

# بخش اول

الکتریسیته و برق

### اصول الکتریسیته و کمیت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند:

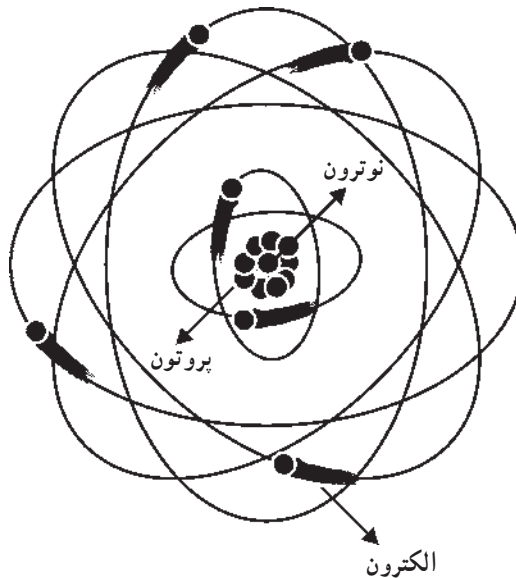
- ساختمان ماده را توضیح دهد.
- ساختمان اتم را توضیح دهد.
- بار الکتریکی را تعریف کند.
- نیروی جاذبه و دافعه‌ی بارهای الکتریکی را توضیح دهد.
- الکترون آزاد را تعریف کند.
- الکتریسیته‌ی ساکن را توضیح دهد.
- روش‌های تولید الکتریسیته‌ی ساکن را توضیح دهد.
- قانون کولن در جاذبه و دافعه‌ی بارهای الکتریکی را توضیح دهد.
- نیروی جاذبه و دافعه بین بارهای الکتریکی را حساب کند.
- نیروی محرکه‌ی الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
- جریان الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
- مقاومت الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
- قانون اهم را توضیح دهد.
- مولتی‌متر و کار آن را توضیح دهد.
- توان الکتریکی را محاسبه کند.
- انرژی الکتریکی را محاسبه کند.
- جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهد.

## ۱-۱- ساختمان ماده

هر چیزی که بخشی از فضا را اشغال کند، یعنی دارای حجم و وزن باشد از ماده تشکیل یافته است. ماده به صورت جامد، مایع و گاز دیده می‌شود؛ مانند: آب، سنگ، چوب، هوا، گازهای بی‌رنگ و غیره. پس هر شیء مادی دارای جرم و حجم است.

## ۱-۲- ساختمان اتم

مواد پیرامون ما از ذره‌های بسیار ریزی به نام مولکول ساخته شده‌اند. مولکول کوچک‌ترین ذره‌ی هر ماده است که ماهیت آن ماده را در خود دارد. مولکول‌ها نیز به ذره‌های ریزتری به نام اتم قابل تقسیم هستند. اتم‌ها از دو قسمت تشکیل شده‌اند. قسمتی که در مرکز اتم قرار دارد، هسته نامیده می‌شود. هسته از پروتون و نوترون تشکیل یافته است. به ذره‌های باردار با بار مثبت پروتون می‌گویند. جرم نوترون هم مشابه پروتون است، ولی بار الکتریکی ندارد. همچنین در فضای اطراف هسته ذره‌هایی با بار الکتریکی منفی وجود دارند که الکترون نامیده می‌شوند. الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته در حال گردش هستند. شکل ۱-۱ ساختمان یک اتم را نشان می‌دهد.

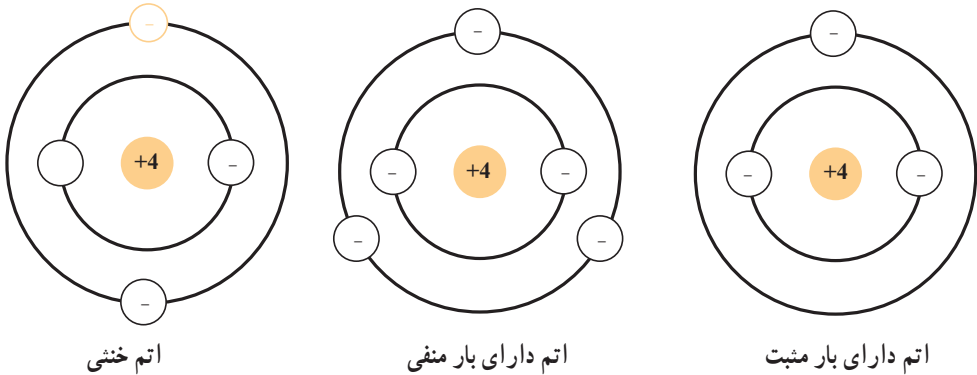


شکل ۱-۱

## ۱-۳- بار الکتریکی

چون تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های هر جسم برابر است، اتم آن جسم از نظر بار الکتریکی

خنثی می‌باشد. اگر تعادل بین الکترون‌ها و پروتون‌های یک جسم به هم بخورد، یعنی تعدادی الکترون به جسم اضافه کرده یا تعدادی الکترون از آن کم کنیم، جسم باردار می‌شود. اگر تعداد الکترون‌های جسم بیش‌تر از تعداد پروتون‌های آن باشد، جسم دارای بار الکتریکی منفی می‌شود و اگر تعداد الکترون‌ها کم‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، جسم دارای بار الکتریکی مثبت می‌شود. شکل ۱-۲ یک اتم خنثی، یک اتم دارای بار منفی و یک اتم دارای بار مثبت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲

**۱-۳-۱ واحد بار الکتریکی:** معمولاً واحد بار الکتریکی از روی مقدار بار الکتریکی الکترون‌های جسم تعریف می‌شود. واحد بار الکتریکی به افتخار دانشمند فرانسوی کولن نامیده می‌شود. یک کولن معادل بار الکتریکی  $6/28 \times 10^{18}$  الکترون است؛ یعنی اگر  $6/28 \times 10^{18}$  الکترون به جسمی بدهیم، آن جسم به اندازه‌ی یک کولن بار منفی پیدا می‌کند و چنان‌چه همین تعداد الکترون از جسم بگیریم، آن جسم یک کولن بار مثبت خواهد داشت. بار الکتریکی را با  $q$  یا  $Q$  و واحد آن را با  $(C)$  نشان می‌دهند.

**۱-۳-۲ نیروی جاذبه و دافعه‌ی بین بارهای الکتریکی:** وقتی دو ذره از نظر بار الکتریکی مشابه باشند؛ یعنی هر دو دارای بار مثبت یا هر دو دارای بار منفی باشند، یکدیگر را دفع می‌کنند. اما اگر دو ذره بار الکتریکی مشابه نداشته باشند، یعنی یکی دارای بار الکتریکی مثبت و دیگری دارای بار الکتریکی منفی باشد، یکدیگر را جذب می‌کنند. پس بارهای هم‌نام، یکدیگر را دفع و بارهای غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند.

## ۱-۴ الکترون آزاد

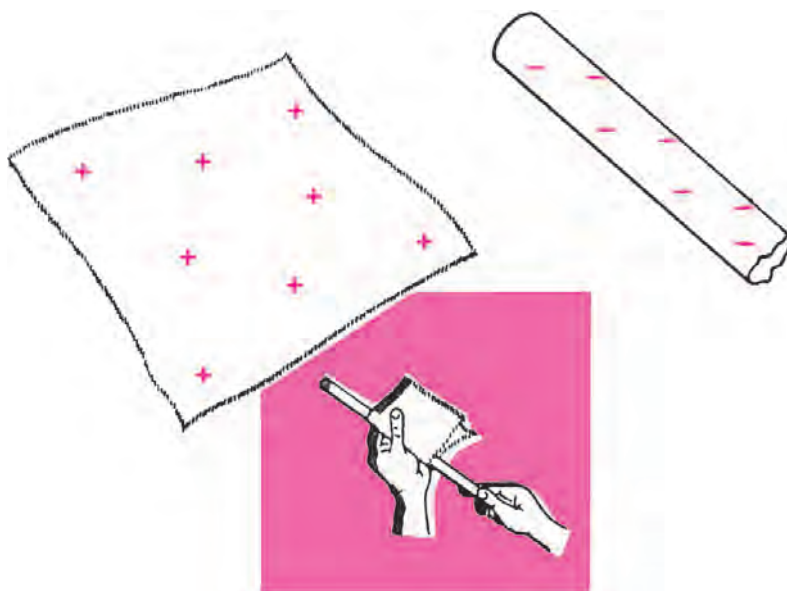
الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی و پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت هستند؛ بنابراین

پروتون‌ها که در هسته‌ی اتم قرار دارند، بر الکترون‌ها نیرو وارد می‌کنند و الکترون‌ها تحت این نیروی جاذبه به دور هسته‌ی اتم در گردش هستند. اگر در اثر عواملی چون حرارت، انرژی الکترون‌های یک اتم را افزایش دهیم، الکترون‌ها از قید نیروی هسته‌ی آزاد می‌شوند و به‌طور آزاد در فضای بین اتم‌ها حرکت می‌کنند. این الکترون‌ها را «الکترون‌های آزاد» گویند.

## ۱-۵- الکتریسیته‌ی ساکن و روش‌های تولید آن

با آزاد شدن الکترون، الکتریسیته ایجاد می‌شود. روش‌های مختلفی برای تولید الکتریسیته‌ی ساکن وجود دارد که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱-۵-۱- تولید الکتریسیته به روش اصطکاک: هرگاه یک میله‌ی شیشه‌ای را به روی پارچه‌ی ابریشمی مالش دهیم، تعدادی از الکترون‌های میله‌ی شیشه‌ای جذب پارچه‌ی ابریشمی می‌شود. در این حالت میله‌ی شیشه‌ای دارای الکتریسیته‌ی مثبت و پارچه‌ی ابریشمی دارای الکتریسیته‌ی منفی می‌شود. اگر به‌جای میله‌ی شیشه‌ای از میله‌ی پلاستیکی استفاده کنیم و آن را به پارچه‌ی پشمی مالش دهیم، میله‌ی پلاستیکی از پارچه‌ی پشمی تعدادی الکترون دریافت می‌کند و دارای بار منفی می‌شود. در این صورت در میله‌ی پلاستیکی الکتریسیته‌ی منفی تولید شده است. شکل ۱-۳ این حالت را نشان می‌دهد.



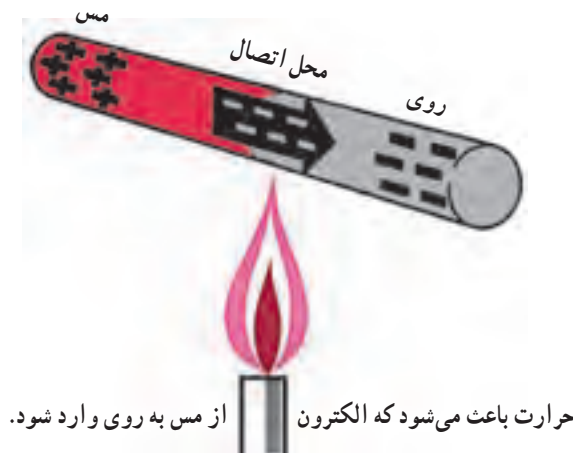
شکل ۱-۳

### ۱-۵-۲- تولید الکتروسیسته با روش شیمیایی: مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب

شده سبب واکنش‌های شیمیایی و در نتیجه انتقال الکترون و تولید بار الکتریکی می‌شوند. باتری معمولی به این روش الکتروسیسته تولید می‌کند.

### ۱-۵-۳- تولید الکتروسیسته با استفاده از حرارت: برخی از فلزات الکترون از دست

می‌دهند و برخی دیگر آن را جذب می‌کنند، از این رو هنگام انتقال، بین دو جسم غیرمشابه انتقال الکترون صورت می‌گیرد. برای مثال، اگر مس و روی را به هم متصل کنیم، الکترون‌ها از اتم مس خارج و به اتم روی وارد می‌شوند؛ به این ترتیب مس الکترون خود را از دست می‌دهد و مثبت می‌شود و فلز روی الکترون‌های اضافی کسب می‌کند و به طور منفی باردار می‌شود. اگر به محل اتصال دو فلز حرارت دهیم، الکترون‌های بیش‌تری آزاد می‌شوند. به این روش ترموالکتریک و به اتصال دو فلز ترموکوپل گفته می‌شود. شکل ۱-۴ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- تولید الکتروسیسته به روش حرارتی

### ۱-۵-۴- تولید الکتروسیسته با استفاده از نور: اگر به بعضی از اجسام مانند سلنیم،

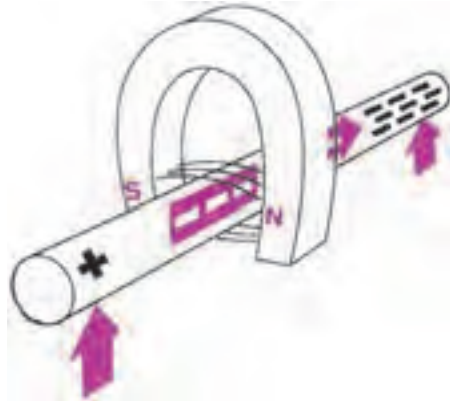
پتاسیم و سیلیکون نور بتابانیم، الکترون از دست می‌دهند. این اجسام قادر هستند انرژی نورانی را به طور مستقیم به الکتروسیسته تبدیل کنند. از این خاصیت در ساختمان پیل نوری استفاده می‌شود.

### ۱-۵-۵- تولید الکتروسیسته با استفاده از خاصیت مغناطیسی: اگر یک هادی خوب

مانند مس را درون یک میدان مغناطیسی حرکت دهیم، به طوری که خطوط میدان مغناطیسی توسط میله قطع شود، انرژی میدان مغناطیسی باعث آزاد شدن الکترون‌ها از اتم‌های آن هادی می‌شود. در این حالت الکترون‌های آزاد شده به یک سمت حرکت می‌کنند. جهت حرکت الکترون‌ها به جهت

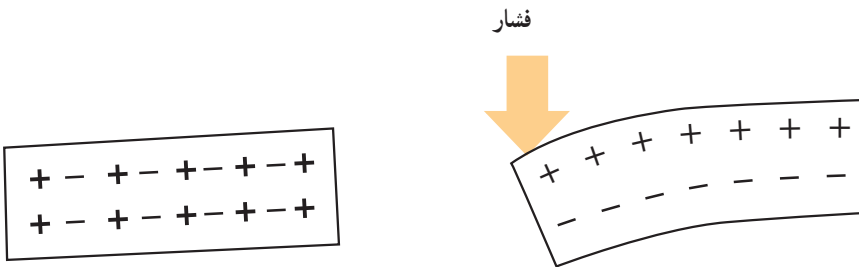
حرکت سیم بستگی دارد.

البته تنها حرکت هادی در داخل میدان باعث تولید الکتريسيته نمی‌شود؛ بلکه اگر میدان مغناطیسی متغیر باشد نیز الکتريسيته تولید می‌گردد. این روش تولید الکتريسيته اساس کار ژنراتورهای الکتريکی است. شکل ۵-۱ این روش تولید الکتريسيته را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱ الکتريسيته‌ی مغناطیسی

۵-۱-۶- تولید الکتريسيته با استفاده از فشار (پیزوالکتریک): اگر به بعضی اجسام مانند نمک روشل یا تیتانات باریم فشار وارد کنیم، نیروی فشار باعث به حرکت درآمدن الکترون‌ها و رفتن آن‌ها به یک طرف جسم می‌شوند. در این صورت، یک طرف جسم بار الکتريکی منفی و طرف دیگر بار الکتريکی مثبت پیدا می‌کند. اگر نیروی فشار قطع شود الکترون‌ها به مدارهای خود برمی‌گردند. به نیروی فشار برای تولید بارهای الکتريکی اثر پیزوالکتریک گویند. شکل ۶-۱ این حالت را نشان می‌دهد.

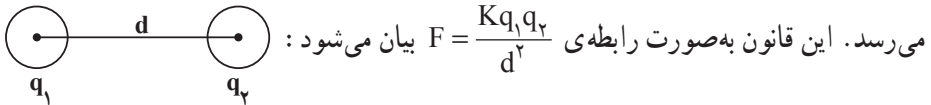


شکل ۶-۱

## ۱-۶- قانون کولن

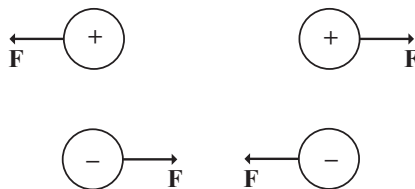
در قرن هجدهم یک دانشمند فرانسوی به نام کولن روی بارهای الکتریکی آزمایش‌هایی انجام داد و قانونی را در مورد جاذبه و دافعه‌ی بین بارهای الکتریکی کشف کرد که به آن قانون کولن گویند. کولن چنین بیان نمود که هرگاه دو جسم باردار خیلی کوچک را در نظر بگیرید که بتوان آن‌ها را در حکم نقطه‌ی باردار دانست یا هرگاه دو جسم کروی را فرض کنید که بار الکتریکی به‌طور یکنواخت روی آن‌ها توزیع شده باشد، اگر بار این دو جسم را با  $q_1$  و  $q_2$  و فاصله‌ی بین آن‌ها را با  $d$  نشان دهیم نیروی جاذبه یا دافعه‌ی بین این بارها متناسب است با مقدار بار الکتریکی هر یک از آن‌ها. به عبارت دیگر، متناسب است با حاصل ضرب دو بار الکتریکی. در ضمن این نیرو با عکس مجذور فاصله‌ی دو بار الکتریکی نیز متناسب است؛ یعنی اگر فاصله‌ی بین دو بار دو برابر شود، نیروی بین آن‌ها به  $\frac{1}{4}$

مقدار اولیه‌اش می‌رسد و اگر فاصله‌ی بین دو بار الکتریکی سه برابر شود، نیرو به  $\frac{1}{9}$  مقدار اولیه می‌رسد. این قانون به صورت رابطه‌ی  $F = \frac{Kq_1q_2}{d^2}$  بیان می‌شود:



$K$  ضریبی است که بستگی دارد به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی که دو جسم باردار در آن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌گیری نیرو در خلأ صورت گیرد و در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) که در آن  $F$  برحسب نیوتن و  $q$  برحسب کولن و  $d$  برحسب متر است،  $K$  تقریباً برابر با  $K = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$  می‌شود.

اگر در هنگام محاسبه، بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی نشان دهیم، نیروی دافعه‌ی بین دو بار هم‌نام با علامت مثبت و نیروی جاذبه‌ی بین دو بار غیرهم‌نام با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود. رابطه‌ی  $F = \frac{Kq_1q_2}{d^2}$  فقط اندازه‌ی نیروی کولن را تعیین می‌کند. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به یکدیگر وصل می‌نماید. جهت نیرو بستگی به نوع بارهای الکتریکی دو جسم دارد. چنان‌چه گفته شد، بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و بارهای غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند:





مثال (۱): نیروی بین دو بار الکتریکی مثبت که مقدار بار هر یک از آن‌ها یک کولن است و در فاصله‌ی یک متری از یکدیگر قرار دارند چه قدر است؟

حل:

$$q_1 = q_2 = 1\text{C}$$

$$d = 1\text{m}$$

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{(1)^2} = 9 \times 10^9 \text{ نیوتن}$$

مثال (۲): اگر دو بار منفی به مقدار یک میکروکولن به فاصله‌ی ۱۰ متر از یکدیگر قرار داشته

باشند، نیروی دافعه‌ی بین آن‌ها چند نیوتن است؟

$$\text{حل: } c = 10^{-6} \text{ کولن} = \frac{1}{1000000} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ یک میکروکولن}$$

$$q_1 = q_2 = 10^{-6} \text{c} \quad d = 10 \text{m}$$

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-6} \times 10^{-6}}{(10)^2} = 9 \times 10^{-5} \text{ نیوتن}$$

## ۱-۷- اختلاف سطح یا اختلاف پتانسیل الکتریکی

هرگاه بین دو نقطه از نظر تعداد الکترون تفاوت وجود داشته باشد، بین آن دو نقطه اختلاف

سطح الکتریکی دیده می‌شود. اختلاف سطح الکتریکی را اختلاف پتانسیل یا اختلاف فشار الکتریکی هم می‌نامند. اختلاف سطح الکتریکی را با  $V$  یا  $U$  نشان می‌دهند.

واحد اختلاف سطح الکتریکی ولت است. واحد کوچک‌تر و بزرگ‌تر اختلاف سطح الکتریکی

به ترتیب میلی‌ولت، میکروولت و کیلوولت است.

$$\text{ولت } 10^{-3} = \text{ولت } \frac{1}{1000} = 1\text{mV} = \text{یک میلی‌ولت}$$

$$\text{ولت } 10^{-6} = \text{ولت } \frac{1}{1000000} = 1.0 \text{V} = \text{یک میکروولت}$$

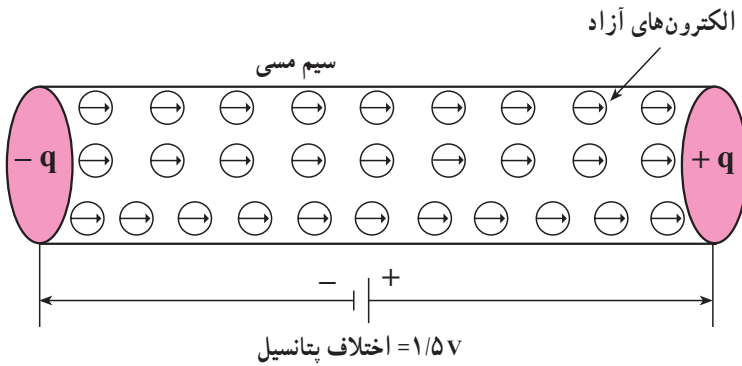
$$\text{ولت } 10^3 = \text{ولت } 1000 = 1\text{kV} = \text{یک کیلوولت}$$

## ۱-۸- جریان الکتریکی

هرگاه دو نقطه‌ی دارای اختلاف سطح الکتریکی (مانند قطب مثبت و منفی یک باتری) را

به وسیله‌ی یک سیم هادی به هم وصل کنیم، الکترون‌های اضافی موجود در قطب منفی به طرف قطب

مثبت حرکت می کنند و در طول سیم هادی جا به جا می شوند. جا به جایی الکترون ها در طول سیم هادی سبب برقراری جریان الکتریکی می شود. شکل ۷-۱ حرکت الکترون های آزاد درون سیم را نشان می دهد.



شکل ۷-۱ حرکت الکترون های آزاد

۱-۸-۱ واحد شدت جریان الکتریکی: واحد شدت جریان الکتریکی آمپر نام دارد. اگر در هر ثانیه از یک نقطه ی سیم  $6/28 \times 10^{18}$  الکترون (۱ کولن الکتروسیته) عبور کند، شدت جریان یک آمپر است. شدت جریان الکتریکی را با I و واحد آن را با A نشان می دهند. واحدهای کوچک تر آمپر، میلی آمپر و میکروآمپر نام دارد.

$$\text{یک میلی آمپر} = 1\text{mA} = \frac{1}{1000} \text{A} = 10^{-3} \text{A}$$

$$\text{یک میکروآمپر} = 1 \mu\text{A} = \frac{1}{1000000} \text{A} = 10^{-6} \text{A}$$

جهت شدت جریان الکتریکی، طبق قرارداد، از قطب مثبت به طرف قطب منفی (خلاف حرکت الکترون ها) در نظر گرفته می شود.

## ۹-۱ مقاومت الکتریکی

هر عاملی که بتواند جریان الکتریکی را کند یا متوقف کند، مقاومت الکتریکی نام دارد. هرچه مقدار مقاومت بیش تر باشد، شدت جریان الکتریکی کم تر است.

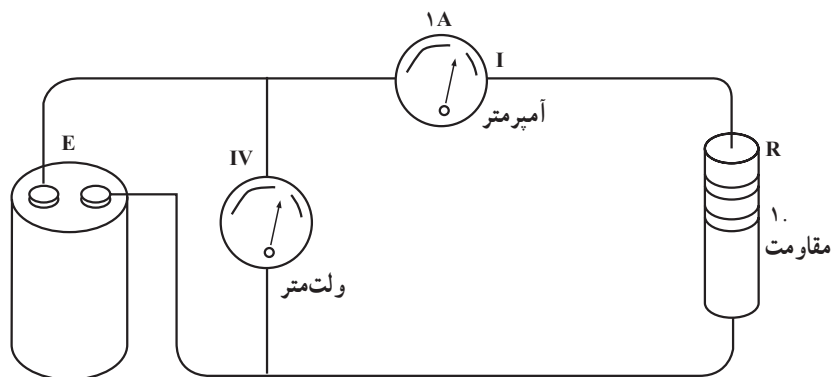
۱-۹-۱ واحد مقاومت الکتریکی: واحد مقاومت الکتریکی اهم نام دارد. یک اهم مقاومت الکتریکی یک سیم هادی است. اگر ولتاژی معادل یک ولت به دو سر آن وصل کنیم، جریانی به شدت یک آمپر از آن عبور می کند. اهم را با علامت (.) اُمگا نشان می دهند. واحدهای بزرگ تر اهم، کیلو اهم (k.) و مگا اهم (M.) است.

$1k = 10^3 = 1000 =$  یک کیلو اهم

$1M = 10^6 = 1000/000 =$  یک مگا اهم

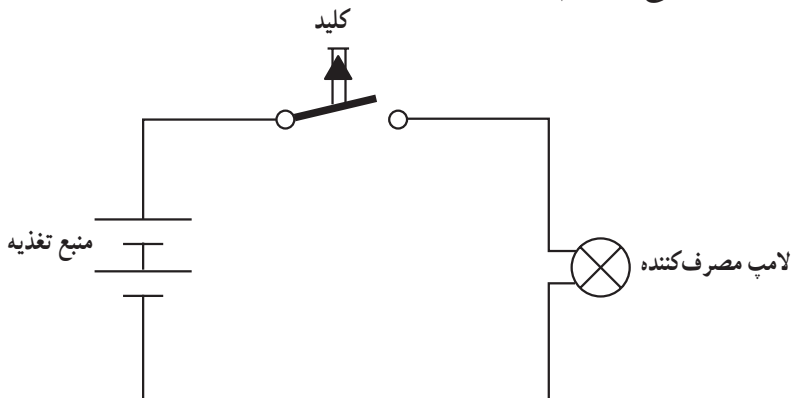
### ۱-۱۰ ساده ترین مدار الکتریکی

در شکل ۱-۸ ساده ترین نوع مدار الکتریکی رسم شده است. هر مدار الکتریکی حداقل دارای یک منبع ولتاژ، مصرف کننده و کلید قطع و وصل و سیم های رابط جهت هدایت جریان الکتریکی می باشد.



شکل ۱-۸

یکی از مدارهای ساده ی الکتریکی، چراغ قوه است. در چراغ قوه پیل ها به منزله ی مولد اختلاف پتانسیل، لامپ به منزله ی مصرف کننده و کلید خاموش و روشن به منزله ی کلید قطع و وصل عمل می کند. از بدنه ی چراغ قوه به منزله ی سیم رابط استفاده شده است. در شکل ۱-۹ مدار ساده الکتریکی یک چراغ قوه رسم شده است.



شکل ۱-۹

## ۱-۱-۱ قانون اهم

ژرژ سیمون اهم کشف کرد که در یک مدار الکتریکی بین ولتاژ و جریان و مقاومت رابطه‌ای وجود دارد؛ به طوری که اگر مقاومت مدار ثابت نگاه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان نیز زیاد می‌شود و اگر ولتاژ کاهش یابد، شدت جریان هم کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، اهم دریافت که در یک مدار الکتریکی نسبت اختلاف سطح الکتریکی به شدت جریان الکتریکی برابر با مقاومت مدار است.

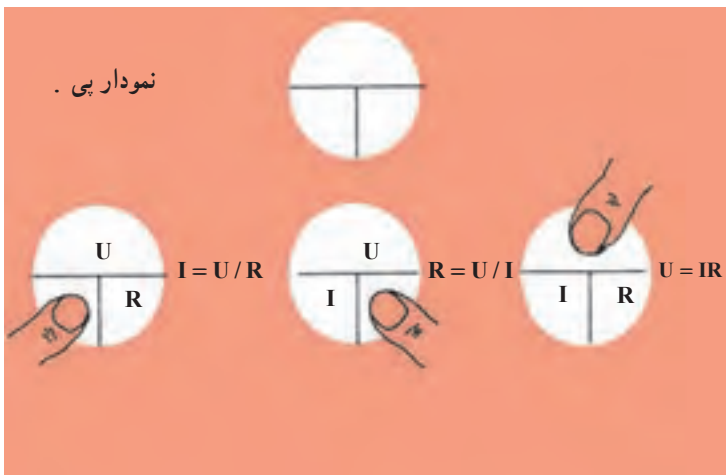
$$\text{مقاومت الکتریکی} = \frac{\text{اختلاف سطح الکتریکی}}{\text{شدت جریان الکتریکی}}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{اهم} = \frac{\text{ولت}}{\text{آمپر}}$$

قانون اهم را می‌توان به شکل‌های مختلف نوشت:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{یا} \quad U = RI \quad \text{یا} \quad R = \frac{U}{I}$$

برای به دست آوردن هر کمیت مجهول در قانون اهم می‌توان از شکل ۱-۱ استفاده کرد.

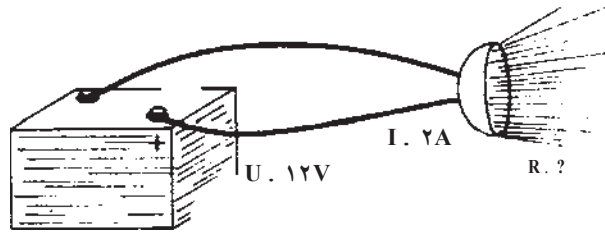


شکل ۱-۱

مثال — تعیین مقاومت: یک باتری ۱۲ ولتی اتومبیل، لامپ چراغ راهنمای اتومبیل را که

۲ آمپر جریان می‌کشد روشن می‌کند. مقاومت لامپ چراغ راهنمای اتومبیل چه قدر است؟

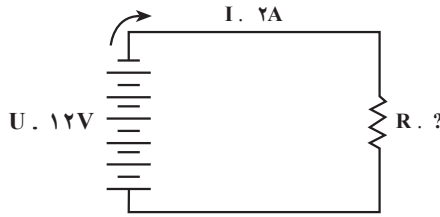
حل:



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

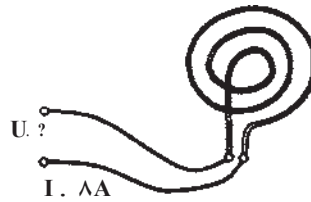
$$R = \frac{12}{2}$$

$$R = 6 \text{ اهم}$$



مثال - تعیین ولتاژ: یک المان (رشته‌ی گرم‌شونده) اجاق برقی دارای مقاومت  $30 \text{ اهم}$  است. اگر جریان مصرفی توسط اجاق برقی  $8 \text{ آمپر}$  باشد، چه اختلاف سطحی لازم است تا اجاق را راه‌اندازی کند؟

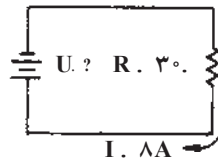
حل:



$$U = I \times R$$

$$U = 8 \times 30$$

$$U = 240 \text{ V}$$



مثال - تعیین جریان: یک مجموعه پیل نوری را که ولتاژ خروجی آن ۳ ولت است به یک مقاومت ۳۰۰۰ اهمی اتصال می دهیم، جریان مدار را به دست آورید.

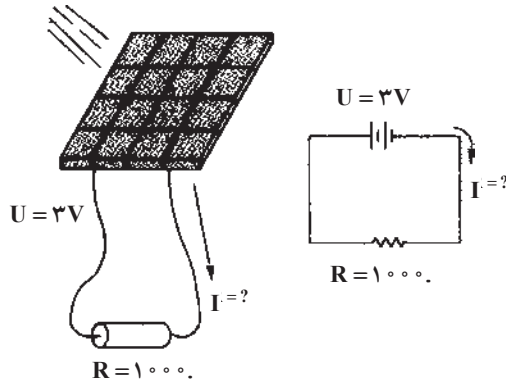
حل:

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

$$I = \frac{3}{1000}$$

$$I = 0.003A$$

$$I = 3mA$$



### ۱-۱۲- مولتی متر

مولتی متر دستگاهی است که به وسیله ی آن می توان چند کمیت الکتریکی را اندازه گیری نمود. معمولاً اغلب مولتی مترها قادر به اندازه گیری ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی هستند. مولتی متر را آوومتر (AVO meter) نیز می نامند. A مخفف آمپر، V به معنی ولت و O به منزله ی اهم است. در شکل ۱-۱۱ شمای ظاهری یک مولتی متر عقربه ای و دیجیتالی نشان داده شده است.



## ۱-۱۳- قدرت الکتریکی

حاصل ضرب ولتاژ در شدت جریان الکتریکی را قدرت یا توان الکتریکی گویند ( $P = UI$ ). توان الکتریکی عبارت است از انرژی مصرف شده در واحد زمان. قدرت الکتریکی را با  $P$  نمایش می‌دهند. واحد قدرت الکتریکی وات (Watt) است. واحدهای کوچک‌تر توان الکتریکی میلی‌وات و میکرووات و واحدهای بزرگ‌تر آن کیلووات و مگاوات است.

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W} = \text{یک میلی‌وات}$$

$$1 \text{ W} = 10^{-6} \text{ W} = \text{یک میکرووات}$$

$$1 \text{ kW} = 10^{+3} \text{ W} = \text{یک کیلووات}$$

$$1 \text{ MW} = 10^{+6} \text{ W} = \text{یک مگاوات}$$

واحد دیگر توان، اسب بخار است. یک اسب بخار برابر ۷۳۶ وات می‌باشد. توان را می‌توان

از رابطه‌های  $P = \frac{U^2}{R}$  یا  $P = RI^2$  هم به دست آورد.

مثال: شدت جریان عبوری از یک لامپ ۱۰۰ وات با ولتاژ کار ۲۲۰ ولت چه قدر است؟

حل:

$$P = 100 \text{ W}$$

$$U = 220 \text{ V}$$

$$P = UI$$

$$\Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45 \text{ A}$$

## ۱-۱۴- انرژی الکتریکی

حاصل ضرب توان الکتریکی در مدت زمان را انرژی الکتریکی می‌نامند. واحد تجاری انرژی

الکتریکی کیلووات ساعت است. انرژی الکتریکی را با  $W$  نشان می‌دهند:

$$W = P \times t$$

$$\text{kWh} = \text{ساعت} \times \text{کیلووات} = \text{کیلووات ساعت}$$

برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی از کنتور استفاده می‌کنند.

مثال: توان مصرفی یک آپارتمان ۱۰۰۰ وات است؛ انرژی مصرف شده در مدت ۳۰ روز را

حساب کنید.

حل:

$$P = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

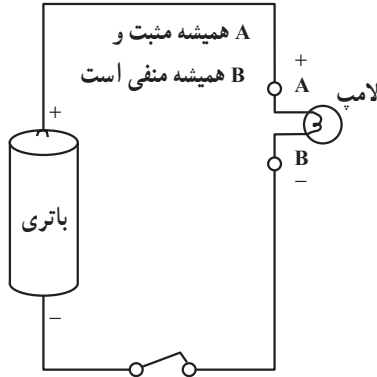
$$W = P \times t$$

$$t = 30 \times 24 = 720$$

$$W = 1 \times 720 = 720 \text{ kWh}$$

## ۱-۱۵- جریان مستقیم یا DC<sup>۱</sup>

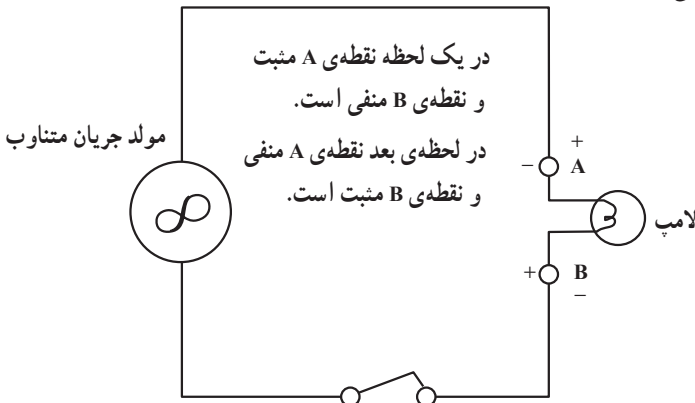
هرگاه دو قطب ولتاژ نسبت به زمان ثابت بماند، جریان فقط در یک جهت جاری می‌شود و مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر نمی‌کند. به این جریان، جریان DC یا مستقیم گویند. باتری‌ها مولد جریان DC هستند. شکل ۱-۱۲ مدار یک جریان مستقیم را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۲

## ۱-۱۶- جریان متناوب یا AC<sup>۲</sup>

هرگاه جهت قطب‌های یک مولد به‌طور متناوب تغییر کند، جهت جریان نیز به‌طور متناوب تغییر می‌کند. این نوع جریان را جریان متناوب گویند و آن را به‌صورت AC نشان می‌دهند. از انواع جریان AC می‌توان برق شهر و مولدهای کوچک برق اضطراری را نام برد. شکل ۱-۱۳ مدار یک جریان AC را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۳

<sup>۱</sup>- DC = Direct Current

<sup>۲</sup>- AC = Alternating Current



- ۱- ماده و اتم را تعریف کنید.
- ۲- روش‌های مختلف تولید الکتریسیته را نام ببرید.
- ۳- کمیت‌های ولتاژ، جریان و مقاومت را شرح دهید و واحد آن‌ها را بیان کنید.
- ۴- قانون اهم را شرح دهید و حالت‌های آن را به صورت فرمول بنویسید.
- ۵- مولتی‌متر چه کمیت‌هایی را می‌تواند اندازه بگیرد؟
- ۶- جریان مستقیم و متناوب را شرح دهید.
- ۷- هرگاه دو بار نقطه‌ای  $q_1 = 10 \text{ C}$  و  $q_2 = -5 \text{ C}$  در فاصله‌ی دو متری از یکدیگر قرار گرفته باشند، الف) نیروی جاذبه بین دو بار چه قدر است؟ ب) جهت نیرو را مشخص کنید.
- ۸-  $100$  میکروولت چند میلی‌ولت و چند ولت است؟
- ۹- جریان‌های زیر را به ترتیب از چپ به راست و از کم‌ترین مقدار به بیش‌ترین مقدار مرتب کنید.

$$200 \text{ mA} - 100 \text{ A} \text{ و } 0.05 \text{ A} - 0.3 \text{ mA} - 450 \text{ A}$$

- ۱۰- به دو سر یک مقاومت  $60$  اهمی ولتاژی برابر  $30$  ولت وصل شده است. جریان عبوری از مقاومت چه قدر است؟
- ۱۱- یک لامپ دارای مقاومت  $150$  اهم است. اگر از این لامپ جریان  $5/0$  آمپر عبور کند، افت ولتاژ دو سر لامپ چه قدر است؟
- ۱۲- اگر ولتاژ  $100$  ولت را به دو سر یک مقاومت وصل کنیم و از مقاومت  $2 \text{ A}$  جریان بگذرد، مقدار مقاومت چه قدر است؟

### حفاظت و ایمنی در صنعت برق

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند:

- اثرات فیزیولوژیک برق بر بدن را شرح دهد.
- حدود ولتاژ برق خطرناک را بیان کند.
- عوارض برق‌گرفتگی را شرح دهد.
- کمک‌های اولیه در برق‌گرفتگی را توضیح دهد.
- اصول کار فیوز را توضیح دهد.
- اتصال زمین دستگاه‌های الکتریکی را شرح دهد.

#### ۱-۲- اثرات فیزیولوژیکی برق در بدن انسان

مقدار جریانی که ممکن است بدون هیچ‌گونه خطری از بدن انسان عبور کند، به ویژگی‌های جسمی شخص، دامنه‌ی جریان، نوع جریان، مسیر و طول مدت عبور جریان بستگی دارد. مقاومت الکتریکی بدن در صورتی که پوست سالم و خشک باشد، حدود ۱۳۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم است. مقاومت بدن در اثر رطوبت نیز کاهش می‌یابد. همچنین خراش، زخم و سوختگی می‌تواند باعث پایین آمدن مقاومت بدن شود.

جریان کم، حدود یک یا دو میلی‌آمپر، بی‌خطر است و امکان دارد تنها به‌صورت یک لرزش خفیف در بدن ظاهر شود. در جریان‌های بیش‌تر از ۱۰ تا ۱۵ میلی‌آمپر ممکن است شوک به‌صورت گذرا از سطح بدن عبور کند؛ اما در جریان‌های بالاتر این اثر به‌صورت گرفتگی ماهیچه نمایان می‌شود. جریان‌های بالاتر ایجاد درد شدید می‌کند؛ به‌طوری که در جریان حدود ۳۰ تا ۵۰ میلی‌آمپر درد غیرقابل تحمل است. البته حدود ۵۰ میلی‌آمپر به بالا کشنده است. در جدول ۱-۲ اثر جریان برق روی انسان در فرکانس ۵۰ هرتز نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- تأثیر جریان بر بدن انسان

شدت جریان به میلی آمپر	جریان متناوب ۵۰ تا ۶۰ هرترز	جریان دائم (مستقیم)
۱/۶ تا ۵/۱	احساس عبور جریان لرزش کم انگشتان دست	۱- در این محدوده جریانی احساس عارض نمی شود.
۲ تا ۳	لرزش شدید انگشتان دست	۲- در این محدوده جریانی احساس عارض نمی شود.
۵ تا ۷	تشنج دستها	۳- درد با خارش، احساس گرما
۸ تا ۱۰	دستها به سختی تکان می خورد، ولی می توان آنها را از الکترودها جدا نمود - درد شدید در انگشتان و مفاصل دستها - بی حسی دستها	۴- احساس شدید گرما
۱۱ تا ۱۲	تشنج عضلات تا شانها ادامه یافته، درد شدیدی احساس می شود. تماس با الکترودها را تا ۳۵ ثانیه می توان تحمل کرد.	۵- احساس شدید گرما
۱۳ تا ۱۴	رها کردن الکترودها با اشکال امکان دارد و تماس با الکترودها را تا ۱۵ ثانیه می توان تحمل کرد.	۶- احساس شدید گرما
۱۵	رها کردن الکترودها غیرممکن بوده و تعلق دستها به وجود می آید.	۷- احساس شدید گرما
۲۰ تا ۲۵	دستها ناگهان فلج می شود. الکترودها را می توان رها کرد، درد شدید عارض می شود و تنگی نفس به وجود می آید.	۸- احساس شدید گرما، انقباض کم عضلات، دست
۵۰ تا ۸۰	بند آمدن نفس - لرزش در بطنهای قلب	۹- احساس ازدیاد شدت گرما، انقباض عضلات، تشنج و سختی تنفس
۹۰ تا ۱۰۰	قطع تنفس که اگر بیش از سه ثانیه طول بکشد، قلب فلج شده حرکات بطنهای قلب قطع می شود.	۱۰- بند آمدن نفس

## ۲-۲- ولتاژ تماس خطرناک

در فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز جریانی که وارد بدن می‌شود تقریباً به طور یکسان در بدن تقسیم می‌گردد. حد ولتاژ خطرناک برای این که جریان از ۵۰ میلی‌آمپر بیش تر باشد ۶۵ ولت است. این ولتاژ برای حداقل مقاومت بدن (۱۳۰۰۰) محاسبه شده است:

$$U = RI = (13000) (0.5A) = 65V$$

از نظر نوع جریان، جریان متناوب به ویژه فرکانس ۵۰ هرتز از جریان مستقیم خطرناک تر است: در فرکانس‌های خیلی زیاد (از ۱۰ kHz بیشتر) جریان ورودی به بدن به سطوح خارجی محدود می‌شود و از قسمت‌های حساس داخل بدن عبور نمی‌کند.

## ۲-۳- عوارض ناشی از برق‌گرفتگی

برق‌گرفتگی ممکن است به یکی از صورت‌های زیر اتفاق بیفتد.

### ۲-۳-۱- شوک الکتریکی سطحی: در این حالت بدن شخص در مقابل جریان الکتریکی

واکنش نشان می‌دهد و به طور تصادفی از نقطه‌ی اتصال رها شده به سمت دیگر پرتاب می‌شود. احتمال مرگ در این حالت نسبتاً کم است؛ اما احتمال خطراتی نظیر شکستگی استخوان، زخمی شدن و سوختگی پوستی وجود دارد.

### ۲-۳-۲- شوک الکتریکی عمیق: در این حالت شخص به محل اتصال چسبیده قادر به

رها کردن آن نیست. اگر زمان عبور جریان از بدن طولانی شود، حتماً منجر به مرگ خواهد شد. با توجه به محل اتصال ممکن است جریان از مغز عبور کرده سلسله اعصاب را فلج کند یا از قلب بگذرد و آن را از حرکت بازدارد.

### ۲-۳-۳- مسیر عبور جریان الکتریکی از بدن: مسیر عبور جریان از بدن، یکی از نکات

مهم در برق‌گرفتگی است؛ زیرا ممکن است این مسیر از قلب و سیستم تنفسی یا از مغز بگذرد. علاوه بر مسیر، مقدار عبور جریان از قلب یا سیستم تنفسی و شدت برق‌گرفتگی به محل اتصال بستگی دارد. در جدول ۲-۲ مسیر عبور جریان الکتریکی و درصد جریانی که از قلب می‌گذرد نشان داده شده است.

جدول ۲-۲

درصد کل جریانی که از قلب می‌گذرد	مسیر عبور جریان الکتریکی
۳/۳٪	دست به دست
۳/۷٪	دست چپ به پاها
۶/۷٪	دست راست به پاها
۰/۴٪	پا به پا

## ۲-۴- کمک‌های اولیه به افراد برق‌گرفته

اگرچه صدمات خارجی برق‌زدگی (سوختگی) مهم است، ولی انسان از این اثرات کم‌تر دچار مرگ می‌شود. خطرات اساسی که مرگ را به‌دنبال دارد، در اثر تأثیرات داخلی و نفوذی الکتروسیسته در بدن است. به همین دلیل باید نکاتی که در این قسمت اشاره می‌شود، مورد توجه و دقت زیادی قرار گیرد. به‌خصوص افرادی که با جریان‌های برق سر و کار دارند ملزم به دانستن طرز جلوگیری از خطرات و روش‌های احیاء و تنفس مصنوعی مصدوم هستند.

برای کمک به شخص برق‌گرفته ابتدا در کمال خونسردی فوراً کلید اصلی برق را قطع کنید و اگر کلید برق در دسترس نبود به‌وسیله‌ی یک شیء عایق مانند چوب خشک، عامل برق‌دار را از بدن مصدوم جدا کنید. البته در این حالت ممکن است فرد مصدوم در حالت اغما باشد. اگر قلب و اعضای تنفسی شخص آسیبی ندیده باشد کافی است پنجره‌های محل را گشوده دگمه‌های لباس را برای تنفس راحت‌تر باز کنید؛ سپس کمی آمونیاک یا سرکه زیر بینی مصدوم بگیرید. اگر تنفس وی منقطع و ضربان قلب قطع شد، نشانه‌ی شوک الکتریکی است که فلج تنفسی یا فلج قلبی را به‌وجود آورده است. در این حالت یک مرگ لحظه‌ای اتفاق می‌افتد، ولی به احتمال زیاد می‌توان زندگی را دوباره به مصدوم بازگرداند. آمار نشان می‌دهد اگر در دقیقه‌ی اول به مصدوم کمک شود ۹۰٪ احتمال نجات او وجود دارد؛ اما پس از ۶ دقیقه ۱۰٪، پس از ۱۲ دقیقه احتمال بسیار کمی برای نجات مصدوم و ادامه‌ی زندگی او وجود خواهد داشت. پس از جداسازی مصدوم از عامل برق‌دار فوراً باید تنفس مصنوعی را آغاز کرد. البته قبل از آغاز تنفس مصنوعی باید به نکات زیر توجه شود:

— تمام البسه‌ی مصدوم را که موجب تنگی نفس می‌شود، باز یا پاره کرده یا از تن او بیرون آورید.

— دهان مصدوم را با وسیله‌ای مانند مداد یا قاشق به آهستگی باز کنید و این وسیله را بین دندان‌های شخص در کنج دهان قرار دهید.

— دهان مصدوم را از اشیای خارجی (دندان مصنوعی یا خوراکی) تمیز کنید و زبان را به سمت جلو بکشید؛ زیرا در موقع برق‌گرفتگی زبان به‌صورت یک گلوله در ته گلو جمع می‌شود و جلوی مجرای تنفسی را مسدود می‌کند. تنفس مصنوعی بستگی به تعداد کمک‌دهندگان دارد و عملیات آن به روش‌های زیر انجام می‌گیرد.

## ۲-۴-۱- روش‌های مختلف تنفس مصنوعی

**الف) روش شیفر (کمک یا نفری):** در این حالت مصدوم را روی شکم بخوابانید و طوری روی زانوئ او بنشینید که بتوانید دست‌های خود را به‌راحتی زیر ستون فقرات در کنار بدن مصدوم

قرار دهید. سپس به طور متوالی (نسبت به تنفس خود) به دیافراگم قلب فشار آورید و رها کنید تا بدین وسیله قلب تحریک شود و شروع به حرکت کند. این عمل باعث تجدید تنفس می‌شود.

ب) روش سیلوستر (کمک دو نفره): اگر تعداد کمک‌دهندگان بیش از یک نفر باشد، در این روش مصدوم را به پشت بخوابانید و زیر شانه‌ی او لباس یا پتو قرار دهید، به طوری که سر به سمت پشت بیفتد و سینه رو به بالا قرار گیرد. سپس دست‌های مصدوم را بگیرید و تا آرنج در کنار بدن وی بیندید و به آن فشار آورید. فرد کمکی باید زبان مصدوم را بگیرد و به آهستگی به طرف چانه بکشد. برای جلوگیری از ورود کف و احتمالاً استفراغ به مجاری تنفسی باید سر مصدوم به یک طرف چرخانده شده باشد. در هر دو حالت تعداد حرکات عیناً مثل تنفس انسان (۱۵ تا ۳۰ مرتبه در دقیقه) است. عمل تنفس مصنوعی ممکن است چند ساعت طول بکشد.

در موقع تنفس مصنوعی باید مواظب باشید که به قفسه‌ی سینه مصدوم بیش از حد فشار وارد نشود؛ زیرا در اثر فشار زیاد ممکن است استخوان‌های قفسه‌ی سینه صدمه ببیند. در روش اول سعی شود که به معده‌ی مصدوم فشار زیاد وارد نشود؛ زیرا ممکن است درون معده را بالا آورده و جلوی ورود هوا به ریه را مسدود کند. همچنین در روش دوم ممکن است حرکات تند دست‌های مصدوم باعث شکستگی یا دررفتگی استخوان شود.

در هنگام تنفس مصنوعی باید سعی کرد که بدن مصدوم حرارت خود را حفظ کند. برای این کار باید او را با وسیله‌ای گرم پوشاند و روی پاها و بدن شخص کیسه‌ی آب گرم قرار داد. این عمل باید همراه با تنفس مصنوعی و بدون قطع آن انجام شود. شکل ۱-۲ روش سیلوستر در تنفس مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲

پ) روش دهان به دهان: این روش که از اهمیت بیش تری برخوردار است، به این ترتیب اجرا می شود که: ابتدا مصدوم را به پشت خوابانده دگمه های لباس و یقه ی او را باز کنید؛ سپس بینی مصدوم را با یک دست بگیرید و با دست دیگر چانه ی او را طوری نگاه دارید که سر به سمت عقب زاویه پیدا کند. در این حالت به عنوان عمل کننده، دهان خود را به دهان مصدوم بگذارید و ریه ی او را از هوا پر کنید. هنگام دمیدن هوا بینی شخص را محکم به حالت بسته نگاه دارید و در موقع بازدم برای این که هوای وارد شده از ریه ی مصدوم خارج شود، بینی را رها کنید و به آرامی به قفسه ی سینه اش فشار آورید. این عمل آن قدر تکرار می شود تا مصدوم بتواند تنفس کند. تناوب دم و بازدم باید با تنفس شخص کمک دهنده هم زمان باشد.

یکی دیگر از نکات مؤثر در این نوع تنفس مصنوعی ماساژ دادن قلب شخص در لحظه ای است که هوای داخل ریه خارج می شود. معمولاً پس از هر چهار تا پنج دقیقه تنفس مصنوعی، اگر حرکتی مشاهده شد مبنی بر این که مصدوم می تواند تنفس کند برای ۱۵ تا ۲۰ ثانیه تنفس مصنوعی را قطع کنید. در صورتی که مصدوم بتواند تنفس کند، ولی تعداد تنفس های او کم تر از حد طبیعی باشد باید به کار خود ادامه دهید. باید توجه داشت که مصدوم را چه قبل از تنفس مصنوعی و چه بعد از آن تا رسیدن پزشک جابه جا نکنید و او را گرم نگه دارید. در صورت موجود بودن کپسول اکسیژن و نیاز به آن تنها هنگام حضور پزشک آن را مورد استفاده قرار دهید. شکل ۲-۲ روش دهان به دهان را نشان می دهد.



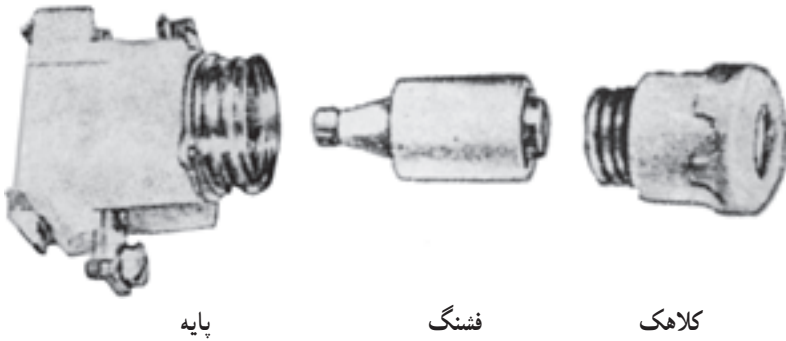
شکل ۲-۲- روش دهان به دهان

## ۲-۵- ساختمان و اصول کار فیوزها

فیوزها وسایل حفاظتی هستند که در مدار الکتریکی به طور سری قرار می گیرند و مصرف کننده را در مقابل عبور جریان اضافی حفاظت می کنند. اگر جریان بیش از جریان مجاز فیوز باشد، سیم

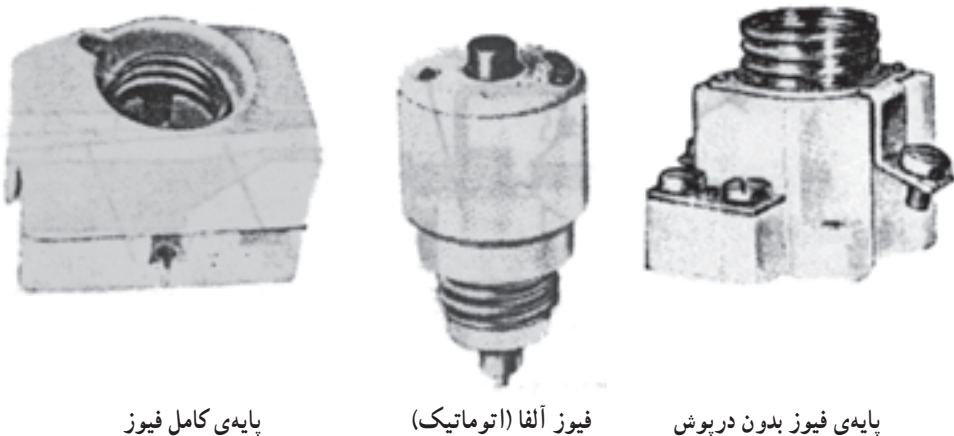
داخل فیوز ذوب و فیوز قطع می‌شود. فیوزها انواع مختلفی دارند که در زیر، درباره‌ی هر یک توضیح داده می‌شود.

۲-۵-۱- فیوز ذوب‌شونده: فیوز ذوب‌شونده یا فشنگی از سه قسمت اصلی کلاهک، فشنگ و پایه تشکیل می‌شود. شکل ۲-۳ این سه قسمت را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳

۲-۵-۲- فیوز اتوماتیک: این نوع فیوز از دو عنصر حرارتی و مغناطیسی تشکیل شده است. اگر از مدار جریان زیادی بگذرد، دگمه‌ی فشاری بالای فیوز به سمت بیرون می‌پرد و مدار قطع می‌شود. برای اتصال مجدد کافی است که پس از چند لحظه با فشاری دگمه فیوز به داخل رانده شود. شکل ۲-۴ این فیوز را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴



۲-۵-۳- کلید فیوز مینیاتوری: ساختمان و کاربرد این نوع فیوزها شبیه فیوز اتوماتیک است. شکل ۲-۵ این نوع فیوز را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵

## ۲-۶- اتصال زمین (سیم ارت)

یکی از موارد بسیار مهمی که در تأمین سیستم‌های حفاظتی اشخاص و دستگاه‌های الکتریکی به کار می‌رود، استفاده از اتصال زمین است.

اتصال زمین باعث جلوگیری از خطرات برق‌گرفتگی کارگران در کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و همچنین ساکنان منازل می‌شود. یک سیستم حفاظت در مقابل صاعقه در شبکه‌ها و تأسیسات الکتریکی، دکل‌ها، برج‌های فلزی، آنتن‌ها و حتی ساختمان‌های مسکونی بزرگ نیز می‌تواند توسط اتصال زمین ایجاد شود. به‌طور کلی اتصال زمین حفاظتی عبارت است از اتصال دادن قسمت‌های فلزی دستگاه‌های الکتریکی به زمین که در کار اصلی دستگاه‌ها دخالت ندارند و از ولتاژ  $110^\circ$  ولت به بالا استفاده از آن جزء موارد اجباری نیز محسوب می‌شود. به همین جهت سیم‌کشی وسایل یک فاز سه سیمه و انشعاب‌های سه فاز چهارسیمه هستند. باید توجه داشت که سیم صفر یا نول در دستگاه‌های سه‌فاز غیر از سیم اتصال زمین است.

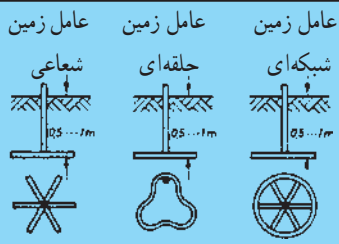
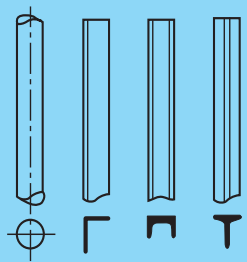
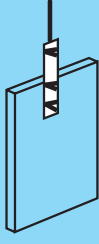
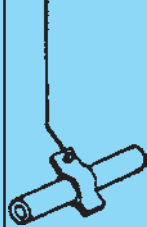
## ۲-۶-۱- روش‌های ایجاد یک سیستم اتصال زمین

الف) استفاده از صفحات فلزی قلع‌اندود در عمق زمین: کاربرد صفحات فلزی به دلیل مقاومت بیش‌تر نسبت به دو حالت بعدی (نوار فلزی و روکش شده) کم‌تر است.

ب) استفاده از نوارهای تاییده شده‌ی مسی در مکان‌هایی که دستیابی به عمق زمین به علت سختی آن غیرممکن یا سخت است.

پ) قرار دادن میله‌ها یا لوله‌های مسی یا فولادی قلع اندود شده به شکل‌های شبکه‌ای، حلقه‌ای یا شعاعی (شکل ۲-۶).

۲-۶-۲- مقاومت اتصال زمین: پس از احداث چاه اتصال زمین لازم است ابتدا مقاومت زمین اندازه‌گیری شود. مقدار این مقاومت معمولاً نباید از ۴ اهم بیش‌تر باشد. به جهت اطمینان خاطر هر چند ماه یک‌بار باید مقاومت زمین اندازه‌گیری شود. معمولاً برای کاهش مقاومت زمین، در چاه اتصال زمین همراه خاک درصدی براده‌ی مس، زغال و نمک اضافه می‌کنند. سیم خارج شده از چاه یا عامل اتصال زمین باید وارد تابلوی اصلی مصرف شود و از آن‌جا به وسیله‌ی سیم اتصال بدنه به کلیه‌ی مصرف‌کننده‌ها متصل گردد. شکل ۲-۶ انواع این عوامل اتصال زمین را نشان می‌دهد.

عوامل زمین نواری	عوامل زمین لوله‌ای	عوامل زمین صفحه‌ای	شبکه‌ی لوله‌کشی آب
 <p>عوامل زمین شعاعی</p> <p>عوامل زمین حلقه‌ای</p> <p>عوامل زمین شبکه‌ای</p> <p>نوار تسمه‌ی فولادی با مقطع <math>10^\circ</math> میلی‌متر مربع و <math>3</math> میلی‌متر ضخامت. سیم تابیده‌ی اتصال به زمین (که از رشته‌های خیلی نازک نیست) <math>95</math> میلی‌متر مربع. در صورتی که نوار مسی به کار رود مقطع آن <math>50^\circ</math> میلی‌متر مربع و ضخامت <math>2</math> میلی‌متر و سیم اتصال به زمین از مس <math>35</math> میلی‌متر مربع (که رشته‌های آن خیلی نازک می‌باشد).</p>	 <p>لوله‌ی مسی <math>2 \times 30</math></p> <p>یا فولاد <math>2 \times 100</math></p> <p><math>65 \times 65 \times 7</math></p> <p>U.St6 <math>1/2</math></p> <p>T.St6</p>	 <p>ورق فولاد به ضخامت <math>3</math></p> <p>ورق مسی به ضخامت <math>2</math></p>	 <p>در مورد جریان مستقیم مجاز نیست اجرای اتصال بر طبق VDE0190</p>

شکل ۲-۶- انواع عوامل اتصال زمین

## پرسش

- ۱- جریان و ولتاژ مجاز در مقابل خطر برق‌گرفتگی چه قدر است؟
- ۲- حدود مقاومت بدن انسان چه قدر است؟
- ۳- خطرناک‌ترین مسیر عبور جریان برق از بدن کدام مسیر است؟
- ۴- روش‌های مختلف تنفس مصنوعی برای یک شخص برق‌گرفته را شرح دهید.
- ۵- فیوزها در مدارهای الکتریکی چه نقشی دارند؟
- ۶- اتصال زمین چه نقشی در سیستم حفاظتی دستگاه‌های الکتریکی دارد؟
- ۷- سیستم اتصال زمین را شرح دهید.
- ۸- حداکثر مقاومت اتصال زمین چند اهم است؟