

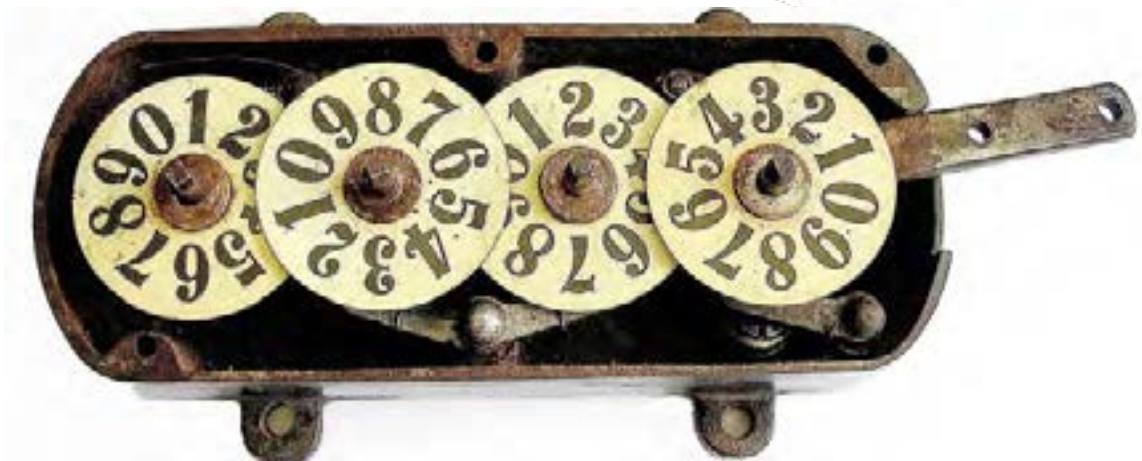


## فصل دوم

# کمیت‌ها و مفاهیم الکتریکی

واحد یادگیری ۳: شایستگی شناخت یکاهای مربوط به کمیت‌های الکتریکی و غیرالکتریکی مرتبط، چگونگی تبدیل آنها به یکدیگر و استفاده از آنها در محاسبات الکتریکی.

واحد یادگیری ۴: شایستگی تعریف قوانین و روابط به کار رفته در الکتریسیته و چگونگی به کار گیری آنها.



## واحد یادگیری ۳

### کمیت‌ها و یکاها (واحد‌ها)

در علوم مهندسی و پایه نقش اندازه‌گیری بسیار مهم و اثرگذار است. وقتی صحبت از پدیده قابل اندازه‌گیری می‌کنیم، تا زمانی که آن را با عدد مشخص نکرده‌ایم، شناختی از آن نخواهیم داشت. اما اگر آن را با عدد و رقم معرفی کنیم، می‌توانیم شناخت نسبتاً قابل قبولی از آن داشته باشیم. برای هر فرد فنی به‌خصوص فراگیری روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌هایی که در علوم مهندسی نقش دارند، در زمینه الکترونیک اهمیت دارد. از جمله این کمیت‌ها می‌توانیم زمان، طول، جرم، دما، مقاومت، ولتاژ، جریان و توان الکتریکی را نام ببریم. در این واحد یادگیری یکاهای متداول را که برای توصیف کمیت‌های فیزیکی و الکتریکی به کار می‌روند، معرفی می‌کنیم.

شده و برای آنها استاندارد تعیین کرده‌اند. این کمیت‌ها، کمیت‌های اصلی نامیده می‌شوند. سایر کمیت‌های فیزیکی با توجه به این کمیت‌ها و استانداردهای مربوط به آنها تعریف می‌شود. این کمیت‌ها را کمیت‌های فرعی می‌نامند.



بحث گروهی

درباره انواع کمیت‌هایی که با آنها سروکار دارید بحث کنید و حداقل تعداد ۵ کمیت فرعی را بیابید و در کلاس به بحث بگذارید، نتیجه کار را جمع‌بندی کنید.

#### ۳-۲ یکاهای بین‌المللی استاندارد

اندازه‌گیری صحیح و قابل اطمینان یک کمیت زمانی میسر است که یکاهای اندازه‌گیری مورد نظر تغییر نکند و شرایط بازتولید را در موقعیت‌های متفاوت داشته باشد. دستگاه یکاهایی که به‌طور متداول در علوم مهندسی در جهان به کار می‌رود دستگاه متریک (metric) است. این دستگاه از سال ۱۹۶۰ میلادی به‌طور رسمی به‌نام دستگاه بین‌المللی یا SI (International Standard) معرفی شده است. در سال ۱۳۵۰ ه.ش (۱۹۷۱ میلادی) مجمع عمومی بین‌المللی

فیلم استاندارد یکاها و واحدها را ببینید.



فیلم

#### ۳-۱ استانداردها و یکاها

کمیت‌های فیزیکی پدیده‌هایی هستند که آنها را با مقادیر عددی توصیف می‌کنیم. مثلاً دو کمیت فیزیکی وزن و قد را با یکاهای مخصوص می‌سنجیم و آنها را از طریق مقایسه با یک استاندارد اندازه‌گیری می‌کنیم. «یکا» یا «واحد» نامی است که معیار و ارزش کمیت را مشخص می‌کند. مثلاً، ثانیه (S) یکا یا واحدی است که آن را برای اندازه‌گیری کمیت زمان به کار می‌بریم.

**پرسش:** آیا می‌توانیم یک عدد معمولی و بدون واحد را برای اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی استفاده کنیم؟ آیا اصولاً توصیف یک کمیت بدون یکا معنایی دارد؟

تعداد کمیت‌های فیزیکی به‌حدی زیاد است که سازمان‌دادن آنها در یک مجموعه بسیار دشوار و گاهی غیرممکن است. لذا ضرورت دارد با توجه به نیاز در هر موضوع یا مبحث، کمیت‌ها و یکاهای آن را بررسی کنیم. برای مثال زمان، طول و جرم بر اساس یک توافق بین‌المللی انتخاب

وزن‌ها و مقیاس‌ها، هفت کمیت را به عنوان کمیت‌های اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهند. در جدول ۳-۱ یکاهای سه کمیت اصلی زمان، طول و جرم را ملاحظه می‌کنید.

جدول ۳-۱ سه کمیت اصلی SI و یکاهای آن

کمیت	نام یکا	نماد یکا	کلمه به زبان اصلی
زمان	ثانیه	S	Second
طول	متر	m	meter
جرم	کیلوگرم	Kg	Kilogram

تعریف یکاهای اصلی در دستگاه متریک در گذر زمان دستخوش تحول‌های بسیار زیادی شده است. هنگامی که دستگاه متریک در سال ۱۷۹۱ میلادی توسط آکادمی علوم فرانسه تثبیت شد، متر را برابر با یک‌ده‌میلیونیم فاصله بین قطب شمال تا استوا در نظر گرفتند. همچنین برای ثانیه نیز از زمان حرکت آونگی به طول یک متر استفاده نمودند.



بحث‌گروهی

در گروه‌های کار تیمی واحدهای کمیت‌های مندرج در شکل ۳-۱ را مشخص کنید و پس از مستندسازی، نتایج را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۳-۱ یکاها و کمیت‌ها

## ■ زمان

زمان یکی از کمیت‌های پُرکاربرد است که همه افراد بشر با آن سروکار دارند. در فاصله سال‌های ۱۸۸۹ تا ۱۹۶۷ میلادی واحد (یکای) زمان را باکسری از روز تعریف می‌کردند. در سال ۱۹۶۷ تعریف جدیدی برای زمان بیان شده که بسیار دقیق‌تر است.

با مراجعه به رسانه‌های مختلف آخرین تعریف زمان را بیابید و در کلاس به بحث بگذارید.



جست و جو کنید

در بسیاری موارد علاوه بر دانستن لحظه شروع یا پایان یک رویداد لازم است مدت زمان آن رویداد را نیز اندازه بگیریم، مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد را بازه زمانی می‌نامند. در جدول ۳-۲ برخی بازه‌های زمانی نشان داده شده است.

جدول ۲-۳. برخی بازه‌های زمانی به طور تقریبی

اندازه	بازه زمانی (S)
عمر کیهان	$5 \times 10^{17}$
عمر زمین	$1/4 \times 10^{17}$
زمان متوسط بین دو تپش قلب انسان	$8 \times 10^{-1}$
زمان اجرای یک دستور توسط پردازنده فعلی	$3 \times 10^{-9}$

پژوهش کنید

در مورد آخرین تعریف "متر" پژوهش کنید و نتایج آن را به کلاس ارائه دهید.

جدول ۳-۳ تعدادی از فاصله‌ها مانند شعاع خورشید، اندازه شعاع زمین و ابعاد اجسام بسیار ریز مانند شعاع پروتون را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳ برخی طول‌ها به طور تقریبی

اندازه	طول (m)
شعاع خورشید	$7 \times 10^8$
شعاع زمین	$6 \times 10^6$
ارتفاع برج میلاد	$4 \times 10^2$
ضخامت هر برگ این کتاب	$1 \times 10^{-2}$
اندازه یک ویروس	$1 \times 10^{-6}$
قطر ترازیستور در ریزپردازنده‌های کنونی	$3 \times 10^{-8}$
شعاع پروتون	$1 \times 10^{-15}$

نکته

اعداد جدول ۲-۳ را نباید به‌خاطر بسپارید. هنگام طرح سؤال باید این جدول و اعداد فوق در اختیار هنرجویان قرار گیرد.

**مثال ۱:** با توجه به جدول ۲-۳ سن تقریبی زمین را برحسب سال محاسبه کنید. سن تقریبی زمین  $1/4 \times 10^{17}$  ثانیه است.  
**حل:** با توجه به اینکه هر سال برابر  $3/1 \times 10^7$  ثانیه است، داریم:

$$\text{میلیارد سال } 4/5 = 4/5 \times 10^9 = \frac{1/4 \times 10^{17}}{3/1 \times 10^7} \Rightarrow \text{سن تقریبی}$$

نکته

اعداد جدول ۳-۳ را نباید به‌خاطر بسپارید. هنگام طرح سؤال باید این جدول و اعداد فوق در اختیار هنرجویان قرار گیرد.

محاسبه کنید

در صورتی که هر ساعت را معادل  $6^\circ$  دقیقه و هر دقیقه را معادل  $6^\circ$  ثانیه در نظر بگیریم، مدت زمان یک روز و یک سال را برحسب ثانیه حساب کنید.

### ■ طول

در اولین استاندارد بین‌المللی طولِ میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم که به لحاظ تاریخی یک‌ده‌میلیونیم فاصله قطب شمال تا استوا در امتداد نصف‌النهار است را واحد طول یا متر در نظر گرفتند. این میله در موزه‌ای در فرانسه نگهداری می‌شود. کلمه متر (meter) به معنی اندازه‌گیر است. به همین جهت وقتی به انتهای کمیته اضافه می‌شود، دستگاه اندازه‌گیری آن کمیت را معرفی می‌کند. مثلاً ولت‌متر به معنی دستگاهی است که ولتاژ را اندازه می‌گیرد.

پژوهش کنید

در مورد ابعاد کوچک‌ترین ریزپردازنده‌های جدید پژوهش کنید و پس از مستندسازی، نتایج آن‌را به کلاس ارائه دهید.

**مثال ۲:** در صورتی که طول یک ترازیستور در یک ریزپردازنده برابر  $3 \times 10^{-8}$  متر باشد، چه تعداد ترازیستور در یک ردیف تراشه‌ای با طول ۳ میلی‌متر جای می‌گیرد؟

**حل:**

$$\text{تعداد ترانزیستور در یک ردیف} = \frac{3 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-8}}$$

$$\text{تعداد ترانزیستور} = 1000000$$

**تمرین:** در صورتی که شعاع پروتون با توجه به جدول ۳-۳ برابر  $1 \times 10^{-15}$  متر باشد، در فاصله  $1/1000$  میلی متر چند پروتون جای می گیرد؟

### ■ جرم

برای جرم نیز مانند سایر کمیت ها از استاندارد SI استفاده می شود. در استاندارد SI جرم استوانه ای از جنس پلاتین - ایریدیوم را که به جرم ۱ کیلوگرم است به عنوان استاندارد در نظر گرفته اند. جدول ۳-۴ جرم برخی از اجسام را به کیلوگرم نشان می دهد.

جدول ۳-۴ بعضی جرم های تقریبی

جرم (Kg)	جسم
$6 \times 10^{24}$	زمین
$5 \times 10^3$	فیل
$3 \times 10^{-2}$	حبه انگور
$4 \times 10^{-25}$	اتم اورانیوم
$9 \times 10^{-31}$	الکترون

**مثال ۳:** با توجه به جدول ۳-۴، جرم یک حبه انگور چند برابر جرم یک الکترون است؟

**حل:**

$$\frac{\text{جرم حبه انگور}}{\text{جرم الکترون}} = \frac{3 \times 10^{-2}}{9 \times 10^{-31}} = \frac{1}{3} \times 10^{28} = 3.33 \times 10^{27}$$

### ۳-۳- تبدیل یگاها (واحدها)

تاکنون با تعدادی از واحدها (یگاها) اصلی در استاندارد SI آشنا شدید. از آنجا که کمیت های مورد استفاده در رشته الکترونیک متفاوت بوده و با توجه به نیاز ممکن است به مقادیر زیاد (اعداد بزرگ) یا مقادیر کم (اعداد کوچک) برخورد کنیم، از این رو لازم است برای واحدها، پیشوندهایی (Prefix) را تعریف کنیم. در استاندارد SI این یگاها را با نماد علمی با پایه  $10^3$  یا  $10^{-6}$  مشخص می کنیم و برای هر ضریب پیشوندی را تعریف می کنیم. برای مثال یک کیلومتر (1 Km) برابر  $1000$  متر یا  $10^3$  متر و یک سانتی متر (1 Cm) برابر  $\frac{1}{100}$  متر یا  $10^{-2}$  متر است. همان طور که مشاهده می شود برای کیلومتر از پیشوند K و برای سانتی متر از پیشوند C استفاده می کنیم. به این ترتیب می توانیم بنویسیم:

$$10^3 \text{ m} = 10^3 \text{ متر} = 1 \text{ Km} = \text{یک کیلومتر}$$

$$10^{-2} \text{ m} = 10^{-2} \text{ متر} = 1 \text{ cm} = \text{یک سانتی متر}$$

به این ترتیب نماد k نشان دهنده کیلو ( $10^3$  برابر) یعنی عدد بزرگ تر و نماد c نشان دهنده سانتی یا اعداد کوچک تر (یک صدم) است. این پیشوندها را می توانیم برای سایر کمیت ها نیز به کار ببریم، مثلاً ولت را بر حسب کیلوولت و آمپر را بر حسب میلی آمپر بیان کنیم. بنابراین، برای راحتی کار، هنگامی که با اندازه های بسیار بزرگ یا بسیار کوچک سروکار داریم، از پیشوندهایی که در جدول ۳-۵ آمده است استفاده می کنیم. همان طور که می بینید، هر پیشوند نشانه نماد علمی (توان) مشخصی از  $10$  است که به عنوان ضریب در نظر گرفته می شود. استفاده از هر پیشوند در استاندارد SI به عنوان ضریبی برای واحد مورد نظر است. مثلاً اگر پیشوند میلی را داشته باشیم باید آن یگا را در عدد  $10^{-3}$  یا  $\frac{1}{1000}$  ضرب کنیم.

**مثال ۴:** در صورتی که با توجه به جدول ۳-۳ ضخامت یک برگ کتاب  $10^{-4}$  متر باشد، با توجه به جدول ۳-۵ ضخامت یک برگ کتاب بر حسب میکرومتر چقدر است؟

**حل:**


$$10^{-6} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ میکرومتر} = 1 \text{ m} = \text{یک متر}$$

$$100 \mu\text{m} = 10^{-4} \times 10^{-6} \text{ متر} = \text{ضخامت یک برگ}$$



درباره جرم تراشه ریزپردازنده Intel پژوهش کنید و پس از مستندسازی نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.

جدول ۵-۳ تبدیل واحدهای اصلی الکتریکی

مقدار ضریب	نماد علمی ضریب	ضریب به زبان اصلی	نام ضریب	حرف اختصاری	چگونگی تبدیل ضرایب
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	$10^{12}$	Tera	ترا	T	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>در تبدیل واحد بزرگ‌تر به واحد کوچک‌تر در ضرایب دارای توان مثبت یا بر ضرایب دارای توان منفی تقسیم می‌کنیم</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>در تبدیل واحد کوچک‌تر به واحد بزرگ‌تر در ضرایب دارای توان منفی ضرب یا بر ضرایب دارای توان مثبت تقسیم می‌کنیم</p> </div> </div>
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	$10^9$	Giga	گیگا	G	
۱۰۰۰۰۰۰۰	$10^6$	Mega	مگا	M	
۱۰۰۰	$10^3$	Kilo	کیلو	K	
۱۰۰	$10^2$	Hecto	هکتو	H	
۱۰	$10^1$	Deka	دکا	da	
۱	$10^0$	Main Unit	واحد اصلی		
۰/۱	$10^{-1}$	Deci	دسی	D	
۰/۰۱	$10^{-2}$	Centi	سنتی	C	
۰/۰۰۱	$10^{-3}$	Mili	میلی	m	
۰/۰۰۰۰۰۱	$10^{-6}$	Micro	میکرو	$\mu$	
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱	$10^{-9}$	Nano	نانو	n	
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	$10^{-12}$	Pico	پیکو	p	

در جدول ۳-۵ ضرایب پیشنهادی واحدهای کوچک‌تر و بزرگ‌تر را با نام ضریب، نماد، نماد علمی و مقدار ضریب مشاهده می‌کنید. در کنار جدول پیکانی وجود دارد که چگونگی تبدیل ضریب‌ها را نشان می‌دهد.

با مراجعه به سایت رشد و اینترنت، بررسی کنید آیا موتور محاسبه‌گر برای تبدیل واحدها وجود دارد. در صورتی که نمونه‌ای از آن را یافتید، با آن تمرین کنید و گزارشی را مستندسازی کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

### ۳-۴- روش تبدیل یکاها (واحدها)

اغلب لازم است واحد (یکا) مربوط به یک کمیت را به واحد بزرگ‌تر یا کوچک‌تر همان یکا تبدیل کنیم. در این حالت کافی است واحد مورد نظر را در ضریب تبدیل ضرب کنیم.

### مثال ۵: ۲۰ دقیقه برابر با چند ثانیه است؟

حل: چون یک دقیقه برابر با  $60\text{ s}$  (شصت ثانیه) است، پس عدد بیست را در عدد  $60$  ضرب می‌کنیم.

$$20 \text{ دقیقه} = 20 \times 60 = 1200 \text{ s}$$

**تمرین:** یک شبانه‌روز (۲۴ ساعت) معادل چند دقیقه و چند ثانیه است؟

**مثال ۶:** قطار سریع‌السیری دارای سرعت  $580 \text{ km/h}$  (کیلومتر بر ساعت) است، این سرعت را بر حسب متربرثانیه محاسبه کنید.

**حل:** باید واحد سرعت کیلومتر بر ساعت ( $\text{km/h}$ ) را به متربرثانیه ( $\text{m/s}$ ) تبدیل کنیم. هر کیلومتر برابر  $1000$  متر است (پیشوند k کیلو). کافی است عدد  $580$  را در عدد  $1000$  ضرب کنیم. به عبارت دیگر با توجه به جدول ۳-۵ در تبدیل عدد بزرگ‌تر به عدد کوچک‌تر باید از نماد علمی مثبت استفاده کنیم. از طرف دیگر چون ساعت ( $\text{h}$ ) در مخرج

کسر قرار دارد و هر ساعت برابر  $3600$  ثانیه است، باید عدد  $3600$  در مخرج کسر ضرب شود.

$$580 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 580 \times \frac{1000}{3600} = 161 \text{ m/s}$$

### مثال ۷: تراشه CPU قطعه‌ای است که پردازش اطلاعات

را در رایانه برعهده دارد. این تراشه متناسب با نوع رایانه می‌تواند شامل میلیون‌ها تا میلیاردها ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف باشد که در یک بسته سرامیکی پلمب‌شده قرار می‌گیرد. شکل ۲-۳ تصویر داخلی یکی از پردازنده‌های سریع و هوشمند را نشان می‌دهد که در آن حدود  $2/5$  میلیارد ترانزیستور وجود دارد. این پردازنده می‌تواند در حالت مطلوب  $3/5$  میلیارد دستور را در یک ثانیه اجرا کند. در صورتی که ترانزیستور به صورت مربع شکل باشد و طول آن حدود  $30$  نانومتر در نظر گرفته شود، هر ترانزیستور حداکثر چه سطحی را روی تراشه اشغال می‌کند؟ پاسخ خود را بر حسب سانتی متر مربع بیان کنید.

**حل:** باتوجه به اینکه طول هر ضلع مربع برای هر ترانزیستور برابر  $30 \text{ nm}$  است، مساحت هر ترانزیستور برابر است با:

$$S = 30 \text{ nm} \times 30 \text{ nm}$$

از طرفی هر نانومتر برابر  $10^{-7}$  سانتی متر است، بنابراین

$$S = 30 \times 10^{-7} \text{ cm} \times 30 \times 10^{-7} \text{ cm} = 9 \times 10^{-12} \text{ cm}^2$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود عدد به دست آمده بسیار کوچک است، یعنی به راحتی می‌توانیم با فناوری‌های جدید میلیاردها ترانزیستور را در یک یا چند سانتی متر مربع جای دهیم.



با مراجعه به منوی Control panel رایانه خود مشخصات سیستم را بیابید و نوع ریز پردازنده آن را تعیین کنید. سپس با مراجعه به فضای مجازی تعداد ترانزیستورهای ریز پردازنده رایانه خود را مشخص کنید.

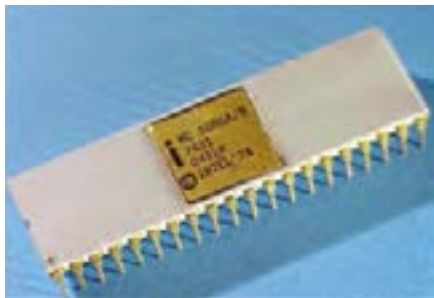


### فعالیت

ابعاد یک CD درایو را با استفاده از خط کش به سانتی متر اندازه بگیرید و آن را به اینچ و فوت تبدیل کنید.

### الگوی پرسش (ارزشیابی و احدا یادگیری ۳ از فصل دوم):

۱ اولین پردازنده ساخته شده برای رایانه خانگی Intel ۸۰۸۰ است، (شکل الف ۳-۴) که در سال ۱۹۷۴ تولید شد و شامل ۴۵۰۰ ترانزیستور بود. در سال ۲۰۰۶ پردازنده دیگری با نام تجاری Core ۲ Duo توسط شرکت اینتل تولید شد (شکل ب ۳-۴) که از ۵۹۱ میلیون ترانزیستور تشکیل شده است. تعداد ترانزیستورهای این پردازنده چند برابر تعداد ترانزیستورهای پردازنده Intel ۸۰۸۰ است؟



(الف)



(ب)

شکل ۳-۴ دو نوع پردازنده



شکل ۳-۲ تصویر پردازنده Core i7

■ یک ریزپردازنده سوخته شده را باز کنید و ابعاد آن را بیابید. در صورت امکان با استفاده از ذره بین یا میکروسکوپ داخل آن را مشاهده کنید.

■ در درس ریاضی درباره واحدهای (یکاهای) انگلیسی بحث شده است. معمولاً ابعاد محفظه (کیس) های کامپیوتر مانند شکل ۳-۳ بر حسب اینچ است. با توجه به این که یک اینچ برابر ۲/۵۴ سانتی متر و یک فوت برابر ۱۲ اینچ است، فعالیت زیر را انجام دهید.



شکل ۳-۳ تصویر از CD درایو



(شکل ۷-۳). قطر آن را برحسب میلی‌متر، کیلومتر، میکرومتر و سانتی‌متر محاسبه کنید. به نظر شما کدام اعداد از نظر کاربرد برای معرفی قطر نمایشگر مناسب‌تر است؟



شکل ۷-۳- نمایشگر رایانه

۵ با توجه به جدول ۳-۵، اگر بخواهیم یک کمیت که عدد بزرگی است را تبدیل به کمیتی با عدد کوچک‌تر کنیم، از کدام پیشوندها و ضرایب استفاده می‌کنیم؟

۲ فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده که در سال ۱۹۷۱ و با نام تجاری Intel ۴۰۰۴ معرفی شد، ۱۰ میکرون و فناوری ساخت ترانزیستورهای پردازنده سریع و هوشمندی که در سال ۲۰۱۰ با نام تجاری Core i۷-۹۸۰X توسط شرکت اینتل عرضه شد، برابر ۳۲ نانومتر است. این دو پردازنده را در شکل الف و ب مشاهده می‌کنید. نسبت ابعاد ترانزیستورهای به‌کاررفته در این دو پردازنده چقدر است؟



(ب)



(الف)

شکل ۳-۵ دو نوع پردازنده

۲ اگر ابعاد یک تراشه آی‌سی ۷۸۰۵ برابر  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$  باشد و در آن ۵۰ ترانزیستور مربع شکل قرار گیرد، طول ضلع مربع هر ترانزیستور چند نانومتر است؟ (شکل ۶-۳).



شکل ۶-۳- آی‌سی ۷۸۰۵

۴ اگر قطر نمایشگر رایانه‌ای برابر با ۱۷ Inch باشد

## واحد یادگیری ۴

### قوانین الکتریسته

به منظور تعمیق آموزش، قسمت‌هایی از این واحد یادگیری، یادآوری مفاهیم اساسی الکتریسته است. در صورت تسلط هنرجویان بر محتوا می‌توانید از آموزش این قسمت صرف نظر کنید.



فیلم قوانین اهم، مدارهای سری و موازی را مشاهده کنید.

#### ۴-۱- مدار الکتریکی

مسیر عبور جریان الکتریکی را « مدار الکتریکی » می‌نامند. اجزای اصلی یک مدار الکتریکی ساده عبارت‌اند از:

■ منبع تغذیه

■ سیم‌های رابط

■ مصرف کننده

در شکل ۴-۱- یک مدار الکتریکی ساده نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- یک مدار الکتریکی ساده

توجه داشته باشید زمانی در یک مدار جریان برقرار می‌شود که مدار بسته باشد. اگر با وجود منبع انرژی در مدار جریان برقرار نباشد، می‌گوییم مدار باز است.



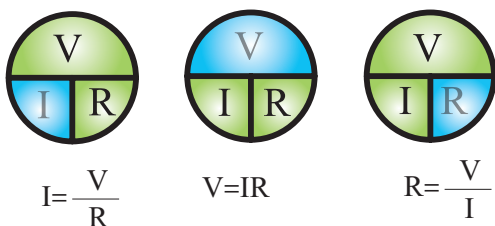
#### ۴-۲- قانون اهم

رابطه بین مقاومت، شدت جریان و اختلاف پتانسیل را نخستین بار فیزیک‌دان آلمانی به نام اهم بیان کرد. بر اساس قانون اهم، مقدار مقاومت نسبت مستقیم با ولتاژ و نسبت معکوس با جریان دارد.

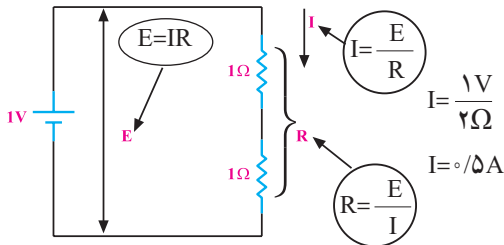
$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow \text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

در رابطه قانون اهم، مقدار ولتاژ برحسب ولت، جریان برحسب آمپر و مقاومت برحسب اهم است. به عبارت دیگر در یک مدار اگر ولتاژ ثابت باشد، هر قدر مقدار مقاومت بیشتر شود، مقدار جریان عبوری از آن کمتر می‌شود.

در شکل ۴-۲، برای محاسبه هر یک از کمیت‌ها، انگشت را روی کمیت مجهول می‌گذاریم. آنچه که باقی می‌ماند، رابطه کمیت مجهول است.

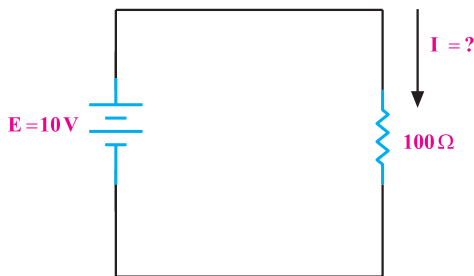


شکل ۴-۲- نمودار دایره‌ای قانون اهم در حالت‌های مختلف



شکل ۴-۵ دو برابر شدن مقاومت در مدار

**مثال ۱:** به دو سر یک مقاومت  $100\ \Omega$ ، ولتاژی برابر با  $10\ \text{V}$  مطابق شکل ۴-۶ اعمال می‌کنیم، جریان گذرنده از مدار چند میلی‌آمپر است؟

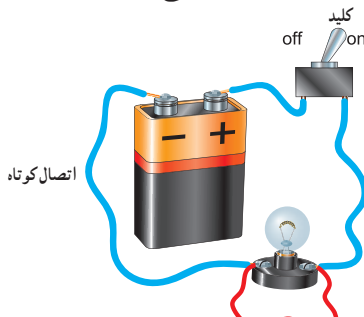


شکل ۴-۶ مدار مثال ۱

**راه‌حل:**

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0.1\ \text{A} = 100\ \text{mA}$$

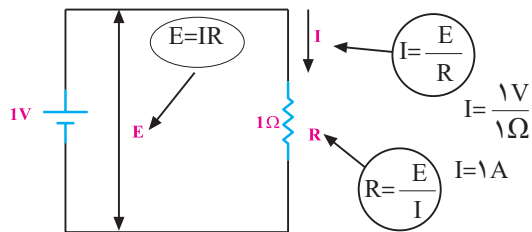
**تمرین:** به دو سر یک مقاومت  $500\ \Omega$ ، ولتاژی برابر با  $20\ \text{V}$  می‌دهیم، جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟ مطابق شکل ۴-۷ اگر سیمی را به دو سر لامپ وصل کنیم، آیا لامپ روشن می‌شود؟ با بستن کلید چه اتفاق‌هایی ممکن است، رخ دهد؟ با ذکر دلیل شرح دهید.



شکل ۴-۷ مدار در حالت اتصال کوتاه

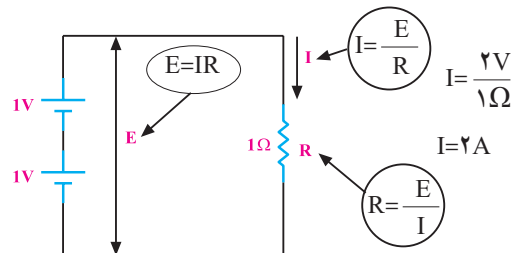
در کتاب‌های مختلف نماد اختلاف سطح را با علائم متفاوت نشان می‌دهند. در این کتاب اختلاف سطح منبع ولتاژ و منبع تغذیه را با  $V_s, V_{CC}, V_{BB}$  یا  $E$  و افت ولتاژ دو سر عناصر مختلف را با  $V_1, V_2, V_n$  نشان داده‌ایم.

مطابق شکل ۴-۳، در مداری که اختلاف پتانسیل یک ولت بین دو سر مقاومت یک اهمی برقرار باشد، جریانی به شدت یک آمپر از مدار می‌گذرد.



شکل ۴-۳ نمایش قانون اهم

مطابق شکل ۴-۴ با ۲ برابر شدن ولتاژ (اختلاف پتانسیل) و ثابت ماندن مقاومت، شدت جریان ۲ برابر می‌شود.



$$I = \frac{V}{R} = \frac{2\ \text{V}}{1\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

شکل ۴-۴ دو برابر شدن ولتاژ و ثابت ماندن مقاومت

اگر اختلاف پتانسیل دو سر مدار را نصف کنیم مقدار جریان نصف می‌شود.

مطابق شکل ۴-۵، با دو برابر شدن مقاومت، جریان نصف می‌شود.

واگن‌ها نسبت به یکدیگر ممکن است مشابه، بزرگ یا کوچک باشند. در صورت نامساوی بودن واگن‌ها، گنجایش حمل بار یا مسافر برای هر واگن متفاوت است.

اتصال واگن‌ها به صورت پشت سرهم (سری) است، یعنی ابتدای یک واگن به انتهای واگن دیگر وصل است. مطابق شکل ۹-۴، هنگام حرکت، سرعت در همه واگن‌ها یکسان است.

یکی از حالات خطرناکی که ممکن است در مدار الکتریکی به وجود آید، حالت «اتصال کوتاه» است. حالت اتصال کوتاه در مدار به شرایطی گفته می‌شود که مقاومت مصرف‌کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت.

### الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۴ از فصل دوم):



شکل ۹-۴ در قطار، واگن‌ها به طور سری بسته می‌شوند.

۱ اگر در مداری مقاومت ثابت باشد، چنانچه ولتاژ منبع دو برابر شود، جریان مدار نصف □ دو برابر □ می‌شود.

۲ اگر در مداری مقاومت ۲ برابر و جریان مدار نصف شود، ولتاژ چه تغییری می‌کند؟

۳ در مدار شکل ۸-۴ ولت ۶ متر و آمپر متر مقدار ۵۰ میلی‌آمپر را نمایش می‌دهد.

مطلوبست:

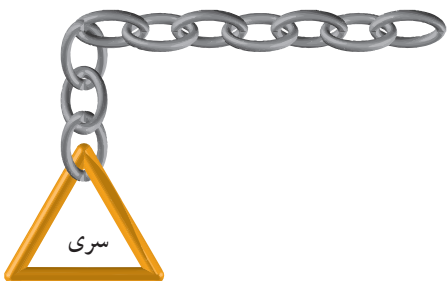
(۱) مقدار ولتاژ دو سر  $R_1$

(۲) مقدار  $E$

(۳) مقدار مقاومت  $R_2$

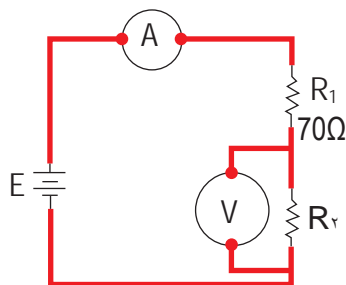
پاسخ دهید

آیا حلقه‌های زنجیر در شکل ۱-۴ با هم به صورت سری بسته شده‌اند؟ چه تشابهی بین این زنجیر با مدارهای سری وجود دارد؟ توضیح دهید.



شکل ۱-۴ نمایش سری بودن حلقه‌های زنجیر

مقاومت را با حرف  $R$  حرف اول Resistor نشان می‌دهند و آنها را با اندیس‌های ۱ تا  $n$  مشخص می‌کنند.



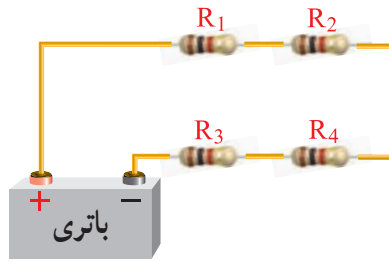
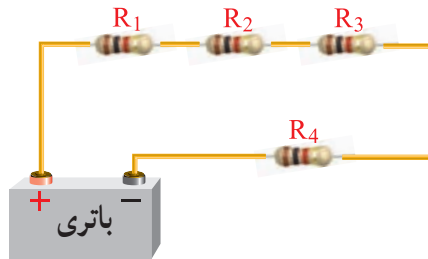
شکل ۸-۴ شکل سوال ۳

### ۳-۴- یادآوری اتصال سری مقاومت اهمی<sup>۱</sup>

قبلاً با اتصال سری مقاومت‌ها آشنا شدید. مدار سری را می‌توان مشابه واگن‌های قطار دانست. گنجایش و حجم

۱- Serial (سری) در زبان انگلیسی به معنی اشیا یا وقایع پشت سرهم و بی‌دری است و کلمه series به معنی مجموعه، دوره، ردیف، سلسله، سری، زنجیره و متوالی آمده است.

ترتیب قرار گرفتن مقاومت‌ها در مدار سری، تأثیری در مقدار مقاومت کل (معادل) مدار ندارد. شکل ۴-۱۱ جابه‌جایی مقاومت‌ها در مدار سری را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱- جابه‌جایی مقاومت‌ها در اتصال سری

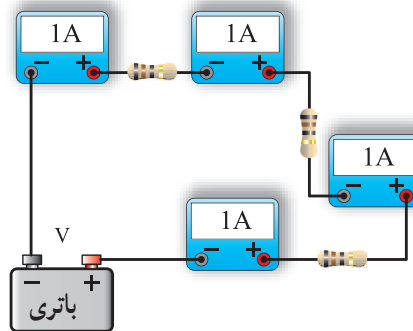
با استفاده از یکی از نرم‌افزارهایی که در اختیار دارید، قوانین اهم و مدارهای سری را به صورت گام به گام تمرین کنید.

نرم افزار

#### ۴-۴- جریان، ولتاژ و مقاومت معادل در مدار سری

با توجه به آموخته‌های خود در باره مدار سری، مدار موجود در شکل ۴-۱۲ را بررسی و در باره آن بحث کنید.

بحث گروهی



شکل ۴-۱۲- مدار سری

#### ۴-۵- اثبات مقاومت معادل در مدار سری

به جای چند مقاومت سری می‌توان مقاومتی را انتخاب کرد که مقدار آن با مجموع چند مقاومت سری برابر باشد. مقاومتی که به جای چند مقاومت سری قرار می‌گیرد، مقاومت کل یا مقاومت معادل آن چند مقاومت نامیده می‌شود و آن را با  $R_T$  نمایش می‌دهند. چنانچه مقاومت معادل جایگزین مقاومت‌های مدار شود، جریان مدار تغییری نخواهد کرد.

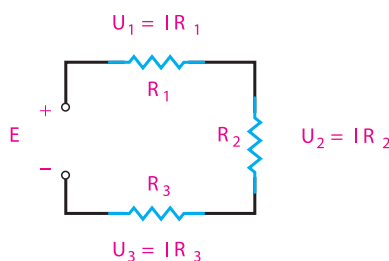
بارش فکری

حرف T مخفف چه کلمه‌ای است؟ از طریق بارش فکری و مراجعه به فرهنگ لغت فارسی-انگلیسی پاسخ را بیابید.

در مدار سری اگر یک یا چند مقاومت را به مدار اضافه کنیم، شدت جریان مدار کم می‌شود. لذا برای ثابت نگه داشتن جریان، در حد قبلی باید مقدار نیروی محرکه مدار را افزایش دهیم.

بنابراین در مدار سری با اضافه کردن تعداد مقاومت‌ها و ثابت بودن ولتاژ منبع، شدت جریان کم می‌شود و این نشان می‌دهد که مقاومت معادل یا مقاومت کل مدار، افزایش یافته است. برای محاسبه مقاومت معادل، یعنی مقاومتی که می‌توان آن را جایگزین مجموعه مقاومت‌ها کرد، به طوری که در شدت جریان مدار تغییری ایجاد نشود، به صورت زیر عمل می‌کنیم. مدار شکل ۴-۱۳ را با سه مقاومت  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  در نظر می‌گیریم.

در مدار سری شدت جریان در تمام نقاط مدار یکسان است.



شکل ۴-۱۳- مدار سری با سه مقاومت

در مدار شکل ۴-۱۳ ولتاژ منبع با جمع افت ولتاژهای دو سر مقاومت‌ها برابر است.  
بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$E = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1)$$

با توجه به قانون اهم داریم:

$$E = I \cdot R_T, \quad U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2, \quad U_3 = IR_3 \quad (2)$$

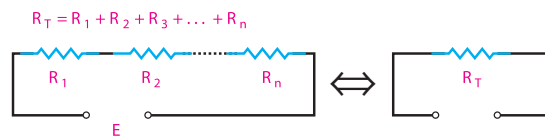
مقادیر روابط ۲ را در رابطه ۱ قرار می‌دهیم.

$$IR_T = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

با حذف جریان‌ها از طرفین تساوی به رابطه مقاومت معادل می‌رسیم.

$$I(R_T) = I(R_1 + R_2 + R_3) \quad R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

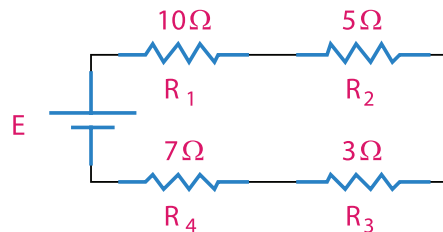
با توجه به اثبات رابطه ذکر شده، مقاومت معادل در یک مدار سری از جمع مقاومت‌های تشکیل دهنده آن مدار به دست می‌آید. شکل ۴-۱۴ حالت کلی رابطه فوق را برای n مقاومت نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴ - مدار سری با n مقاومت

**تمرین تعاملی:** با توجه به تجربه آموخته‌های خود، تمرین‌های زیر را حل کنید و نتایج را در کلاس به بحث بگذارید.

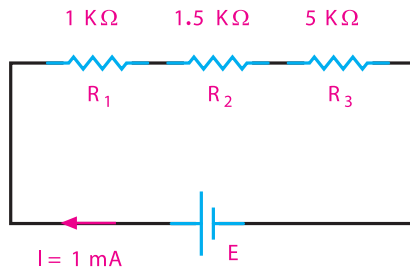
**تمرین ۱:** مقاومت معادل مدار شکل ۴-۱۵ را به دست آورید.



شکل ۴-۱۵ - مدار تمرین ۱

**پاسخ:** ۲۵ اهم

**تمرین ۲:** در مدار شکل ۴-۱۶ ولتاژ منبع تغذیه (E) و افت ولتاژ دوسر مقاومت‌ها را به دست آورید.

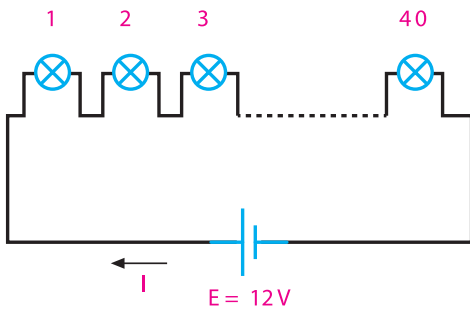


شکل ۴-۱۶ - مدار تمرین ۲

**پاسخ:**  $E = 7/5 \text{ V}$



تعداد ۴۰ لامپ مشابه ۶ ولت ۰/۳ آمپری را مطابق شکل ۴-۱۷ به طور سری به منبع ولتاژ ۱۲ ولتی اتصال داده‌ایم. لامپ‌ها روشن نمی‌شوند. با توجه به اینکه همه آنها سالم و اتصالات نیز سالم هستند، علت را شرح دهید.

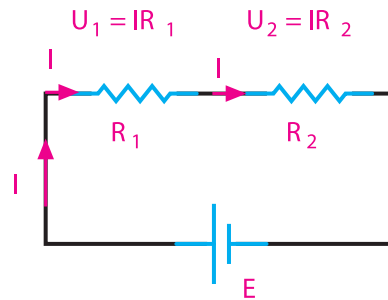


شکل ۴-۱۷ - مدار لامپ‌های سری

**۴-۶ - تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری**

می‌دانیم که در یک مدار سری، ولتاژ کل به نسبت مستقیم بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود، یعنی، هرچه مقدار مقاومت کمتر باشد، افت ولتاژ دوسر آن کمتر و هرچه مقدار مقاومت زیادتر باشد، افت ولتاژ دوسر آن بیشتر

است. برای محاسبه افت ولتاژ در مقاومت‌های یک مدار سری، مدار شکل ۴-۱۸ را در نظر می‌گیریم



شکل ۴-۱۸ - مدار سری

ولتاژ دوسر  $R_1$  برابر است با مقدار جریان ضربدر مقدار مقاومت  $R_1$ .

$$U_1 = IR_1 \quad (۱)$$

جریان کل مدار برابر است با:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (۲)$$

رابطه ۲ را در رابطه ۱ قرار می‌دهیم.

$$U_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_1$$

اکنون  $U_1$  را می‌توان به صورت رابطه ۳ نوشت:

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (۳)$$

رابطه ۳ ولتاژ دوسر مقاومت  $R_1$  را نسبت به ولتاژ کل در مدار سری مشخص می‌کند.

همچنین، به روش مشابه مقدار ولتاژ دوسر  $R_2$  برابر است با:

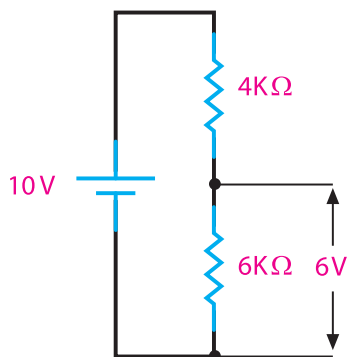
$$U_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (۴)$$

از مشاهده روابط ۳ و ۴ معلوم می‌شود که تقسیم ولتاژ روی مقاومت‌ها با مقادیر آنها نسبت مستقیم دارد.

## ۷-۴ - کاربرد بستن مقاومت‌ها به صورت سری

با توجه به مطالبی که تاکنون فراگرفته‌اید، می‌توانیم نتیجه بگیریم که در اتصال سری مقاومت‌های اهمی، زمینه‌هایی مانند ساختن مقاومت معادل، کاهش جریان مدار و تقسیم ولتاژ فراهم می‌شود.

اگر بخواهیم از یک ولتاژ مشخص ولتاژ کمتری داشته باشیم، راه عملی آن است که با استفاده از دو مقاومت، افت ولتاژ لازم را تهیه کنیم و مورد استفاده قرار دهیم، مثلاً از ولتاژ  $10^\circ$  ولت،  $6^\circ$  ولت آن مورد نیاز است. برای تأمین این ولتاژ، مطابق شکل ۴-۱۹ منبع  $10^\circ$  ولتی را با دو مقاومت ۴ و ۶ کیلو اهمی سری می‌کنیم. سپس از افت ولتاژ روی مقاومت ۶ کیلو اهمی که  $6^\circ$  ولت است، می‌توانیم استفاده نماییم.



شکل ۴-۱۹ - تقسیم ولتاژ



کارگروهی

در مدار شکل ۴-۱۹ اگر در دو سر مقاومت ۶ کیلو اهمی مقاومت  $10^\circ$  اهمی قرار دهیم، آیا مقدار ولتاژ خروجی همان  $6^\circ$  ولت است؟ پاسخ دهید.

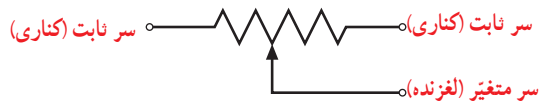


فیلم

فیلم کاربرد رئوستا و پتانسیومتر را ببینید.

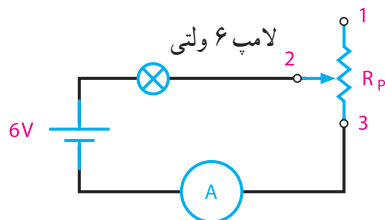
## ۴-۸- رئوستا و پتانسیومتر

همان‌طور که اشاره شد، برای تقسیم ولتاژ و به دست آوردن ولتاژ دلخواه می‌توانیم از مقاومت‌های ثابت استفاده کنیم. در عمل، بیشتر از مقاومت‌های متغیر استفاده می‌شود، که به وسیله این مقاومت‌های متغیر می‌توان ولتاژهای متغیری از حداقل تا حداکثر ولتاژ منبع به دست آورد. مقاومت‌های متغیر به صورت رئوستا و پتانسیومتر در مدار بسته می‌شود. شکل ۴-۲۰ نمای فنی یک مقاومت متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۰- نماد الکتریکی مقاومت متغیر

سر لغزنده یا متغیر سری است که می‌تواند روی سطح خارجی مقاومت حرکت کند و مقدار مقاومت را نسبت به سرهای ثابت تغییر دهد. اگر از دوسر مقاومت متغیر (یک سر ثابت و یک سر لغزنده) در مدار استفاده شود، در این حالت مقاومت متغیر به صورت رئوستا در مدار قرار می‌گیرد. با حرکت سر لغزنده، مقدار مقاومت رئوستا (مقاومت مدار) تغییر می‌کند. با تغییر مقاومت مدار، می‌توانیم شدت جریان مدار را تغییر دهیم. رئوستا برای کنترل شدت جریان مدار به کار می‌رود و در مدار به صورت سری بسته می‌شود. شکل ۴-۲۱ اتصال رئوستا را در مدار نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۱- اتصال رئوستا در مدار

با تغییر سر لغزنده از شماره ۲ به ۳ مقدار مقاومت مدار کاهش می‌یابد. با کاهش مقاومت مدار جریان آن افزایش می‌یابد و روشنایی لامپ بیشتر می‌شود. در نقطه ۳ مقاومت  $R_p$  حداقل می‌شود و شدت جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



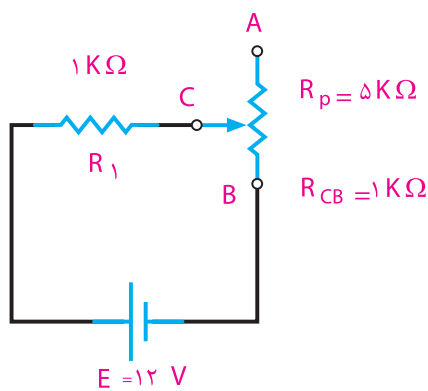
در صورتی که سر لغزنده شماره ۲ را به پایه یک نزدیک کنیم، چه اتفاقی در مدار می‌افتد؟ از طریق بارش فکری بحث را جمع‌بندی کنید.

**مثال ۲:** شدت جریان مدار شکل ۴-۲۲ را در حالت‌های زیر به دست آورید.

۱- سر لغزنده C در نقطه A قرار دارد.

۲- سر لغزنده C در نقطه B قرار دارد.

۳- سر لغزنده بین A و B قرار دارد و آن را دو قسمت می‌کند.



شکل ۴-۲۲- مدار مثال ۲

**راه‌حل:**

**حالت ۱:**  $R_T = R_1 + R_p = 1k\Omega + 5k\Omega = 6k\Omega$

$$I = \frac{12V}{6 \times 10^3} = 2mA$$

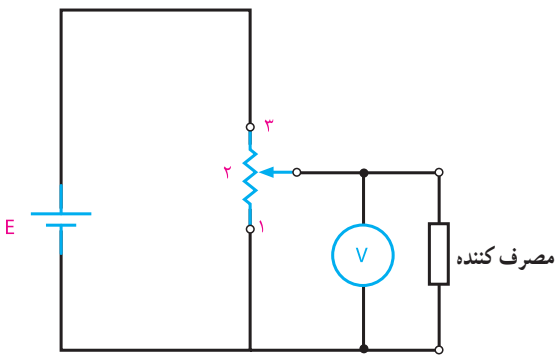
**حالت ۲:**  $R_T = R_1 + R_{CB} = 1k\Omega + 1k\Omega = 2k\Omega$

$$I = \frac{12V}{2 \times 10^3} = 6mA$$



با وصل کردن ولتاژ منبع به دو سر مقاومت متغیر (پتانسیومتر)، و تنظیم سر لغزنده، ولتاژ مورد نیاز را از سر ثابت و سر لغزنده دریافت می‌کنیم.

پتانسیومتر در مدار به صورت موازی بسته می‌شود و مقدار ولتاژ مورد نیاز به مصرف‌کننده را تأمین می‌کند.



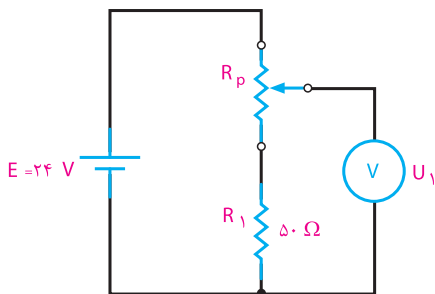
شکل ۲۴-۴ دریافت ولتاژ متغیر

طبق شکل ۲۴-۴ هر قدر سر لغزنده شماره ۲ به پایه شماره ۳ نزدیک‌تر شود، ولت‌متر ولتاژ بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین متناسب با ولتاژ مورد نیاز مصرف‌کننده، می‌توان سر لغزنده شماره ۲ را در محل مناسب قرار داد.

پاسخ دهید

آیا مشکلی که در ارتباط با تقسیم ولتاژ با مقاومت ثابت مطرح کردیم، با استفاده از پتانسیومتر برطرف شده است؟ چرا؟

**مثال ۳:** در شکل ۲۵-۴ برای دریافت ولتاژ از ۶ تا ۲۴ ولت، چه پتانسیومتری را در مدار قرار می‌دهید؟



شکل ۲۵-۴ مدار مثال ۳

**حالت ۳:**  $R_T = R_1 + \frac{R_p}{2} = 1 + 2/5 = 3/5 k\Omega$

$$I = \frac{12}{3/5} = 3/4 \text{ mA}$$

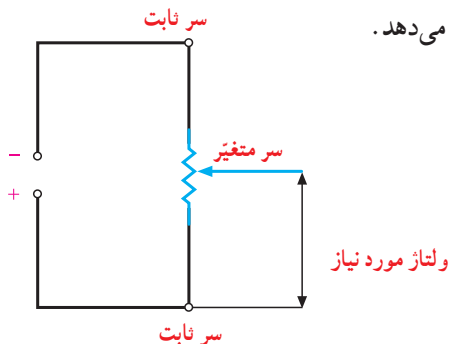
از مثال فوق مشخص می‌شود که مقاومت مدار در حالت ۱ برابر  $6k\Omega$  و شدت جریان  $2 \text{ mA}$  است. در حالت ۲ مقاومت مدار کاهش یافته و به  $2k\Omega$  رسیده است، در نتیجه، شدت جریان افزایش می‌یابد و به  $6 \text{ mA}$  می‌رسد. در حالت ۳ مقدار مقاومت بین حالت ۱ و ۲ قرار دارد و جریان مدار  $3/4$  میلی‌آمپر است. بنابراین، با قرار گرفتن یک رئوس تا به طور سری در مدار، شدت جریان کنترل می‌شود.

بحث کنید

در مدار شکل ۲۲-۴ اگر پایه C را به A اتصال کوتاه کنیم، چه تغییری در کار مدار ایجاد می‌شود؟ نتایج را به کلاس ارائه کنید.

اگر از هر سه سر مقاومت متغیر (دو سر ثابت و یک سر لغزنده) در مدار استفاده شود، مقاومت متغیر به صورت پتانسیومتر در مدار قرار می‌گیرد. با حرکت سر لغزنده، مقدار مقاومت آن نسبت به سرهای ثابت تغییر می‌کند. با قرار دادن ولتاژی به دو سر ثابت می‌توان از سر لغزنده و یکی از سرهای کناری، ولتاژهای متغیر مورد نیاز را دریافت کرد.

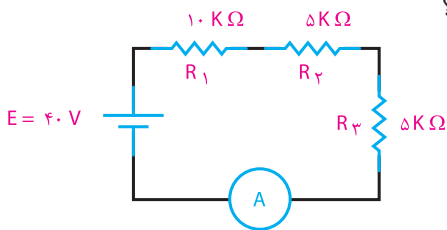
پتانسیومتر را برای دریافت ولتاژهای کمتر از ولتاژ منبع به کار می‌برند. شکل ۲۳-۴ اتصال پتانسیومتر را به مدار نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۴ اتصال پتانسیومتر در مدار

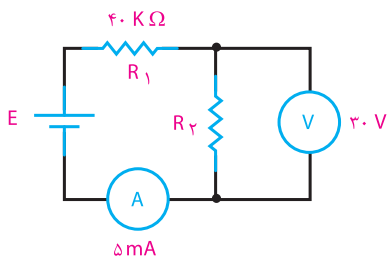
۴ چگونگی استفاده از رئوستا و پتانسیومتر را در مدار با رسم شکل شرح دهید.

۵ در مدار ۲۶-۴ مقدار مقاومت کل و جریان مدار چقدر است؟



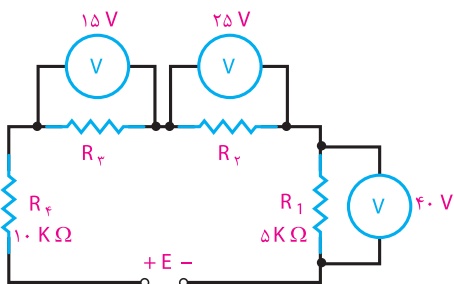
شکل ۲۶-۴ مدار سؤال ۵

۶ در مدار شکل ۲۷-۴ مقدار  $R_p$  و  $E$  چقدر است؟



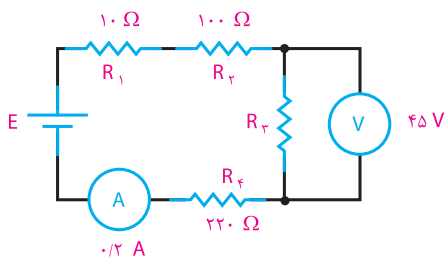
شکل ۲۷-۴ مدار سؤال ۶

۷ در مدار شکل ۲۸-۴ مقدار  $E$  چقدر است؟



شکل ۲۸-۴ مدار سؤال ۷

۸ مقاومت معادل مدار شکل ۲۹-۴ چقدر است؟



شکل ۲۹-۴ مدار سؤال ۸

راه حل:

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_p}$$

$$U_1(R_1 + R_p) = ER_1 \Rightarrow U_1 R_1 + U_1 R_p = ER_1$$

$$U_1 R_p = ER_1 - U_1 R_1$$

$$R_p = \frac{R_1(E - U_1)}{U_1}$$

$$R_p = 50 \times \frac{(24 - 6)}{6} = \frac{50 \times 18}{6} = 150 \Omega$$

آیا روش ساده‌تری برای حل مثال ۳ وجود دارد؟ از طریق بارش فکری پاسخ دهید.



### ۹-۴ کاربرد مقامت‌های متغیر

شدت صدای رادیو و فرستنده‌ها و گیرنده‌های دیگر و نیز روشنایی تصویر تلویزیون به کمک ولوم‌هایی که در جلوی دستگاه تعبیه شده است، کم و زیاد می‌شود. این ولوم‌ها چیزی جز مقاومت‌های متغیر نیستند که به صورت رئوستا و پتانسیومتر در مدار قرار گرفته‌اند.

با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدارهای رئوستا و پتانسیومتر را تمرین کنید.



ویژگی‌های مدارهای سری را بنویسید و در کلاس به بحث بگذارید.

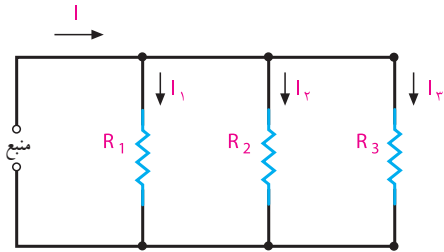


مفهوم کلمه ولوم (volume) را با استفاده از فرهنگ لغت بیابید و از طریق بارش فکری مفهوم آن را نهادینه کنید.



### الگوی پرسش (ارزشیابی و احادیادگیری ۴ از فصل دوم):

- ۱ یک مدار سری مقاومتی چگونه شکل می‌گیرد؟
- ۲ ویژگی‌های مدار سری را نام ببرید.
- ۳ ولتاژ کل در مدار سری با توجه به مقدار مقاومت‌ها به چه نسبتی بین آنها تقسیم می‌شود؟



شکل ۳۲-۴ مدار موازی با چند شاخه

در مدار شکل ۳۲-۴، شدت جریان کل، با مجموع شدت جریان‌های شاخه‌های موازی برابر است، در صورتی که ولتاژ دو سر هر شاخه با ولتاژ دو سر شاخه‌های دیگر مساوی و برابر با ولتاژ دو سر منبع است. از این رو با استفاده از روابط قانون اهم، شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را می‌توان به دست آورد.

$$I_n = \frac{E}{R_n} \quad \leftarrow \text{شدت جریان شاخه } n \text{ ام}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad \leftarrow \text{شدت جریان کل مدار}$$

در صورت مساوی بودن مقاومت‌های هر شاخه در مدار، جریان عبوری از شاخه‌ها با هم برابر است. در صورت نامساوی بودن مقاومت‌ها، جریان عبوری از هر شاخه به نسبت مقدار مقاومت آن شاخه تغییر خواهد کرد.

**نکته**

مقدار جریان عبوری از هر شاخه در مدار موازی نسبت عکس با مقدار مقاومت آن شاخه دارد. زیرا:

$$I \uparrow = \frac{E}{R \downarrow} \quad \text{یا} \quad I \downarrow = \frac{E}{R \uparrow}$$

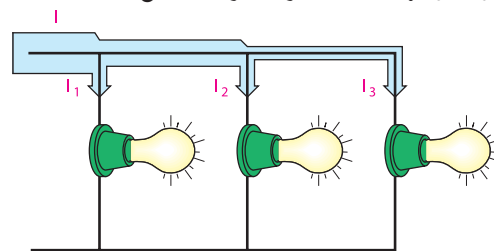
۴-۱۰ اتصال مقاومت‌ها به طور موازی  
اگر بخواهند چند مصرف‌کننده با ولتاژ مساوی را هم‌زمان به یک منبع ولتاژ اتصال دهند، آنها را به صورت موازی به دو سر منبع ولتاژ متصل می‌کنند.  
در مدار موازی شکل ۳۰-۴ یک طرف همه مصرف‌کننده‌ها به یک قطب منبع و طرف دیگر همه آنها به قطب دیگر منبع وصل شده است.



شکل ۳۰-۴ اتصال لامپ‌ها به طور موازی

#### ۴-۱۱ ولتاژها در مدار موازی

مقدار ولتاژها در دو سر همه مصرف‌کننده‌ها در اتصال موازی، یکسان و برابر با ولتاژ منبع تغذیه است. بدیهی است در صورت متفاوت بودن مقدار مقاومت مصرف‌کننده جریان عبوری از آنها متفاوت خواهد بود. (شکل ۳۱-۴)



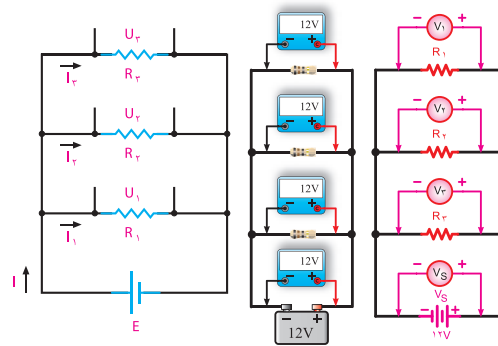
شکل ۳۱-۴ مسیره‌های جریان و اندازه آن در مدار موازی

#### ۴-۱۲ جریان در مدار موازی

در مدار موازی، بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد. هریک از مسیرهای موازی را شاخه می‌گویند. در شکل ۳۲-۴ مسیرهای موازی را مشاهده می‌کنید که نقشه فنی آنها در شکل ۳۲-۴ رسم شده است.

### ۱۳-۴- مقاومت در مدار موازی

**مقاومت معادل:** مقاومت کل (معادل) در مدار موازی، مقاومتی است که به جای مقاومت‌های موازی قرار می‌گیرد و شدت جریان کل مدار را تغییر نمی‌دهد. در مدار موازی، با افزایش شاخه‌های مدار تعداد مسیرهای جریان زیادتر می‌شود و شدت جریان کل افزایش می‌یابد. در شکل ۳۲-۴ می‌شود و شدت جریان شاخه‌ها مشخص شده‌است. مدار شکل ۳۳-۴ را با سه مقاومت  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  در نظر می‌گیریم.



شکل ۳۳-۴- مدار با سه مقاومت موازی

در مدار موازی ولتاژ منبع با ولتاژ دو سر شاخه‌ها برابر است و جریان کل از مجموع جریان‌های شاخه‌ها به دست می‌آید. با توجه به این نکات می‌توانیم رابطه مربوط به مقدار مقاومت معادل را به دست آوریم.

$$E = U_1 = U_2 = U_3 \quad (1)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2)$$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I = \frac{E}{R_t}, \quad I_1 = \frac{E}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2}, \quad I_3 = \frac{E}{R_3}$$

مقادیر معادل جریان‌ها را در رابطه ۲ می‌گذاریم:

$$\frac{E}{R_t} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

با فاکتورگیری و حذف E از طرفین تساوی، به رابطه ۳ می‌رسیم.

$$\frac{E}{R_t} = E \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

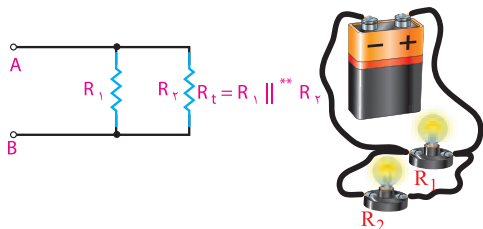
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (3)$$

### حالات خاص

الف) رابطه مقاومت معادل بین دو مقاومت موازی شکل ۳۴-۴ به صورت زیر محاسبه می‌شود. <sup>۱</sup> و <sup>۲</sup>

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2} \Rightarrow R_t = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}$$



شکل ۳۴-۴- مدار موازی با دو مقاومت

ب) در صورتی که مقاومت‌های موازی شده باهم مساوی باشند، مقاومت معادل به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R}$$

تا n

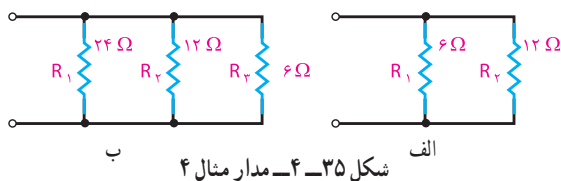
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} (1 + 1 + \dots + 1)$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} \times n = \frac{n}{R}$$

$$R_t = \frac{R}{n}$$

n تعداد مقاومت‌های موازی شده و R یکی از مقاومت‌هاست.

**مثال ۴:** مقاومت معادل مدارهای شکل ۳۵-۴ را به دست آورید:



شکل ۳۵-۴- مدار مثال ۴

۱- معمولاً مقاومت معادل در مدار موازی را به  $R_{eq}$  نشان می‌دهند. eq مخفف کلمه equivalent به معنای معادل است ولی در این کتاب جهت سادگی، مقاومت معادل در مدار موازی نیز با  $R_t$  نمایش داده شده‌است.

۲- علامت دو خط موازی را برای اختصار در به کار بردن کلمه موازی به کار می‌برند، مثلاً  $R_1 || R_2$  یعنی موازی  $R_1$  و  $R_2$  است.

نتیجه

جریان کل در شاخه‌های موازی با توجه به مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می‌شود (مقاومت کمتر - جریان بیشتر).

$I_T$  نیز به ترتیب زیر به دست می‌آید.

$$I_T = \frac{E}{R_T}$$

$$I_T = \frac{I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_T} = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

با حذف  $R_T$  از صورت و مخرج داریم:

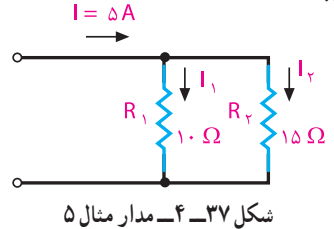
$$I_T = I \frac{R_1}{(R_1 + R_2)}$$

کارگروهی

با توجه به روش به دست آوردن جریان  $I_1$  بر حسب  $I$  و مقادیر مقاومت  $R_1$  و  $R_2$ ، اثبات کنید که:

$$I_1 = I \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

**مثال ۵:** شدت جریان هر شاخه در مدار شکل ۴-۳۷ را به دست آورید.



شکل ۴-۳۷ - مدار مثال ۵

توجه:

رابطه جریان شاخه  $R_1$ :

$$I_1 = I \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

$$I_1 = \frac{5 \times 15}{15 + 10}$$

جریان شاخه  $R_1$ :

$$I_1 = \frac{75}{25} = 3A$$

جریان شاخه  $R_2$ :

$$I_2 = I - I_1 = 5 - 3 = 2A$$

یا

$$I_2 = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \times \frac{10}{25} = 2A$$

مقاومت معادل مدار الف برابر است با:

$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = \frac{72}{18} = 4\Omega$$

همچنین در مدار ب مقاومت معادل برابر است با:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} + \frac{1}{6}$$

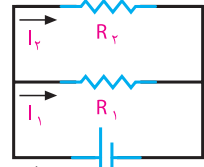
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1+2+4}{24} = \frac{7}{24}, R_t = \frac{24}{7} = 3 \frac{3}{7} \Omega$$

پ - با توجه به مدار ۴-۳۶ و به کارگیری قانون اهم برای هر شاخه، به این نتیجه می‌رسیم:

رابطه (۱)  $E = I_1 R_1$

رابطه (۲)  $E = I_2 R_2$

رابطه (۳) برای مقاومت کل  $E = I R_t$



شکل ۴-۳۶

مقاومت معادل مدار فوق برابر است با

$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

از رابطه ۱ جریان  $I_1$  را به دست می‌آوریم.

$$I_1 = \frac{E}{R_1} \quad (5)$$

رابطه ۴ را در رابطه ۳ قرار می‌دهیم:

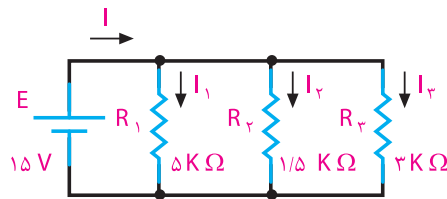
$$E = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

حال اگر مقدار  $E$  را در رابطه ۵ جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

$$I_1 = \frac{I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1}$$

$$I_1 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} \Rightarrow I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

**مثال ۶:** در مدار شکل ۴-۳۸ شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به دست آورید.



شکل ۴-۳۸- مدار مثال ۶

**راه حل:**

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{15V}{5 \times 10^3} = 3mA$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{15V}{1.5 \times 10^3} = 10mA$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{15V}{3 \times 10^3} = 5mA$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = 3 + 10 + 5 \quad I = 18mA$$

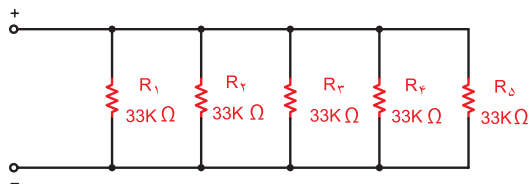


فعالیت

ویژگی‌های مدارهای موازی را بنویسید و در کلاس به بحث بگذارید.

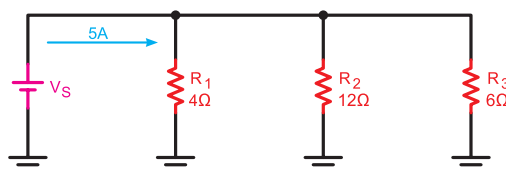
### الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۴ از فصل دوم):

۱) مقاومت معادل را در شکل ۴-۳۹ به دست آورید.



شکل ۴-۳۹- مدار سؤال ۱ الگوی پرسش

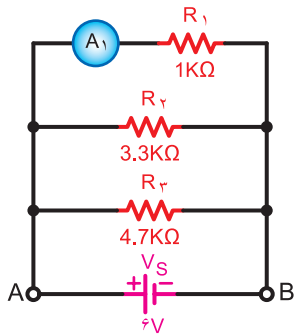
۲) با توجه به مدار شکل ۴-۴۰ مقدار ولتاژ منبع تغذیه را محاسبه کنید.



شکل ۴-۴۰- مدار سؤال ۲ الگوی پرسش

۳) ولتاژ هر یک از مقاومت‌های شکل ۴-۴۰ را به دست آورید.

۴) جریان هر یک از مقاومت‌های شکل ۴-۴۱ را به دست آورید.



شکل ۴-۴۱- مدار سؤال ۴ الگوی پرسش

۵) دو لامپ با مقاومت داخلی ۴ اهم مطابق شکل ۴-۴۲ با هم موازی شده‌اند و به باتری ۱/۵ ولتی متصل می‌بایند. جریان کل عبوری از مدار و جریان هر یک از لامپ‌ها چقدر است؟



شکل ۴-۴۲- مدار سؤال ۵ الگوی پرسش

۶) در مداری با چهار مقاومت مساوی ۱۰ کیلو اهم که به صورت موازی بسته شده‌اند، مقاومت معادل از رابطه ..... به دست می‌آید و مقدار مقاومت معادل برابر با ..... است.

۷) در مدار موازی، مقاومت کل از کوچک‌ترین مقاومت بزرگ‌تر است.

درست  نادرست

۸) در مدار موازی، جریان مقاومت کوچک‌تر از جریان بقیه مقاومت‌ها بزرگ‌تر است.

درست  نادرست