

## فعالیت ۳۰



مثال ۹-۳ کتاب درسی را در کلاس طرح می‌کنیم، با حل مثال‌های مشابه آن، توضیح می‌دهیم که چون  $I$  برای همه‌ی مقاومت‌ها مساوی است، بهتر است از رابطه‌ی  $P = RI^2$  برای توان مصرفی استفاده کنیم.

**مثال ۹-۳**  
مقاومت‌های  $R_1 = 2\Omega$  و  $R_2 = 4\Omega$  و  $R_3 = 1\Omega$  و  $R_4 = 3\Omega$  را به‌طور متوالی به هم بسته‌ایم.

الف - مقاومت معادل مجموعه‌ی مقاومت‌ها را حساب کنید. اگر این مجموعه از مقاومت‌ها را به دو سر مولدی به نیروی محرکه‌ی  $\mathcal{E}$  ولت و مقاومت درونی ناچیز ببندیم، شدت جریان در مدار چه قدر می‌شود؟

ب - توان مصرفی هر یک از مقاومت‌ها و مجموع توان مصرفی هر مقاومت و توان مصرفی کل را محاسبه و با هم مقایسه کنید.

حل: الف - بنا به رابطه‌ی ۲۳-۳ داریم:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R = 2 + 4 + 1 + 3 = 10\Omega$$

مقاومت معادل

در شکل ۲۱-۳ الف و ب به ترتیب به هم بستن مقاومت‌های متوالی را به باتری و قرار گرفتن مقاومت معادل را به جای آن‌ها مشاهده می‌کنید.

شکل ۲۱-۳

در این حالت، بنا به آنچه در مورد مدارهای تک حلقه گفتیم، شدت جریان مدار

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{10}$$

ب -

$$P_1 = RI^2 \Rightarrow P_1 = 2 \times \left(\frac{\mathcal{E}}{10}\right)^2 = \frac{1}{25} \mathcal{E}^2$$

$$P_2 = 4 \times \left(\frac{\mathcal{E}}{10}\right)^2 = \frac{2}{25} \mathcal{E}^2$$

$$P_3 = 1 \times \left(\frac{\mathcal{E}}{10}\right)^2 = \frac{1}{100} \mathcal{E}^2$$

$$P_4 = 3 \times \left(\frac{\mathcal{E}}{10}\right)^2 = \frac{3}{100} \mathcal{E}^2$$

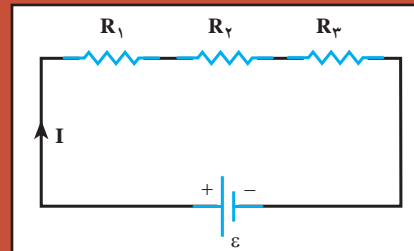
## دانشتنی

توان و مقاومت معادل در یک مدار متوالی

اگر  $N$  مقاومت به‌طور متوالی به یک باتری وصل شوند می‌توان نوشت:

$$R_T = \sum_{i=1}^N R_i \quad \text{مقاومت معادل}$$

جریان  $I$  که از مقاومت‌ها می‌گذرد برابر است با:



و افت ولتاژ دو سر هر مقاومت برابر است با:

$$V_i = IR_i = \frac{\mathcal{E}}{R_T} \times R_i$$

و توانی که هر مقاومت تلف می‌کند:

$$P_i = IV_i = \frac{\mathcal{E}}{R_T} \times \left(\frac{\mathcal{E}}{R_T} \times R_i\right) = \left(\frac{\mathcal{E}}{R_T}\right)^2 R_i$$

اگر روی همه‌ی مقاومت‌ها جمع ببندیم، توان کلی که در مدار تلف می‌شود برابر است با :

$$P = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\varepsilon}{R_T} \right)^2 R_i = \left( \frac{\varepsilon}{R_T} \right)^2 R_T = \frac{\varepsilon^2}{R_T}$$

که همان توانی است که نیروی محرکه‌ی الکتریکی،  $\varepsilon$ ، به مقاومت معادل  $R_T$  تحویل می‌دهد.

پاسخ تمرین (۳-۶): برای این که توان مصرفی لامپ

۲۶ وات بماند باید اختلاف پتانسیل دو سر هریک از لامپ‌ها ۱۲

ولت باقی بماند. در به هم بستن متوالی داریم

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots \Rightarrow 180 = N(12)$$

$$\Rightarrow N = \frac{180}{12} = 15 \text{ لامپ}$$

پرسش: رشته‌ای شامل دوازده لامپ یکسان را به‌طور متوالی به یک منبع نیروی محرکه‌ی الکتریکی ۱۲۰ ولت بسته‌اند. هر لامپ باید ۱۵ وات توان تلف کند. مقاومت هر لامپ چه قدر باید باشد؟

پاسخ: چون هر لامپ ۱۵ وات تلف می‌کند، کل انرژی که منبع ولتاژ تحویل می‌دهد عبارت است از:

$$P = 12 \times (15) = 180 \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{180}{120} = 1.5 \text{ A}$$

کل افت پتانسیل در دو سر دوازده لامپ ۱۲۰ ولت است، چون لامپ‌ها یکسان‌اند، افت پتانسیل دو سر هریک

$$R = \frac{120}{1.5} = 80 \Omega$$

باید (ولت)  $120 \div 12 = 10$  باشد پس مقاومت هر لامپ برابر است با:

$$P_1 = 3 \times 36 = 108 \text{ W}$$

$$P = R I^2 = 3 \times 12 = 36 \text{ W}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 108 + 108 + 108 = 324 \text{ W}$$

بنابراین توان مصرفی کل برابر مجموع توان مصرفی مقاومت‌هاست.

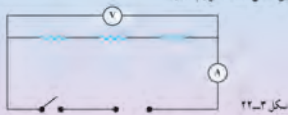
#### تمرین ۳-۲

می‌خواهیم تعدادی لامپ ۱۲ ولتی و ۲۶ وات را با برق ۱۸۰ ولت روشن کنیم. چند عدد از این لامپ‌ها را به‌طور متوالی به هم ببندیم تا بدون آن‌که بسوزند، توان مصرفی هر کدام همان ۲۶ وات باشد؟

#### آزمایش ۴-۳

وسایلهای لازم: چند مقاومت  $10 \Omega$ ،  $15 \Omega$ ،  $20 \Omega$ ،  $25 \Omega$ ،  $30 \Omega$ ، سیم رابط، ولت‌سنج، آمپر سنج، کید قطع و وصل، منبع تغذیه و اهم‌تر.

۱- ابتدا سه یا چهار مقاومت را به‌طور متوالی به هم ببندید و پس از آن با این مقاومت‌ها مداری مطابق شکل ۳-۲۲ ترتیب دهید.



۲- با اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه‌ی مقاومت‌ها از رابطه‌ی  $R = \frac{V}{I}$  مقاومت معادل را اندازه‌ بگیرید و پس از آن، با استفاده از اهم‌تر، مقاومت معادل مجموعه‌ی مقاومت‌ها را اندازه‌گیری کنید. نتیجه را با آن‌چه از رابطه‌ی  $R = \frac{V}{I}$  به دست آورده‌اید، مقایسه کنید.

## آزمایش ۳-۴

در مرحله‌ی بعد با استفاده از قانون اهم  $R = \frac{V}{I}$  ابتدا اختلاف

پتانسیل دو سر مجموعه‌ی مقاومت‌ها و سپس شدت جریان مدار را اندازه‌گیری می‌کنیم و مقاومت معادل را به دست می‌آوریم.

$R = \dots\dots\dots$	مقاومت معادل با استفاده از اهم متر
$R = \frac{V}{I} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$	مقاومت معادل با استفاده از قانون اهم

هدف : تحقیق در مورد رابطه‌ی مقاومت معادل با مقدار

مقاومت‌های مدار در به هم بستن متوالی مقاومت‌ها

روش انجام آزمایش : ابتدا از طریق اندازه‌گیری مقاومت

دو سر مقاومت‌ها با استفاده از اهم سنج، مقاومت دو سر مجموعه‌ی مقاومت‌ها را اندازه‌گیری می‌کنیم.



### کاربرد مقاومت‌ها در کامپیوترهای جیبی (Pocket PC)

در این دانستنی، با چگونگی عملکرد صفحه‌های حساس به لمس در کامپیوترهای جیبی که اساس آن مقاومت‌های متوالی است آشنا می‌شویم.

صفحه‌ی حساس از دو لایه‌ی رسانای شفاف تشکیل شده است که به جز وقتی که فشار قلم آن‌ها را به تماس وادارد از هم فاصله‌ی کمی دارند. با فشار دادن قلم در نقطه‌ی P، جریان I از طرف مثبت لایه‌ی بالایی وارد می‌شود، از نقطه‌ی P به لایه‌ی پایین جریان می‌یابد و از این لایه از طرف منفی آن خارج می‌گردد. هر لایه در مقابل جریان مقاومتی ایجاد می‌کند که مقدارش به محلی بستگی دارد که فشار وارد می‌شود (نقطه‌ی P) مقاومت لایه‌ی بالا و لایه‌ی پایین با یکدیگر متوالی قرار می‌گیرند و ولتاژ دو سر هر کدام از آن‌ها (مطابق شکل  $V_B$  و  $V_T$ ) برابر با حاصل ضرب جریان در مقدار مقاومت است.

۲) موازی : درس را با آزمایش زیر ادامه می‌دهیم.

آزمایش پیشنهادی

وسيله‌های مورد نیاز :

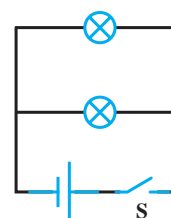
۲ لامپ کوچک یکسان، منبع تغذیه با ولتاژ متغیر، کلید،

سیم رابط، گیره، آمپر سنج

الف) مداری مطابق شکل (۴۹) ببندید.

ب) با بستن کلید و اعمال ولتاژ مناسب، لامپ‌ها را روشن

کنید.



شکل (۴۹)

پ) یکی از لامپ‌ها را از مدار خارج کنید.

ت) آیا لامپ دیگر خاموش می‌شود؟

ث) چگونگی اتصال این دو لامپ در مدار چه نامیده

می‌شود؟ (با توجه به دانسته‌های قبلی شما در دوره‌ی راهنمایی)

ج) از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ : (ت خیر ث) موازی ج) در به هم بستن موازی،

اگر در یکی از شاخه‌ها، لامپ حذف شود، این عمل باعث

قطع جریان الکتریکی در شاخه‌ی دیگر نمی‌شود. یعنی جریان

الکتریکی کل و جریان الکتریکی در شاخه‌ی دیگر وجود دارد.

این آزمایش را برای سه لامپ تکرار کنید و لامپ‌ها را به

دلخواه از مدارها خارج کنید و نتیجه را بررسی کنید.

## آزمایش پیشنهادی

پاسخ: عددی که آمپرسنج A نشان می‌دهد، برابر با

مجموع دو عدد آمپرسنج دیگر است.

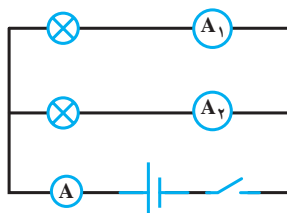
در به هم بستن موازی دو لامپ، شدت جریان الکتریکی کل (در شاخه اصلی) برابر با مجموع شدت جریان‌های عبوری از دو لامپ دیگر است.

در آزمایش قبل با در دست داشتن سه آمپرسنج، مقدار

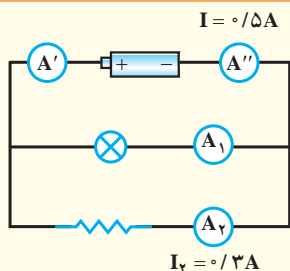
شدت جریانی را که از شاخه‌های مختلف عبور می‌کند تعیین کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

راهنمایی: آمپرسنج‌ها را در مسیر جریان کلی و جریان

در هریک از لامپ‌ها قرار دهید.



شکل (۵۰)



شکل (۵۱)

پرسش: در مدار شکل (۵۱) مقدار شدت جریانی را که هریک از آمپرسنج‌ها نشان

می‌دهد، پیش‌بینی کنید.

پاسخ:

$$A' = 0.5 \text{ A}$$

$$A_1 = 0.2 \text{ A}$$

## آزمایش پیشنهادی

هدف: یافتن رابطه‌ی بین مقدار کمیت‌های جریان الکتریکی و

اختلاف پتانسیل‌ها، در به هم بستن مقاومت‌ها به‌طور موازی.

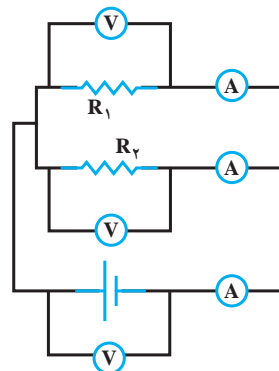
توجه: قبل از انجام آزمایش می‌توانیم مدار را در نرم افزار

ادیسون تنظیم کنیم و پس از تعیین مقدارهای ولتاژ و مقاومت و جریان‌های الکتریکی جدول را پر کنیم.

وسیله‌های مورد نیاز:

دو مقاومت  $R_1 = 330 \Omega$  و  $R_2 = 1200 \Omega$  سه عدد

ولت‌سنج، سه عدد آمپرسنج، منبع تغذیه، سیم‌های رابط، کلید



شکل (۵۲)

الف) مدار شکل (۵۲) را ببندید و سپس با استفاده از

ولت‌سنج و آمپرسنج مقدار کمیت‌های خواسته شده در جدول را تعیین کنید.

$$I_1 = \text{شدت جریان در مقاومت } R_1$$

$$I_2 = \text{شدت جریان در مقاومت } R_2$$

$$I = \text{شدت جریان کل در مدار}$$

$$V_1 = \text{اختلاف پتانسیل دو سر } R_1$$

$$V_2 = \text{اختلاف پتانسیل دو سر } R_2$$

$$V = \text{اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌ها}$$

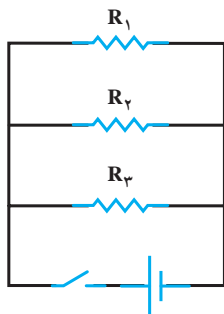
جدول (۸)

دو مقاومت موازی	
شدت جریان	اختلاف پتانسیل
$I_1 = \dots\dots\dots$	$V_1 = \dots\dots\dots$
$I_2 = \dots\dots\dots$	$V_2 = \dots\dots\dots$
$I = \dots\dots\dots$	$V = \dots\dots\dots$

رسم کنید و رابطه‌ی بین شدت جریان‌های الکتریکی و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌ها را برای سه مقاومت بنویسید.

پاسخ:  $I_{\text{کل}} = I_1 + I_2 + I_3$

$V_{\text{کل}} = V_1 = V_2 = V_3$



شکل (۵۳)

برای پرهیز از اعمال خطا در نتیجه‌های آزمایش، می‌توان میانگین عددهای به دست آمده را در جدول قرار داد.

ب) مقدار شدت جریانی را که از مقاومت‌ها می‌گذرد با مقدار شدت جریان از کل مدار ( $I$  کل) مقایسه کنید و رابطه‌ای میان آن‌ها بنویسید.

پاسخ:  $I_{\text{کل}} = I_1 + I_2$

پ) اختلاف پتانسیل دوسر هر مقاومت، چه رابطه‌ای با اختلاف پتانسیل دو سر مولد (دو سر مقاومت‌ها) دارد؟

پاسخ:  $V_{\text{کل}} = V_1 + V_2$

ت) مداری که از سه مقاومت موازی تشکیل شده است

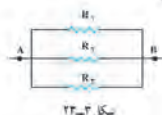
## فعالیت ۳۱



در شکل ۲۳-۳ کتاب درسی با اتصال دو نقطه‌ی A و B به یک منبع تغذیه شکل مدار را کامل کنید.

پاسخ:

ب) به هم بستن مقاومت‌ها به‌طور موازی: شکل ۲۳-۳ سه مقاومت را نشان می‌دهد که بین دو نقطه‌ی A و B به‌طور موازی به هم بسته شده‌اند.

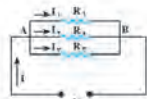


شکل ۲۳-۳

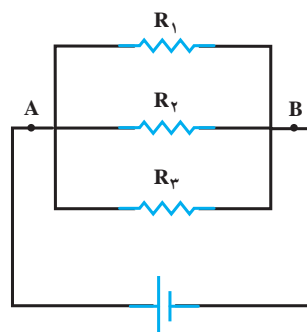
در به هم بستن موازی مقاومت‌ها یک سر همدی مقاومت‌ها به یک نقطه (مثلاً نقطه‌ی A) و سر دیگر همدی آن‌ها نیز به یک نقطه (مثلاً نقطه‌ی B) بسته شده است. در این حالت، اگر دو سر مجموعه مطابق شکل ۲۴-۳ به اختلاف پتانسیل  $V$  وصل شود، جریان الکتریکی در هر یک از مقاومت‌ها برقرار می‌گردد. بتأییر اصل پایستگی بار، باید شدت جریان در شاخه‌ی اصلی یا مجموع شدت جریان‌هایی که در هر یک از مقاومت‌ها برقرار شده است، برابر باشد.

$I = I_1 + I_2 + I_3$

شکل (۲۴-۳)



شکل ۲۴-۳



شکل (۵۴)

### فعالیت ۳۲

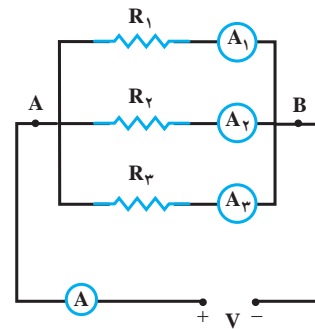
آزمایشی را طراحی کنید که درستی رابطه‌ی ۲۴-۳ را نشان دهد.

در به هم بستن موازی مقاومت‌ها به‌طور موازی چون یک سر مقاومت‌ها به نقطه‌ی A و سر دیگر به نقطه‌ی B وصل است بنابراین ولتاژ یک سر همه مقاومت‌ها  $V_1$  و سر دیگر  $V_2$  است. به عبارت دیگر، در این حالت اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های موازی یکسان است؛ بنابراین، براساس قانون اهم می‌توان نوشت:

$I_1 = \frac{V}{R_1}$  و  $I_2 = \frac{V}{R_2}$  و  $I_3 = \frac{V}{R_3}$

شکل (۲۵-۳)

– برای تأیید این رابطه ( $I = I_1 + I_2 + I_3$ ) طراحی آزمایش مربوط به شکل مدار صفحه‌ی قبلی را از دانش‌آموزان می‌خواهیم، که تحت عنوان فعالیت ۸-۳ کتاب آمده است.  
پاسخ فعالیت (۸-۳): شکل ۲۳-۳ با خواندن مقادیر شدت جریان‌ها از روی آمپرسنج‌ها صحت رابطه شدت جریان‌ها را تأیید می‌کنیم.



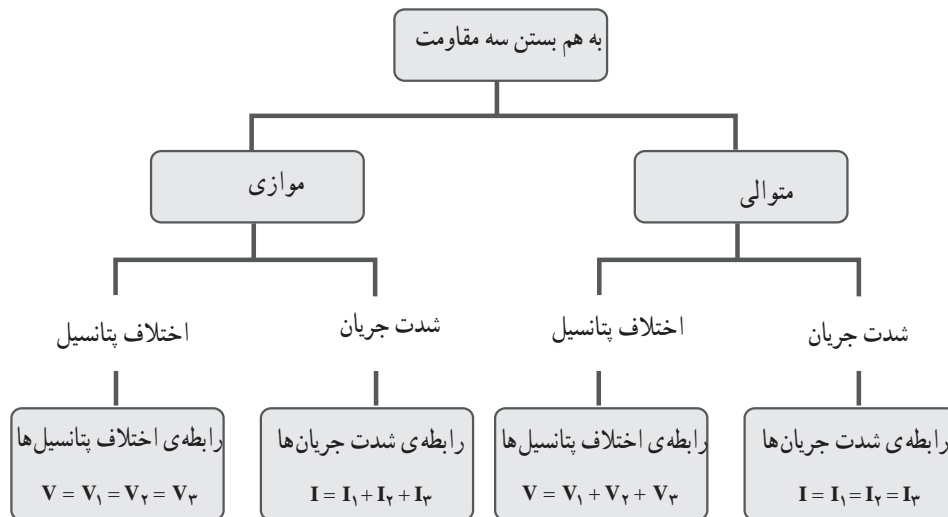
شکل (۵۵)

– مقدارهای  $I_1, I_2, I_3$  و  $I$  را در شکل مدار وارد کنید (شکل ۲۴-۳ کتاب)



## فعالیت ۳۲

با توجه به مطالبی که در مورد به هم بستن مقاومت‌ها خواندید، یک نقشه‌ی مفهومی از آن‌ها طراحی کنید.  
پاسخ: به عنوان مثال:

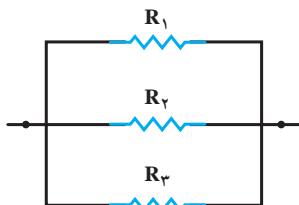


(ب) اندازه‌ی مقاومت معادل را با اندازه‌ی تک تک مقاومت‌ها مقایسه کنید، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



شکل (۵۶)

مثال: سه مقاومت  $R_1 = 2\Omega$  و  $R_2 = 4\Omega$  و  $R_3 = 8\Omega$  را یک بار به صورت متوالی و بار دیگر به صورت موازی وصل می‌کنیم. الف) مقاومت معادل را در هر دو حالت به دست آورید.



شکل (۵۷)

ب) در حالت به هم بستن متوالی، مقاومت معادل بزرگ‌تر از هریک از مقاومت‌هاست.  
در حالت به هم بستن موازی، مقاومت معادل کوچک‌تر از هریک از مقاومت‌هاست.  
توجه: نتیجه‌ی مثال قبل کلی است.

پاسخ:  $R_T = R_1 + R_2 + R_3 \rightarrow R_T = 2 + 2 + 8 = 14 \Omega$

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\rightarrow \frac{1}{R'_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{8} = \frac{4+2+1}{8} = \frac{7}{8}$$

$$\rightarrow R'_T = \frac{8}{7} = 1 \frac{1}{7} \Omega$$

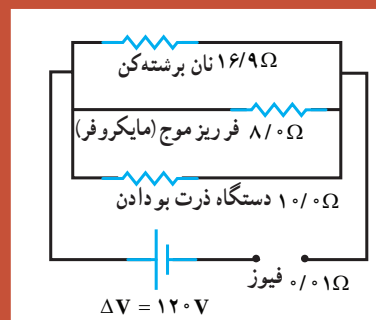


### نقش فیوز در جلوگیری از آسیب دیدن وسایل برقی

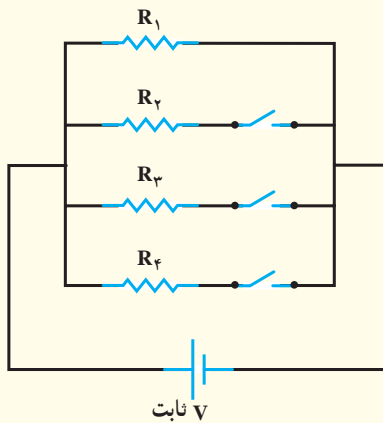
دستگاه‌های الکتریکی در خانه به‌طور موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند و یک فیوز را به‌طور متوالی با کل مدار مصرف‌کننده‌های خانگی قرار می‌دهند و این مجموعه به مولد جریان الکتریکی متصل می‌شود. فیوز از سیم باریکی که در اثر جریان الکتریکی بالا ذوب می‌شود تشکیل شده است بعد از این که فیوز ذوب شد باید جایگزین شود. امروزه 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 چون موازی یکدیگر هستند، 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 به‌عنوان یک عنصر کنترل‌کننده و پیش‌گیری از خطر در منازل است.



شکل (۵۸)



پرسش: در شکل (۵۴) کلیدهای مدار را به تدریج می‌بندیم، به نظر شما مقدار مقاومت معادل مدار چه تغییری می‌کند؟ مقدار شدت جریان الکتریکی چه تغییری می‌کند؟



پاسخ: چون مقاومت‌ها موازی هستند، با بستن تدریجی کلیدها مقدار مقاومت معادل کمتر خواهد شد و شدت جریان الکتریکی در شاخه‌ی اصلی، افزایش می‌یابد.

شکل (۵۹)

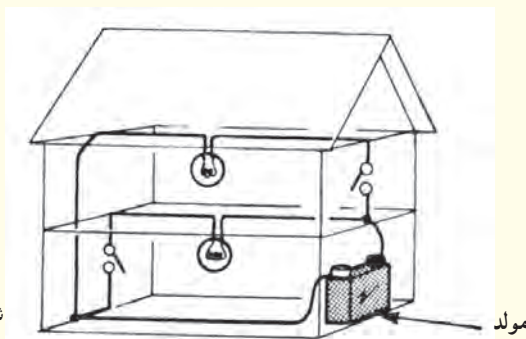
پرسش: — زیاد شدن تعداد مصرف‌کننده‌های الکتریکی در خانه چه تأثیری روی شدت جریان الکتریکی دارد؟

— چه نتیجه‌ای در مورد نوع به هم بستن مصرف‌کننده‌ها (مقاومت‌ها) در خانه می‌گیرید؟  
— چگونه از افزایش بیش از حد ظرفیت جریان الکتریکی در سیم‌های حامل، در مدار اصلی جلوگیری می‌کنند؟

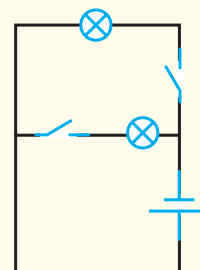
پاسخ: نهایتاً به قطع شدن برق خانه می‌انجامد. منبع تغذیه با ولتاژ ثابت برق شهر باعث عبور شدت جریان زیادی از مصرف‌کننده‌های خانگی می‌شود که می‌تواند اصطلاحاً به «سوختن» یا «قطع فیوز» انجامد یعنی جریان الکتریکی اصلی زیاد می‌شود و از حد مجاز بالاتر رفته است و یا می‌توان گفت که مقاومت الکتریکی معادل، با افزایش تعداد مقاومت‌ها کاهش یافته است پس مصرف‌کننده‌های خانگی به صورت موازی بسته شده‌اند.  
— برای جلوگیری از افزایش بیش از حد جریان الکتریکی در سیم‌های حامل جریان اصلی از «فیوز» استفاده می‌شود.

پرسش: شکل (۶۰) چگونگی اتصال دو لامپ و دو کلید را به مولد در یک خانه نشان می‌دهد. شکل مدار آن را رسم کنید.

پاسخ: موازی بسته شده‌اند.



شکل (۶۰)

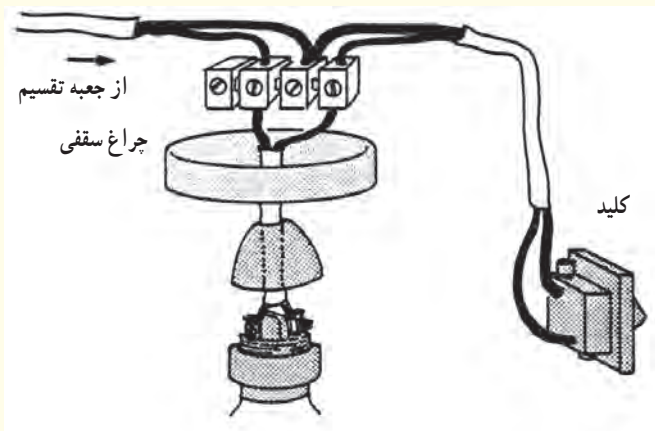




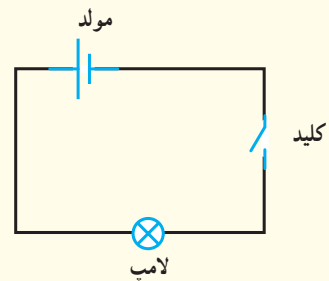
پرسش: چگونه سیم کشی یک لامپ و کلید در خانه، در شکل (۶۱) نشان داده شده است. این مدار را رسم

کنید.

پاسخ:



شکل (۶۱)



پرسش: به نظر شما اتصال چراغ‌های جلوی اتومبیل متوالی است یا موازی؟ توضیح دهید.

پاسخ: موازی زیرا وقتی که یک چراغ خراب باشد، چراغ دیگر می‌تواند روشن شود.

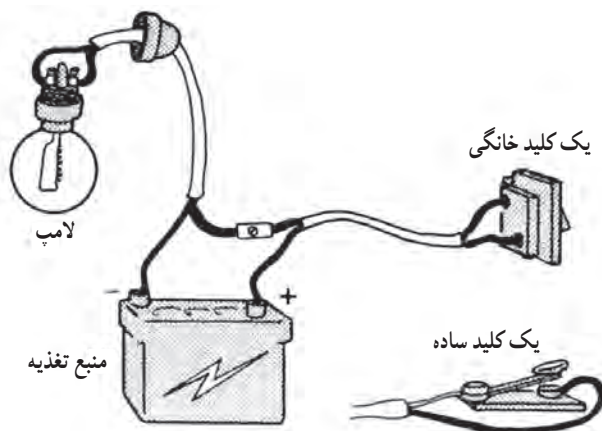
### فعالیت ۳۳



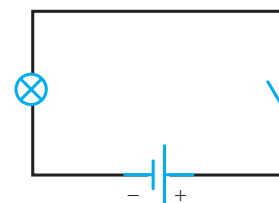
با توجه به شکل (۶۲)، مدار اتصال یک لامپ به کلید و اتصال به منبع تغذیه را رسم کنید و چگونه اتصال را

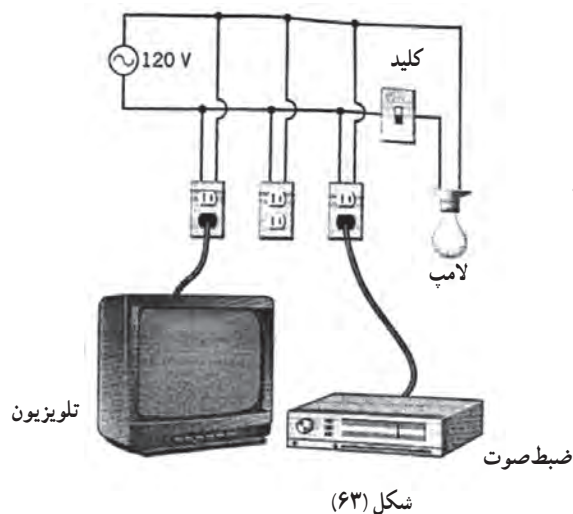
شرح دهید.

پاسخ: متوالی هستند.



شکل (۶۲)





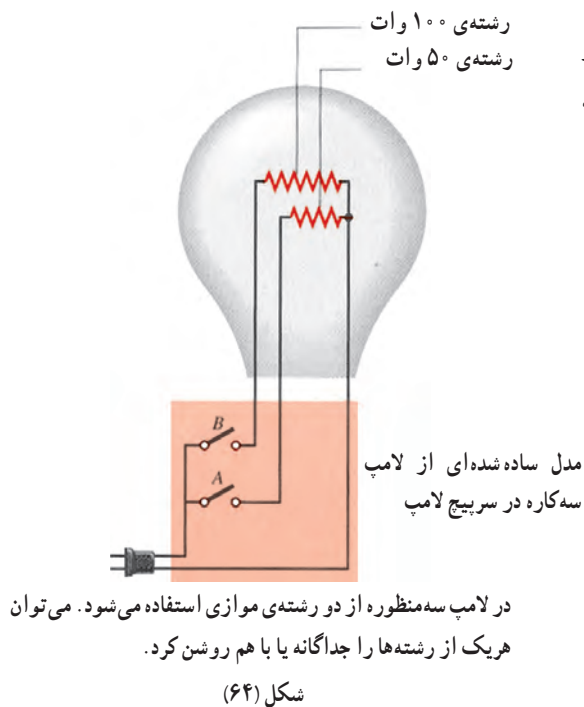
### فعالیت ۳۴

در شکل ۶۳ نحوه‌ی اتصال وسایل الکتریکی خانگی به منبع تغذیه را شرح دهید.

پاسخ: با یکدیگر موازی می‌باشند.

### فعالیت ۳۵

از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا با توجه به شکل (۶۴) طرز کار و مورد استفاده‌ی لامپ‌هایی را که این گونه طراحی شده‌اند توضیح دهند.



پاسخ: با بستن کلید دوم در سر پیچ لامپ مقاومت جدیدی در مدار قرار می‌گیرد که باعث می‌شود مقاومت معادل کمتر و شدت جریان کل در لامپ بیشتر شود. از هر رشته مقدار جریان متناسب با عکس مقاومت آن می‌گذرد و در نتیجه نور لامپ بیشتر خواهد شد.

**تمرین ۳-۷:** از دانش آموزان می خواهیم شکلی مناسب برای این تمرین رسم کنند و در هر شاخه مقاومت و شدت جریان را نام گذاری کنند سپس با یادآوری ویژگی های مدارهای با مقاومت های موازی، دانش آموزان را در حل یاری می دهیم.

می دانیم  $I = I_1 + I_2$  و از طرفی داریم:

**پاسخ:**  $V_1 = V_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

اگر مقاومت معادل این مقاومت های موازی را با  $R$  نشان دهیم، برای مقاومت معادل آن ها نیز داریم:

(۲۶-۳)  $I = \frac{V}{R}$

از رابطه های ۲۴-۳ و ۲۵-۳ و ۲۶-۳ نتیجه می شود:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

یا:

(۲۷-۳)  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

بنابراین، در به هم بستن مقاومت ها به طور موازی، وارون مقاومت معادل برابر مجموع وارون مقاومت ها است.

**تمرین ۳-۷**

نشان دهید وقتی دو مقاومت به طور موازی به یک دیگر وصل شوند، نسبت شدت جریان های آن ها به نسبت وارون مقاومت ها است.

**مثال ۳-۱۰**

مقاومت های  $R_1 = 4\Omega$  و  $R_2 = 12\Omega$  و  $R_3 = 6\Omega$  را به طور موازی به هم می بندیم و در دسر آن ها اختلاف پتانسیل ۱۵ ولت برقرار می کنیم.

الف - مقاومت معادل و شدت جریان کل را به دست آورید.

ب - شدت جریان را در هر یک از مقاومت ها حساب کنید.

ج - توان مصرفی هر مقاومت و توان مصرفی کل را محاسبه کنید.

حل: الف - برای محاسبه ی مقاومت معادل بنا به رابطه ی ۲۷-۳ داریم:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{12} + \frac{1}{6} = \frac{2+3+4}{12} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4}$$

**مقاومت معادل**

$$R = \frac{12}{3} = 4\Omega$$

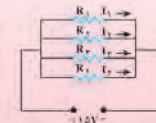
شدت جریان کل از رابطه ی  $I = \frac{V}{R}$  به دست می آید.

$$I = \frac{15}{4} = 3.75A$$

ب - با توجه به شکل ۲۵-۳ برای محاسبه ی شدت جریان در هر یک از مقاومت ها، می توان نوشت:

$$V = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

$$I_1 = \frac{15}{4} = 3.75A \text{ و } I_2 = \frac{15}{8} = 1.875A$$

$$I_3 = \frac{15}{12} = 1.25A \text{ و } I_4 = \frac{15}{24} = 0.625A$$


نکته ۲۵-۳

همان طور که می بینید، شدت جریان به نسبت وارون مقاومت ها توزیع شده است.

بنا به رابطه ی ۱۱-۳ داریم:

$$P = VI$$

$$P_1 = 15 \times 3.75 = 56.25W \text{ و } P_2 = 15 \times 1.875 = 28.125W$$

$$P_3 = 15 \times 1.25 = 18.75W \text{ و } P_4 = 15 \times 0.625 = 9.375W$$

برای محاسبه ی توان کل با استفاده از مقاومت معادل می توان نوشت:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{225}{4} = 56.25W$$

همان طور که پیش تر هم دیدیم، برای محاسبه ی توان کل می توانیم توان مصرفی در مقاومت ها را با هم جمع کنیم.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 56.25 + 28.125 + 18.75 + 9.375 = 112.5W$$

بنابراین، جریان الکتریکی در هر شاخه متناسب با عکس مقاومت آن شاخه است.

**مثال ۳-۱۰:** کتاب درسی را طرح می کنیم و به اندازه ی کافی روی بندهای آن تأمل می کنیم در قسمت (الف) دوباره بر روی یکی بودن اختلاف پتانسیل در دو سر مقاومت های موازی تأکید می کنیم، و به روش دیگر محاسبه ی شدت جریان ها با استفاده از

رابطه ی تمرین ۳-۷ اشاره می کنیم.

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

در قسمت (پ) بر روی برتری استفاده از رابطه ی  $P=VI$

و یا  $P = \frac{V^2}{R}$  در این مثال تأکید می کنیم که چون  $V$  برای مقاومت های مختلف مساوی است با در دست داشتن شدت جریان در هر مقاومت توان مصرفی به دست می آید.



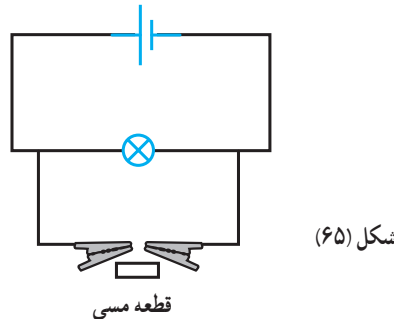
## رابطه ی توان در مدار مقاومت های موازی

در این دانستنی، رابطه ی ریاضی توان در مدارهایی که مقاومت ها موازی بسته شده اند محاسبه می شود.

## فعالیت ۳۶



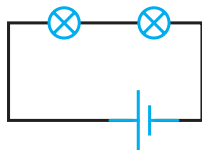
در شکل (۶۵) یک مدار الکتریکی را می بینید که در آن باتری جریانی را از لامپ می گذراند. فکر کنید اگر یک قطعه سیم مسی بین دو گیره قرار دهید چه اتفاقی می افتد؟



شکل (۶۵)

پاسخ: قسمت بیشتر جریان از سیم می گذرد و لامپ خاموش می شود زیرا طبق رابطه ی:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$  چون با اتصال قطعه ی مسی به گیره ها مقاومت در این شاخه از مدار نسبت به شاخه ی لامپ به طور موازی و مقدار کمتری است بنابراین شدت جریان عبوری از این شاخه نسبت به شاخه ی لامپ بسیار بیشتر است.

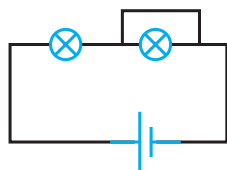
بدون این که لامپ ها را از مدار جدا کنید با استفاده از یک تکه سیم،  
(الف) یکی از لامپ ها را حذف کنید.  
(ب) هر دو لامپ را حذف کنید.



شکل (۶۷)

پاسخ: (الف)

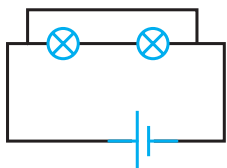
تکه سیم (اتصال کوتاه)



شکل (۶۸)

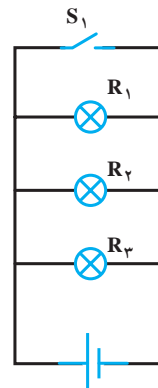
تکه سیم (اتصال کوتاه)

(ب)



شکل (۶۹)

توجه: هرگاه یک مقاومت کم (حدود صفر) به طور موازی به دو سر مقاومتی بسته شود چون قسمت بیشتر جریان از مقاومت کم (نزدیک به صفر) عبور می کند از مقاومت دیگر، جریان نمی گذرد، می گوئیم «اتصال کوتاه» به وجود آمده است. مثلاً در شکل زیر، بستن کلید  $S_1$  باعث می شود تا «اتصال کوتاه» اتفاق بیفتد. و همه ی لامپ ها خاموش می شوند.



شکل (۶۶)

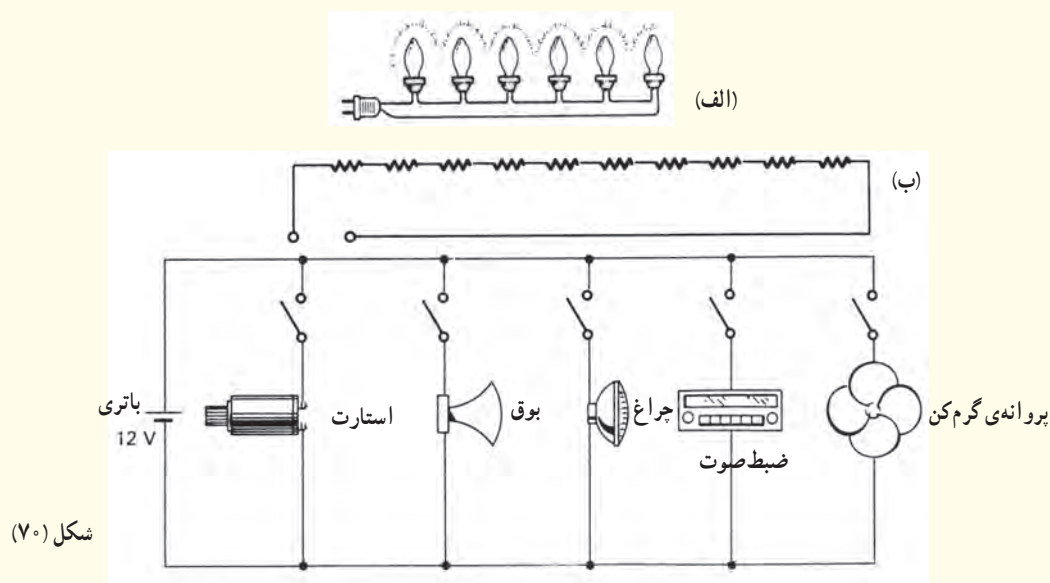
آزمایش

— مداری مطابق شکل (۶۶) را به گونه ای ببندید که لامپ ها

روشن شوند.

پرسش : الف) امروزه بعضی از موارد برای تزئین، از به هم بستن لامپ‌ها مطابق شکل (۷۰) استفاده می‌شود، در این گونه موارد اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد چه اتفاقی برای نور بقیه‌ی لامپ‌ها می‌افتد؟ این لامپ‌ها چگونه به یکدیگر بسته شده‌اند؟

ب) چگونگی اتصال باتری ماشین به موتور استارت، بوق، چراغ‌ها، پروانه‌ی گرم‌کن و رادیو را به وسیله‌ی کلیدها مشاهده می‌کنید. این وسیله‌ها چگونه به یک دیگر بسته شده‌اند؟



شکل (۷۰)

پاسخ : الف) بقیه خاموش می‌شوند - متوالی (ب) موازی

## دانستنی



### سیم اتصال به زمین در وسیله‌های برقی خانگی

در این دانستنی؛ نقش و ضرورت استفاده از سیم اتصال به زمین در وسیله‌های برقی مانند اتو، ماشین لباسشویی، یخچال و ... بیان می‌شود. مقدار مقاومت بدن انسان و برق گرفتگی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد.

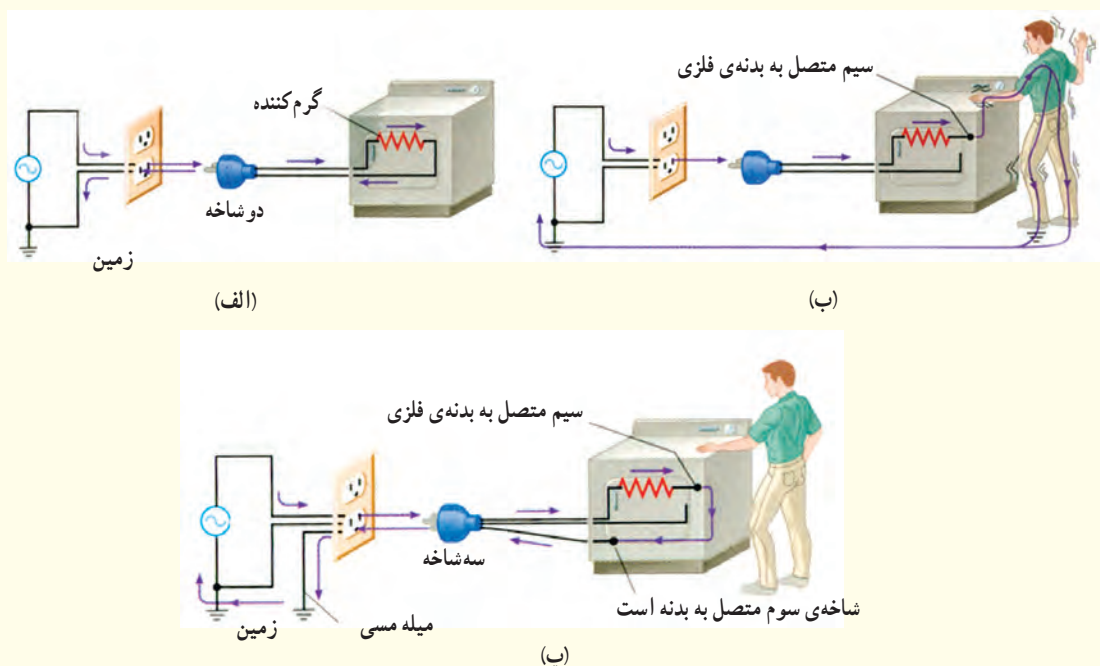
## فعالیت ۳۷



معادل انگلیسی «مقاومت الکتریکی پوست بدن» را بیابید و به جستجو در اینترنت در مورد اطلاعات بیشتر در این مورد پردازید.

(راهنمایی : کلید واژه‌های مقاومت الکتریکی و پوست بدن برای این جستجو مفید هستند)

پرسش : با مقایسه ی شکل های (۷۱)، نقش سیم اتصال به زمین در وسیله های الکتریکی خانگی را بررسی و بیان کنید.



شکل (۷۱)

پاسخ : در شکل (۷۱ الف) در صورتی که وسیله ی برقی اتصالی کند با وصل شدن فرد به بدنه ی فلزی وسیله، امکان برق گرفتگی زیاد است زیرا او در مدار الکتریکی قرار می گیرد. در شکل پ با داشتن سیم اتصال به زمین (که در دو شاخه تعبیه می شود)، در صورت تماس فرد با فلز بدنه ی وسیله ی برقی، به دلیل وجود اتصال کوتاه جریان الکتریکی از فرد عبور نمی کند.

**دانشتنی**

**گالوانومتر — ولت سنج — اهم سنج، در یک دستگاه**

در این دانشتنی؛ ساختمان گالوانومتر و نقش مقاومت «مهار» در آن بررسی می شود. روش تبدیل یک گالوانومتر به ولت سنج و سپس اهم سنج و روش مدرج کردن اهم سنج ارائه می شود.

### تمرین ۳-۸

$$V = I_p R_p \Rightarrow 6 = I_p \times 4 \Rightarrow I_p = \frac{3}{2} A$$

$$\Rightarrow 6 = I_1 \times 3 \Rightarrow I_1 = 2 A$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2} A \quad I = I_1 + I_p + I_r = 4 A$$

پاسخ:  $R_1 = 12 \Omega$ ,  $R_p = 4 \Omega$ ,  $R_r = 3 \Omega$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V^2 = PR = 3 \times 12 = 36 \Rightarrow V = 6 V$$

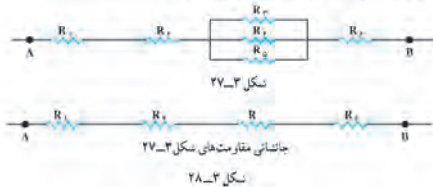
**تمرین ۳-۸**

در شکل ۲۶-۳ قسمتی از یک مدار را مشاهده می‌کنید. اگر توان مصرفی در مقاومت ۱۲ اهمی ۳ وات باشد، شدت جریان در مقاومت‌های ۴۵ و ۳۵ و شدت جریان کل چقدر است؟

شکل ۲۶-۳

در مواردی ممکن است تعدادی از مقاومت‌ها به‌طور متوالی و تعدادی دیگر به‌صورت موازی به هم بسته شده باشند. در شکل ۲۷-۳ تعدادی مقاومت شامل مقاومت‌های موازی ( $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$ ) را مشاهده می‌کنید که با سه مقاومت  $R_4$  و  $R_5$  و  $R_6$  به‌طور متوالی بسته شده‌اند. در این موارد که مقاومت‌ها شامل مجموعه‌ای موازی و متوالی است، برای محاسبه مقاومت معادل مجموعه، می‌توان به‌جای مقاومت‌های موازی در هر قسمت معادل آن‌ها را قرار داد و پس از آن، مقاومت معادل مجموعه‌ی متوالی را محاسبه کرد.

در شکل ۲۷-۳ اگر مقاومت معادل  $R_4$  و  $R_5$  و  $R_6$  برابر  $R$  باشد، به‌جای مقاومت‌های شکل می‌توان مجموعه‌ی مقاومت‌های شکل ۲۸-۳ را نشان داد.



به همین ترتیب، به‌جای مقاومت‌های شکل ۲۸-۳ می‌توان مقاومت معادل آن‌ها را مطابق شکل ۲۹-۳ نشان داد.

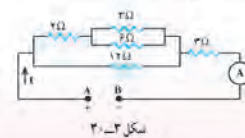
$$R' = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

شکل ۲۹-۳

$R'$  مقاومت معادل مقاومت‌های شکل ۲۷-۳ است.

### مثال ۳-۱۱

در مدار شکل ۳۰-۳ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B، ۲۴ ولت است. شدت جریانی را که آمپرینج (A) نشان می‌دهد، چند آمپر است؟



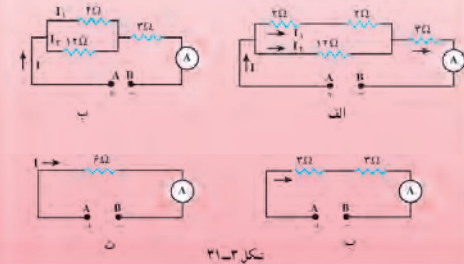
حل: برای محاسبه‌ی شدت جریان کل، نخست با اعمال سادوسازی‌های نشان داده شده در شکل‌های ۳۱-۳ الف تا ت مدار معادل شکل ۳۰-۳ را به‌دست می‌آوریم.

الف - مقاومت معادل دو مقاومت موازی ۳۵ و ۴۵ برابر ۲۵ است.

ب - مقاومت معادل دو مقاومت متوالی ۲۵ و ۴۵ برابر ۷۰ است.

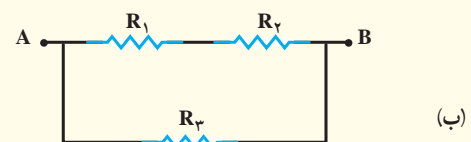
پ - مقاومت معادل دو مقاومت موازی ۴۵ و ۱۲ برابر ۳۵ است.

ت - مقاومت معادل دو مقاومت متوالی ۳۵ و ۳۵، یعنی مقاومت معادل مدار شکل ۳۰-۳، برابر ۶۵ است. در این حالت، شدت جریانی که آمپرینج نشان می‌دهد،

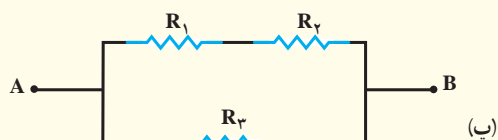
$$I = \frac{V}{R} = \frac{24}{65} = \frac{24}{65} A$$


پرسش: در مدارهای زیر مقاومت‌ها (بین نقاط A و B) چگونه بسته شده‌اند؟

پاسخ: الف) متوالی



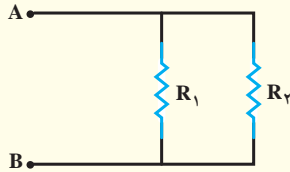
ب) ( $R_1$  و  $R_2$  متوالی) با  $R_3$  موازی



پ) ( $R_1$  و  $R_2$  متوالی) با  $R_3$  موازی

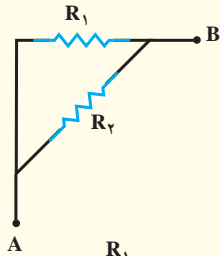


(ت)  $R_1$  و  $R_2$  موازی



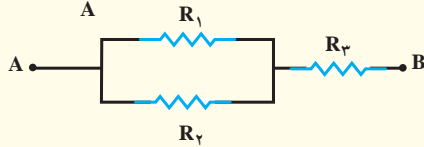
(ت)

(ث)  $R_1$  و  $R_2$  موازی



(ث)

(ج) ( $R_1$  و  $R_2$  موازی) با  $R_3$  متوالی



(ج)

شکل (۷۲)

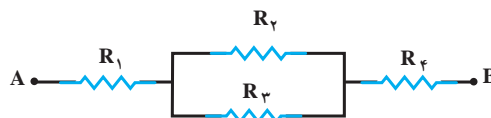
پس از بحث و بررسی پرسش بالا که توسط گروه‌ها، بندهای آن را مرحله به مرحله در کلاس بررسی، حل و رفع اشکال کرده‌ایم به فعالیت زیر که به منظور ارزشیابی تدریجی و مرحله‌ای طراحی شده است، می‌پردازیم.

## فعالیت ۳۸

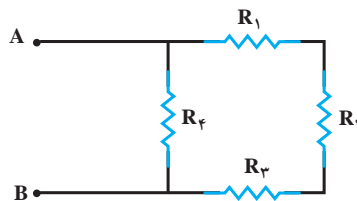


در مدارهای شکل (۷۳) مقاومت‌ها (بین نقاط A و B) چگونه بسته شده‌اند؟

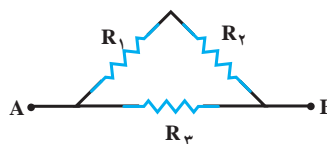
(الف)



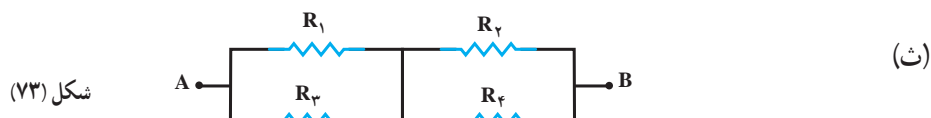
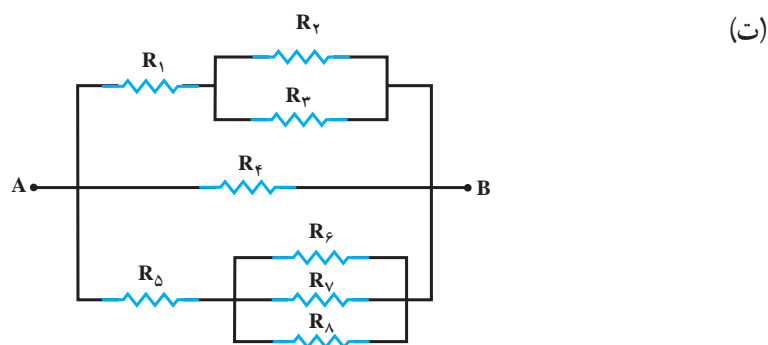
(ب)



(پ)







پاسخ:

الف) ( $R_2$  و  $R_3$  موازی) با  $R_1$  و  $R_4$  متوالی

ب) ( $R_1$  و  $R_2$ ،  $R_3$  متوالی) با  $R_4$  موازی

پ) ( $R_1$  و  $R_2$  متوالی) با  $R_3$  موازی

ت) ( $R_2$  و  $R_3$  موازی) با  $R_1$  متوالی = شاخه‌ی بالا و ( $R_6$  و  $R_7$  و  $R_8$  موازی) با  $R_5$  متوالی = شاخه‌ی پایین و سه شاخه با یکدیگر موازیند:

ث) ( $R_2$  و  $R_3$  موازی) متوالی با ( $R_1$  و  $R_4$  موازی)

پرسش: در مواردی، مقاومت‌ها هم متوالی و هم موازی بسته شده‌اند، مقاومت معادل چگونه به دست می‌آید؟  
(از شکل ۳-۲۷ استفاده کنیم)

– توجه: می‌توان در پرسش قبلی مقدارهای معینی را برای  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  و ..... فرض و به کلاس اعلام کرد تا دانش‌آموزان در هر شکل، مقدار مقاومت معادل را حساب کنند.

پرسش: یک مهندس نیاز به مقاومت‌های  $6k\Omega$  و  $9k\Omega$  دارد. اما فقط مقاومت‌های  $18k\Omega$  در اختیار دارد. آیا باید مقاومت‌های مورد نیاز او را خریداری کرد؟ توضیح دهید.  
پاسخ: خیر. زیرا اگر دو مقاومت  $18$  کیلو اهمی را موازی ببندد. مقاومت معادل  $9$  کیلو اهمی به دست می‌آید و اگر سه مقاومت  $18$  کیلو اهمی را موازی ببندد مقاومت معادل  $6$  کیلو اهم به دست می‌آید.

مثال ۳-۱۲: حل مثال را بر عهده‌ی دانش‌آموزان

می‌گذاریم. البته با راهنمایی و به‌تدریج معادل‌سازی مقاومت‌ها، آن‌ها را در حل و رسیدن به پاسخ کمک می‌کنیم. با توجه به زمینه‌سازی‌هایی که در فعالیت‌های قبلی شده بود، حل این مثال در کلاس به‌طور انفرادی توسط دانش‌آموزان، پیشنهاد می‌شود.

**مثال ۳-۱۱**

در مدار شکل ۳-۳ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B، ۲۴ ولت است. شدت جریانی را که آمپرستج (A) نشان می‌دهد، چند آمپر است؟

شکل ۳-۳

**حل:** برای محاسبه‌ی شدت جریان کلی، نخست با اعمال ساده‌سازی‌های نشان داده شده در شکل‌های ۳-۳۱ تا ۳-۳۴ الف تا ت مدار معادل شکل ۳-۳ را به‌دست می‌آوریم.

الف - مقاومت معادل دو مقاومت موازی ۳Ω و ۴Ω برابر ۶Ω است.

ب - مقاومت معادل دو مقاومت متوالی ۲Ω و ۴Ω برابر ۶Ω است.

پ - مقاومت معادل دو مقاومت موازی ۴Ω و ۶Ω برابر ۳Ω است.

ت - مقاومت معادل دو مقاومت متوالی ۳Ω و ۳Ω، یعنی مقاومت معادل مدار شکل ۳-۳، ۶Ω است. در این حالت، شدت جریانی که آمپرستج نشان می‌دهد،

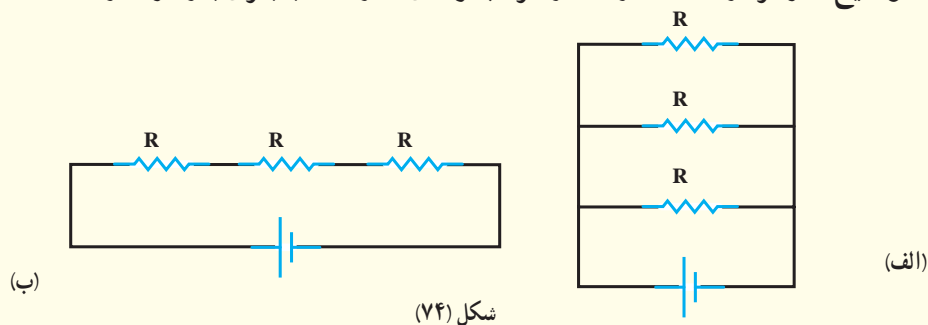
$$I = \frac{V}{R} = \frac{24}{6} = 4A$$

شکل ۳-۳۱ تا ۳-۳۴

۱۳۰

پرسش: جریان الکتریکی A از سه مقاومت یکسان، متوالی می‌گذرد و جریان الکتریکی‌ای که در حالت به هم بستن موازی این سه مقاومت یکسان از هریک از مقاومت‌ها می‌گذرد، B باشد، در صورتی که در یک لحظه از هر حالت بالا یک مقاومت از مدار خارج شود جریان‌های الکتریکی A و B چه تغییری می‌کند؟

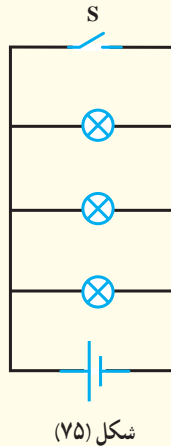
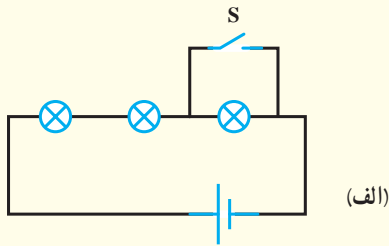
(توضیح: در هر دو حالت A و B، دو سر مجموعه‌ی مقاومت‌ها به باتری با ولتاژ V وصلند)



پاسخ: جریان الکتریکی A صفر خواهد شد.

جریان الکتریکی B همان مقدار قبلی خواهد بود. زیرا ولتاژ دو سر هر مقاومت تغییر نکرده بنابراین جریان الکتریکی هر مقاومت ثابت می‌ماند ولی آن‌چه تغییر می‌کند شدت جریان در شاخه‌ی اصلی مدار است که چون مقاومت معادل بیشتر می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد.

پرسش : در مدارهای شکل (۷۵) : سه لامپ یکسان داریم :



شکل (۷۵)

الف) اگر کلید S را ببندیم، (شکل ۷۵- الف) چه تغییری در روشنایی لامپ‌های دیگر پیش‌بینی می‌کنید؟

ب) اگر سه لامپ بالا را به صورت موازی ببندیم (شکل ۷۵- ب) با بستن کلید S چه تغییری در روشنایی لامپ‌های دیگر پیش‌بینی می‌کنید؟

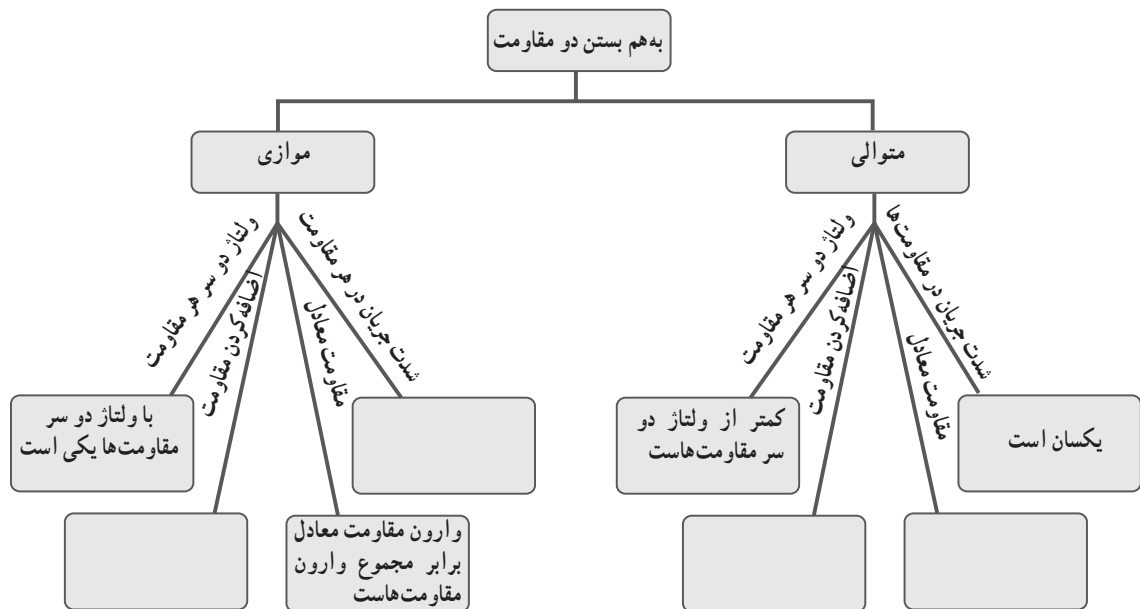
پاسخ‌ها : الف) به دلیل اتصال کوتاه، یکی از لامپ‌ها از مدار حذف می‌شود و مقاومت معادل کمتر شده و شدت جریان مدار بیشتر خواهد شد و هر لامپ پر نورتر می‌شود.

ب) به دلیل اتصال کوتاه، همه‌ی لامپ‌ها خاموش خواهند شد.

## فعالیت ۳۹



از دانش‌آموزان می‌خواهیم که با توجه به مطالب مطرح شده در این بخش در گروه‌های خود یک نقشه‌ی مفهومی طراحی کنند، به عنوان نمونه نقشه‌ی مفهومی زیر را با توجه به جعبه‌ی کلمات زیر تکمیل کنند.



افزایش مقاومت معادل - کاهش مقاومت معادل - بستگی به وارون مقدار مقاومت دارد - مجموع مقاومت‌ها

## فعالیت ۴۰



از گروه داوطلب دانش‌آموزان می‌خواهیم تا در ارتباط با مفاهیمی که در این بخش خوانده‌اند از جمله به هم بستن مقاومت‌ها (متوالی - موازی) و یا با استفاده از نقشه‌ی مفهومی (در فعالیت قبل) نمایشنامه‌ای کوتاه تنظیم و در فرصت مناسب آن را اجرا کنند.

سه دانش‌آموز که هر کدام نقش یک مقاومت را ایفا می‌کنند، با استفاده از دست‌های خود و نحوه‌ی قرارگرفتن در کنار یک‌دیگر به هم بستن متوالی و موازی و یا ترکیبی از این دو را به نمایش بگذارند.

## فعالیت ۴۱

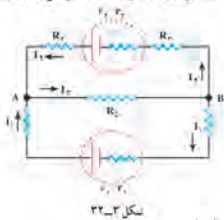


با مراجعه به کلید واژه‌ها در انتهای کتاب درسی، معادل انگلیسی مقاومت الکتریکی، متوالی، موازی، را بیابید سپس در اینترنت به جستجوی مطالبی در مورد نحوه‌ی، به هم بستن مقاومت‌ها و کاربردهای آن بپردازید.

### ۹-۳- قانون کیرشهف

در مثال‌های ۹-۳-۱، ۹-۳-۲ و ۹-۳-۳ با استفاده از مقاومت معادل، مدار را ساده کردیم و پاسخ مورد نظر را به دست آوردیم. این روش ساده‌سازی همواره قابل استفاده نیست. به‌ویژه در مدارهایی که شامل باتری‌های متعددند، این‌گونه مدارها را می‌توان با به‌کار بردن قانون‌هایی که در همدی مدارها به‌کار می‌روند و به قانون‌های کیرشهف معروف‌اند، بررسی کرد. این قانون‌ها عبارت‌اند از:

الف - قانون شدت جریان‌ها: مجموع جریان‌هایی که به هر گره (یعنی نقطه‌ای که اجزای مدار در آن نقطه به هم متصل شده‌اند) می‌رسند، برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند (این قاعده از اصل پایستگی بار نتیجه می‌شود). در شکل ۹-۳-۲،  $I_1$  و  $I_2$  به نقطه‌ی A وارد و  $I_3$  از آن نقطه خارج می‌شود یا  $I_3$  به نقطه‌ی B وارد و  $I_1$  و  $I_2$  از آن نقطه خارج می‌شوند. اگر P گره در مدار وجود داشته باشد، این قانون را برای P-۱ گره می‌توان نوشت:



بنا به قانون شدت جریان‌ها

$$I_3 = I_1 + I_2$$

ب - قانون اختلاف پتانسیل‌ها: در هر حلقه یا هر مدار بسته، مجموع جبری اختلاف پتانسیل‌ها صفر است. در به‌کار بردن این قانون باید تکیه‌های زیر را رعایت کرد.

۱ - همان‌طور که در بخش ۹-۳-۲ در مورد مدار تک حلقه دیدیم، اگر جهت جریان در مدار مشخص نباشد، جهتی را برای جریان انتخاب می‌کنیم و همان روش را برای حلقه‌ی مورد نظر به‌کار می‌بریم.

۲ - اگر n شاخه در مدار وجود داشته باشد، برای حل مدار به n معادله نیاز داریم و برای نوشتن معادله‌ها به تعداد لازم حلقه در نظر می‌گیریم.

در مثال‌هایی که در ادامه می‌آید، با کاربردهای این قانون‌ها در حل مسئله‌ها آشنا می‌شوید.

### ۹-۳- قانون کیرشهف

ایجاد انگیزه: در کلاس درس قاب یک رادیوی کوچک قابل حمل را باز می‌کنیم و توجه دانش‌آموزان را به مدارهای آن جلب می‌کنیم.

شکل بعدی مربوط به یک رادیوی قابل حمل است که با استفاده از پرتو x عکس‌برداری شده است.

این رادیو مجموعه‌ای از قطعات الکترونیکی است. سیم‌هایی که به رنگ سبز دیده می‌شوند مسیر جریان الکتریکی هستند در واقع جریان الکتریکی در مجموعه‌ای از مدارهای چند شاخه وجود دارد. قطعه‌ی دایره‌ای شکل سبز رنگ بلندگوی آن است. رادیوی قابل حمل نمونه‌ای از مدارهای الکترونیکی است که در آن جریان‌های الکتریکی در شاخه‌های مختلف متصل به هم وجود دارند.



شکل (۷۶)

به نظر شما تقسیم جریان در محل اتصال و یا اختلاف پتانسیل قطعه‌های به کار رفته در این مدارها چگونه است؟  
درباره‌ی پاسخ این پرسش در انتهای این بخش بحث خواهیم کرد.  
در این گونه وسایل الکترونیکی از مدارهای چند شاخه استفاده می‌شود که کاربرد کاملاً دقیقی از قانون کیرشهف در آن‌ها وجود دارد.

## دانشتنی



### ایجاد اختلاف پتانسیل به وسیله‌ی مارماهی و نقش آن

در این دانشتنی؛ با مارماهی‌هایی آشنا می‌شویم که با ایجاد اختلاف پتانسیل در بدن خود، ماهی‌ها را به عنوان طعمه شکار می‌کنند. اساس این کار سلول‌های زیستی‌ای است که منبع نیروی محرکه‌ی الکتریکی در بدن آن‌ها است که موازی قرار گرفته‌اند. با استفاده از قانون‌های کیرشهف، مقدار جریان الکتریکی‌ای که مارماهی در بدنش ایجاد می‌کند محاسبه می‌شود.

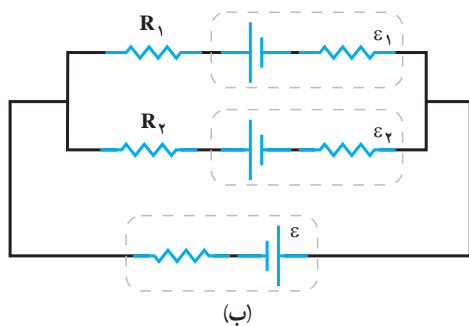
## دانشتنی



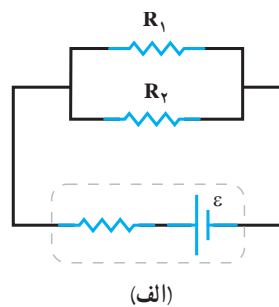
### سلول‌های عصبی و مدارهای الکتریکی

در این دانشتنی؛ مروری اجمالی بر فیزیولوژی غشاء تحریک پذیر سلول عصبی خواهد شد و سپس مدل سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی، توضیح داده می‌شود.

راهنمای تدریس : برای زمینه سازی نسبت به قانون‌های کیرشهف و ضرورت استفاده از آن‌ها در مدارهای الکتریکی می‌توانیم درس را با مقایسه‌ی دو مدار زیر شروع کنیم.



شکل (۷۷)



پرسش‌هایی در مورد تفاوت دو مدار می‌پرسیم و بر روی این موضوع تأکید می‌کنیم که در شکل (۷۱-الف) در هر شاخه در کنار مقاومت، مولد وجود ندارد ولی در شکل (۷۱-ب) وجود مولد در هر شاخه تفاوت اصلی دو مدار بالا است. تاکنون با محاسبات مربوط به مدار شکل (۷۷-الف) آشنا شده‌اند اما برای محاسبه‌ی کمیت‌های مجهول در مدار شکل (۷۷-ب) باید از قانون‌های کیرشهف استفاده شود.

درس را طی دو مرحله‌ی الف و ب به پیش می‌بریم:

### الف) قانون شدت جریان‌ها

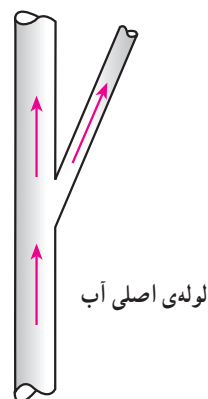
۱- تا به حال در فیزیک قوانین مختلفی را آموخته‌اید. به عنوان مثال «قانون پایستگی...»، در گروه‌های خود مواردی از قانون پایستگی که تا به حال یاد گرفته‌اید را بیان کنید و به کلاس ارائه دهید.

پاسخ: قانون پایستگی بار الکتریکی و قانون پایستگی انرژی.

۲- در هر گروه قانون پایستگی بار الکتریکی را تعریف کنید.

۳- در هر گروه، قانون پایستگی انرژی را تعریف کنید.

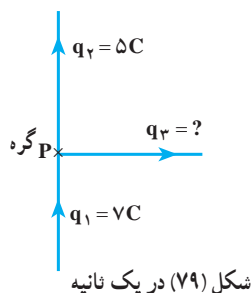
۴- در شکل (۷۸) عبور آب به لوله‌های فرعی، همانند عبور بارهای الکتریکی در واحد زمان به شاخه‌های فرعی شکل (۷۹) است.



شکل (۷۸)

در شکل (۷۹) یک مدار الکتریکی داریم که مقدار بار  $V$  کولن در یک ثانیه هنگام رسیدن به نقطه‌ی  $P$  (اصطلاحاً به آن گره می‌گوییم) به دو شاخه تقسیم می‌شود با توجه به قانون پایستگی بار الکتریکی اگر مقدار بار  $5$  کولن در همان زمان از شاخه‌ی عمودی عبور کند، مقدار بار عبوری در واحد زمان از شاخه‌ی افقی چقدر خواهد بود؟

پاسخ:  $2C$



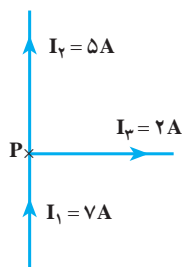
— در پرسش قبل به مقدار باری که در واحد زمان از یک

مقطع مدار می‌گذرد اشاره شد. این کمیت چه نامیده می‌شد؟

پاسخ: شدت جریان الکتریکی  $I = \frac{q}{t}$

— در مدار شکل قبل مقدار جریان الکتریکی هر شاخه را

بنویسید.



شکل (۸۰)

— رابطه‌ای را برای مقادیر جریان‌های الکتریکی در محل

گره شکل بالا بنویسید.

پاسخ:  $I_1 = I_2 + I_3$

یا  $I_2 = I_1 + I_3$

یا .....

از گروه‌ها می‌خواهیم تا در مورد پاسخ‌های متنوع داده

شده نتیجه‌گیری کنند. آیا اختلافی بین آن‌ها وجود دارد؟

— نتیجه‌ای کلی در مورد مقدار جریان‌های الکتریکی وارد

شده به یک گره و خارج شده از آن بیان کنید.

پاسخ: مجموع جریان‌هایی که به هر گره می‌رسند برابر

مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند.

در این مرحله که نتیجه‌گیری به وسیله‌ی خود دانش‌آموزان

صورت گرفته است «قانون شدت جریان‌ها» را که به قانون اول

کیرشهف معروف است به کلاس معرفی می‌کنیم. و از آن به عنوان

قانونی یاد می‌کنیم که ناشی از اصل پایستگی بار است.

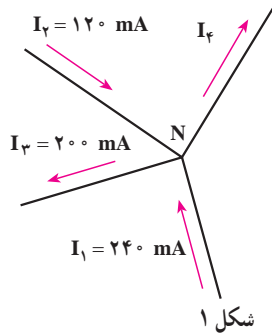
برای اطمینان از یادگیری دانش‌آموزان، از آنان می‌خواهیم

فعالیت زیر را انجام دهند.

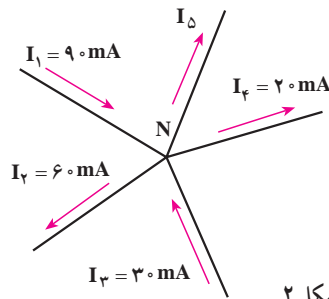
## فعالیت ۴۲



در هر یک از شکل‌های (۸۲)، رابطه‌ای برای شدت جریان‌ها در یک گره بنویسید و سپس مقدار شدت جریان مجهول و جهت آن را تعیین کنید.

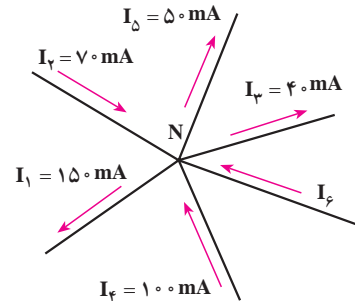


شکل ۱



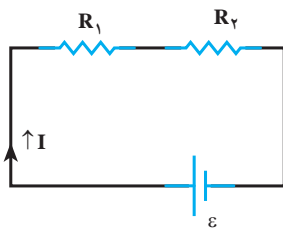
شکل ۲

(۸۱) شکل



شکل ۳

پاسخ: شکل ۱:  $I_4 = 160 \text{ mA}$  و شکل ۲:  $I_4 = 40 \text{ mA}$  و شکل ۳:  $I_4 = 70 \text{ mA}$



شکل (۸۲)

(ب) قانون اختلاف پتانسیل‌ها: مدار مقابل را در نظر

بگیرید.

(الف) با توجه به آن‌چه در مورد مدارهای تک حلقه مربوط به پایداری انرژی خوانده‌اید، رابطه‌ی انرژی را برای این مدار بنویسید.

(ب) رابطه‌ی اختلاف پتانسیل الکتریکی را در این مدار به

دست آورید.

پاسخ: چون رابطه‌ی انرژی الکتریکی و اختلاف پتانسیل

الکتریکی عبارت است از

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \quad \text{یا} \quad V = \frac{U}{q}$$

پس با شروع از نقطه‌ی دلخواه A داریم:

$$\Rightarrow U_A - IR_1 q - IR_2 q + \varepsilon q = U_A$$

اگر طرفین رابطه را بر q تقسیم کنیم خواهیم داشت

$$V_A - IR_1 - IR_2 + \varepsilon = U_A$$

و اگر  $V_A$  را از طرفین حذف کنیم:  $-IR_1 - IR_2 + \varepsilon = 0$

(پ) رابطه‌ی به دست آمده در این حلقه از مدار را توضیح

دهید.

**مثال ۱۲-۳**

در مدار شکل ۳۳-۳ شدت جریان را در هر یک از مقاومت‌ها حساب کنید (مقاومت درونی مولدها ناچیز است).

حل: ابتدا برای هر شاخه، جریانی در جهت دلخواه مطابق شکل ۳۳-۳ انتخاب می‌کنیم. با توجه به تعریف گره، همان‌طور که در شکل ۳۳-۳ دیده می‌شود، دو گره در این مدار وجود دارد (نقطه‌های B و E).

در این صورت، بنا به قانون شدت جریان‌ها بین جریان‌ها رابطه‌ی به صورت زیر برقرار است:

$$I = I_1 + I_2 \quad (۱)$$

بنا به قانون اختلاف پتانسیل‌ها در حلقه‌ی (مسیر بسته) CDEBC شامل  $R_2$  و  $R_3$  می‌توان نوشت:

$$-IR_2 - IR_3 + \varepsilon = 0 \quad (۲)$$

در حلقه‌ی CDEBC شامل  $R_2$  و  $R_3$  می‌توان نوشت:

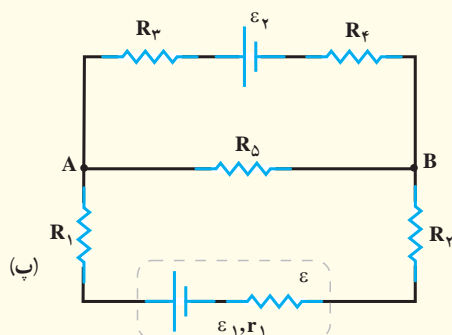
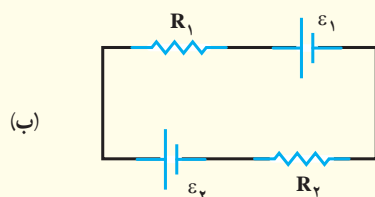
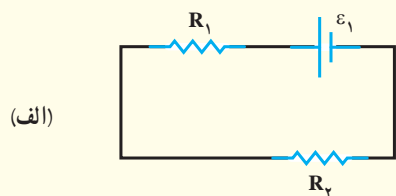
$$-IR_2 - IR_3 + \varepsilon = 0 \quad (۳)$$

پاسخ: جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های دو سر اجزا در حلقه صفر است. پایسته است بنابراین در هر حلقه جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها صفر است که به عنوان «قانون دوم کیرشهف» معروف است.

توجه: با توجه به این که انرژی الکتریکی در هر حلقه

پرسش:

الف) در هریک از شکل‌های (۷۶)، جریان الکتریکی در شاخه‌های مختلف، یکسان است؟  
 ب) گره‌ها را در شکل‌های داده شده مشخص نمایید.



شکل (۸۳)

پاسخ: الف) جریان الکتریکی در شکل (۸۳- الف) برای تمامی اجزاء مدار یکسان است.

جریان الکتریکی در شکل (۸۳- ب) برای تمامی اجزاء مدار یکسان است.

جریان الکتریکی در شکل (۸۳- پ) برای تمامی اجزاء مدار یکسان نیست. در شاخه‌ی بالایی مقدار  $I_1$  و در

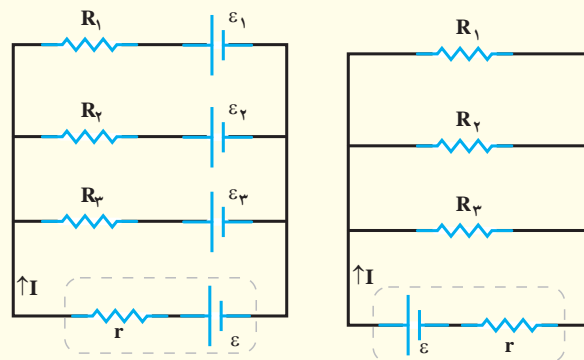
شاخه‌ی وسطی مدار  $I_2$  و در شاخه‌ی پایینی مقدار  $I_3$  است.

ب) نقطه‌های A و B گره هستند.



پرسش: مدار شکل (۸۴) که (همان مدار شکل ۳-۳۲ کتاب درسی است) چه تفاوتی با مدارهایی که تا به حال از به هم بستن موازی و یا متوالی مقاومت‌ها دیده‌اید، دارد؟

پاسخ: در مدار شکل (۸۴)، منبع تغذیه در بیش از یک شاخه وجود دارد. ولی در مدارهایی که از مقاومت‌های موازی یا متوالی دیده بودیم فقط در شاخه‌ی اصلی منبع تغذیه وجود داشت.



شکل (۸۴)

توجه: قانون‌های کیرشهف در مدارهایی که بیش از یک مسئله، کاربرد دارند. مولد، (در شاخه‌های مختلف) دارند. برای محاسبه‌ی مجهول‌های

## فعالیت ۴۳



تحقیقی در مورد سرگذشت کیرشهف و کاربرد قانون‌های کیرشهف در مدارهای الکتریکی ارائه دهید.

## دانشتنی



### رابرت کیرشهف

در این دانشتنی؛ خلاصه زندگی و کارهای علمی کیرشهف، از جمله: کشف دو عنصر منیزیم و روبیدیم؛ نظریه‌ی تابش جسم سیاه و ..... بیان می‌شود.

در ادامه بر روش حل و یافتن مجهول‌ها در مدارهای چند حلقه اشاره می‌کنیم و برای تثبیت یادگیری در کلاس چند مثال حل می‌کنیم.

حل می کنیم.

در هر شاخه)

(ب) تعداد معادله‌های لازم برای حل را مشخص کنید.

(ب) گره‌ها، شاخه‌ها و حلقه‌ها را مشخص کنید.

(ت) در گره B قانون شدت جریان‌ها را بنویسید.

(ث) در حلقه‌ی بزرگ مدار، قانون اختلاف پتانسیل‌ها را

بنو یسید .

ج) در حلقه‌ی کوچک بالایی مدار، قانون اختلاف پتانسیل‌ها

را بنویسید.

چ) حل ریاضی سه معادله و سه مجهول را انجام داده و

شدت حرانها را حساب کند.

از سه معادله ۱، ۲ و ۳ به ترتیب  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_3$  را به دست می آوریم. برای حل کردن این معادله ها، در معادله ۲ و ۳ به جای  $I_1$  مساوی آن یعنی  $I_1 = I_2 - I_3$  را قرار می دهیم. در نتیجه، خواهیم داشت :

$$\begin{cases} -2I_1 - I_2 = 4 \\ -I_1 - 3I_2 = 7 \end{cases}$$

و از آن جا نتیجه می شود :

$$I_2 = 2A \text{ و } I_1 = 1A$$

$$I = I_1 + I_2 = 2A + 1A = 3A$$

**تمرین ۳-۹**

در مدار شکل ۳-۳۵ شدت جریان را در هر شاخه محاسبه کنید.

شکل ۳-۳۵

**مثال ۳-۱۳**

در مدار شکل ۳-۲۶ شدت جریان در هر شاخه چند آمپر است؟

**حل:** در حلقه ۱ بنا به قاعدی اختلاف پتانسیل‌ها می‌توان نوشت:

$$-I_1 R_1 + \mathcal{E}_1 - I_1 R_2 + \mathcal{E}_2 = 0$$

در حلقه ۲ می‌توان نوشت:

$$-I_2 R_3 + \mathcal{E}_3 - I_2 R_4 - I_2 R_5 + \mathcal{E}_4 = 0$$

و بنا به قاعدی شدت جریان‌ها

$$I_2 = I_1 + I_3$$

155

## ۴۴ فعالیت



در مثال ۳-۱۳ از دانش‌آموزان می‌خواهیم که با تغییر جهت یکی از شدت جریان‌ها، به‌طور گروهي مجدداً مثال

را حل کنند و شدت جریان‌ها را حساب کنند.

## فعالیت ۴۵



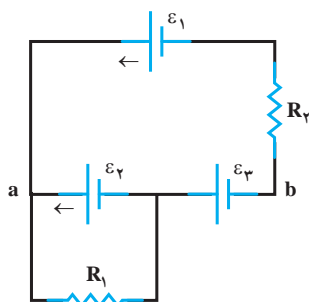
در مثال ۳-۱۳ از دانش آموزان می‌خواهیم که با تغییر رابطه‌ی قانون شدت جریان‌ها و نوشتن آن در گره A و

تغییر حلقه‌ها، به‌طور گروهمی، مثال را حل کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهند.

تمرین: در شکل (۸۵) جریان هر مقاومت و اختلاف

پتانسیل میان نقطه‌های a و b را پیدا کنید. فرض کنید

$$R_T = 5\Omega, R_1 = 10\Omega, \varepsilon_T = 4V, \varepsilon_1 = 5V, \varepsilon_2 = 6V$$



شکل (۸۵)

پاسخ:

$$V_{ab} = 9V, I_T = 6mA, I_1 = 5mA$$

پاسخ تمرین ۳-۹ کتاب:

نکته: در مدار این تمرین چهارشاخه وجود دارد که نیاز

به نوشتن چهار معادله برای حل چهار مجهول دارد و کاری مشکل و وقت گیر است، بهتر است برای دو شاخه‌ی بالا که مولد ندارد و فقط دارای مقاومت است. مقاومت معادل حساب کنیم و شکل مدار را ساده و به سه شاخه تبدیل کنیم، از این رو در مرحله‌ی اول سه معادله برای یافتن سه مجهول و سپس به محاسبه‌ی شدت جریان‌ها در شاخه‌های بالایی می‌پردازیم.

پاسخ: و  $I_3 = \frac{33}{14}$  و  $I_2 = \frac{3}{14}$  و  $I_1 = \frac{36}{14}$  و  $R_T = 4$

$$I_5 = \frac{33}{42} \text{ و } I_4 = \frac{66}{42}$$

از دانش‌آموزان می‌خواهیم مثال ۳-۱۴ کتاب درسی را

حل کنند.

## دانستنی



### پل و تستون

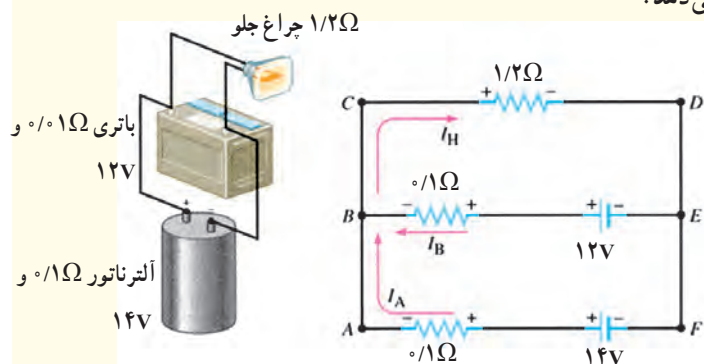
در این دانستنی، با مدار پل و تستون و کاربرد آن در محاسبه‌ی مقدار یک مقاومت مجهول در مدار و کاربردهای

آن آشنا می‌شویم.

پرسش: در اتومبیل چراغ‌ها وصل به باتری هستند و اگر باتری به یک آلترناتور متصل نباشد امکان خالی شدن

باتری زیاد است. آلترناتور با حرکت اتومبیل فعال می‌شود و انرژی الکتریکی تولید می‌کند. شکل (۸۶) چگونگی

اتصال باتری اتومبیل و آلترناتور و چراغ را نشان می‌دهد.



شکل (۸۶)

مدار شامل یک مقاومت درونی برای

باتری و مقاومت بیرونی چراغ‌ها است. با توجه

به اطلاعات شکل، مقدار جریان‌های الکتریکی

در باتری اتومبیل ( $I_B$ ) و چراغ‌ها ( $I_H$ ) و آلترناتور

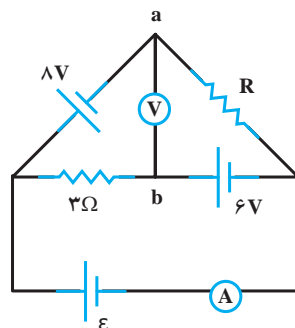
( $I_A$ ) را حساب کنید.

پاسخ:

$$I_A = 19/1A, I_B = -9A, I_H = 10/1A$$

مثال: در شکل (۸۱) مقاومت درونی مولدها ناچیز است اعدادی را که ولت متر و آمپر متر نمایش می دهند به دست آورید.

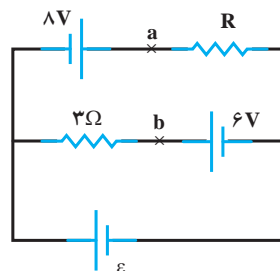
$$R = 1 \Omega \text{ و } \mathcal{E} = 13V$$



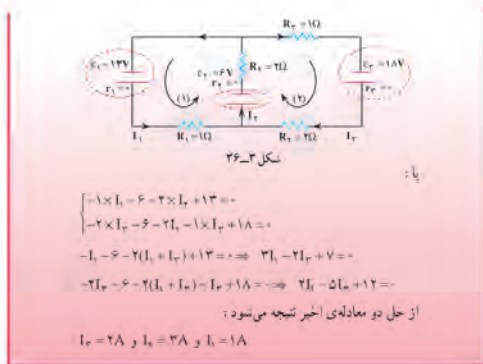
شکل (۸۷)

پاسخ: مجهول‌های مسئله  $V_a - V_b$  و شدت جریان در شاخه‌ی پایینی مدار است که مدار معادل شکل زیر است.

$$I = 8/4 A \text{ و } V_a - V_b = 27$$



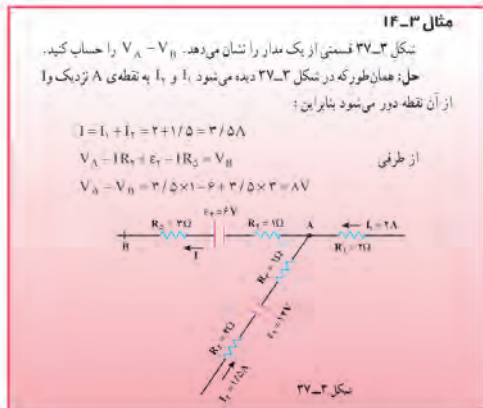
شکل (۸۸)



$$\begin{aligned} -1 \times I_1 - 6 - 3 \times I_2 + 13 &= 0 \\ -2 \times I_2 - 6 - 1 \times I_3 + 13 &= 0 \\ -1 - 6 - 2(I_1 + I_2) + 13 &= 0 \quad 3I_1 - 2I_2 + V = 0 \\ -2I_2 - 6 - 2(I_1 + I_2) - I_3 + 13 &= 0 \quad 2I_1 - 4I_2 + I_3 = 0 \end{aligned}$$

از حل در معادله‌ی اخیر نتیجه می‌شود:

$$I_1 = 2A \text{ و } I_2 = 3A \text{ و } I_3 = 1A$$

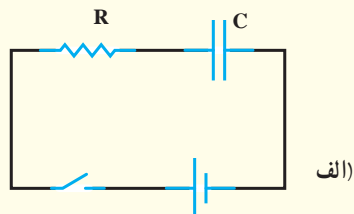


شکل ۳-۱۴ قسمتی از یک مدار را نشان می‌دهد.  $V_a - V_b$  را حساب کنید. حل: همان‌طور که در شکل ۳-۱۴ دیده می‌شود  $I_1$  و  $I_2$  به نقطه‌ی A نزدیک و از آن نقطه دور می‌شود بنابراین:

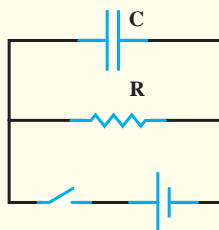
$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 = 2 + 1 = 3/5 A \\ V_a - V_b &= \mathcal{E}_1 - I R_3 = V_B \\ V_a - V_b &= 3/5 \times 1 - 6 + 3/5 \times 3 = 8V \end{aligned}$$

از طرفی

پرسش: شکل ظاهری مدارهای زیر چه تفاوتی با چیزی دارد که تاکنون در این فصل مطالعه کرده‌اید؟ بستن کلید چه اثری بر روی شدت جریان عبوری از مقاومت دارد؟



(الف)



(ب)

شکل (۸۹)

پاسخ:

— در این فصل با به هم بستن مقاومت‌ها سر و کار داشتیم ولی در این فعالیت مقاومت و خازن با یک دیگر در یک مدار قرار گرفته‌اند که در واقع ترکیبی از مفاهیم فصل ۲ و ۳ است.

— در شکل (۸۹-الف) با بستن کلید، جریان در مدار برقرار می‌شود و با توجه به مفاهیم فصل ۲ خازن در مدت کوتاهی شارژ خواهد شد، آن‌گاه پس از مدتی که زمان آن را مقدار مقاومت و ظرفیت خازن تعیین می‌کند، جریان الکتریکی در خازن قطع می‌شود و چون مقاومت با خازن متوالی بسته شده است از مقاومت نیز جریانی عبور نخواهد کرد.

در شکل (۸۹-ب) با بستن کلید جریان در مدار برقرار می‌شود و خازن در مدت کوتاهی شارژ خواهد شد و آن‌گاه پس از مدتی که زمان آن را مقدار مقاومت و ظرفیت خازن تعیین می‌کند، در خازن جریان الکتریکی قطع می‌شود و مانند سیمی با مقاومت بالا عمل می‌کند و چون خازن و مقاومت با یکدیگر موازی قرار گرفته، در این حالت خازن عملاً از مدار حذف می‌شود.

## فعالیت ۴۶



از دانش‌آموزان می‌خواهیم که مدارهایی مرکب از یک خازن و دو مقاومت تنظیم کنند که در آن‌ها به گونه‌ای متفاوت موازی و متوالی بسته شده‌اند و با قرار دادن کلید در مکان‌های مختلف آن مدارها، در گروه‌های خود بر روی شدت جریان الکتریکی مدار و نقش خازن در آن بحث کنند.

## دانستنی



### مدار متوالی RC

در این دانستنی؛ با مداری که از یک خازن و یک مقاومت که به‌طور متوالی بسته شده‌اند و محاسبات مربوط به زمان و جریان لازم برای شارژ خازن آشنا می‌شویم. و حرکت برف پاک‌کن اتومبیل نمونه‌ای از کاربرد مدار RC معرفی می‌شود.

## فعالیت ۴۷



در مورد پاسخ ایجاد انگیزه‌ی اول بخش در مورد مدارهای الکترونیکی یک رادیوی قابل حمل در گروه‌های خود بحث کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

## پاسخ تمرین های فصل سوم

۱- هنگام عدم حضور میدان، الکترون های آزاد در رسانا حرکت کاتوره ای دارند و شارش بار خالص از هر مقطع رسانا صفر است. با افزایش دما حرکت کاتوره ای بارها سریع تر می شود اما هم چنان بار خالص شارش یافته صفر است. در حضور میدان تعدادی از الکترون های آزاد ضمن حرکت کاتوره ای در نهایت در خلاف جهت میدان نیز سوق پیدا می کنند سرعت سوق در برابر سرعت حرکت کاتوره ای بسیار ناچیز است. بنابراین وقتی دما زیاد می شود این تفاوت خیلی بیشتر می شود. یعنی مقاومت در برابر سوق یافتن افزایش می یابد. و از هر مقطع رسانا بار خالصی عبور می کند. افزایش دما و در نتیجه سرعت حرکت کاتوره ای بارها موجب کاهش آهنگ شارش بار خالص می شود.

۲- از آن جا که ولت سنج اختلاف پتانسیل دو سر خودش را نشان می دهد، آن را در مدار بین دو نقطه ای که می خواهیم ولتاژ را اندازه بگیریم موازی می بندیم. می دانیم در به هم بندی موازی اگر مقاومت یک شاخه بسیار بسیار بزرگ باشد از آن شاخه جریان قابل ملاحظه ای عبور نخواهد کرد و مقاومت آن شاخه در محاسبه ی مقاومت معادل شاخه ها تأثیر چندانی ندارد. پس باید مقاومت ولت سنج آنقدر بزرگ باشد که با اضافه شدن آن به مدار به صورت موازی مقاومت معادل مدار تغییر نکند تا ولتاژ مورد نظر همان مقداری باشد که قبل از اضافه شدن ولت سنج بوده است.

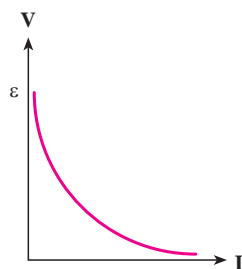
آمپرسنج نیز جریان عبوری از خودش را اندازه می گیرد به همین دلیل آن را با قسمتی از مدار که می خواهیم جریان را اندازه بگیریم به طور متوالی می بندیم اما برای آن که با اضافه شدن آمپرسنج به مدار مقاومت مدار تغییر قابل ملاحظه ای نکند باید مقاومت آمپرسنج بسیار کوچک باشد.

۳- در قانون اهم باید به این نکته توجه داشته باشیم که مقاومت هر وسیله با ثابت ماندن دمای آن وسیله، مقدار ثابتی است. به عبارتی مقاومت الکتریکی هر قطعه فقط به پارامترهای ساختاری آن قطعه بستگی دارد و تابع ولتاژ یا جریان نیست.

۴- در وسایل گرماده هدف تبدیل زیاد انرژی الکتریکی به گرما است یعنی می خواهیم توان مصرف وسیله زیاد باشد. از طرفی باید دوام و استقامت رشته سیم گرماده نیز زیاد باشد و قیمت آن خیلی زیاد نباشد.

۵- شیب نمودار  $I-V$  برابر با عکس مقاومت الکتریکی (یعنی هدایت الکتریکی) است. پس هرچه شیب نمودار کم تر باشد مقاومت بیشتر است.  $R_A > R_B$

۶- مولد دارای مقاومت درونی است.  $V = \mathcal{E} - Ir$  وقتی جریانی از آن عبور نکند، ولتاژ دوسر آن با نیروی محرکه برابر است و هرچه جریان عبوری بیشتر شود افت پتانسیل نیز بیشتر و اختلاف پتانسیل دو سر آن کوچک تر می شود.



شکل (۹۰)

۷- وقتی لامپی می‌سوزد یعنی در محل آن لامپ مدار قطع می‌شود و چون لامپ‌ها متوالی هستند قطع مدار در هر قسمت موجب قطع جریان در تمام لامپ‌ها و خاموش شدن همه‌ی آن‌ها می‌شود.

۸- می‌دانیم با افزایش تعداد شاخه‌های موازی، مقاومت معادل آن‌ها کاهش می‌یابد در نتیجه جریان عبوری از

باتری بزرگ می‌شود ( $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ ) و این امر موجب افزایش افت پتانسیل باتری و کاهش اختلاف پتانسیل دو سر

آن است ( $V = \mathcal{E} - Ir$ ) پس آمپرسنج عددی بزرگ‌تر و ولت‌سنج عددی کوچک‌تر را نشان خواهد داد.

۹- مقاومت معادل در حالت متوالی  $R_T = 2R$  و در حالت موازی  $R'_T = \frac{R}{2}$  است. چون ولتاژ در هر دو حالت

یکسان است از رابطه‌ی  $P = \frac{V^2}{R}$  استفاده می‌کنیم:

$$\frac{P'_{\text{موازی}}}{P_{\text{متوالی}}} = \frac{R_T}{R'_T} = \frac{2R}{\frac{R}{2}} = 4$$

یعنی توان مصرفی در به هم‌بندی موازی چهار برابر حالت متوالی است.

۱۰- در حالت متوالی می‌دانیم جریان عبوری از همه‌ی مقاومت‌ها یکسان است.

$$R_1 = 12\Omega$$

$$R_T = 3R_1 = 36\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{36} = \frac{1}{3} \text{ A}$$

در حالت موازی که مقاومت شاخه‌ها مشابه باشد جریان هر شاخه برابر با  $\frac{1}{n}$  جریان کل است.

$$R_T = \frac{R_1}{3} = \frac{12}{3} = 4\Omega$$

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{4} = 3 \text{ A}$$

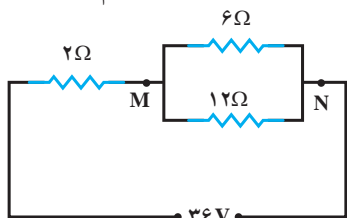
$$I = \frac{I_T}{n} = \frac{3}{3} = 1 \text{ A}$$

یعنی در حالت موازی جریان عبوری از هر لامپ ۹ برابر حالت متوالی است.

۱۱- برای تعیین توان مصرفی هر مقاومت باید ولتاژ دو سر آن و یا جریان عبوری از آن را بدانیم.

برای تعیین  $V_{MN}$  باید  $R_{MN}$  یعنی مقاومت معادل  $6\Omega$  و  $12\Omega$  را و

نیز  $I_{MN}$  یعنی جریان کل مدار را بدانیم:



شکل (۹۱)

$$R_{MN} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4 \Omega$$

$$R_T = 4 + 2 = 6 \Omega$$

$$I_T = \frac{36}{6} = 6 A$$

$$V_{MN} = I_{MN} R_{MN} = 6 \times 4 = 24 V$$

$V_{MN}$  همان ولتاژ دو سر مقاومت ۶ اهمی است:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(24)^2}{6} = 96 W$$

۱۲- با معلوم بودن مقاومت معادل شاخه‌ها و جریان عبوری کل می‌توان ولتاژ دو سر شاخه‌ها که همان ولتاژ هر شاخه است به دست آورد و آن‌گاه جریان در هر شاخه‌ی دلخواه محاسبه می‌شود.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3+2+1}{12} = \frac{1}{2}$$

$$R_T = 2 \Omega$$

$$V_T = 2 \times 21 = 42 V$$

$$I = \frac{V_T}{R} = \frac{42}{6} = V_A$$

و یا

$$\text{مقاومت معادل شاخه‌ها} \times \text{جریان کل} = \text{جریان در هر شاخه} \times \text{مقاومت آن شاخه}$$

۱۳- الف) یک مدار تک حلقه داریم که در آن جهت و مقدار جریان معلوم است. حلقه را از A به طور ساعتگرد دور می‌زنیم:

$$\cancel{V_A} - IR_1 - \varepsilon_r - Ir_r - IR_r - Ir_1 + \varepsilon_1 = \cancel{V_A}$$

$$\varepsilon_r = -I (R_1 + r_r + R_r + r_1) + \varepsilon_1 = -1/2 (2 + 0/5 + 1/5 + 1) + 12 = 6 V$$

$$V_A - IR_1 - \varepsilon_r - Ir_r - IR_r = V_B$$

$$V_A - V_B = I (R_1 + r_r + R_r) + \varepsilon_r$$

$$V_A - V_B = 1/2 (2 + 0/5 + 1/5) + 6 = 10/8 V$$

$$V_B - Ir_1 + \varepsilon_1 = V_A$$

$$V_A - V_B = -Ir_1 + \varepsilon_1 = -1/2 + 12 = 10/8 V$$

و یا



توجه: به دانش آموزان توضیح می‌دهیم که برای محاسبه  $V_A - V_B$  بهتر است روشی را انتخاب کنیم که به پاسخ قسمت قبل وابسته نباشیم. در این جا اگر مقدار  $\mathcal{E}_r$  را اشتباه به دست آورده باشیم آن گاه مقدار  $V_A - V_B$  نیز اشتباه محاسبه می‌شود در حالی که روش دوم برای محاسبه  $V_A - V_B$  بستگی به مقدار  $\mathcal{E}_r$  ندارد.

$$U = (R_1 + R_r) I^2 t \quad (\text{ب})$$

$$U = (2 + 1/5) (1/2)^2 \times 5 = 25/2 \text{ J}$$

-۱۴

$$\cancel{V_A} + IR_1 - \mathcal{E}_1 + Ir_1 + IR_r + IR_r + Ir_r + \mathcal{E}_r + IR_r + Ir_r - \mathcal{E}_r = \cancel{V_A}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_r}{R_1 + r_1 + R_r + R_r + r_r + R_r + r_r} = \frac{14 - 4 + 2}{4 + 1 + 2 + 1/5 + 0/5 + 3} = 1 \text{ A}$$

$$V_A + \mathcal{E}_r - IR_r - \mathcal{E}_r - Ir_r = V_B$$

$$V_B - V_A = 2 - 3 - 4 - 0/5 = -5/5 \text{ V}$$

در این تمرین مشخص نشده است که  $V_A - V_B$  مورد نظر است یا  $V_B - V_A$  یعنی می‌توانستیم  $V_A - V_B = 5/5 \text{ V}$  را به دست آوریم.

۱۵- ابتدا باید جریان در مدار را به دست آوریم: چون  $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_r$  است داریم:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_r}{R + r_1 + r_r} = \frac{6 - 3}{1/5 + 0/5 + 1} = 1 \text{ A}$$

و جهت جریان را نیز با توجه به  $\mathcal{E}_1$  تعیین می‌کنیم که در مدار پاد ساعتگرد است.

$$V_A - Ir_r - \mathcal{E}_r = V_E = 0$$

$$V_A = Ir_r + \mathcal{E}_r = 1 + 3 = 4 \text{ V}$$

۱۶- الف) اگر مقاومت معادل  $R_1$  و  $R_r$  را  $R'$  بنامیم یک مدار تک حلقه داریم که در آن مولد ۱۲ ولتی نیروی محرکه و دیگری اصطلاحاً ضد محرکه (یا مصرف کننده) است:

$$2 = \frac{12 - 6}{1 + 1 + R'} \Rightarrow R' = 1 \Omega$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_r} \Rightarrow \frac{1}{R_r} = \frac{1}{1} - \frac{1}{3} = \frac{3-1}{3} = \frac{2}{3} \Rightarrow R_r = \frac{3}{2} = 1.5 \Omega$$

ب) برای تعیین توان مصرفی هر شاخه باید ولتاژ دو سر شاخه‌ها را داشته باشیم ( $V'$ ) تا بتوانیم جریان هر شاخه را به دست آوریم.

$$V' = IR' = 2 \times 1 = 2 \text{ V}$$

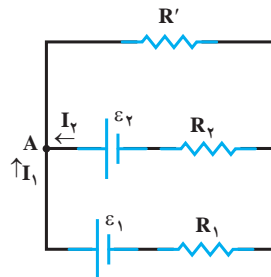
$$P_1 = \frac{V'^2}{R_1} = \frac{4}{3} \text{ W}$$

$$P_r = \frac{V'^2}{R_r} = \frac{4}{1/5} W$$

$$I_1 = \frac{V'}{R'} = \frac{2}{3} \Rightarrow P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{4}{9} \times 3 = \frac{4}{3} W \quad \text{و یا:}$$

$$I_r = I - I_1 = 2 - \frac{2}{3} = \frac{4}{3} \Rightarrow P_r = \frac{16}{9} \times \frac{3}{2} = \frac{8}{3} = \frac{4}{1/5} W$$

۱۷- اگر مقاومت معادل  $R_r$ ،  $R_1$  و  $R_2$  را  $R'$  بنامیم یک مدار دو حلقه خواهیم داشت:  $R' = 3 + \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 5 \Omega$  چون جریان‌های  $I_1$  و  $I_r$  هر دو به نقطه‌ی  $A$  ورودی هستند حتماً جریان  $I'$  از  $A$  خروجی است.



شکل (۹۲)

$$\begin{cases} I_3 = I_1 + I_r \\ -I_3 R' - I_r R_2 + \varepsilon_2 = 0 \Rightarrow -I_1 R' - I_r R' - I_r R_2 + \varepsilon_2 = 0 \\ I_r R_2 - I_1 R_1 + \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -5I_1 - 6I_r + 8 = 0 \\ -2I_1 + I_r + 1/5 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} -5I_1 - 6I_r + 8 = 0 \\ -12I_1 + 6I_r + 9 = 0 \end{cases} \quad \frac{-17I_1 = -17 \Rightarrow I_1 = 1A}{\text{و } I_r = \frac{1}{3}A}$$

$$I_r = 1 + 0/5 = 1/5 A$$

$$P = I_r^2 R' = (1/5)^2 \times 5 = 6/25 W$$

$$\left. \begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_2 \Rightarrow I_1 = I_3 - I_2 \\ 2 - I_1 + 4 - 2I_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad 2 - I_3 + I_2 + 4 - 2I_3 = 0$$

$$-I_2 + 6 - 3I_3 + 4 - 2I_3 = 0$$

$$\begin{cases} I_2 - 3I_3 + 6 = 0 \\ -4I_2 - 2I_3 + 10 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} 4I_2 - 12I_3 + 24 = 0 \\ -4I_2 - 2I_3 + 10 = 0 \\ \hline -14I_3 = -34 \\ I_3 = \frac{34}{14} = \frac{17}{7} \text{ A} \end{cases}$$

$$6 - 2\left(\frac{17}{7}\right) = I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{1}{7} \text{ A} \quad \text{و} \quad I_2 = \frac{9}{7} \text{ A}$$

۱۹- ابتدا خازن را در نظر نمی‌گیریم و با محاسبه‌ی جریان مدار ولتاژ دو سر خازن را محاسبه می‌کنیم که همان ولتاژ دو سر مقاومت موازی با آن است.

$$I = \frac{\varepsilon}{R_T + r} = \frac{12}{8 + 1} = \frac{12}{9} = \frac{4}{3} \text{ A}$$

$$V = \frac{4}{3} \times 3 = 4 \text{ V}$$

$$V = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times (4)^2 = 16 \mu\text{S}$$