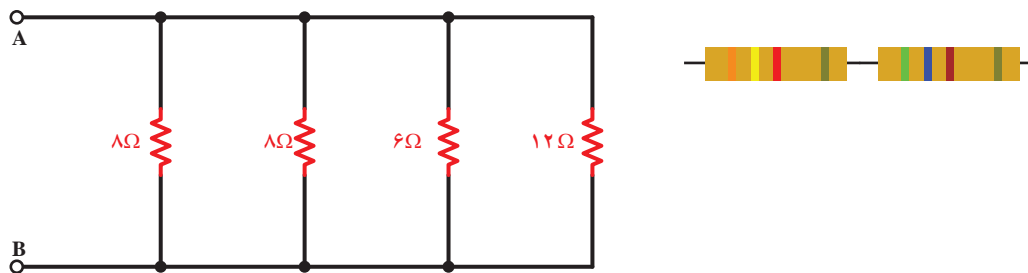


۶- در مدارهای شکل زیر، لامپ‌ها و باتری‌ها یکسان هستند. با ذکر دلیل بگویید نور لامپ‌ها در کدام مدار (موازی یا سری) بیشتر است؟



## چند مسئله

- ۱- انسان در اثر عبور یک جریان ضعیف  $50\text{ mA}$  از مجاور قلبش دچار برق‌گرفتگی می‌شود. برق‌کاری با دست‌های خیس دو سیم برق را به طور کامل در هر یک از دو دست خود نگه داشته است. اگر در این حالت مقاومت بدن برق‌کار  $2000\text{ }\Omega$  اهم باشد، ولتاژ لازم برای برق‌گرفتگی چقدر است؟
- ۲- هرگاه برای برق‌رسانی به یک موتور الکتریکی که در فاصله  $1\text{ km}$  کیلومتری از تابلوی برق قرار دارد، بخواهیم از سیم مسی با مقاومت  $20\text{ }\Omega$  استفاده کنیم، سطح مقطع سیم را باید چند میلی‌متر مربع انتخاب کنیم؟
- ۳- کابلی شامل  $125$  رشته سیم است که مقاومت هر کدام  $2/56$  میکروهم است. با ایجاد اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر کابل جریان کل  $0/75\text{ A}$  در سیم‌ها برقرار می‌شود. الف) جریان در هر رشته سیم چند آمپر است؟ ب) اختلاف پتانسیل اعمال شده چند ولت است؟ ج) مقاومت کابل چند اهم است؟
- ۴- دانش‌آموزی رادیوی  $9\text{ V}$  و  $7\text{ W}$  خود را از ساعت  $9$  بعدازظهر تا  $2$  بامداد با بلندترین صدا روشن نگه‌می‌دارد. در این مدت چه مقدار بار الکتریکی به این رادیو وارد می‌شود؟
- ۵- مقاومت یک بخاری که با ولتاژ  $120\text{ V}$  کار می‌کند. در حال کار  $14\text{ A}$  اهم است. آهنگ تبدیل انرژی الکتریکی به گرما چقدر است؟
- ۶- مقاومت معادل هر یک از مدارهای زیر را به دست آورید.



## پروژه عملی

- ۱- به کمک یک سیم و یک باتری تلاش کنید تا یک لامپ را روشن کنید (از برش دادن سیم بپرهیزید).
- ۲- با راهنمایی دبیر خود یک چراغ قوه دو لامپی بسازید که با یک کلید دو طرفه کار کند؛ یعنی با فشردن کلید در یک سمت یکی از لامپ‌ها و با فشردن کلید در جهت دیگر، لامپ دوم روشن شود.





## فصل اول – علم فیزیک و اندازه گیری

### Physics and Measurement

Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای
Average Acceleration	شتاب متوسط
Newton's Laws	قوانین نیوتن
Action	کنش
Inertia	لختی
Place	مکان
Motion Diagram	نمودار مسیر حرکت
Force	نیرو
Dynamometer	نیروسنج
Static Friction Force	نیروی اصطکاک ایستایی
kinetic Friction Force	نیروی اصطکاک جنبشی
Normal Support Force	نیروی عمودی تکیه‌گاه
Gravity Force	نیروی گرانش
Weight Force	نیروی وزن
Reaction	واکنش

### فصل سوم – حالت‌های ماده و فشار

### Properties of Matter and Pressure

Archimedes' Principle	اصل ارشمیدس
Pascal's Principle	اصل پاسکال
The Principle of Buoyancy	اصل شناوری
Solid	جامد
Density	چگالی
Phase	حالت
Volume	حجم
Fluid	شاره
Pressure	فشار
Manometer	فشار سنج
Gas	گاز
Liquid	مایع

Measurement	اندازه گیری
Inch	اینچ
Vector	بردار
Pound	پوند
Precision	دقت
Micrometer	ریزسنج
Accuracy	صحت
Foot	فوت
Quantity	کمیت
Caliper	کولیس
Gallon	گالون
Scalar	نرده ای
Scientific Notation	نمادگذاری علمی
Unit	یکا
Base Units	یکاهای اصلی
Derived Units	یکاهای فرعی

### فصل دوم – مکانیک

### Mechanics

Equilibrium	تعادل
Displacement	جاب‌جایی
Mass	جرم
Motion	حرکت
Accelerated Motion	حرکت شتاب دار
Uniform Motion	حرکت یکنواخت
Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای
Average Velocity	سرعت متوسط

Series Circuits	مدارهای سری (متوالی)
Parallel Circuits	مدارهای موازی
Resistor	مقاومت
Electric Resistance	مقاومت الکتریکی
Fixed Resistors	مقاومت ثابت
Thermistor	مقاومت حرارتی
Equivalent Resistance	مقاومت معادل
Resistivity	مقاومت ویژه
Electrical Insulator	نارسانای الکتریکی

## Temperature and Heat

Thermal Expansion	انبساط گرمایی
Transfer Thermal	انتقال گرما
Radiation	تابش
Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Expansion Joint	درز انبساط
Temperature	دما
Temperature Equilibrium	دمای تعادل
Conductive Heat	رسانای گرما
Heat Conductivity	رسانش گرمایی
Specific Heat Capacity	ظرفیت گرمایی ویژه
Heat Insulator	عایق گرمایی
Temperature Scale	مقیاس دما
Convection	همرفت

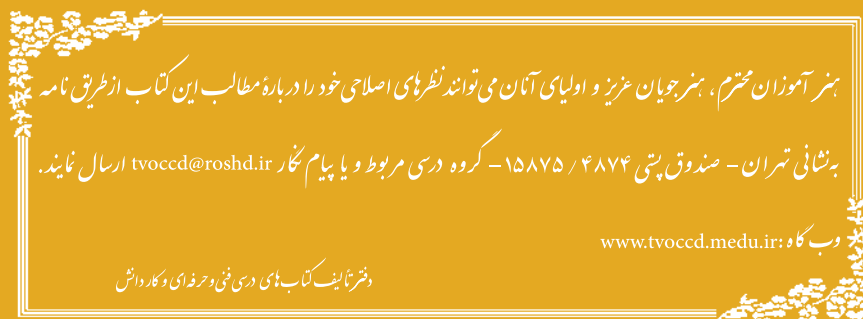
## فصل پنجم – جریان و مدارهای الکتریکی

### Electric Current and Circuits

Potential Difference	اختلاف پتانسیل
Ampere Meter	آمپرسنج
Net Charge	بار خالص
Potentiometer	پتانسیومتر
Electric Current	جریان الکتریکی
Direct Current	جریان مستقیم
Electrically Conductive	رسانای الکتریکی
Rheostat	رئوستا
Ohm's Law	قانون اهم
Free Electron	الکترون آزاد
Electrical Circuit	مدار الکتریکی

- ۱- برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۱.
- ۲- برنامه‌های درسی رشته‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۳.
- ۳- برنامه درسی فیزیک فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴.
- ۴- مبانی فیزیک، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر، ویرایش نهم، ترجمه محمدرضا خوشبین خوش‌نظر و دیگران، چاپ اول سال ۱۳۹۰.
- ۵- دوره درسی فیزیک جلد اول، گ. س. لندسبرگ، ترجمه لطیف کاشی‌گر و دیگران، چاپ اول ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- اصول فیزیک، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول ۱۳۸۳، نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک مفهومی، پ. ج. هیوئیت، ویرایش دهم، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک دانشگاهی (جلد دوم)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پور قاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۹- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۱۰- دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمدابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.

1. College physics, Raymond A.Serway, Chris Vuille, Jerry S.Faughn, 2009.
2. Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw – Hill.
3. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.
4. Light and Matter, Benjamin Crowell, 2015, Fullerton California.
5. Everything Science, Mark Homer, Heather Williams, Bridget Nash, Teacher Guide, 2012.
6. Everything Science: Grade 10, 11, 12 Physical Science, Siyavula core team, 2012.
7. The Free High School Science Texts: Textbooks for High School Students Studying the Sciences Physics Grades 10 -12, FHSST Authors, 2008.
8. The People Physics Book, James H Dann, James J Dann, 2006.
9. Holt, McDougal, Physics: Student Edition, A. Serway, Jerry s.Faughn, 2012.



هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می توانند نظرهای اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه  
برنشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وبگاه: [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

دفترتالیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کار دانش