

مبانی مهندسی برق

رشته مهندسی مواد

دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مراغه

ترم اول 1401-1402

۱- تاریخچه



شکل ۱-۱- کهربا

الکتریسیته پدیده‌ای است که دیده نمی‌شود. ولی قادر است پدیده‌های فیزیکی بسیاری مانند: حرارت، روشنایی، حرکت، مغناطیس و ... را به وجود می‌آورد.

الکتریسیته دو هزار سال پیش توسط یونانی‌ها کشف شد. آن‌ها در آن زمان پی بردند وقتی یک کهربا^۱ به جسم دیگری مالش داده می‌شود، نیروی مرموز و خاصی در آن به وجود می‌آید که قادر است اجسامی مانند: برگ خشک و یا براده‌های چوب و ... را جذب کند. (شکل ۱-۱)

در ابتدا تمام اجسامی که مانند کهربا عمل می‌کردند «الکتریک» نام گرفتند. بعدها دریافتند که تعدادی از اجسام پس از مالش، یکدیگر را جذب و برخی دیگر یکدیگر را دفع می‌کنند. (شکل ۱-۲)

فرانکلین در اواسط سالهای ۱۷۰۰ میلادی این دو نوع

الکتریسیته را که در دو جسم با جنس مختلف به وجود

می‌آید، الکتریسیته «مثبت» و «منفی» نامگذاری کرد.

ساختمان اتم هر عنصر از دو قسمت تشکیل شده است:

الف - هسته

ب - مدارهای الکترونی

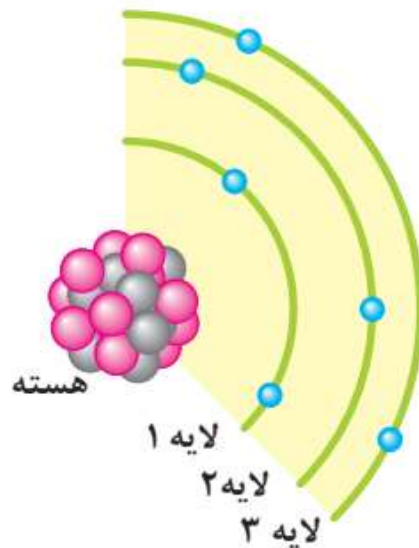
هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام های پروتون^۱ (بار مثبت P^+) و نوترون^۲ (بدون بار N^0) تشکیل شده است. (شکل ۱-۶)

بر روی مدارهای الکترونی ذراتی به نام الکترون^۱ (با بار منفی e^-) قرار دارند. شکل ۱-۷ قسمتی از یک اتم را نشان می دهد.

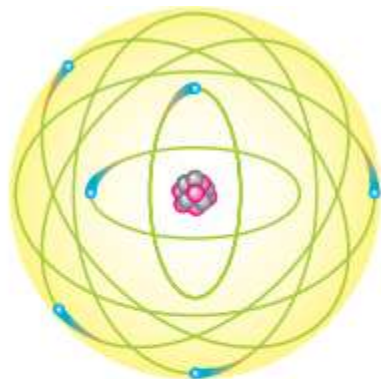


پروتون P^+
نوترون N^0

شکل ۱-۶- ذرات پروتون و نوترون



شکل ۱-۷- نحوه قرار گرفتن اتم ها روی مدارها و پروتون و نوترون در هسته

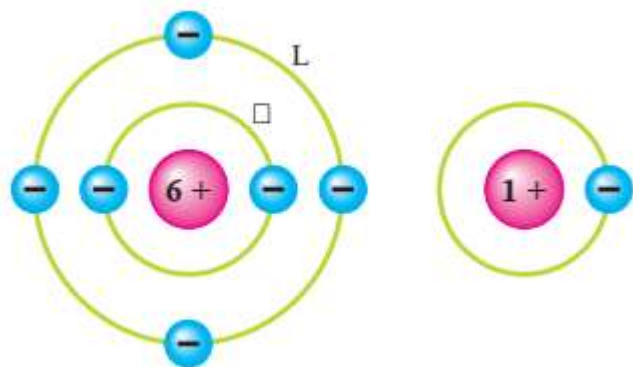


نوترون ● پروتون ● الکترون ●

شکل ۸-۱- مدل اتمی

مدل اتمی عناصر مانند منظومه بسیار کوچک خورشیدی است که هسته اتم مانند خورشید و الکترون‌ها مانند سیارات بر روی مدارهایی حول هسته می‌چرخند. (شکل ۸-۱)

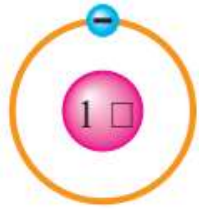
مدار خارجی هر اتم را در اصطلاح «لایه والانس» و الکترون‌های روی این مدار را «الکترون‌های والانس» یا «الکترون‌های ظرفیت» می‌نامند. (شکل ۹-۱)



تعداد الکترون‌های مدار والانس هر اتمی همیشه بین ۱ تا ۸ الکترون است. تعداد این الکترون‌ها نشان دهنده ظرفیت آن اتم است. (شکل ۱۱-۱)

الف- اتم هیدروژن با ظرفیت ۱ ب- اتم کربن با ظرفیت ۴

شکل ۱۱-۱- تعداد الکترون‌های مدار ظرفیت دو اتم مختلف



۱ الکترون، ۱ پروتون

پروتون دارای بار مثبت و در هسته اتم قرار دارد. (شکل ۱۲-۱)

نوترون بدون بار بوده و در هسته اتم قرار دارد. (شکل ۱۲-۱)

الکترون دارای بار منفی است و روی مدارهای اطراف هسته می چرخد. (شکل ۱۳-۱)

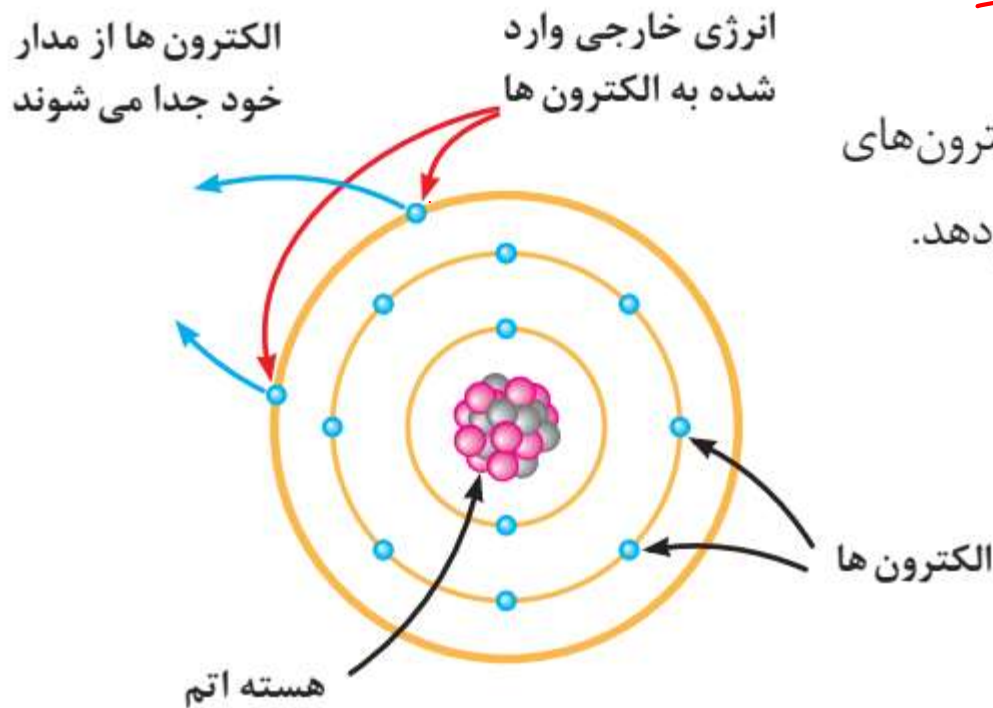
در شرایط عادی تعداد الکترون ها و پروتون های هر اتم با هم برابرند.

بنابراین بارهای مخالف الکترون و پروتون همدیگر را خنثی و جمع جبری بارهای مثبت و منفی یک اتم در حالت تعادلی صفر است. این یعنی یک اتم در حالت عادی بی بار است.

۱-۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی

برای تولید جریان الکتریکی لازم است که الکترون‌های والانس از اتم جدا و آزاد شوند. چون الکترون‌های مدار آخر نسبت به هسته اتم دورتر است لذا نیروی جاذبه کمتری از طرف هسته روی آن‌ها اثر می‌کند و بنابراین با وارد کردن مقدار کمی انرژی می‌توانند از مدار خود جدا شوند و به محل دیگری انتقال یابند.

شکل ۱-۱۶ نحوه وارد شدن انرژی به الکترون‌های والانس و جدا شدن آن‌ها از مدار خود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۶- وضعیت قرارگیری اتم‌ها روی مدارها و چگونگی وارد شدن انرژی خارجی

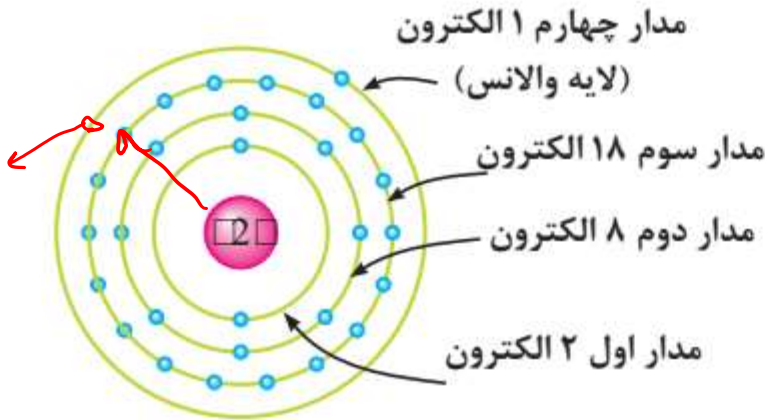
۲- هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه هادی‌ها

در مباحث الکتریسیته تعداد الکترون‌های مدار والانس اتم‌ها اهمیت دارد. زیرا براساس آن‌ها مواد را از نظر هدایت الکتریکی به سه گروه تقسیم می‌کنند.

۶۵

۲-۱- هادی‌ها *Conductive*

موادی را که الکترون‌های مدار والانس آن‌ها به راحتی آزاد می‌شود «هادی» یا «رسانا» می‌نامند. تعداد الکترون‌های والانس این مواد معمولاً ۱، ۲ یا ۳ الکترون است. (شکل ۲-۱)



شکل ۲-۱- ساختمان اتمی عنصر مس

در یک هادی، الکترون‌ها به راحتی از یک اتم به اتم

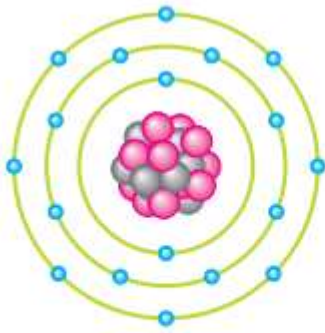
دیگر منتقل می‌شود. این عبارت را می‌توان به عنوان تعریف دیگری برای هادی در نظر گرفت.

از هادی‌های خوب می‌توان نقره، مس، طلا و آلومینیوم

را نام برد. در صنعت برق از سیم‌های مسی و آلومینیومی

استفاده می‌شود زیرا این عناصر فراوان و مقرون به صرفه

هستند.



شکل ۲-۴- ساختمان اتمی یک عنصر عایق

۲-۲- عایق‌ها *Insulation*

به موادی که الکترون‌های مدار والانس آن‌ها تمایل به ماندن در مدار خود را دارند و به راحتی جدا نمی‌شوند «عایق» یا «دی‌الکتریک» می‌گویند. این مواد در مدار والانس خود ۵، ۶، ۷ یا ۸ الکترون دارند. (شکل ۲-۴)

عایق‌های خوب^۱ می‌توانند شیشه، کاغذ، پلاستیک، هوا و میکا را نام برد. (شکل ۲-۵)



میکا

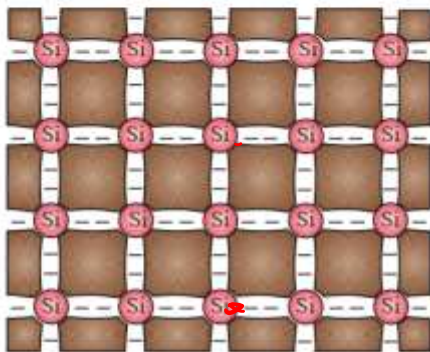
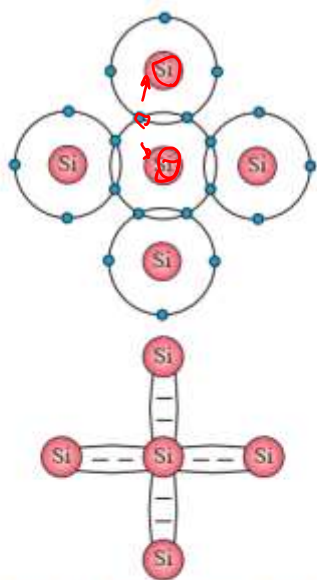
۳-۲- نیمه هادی ها *Semi-conductors*

موادی که از نظر آزاد کردن الکترون والانس در حد فاصل عایق ها و هادی ها قرار دارند «نیمه هادی»^۲ نامیده می شوند.

تعداد الکترون های والانس نیمه هادی ها معمولاً ۴ الکترون است. (شکل ۷-۲)

در شرایط عادی نیمه هادی ها تمایلی به دریافت کردن و یا از دست دادن الکترون والانس ندارند. اما در صورتی که انرژی خارجی به آن داده شود، می توانند الکترون آزاد کنند.

از نیمه هادی ها که در الکتريسته کاربرد دارند می توان ژرمانیم (Ge) و سیلیسیم (Si) را نام برد. نحوه قرار گرفتن اتم های نیمه هادی ها در کنار هم به صورت اشتراکی است. از اشتراک الکترون های والانس در نیمه هادی ها شبکه ای به وجود می آید که آن را در اصطلاح «شبکه کریستالی» گویند.



شکل ۹-۲- شبکه اشتراکی اتم های نیمه هادی

شکل ۹-۲ شبکه کریستالی و پیوند بین اتم های سیلیسیم را نشان می دهد. نیمه هادی ها از نظر الکتریکی خنثی هستند. برای اینکه بتوانیم میزان هدایت نیمه هادی ها را افزایش دهیم باید آن ها را با مواد دیگری ترکیب کنیم. عمل ترکیب نیمه هادی با عنصری دیگر را «ناخالص کردن» نیمه هادی می نامیم.

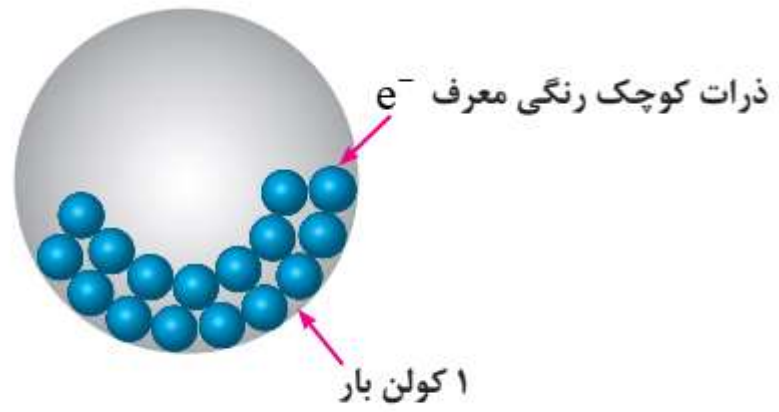
۴-۲- بار الکتریکی و اتم باردار:

همان گونه که اشاره شد عناصر می توانند به واسطه وارد شدن انرژی به لایه آخرشان دارای الکترون اضافی شده و یا الکترون والانس خود را از دست بدهند.

اصطلاحاً به عنصری که الکترون هایی از دست داده و یا گرفته «عنصر باردار» و به اتم های آن «اتم باردار» یا «یون» گفته می شود. از آنجایی که بررسی تعداد الکترون های دریافتی و یا از دست داده اتم ها در الکتریسیته کاربرد داشته دانشمندان مختلفی به بررسی اثرات ذرات باردار بر هم پرداخته اند که از جمله آن ها می توان به «کولن» اشاره کرد. وی تحقیقات زیادی پیرامون بارهای الکتریکی داشته به همین خاطر به احترام وی واحد بار الکتریکی (q) بر حسب کولن (C) نامگذاری شده است.

هر کولن بار الکتریکی معادل $6/28 \times 10^{18}$ الکترون

است. یعنی:



شکل ۱۴-۲

کولن نتیجه تحقیقات خود را تحت عنوان قانونی به نام

«قانون کولن» بیان کرد.

۵-۲- قانون کولن:

همان طوری که در فصول قبل اشاره شد دو جسم (دو ذره) باردار با بارهای هم نام یکدیگر را دفع و با بارهای غیرهم نام یکدیگر را جذب می کنند.

کولن بر پایه انجام آزمایش های زیاد با اجسام باردار نتیجه گرفت که نیروهای جاذبه و دافعه میان بارها از قانون خاصی پیروی می کنند. امروزه این قانون را به نام «قانون کولن» می شناسیم. این قانون بیان می کند:

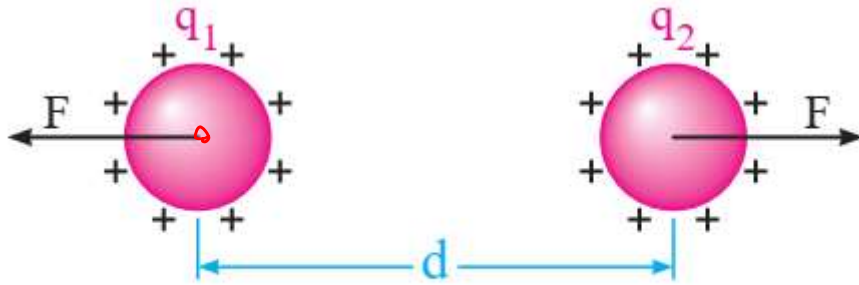
$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

q_1 و q_2 - مقدار بارهای الکتریکی بر حسب کولن [C]

d - فاصله بین دو بار بر حسب متر [m]

k - ضریب ثابت که تقریباً برابر 9×10^9 بر حسب $\frac{N.m^2}{C^2}$

F - نیروی بین دو جسم باردار بر حسب نیوتن [N]



شکل ۱۵-۲

مثال: اندازه نیروی بین دو بار 0.02 [C] و 0.05 [C] که
 در فاصله 2 متر از یکدیگر قرار گرفته اند چند نیوتن است؟
50mc *20mc* *2m*

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{0.02 \times 0.05}{(2)^2} = \frac{9 \times 10^5}{4}$$

$$F = 22.5 \text{ [N]}$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2} \Rightarrow d^2 = k \frac{q_1 q_2}{F}$$

$$d = \sqrt{\frac{kq_1 q_2}{F}} = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 0.05 \times 0.04}{5}}$$

$$d = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-2} \times 4 \times 10^{-2}}{5}} = \sqrt{\frac{18 \times 10^4}{5}}$$

$$d = \sqrt{36 \times 10^4} = 6 \times 10^2 \text{ [m]}$$

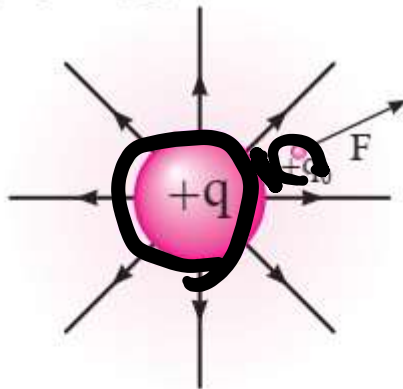
مثال: هرگاه نیروی بین دو جسم باردار 0.05 و 0.0004 کولنی برابر 5 نیوتن باشد فاصله بین این دو بار چند متر است؟
d

✓ ۶-۲ - میدان الکتریکی

هرگاه یک جسم باردار در فضای اطراف یک جسم باردار قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرو وارد می شود این ناحیه که چنین خاصیتی دارد یک «میدان الکتریکی» است. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتی می توان گفت میدان الکتریکی وجود دارد که به بار الکتریکی واقع در آن ناحیه یک نیروی الکتریکی وارد می شود. شکل (۱۶-۲)

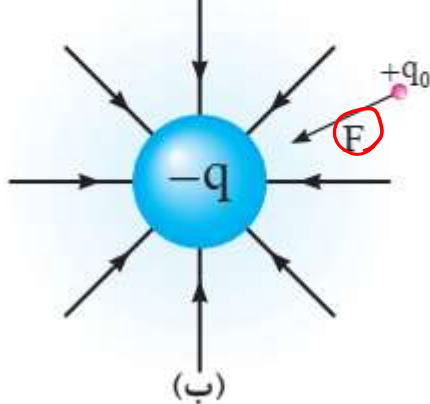
برای سنجش وجود میدان الکتریکی و تعیین اندازه آن از یک بار مثبت و کوچک به نام «بار آزمون - q_0 » استفاده می شود که مقدار آن برابر واحد (یک) است. در شکل های (الف - ۱۷-۲) و (ب - ۱۷-۲) وضعیت خطوط نیروی وارد به بار آزمون برای هر دو بار هم نام و هم چنین دو بار غیر هم نام نشان داده شده است. هر خط نیرو نشان دهنده مسیری است که بار آزمون واقع در میدان الکتریکی تحت اثر نیروی ناشی از میدان طی می کند.

خط نیروی الکتریکی



(الف)

خط نیروی الکتریکی



(ب)

شکل ۱۷-۲ - میدان الکتریکی اطراف
یک کره باردار در فضا

بنا به تعریف نیروی وارد بر بار الکتریکی آزمون (مثبت) در هر نقطه از میدان را **شدت میدان الکتریکی** در آن نقطه می نامیم و مقدار آن به صورت مقابل محاسبه می شود.

$$E = \frac{F}{q_0}$$

F - نیروی وارد بر بار آزمون بر حسب نیوتن [N]
 q₀ - اندازه بار آزمون بر حسب کولن [C] (مقدار آن می تواند غیر یک باشد)

E - **شدت میدان الکتریکی** بر حسب نیوتن بر کولن [$\frac{N}{C}$]

مثال: بار الکتریکی **۴ کولنی** در یک میدان الکتریکی تحت تأثیر نیروی **۱۶ نیوتن** قرار می گیرد اندازه **شدت میدان الکتریکی** آن چقدر است؟

$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{16}{4} = 4 \left[\frac{N}{C} \right]$$

۷-۲- میدان الکتریکی یکنواخت

در صورتی که نیاز به ایجاد میدان الکتریکی باشد می توانیم با اتصال دو صفحه فلزی که مطابق شکل (۱۸-۲) مقابل یکدیگر قرار گرفته اند به دو قطب یک باتری متصل کرد. میدان الکتریکی که تحت این شرایط بوجود می آید چون دارای اندازه و جهت ثابت است «میدان الکتریکی یکنواخت» گفته می شود.

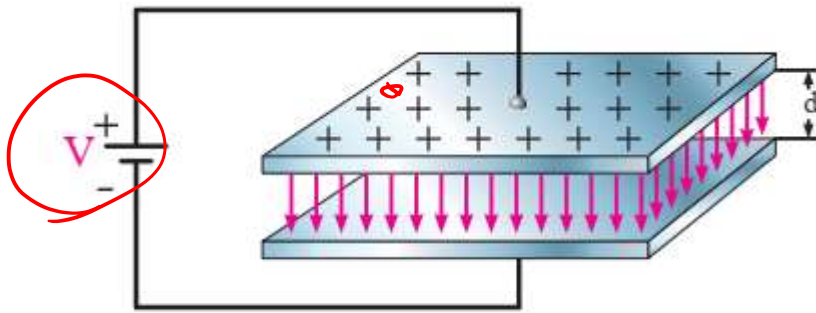
اندازه شدت میدان الکتریکی یکنواخت را از رابطه مقابل می توان بدست آورد:

$$E = \frac{V}{d}$$

V - ولتاژ باتری اتصال داده به دو صفحه بر حسب ولت [v]

d - فاصله بین دو صفحه بر حسب متر [m]

E - شدت میدان الکتریکی بر حسب $\frac{\text{ولت}}{\text{متر}} \left[\frac{V}{m} \right]$



شکل ۱۸-۲

مثال: شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه موازی که با

فاصله ۴ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته اند و مشابه شکل

(۱۹-۲) به ولتاژ ۱۰ ولت متصل شده چقدر است؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10}{4 \times 10^{-2}} = \frac{10^2}{4} = 250 \left[\frac{V}{m} \right]$$

مثال: فاصله بین دو صفحه موازی که به ولتاژ ۲۰ ولت

وصل شده اند چند متر باشد تا شدت میدان الکتریکی بین

دو صفحه ۴۰ ولت بر متر باشد.

$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow d = \frac{V}{E}$$

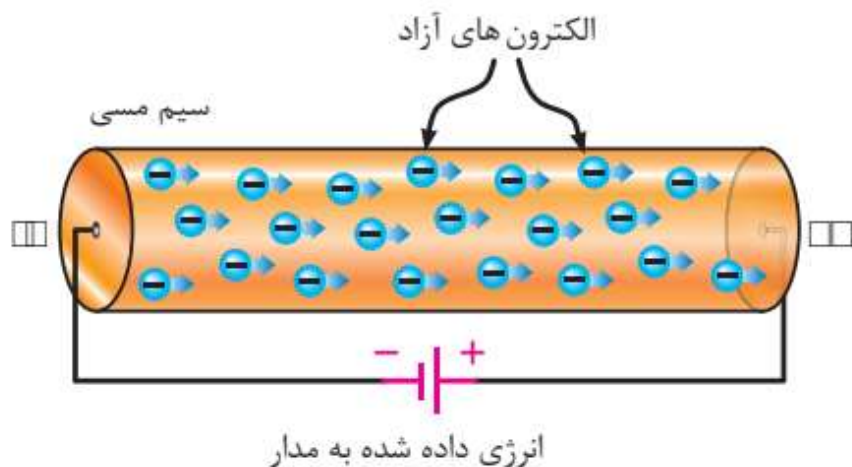
$$d = \frac{20}{40} = \frac{1}{2} = 0.5 [m]$$

۱-۳- شدت جریان^۱ Electric current

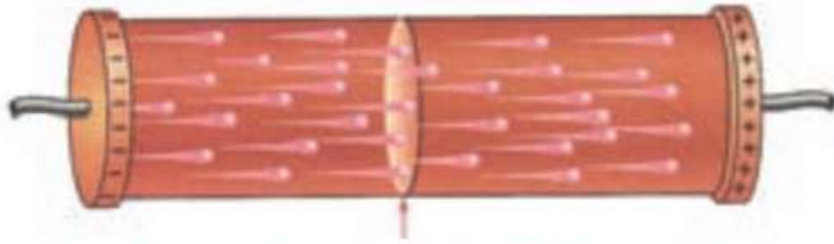
چنانچه بخواهیم از انرژی الکتریکی برای انجام کاری استفاده کنیم می بایست الکتریسیته تولید شده را به حرکت درآوریم و در مدار جاری کنیم. به عبارت دیگر اگر بتوانیم با دادن انرژی به مدار والانس یک اتم، الکترون های آن را آزاد کنیم و در یک مسیر حرکت دهیم «جریان الکتریکی» به وجود می آید.

انرژی الکترون های آزادی که در یک جهت هستند با هم جمع می شوند و انرژی آزاد شده بیشتری را برای انجام کار در اختیار ما قرار می دهند. تعداد الکترون هایی که انرژی هم جهت دارند میزان شدت جریان الکتریکی را تعیین می کنند. (شکل ۱-۳)

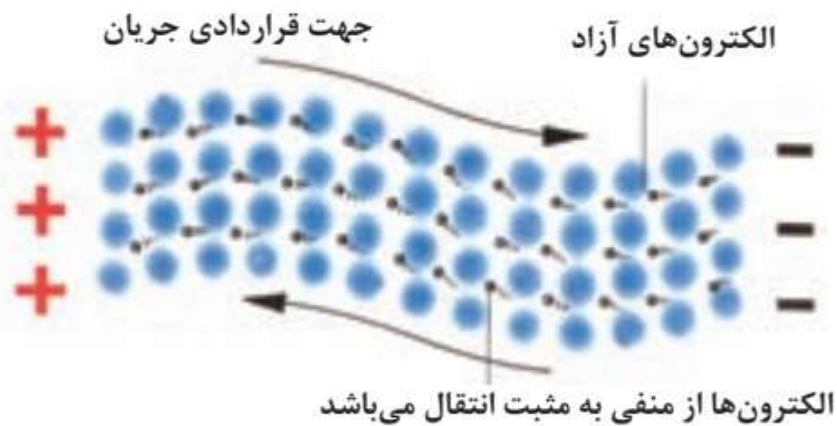
۶۵



شکل ۱-۳- میزان جریان الکتریکی از مجموع انرژی الکترون هایی که انرژی آن ها در یک جهت است، به وجود می آید.



شکل ۲-۳- عبور بار الکتریکی از یک نقطه سیم در طی زمان معین را جریان الکتریکی می نامند.



شکل ۳-۳- جهت حرکت اصلی و قراردادی جریان الکتریکی

شدت جریان الکتریکی را با حرف (I) نشان می دهند. بنا به تعریف مقدار بار الکتریکی (الکترون های آزاد) که از یک نقطه سیم در طی مدت زمانی معین عبور می کند «شدت جریان الکتریکی» می نامند. (شکل ۲-۳)

اگر بار الکتریکی را با q (بر حسب کولن C)، زمان را با t (بر حسب ثانیه S) نشان دهیم شدت جریان I (بر حسب آمپر A) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

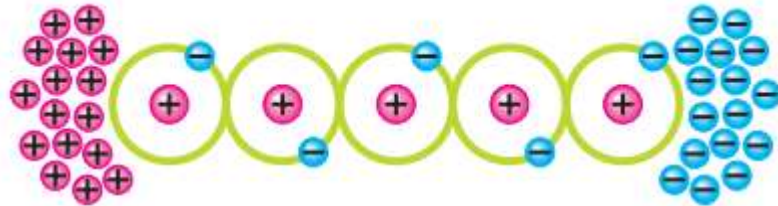
$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow \text{آمپر (A)} = \frac{\text{کولن (C)}}{\text{ثانیه (S)}}$$

چون عامل به وجود آمدن جریان الکتریکی، حرکت الکترون هاست و این ذرات دارای بار منفی هستند، لذا جهت حرکت واقعی الکترون ها از قطب منفی به سمت قطب مثبت است ولی براساس قرارداد، جهت جریان الکتریکی را در مدارها از قطب مثبت به سمت قطع منفی در نظر می گیرند.

مثال: اگر باری برابر با ۶ کولن در طی مدت ۳ ثانیه از سیمی مطابق شکل ۳-۵ عبور کند، چند آمپر جریان در مدار جاری شده است؟

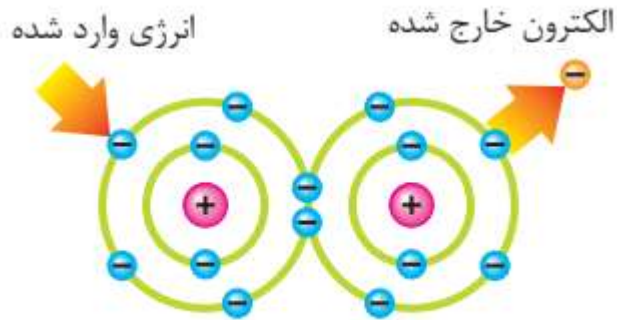
$$I = \frac{q}{t} = \frac{6}{3} = 2 \text{ [A]}$$

حل:



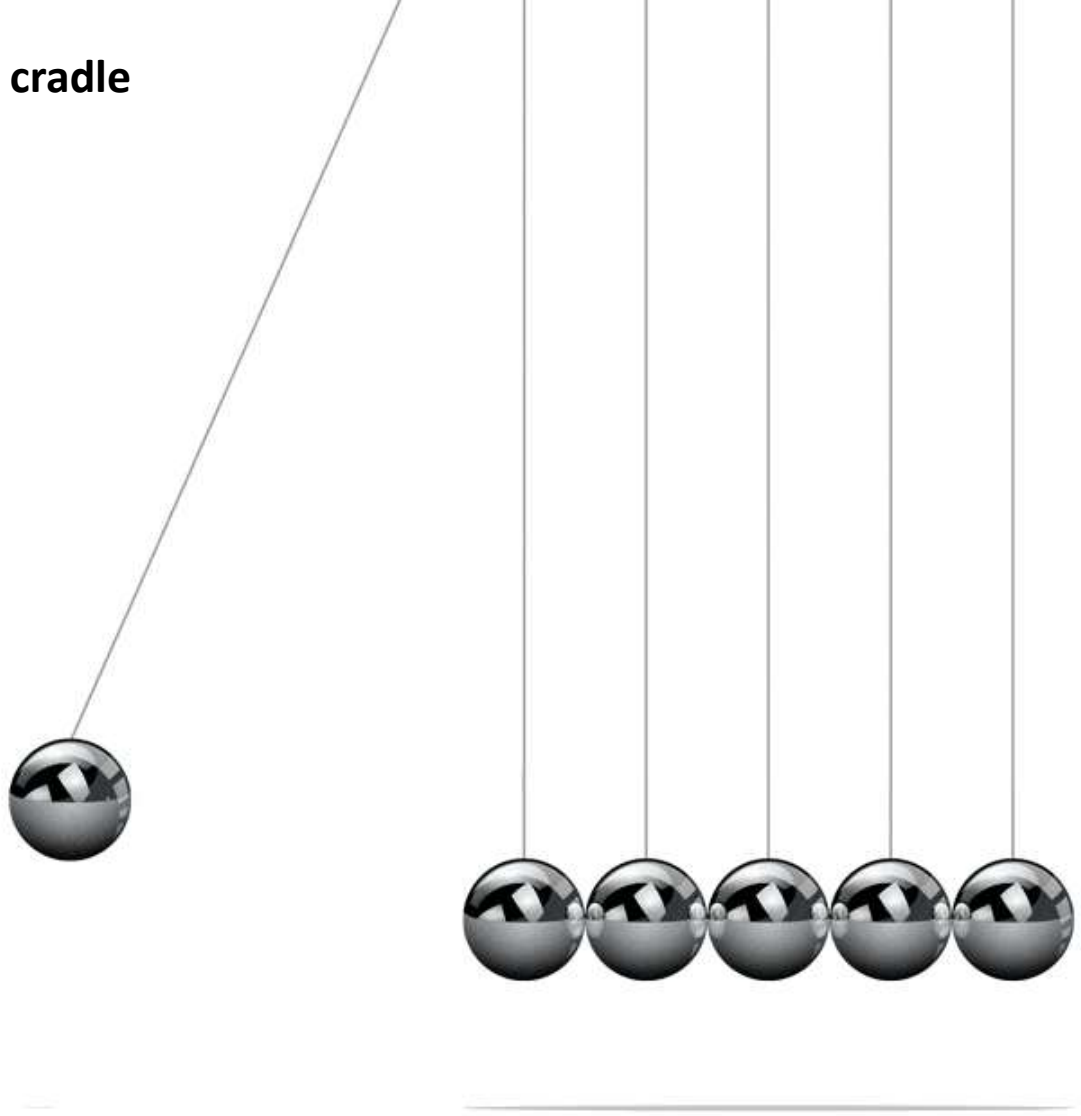
شکل ۳-۶- حرکت الکترون ها از سمت پتانسیل مثبت به سمت پتانسیل منفی است

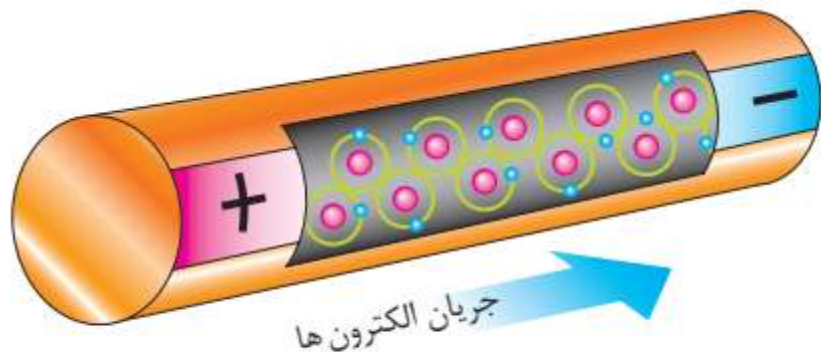
حرکت الکترون های آزاد در درون سیم به صورت «ضربه ای» صورت می گیرد. یعنی در مدارهای والانس، الکترون ها با یکدیگر برخورد می کنند و از اتمی به اتم دیگر منتقل می شوند. سرعت این ضربه ها در حدود سرعت سیر نور (۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) است. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۷- جابه جایی الکترون در اثر انرژی

newton cradle





شکل ۳-۸- نمایشی از ضربه های انرژی به الکترون ها

ضربه های انرژی که از یک الکترون به الکترون دیگر برخورد می کند و باعث جابه جایی آن می شود را در اصطلاح جریان الکتریکی می نامند. در شکل ۳-۸ ضربه های انرژی وارد شده به الکترون ها را مشاهده می کنید.



شکل ۳-۹- شکل ظاهری یک نمونه آمپر متر

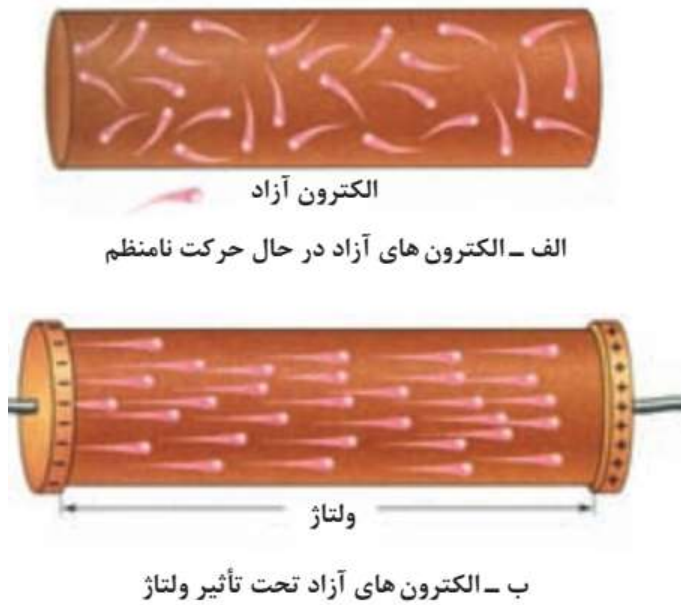
در مدارهای الکتریکی برای اندازه گیری جریان از وسیله ای به نام آمپر متر که علامت اختصاری آن A است، استفاده می شود. شکل ۳-۹ تصویر یک نمونه آمپر متر را نشان می دهد.

۲-۳- اختلاف سطح الکتریکی و چگونگی ایجاد آن به وسیله انرژی های مختلف

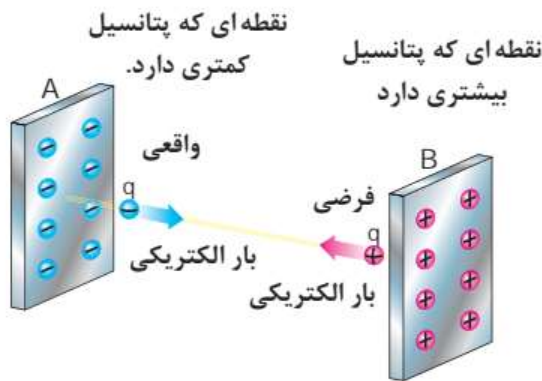
همان طوری که می دانید برای انجام کار باید انرژی الکتریکی در حال حرکت باشد. نیرویی را که باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می شود «نیروی محرکه الکتریکی یا EMF^۱» می نامند. بنا به تعریف هر بار الکتریکی که بتواند بار الکتریکی دیگری را با عمل جذب یا دفع به حرکت درآورد کاری انجام می شود. لذا به نیروی محرکه ای که بتواند بار الکتریکی را به حرکت درآورد «پتانسیل الکتریکی» می گویند. (شکل ۱۲-۳)

«پتانسیل» یا «ولتاژ» به اختصار، توانایی انجام کار نیز نامیده می شود.

وقتی دو بار غیرهم نام مورد بررسی قرار می گیرند، در حقیقت اختلاف پتانسیل بین آن دو، مورد توجه است. به همین دلیل در مدارهای الکتریکی اغلب ولتاژ را تحت عنوان اختلاف پتانسیل بیان می کنند. زیرا میزان کاری که روی دو ذره باردار انجام می شود به پتانسیل اولیه آن ها بستگی دارد. (شکل ۱۳-۳)



شکل ۱۲-۳



شکل ۱۳-۳- ذره باردار q که دارای بار منفی کمتر است جذب

نقطه ای که دارای بار مثبت زیادتر است، می شود.

پتانسیل الکتریکی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V = \frac{W}{q} = \frac{\text{(کار انجام شده)}}{\text{(بار الکتریکی)}} \text{ (ولتاژ)}$$

هرگاه کار بر حسب ژول و مقدار بار الکتریکی بر حسب کولن باشد پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت بدست می آید.

تعریف واحد ولت:

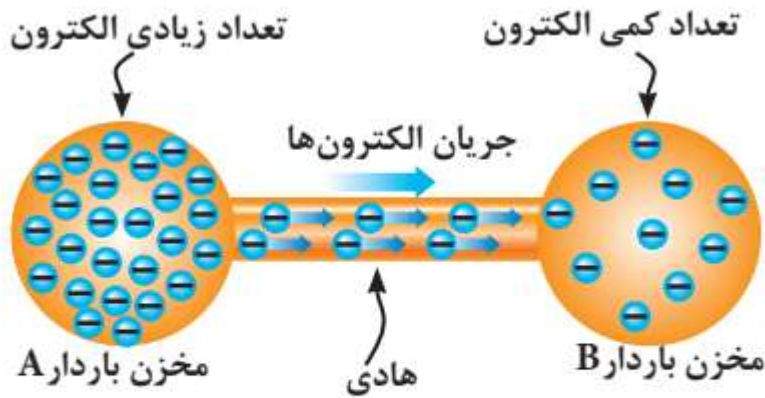
$$1(V) = \frac{1(J)}{1(C)}$$

به همین ترتیب برای اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B در شکل ۱۴-۳ می توانیم، بنویسیم:

$$V = V_A - V_B = V_{AB} \text{ اختلاف پتانسیل}^1$$

$$\Rightarrow V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

$$W = W_A - W_B = W_{AB}^2 \text{ کار انجام شده}$$



شکل ۱۴-۳- چگونگی حرکت الکترون ها از مخزن بار بیشتر به مخزن کمتر.



ولتاژهایی که در کارهای روزمره با آن سروکار داریم عبارتند از:

۱/۵ ولت - ولتاژ پیل های خشک (قلمی)

۹ ولت - ولتاژ پیل های کتابی

۱۲ ولت - ولتاژ باتری های ماشین


۲۲۰ ولت - ولتاژ منازل مسکونی

۳۸۰ ولت - ولتاژ مراکز صنعتی




شکل ۱۵-۳- چند نمونه پیل



در رسم مدارها، پیل ها (باتری ها) را با علامت:  نشان می دهیم. در شکل ۱۵-۳ تصویر چند نوع پیل نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۳- دو نمونه ولت متر

برای اندازه گیری ولتاژ از وسیله ای به نام ولت متر که علامت اختصاری آن به صورت  است استفاده می شود. (شکل ۱۶-۳)

۳-۳-۳- هدایت و مقاومت مخصوص

میزان هدایت اجسام را با ضریبی

تحت عنوان «ضریب هدایت مخصوص» بیان می کنند.

این ضریب نشان می دهد که یک جسم تا چه اندازه جریان

الکتریکی را از خود عبور می دهد. ضریب هدایت را با حرف

یونانی χ (کاپا) نشان می دهند.

ضریب دیگری که در اجسام مطرح می شود «ضریب

مقاومت مخصوص» نام دارد. این ضریب میزان مخالفت

جسم را نسبت به عبور جریان الکتریکی بیان می کند.

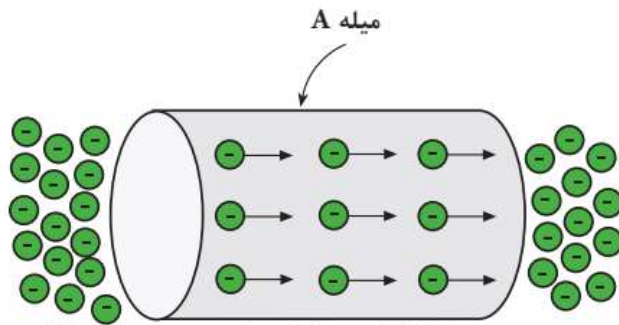
ضریب مقاومت مخصوص را با حرف یونانی ρ (رو) نشان

می دهند.

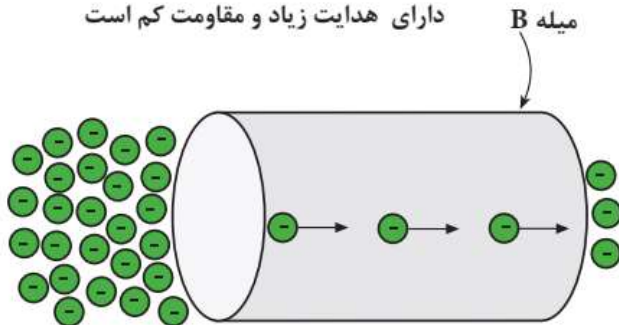
این دو ضریب عکس یکدیگرند و روابط زیر را برای این

دو ضریب می توان نوشت:

$$\rho = \frac{1}{\chi} \quad \text{یا} \quad \chi = \frac{1}{\rho}$$



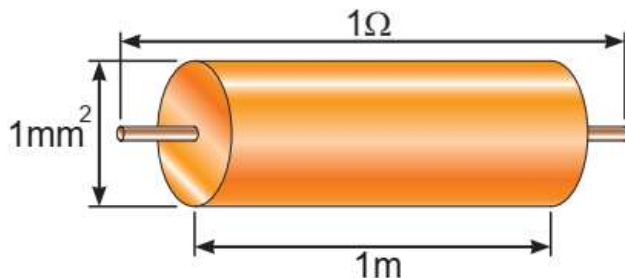
میله A الکترون ها را به خوبی عبور می دهد لذا دارای هدایت زیاد و مقاومت کم است



میله B الکترون ها را به خوبی عبور نمی دهد لذا دارای هدایت کم و مقاومت زیاد است

شکل ۱۷-۳- میله B الکترون ها را به خوبی عبور نمی دهد لذا

که واحد مقاومت مخصوص سیم می باشد $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ بیانگر آن است که مقاومت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی متر مربع برابر با یک اهم است. (شکل ۲۲-۳)



مقدار مقاومت و هدایت مخصوص سیم های مسی و آلومینیومی که در صنعت برق کاربرد دارند عبارتند از:

$$\chi_{\text{cu}} = 56 \text{ (هدایت مخصوص مس)}$$

$$\rho_{\text{cu}} = \frac{1}{\chi} = \frac{1}{56} = 0.01785 \text{ (مقاومت مخصوص مس)}$$

$$\chi_{\text{Al}} = 37 \text{ (هدایت مخصوص آلومینیوم)}$$

$$\rho_{\text{Al}} = \frac{1}{\chi} = \frac{1}{37} = 0.027 \text{ (مقاومت مخصوص آلومینیوم)}$$

در مباحث الکتریکی معمولاً میزان مقاومت یا هدایت مواد مختلف نسبت به مس سنجیده می شود. مثلاً اگر گفته شود نسبت مقاومت کربن ۲۰۳۰ می باشد، یعنی میزان مقاومت کربن ۲۰۳۰ مرتبه بیشتر از مس است.

۴-۳- مقاومت الکتریکی

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که جسم در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می دهد. این مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب اهم (Ω) می سنجند. مقدار مقاومت الکتریکی به عوامل فیزیکی و الکتریکی گوناگونی بستگی دارد.

مقاومت سیم را می توان از روابط زیر به دست آورد:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad \text{یا} \quad R = \frac{\ell}{\chi \cdot A}$$

مقاومت سیم بر حسب اهم (Ω)

ℓ - طول سیم بر حسب متر (m)

A - سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع (mm^2)

ρ - مقاومت مخصوص سیم بر حسب $\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right)$

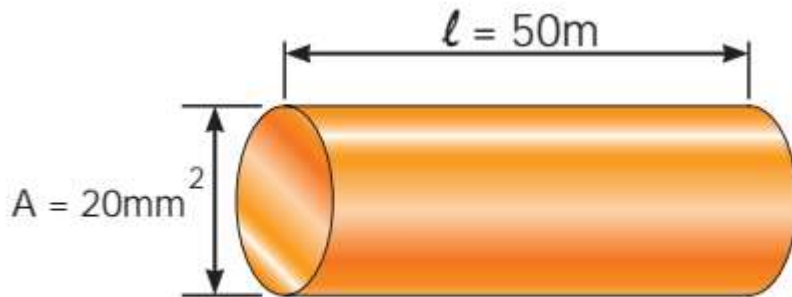
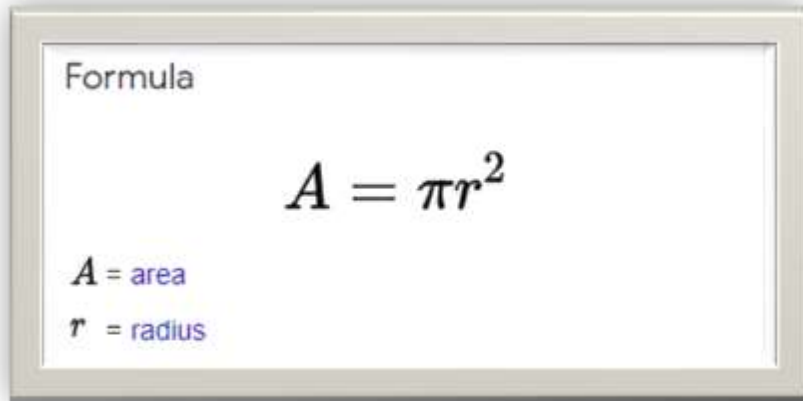
χ - هدایت مخصوص سیم بر حسب $\left(\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}\right)$

مثال: مقاومت سیم مسی با مشخصات داده شده در

شکل ۲۴-۳ را به دست آورید. ($\chi = 56$)

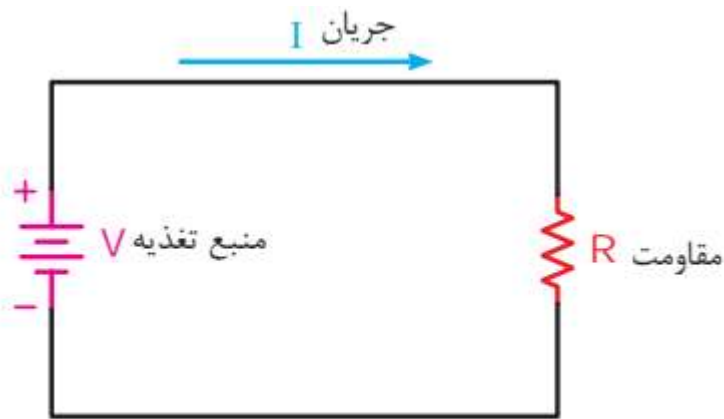
$$R = \frac{\ell}{\chi \cdot A}$$

$$R = \frac{50}{56 \times 20} \Rightarrow R = 0.44 \Omega$$



شکل ۲۴-۳ - سیم مسی به همراه مشخصات

عکس مقاومت الکتریکی را هدایت الکتریکی می نامند و آن را با حرف (G) نمایش می دهند. واحد هدایت الکتریکی را بر حسب مو (mho) بیان می کنند. $\left(1 \text{ mho} = \frac{1}{\Omega} \right)$



شکل ۲۶-۳

$$G = \frac{1}{R}$$

. علامت اختصاری مقاومت در

مدارهای الکتریکی به صورت  یا  است.

همان گونه که اشاره شد کمیت های الکتریکی جریان (I) و ولتاژ (V) و مقاومت (R) به ترتیب دارای واحدهای آمپر (A)، ولت (V) و اهم (Ω) هستند. در مدارهای الکتریکی این واحدها در مقیاس های کوچک تر یا بزرگ تر از واحد اصلی خود نیز به کار می روند. جدول ۱-۳ نحوه تبدیل این واحدها را به یکدیگر نشان می دهد.

چگونگی تبدیل ضرایب

شکل نمایی ضریب	نام ضریب	حرف اختصاری
10^{12}	ترا	T
10^9	گیگا	G
10^6	مگا	M
10^3	کیلو	K
10^2	هگتو	H
10	دکا	da
10^0	واحد اصلی	
10^{-1}	دسی	d
10^{-2}	سانتی	c
10^{-3}	میلی	m
10^{-6}	میکرو	m
10^{-9}	نانو	n
10^{-12}	پیکو	p

مثال:



$$R = 2/2 \times 10^3 = 2200 \Omega$$

مثال:

$$I = 0.05A \rightarrow$$

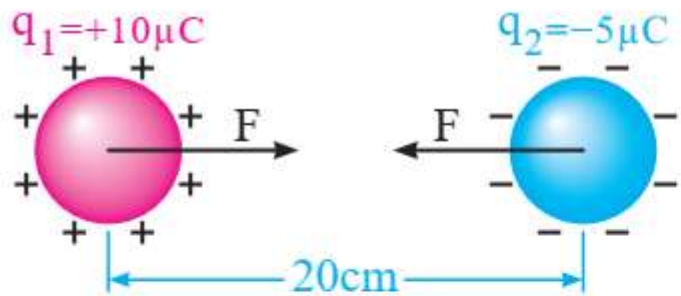
$$I = 0.05A = 0.05/10^{-3}mA = 5 \times 10^{-2} \times 10^3 = 50mA$$

مثال:



معادل چند میلی ولت است؟

$$\begin{aligned} V &= 230 \times 10^3 V = 230 \times 10^3 / 10^{-3} mV \\ &= 230 \times 10^3 \times 10^3 mV \\ &= 230 \times 10^6 mV \end{aligned}$$



مثال: اندازه نیروی بین دو ذره باره‌ار $Q_1 = 10 \mu\text{C}$ و $Q_2 = -5 \mu\text{C}$ که مطابق شکل در فاصله ۲۰ سانتی متری از هم قرار گرفته اند چند نیوتن است؟ ($k = 9 \times 10^9$)

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-6} \times -5 \times 10^{-6}}{(20 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = \frac{-450 \times 10^9 \times 10^{-12}}{400 \times 10^{-4}} = \frac{-450 \times 10^{-3}}{400 \times 10^{-4}}$$

$$F = \frac{-450 \times 10^{-3} \times 10^4}{400} = -11.25 \times 10 = -112.5 \text{ N}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{6 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}} = \frac{6 \times 10^{-3} \times 10^6}{2}$$

$$E = 3 \times 10^3 = 3000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

مثال: بار الکتریکی $q = 2 \mu\text{C}$ در یک نقطه از میدان بر بار q_0 ، نیروی ۶ میلی نیوتن وارد می شود. اندازه میدان الکتریکی در این نقطه چند $\frac{\text{N}}{\text{C}}$ است؟

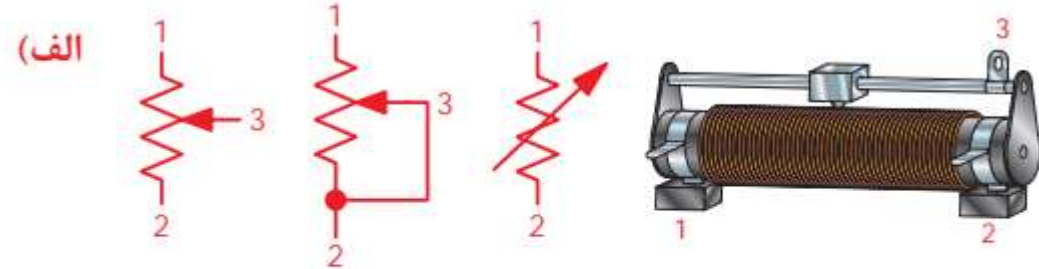
۵-۳- انواع مقاومت ها

مقاومت های الکتریکی به انواع زیر تقسیم می شوند:

انواع مقاومت ها

۱- مقاومت های ثابت

۲- مقاومت های متغیر } الف - با تنظیم دستی
ب- تابع عوامل فیزیکی



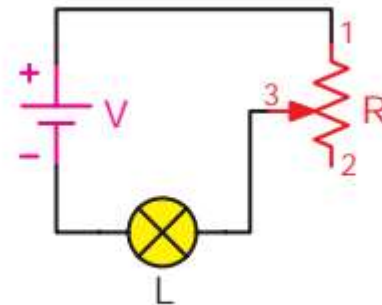
شکل ۳۳-۳- تصویر ظاهری و علائم اختصاری

مقاومت متغیر

(ب)



شکل ۳۰-۳- مقاومت های ثابت و متغیر



شکل ۳۴-۳- نحوه اتصال مقاومت متغیر در حالت رئوستایی

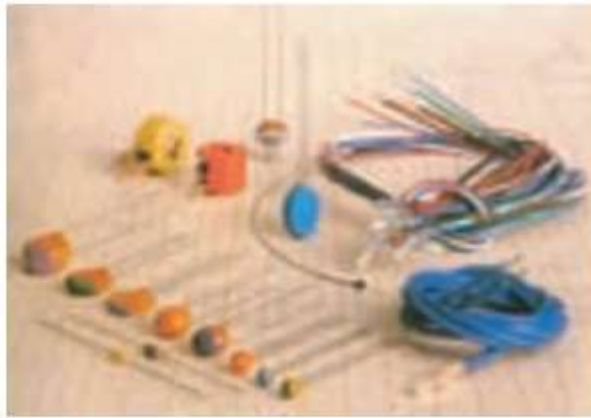
۳-۵-۳- مقاومت وابسته به حرارت

(ترمیستور^۱):

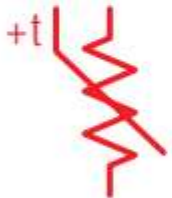
این مقاومت ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آن ها اثر می گذارد. این نوع مقاومت ها در دو نوع NTC و PTC وجود دارند.

- **مقاومت حرارتی NTC^۲:** ترمیستورهایی هستند که در اثر افزایش دما مقدار مقاومت آنها کاهش می یابد. (شکل ۳-۳۸)

- **مقاومت حرارتی PTC^۳:** ترمیستورهایی هستند که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان افزایش می یابد. (شکل ۳-۳۹)



شکل ۳-۳۸- انواع مقاومت های NTC و علامت اختصاری آن.

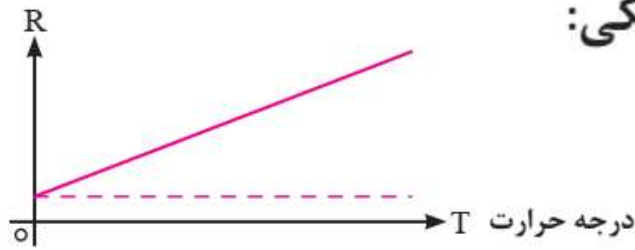


الف- علامت اختصاری

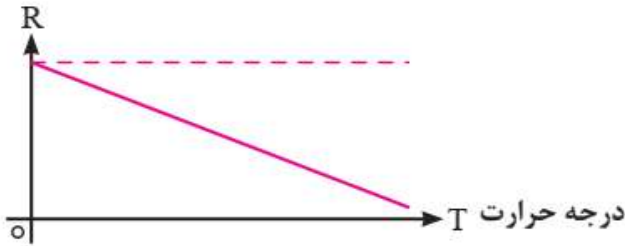
ب- شکل ظاهری

شکل ۳-۳۹- انواع مقاومت های PTC و همراه علامت اختصاری آن

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی:



شکل ۳-۴۱



شکل ۳-۴۲

اصطلاحاً به تغییرات مقدار مقاومت به ازای یک درجه سانتیگراد «ضریب حرارتی» می‌گویند که به (α) نمایش می‌دهند.

همان‌گونه که اشاره شد مقاومت‌های تابع حرارت (ترمیستورها) در دو نوع PTC و NTC وجود دارند. در واقع مقاومت‌های PTC دارای ضریب حرارتی مثبت $(+\alpha)$ و مشخصه‌ای بصورت شکل (۳-۴۱) و مقاومت‌های NTC دارای ضریب حرارتی منفی $(-\alpha)$ و مشخصه‌ای بصورت شکل (۳-۴۲) است.

برای محاسبه مقدار مقاومت در اثر افزایش درجه حرارت از رابطه مقابل می‌توان استفاده کرد.

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_0 - مقدار مقاومت در دمای صفر درجه بر حسب اهم $[\Omega]$

α - ضریب حرارتی بر حسب $\left[\frac{1}{c^\circ}\right]$

t - مقدار دمای افزایش یافته نسبت به صفر درجه سانتی‌گراد.

R_t - مقاومت در دمای t درجه سانتیگراد بر حسب اهم $[\Omega]$

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی گراد 50Ω است. اگر دمای سیم به 150 درجه سانتیگراد برسد؛ مقاومت الکتریکی سیم چند اهم می شود؟ $(\alpha = 0.004)$

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

$$R_t = 50 (1 + 0.004 \times 150)$$

$$R_t = 87 / 5 \Omega \quad (\alpha = 0.004)$$

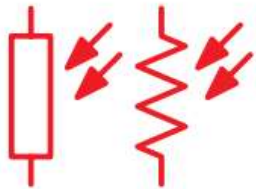
۴-۵-۳- مقاومت وابسته به نور

Photo Resistor
(فتورزیستور):
Light Dependent Resistor

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) وابسته به شدت نور تابیده شده به آن می باشد. هر قدر شدت نور بیشتر شود مقدار مقاومت فتورزیستور کاهش می یابد. (شکل ۳-۴۰)



الف) شکل ظاهری



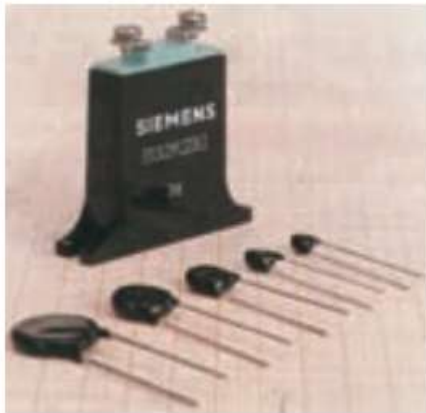
ب) علامت اختصاری

شکل ۳-۴۰- تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

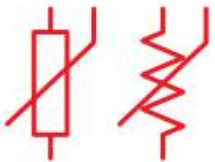
۵-۴-۳- مقاومت وابسته به ولتاژ (وارزیستور): Varistor

مقاومت های متغیری هستند که مقدار مقاومت آن ها به ازای ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می کند. در این نوع مقاومت ها که به (VDR) معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می یابد.

VDR- Voltage Dependent Resistor (شکل ۳-۴۱)

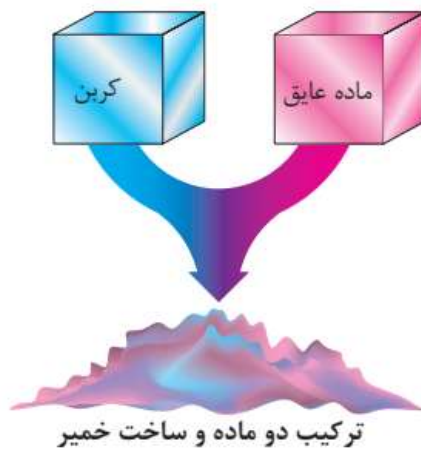


الف) شکل ظاهری



ب) علامت اختصاری

شکل ۳-۴۱- تصویر مقاومت وابسته به ولتاژ و علامت اختصاری آن



شکل ۳-۴۲- مراحل ساخت مقاومت توده کربنی

۳-۶- تکنیک ساخت مقاومت ها

مقاومت های الکتریکی را از نظر تکنولوژی ساخت به سه

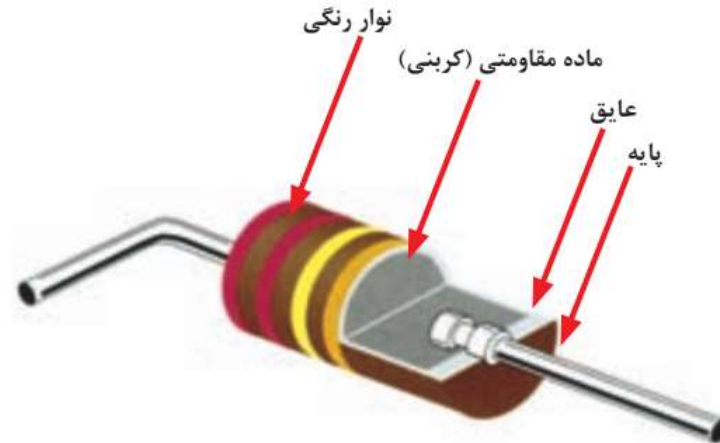
گروه می توان تقسیم کرد:

۳-۶-۱- مقاومت های توده کربنی

(ترکیب کربن^۱): Carbon Composition Resistor

- (الف) مقاومت های توده کربنی از مخلوط کردن پودر نرم کربن یا گرافیت با پودر عایق ساخته می شوند. به مخلوط فوق یک نوع چسب اضافه شده تا به صورت خمیر درمی آید و درون یک قالب استوانه ای با ابعاد خاص فشرده می شود. سپس سیم های اتصال را در درون خمیر فرو می برند و مجموعه را درون کوره می پزند تا سخت شود. در انتها برای محافظت در مقابل رطوبت و عایق کردن مقاومت، روی آن را یک لایه لاک محکم می کشند. (شکل ۳-۴۲)

(ج)

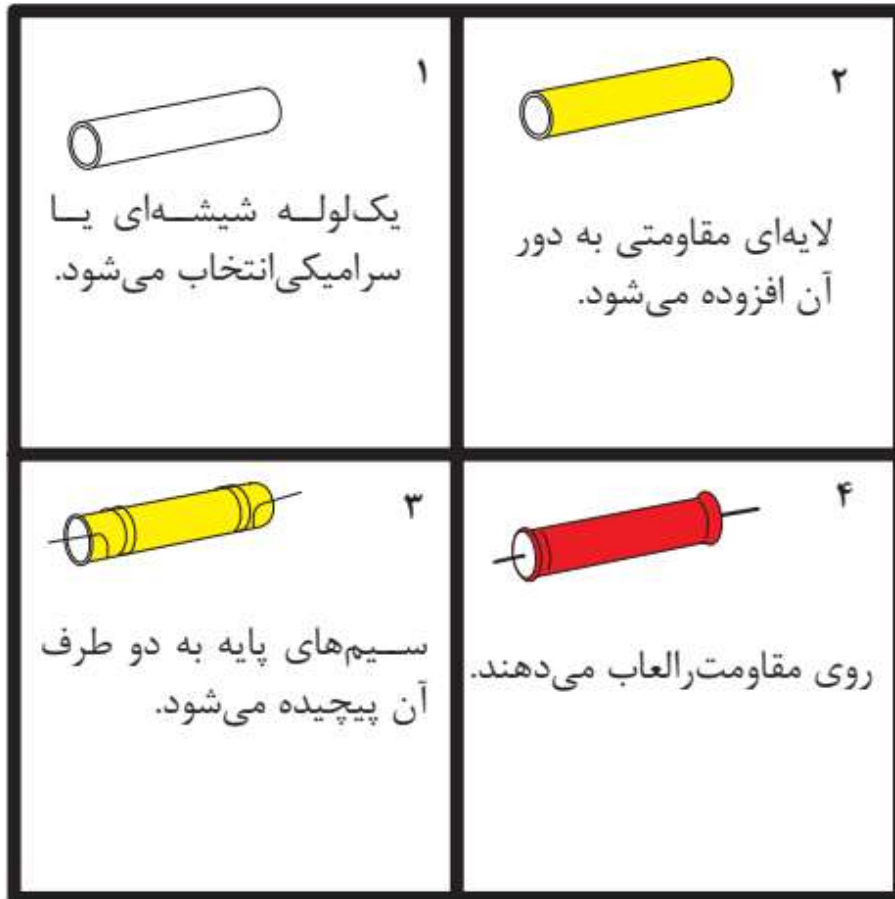


(د)

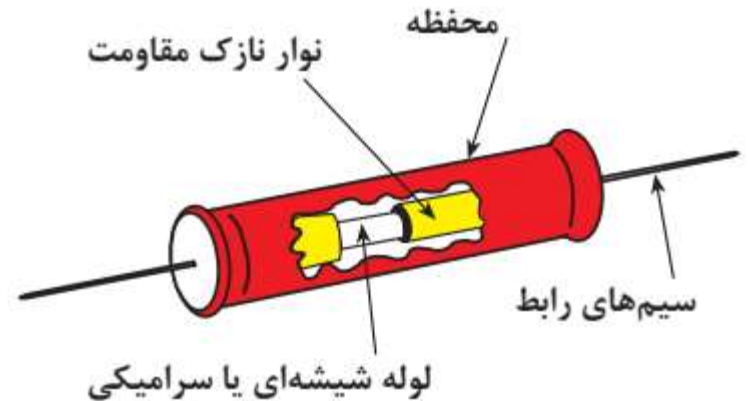
شکل ۳-۴۳- نمونه برش خورده مقاومت توده کربنی

۲-۶-۳- مقاومت های لایه ای ۱:

مقاومت لایه ای را معمولاً به وسیله رسوب دادن (لعاب دادن) نوار نازکی از ماده مقاومتی بر روی یک لوله سرامیکی یا شیشه ای می سازند. دو درپوش کوچک و دو سیم رابط را به انتهای پوشش (لعاب) مقاومتی وصل می کنند. سپس آن را با یک نوع ماده عایقی روکش می کنند. شکل ۳-۴۴ مراحل ساخت این نوع مقاومت ها را نشان می دهد.



الف - مراحل ساخت مقاومت لایه ای



ب - نمای برش خورده مقاومت لایه ای

لایه مقاومتی را که در روی میله سرامیکی لعاب داده می شود از ترکیبات متفاوتی می سازند. نام مقاومت لایه ای متناسب با نوع ماده استفاده شده انتخاب می شود.

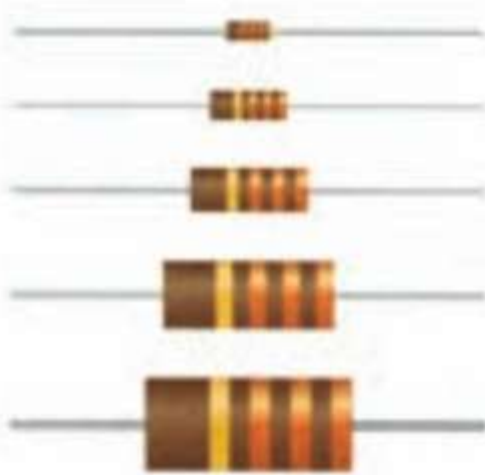
مقاومت های لایه ای در سه نوع:

«مقاومت لایه کربنی^۲»، «مقاومت لایه فلز^۳» و «مقاومت لایه اکسید فلز^۴» ساخته می شوند. (شکل ۳-۴۵)

- Carbon. Film Resistor

- Metal Film Resistor

- Metal Film Resistor



ب) مقاومت لایه فلز

الف) مقاومت لایه کربن

شکل ۳-۴۵- مقاومت های لایه ای

۳-۶-۳- مقاومت های سیمی^۱

در این نوع مقاومت یک سیم مقاومت دار را که معمولاً از جنس کرم - نیکل است با طول و سطح مقطع معین به دور یک هسته عایق (سرامیکی) می پیچند و سپس سر سیم ها به کلاهک های مخصوصی متصل می شوند. در خاتمه نیز سطح مقاومت را با یک روکش سرامیکی، پلاستیکی یا سیلیکونی می پوشانند. (شکل ۳-۴۶)



شکل ۳-۴۶- یک نوع مقاومت سیمی



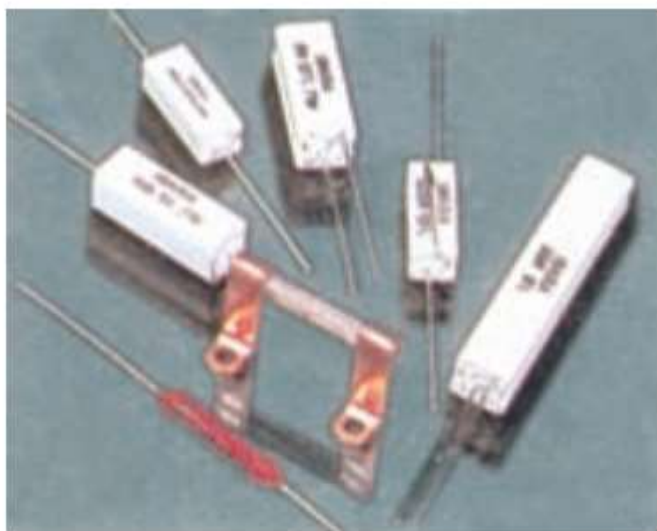
(الف)

از مشخصات مهم مقاومت ها می توان به سه عامل زیر اشاره کرد:

۱- **مقدار مقاومت:** میزان خاصیت اهمی مقاومت را مقدار مقاومت می نامند و آن را با اهم مشخص می کنند.

۲- **میزان خطا (تولرانس):** مقدار حداقل و حداکثر خطایی که ممکن است در حین ساخت بر روی مقدار مقاومت به وجود آید، «خطا یا تولرانس» مقاومت می نامند. مقدار خطا را به صورت مثبت و منفی درصد ($\pm\%$) می نویسند.

۳- **توان مجاز مقاومت:** حداکثر قدرت تحمل مقاومت در مقابل عبور جریان الکتریکی را «توان مجاز» می نامند.



(ب)

شکل ۴۷-۳- نمونه هایی از مقاومت های سیمی و کربنی

۴- مدار الکتریکی

مسیر عبور جریان الکتریکی را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی یک مدار الکتریکی ساده عبارتند از:



الف - منبع تغذیه (مولد)

ب - سیم های رابط

ج - مصرف کننده (بار)

منبع تغذیه در یک مدار نقش تولید کننده انرژی الکتریکی

را دارد و می تواند باتری یا ژنراتور باشد. (شکل ۴-۴)

شکل ۴-۴- چند نمونه باتری

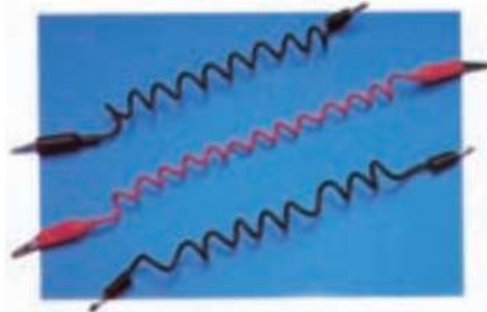


مصرف کننده (بار)، وسیله ای است که انرژی الکتریکی

را به انرژی مورد نیاز تبدیل می کند. (شکل ۴-۵)



شکل ۴-۵- چند مصرف کننده





وظیفه سیم های رابط، انتقال انرژی الکتریکی از

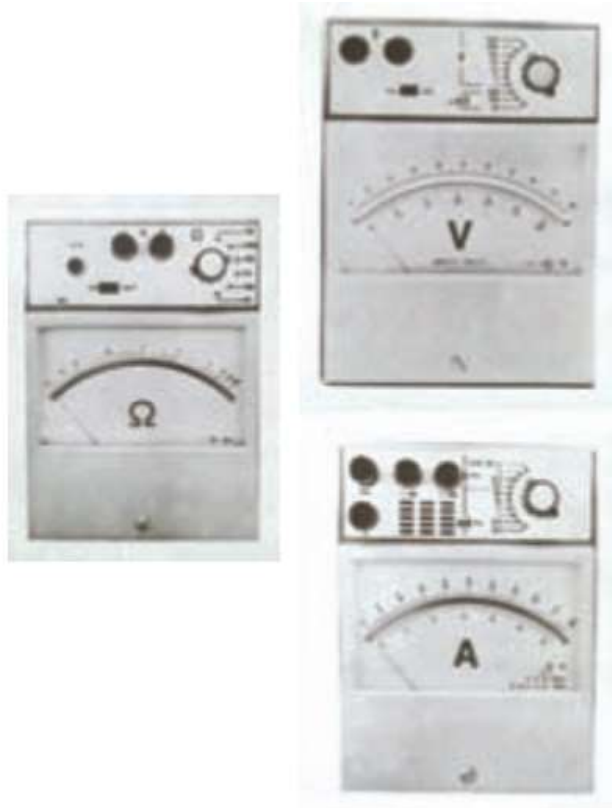
منبع تغذیه به مصرف کننده است. (شکل ۴-۶)

شکل ۴-۶- سیم های رابط



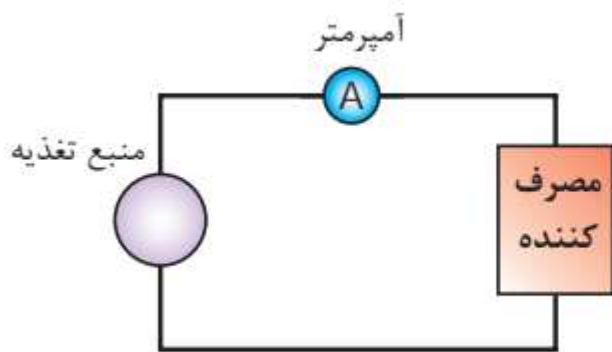
شکل ۴-۸

فیوز وسیله ای است که مدارهای الکتریکی را در مقابل اتصال کوتاه حفاظت می کند. نمونه هایی از انواع فیوزها را در شکل ۴-۸ مشاهده می کنید. فیوز را در مدارها با علامت اختصاری  یا  نشان می دهند.

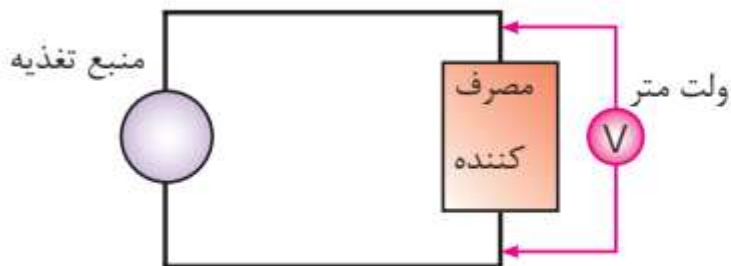


شکل ۴-۹

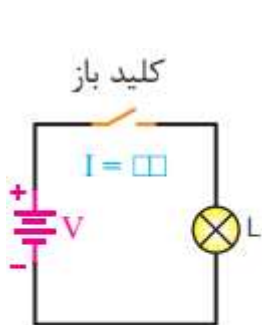
دستگاه های اندازه گیری برای سنجش کمیت های گوناگون الکتریکی مانند جریان، ولتاژ و مقاومت به کار می روند. برای اندازه گیری جریان از آمپر متر، ولتاژ از ولت متر و مقاومت از اهم متر استفاده می شود. در شکل ۴-۹ چند نمونه از دستگاه های اندازه گیری نشان داده شده است.



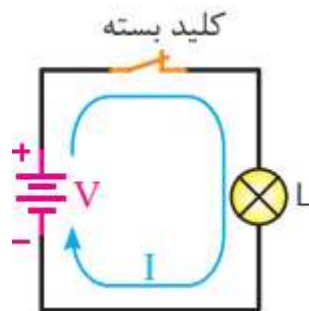
الف - نحوه اتصال آمپر متر در مدار



ب - نحوه اتصال ولت متر در مدار



ب - مدار باز



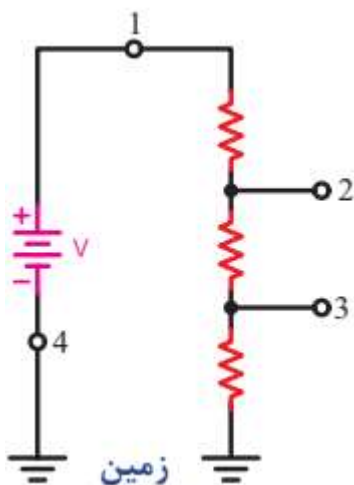
مدار بسته closed

برای اندازه گیری جریان هر جزء مدار باید آمپر متر را طبق شکل ۱۰-۴-الف در مسیر آن جزء قرار داد. در اصطلاح به این نوع اتصال « سری » گفته می شود.

برای اندازه گیری ولتاژ هر یک از اجزای مدار باید ولت متر را به دو سر آن جز مدار وصل کرد. در اصطلاح این نوع اتصال را « موازی » می نامیم. شکل ۱۰-۴-ب نحوه اتصال ولت متر را نشان می دهد

کلید در مدارهای الکتریکی به عنوان قطع و وصل کننده جریان به کار می رود.

اگر برای عبور جریان الکتریکی مسیر کاملی از طریق قطب مثبت باتری، سیم های رابط و مصرف کننده به قطب منفی وجود داشته باشد آن مدار را «مدار بسته» یا «مدار کامل» می گویند. در غیر این صورت مدار باز می گویند



توضیح: در برخی موارد برای ساده تر رسم کردن مدارهای الکتریکی یکی از قطب های منبع تغذیه (+ یا -) مشترک در نظر می گیرند و آن را زمین می نامند و از سیم زمین به عنوان یکی از سیم های رابط مدار استفاده می شود. به این ترتیب معمولاً یک طرف مصرف کننده ها نیز به زمین وصل می شود. در این حالت جریان از طریق اتصال زمین (مشترک) صورت می گیرد. علامت اختصاری زمین به صورت \perp یا \downarrow یا \equiv یا /// است.

۱-۴- قانون اهم

$$V = I R$$

جرج سیمون اهم در سال ۱۸۲۸ براساس تجربیات و آزمایش های فراوان توانست ارتباط بین ولتاژ (V)، جریان (I) و مقاومت (R) را در یک مدار به دست آورد.

اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم شدت جریان افزایش می یابد. (شکل ۴-۱۵)

او هم چنین دریافت که اگر ولتاژ منبع تغذیه را ثابت نگه داریم و مقدار مقاومت مدار را افزایش دهیم جریان مدار کاهش می یابد. (شکل ۴-۱۶)



نکته مهم: 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 می شود که مقاومت مصرف کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت. (شکل ۴-۲۱-ب)

مثال: در مدار شکل ۴-۱۸ ولت متری که در دو سر مقاومت قرار دارد چه ولتاژی را نشان می دهد؟

حل: $V = R.I$ (قانون اهم)

$$V = (5\text{mA})(56\Omega)$$

$$V = (5 \times 10^{-3} \text{ A})(56\Omega) = 280 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$V = 280 \text{ mV}$$

مثال: در مدار شکل ۴-۱۹ مقدار مقاومت چند کیلو اهم است؟

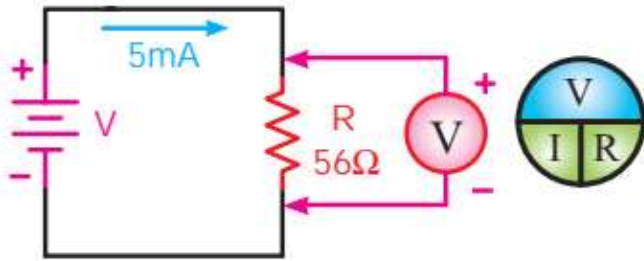
حل: $R = \frac{V}{I} = \frac{150 \text{ V}}{4/55 \text{ mA}}$ (قانون اهم)

$$R = \frac{150 \text{ V}}{4/55 \times 10^{-3} \text{ A}} = 33 \times 10^3 \Omega = 33 \text{ k}\Omega$$

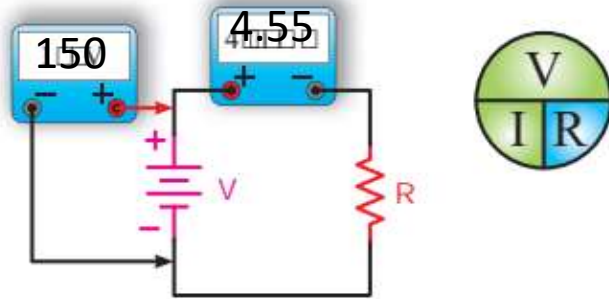
مثال: جریان عبوری از مقاومت مدار شکل ۴-۲۰ چند میلی آمپر است؟

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

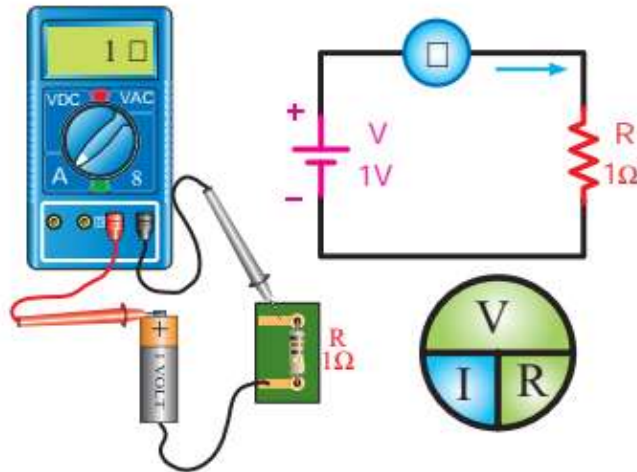
$$I = 1 \times 10^3 = 1000 \text{ mA}$$



شکل ۴-۱۸



شکل ۴-۱۹



شکل ۴-۲۰

۱-۱-۴- قوانین کیرشهف: Kirchhoffs-

در سال ۱۸۵۷ میلادی کیرشهف براساس آزمایش ها و تحقیقاتی که انجام داد نظریات خود را در قالب دو قانون بیان داشت.

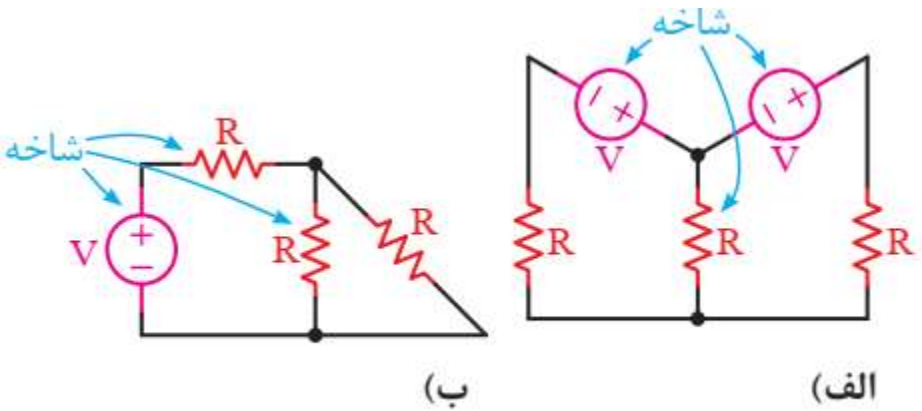
۲-۱-۴- تعریف شاخه:

اصطلاحاً به هر یک عناصر بکار رفته در مدارهای الکتریکی یک «شاخه» گفته می شود. در شکل ۴-۲۳ نمونه هایی برای شاخه نشان داده شده است.

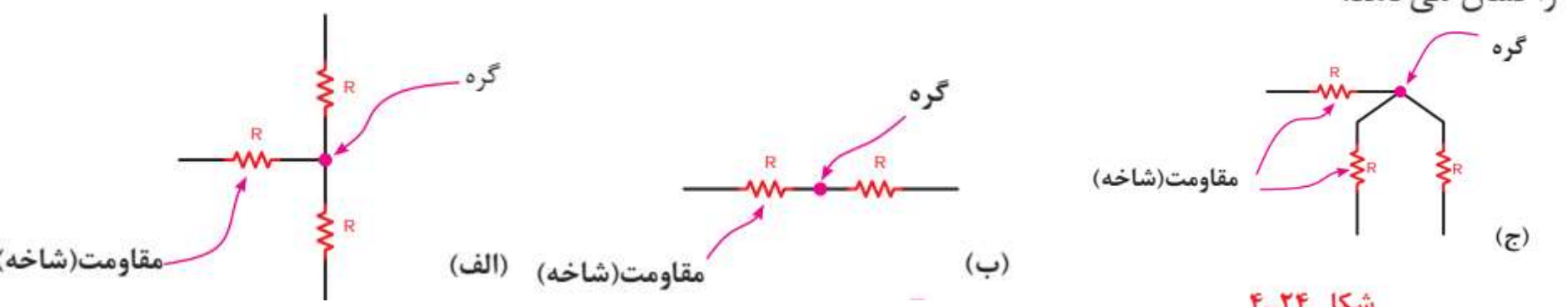
۳-۱-۴- تعریف گره:

محل اتصال دو یا چند شاخه در یک مدار الکتریکی را «گره» می نامند. شکل ۴-۲۴ نمونه هایی از گره های مختلف را نشان می دهد.

پیش از بررسی قوانین کیرشهف باید با تعاریف شاخه، گره و حلقه آشنا شویم.



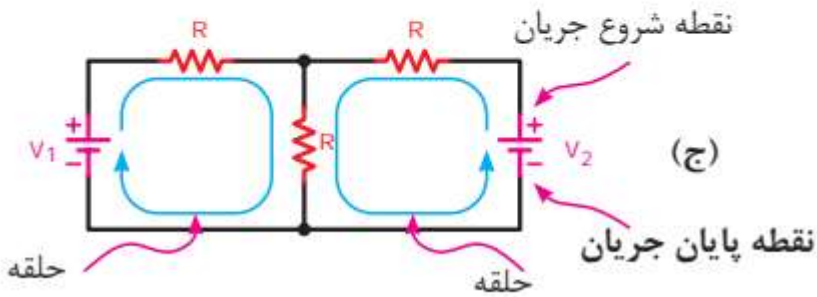
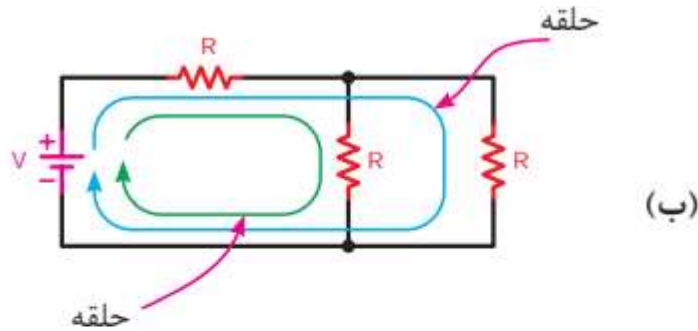
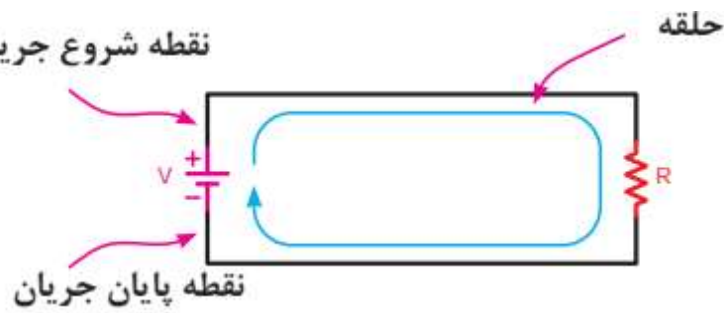
شکل ۴-۲۳



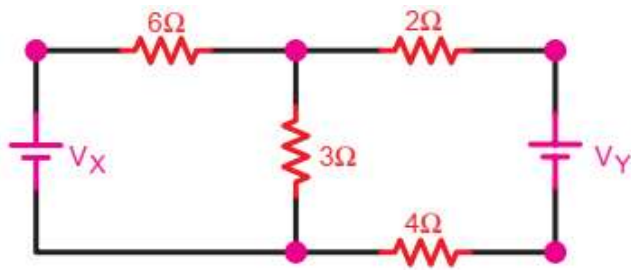
شکل ۴-۲۴

۴-۱-۴- تعریف حلقه:

هرگاه در مدار نقطه‌ای که محل شروع حرکت جریان است نقطه پایان جریان نیز باشد آن را «مدار کامل» یا «حلقه» می‌نامند. در شکل ۴-۲۵ نمونه‌هایی از حلقه‌های مختلف را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴-۲۵

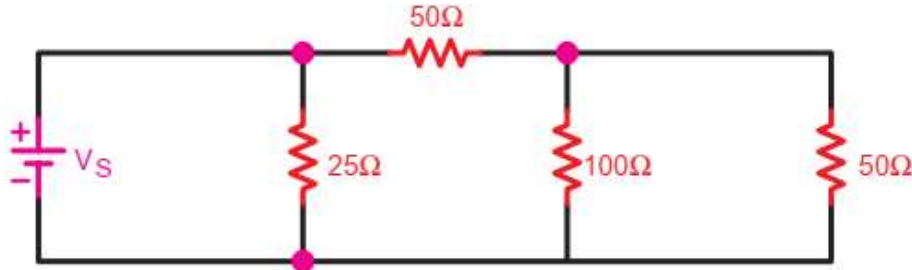


الف - تعداد گره های مدار ۵ گره است

مثال: تعداد گره های موجود در تصاویر شکل ۴-۲۶ را مشخص کنید.

حل: با توجه به تعریف گره می توان گره های موجود در مدارهای الف و ب را مطابق شکل ۴-۲۷ مشخص کرد.

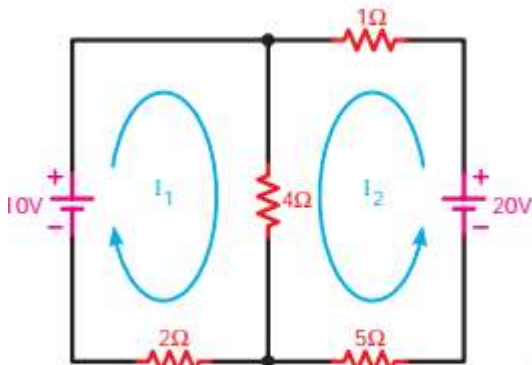
تعداد گره های مدار الف برابر ۵ گره و مدار ب برابر ۳ گره است.



ب - تعداد گره های مدار ۳ گره است

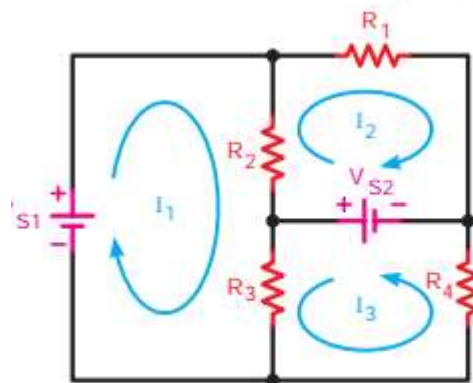
مثال: تعداد (حلقه) مسیره های عبور جریان در تصاویر ۴-۲۸ را مشخص کنید.

حل: برای مشخص کردن تعداد حلقه های هر مداری باید از تعریف حلقه متوجه شویم که در این صورت و مطابق شکل ۴-۲۹ تعداد حلقه های مدار الف برابر ۶ و مدار ب معادل ۳ می باشد.



شکل ۴-۲۹

(ب)



(الف)

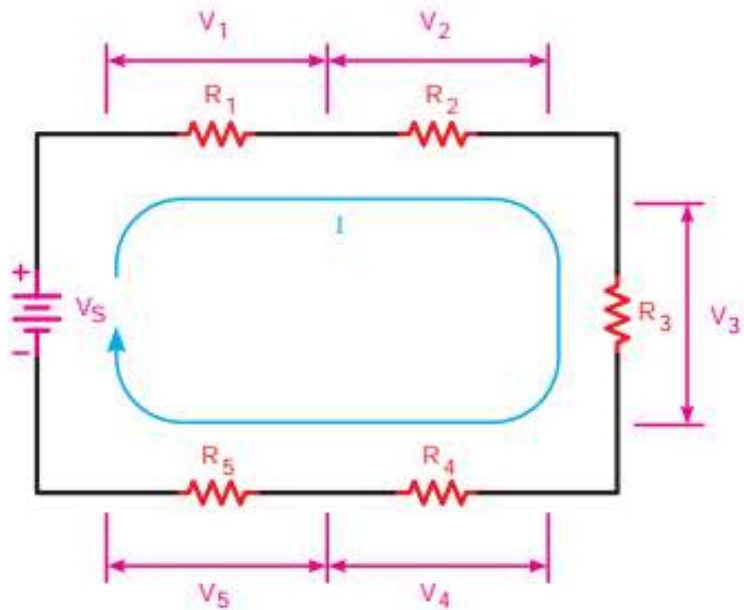
۴-۲- قانون ولتاژها (KVL) Kirchoff's Voltage Law

براساس این قانون در یک حلقه بسته مجموعه افت ولتاژها برابر با مجموع نیروهای محرکه (ولتاژها) موجود در حلقه است.

$$\sum V = \sum R.I$$

به عبارت دیگر مجموع جبری نیروهای محرکه و افت ولتاژهای موجود در هر حلقه بسته مساوی با صفر است.

$$\sum V = 0$$



شکل ۴-۳۰

توجه

در مدارهای الکتریکی منابع تغذیه (باتری ها) را نیروی محرکه و ولتاژ دو سر مقاومت ها و سایر مصرف کننده ها را افت ولتاژ در نظر می گیرند.

مثال:

شکل ۴-۳۱ یک مدار با سه مقاومت نشان می دهد. در

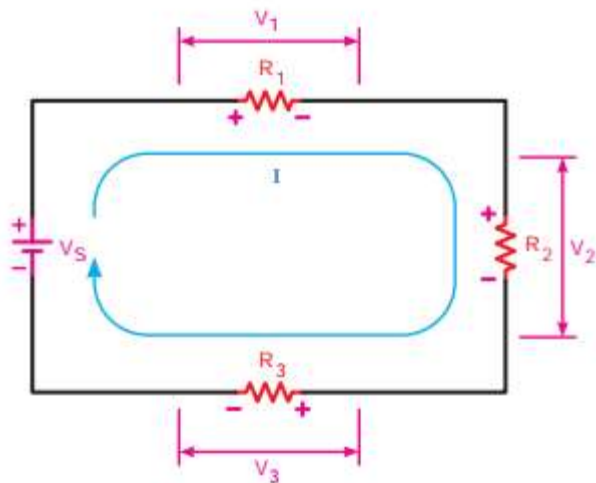
این مدار معادله KVL را می نویسیم:

$$\sum V = \sum R.I$$

$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

یا

$$+R_1 I + R_2 I + R_3 I - V = 0$$



شکل ۴-۳۱

مثال: مقدار ولتاژ V_r شکل ۴-۳۲ چند ولت است

$$V_1 + V_r + V_r - V_S = 0$$

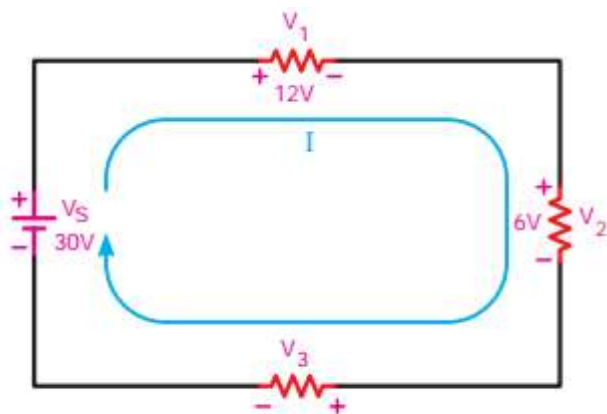
$$V_1 + V_r + V_r = V_S$$

$$V_r = V_S - (V_1 + V_r)$$

$$V_r = 30 - (12 + 6)$$

$$V_r = 12V$$

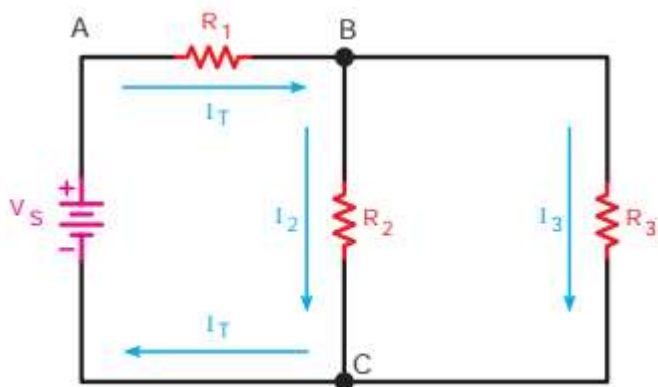
حل:



شکل ۴-۳۲

۳-۴- قانون جریان ها (KCL) Kirchhoff's Current Law

بر اساس قانون جریان ها در هر گره یک مدار الکتریکی مجموع جریان های وارد شده به گره برابر با مجموع جریان های خارج شده از گره است (شکل ۳۳-۴)



شکل ۳۳-۴- قانون جریان ها برای گره های B و C

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

به عبارت دیگر مجموع جبری جریان های وارد شده به گره و جریان های خارج شده از آن برابر با صفر است.

$$\sum I = 0$$

در شکل ۳۴-۴ وضعیت گره A از نظر جریان های ورودی و خروجی مشخص شده است. معادله KCL را برای گره A چنین می توان نوشت:

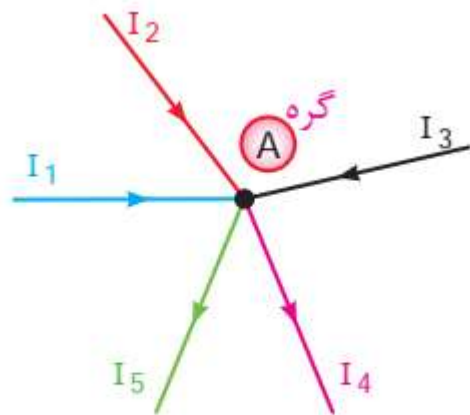
$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

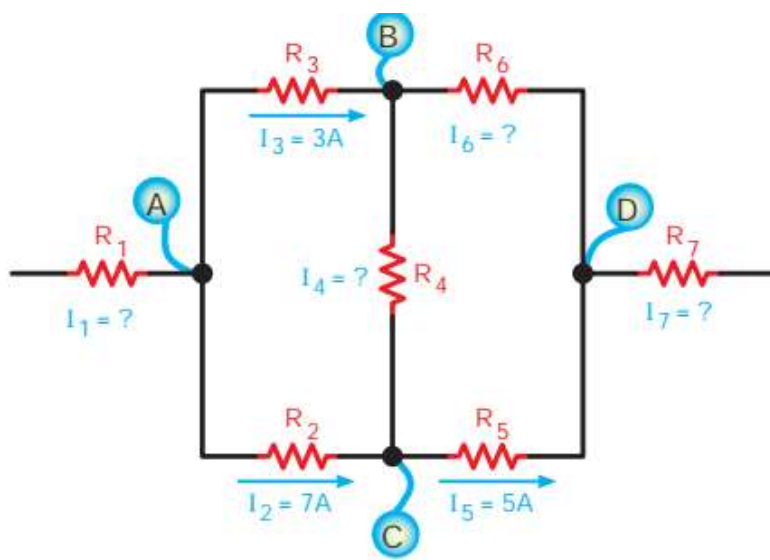
یا

$$\sum I = 0$$

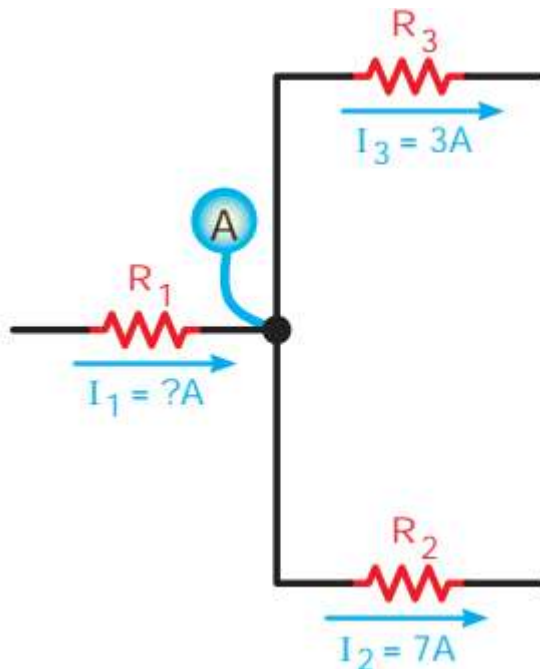
$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$



شکل ۳۴-۴- قانون جریان ها برای گره ها



شکل ۴-۳۶



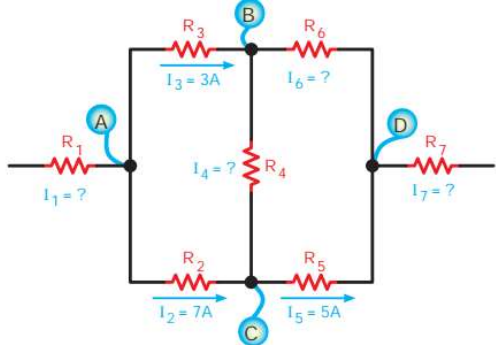
مثال: مقدار و جهت جریان در هر یک از مقاومت های شکل ۴-۳۶ را به دست آورید.

حل: برای مشخص شدن مقدار و جهت جریان ها باید معادله KCL را برای هر یک از گره های A, B, C, D بنویسیم.

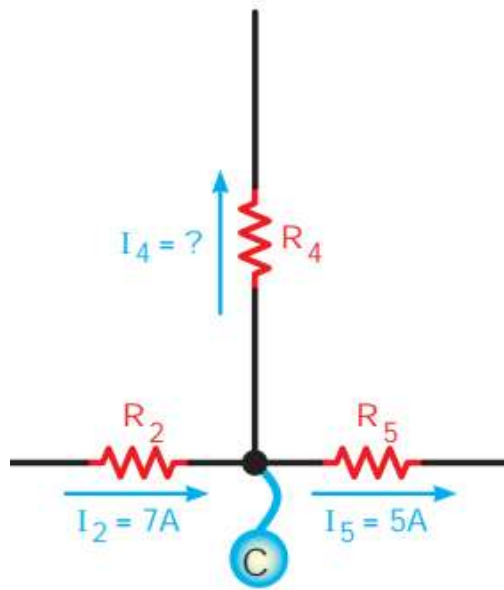
در گره A دو جریان I_3 و I_2 خارج می شود. لذا جریان I_1 بر آن وارد می شود در شکل ۴-۳۷ با نوشتن معادله KCL جریان I_1 قابل محاسبه است:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 3$$

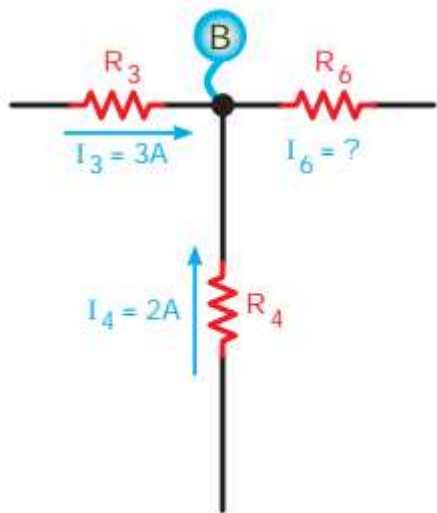
$$I_1 = 10 \text{ A}$$



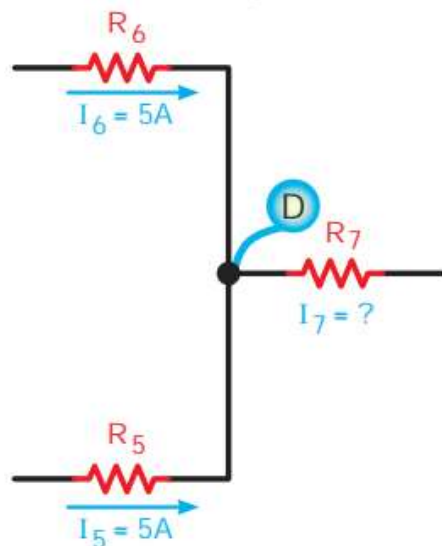
شکل ۴-۳۶



شکل ۴-۳۸



شکل ۴-۳۹



شکل ۴-۴۰

در گره C چون جریان I_5 کوچک تر از I_4 است لذا جریان I_4 باید از گره خارج شود تا تعادل جریان برقرار شود. شکل ۴-۳۸ پس معادله KCL را فقط برای حالتی می توان نوشت که جریان I_4 از گره خارج می شود:

$$I_4 = I_2 + I_5 \Rightarrow I_4 = 7 + 5 = 12 \text{ A}$$

$$I_4 = 12 \text{ A}$$

در گره B چون جریان های I_3 و I_4 وارد می شوند. بنابر قاعده KCL جریان I_6 باید از نقطه B خارج شود. مقدار I_6 برابر خواهد شد با: (شکل ۴-۳۹)

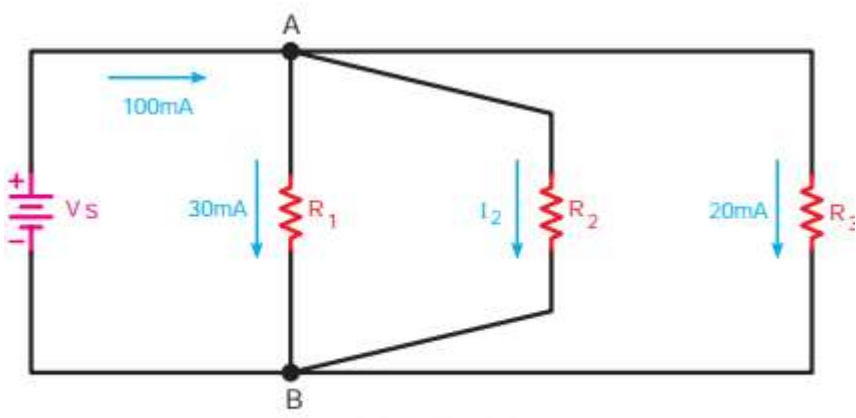
$$I_6 = I_3 + I_4 = 3 + 12 = 15 \text{ A}$$

$$I_6 = 15 \text{ A}$$

همان طوری که در شکل ۴-۴۰ مشاهده می شود جریان های I_5 و I_6 به گره D وارد می شوند. بنابراین با نوشتن KCL برای گره D معلوم می شود که جهت جریان I_7 باید به گونه ای باشد که از گره خارج شود بنابراین داریم:

$$I_7 = I_5 + I_6 = 5 + 5 = 10 \text{ A}$$

$$I_7 = 10 \text{ A}$$



شکل ۴-۴۱

مثال: جریان مقاومت R_3 در شکل ۴-۴۱ چند میلی آمپر

به دست می آید:

با نوشتن معادله KCL گره A مقدار جریان I_3 به دست

می آید:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

$$I_T = I_1 + I_3 + I_2$$

$$I_3 = I_T - (I_1 + I_2)$$

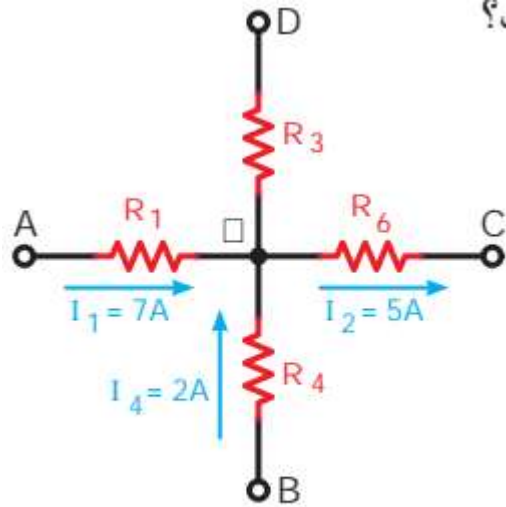
$$I_3 = 100 - (30 + 20)$$

$$I_3 = 50 \text{ mA}$$

تمرینات سری اول

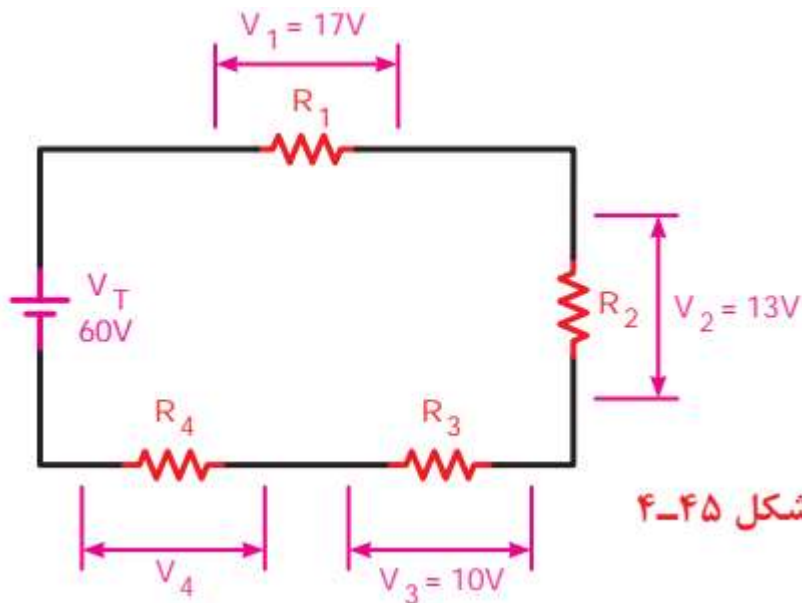
1 اگر ولتاژ 50 ولت به دو سر یک مقاومت $5k\Omega$ اتصال داده شود، چه جریاتی از آن می‌گذرد؟

2 مقدار و جهت جریان در مقاومت R_p شکل ۴-۴۴



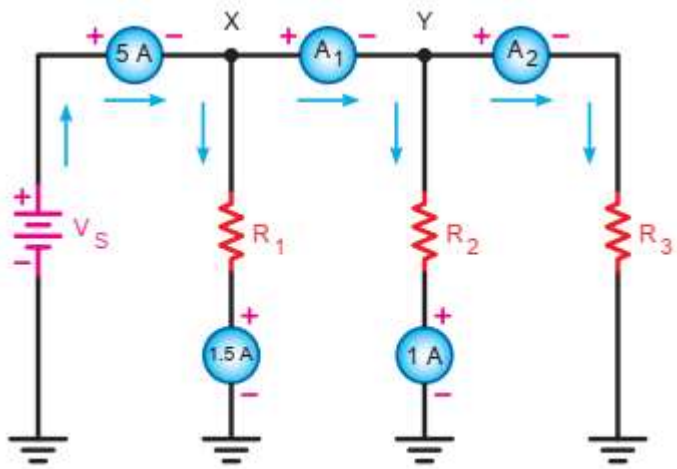
شکل ۴-۴۴

3 با توجه به شکل ۴-۴۵ ولتاژ دو سر مقاومت R_4 چند ولت است؟



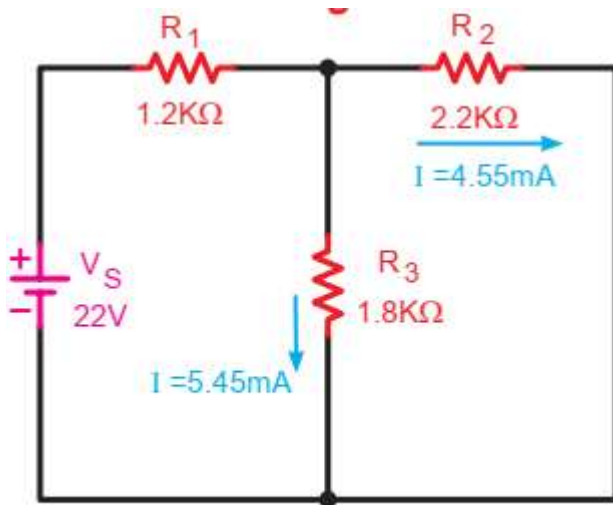
شکل ۴-۴۵

4 در مدار شکل ۴-۴۶ آمپرمترهای A_1 و A_2 به ترتیب از راست به چپ چند آمپر را نشان می دهد؟



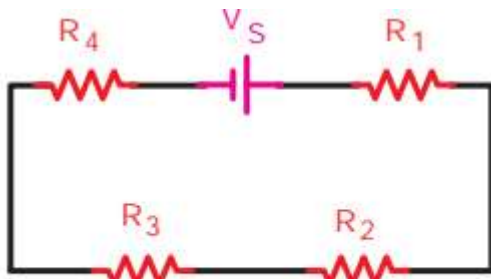
شکل ۴-۴۶

5 افت ولتاژ دو سر مقاومت R_1 در شکل ۴-۴۸ چند ولت است؟



شکل ۴-۴۸

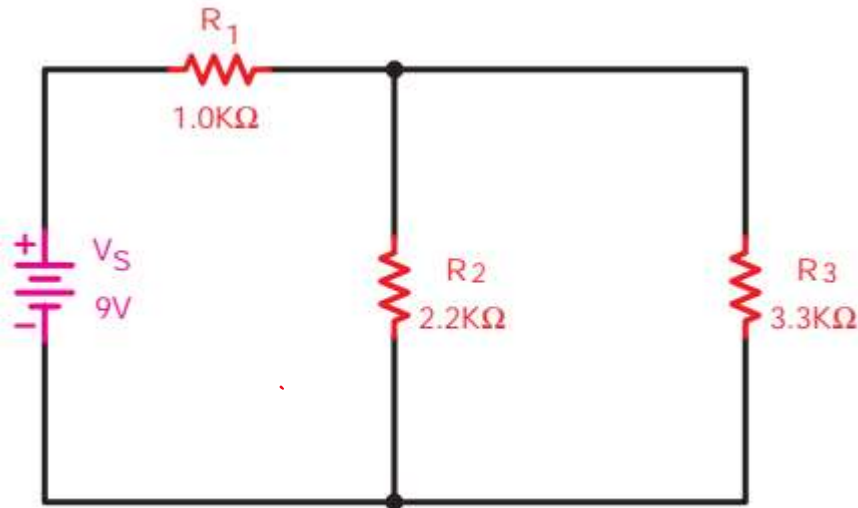
6 طرف دوم معادله نوشته شده برای شکل ۴-۴۹ را تکمیل کنید.



شکل ۴-۴۹

$$V_S - R_1 I - R_2 I =$$

7. جریان عبوری از هر کدام از مقاومت ها را در شکل زیر محاسبه کنید.



شکل ۴-۵۱