

## در این فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

- ۱- نحوه تولید انرژی الکتریکی
- ۲- نیروگاه‌های جریان‌های متناوب و مستقیم
- ۳- انتقال، توزیع و مصرف کننده‌های انرژی الکتریکی
- ۴- برچسب انرژی
- ۵- الکتریسیته ساکن
- ۶- ساختمان اتم
- ۷- هادی عایق و نیمه‌هادی
- ۸- قانون کولن
- ۹- میدان الکتریکی
- ۱۰- پتانسیل الکتریکی

**مقدمه:** هنر جویان عزیز، شغل مناسب بر اساس دانش، مهارت، تجربه، علاقه و خصوصیات و توان فردی در انجام یک وظیفه معین تعیین، می‌شود. شما می‌توانید با یادگیری مفاهیم و عمق‌بخشی بیشتر به آنها به کمک این درس در زمینه شغلی خود به‌عنوان یک برق‌کار، مفید و مؤثر واقع شوید.



امروزه زمینه شغلی برق‌کاران نسبت به گذشته دارای دامنه وسیع‌تری است. بطوری‌که به دلیل تغییر نیاز بازار کار هوشمند سازی برق ساختمان (BMS)<sup>۱</sup> نصب و سیم‌کشی دستگاه‌های حفاظتی شامل دوربین‌های مدار بسته، ضد سرقت، اعلام حریق، برق اضطراری و سیستم آنتن مرکزی، سیستم تلفن، دستگاه‌های صوتی-آیفون صوتی و تصویری و درب بازکن جزء وظایف برق‌کاران شده است.



اتوماسیون صنعتی (هوشمندسازی فعالیت کارخانجات و صنعت)

در سال‌های بعد به شایستگی‌های بیشتری در زمینه‌های حرفه‌ای و شغلی برق خواهید رسید ارتقاء این شایستگی‌ها، توانایی برق‌کاران را در فعالیتهای مرتبط با تجهیزات هوشمندسازی برق ساختمان افزایش خواهد داد و راه را برای ایجاد زمینه‌های شغلی و خود اشتغالی و کسب درآمد به منظور زندگی بهتر آنها هموارتر می‌کند.

در ادامه با تعدادی از حرفه‌ها و مشاغل مرتبط به رشته الکتروتکنیک آشنا می‌شوید.

## مشاغل مرتبط با رشته الکتروتکنیک

مشاغلی که در کشور در سطوح شغل و حرفه برق برای شما قابلیت دستیابی دارد.

### گروه شغلی: برق کار عمومی، ساختمان و صنعتی

۳	۲	۱	ردیف
تعمیر کار و نصاب خطوط برق	برق کار امور صنعتی	برقکار امور ساختمانی	عنوان شغل
			تصویر مرتبط با شغل
انجام امور مربوط به تعمیر، نصب و نگهداری خطوط توزیع برق	نصب قطعات تابلوهای برق سه فاز (صنعتی، کشاورزی و تجاری)	انجام سیم کشی برق ساختمان مسکونی و نصب قطعات الکتریکی	شرح شغل
۶	۵	۴	ردیف
اپراتور نیروگاه برق	مریی آموزش حرفه‌ای متوسطه	تعمیر کار لوازم الکتریکی و الکترونیکی	عنوان شغل
			تصویر مرتبط با شغل
نگهداری، تست و گزارش عملکرد تأسیسات نیروگاهی یا اتاق کنترل	آموزش مهارت‌های برق کاری به هنرجویان و علاقمندان	تعمیر لوازم گردنده و حرارتی برقی خانگی	شرح شغل
۹	۸	۷	ردیف
طراح برق و الکترونیک	تابلوساز و نصاب تابلو برق	مسئول کنترل کیفیت	عنوان شغل
			تصویر مرتبط با شغل
طراح تأسیسات الکتریکی	نصاب قطعات و چیدمان داخل تابلو برق	کنترل کیفی محصولات و خدمات الکتریکی	شرح شغل

۱۲	۱۱	۱۰	ردیف
مؤلف و نویسنده مرتبط	تحلیل گر سیستم	مدیر صنعت	عنوان شغل
			تصویر مرتبط با شغل
نویسندگان و مؤلفین کتب مرتبط با آموزش برق	مهندس تحلیل سیستم	مدیر پروژه های برقی	شرح شغل
۱۵	۱۴	۱۳	ردیف
نصب و تعمیر کار بالابر ونفر بر	تعمیر کار لوازم خانگی	نصاب و سرویسکار سیستم های جریان ضعیف	عنوان شغل
			تصویر مرتبط با شغل
نصب و تعمیر بالابر های تجاری	تعمیر و تعویض قطعات لوازم خانگی	نصاب سیستم های حفاظتی	شرح شغل

## تاریخچه برق در ایران

نخستین نیروگاه دولتی برق در سال ۱۲۶۴ یعنی ۶ سال پس از اینکه توماس الوادیسون نخستین لامپ برق را اختراع کرد، به دستور ناصرالدین شاه قاجار توسط محمد حسین امین‌الضرب به ایران وارد شد، این نیروگاه، برق کاخ گلستان را تأمین کرد.

در سال ۱۲۸۴ نخستین نیروگاه خصوصی برق شهری توسط مرحوم حاج حسین مهدوی (امین‌الضرب) به قدرت ۴۰۰ کیلووات از نوع حرارتی در شهر تهران نصب و راه اندازی شد. امین‌الضرب نخستین کسی بود که با دریافت یک امتیاز نامه معتبر اقدام به احداث نیروگاه برق شهری در ایران کرد. این نیروگاه در ۲۴ ساعت فقط ۶ ساعت برق ۲۲۰ ولت تک فاز، و ۳۸۰ ولت سه فاز متناوب مشترکین آن زمان را تأمین می‌کرد. چنانچه از امتیاز نامه حاج حسین امین‌الضرب بر می‌آید در این امتیازنامه برپایه کارخانه‌های برق، آجرسازی و نجاری یک جا به وی واگذار شده بود.





اولین نیروگاه بخاری (محل نگهداری موزه برق تهران)

همچنین از حدود سال ۱۳۰۳ بخش‌های خصوصی دیگری از جمله کارخانه‌های آرد، ریسندگی، نساجی و برخی شهرداری‌ها، در شهرهای مختلف ایران نسبت به راه اندازی نیروگاه‌های کوچک از نوع دیزل و حرارتی برای تأمین بخشی از برق روشنایی مناطق شهری اقدام کردند. در سال ۱۳۱۶ نخستین نیروگاه برق دولتی به قدرت ۶۴۰۰ کیلووات از نوع حرارتی، توسط بلدیة تهران (شهرداری) در شمال شرقی بیرون دروازه دوشان تپه (میدان شهدا) راه اندازی شد و بعدها نیروگاه‌های دیزلی و حرارتی به این نیروگاه اضافه شد. بعضی از این نیروگاه‌ها تا سال ۱۳۴۷ جهت تولید و عرضه نیروی برق مورد بهره برداری قرار می‌گرفت. با راه اندازی نیروگاه‌های آبی مربوط به سد امیرکبیر، سد دز، سد سفید رود، حرارتی آلستوم (نیروگاه طرشت) و فرح آباد (بعثت) در سال ۱۳۴۸ و در نتیجه تولید نیروی برق کافی، نیروگاه برق دوشان تپه از مدار خارج شد.

## الهام از طبیعت



فیبرهای نوری با سرعت بسیار زیاد می‌توانند داده‌ها را منتقل کرده و انسان را در زمینه ارتباطات جلو ببرند و اسفنج‌های دریایی یک الهام خوب برای ساخت فیبرهای نوری هستند. جنس یکی از اسفنج‌های دریایی از نوعی شیشه ساخته شده که فیبرهای آن بسیار باریک (در حد تار موی انسان) هستند اما اگر در کنار هم جمع شوند، ساختاری بسیار مستحکم می‌سازند.



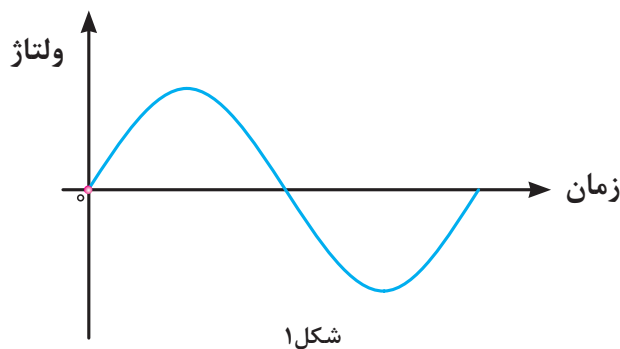
واحد یادگیری ۱

تولید انرژی الکتریکی



انرژی الکتریکی از تبدیل انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی (حرارت)، انرژی جنبشی باد، انرژی خورشیدی، انرژی پتانسیل گرانشی آب، انرژی حاصل از هوای فشرده (گاز) حاصل از جزر و مد آب دریا و سایر موارد بدست می‌آید. و برای این تبدیل انرژی از ژنراتور<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. محل نصب ژنراتور و تجهیزات مربوط به آن را نیروگاه<sup>۲</sup> می‌نامند. نیروگاه‌های برق در دو نوع «جریان متناوب»<sup>۳</sup> و «جریان مستقیم»<sup>۴</sup> می‌باشند. جریان متناوب را به اختصار با حروف AC و جریان مستقیم را به اختصار با حروف DC نشان می‌دهند.

### نیروگاه‌های جریان متناوب



نیروگاه‌های جریان متناوب شامل نیروگاه‌های حرارتی، آبی، گازی، دیزلی و سایر موارد می‌باشند. شکل موج ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور این نیروگاه‌ها به صورت سینوسی می‌باشد که به آن متناوب گویند (شکل ۱).

### الف) نیروگاه حرارتی :

نیروگاه حرارتی با انرژی حرارتی حاصل از سوخت‌های فسیلی یا سوخت‌های هسته‌ای، آب را به بخار تبدیل می‌کند توربین<sup>۵</sup> انرژی جنبشی بخار را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌نماید. ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. بازده نیروگاه‌های حرارتی به دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد.



- ۱- Generator
- ۲- Power plant
- ۳- Alternating Current (Ac)
- ۴- Direct Current (Dc)
- ۵-Turbine



شکل ۲- سد و نیروگاه آبی کارون ۳ استان خوزستان

زمان احداث نیروگاه آبی چندین سال طول می کشد و در سرزمین‌هایی قابل استفاده می‌باشد که امکان احداث سد فراهم باشد و احداث آن باعث تخریب و تغییر در شرایط محیط زیست نشود.

### ب) نیروگاه آبی :

نیروگاه آبی، انرژی پتانسیل گرانشی حاصل از ذخیره سازی آب در پشت سد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید(شکل ۲).

### پ) نیروگاه گازی :

نیروگاه گازی انرژی جنبشی حاصل از هوای فشرده و گرم‌شده را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

زمان احداث نیروگاه‌های گازی در مقایسه با نیروگاه‌های آبی و حرارتی کمتر می‌باشد اما بازه آنها به دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد(شکل ۳).



شکل ۳- نیروگاه گازی





شکل ۴- نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

### ت) نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاه سیکل ترکیبی از دو نیروگاه حرارتی و گازی که در مجاورت یکدیگر احداث شده‌اند، تشکیل شده است به این ترتیب که از انرژی حرارتی تلف شده در نیروگاه گازی برای گرم کردن آب نیروگاه حرارتی استفاده می‌شود. بنابراین بازده و خروجی نیروگاه سیکل ترکیبی در مقایسه با نیروگاه حرارتی و گازی بیشتر خواهد بود (شکل ۴).



شکل ۵- نیروگاه بادی

### ث) نیروگاه بادی

نیروگاه بادی انرژی جنبشی حاصل از باد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. نیروگاه بادی با توجه به شرایط اقلیمی، وزش باد در مدت زمان کمتر از یک سال قابل احداث و بهره برداری می‌باشد. رایگان بودن انرژی باد و عدم نیاز به انرژی فسیلی از مزایای مهم نیروگاه بادی می‌باشد (شکل ۵).

### ج) نیروگاه دیزلی

نیروگاه دیزلی انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی نظیر گازوئیل را توسط ماشین‌های درون‌سوز به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و ژنراتور انرژی مکانیکی ماشین درون‌سوز را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. نیروگاه دیزلی به صورت نصب ثابت و سیار قابل استفاده می‌باشند (شکل ۶).



شکل ۶- دیزل ژنراتور



## نیروگاه‌های جریان مستقیم

یکی از نیروگاه‌های جریان مستقیم نیروگاه‌های خورشیدی است که شکل موج ولتاژ و جریان



شکل ۷- ولتاژ خروجی نیروگاه خورشیدی

خروجی ژنراتور این نیروگاه‌ها به صورت خط صاف است. یعنی با گذشت زمان مقدار ولتاژ یا جریان تغییر نمی‌کند و ثابت است. شکل ۷ روش‌های تولید انرژی الکتریکی با جریان مستقیم به شرح زیر است :

### الف) روش فوتولتاییک

نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه متصل به هم، باعث تخلیه الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود (شکل ۸). به این اثر فوتولتاییک می‌گویند.

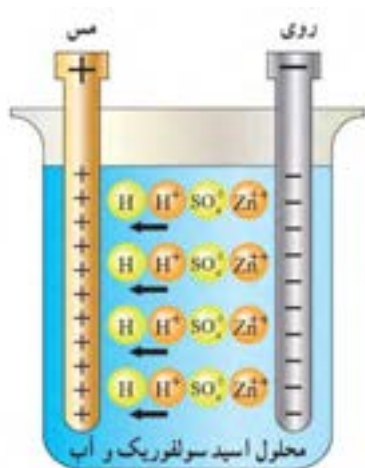


شکل ۸- فوتولتاییک



شکل ۹- کاربرد متفاوت انرژی الکتریکی تولید شده توسط نور خورشید

## ب) روش شیمیایی



شکل ۱۰- الکتروشیمیایی

مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌های شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری معمولی از این راه الکتریسیته تولید می‌کند. این پدیده بر قوانین الکتروشیمی مبتنی است. برای مثال، می‌توان باتری تر را نام برد. اسید سولفوریک هنگامی که در یک ظرف شیشه‌ای با آب (به عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو ماده شیمیایی هیدروژن (H) و سولفات (SO<sub>4</sub>) تجزیه می‌گردد. به علت طبیعت ترکیبات شیمیایی اتم‌های هیدروژن یون‌های مثبت (H<sup>+</sup>) و اتم‌های سولفات یون‌های منفی (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) دارند. تعداد بارهای مثبت و منفی مساوی‌اند و در

نتیجه، کل محلول از نظر بار الکتریکی خنثی است. پس از آن، هنگامی که میله‌های مسی یا

روی را به داخل محلول وارد می‌کنیم، با محلول ترکیب می‌شوند (شکل ۱۰).

فلز روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی‌اند، یون‌های مثبت (Zn<sup>++</sup>) از میله فلزی روی خارج می‌شوند. در اثر خارج شدن یون‌های مثبت از میله روی، میله دارای الکترون‌های اضافی می‌شود. پس به طور منفی باردار می‌گردد. یون‌های روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شوند. آنها را خنثی می‌کنند. در این حالت، محلول از نظر بارهای مثبت غنی‌تر است. یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌های آزاد میله مسی را جذب و محلول را دوباره خنثی می‌کنند ولی در این حالت، میله مسی کمبود الکترون خواهد داشت. در نتیجه، به طور مثبت باردار خواهد شد.

## پ) روش پیزوالکتریک

هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد می‌کنیم، الکترون‌های آنها در جهت نیرو از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه، الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک می‌کنند و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند. بنابراین، در دو جهت مخالف جسم بارهای مثبت و منفی به وجود می‌آیند (شکل ۱۱).

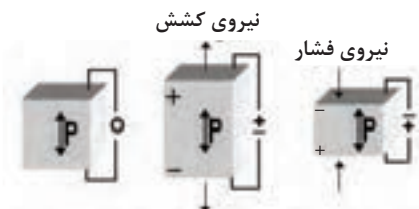
به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی، اثر پیزوالکتریک، می‌گویند. پیزو یک کلمه یونانی به معنای فشار است. این اثر بیشتر در مورد کریستال‌ها و بعضی سرامیک‌های مخصوص خود را نشان می‌دهد. کریستال‌های پیزوالکتریک در بعضی میکروفون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱(ج) - کاربرد پیزوالکتریک در فندک



شکل ۱۱(ب) - کاربرد کریستال در میکروفن



شکل ۱۱(الف) - فشار و کشش روی کریستال

### ت) روش ترموالکتریک

بعضی از اجسام الکترون از دست می‌دهند و بعضی دیگر الکترون جذب می‌کنند. در نتیجه بین دو جسم غیر مشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند.

بارهایی که در درجه حرارت اتاق تولید می‌شوند، کم هستند؛ ولی اگر محل اتصال دو فلز (مثلاً روی و مس) را حرارت دهیم، انرژی بیشتری آزاد می‌گردد. به روش تولید الکتریسیته به وسیله حرارت ترموالکتریک گفته می‌شود. هرچه حرارت داده شده بیشتر باشد، بار بیشتری تولید می‌شود. هنگامی که حرارت قطع شود، فلزها سرد می‌شوند و بارها از بین می‌روند. به اتصال این دو فلز ترموکوپل می‌گویند (شکل ۱۲). هنگامی که چندین ترموکوپل به یک دیگر متصل شوند، یک ترموپیل (باتری حرارتی) به وجود می‌آید. از ترموکوپل برای اندازه‌گیری درجه حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۲



شکل ۱۳ - دو نمونه ترموکوپل

## معرفی پایگاه اینترنتی:

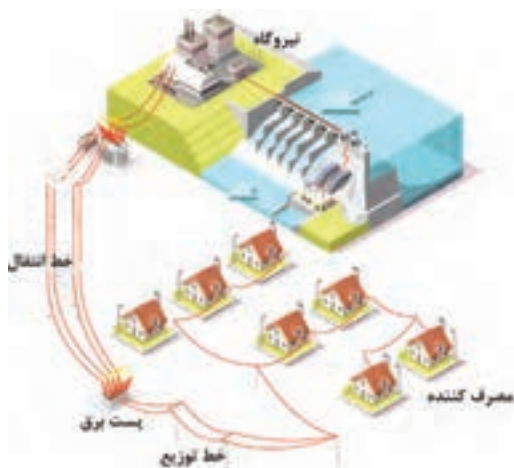
در پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران «سنا» <http://www.suna.org.ir> می‌توانید مطالعات بیشتری در مورد انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق و منابع این انرژی‌ها در کشورمان ایران، داشته باشید (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ پایگاه اینترنتی سانا

## انتقال انرژی الکتریکی

انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید در نیروگاه‌های برق توسط «شبکه‌های انتقال نیرو» به سمت مصرف کننده انجام می‌شود.



شکل ۱۵- تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی



شکل ۱۶- پست انتقال برق

بخشی از انرژی الکتریکی به هنگام انتقال به حرارت تبدیل می‌شود که آن را « تلفات انرژی در شبکه انتقال نیرو » می‌گویند. به منظور کاهش تلفات انرژی ولتاژ شبکه‌های انتقال نیرو توسط «پست افزایشده» زیاد می‌شود و در انتهای شبکه انتقال نیرو توسط «پست کاهشده» کاهش می‌یابد. برای کاهش یا افزایش ولتاژ از ترانسفورمر استفاده می‌شود در واقع ترانسفورمر یک مبدل ولتاژ است.

## توزیع انرژی الکتریکی



شکل ۱۷- پست توزیع

توزیع انرژی الکتریکی توسط «شبکه‌های توزیع» بین مصرف‌کننده‌ها انجام می‌شود. شبکه توزیع، انرژی الکتریکی را از شبکه انتقال نیرو دریافت می‌کند و پس از آن با ولتاژ مناسب بین مصرف‌کننده‌ها توزیع می‌نماید. تغییر ولتاژ توسط «پست توزیع» در شبکه‌های توزیع انجام می‌شود. شکل (۱۷).

## مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی

مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی در انتهای مسیر تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی قرار دارند. مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی عبارت‌اند از:

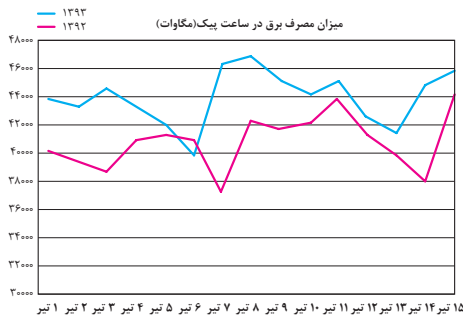
- بخش مصارف خانگی
  - بخش مصارف صنعتی و تجاری
  - بخش مصارف کشاورزی
  - بخش مصارف عمومی شامل مراکز فرهنگی هنری، تفریحی
- انرژی الکتریکی در این بخش‌ها در تجهیزات زیر مصرف می‌شود:
- موتورهای الکتریکی مثل یخچال‌ها، کولرها، پمپ‌های صنعتی و آب
  - روشنایی مثل لامپ LED، لامپ CFL و فلورسنت
  - گرمازا مثل سماور برقی، پلوپز برقی و المنت‌ها و نظایر آن

### زمان اوج مصرف انرژی الکتریکی



به ساعاتی که مصرف انرژی الکتریکی در کل کشور زیاد باشد، ساعت اوج<sup>۱</sup> مصرف انرژی الکتریکی گفته می‌شود. اوج مصرف روزانه شبکه سراسری انرژی الکتریکی به زمان غروب آفتاب، تاریک شدن هوا و وسایل مصرف‌کننده‌های روشنایی بستگی دارد. در این زمان در بخش تجاری و خانگی مصرف‌کننده دیگری نظیر یخچال و فریزر و تلویزیون همزمان با مصرف‌کننده‌های روشنایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساعات اوج مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کشور ما در تابستان بین ساعات ۱۹ تا ۲۳ و در زمستان بین ساعات ۱۸ تا ۲۲ است. همچنین در بعضی از فصل‌های سال

۱- Peak



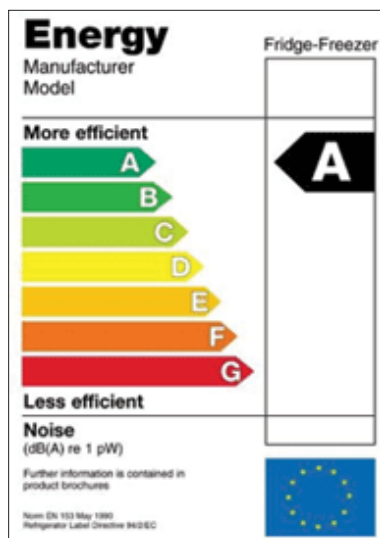
شکل ۱۸- اوج مصرف برق در تیرماه

تابستان) مصرف انرژی الکتریکی نسبت به سایر فصول سال به دلیل اضافه شدن وسایل سرمایشی نظیر کولر و .. بیشتر است که به آن اوج مصرف فصلی می گویند. در شکل ۱۸ پیک مصرف برق کشور (برحسب مگاوات) در تیر ماه سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نشان داده شده است.



### آشنایی با برچسب انرژی

مختلفی تشکیل شده است که هر قسمت نمایانگر اطلاعاتی است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- برچسب انرژی بازده انرژی A

همه مردم به دنبال تهیه بهترین وسیله برقی جهت استفاده در زندگی روزمره هستند در عصر تکنولوژی تنوع بسیاری در نوع و کیفیت محصولات برقی در بازار وجود دارد. این تنوع در تعداد قابل ملاحظه‌ای روبه افزایش است. بنابراین انتخاب و خرید وسایل برقی، اطمینان از بازدهی و میزان مصرف انرژی دستگاه‌های مورد نظر برای مصرف‌کنندگان دارای اهمیت و ضرورت بسیاری است. ایجاد اطمینان از کیفیت محصول از طریق آزمایش لوازم برقی و تعیین رتبه کارایی آنها در آزمایشگاه ملی صرفه جویی انرژی انجام شده و در آنجا نیز نصب برچسب انرژی انجام می‌شود.

برچسب انرژی امروزه در اغلب کشورهای جهان وجود دارد و مصرف‌کنندگان را با میزان مصرف انرژی هریک از وسایل خانگی انرژی بر آشنا می‌کند. همچنین اطلاعات مشترک در همه وسایل اطلاعات اختصاصی مرتبط به هر وسیله انرژی بر را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. مصرف‌کننده می‌تواند با توجه به این اطلاعات در هنگام خرید، دستگاهی را انتخاب کند که در مقایسه با سایر مدل‌های مشابه دارای مصرف انرژی کمتر و بازدهی بیشتری باشد. برچسب انرژی از قسمت‌های

### بخش‌های مختلف برچسب انرژی

سه بخش اولیه برچسب که در تمامی وسایل انرژی بر خانگی مشترک است به ترتیب نمایانگر علامت تجاری، نام کارخانه سازنده و مدل دستگاه می‌باشد. بخش چهارم برچسب انرژی به وسیله هفت حرف لاتین از A تا G در هفت طیف رنگی درجه بندی شده است که هریک از حروف و یا رنگ‌ها معرف



درجه‌ای از مصرف انرژی و کارایی دستگاه می‌باشد. حرف A نشانگر کم‌ترین مصرف انرژی و بیشترین بازدهی دستگاه و حرف G نشانگر بیشترین مصرف انرژی و کم‌ترین بازدهی دستگاه است. بنابراین هرچه رتبه برچسب دستگاه بیشتر باشد کارایی آن نسبت به میزان انرژی که مصرف می‌کند بیشتر است. بخش پنجم، نمایانگر مصرف انرژی دستگاه و سایر بخش‌ها بیانگر اطلاعات اختصاصی در مورد هریک از وسایل است. به طور مثال این بخش در ماشین لباسشویی نشانگر میزان قدرت پاک‌کنندگی، قدرت خشک‌کن، ظرفیت و میزان مصرف آب و در یخچال نیز نشانگر حجم قسمت یخچال و فریزر دستگاه می‌باشد و آخرین بخش برچسب انرژی در تمامی وسایل علامت مؤسسه استاندارد را نشان می‌دهد. استفاده از برچسب انرژی مزایای گوناگونی برای مصرف‌کنندگان این گونه وسایل دارد.

۱- انتخاب درست و آگاهانه مردم در هنگام خرید وسایل برقی خانگی

۲- آشنا ساختن مصرف‌کنندگان یا میزان کارایی و بازدهی وسایل برقی خانگی

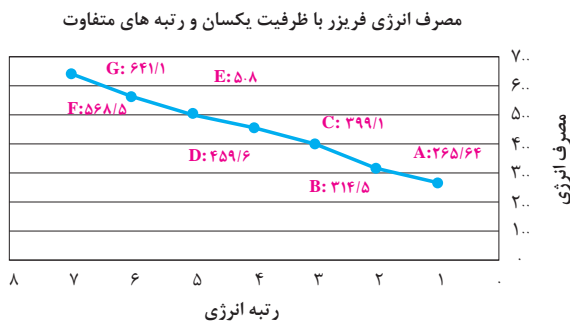
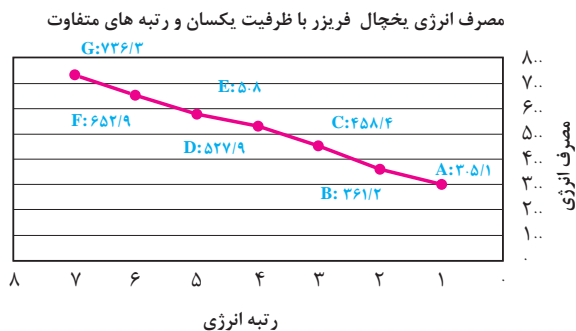
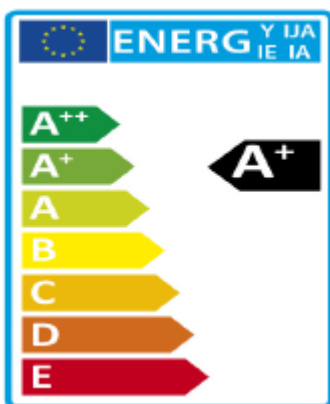
۳- بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی

۴- کاهش هزینه انرژی مصرفی در خانواده‌ها

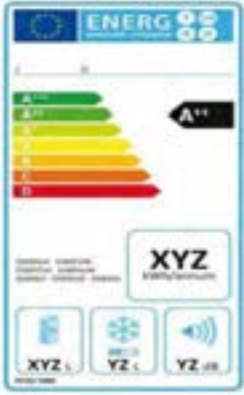

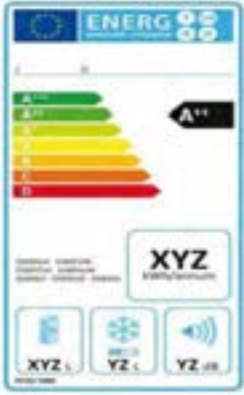

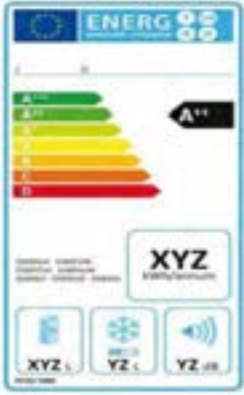

۵- کاهش آلودگی محیط زیست

۶- ارائه اطلاعات اختصاصی ویژه هر وسیله برقی

با توجه به اهمیت و ارزش انرژی از سال ۲۰۱۰ میلادی درجه بندی برچسب انرژی از A به A+++ ارتقاء داده شده است (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- مقایسه برچسب انرژی

برچسب انرژی جدید بر اساس دستورالعمل اروپا و استاندارد ملی	برچسب انرژی قدیمی اروپا و استاندارد ملی	متغیرها																																		
$EEI = \frac{AEC}{SAEC} \times 100$ <p>AEC مصرف انرژی سالیانه وسیله برودتی SAEC مصرف انرژی سالیانه استاندارد وسیله برودتی</p>	<p>شاخص بازده انرژی I (درصد) = <math>\frac{\text{مصرف سالانه دستگاه}}{\text{مصرف انرژی استاندارد سالانه}}</math></p>	شاخص بازده																																		
<table border="1"> <tr> <td>A<sup>+++</sup></td> <td>EEI &lt; 22</td> <td>A</td> <td>I &lt; 55</td> <td rowspan="7">بازه‌های رتبه مصرف انرژی</td> </tr> <tr> <td>A<sup>++</sup></td> <td>22 ≤ EEI &lt; 33</td> <td>B</td> <td>55 ≤ I &lt; 75</td> </tr> <tr> <td>A<sup>+</sup></td> <td>33 ≤ EEI &lt; 44</td> <td>C</td> <td>75 ≤ I &lt; 90</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>44 ≤ EEI &lt; 55</td> <td>D</td> <td>90 ≤ I &lt; 100</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>55 ≤ EEI &lt; 75</td> <td>E</td> <td>100 ≤ I &lt; 110</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>75 ≤ EEI &lt; 90</td> <td>F</td> <td>110 ≤ I &lt; 125</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>90 ≤ EEI &lt; 100</td> <td>G</td> <td>125 ≤ I &lt; 140</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td rowspan="2">برچسب مصرف انرژی</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>بازه‌های رتبه مصرف انرژی</p> <p>بازده انرژی</p> <p>مصرف انرژی</p> <p>مصرف انرژی استاندارد</p> <p>شاخص بازده انرژی</p> </td> </tr> </table>		A <sup>+++</sup>	EEI < 22	A	I < 55	بازه‌های رتبه مصرف انرژی	A <sup>++</sup>	22 ≤ EEI < 33	B	55 ≤ I < 75	A <sup>+</sup>	33 ≤ EEI < 44	C	75 ≤ I < 90	A	44 ≤ EEI < 55	D	90 ≤ I < 100	B	55 ≤ EEI < 75	E	100 ≤ I < 110	C	75 ≤ EEI < 90	F	110 ≤ I < 125	D	90 ≤ EEI < 100	G	125 ≤ I < 140			برچسب مصرف انرژی	<p>بازه‌های رتبه مصرف انرژی</p> <p>بازده انرژی</p> <p>مصرف انرژی</p> <p>مصرف انرژی استاندارد</p> <p>شاخص بازده انرژی</p>		بازه‌های رتبه مصرف
A <sup>+++</sup>	EEI < 22	A	I < 55	بازه‌های رتبه مصرف انرژی																																
A <sup>++</sup>	22 ≤ EEI < 33	B	55 ≤ I < 75																																	
A <sup>+</sup>	33 ≤ EEI < 44	C	75 ≤ I < 90																																	
A	44 ≤ EEI < 55	D	90 ≤ I < 100																																	
B	55 ≤ EEI < 75	E	100 ≤ I < 110																																	
C	75 ≤ EEI < 90	F	110 ≤ I < 125																																	
D	90 ≤ EEI < 100	G	125 ≤ I < 140																																	
		برچسب مصرف انرژی																																		
<p>بازه‌های رتبه مصرف انرژی</p> <p>بازده انرژی</p> <p>مصرف انرژی</p> <p>مصرف انرژی استاندارد</p> <p>شاخص بازده انرژی</p>																																				

### معرفی پایگاه اینترنتی:

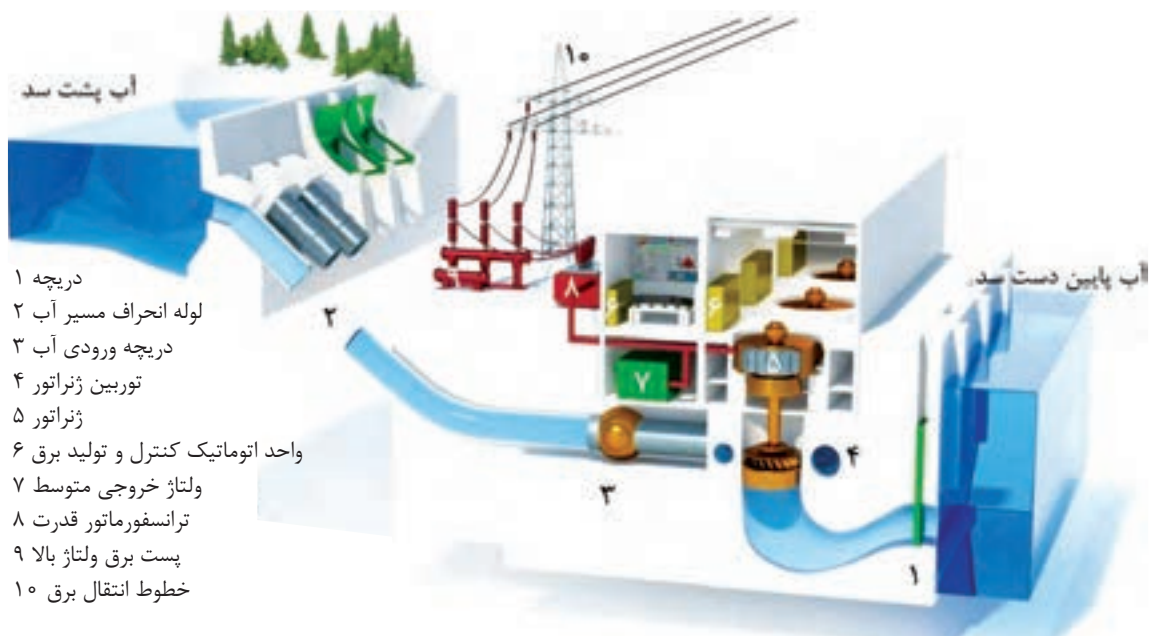
تحقیق کنید

در پایگاه اینترنتی سازمان بهره‌وری انرژی ایران «سابا» <http://www.saba.org.ir> می‌توانید مطالعات بیشتری در مورد مصرف کننده‌های الکتریکی و لوازم خانگی برقی و برچسب انرژی داشته باشید. (شکل ۲۱)



شکل ۲۱- پایگاه اینترنتی سابا

- ۱- انواع نیروگاه‌های جریان متناوب را نام ببرید.
- ۲- نیروگاه حرارتی را تعریف کنید.
- ۳- وظیفه توربین و ژنراتور را تعریف کنید.
- ۴- انواع نیروگاه‌های جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۵- چگونه از اتلاف انرژی الکتریکی هنگام انتقال آن جلوگیری می‌کنند؟
- ۶- برچسب انرژی چه اطلاعاتی در اختیار مصرف کنندگان می‌گذارد؟
- ۷- استفاده از برچسب انرژی روی وسایل برقی چه مزایایی برای مصرف کنندگان این وسایل دارد؟
- ۸- در شکل ۲۲ عملکرد نیروگاه آبی را تشریح کنید.



- ۱ دریچه
- ۲ لوله انحراف مسیر آب
- ۳ دریچه ورودی آب
- ۴ توربین ژنراتور
- ۵ ژنراتور
- ۶ واحد اتوماتیک کنترل و تولید برق
- ۷ ولتاژ خروجی متوسط
- ۸ ترانسفورماتور قدرت
- ۹ پست برق ولتاژ بالا
- ۱۰ خطوط انتقال برق

شکل ۲۲- سد و نیروگاه آبی



## واحد یادگیری ۲

### الکتریسیته



امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیر ممکن است. به علاوه، در بیشتر وسایل نقلیه انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به این ترتیب، می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً در همه جا به کار می‌رود.

اگرچه الکتریسیته در قرون اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی‌ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آنها پی بردند که وقتی ماده‌ای به نام کهربا را به ماده دیگری مالش دهند، باردار می‌شود و می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را الکترون نام نهادند که کلمه الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است. در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه<sup>۱</sup> به این نکته پی برد که یک تکه شیشه باردار بعضی از اجسام باردار را جذب و اجسام باردار دیگر را دفع می‌کند. بنابراین، او چنین نتیجه گرفت که دو نوع الکتریسیته وجود دارد.

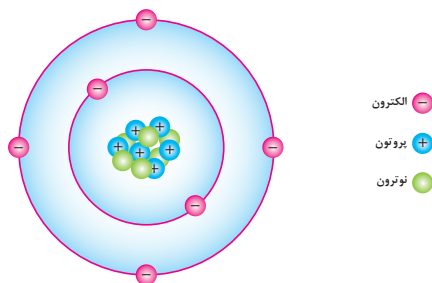


شکل ۲۳

در اواسط دهه ۱۷۰۰، بنجامین فرانکلین این دو نوع را الکتریسیته‌های مثبت و منفی نام‌گذاری کرد. امروزه دانشمندان بر این عقیده‌اند که الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام الکترون و پروتون تولید می‌شود (شکل ۲۳).

## ساختار اتم

اتم از دو بخش هسته و اطراف هسته تشکیل شده است. درون هسته ذرات پروتون و نوترون قرار دارند و الکترون‌ها بر روی مسیرهایی در اطراف هسته می‌گردند. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند و نوترون‌ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند. تعداد پروتون‌های داخل هسته را عدد اتمی می‌گویند. در حالت‌های عادی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های اتم مساوی هستند لذا اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است (شکل ۲۴).



شکل ۲۴

<sup>۱</sup>-Charles Dufay



بار الکتریکی هر پروتون برابر بار الکتریکی الکترون است و مقدار بار الکتریکی الکترون برابر با  $1,6 \times 10^{-19}$  کولن می‌باشد و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$e = 1,6 \times 10^{-19}$$

مقدار بار الکتریکی الکترون را «بار پایه» در نظر می‌گیرند. ضرب صحیحی از بار پایه را «بار الکتریکی» می‌نامند و آن را با  $q$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = n.e$$

که در این رابطه:

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن (C)

$n$ : تعداد الکترون

$e$ : بار الکتریکی الکترون

مثال: عدد اتمی مس برابر ۲۹ می‌باشد. بار الکتریکی هسته آن چند کولن است؟ ( $e = 1,6 \times 10^{-19}$ )

حل: از رابطه  $q = n.e$  داریم:

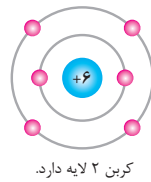
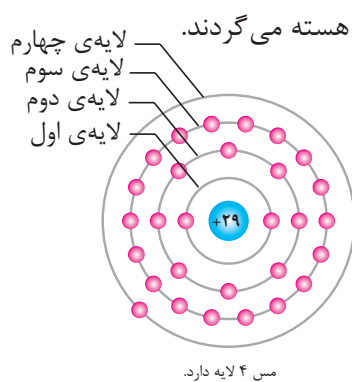
$$q = 29 \times 1,6 \times 10^{-19}$$

$$q = 46,4 \times 10^{-19}$$

$$q = 4,64 \times 10^{-18} \text{ (C)}$$

## لایه‌ها

لایه مسیری است که الکترون‌ها تحت تأثیر نیروی جاذبه پروتون‌ها به دور هسته می‌گردند. تعداد لایه‌های هر اتم متناسب با تعداد الکترون‌های آن می‌باشد. اتم‌های تمام عناصر می‌توانند تا هفت لایه داشته باشند. در شکل ۲۵ لایه‌های عناصر مس، کربن و هیدروژن نشان داده شده است.



شکل ۲۵

## ظرفیت لایه

ظرفیت لایه نشان‌دهنده حداکثر الکترون‌های موجود در هر لایه می‌باشد. ظرفیت هر لایه از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

$$\text{ظرفیت هر لایه} = 2n^2$$

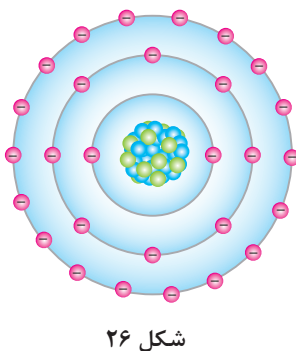
در این رابطه  $n$  شماره هر لایه می‌باشد. برای لایه‌های اول و دوم و سوم داریم:

$$2(1)^2 = 2 \text{ لایه اول}$$

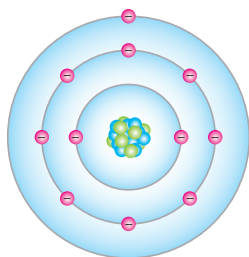
$$2(2)^2 = 8 \text{ لایه دوم}$$

$$2(3)^2 = 18 \text{ لایه سوم}$$

ظرفیت دیگر لایه‌ها نیز قابل محاسبه می‌باشد.



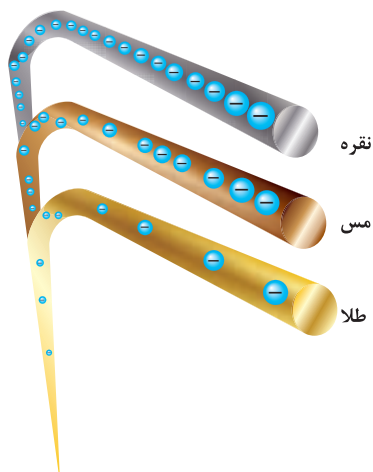
## لایه خارجی (طبقه والانس)



شکل ۲۷

لایه خارجی آخرین لایه هر اتم است و آن را لایه والانس گویند. الکترون‌های لایه والانس را «الکترون والانس» می‌نامند (شکل ۲۷).

## هدایت الکتریکی



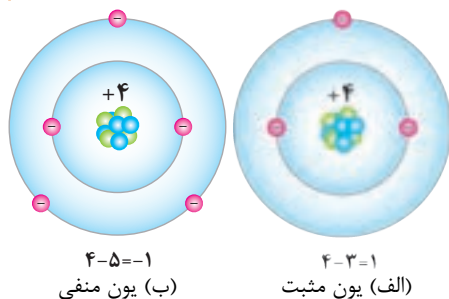
شکل ۲۸

هدایت الکتریکی عناصر به تعداد الکترون‌های لایه والانس بستگی دارد. هر چه تعداد الکترون‌های لایه والانس کمتر باشد هدایت الکتریکی بیشتر خواهد شد. هدایت الکتریکی در فلزات بیشتر از سایر عناصر می‌باشد. عناصری که اتم‌هایشان یک الکترون والانس دارند هدایت الکتریکی بهتری خواهند داشت به طور مثال اتم‌های مس، نقره، طلا دارای یک الکترون در لایه والانس هستند. بهترین هادی الکتریکی نقره و پس از آن مس و طلا می‌باشد (شکل ۲۸). نقره در حجم معینی نسبت به مس دارای اتم‌های بیشتر است و به همین دلیل هدایت الکتریکی نقره بهتر از مس می‌باشد. اما به دلیل گرانی نقره نسبت به مس، سیم‌های برق را از مس می‌سازند البته به دلیل مشابه امروزه آلومینیوم در برخی موارد جایگزین مس شده است.

## نیمه هادی

عناصری که در لایه والانس چهار الکترون دارند «نیمه هادی» نامیده می‌شوند. عناصری نظیر ژرمانیوم، سیلیسیم در لایه والانس خود چهار الکترون دارند و جزو نیمه هادی‌های معروف هستند.

## یون



$4-5=-1$   
(ب) یون منفی

$4-3=1$   
(الف) یون مثبت

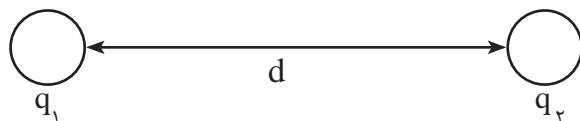
شکل ۲۹

اتم دارای بار الکتریکی را «یون» گویند. اگر تعداد الکترون‌های اتم بیش از پروتون‌های آن باشد اتم را «یون منفی» گویند. شکل (۲۹-ب) و اگر تعداد الکترون‌های اتم کمتر از پروتون‌های آن باشد، اتم را «یون مثبت» گویند (شکل ۲۹-الف).

## قانون کولن

قانون کولن نیروی میان بارهای الکتریکی را بیان می‌کند بنا به تعریف نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی با حاصل ضرب مقدار دو بار الکتریکی رابطه مستقیم و با مجذور فاصله میان دو بار نسبت عکس دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید.

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



در این رابطه:

$F$ : نیروی کولنی میان دو بار الکتریکی برحسب نیوتن (N)

$q_1$ : بار الکتریکی اول بر حسب کولن (C)

$q_2$ : بار الکتریکی دوم برحسب کولن (C)

$d$ : فاصله میان دو بار بر حسب متر (m)

$$K = 9 \times 10^9 \text{ (ضریب ثابت } \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\text{)}$$

نیروی کولنی میان بارهای هم نام دافعه و میان بارهای ناهم نام جاذبه می‌باشد.

**مثال:** دو بار الکتریکی  $3 \mu\text{C}$  و  $4 \mu\text{C}$  در فاصله  $30 \text{ cm}$  از یکدیگر قرار دارند نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

**حل:** طبق رابطه  $F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$  داریم:

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(30 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{12 \times 10^{-12}}{900 \times 10^{-4}} = 12 \times 10^{-1} = 1/2 \text{ (N)}$$

بارها هم نام هستند پس نیروی کولنی بین آنها دافعه است.

## میدان الکتریکی

در فضای اطراف هر بار الکتریکی خاصیتی وجود دارد که به بارهای الکتریکی دیگر نیرو وارد می‌کند به این خاصیت «میدان الکتریکی» گویند.



شکل ۳۰

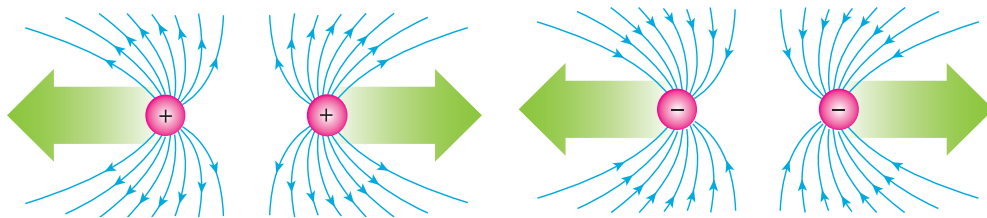
برای نمایش میدان الکتریکی هر بار الکتریکی از خطوط شعاعی استفاده می‌شود و آن را خطوط میدان الکتریکی می‌نامند. طبق قرار داد خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت خارج و به بارهای منفی وارد می‌شود. خطوط میدان الکتریکی بار مثبت در شکل (۳۰) نشان داده شده است.



شکل ۳۱

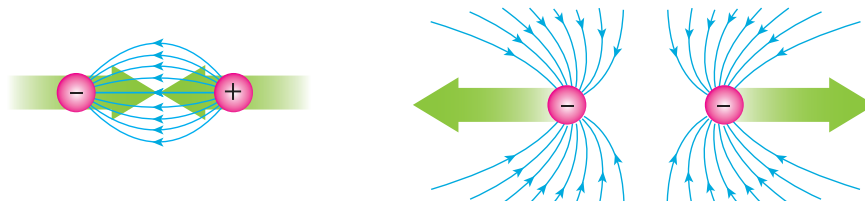
و خطوط میدان الکتریکی بار منفی در شکل (۳۱) نشان داده شده است.

خطوط میدان الکتریکی دوبار هم نام و هم اندازه با نیروی دافعه کولنی در شکل (۳۲) نشان داده شده است.



شکل ۳۲

و خطوط میدان الکتریکی دوبار ناهم نام و هم اندازه با نیروی جاذبه کولنی در شکل (۳۳) نشان داده شده است.



شکل ۳۳

## شدت میدان الکتریکی

شدت میدان الکتریکی مقدار نیروی کولنی وارد بر واحد بار الکتریکی در هر نقطه می‌باشد و آن را با  $E$  نمایش می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

$E$ : شدت میدان الکتریکی بر حسب نیوتن بر کولن ( $N/C$ )

$F$ : نیروی کولنی بر حسب نیوتن ( $N$ )

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن ( $C$ )

مثال: بر بار الکتریکی  $4\mu C$  در نقطه‌ای نیروی کولنی  $2N$  وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه چند  $N/C$  است؟

حل: از رابطه  $E = \frac{F}{q}$  داریم:

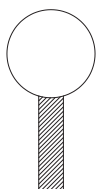
$$E = \frac{2}{4 \times 10^{-6}}$$

$$E = \frac{1}{2} \times 10^6$$

$$E = 5 \times 10^5 \left[ \frac{N}{C} \right]$$

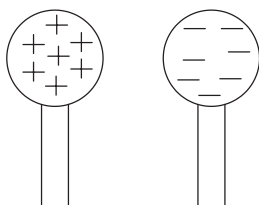
## پتانسیل الکتریکی

یک کره فلزی بر روی پایه عایق مطابق شکل (۳۴) در نظر گرفته شده است.



شکل ۳۴

مقدار کاری که انجام می‌شود تا بار الکتریکی  $q$  بر روی کره فلزی انباشته شود به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی  $U$  بر روی کره ذخیره شده است. (شکل ۳۵)



الف بار ذخیره شده مثبت      ب بار ذخیره شده منفی

شکل ۳۵

نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده به مقدار بار الکتریکی را پتانسیل الکتریکی می‌گویند. و از رابطه زیر به دست می‌آید.

که در این رابطه:

$U$ : انرژی پتانسیل گرانشی بر حسب ژول ( $J$ )

$V$ : پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت ( $V$ )

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن ( $C$ )

$$V = \frac{U}{q}$$

اگر بار الکتریکی انباشته شده در کره مثبت باشد «پتانسیل الکتریکی مثبت» و اگر منفی باشد «پتانسیل الکتریکی منفی» است.

مثال: بار الکتریکی  $5\mu\text{C}$  روی یک کره رسانا با پایه عایق انباشته شده است. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده  $2\text{mJ}$  باشد، پتانسیل الکتریکی آن را بیابید:

حل: از رابطه  $V = \frac{U}{q}$  داریم:

$$V = \frac{20 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-6}}$$

$$V = 4 \times 10^3$$

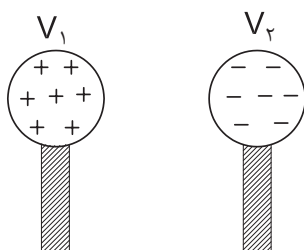
$$V = 4000 [\text{V}] \text{ یا } 4 [\text{KV}]$$

## پتانسیل الکتریکی زمین

پتانسیل الکتریکی زمین صفر است زیرا مقدار بارهای الکتریکی مثبت و منفی آن برابر است. زمین به عنوان منبعی سرشار از بار الکتریکی مثبت و منفی می‌باشد که می‌توان به آن بار الکتریکی داد یا از آن دریافت کرد.

## ولتاژ

اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه را «ولتاژ» می‌نامند و از رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۳۶).



شکل ۳۶

$$V = V_1 - V_2$$

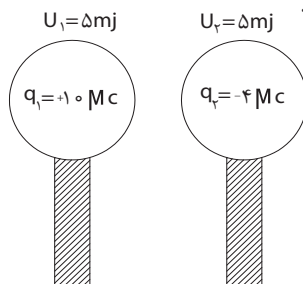
که در این رابطه:

$V_1$ : پتانسیل الکتریکی نقطه اول

$V_2$ : پتانسیل الکتریکی نقطه دوم

$V$ : ولتاژ بین نقاط اول و دوم

مثال: دو کره مشابه رسانا مطابق شکل روی پایه عایق قرار دارند مطلوب است.



شکل ۳۷

الف) پتانسیل الکتریکی کره‌ها

ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو کره ( $V_1 - V_2$ )

حل:

$$V_1 = \frac{U_1}{q_1} = \frac{5 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = 0.5 \times 10^3 = 500 [\text{V}] \text{ (الف)}$$

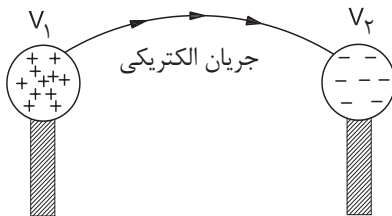
$$V_2 = \frac{U_2}{q_2} = \frac{5 \times 10^{-3}}{-4 \times 10^{-6}} = -\frac{1}{25} \times 10^3 = -1250 [\text{V}]$$

$$V_1 - V_2 = 500 - (-1250) = 1750 [\text{V}] \text{ (ب)}$$



## جریان الکتریکی

شارش بارهای الکتریکی بین دو نقطه را «جریان الکتریکی» گویند. عامل جاری شدن جریان الکتریکی اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه است.



جریان الکتریکی ناشی از حرکت الکترون‌های آزاد می‌باشد. الکترون آزاد الکترونی است که از لایه والانس جدا شده است و به هیچ اتمی وابسته نیست.

شکل ۳۸

صاعقه یک نمونه از شارش بارهای الکتریکی در اثر اختلاف پتانسیل الکتریکی میان ابر باردار و زمین است، همچنین صاعقه میان دو ابر باردار که دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی هستند نیز نمونه‌ای از شارش بارهای الکتریکی است شکل (۳۹) صاعقه را تخلیه الکتریکی نیز می‌گویند. تخلیه الکتریکی (صاعقه) ممکن است به ساختمان‌های بلند برخورد نماید و خسارت به بار آورد.



شکل ۳۹

در مورد نحوه عملکرد برق گیر ساختمان‌ها به صورت گروهی تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

تحقیق کنید

در بیمارستان‌ها برای بیهوش کردن بیماران از ماده‌ای به نام اتر استفاده می‌شود. اتر ماده‌ای فرار است و بخار آن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر چرخ‌های تخت حامل بیمار لاستیکی باشد، بر اثر مالش این چرخ‌ها با پتو و روکش بیمار ممکن است در آنها الکتریسیته ساکن تولید شود و جرقه بزند. همین جرقه باعث انفجار خواهد شد. امروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی زنجیر فلزی کوتاهی به بدنه فلزی تخت حامل بیمار آویزان می‌کنند که با سطح زمین تماس دارد. بارهای الکتریکی تولید شده از راه این زنجیر به زمین منتقل می‌شود و در نتیجه، از تولید جرقه و بروز پیشامد ناگوار جلوگیری می‌شود.

## شدت جریان الکتریکی

مقدار بار الکتریکی شارش یافته در واحد زمان را «شدت جریان الکتریکی» می‌گویند. و از رابطه زیر به دست

$$I = \frac{q}{t}$$

می‌آید.

که در این رابطه:

$q$ : بار الکتریکی شارش یافته بر حسب کولن [C]

$t$ : زمان شارش بار الکتریکی بر حسب ثانیه [S]

$I$ : شدت جریان الکتریکی بر حسب آمپر [A]

واحد اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی آمپر است و با [A] نشان می‌دهند. شارش یک کولن بار الکتریکی در مدت یک ثانیه را یک آمپر گویند.

آندره آمپر در سال ۱۷۷۵ میلادی در لیون فرانسه به دنیا آمد (شکل ۴۰).



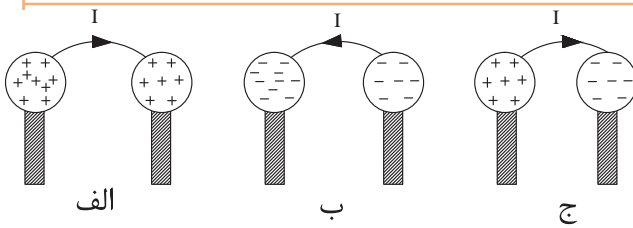
شکل ۴۰

مثال: بار الکتریکی  $4\mu\text{C}$  در مدت  $0.02\text{ s}$  میان دو نقطه شارش می‌کند. شدت جریان الکتریکی چند آمپر است؟

$$I = \frac{4 \times 10^{-6}}{0.02} = 2 \times 10^{-4} [\text{A}] = 0.2 \text{ mA}$$

حل: از رابطه  $I = \frac{q}{t}$  داریم:

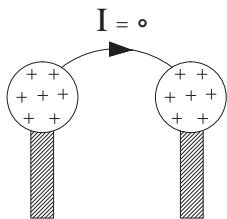
### جهت جریان الکتریکی



شکل ۴۱

جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می‌باشد و مادامی که اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد جریان الکتریکی برقرار است (شکل ۴۱).

در شکل (الف) جریان از کره پتانسیل بیشتر به کره با پتانسیل کمتر جاری می‌شود تا پتانسیل الکتریکی دو کره برابر شود (شکل ۴۲).

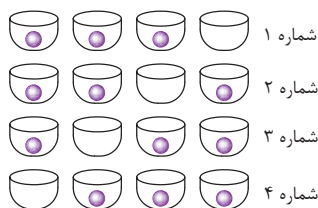


شکل ۴۲

فعالیت ۱: شکل‌های (ب و ج) را پس از اینکه پتانسیل دو کره برابر شد رسم نمائید.

فکر کنید: به شکل (۴۳) به ترتیب از شماره‌های ۱ الی ۴ نگاه کنید به نظر شما گلوله به سمت راست حرکت کرده است یا ظرف خالی به سمت چپ حرکت کرده است؟

تمرین



شکل ۴۳

جهت جریان الکتریکی را می‌توان جهت حرکت بارهای مثبت از پتانسیل الکتریکی بیشتر به پتانسیل الکتریکی کمتر و یا جهت حرکت بارهای منفی از پتانسیل الکتریکی کمتر به پتانسیل الکتریکی بیشتر در نظر گرفت. توجه داشته باشید مقدار جریان الکتریکی اهمیت دارد نه جهت جریان الکتریکی.



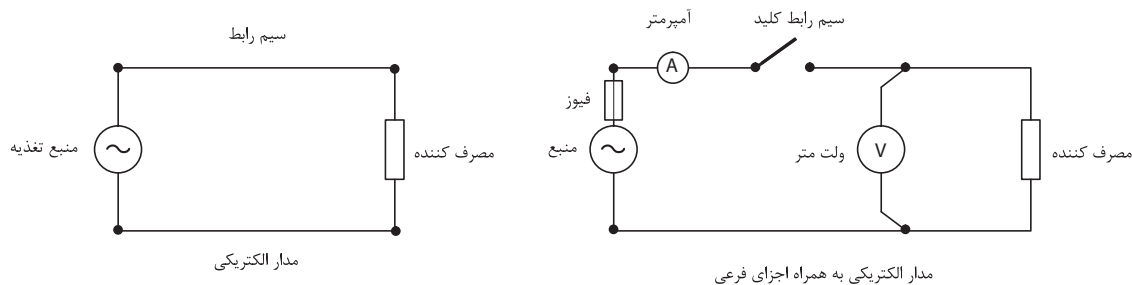
شکل ۴۴

## مدار الکتریکی

مسیری که در آن جریان الکتریکی برقرار می‌شود را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی هر مدار الکتریکی<sup>۱</sup> عبارت است از:

- ۱- منبع تغذیه
- ۲- مصرف کننده
- ۳- سیم رابط

همچنین هر مدار الکتریکی می‌تواند شامل وسایل کنترلی نظیر کلید و یا تجهیزات حفاظتی نظیر فیوز و یا وسایل اندازه‌گیری الکتریکی نظیر آمپر متر نیز باشد که آنها را به عنوان اجزای فرعی مدار الکتریکی می‌شناسند (شکل ۴۵).



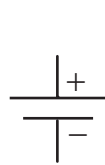
شکل ۴۵

## منبع تغذیه

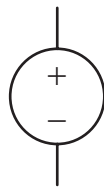
منبع تغذیه<sup>۱</sup> وظیفه تولید انرژی الکتریکی را برعهده دارد. نیروگاه‌های تولید برق و باتری‌ها منابع تغذیه‌ای هستند که در آنها سایر انرژی‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، منابع تغذیه به دو دسته تقسیم می‌شوند:

### الف- منبع تغذیه جریان مستقیم

منبع تغذیه جریان مستقیم، منبعی است که جهت جریان آن تغییر نمی‌کند و آن را با حرف اختصاری DC نشان می‌دهند. ژنراتورهای جریان مستقیم، باتری‌ها و نیروگاه‌های خورشیدی جزو منابع تغذیه جریان مستقیم هستند. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان مستقیم مطابق شکل ۴۶ است.



(ب)



شکل ۴۶



(الف)

### ب- منبع تغذیه جریان متناوب

منبع تغذیه جریان متناوب منبعی است که جهت جریان آن تغییر می‌کند و دارای فرکانس است و آن را با حرف اختصاری AC نشان می‌دهند. انرژی الکتریکی غالباً، توسط ژنراتورها در نیروگاه‌های برق بصورت جریان متناوب تولید می‌شود. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان متناوب مطابق شکل ۴۷ است.



(الف)



(ب)

شکل ۴۷

## مصرف کننده الکتریکی

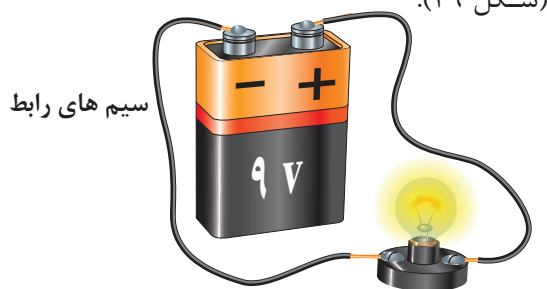


شکل ۴۸

مصرف کننده الکتریکی<sup>۱</sup>، انرژی الکتریکی را تبدیل یا ذخیره می‌سازد. موتورهای الکتریکی، لامپ‌ها، بخاری برقی و... جزء بارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی، نور یا حرارتی تبدیل می‌کنند اما بارهای خازنی و یا سلفی که فصل‌های بعد با آنها آشنا خواهید شد انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می‌سازند (شکل ۴۸).

## سیم رابط

سیم رابط، ارتباط بین منبع تغذیه و مصرف کننده الکتریکی را به منظور انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف کننده فراهم می‌سازد (شکل ۴۹).

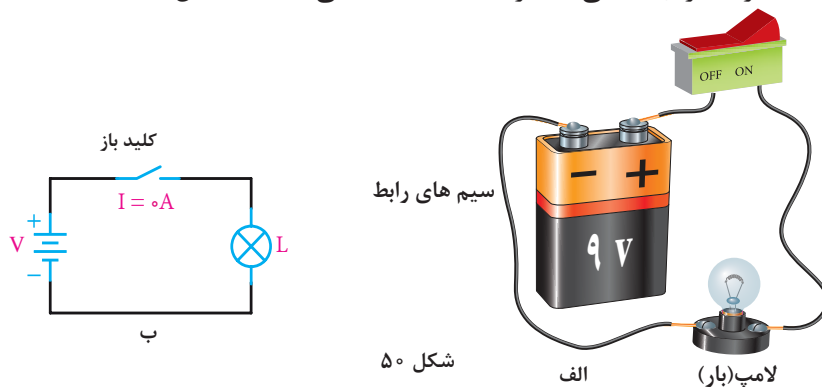


مصرف کننده الکتریکی - لامپ

شکل ۴۹

## کلید

در صورتی که قصد قطع و وصل مدار (کنترل مصرف کننده) الکتریکی را داشته باشیم، لازم است تا مسیر عبور جریان الکتریکی را قطع یا وصل کنیم که معمولاً این کار توسط کلید انجام می‌گیرد. کلید از اجزای اصلی مدار به حساب نمی‌آید (شکل ۵۰).



سیم های رابط

شکل ۵۰

الف

لامپ (بار)

۱- کمیت‌های زیر را تعریف کنید:

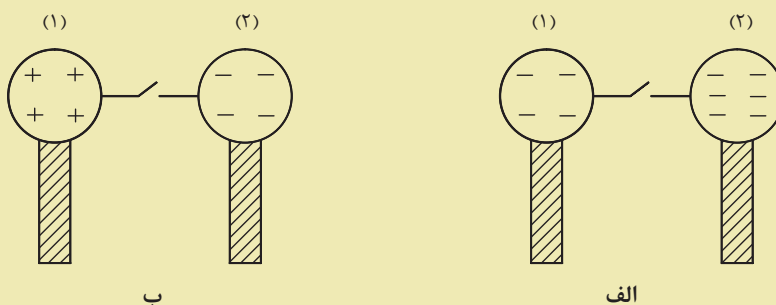
الف) عدد اتمی (ب) بار الکتریکی (ج) لایه والانس (د) نیمه هادی

۲- مس و نقره هر کدام یک الکترون در لایه والانس خود دارند. چرا نقره هادی بهتری است؟

۳- قانون کولن را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۴- میدان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۵- در هر شکل زیر پس از وصل کلید، جهت حرکت بارهای مثبت را مشخص کنید.



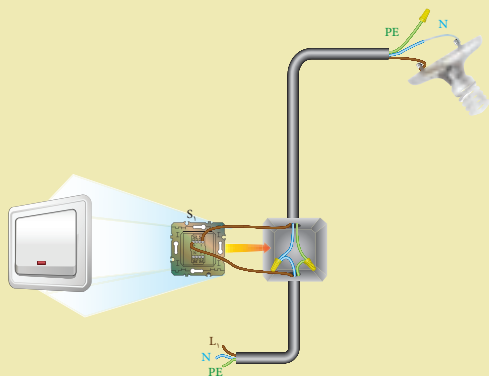
شکل ۵۱

۶- پتانسیل الکتریکی را تعریف کنید.

۷- شدت جریان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۸- مدار الکتریکی را تعریف کنید و اجزای اصلی آن را نام ببرید.

۹- در مدار شکل زیر کدام اجزای مدار آورده شده است؟ نوع تغذیه این مدار از نظر جریان متناوب یا مستقیم، کدام است؟



شکل ۵۲

۱- عدد اتمی مس برابر ۲۹ می‌باشد. بار الکتریکی اطراف هسته چند کولن و چه نوعی می‌باشد؟

$$e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۲- اگر بار الکتریکی اتم مس  $3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$  باشد تعداد الکترون‌های اطراف هسته را مشخص کنید.

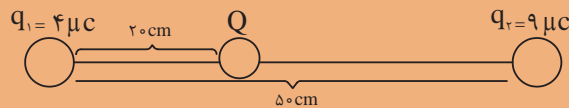
$$e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۳- بیشترین الکترون که می‌تواند در لایه چهارم یک اتم در اطراف هسته وجود داشته باشد چه تعدادی است؟

۴- دو بار الکتریکی مشابه  $q = 5 \mu\text{C}$  در فاصله  $10 \text{ cm}$  از هم قرار دارند. نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

$$K = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

۵- در شکل زیر از طرف بار  $q_1 = 4 \mu\text{C}$  و  $q_2 = 9 \mu\text{C}$  چه نیرویی بر بار  $Q = 2 \mu\text{C}$  وارد می‌شود؟ آیا می‌توان نیروی کولنی کل را به دست آورد؟



شکل ۵۳

۶- دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هر یک برابر  $10^{-4} \text{ C}$  کولن به فاصله دو متر از یکدیگر قرار دارند. نیروی بین آنها چند نیوتن است؟

۷- اندازه و نوع نیروی بین یک بار منفی ۵ میکروکولنی و یک بار مثبت ۲ میکروکولنی را که به فاصله ۹ سانتی‌متر از یکدیگر قرار دارند، تعیین کنید.

۸- دو بار همنام وقتی به فاصله  $d$  از یکدیگر واقع شوند، نیروی معین  $F$  را به هم وارد می‌کنند.

الف) اگر فاصله دو بار را نصف، دو برابر یا سه برابر کنیم،  $F$  به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟

ب) اگر در فاصله ثابت  $d$  اندازه یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دو برابر یا سه برابر کنیم،  $F$  به چه نسبتی تغییر می‌کند؟

۹- بار مثبت  $5 \times 10^{-7} \text{ C}$  کولنی وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر  $0.04 \text{ N}$  بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

۱۰- شدت میدان الکتریکی در یک میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن

موازی و هم جهت است) برابر  $1000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  است. اندازه نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را  $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  بگیرید.

۱۱- بار الکتریکی  $q$  در میدان الکتریکی یکنواخت به شدت  $20 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  قرار گرفته و نیرویی برابر  $3 \times 10^{-4} \text{ N}$  بر آن وارد شده است، مقدار بار  $q$  چند کولن است؟



۱۲- در نقطه‌ای بر بار  $q = 4\mu\text{C}$  نیروی کولنی  $5\text{N}$  وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه را به دست آورید.

۱۳- انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در یک کره رسانا  $50\text{mJ}$  و پتانسیل الکتریکی آن  $250\text{V}$  می‌باشد. بار انباشته شده روی آن چند کولن است؟

۱۴- بار الکتریکی عبوری از مداری با جریان الکتریکی  $3\text{A}$  در مدت  $10$  میلی ثانیه چند کولن است؟  
۱۵- در اثر رعد و برق در مدت  $2\text{ms}$  تعداد  $5 \times 10^{21}$  الکترون از تنه یک درخت عبور می‌کند حساب کنید شدت جریان عبوری از آن چند آمپر است؟ جریان حاصل از این رعد و برق چند برابر جریان مصرفی یک خانه مسکونی است در صورتی که جریان مصرفی یک خانه مسکونی  $32\text{A}$  آمپر فرض شود؟

واحد یادگیری ۳

آثار جریان الکتریکی



## تولید گرما به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۵۴

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان تر است، نتیجه می گیریم که در آن حرارت کمتری تولید می شود. شکل ۵۴ موارد استفاده اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می دهد.

## تولید نور به وسیله جریان الکتریکی

وقتی که از هادی های ضعیف جریانی عبور می کند، داغ می شوند و این گرما را به صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می کند. در نتیجه، به علت گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می شود که اساس کار لامپ رشته ای است (شکل ۵۵).



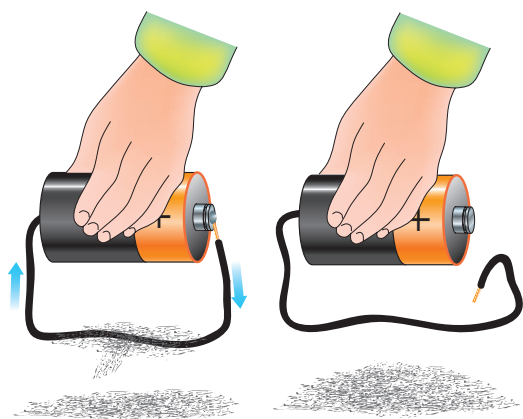
شکل ۵۵

نور را می‌توان بدون حرارت زیاد نیز توسط جریان الکتریکی تولید کرد. بسیاری از گازها به هنگام هدایت جریان یونیزه می‌شوند و تابش‌های نوری تولید می‌کنند. نئون، آرگون و بخار جیوه را می‌توان به عنوان مثال نام برد. موارد استفاده آن را نیز در چراغ‌های معابر و لامپ‌های نئون تبلیغاتی فروشگاه‌ها دیده‌اید. گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و اشعه ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این اشعه با لایه فسفرسانس (پودر سفید رنگ چسبیده به جداره داخلی لامپ فلورسنت یا مهتابی) برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهند (شکل ۵۶).



شکل ۵۶

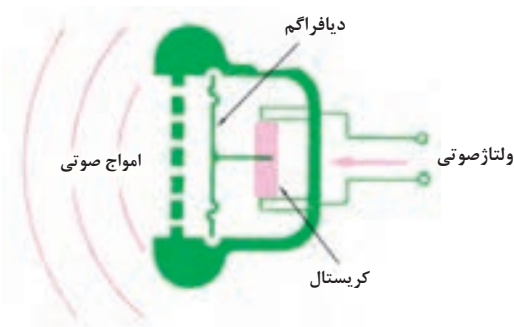
## تولید مغناطیس به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۵۷

هرهادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک مغناطیس عمل می‌کند. به این خاصیت، خاصیت مغناطیسی می‌گویند. در شکل ۵۷ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید، در صورت قطع شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.

## تولید فشار به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۵۸

همان طور که نیرو یا فشار در بعضی از کریستال‌ها خمش یا چرخش ایجاد می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خمش یا چرخش در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۵۸ وقتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوشه‌ای داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزانند. در نتیجه این امر، صدا از طریق گوشه شنیده می‌شود.

## تولید واکنش‌های شیمیایی از طریق جریان الکتریکی

بار الکتریکی نیروی اصلی است که باعث پیوند شیمیایی ترکیبات می‌شود؛ به همین دلیل، برای ایجاد اثرات شیمیایی می‌توان از جریان الکتریکی یا اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده کرد. در الکتروشیمی به این پدیده الکترولیز می‌گویند. یک نمونه از کاربرد الکترولیز، آبکاری برقی است. اگر آب با سولفات مس ( $\text{SO}_4\text{Cu}$ ) همراه باشد، سولفات مس به یون‌های مثبت مس ( $\text{Cu}^{++}$ ) و یون‌های منفی سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) تجزیه می‌شود.



شکل ۵۹

یون‌های مس به سمت الکتروود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کنند ولی چون مس فلز است، به الکتروود خواهد چسبید (شکل ۵۹). پس از مدتی، الکتروود به طور کامل در لایه‌ای از مس پوشیده خواهد شد. از این طریق می‌توان با نقره و طلا نیز آبکاری کرد.

پرسش

- ۱- پنج اثر جریان الکتریکی را نام ببرید.
- ۲- آبکاری برقی چیست؟
- ۳- لامپ معمولی چگونه نور تولید می‌کند؟
- ۴- در لامپ‌های نئون از یک..... به عنوان هادی استفاده شده است.
- ۵- گوشی کریستالی بر اساس چه قانونی کار می‌کند؟ کدام وسایل دیگر نیز بر مبنای این قانون کار می‌کنند؟
- ۶- خاصیت مغناطیس تولید شده توسط الکتریسیته چیست؟

## پرفسور لطفی زاده (لطفعلی عسگرزاده)، مبدع منطق نوین فازی



پرفسور لطفی زاده در سال ۱۲۹۹ شمسی متولد شد. دوران متوسطه را در مدرسه البرز تهران از دانش آموزان ممتاز بود، پس از آن در دانشگاه تهران پذیرفته شد و در امتحانات سراسری ورود به دانشگاه، مقام دوم را کسب نمود. او جزء اولین گروه دانشجویانی بود که در رشته فنی دانشگاه تهران فارغ التحصیل شد و برای ادامه تحصیل به آمریکا و به دانشگاه MIT رفت. او درجه فوق لیسانس را در مهندسی برق دریافت کرد. و در سال ۱۳۳۵ درجه دکتری خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه برکلی کلمبیا دریافت نمود و به استادان دانشگاه کلمبیا ملحق شد. در سال ۱۳۴۲ ریاست دپارتمان مهندسی برق دانشگاه برکلی را که بالاترین عنوان

در رشته مهندسی است به عهده گرفت. به اعتقاد بسیاری لطفی زاده یکی از باهوش ترین و برجسته ترین مردانی است که رشته مهندسی برق به خود دیده است. پرفسور "لطفی زاده" در جهان علم به پرفسور لطفی زاده مشهور "زاده" است، او مخترع منطق علمی نوین "فازی" است، که جهان صنعت را دگرگون کرد.

### منطق فازی در یک نگاه :

بر خلاف آموزش سنتی در ریاضی، او منطق انسانی و زبان طبیعت را وارد ریاضی کرد. اگر در ریاضی، دو رنگ سفید و سیاه را صفر و یک تصور کنیم، منطق ریاضی، طیفی به جز این دو رنگ سیاه و سفید نمی شناسد. ولی در مجموعه‌های نامعین منطق فازی، بین سیاه و سفید مجموعه ای از طیف‌های خاکستری را هم لحاظ می‌شود و به این طریق فصل مشترک ساده‌ای بین انسان و رایانه به وجود می‌آید.

این منطق حدود چهل سال پیش در آمریکا توسط لطفی زاده پایه ریزی شد. و برای اولین بار در سال ۱۳۵۳ در اروپا برای تنظیم دستگاه تولید بخار، در یک نیروگاه کاربرد علمی پیدا کرد. تحول واقعی در کاربرد منطق فازی در سال ۱۳۵۹ در ژاپن اتفاق افتاد و در سال ۱۳۶۹ در ژاپن کلمه فازی، به عنوان کلمه سال انتخاب شد.

### کاربرد منطق فازی در طبیعت:

دستگاه‌ها و لوازم خانگی کنترل فازی که کنترل پذیری بهتری دارند عبارت‌اند از ماشین لباسشویی و دوربین‌های دیجیتال و ویدئو، یخچال، سیستم‌های تهویه مطبوع، جارو برقی، کنترل خودکار ترافیک، سیستم ترمز اتومبیل‌ها، ماشین‌های صنعتی هوشمند، سیستم‌های تشخیص هویت از روی اثر انگشت یا تصویر مردمک چشم و حتی غلط یاب تایپی در نرم افزارهای نگارشی مانند word و... امروزه هیچ دستگاه الکترونیکی، مخصوصاً لوازم خانگی بدون این منطق در ساختار خود تولید نمی‌شوند.



در این فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- مقاومت الکتریکی

۲- قانون اهم

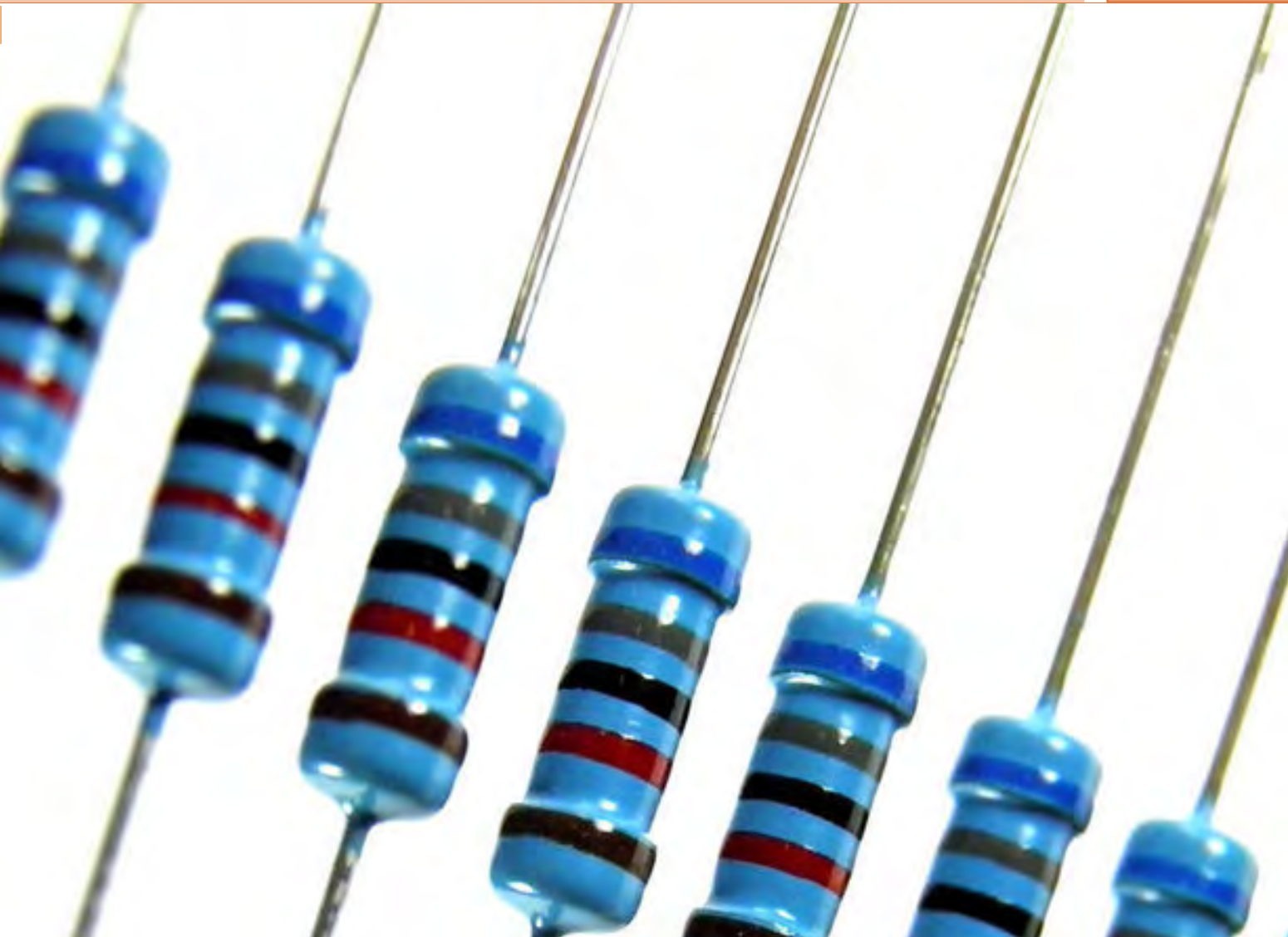
۳- کار الکتریکی

۴- توان الکتریکی

۵- بازده

واحد یادگیری ۴

مقاومت الکتریکی



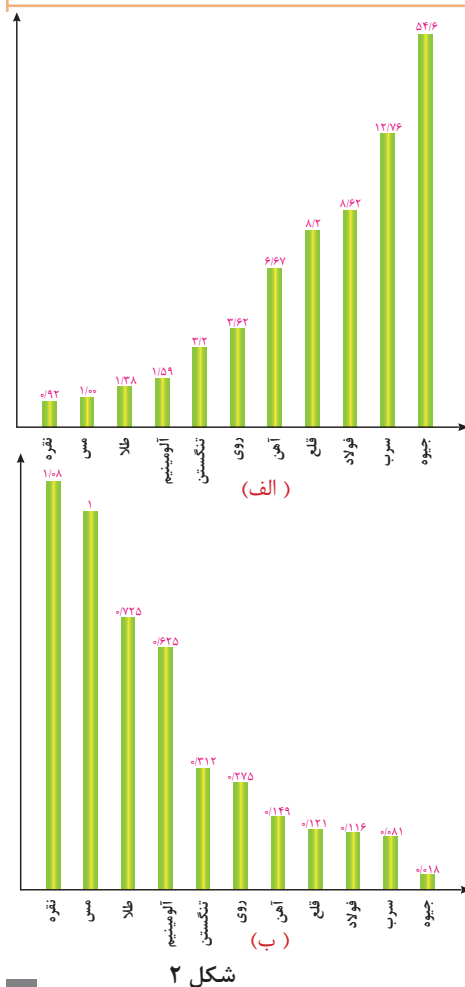
## مقاومت الکتریکی



شکل ۱- سیمون اهم

مقاومت الکتریکی عبارت است از مخالفتی که اجسام در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهند. هادی‌ها نسبت به عایق‌ها جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور می‌دهند و مقاومت زیادی از خود نشان نمی‌دهند. در حدود سال‌های ۱۸۰۰ یک دانشمند آلمانی به نام گئورگ سیمون اهم آزمایش‌هایی در مورد مدارها و هادی‌ها انجام داد و نکات مهمی را در مورد ماهیت مقاومت الکتریکی کشف کرد. برای قدردانی از این شخص، واحد مقاومت به نام اهم نامیده شده است (شکل ۱).

## مقاومت الکتریکی مخصوص



شکل ۲

مقاومت الکتریکی مخصوص، مقاومت الکتریکی جسمی به طول یک متر با سطح مقطع یک میلی‌متر مربع است. آن را با حرف  $\rho$  نشان می‌دهند. مقاومت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در نمودار (۲-الف) نشان داده شده است.

عکس مقاومت الکتریکی مخصوص را هدایت الکتریکی مخصوص گویند و با  $\kappa$  نشان می‌دهند، هدایت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در نمودار (۲-ب) نشان داده شده است.

بین مقاومت الکتریکی مخصوص با هدایت الکتریکی مخصوص رابطه زیر برقرار است.

$$\rho = \frac{1}{\kappa}$$

که در این رابطه :  
 $\rho$ : مقاومت الکتریکی مخصوص  
 $\kappa$ : هدایت الکتریکی مخصوص

$$\left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

## عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

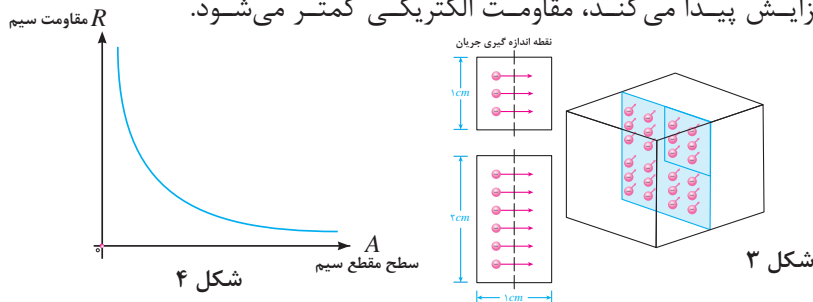
عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها عبارت‌اند از :

- سطح مقطع هادی
- طول هادی
- جنس هادی

### تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی :

مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد؛ بنابراین با افزایش سطح مقطع هادی تعداد الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود. تا مقدار بیشتری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

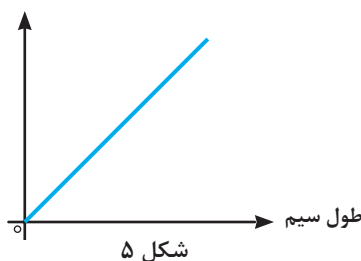
یک قطعه مس به ارتفاع ۲ و عرض ۱ سانتی متر در محل اندازه‌گیری جریان الکتریکی دو برابر قطعه مسی به ارتفاع ۱ و عرض ۱ سانتی متر الکترون آزاد قابل دسترسی دارد. پس مس به ارتفاع دو برابر، دو بار بیشتر جریان را هدایت می‌کند. چنانچه پهنای قطعه مسی که به کار می‌برید دو برابر باشد، قابلیت هدایت آن دو برابر و مقاومت آن نصف می‌شود (شکل ۳). شکل ۴ تغییرات مقاومت نسبت به سطح مقطع هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کمتر می‌شود.



### تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی :

در یک قطعه هادی بلند، تعداد بیشتری الکترون آزاد وجود دارد ولی الکترون‌های آزاد اضافی در طول سیم، در اندازه‌گیری جریان الکتریکی داخل نمی‌شوند. در واقع هر طول معین از هادی،

مقاومت الکتریکی

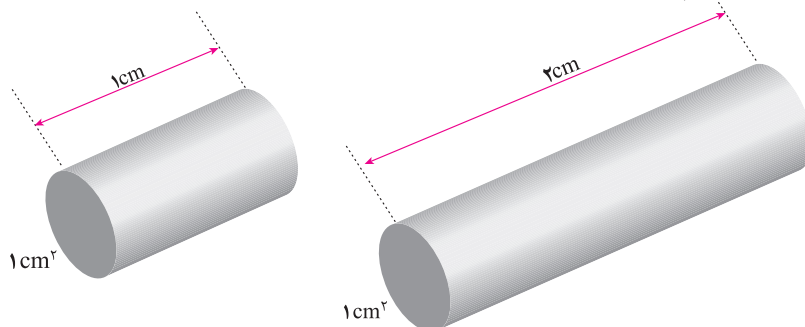


مقدار معینی مقاومت الکتریکی دارد و هرچه سیم طویل‌تر باشد، مقاومت الکتریکی آن نیز بیشتر است.

شکل ۵ تغییرات مقاومت برحسب طول هادی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر طول هادی زیاد شود، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد.

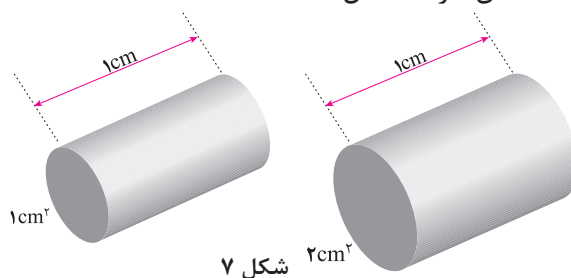
### رابطه مقاومت الکتریکی هادی :

اگر طول یک سیم ( $L$ ) را زیاد کنیم، مقاومت آن زیاد می‌شود و برعکس، اگر طول سیم را کم کنیم، مقاومت آن کم می‌شود.  
اگر طول سیم را مثلاً دو برابر کنیم، مقاومت آن را دو برابر کرده‌ایم، پس مقاومت یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد (شکل ۶).



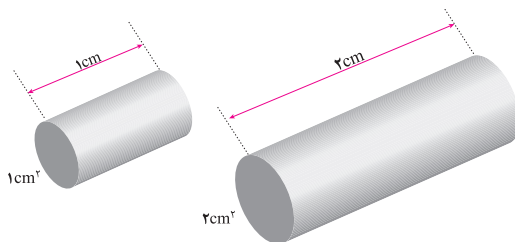
شکل ۶

همچنین می‌توان با اضافه کردن سطح مقطع ( $A$ ) مقاومت را کم کرد و با کم کردن سطح مقطع بر مقاومت افزود.  
اگر سطح مقطع سیم را دو برابر کنیم، مقاومت آن نصف می‌شود. در نتیجه می‌گوییم مقاومت با سطح مقطع عکس دارد (شکل ۷).



شکل ۷

اگر طول سیم دو برابر و سطح مقطع آن دو برابر شود، مقاومت الکتریکی نسبت به وضعیت قبلی تغییر نخواهد کرد (شکل ۸).



شکل ۸

پیش از این در تعریف مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص گفته شد که این پارامترها به جنس هادی بستگی دارد؛ بنابراین، رابطه کلی مقاومت با سطح مقطع، طول و جنس سیم را با فرمول‌های زیر نشان می‌دهند.

$$R = \frac{L}{\kappa \cdot A} \quad \text{یا} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

در این رابطه:

$R$ : مقاومت سیم بر حسب اهم  $[\Omega]$

$L$ : طول سیم بر حسب متر  $[m]$

$A$ : سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع  $[mm^2]$

$\rho$ : مقاومت مخصوص بر حسب  $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

$\kappa$ : هدایت مخصوص بر حسب  $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$

**مثال ۱:** سیم مسی به طول ۱۱۲ متر با سطح مقطع  $4 \text{ mm}^2$  و هدایت مخصوص  $\kappa = 56 \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right)$  مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$$R = \frac{L}{\kappa \cdot A} = \frac{112}{56 \times 4} = 0.5 \Omega \rightarrow R = 0.5 \Omega$$

**مثال ۲:** برای ساختن یک مقاومت الکتریکی  $10$  اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح

مقطع  $1/5 \text{ mm}^2$  مورد نیاز است؟  $\kappa_{AL} = 35 \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right)$

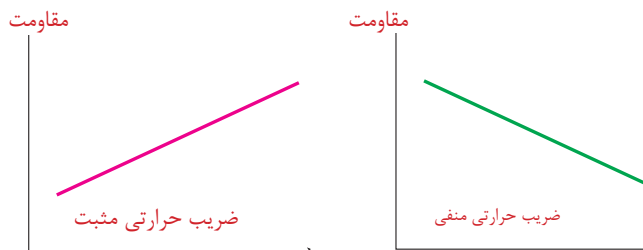
$$R = \frac{L}{\kappa \cdot A} \Rightarrow 10 = \frac{L}{35 \times 1/5} \rightarrow L = 10 \times 35 \times 1/5 = 525 \text{ m}$$

### - اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی :

در واقع، آنچه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. اما در دماهای کمتر یا بیشتر، مقدار مقاومت کلیه فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است، تغییرات مقاومت الکتریکی به ازای یک درجه سانتی‌گراد را ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با  $(\alpha)$  نمایش می‌دهند؛ برای مثال اگر  $\alpha = 0.004$  باشد یعنی اینکه واحد مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی‌گراد  $0.004$  اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  منفی خواهد بود. در مورد اول، فلز را PTC<sup>۱</sup> و در مورد دوم NTC<sup>۲</sup> می‌نامند.

۱-Positive Temperature Coefficient

۲-Negative Temperature Coefficient



شکل ۹

مقاومت الکتریکی رسانا در اثر تغییر دما از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = R_0(1 + a\Delta\theta)$$

که در این رابطه:

$R_0$ : مقاومت اولیه رسانا بر حسب اهم  $[\Omega]$

$R$ : مقاومت الکتریکی رسانا پس از تغییر دما بر حسب اهم  $[\Omega]$

$\alpha$ : ضریب حرارتی بر حسب  $\left[\frac{1}{^\circ C}\right]$

$\Delta\theta = \theta_f - \theta_0$ : تغییرات دمای رسانا بر حسب درجه سانتی‌گراد  $[^\circ C]$

**مثال ۳:** مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی‌گراد  $1\ \Omega$  اهم است. اگر دمای سیم به  $250$  درجه سانتی‌گراد برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟

$$(a = 0.004 \frac{1}{^\circ C})$$

$$R_0 = 1\ \Omega$$

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta\theta) \quad \text{حل:}$$

$$R = 1(1 + 0.004 \times 250)$$

$$R = 2\ \Omega$$

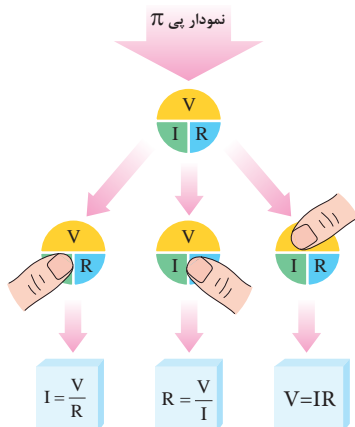
$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_0 = 250 - 0 = 250\ ^\circ C$$

## قانون اهم

قانون اهم بیان می‌کند نسبت اختلاف پتانسیل دو سرهادی به شدت جریان آن در دمای معین مقداری ثابت است که این مقدار ثابت را "مقاومت الکتریکی" هادی گویند و با  $R$  نشان

می‌دهند و از رابطه  $R = \frac{V}{I}$  به دست می‌آید.





شکل ۱۰

که در این رابطه :

$V$  اختلاف پتانسیل دو سر هادی ( $V$ )

$I$  شدت جریان هادی ( $A$ )

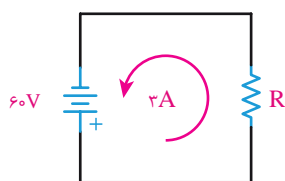
$R$  مقاومت الکتریکی ( $\Omega$ )

است و آن را با علامت اختصاری شکل ۱۰ نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ برای یادآوری سه شکل ۱۱ قانون اهم قابل استفاده است. در این شکل هر کدام از علامت‌ها را با انگشت بپوشانید، علائم دیگر رابطه کمیت اشاره شده را نشان می‌دهد و مقدار مجهول به راحتی به دست می‌آید.

**مثال ۱:** اگر در مدار شکل ۱۱ شدت جریان ۳ آمپر از مقاومت عبور کند، مقاومت مدار چقدر است؟

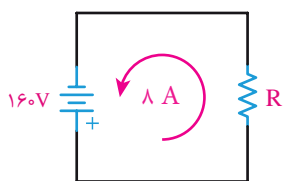


شکل ۱۱

$$R = \frac{V}{I} = \frac{60}{3}$$

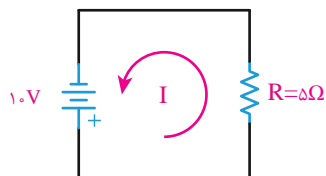
$$R = 20 \Omega$$

**مثال ۲:** اگر در مدار شکل ۱۲ بخواهیم شدت جریان مدار ۸ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد؟



شکل ۱۲

$$R = \frac{V}{I} = \frac{160}{8} \quad R = 20 \Omega$$

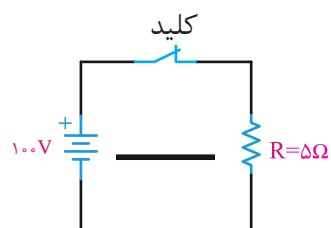


شکل ۱۳

**مثال ۳:** اگر در مدار شکل ۱۳ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چقدر است؟  
وقتی که شدت جریان ( $I$ ) مجهول است، باید از معادله استفاده کرد.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{5}$$

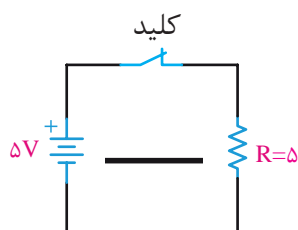
$$I = 2A$$



شکل ۱۴

**مثال ۴:** شدت جریان الکتریکی در مدار شکل ۱۴ چند آمپر است؟  
شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌کنیم.

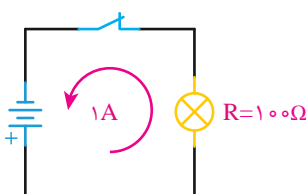
$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{5} = 20A$$



شکل ۱۵

**مثال ۵:** شدت جریان الکتریکی مدار شکل ۱۵ را به دست آورید.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{5} = 1A$$



شکل ۱۶

با مقایسه نتایج مثال ۴ و مثال ۵ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟  
**مثال ۶:** اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شکل ۱۶ ولتاژ منبع چند ولت است؟

$$V = I.R = 1 \times 100$$

$$V = 100V$$

**مثال ۷:** چنانچه باتری مثال ۶ در اثر فرسودگی، جریان ۰/۵ آمپر را در مدار جاری کند، ولتاژ منبع به چه میزان کاهش یافته است؟

$$V = I.R = 0.5 \times 100$$

$$V = 50V$$

$$100 - 50 = 50V$$

فعالیت کلاسی

## ابرسانا

اگر دمای فلزات مختلف را تا دمای معینی (دمای بحرانی) پایین آوریم، پدیده شگرفی در آنها اتفاق می‌افتد که طی آن مقدار مقاومت فلزات در برابر عبور جریان برق به طور ناگهانی تا حد صفر کاهش می‌یابد. در این شرایط است که فلزها تبدیل به ابررسانا خواهد شد. تبدیل به حالت ابررسانایی، فقط مربوط به فلزات نمی‌شود بلکه این حالت در جیوه ناخالص نیز اتفاق می‌افتد. تاکنون مشخص شده است که تقریباً نیمی از عناصر فلزی و همچنین برخی آلیاژها و سرامیک‌ها در درجه حرارت‌های پایین ابررسانا می‌شوند.

## کاربرد ابررسانا

هر ماده اگر قبل از ابررسانا شدن در میدان مغناطیسی قرار گیرد از آن خطوط میدان مغناطیسی عبور می‌کند؛ چنانچه در حضور میدان مغناطیسی به دمای بحرانی برسد و ابررسانا شود دیگر هیچ‌گونه خطوط میدان مغناطیسی از آن عبور نمی‌کند.

در شکل ۱۷- الف یک قطعه آهنربا روی یک قطعه ابررسانا شناور است طبق خاصیتی که در بالا گفتیم ابررساناها می‌توانند خطوط میدان مغناطیس را به خارج پرتاب کنند و همانطور که می‌بینیم قرص مغناطیسی را شناور نگه داشته است.

کاربرد جالب این مطلب در ساخت قطارهای سریع‌السیر یا قطارهای شناور است. نمونه‌هایی از این‌گونه قطارها که در سال ۲۰۰۰ میلادی در ژاپن ساخته شد، با سرعت  $581 \text{ km/h}$  حرکت می‌کند. در این قطارها به جای استفاده از چرخ از میدان مغناطیسی استفاده شده است. در این حالت قطارهای سریع‌السیر در حال حرکت معمولاً چند سانتی‌متر با ریل فاصله دارد و تماسی با ریل پیدا نمی‌کنند. به این نوع قطارها ماگلو (Maglev) گفته می‌شود (شکل ۱۷- ب).



ب



الف

شکل ۱۷

- ۱- مقاومت الکتریکی مخصوص و هدایت الکتریکی مخصوص را تعریف کنید.
- ۲- مقاومت الکتریکی مخصوص فلز روی چند برابر مقاومت الکتریکی مخصوص نقره است؟
- ۳- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها را نام ببرید.
- ۴- از مقایسه نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی رسانا برحسب سطح مقطع سیم و طول سیم چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟
- ۵- قانون اهم را تعریف کنید.
- ۶- ضریب حرارتی را تعریف کنید و واحد آن را بنویسید.
- ۷- ابررسانا را تعریف کنید و کاربرد آن را بنویسید.
- ۸- اگر دانش‌آموزی هنگام خاموش بودن لامپ رشته‌ای مقاومت آن را اندازه‌گیری کند و بار دیگر وقتی لامپ روشن است مقاومت الکتریکی آن را محاسبه کند آیا مقادیر به دست آمده یکسان است؟ چرا؟

- ۱- مقاومت الکتریکی مخصوص آلومینیوم نسبت به مس برابر  $1/59$  می‌باشد، هدایت الکتریکی آن نسبت به مس را حساب کنید.
- ۲- برای ساختن یک مقاومت  $5\Omega$  چند متر سیم مسی با سطح مقطع  $1/5\text{mm}^2$  مورد نیاز است؟ ( $K_{Cu}=56$ )
- ۳- روی یک هسته  $500$  دور سیم مسی با سطح مقطع  $0/5\text{mm}^2$  پیچیده‌ایم اگر شعاع هسته  $2/5\text{cm}$  باشد مقاومت الکتریکی سیم پیچ را حساب کنید.
- ۴- درون یک وسیله برقی  $80\text{m}$  سیم آلومینیومی با قطر  $1/5\text{mm}$  استفاده شده است: الف) مقاومت الکتریکی آن را بیابید.  
ب) در صورتی که بخواهیم سیم مسی با قطر  $1/5\text{mm}$  جایگزین آن کنیم در صورتی که مقاومت الکتریکی تغییر نکند طول سیم مسی را بیابید.
- ۵- دمای یک وسیله برقی بر اثر کار کردن از  $25^\circ\text{C}$  به  $75^\circ\text{C}$  افزایش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی آن در  $25^\circ\text{C}$  برابر  $1/8\Omega$  باشد مقاومت آن چند اهم افزایش می‌یابد؟
- ۶- جریان الکتریکی عبوری از لامپی که مقاومت الکتریکی آن  $50\Omega$  و ولتاژ تغذیه آن  $200\text{V}$  است را حساب کنید. در صورتی که در اثر روشن بودن دمای لامپ  $40^\circ\text{C}$  افزایش یابد جریان الکتریکی چقدر تغییر می‌کند؟
- ۷- به یک مقاومت  $60$  اهمی ولتاژی برابر  $36$  ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟
- ۸- ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر  $1/2$  آمپر از یک مقاومت  $5$  اهمی چه قدر است؟

۹- مقاومت الکتریکی یک لامپ  $150\Omega$  می‌باشد و ولتاژی برابر  $120$  ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

۱۰- با یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپر متر مدار تشکیل داده ایم. اگر منبع ولتاژ را  $24$  ولت اختیار کنیم، آمپر متر مقدار  $1/5$  آمپر را نشان خواهد داد. مقاومت الکتریکی مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع  $24$  ولتی، منبع ولتاژ  $36$  ولتی قرار دهیم، آمپر متر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

۱۱- چه ولتاژی در مقاومت  $40$  اهمی، جریانی برابر با  $100$  میلی آمپر ایجاد می‌کند؟

۱۲- حداکثر ولتاژی که یک مقاومت  $22/5$  اهمی می‌تواند تحمل کند  $120$  ولت است. اگر جریانی به شدت  $10$  آمپر از آن بگذرد آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟

## پروفسور کارو لوکاس (لوکس) پدر علم روباتیک



در شهریور ماه ۱۳۲۸ در شهر اصفهان متولد شد. تحصیلات متوسطه خود را در دبیرستان آرامنه تهران (کوشش) گذراند و در سال ۱۳۵۲ با شایستگی، موفق به اخذ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل از دانشگاه تهران شد.

نبوغ ذاتی او چنان عیان شده بود که در توصیه نامه علمی ایشان، استاد وی خطاب به دانشگاه‌های پرآوازه آمریکا نوشت: اگر کارو را در دانشگاه خود نپذیرید دیوانه‌اید.

دکترای خود را در رشته کنترل سیستم‌ها با گرایش اقتصاد

مالی در سال ۱۳۵۵ از دانشگاه برکلی آمریکا به دست آورد. پس از آن، وی برای خدمت میهن، فعالیت در دانشگاه تهران را برگزید.

در تدریسش تنها انتقال معلومات مدّ نظر نبود بلکه انجام پژوهش علمی و فنی اشتراکی را هدف خود قرار داده بود. وی جهت حرکت علم را به خوبی تشخیص و خود را در پیشاپیش این حرکت قرار می‌داد تا دانشگاه تهران را در زمره دانشگاه‌های پیشرفته جهان معرفی نماید. تدریس حسابداری زیستی را می‌توان به عنوان مصداق ذکر کرد.

ادامه پژوهش‌های وی به سیستم‌های هوشمند و روباتیک متمایل گردید و به حق و شایستگی پدر علم روباتیک ایران لقب گرفت. اگرچه عشق و علاقه پروفسور کارلوکس به ایران و دانشگاه تهران مثال زدنی بود اما نگاه نافذش از لزوم همکاری‌های علمی و پژوهشی بین‌المللی هرگز غافل نماند. ایشان به عنوان استاد مدعو ایرانی در دانشگاه‌های آمریکا، کانادا، ایتالیا، چین، ارمنستان و آلمان تدریس نمود و در پژوهش‌های مشترک تأثیرگذار بود، پروفسور کارلوکس استاد نمونه، چهره ماندگار مهندسی برق، برنده جشنواره‌های خوارزمی، ابن سینا و استاد برگزیده ایرانی توسط Elsevier-Scopus معرفی گردید. اما هیچ‌یک از این القاب و عناوین در برابر صفات و فضایل انسانی استاد ارزش چندانی ندارد. چهره مردانه او همیشه بشاش، متبسم، نگاهش جذاب اما مصمم و مهربان به خصوص با دانشجویانش بود.





واحد یادگیری ۵

کارو توان الکتریکی



## کار الکتریکی

کار الکتریکی عبارت است از مقدار انرژی که در مصرف کننده الکتریکی به سایر انرژی‌ها تبدیل می‌شود. کار الکتریکی را با  $W$  نشان می‌دهند و واحد آن ژول (J) است. یک ژول مقدار کاری است که اختلاف پتانسیل یک ولت برای جابه جایی یک کولن الکتریسیته انجام می‌دهد. انرژی در مقاومت الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W = RI^2t$$

که در این رابطه :

$W$ : کار الکتریکی (J)

$R$ : مقاومت الکتریکی ( $\Omega$ )

$I$ : شدت جریان الکتریکی (A)

$t$ : زمان (s) است.

مثال ۱- از یک اتوی برقی که مقاومت الکتریکی قسمت گرماده آن ۵۵ اهم است جریان ۴ آمپر می‌گذرد. در مدت ۲ دقیقه چه مقدار انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود؟ با استفاده از رابطه مقابل داریم:

$$W = RI^2t$$

$$W = 55(4)^2 \times (2 \times 60) = 10560 \text{ [J]}$$

انرژی الکتریکی مصرفی علاوه بر یکای اندازه‌گیری ژول برحسب کیلو وات ساعت و مگا وات ساعت نیز بیان می‌شود.

## محاسبه هزینه انرژی الکتریکی مصرفی

هزینه انرژی الکتریکی مصرفی به ازای هر کیلو وات ساعت محاسبه می‌شود. برای محاسبه هزینه الکتریکی مصرفی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

بهای هر kwh انرژی الکتریکی  $\times$  مقدار انرژی الکتریکی مصرفی (kwh) = بهای برق مصرفی

مثال: یک مصرفی کننده برقی ۸۰۰ وات روزی ۵ ساعت روشن است در صورتی که بهای هر کیلو وات ساعت ۸۰۰ ریال باشد هزینه انرژی الکتریکی مصرفی آن چقدر است؟

حل:

بهای هر kwh  $\times$  انرژی الکتریکی مصرفی [kwh] = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

ریال  $3200 = 4 \times 800 =$  قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

## توان الکتریکی

توان الکتریکی، مقدار کار الکتریکی انجام شده در واحد زمان می باشد. توان الکتریکی را با  $P$  نشان می دهند و واحد آن وات ( $W$ ) است. یک وات تبدیل یک ژول انرژی در مدت یک ثانیه می باشد. توان در مقاومت الکتریکی از رابطه زیر به دست می آید.

$$P = \frac{W}{t}$$

که در این رابطه :

$P$  : توان الکتریکی ( $W$ )

$W$  : کار الکتریکی ( $J$ )

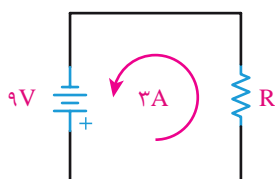
$t$  : زمان ( $s$ )

$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI^2 t}{t} = RI^2$$

$$P = RI^2 = R.I.I = VI$$

است. رابطه توان به شکل های زیر نیز اثبات می شود.

**مثال ۱:** در مدار شکل ۱۸ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

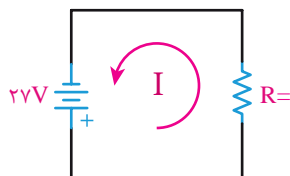


شکل ۱۸

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{3} = 3\Omega$$

$$P = V.I = 9 \times 3 = 27W$$

**مثال ۲:** در مدار شکل ۱۹ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.

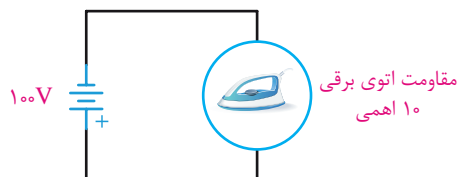


شکل ۱۹

$$I = \frac{V}{R} = \frac{27}{27} = 1A$$

$$P = RI^2 = 27 \times 1^2 = 27W$$

**مثال ۳:** شدت جریان و توان مصرفی اتوی شکل ۲۰ را محاسبه کنید.



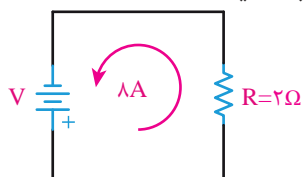
شکل ۲۰

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{10} = 10A$$

$$P = RI^2$$

$$P = 10 \times 10^2 = 1000W$$

**مثال ۴:** ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۲۱ را محاسبه کنید.



شکل ۲۱

$$V = R.I = 2 \times 8 = 16V$$

$$P = RI^2$$

$$P = 2 \times 8^2 = 128W$$

**مثال ۵:** سماور برقی  $V=220$  و  $W=2000$  مفروض است. شدت جریان و مقاومت الکتریکی قسمت گرماده آن را محاسبه کنید.

$$P = V.I \Rightarrow 2000 = 220 \times I \Rightarrow I = \frac{2000}{220} = 9A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220}{9} = 24.4\Omega$$

در صورت کاهش ولتاژ به میزان  $180$  ولت، شدت جریان و توان سماور چقدر می شود؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{180}{24.4} = 7.3A$$

$$P = R.I^2 = 24.4 \times 7.3^2 = 1300W$$

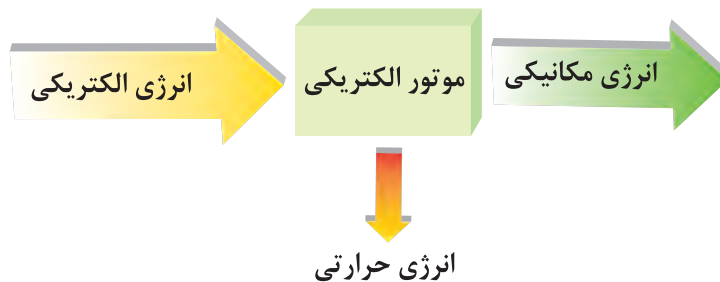
## بازده

بازده یا راندمان نسبت توان خروجی به توان ورودی وسایل الکتریکی می باشد. بازده یا راندمان را با حرف یونانی  $\eta$  (اتا) نشان می دهند. و چون از نسبت دو توان ورودی و خروجی بدست می آید بدون واحد می باشد. و معمولاً آن را بر حسب درصد نشان می دهند و از رابطه زیر بدست می آید.

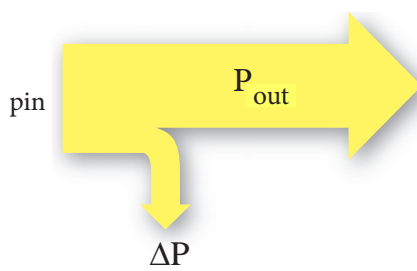
$$\eta \% = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times 100$$



موتورهای الکتریکی از وسایل الکتریکی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند اما در این فرایند بخشی از انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. (شکل ۲۲)



شکل ۲۲



شکل ۲۳

در موتور مقدار انرژی الکتریکی را که در واحد زمان به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود، توان خروجی گویند و با  $P_{out}$  نشان می‌دهند و واحد آن وات [W] است و مقدار انرژی الکتریکی را که در واحد زمان به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود، تلفات توان گویند و با  $\Delta P$  نشان می‌دهند و واحد آن نیز وات [W] است. همچنین مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان از شبکه الکتریکی دریافت می‌شود توان ورودی است و با  $P_{in}$  نشان داده می‌شود و واحد آن وات [W] است.

ارتباط بین توان ورودی، خروجی و تلفات توان در دیاگرام توازن توان شکل (۲۳) نشان داده شده است.

$$P_{in} = P_{out} + \Delta P$$

با توجه به دیاگرام توازن توان داریم:

**مثال:** یک موتور الکتریکی ۷۵۰ واتی از شبکه الکتریکی ۱۰۰۰ وات توان الکتریکی دریافت می‌کند راندمان آن چند درصد است؟ تلفات توان موتور چند وات است؟

**حل:**

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\eta \% = \frac{750}{1000} \times 100 = 75 \%$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$\Delta P = 1000 - 750 = 250 [W]$$

با توجه به دیاگرام توازن توان می‌نویسیم:

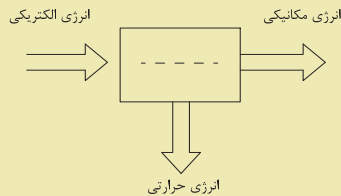
معمولاً توان موتورهای الکتریکی بر روی پلاک مشخصات برحسب اسب بخار (HP) نیز یادداشت می‌شود. یک اسب بخار برابر ۷۴۶ وات است یعنی:  $1 [Hp] = 746 [W]$

۱- کمیت‌های زیر را تعریف کنید

الف) کار الکتریکی      ب) توان الکتریکی      ج) راندمان یا بازده

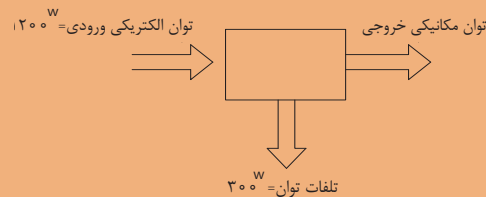
۲- توان خروجی و تلفات توان را در موتور الکتریکی تعریف کنید.

۳- بلوک دیاگرام زیر مربوط به چه وسیله برقی است؟



۴- روی پلاک موتوری  $\frac{3}{4}$  HP نوشته شده است. توان الکتریکی آن چند وات می‌باشد؟

۱- راندمان وسیله الکتریکی را که بلوک دیاگرام توان آن به صورت زیر می‌باشد را حساب کنید



۲- راندمان یک موتور الکتریکی ۸۵٪ می‌باشد اگر تلفات توان ۱۵۰ W باشد، توان ورودی و خروجی چند وات است؟

۳- راندمان یک موتور الکتریکی  $\frac{1}{2}$  HP برابر ۷۰٪ می‌باشد توان ورودی و تلفات آن چند وات است؟

۴- در ویتترین مغازه‌ای ۴ لامپ رشته‌ای ۵۰۰ وات و ۲ لامپ رشته‌ای ۱۰۰۰ وات روزی ۸ ساعت روشن است. حساب کنید انرژی الکتریکی مصرفی در ۳۰ روز چقدر است؟

۵- مقاومت الکتریکی قسمت گرماده یک وسیله حرارتی  $80\Omega$  می‌باشد حساب کنید اگر جریان الکتریکی عبوری از آن ۴ A باشد، در مدت زمان ۵ دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی آن چند ژول و چند کیلو ژول می‌باشد؟

۶- یک وسیله برقی ۲۲۰ V و ۵۰۰ W در نظر بگیرید:

الف) شدت جریان این وسیله در اتصال به شبکه ۲۲۰ V چند آمپر است؟

ب) در صورت کاهش ولتاژ به ۲۰۰ ولت جریان چقدر تغییر می‌کند؟

۷- اگر لامپ‌های تمرین ۴ را با لامپ‌های کم مصرف LED با توان ۱۸ و ۲۵ وات را به ترتیب جایگزین لامپ‌های ۵۰۰ واتی و ۱۰۰۰ واتی کنیم، در هزینه برق چقدر صرفه‌جویی می‌شود؟ در صورتی که بدانیم میزان نوردهی لامپ‌های جایگزین به همان مقدار لامپ‌های رشته‌ای باشد.



در این فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

- ۱- اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
- ۲- اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی
- ۳- اتصال سری - موازی مقاومت‌های الکتریکی
- ۴- اتصال پیل‌ها



واحد یادگیری ۶

اتصال مقاومتهای اهمی





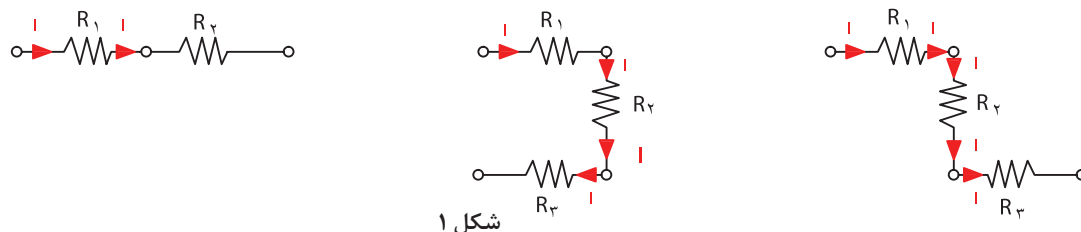
## اتصال مقاومت‌های الکتریکی

اتصال مقاومت‌های الکتریکی بین مقاومت‌هایی که در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند، برقرار می‌شود. اتصال بین مقاومت‌های الکتریکی مدار به سه شکل امکان‌پذیر است:

- اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
- اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی
- اتصال سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی که در ادامه به هریک از آنها پرداخته می‌شود.

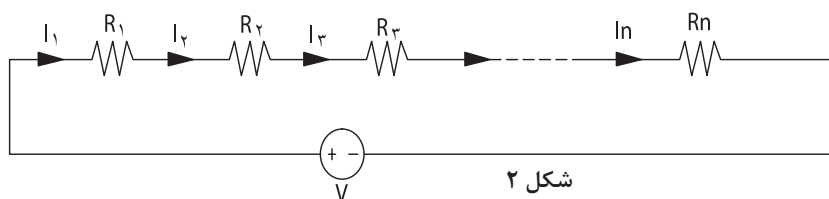
## اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که جریان عبوری هریک از مقاومت‌ها با هم برابر باشد. در اتصال سری یک سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد. (شکل ۱)



هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال سری پیدا می‌کنند تشکیل یک مدار الکتریکی می‌دهند که اصطلاحاً آن را «مدار سری» گویند.

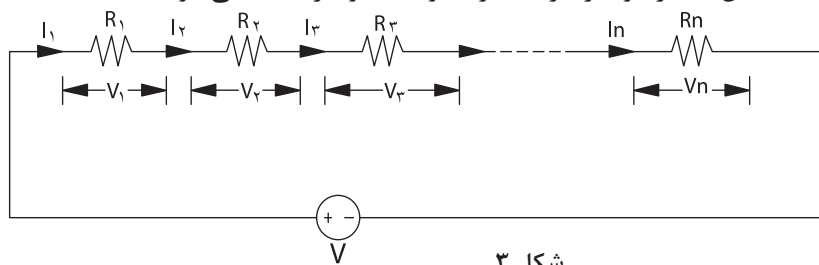
جریان عبوری از مقاومت‌هایی که با یکدیگر اتصال سری دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای سری می‌باشد. در شکل ۲ تا  $n$  مقاومت که با یکدیگر اتصال سری دارند و تشکیل یک مدار سری داده‌اند نشان داده شده است.



همانطور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

با عبور جریان از مقاومت‌های شکل ۳، در دو سر هر یک از مقاومت‌ها ولتاژ ایجاد می‌شود.



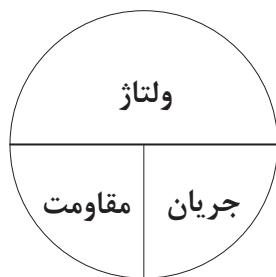
به ولتاژی که در دو سر هر مقاومت قرار می‌گیرد اصطلاحاً «افت ولتاژ» گویند و با استفاده از قانون اهم بدست می‌آیند.

جریان  $\times$  مقاومت = ولتاژ

$$V_1 = R_1 I_1$$

$$V_r = R_r I_r$$

$$V_n = R_n I_n$$



با توجه به شرط اساسی مدارهای سری جریان مقاومت‌های با اتصال سری با هم برابرند لذا می‌توان نوشت:

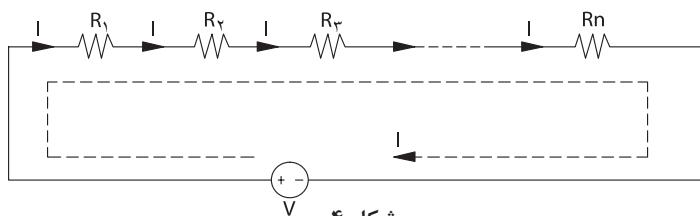
$$I = I_1 = I_r = I_r = \dots = I_n$$

و روابط افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را با جایگزینی  $I$  بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$V_1 = R_1 I$$

$$V_r = R_r I$$

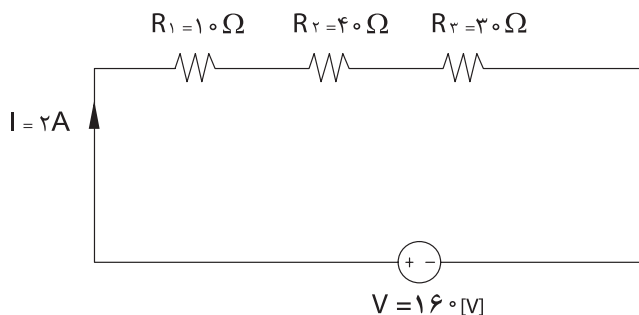
$$V_n = R_n I$$



شکل ۴

مسیر عبور جریان از مقاومت‌های سری و منبع شکل (۴) با حلقه جریان  $I$  نشان داده شده است. در مدارهای الکتریکی با حرکت در حلقه به جای اول خواهیم رسید لذا این حلقه را «مسیر بسته» گویند.

مثال: افت ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های مدار شکل زیر را بدست آورید:



شکل ۵

حل: مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  با یکدیگر اتصال سری دارند لذا جریان آنها با هم برابر است یعنی:

$$I = I_1 = I_r = I_r = 2[A]$$

با استفاده از قانون اهم افت ولتاژها محاسبه می‌شود.

جریان  $\times$  مقاومت = ولتاژ

$$V_1 = R_1 I = 10 \times 2 = 20[V]$$

$$V_r = R_r I = 40 \times 2 = 80[V]$$

$$V_r = R_r I = 30 \times 2 = 60[V]$$

## قانون ولتاژ کیرشهف KVL

قانون ولتاژ کیرشهف KVL بیان می‌کند «حاصل جمع جبری ولتاژها در هر مسیر بسته صفر است» و با رابطه ریاضی زیر بیان می‌شود:

$$\Sigma V + \Sigma RI = 0$$

برای نوشتن رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف یا KVL به صورت زیر عمل می‌شود:

۱- برای مسیر بسته یک حلقه جریان I در جهت حرکت عقربه ساعت‌گرد اختیار می‌شود.

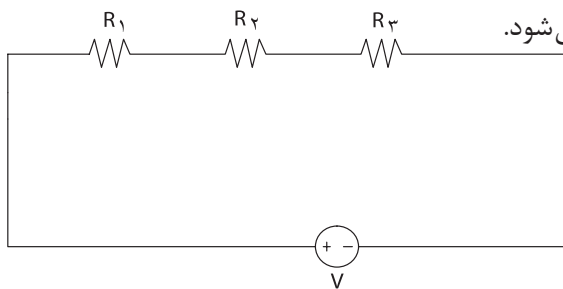
۲- افت ولتاژهای دو سر هر مقاومت با علامت (+) لحاظ می‌شود و مجموع آنها را با  $\Sigma RI$  نشان می‌دهند.

۳- اگر حلقه جریان I به پلاریته (+) منبع وارد شود ولتاژ منبع V با علامت مثبت نوشته می‌شود و اگر حلقه جریان I به پلاریته (-) منبع وارد شود ولتاژ منبع V را با علامت منفی می‌نویسند و حاصل را با  $\Sigma V$  نشان می‌دهند.

۴-  $\Sigma V$  و  $\Sigma RI$  در رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف قرار داده می‌شود.

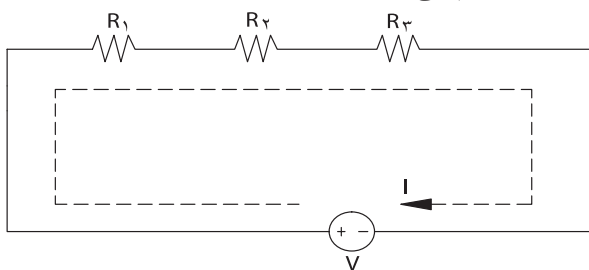
$$\Sigma V + \Sigma RI = 0$$

اکنون در مدار شکل ۶ قانون ولتاژ کیرشهف اعمال می‌شود.



شکل ۶

۱- حلقه جریان I در جهت حرکت عقربه ساعت‌گرد برای آن ترسیم می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷

۲-  $\Sigma RI$  به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\Sigma RI = + R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

۳-  $\Sigma V$  به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\Sigma V = -V$$

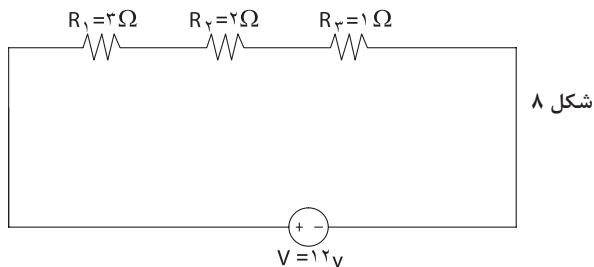
حلقه جریان I به پلاریته منفی منبع ولتاژ وارد می‌شود لذا علامت (-) برای V لحاظ شده است.

۴- رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

$$\text{KVL) } \Sigma V + \Sigma RI = 0$$

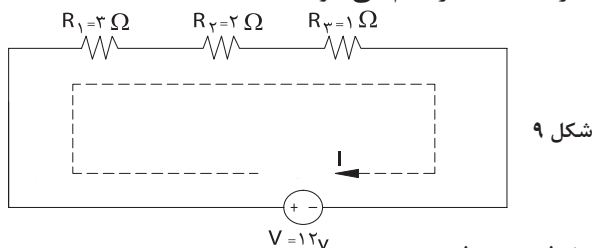
$$\text{KVL) } -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

مثال: قانون ولتاژ کیرشهف را برای مدار شکل مقابل بنویسید و به کمک آن جریان مدار را به دست آورید.



شکل ۸

حل: حلقه جریان  $I$  را در جهت حرکت عقربه ساعت ترسیم می شود.



شکل ۹

اکنون رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می شود.

$$\text{KVL) } \Sigma V + \Sigma RI = 0$$

$$- \text{KVL) } -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

$$-12 + 3I + 2I + 1I = 0$$

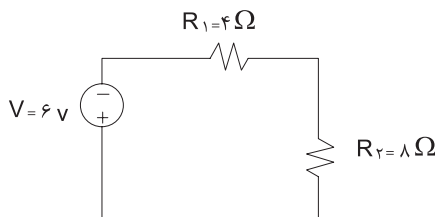
$$-12 + 6I = 0$$

$$6I = 12$$

$$I = \frac{12}{6} = +2A$$

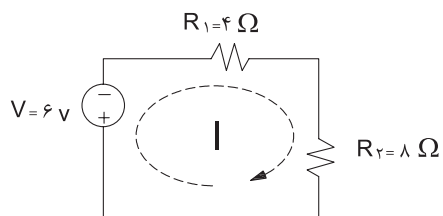
جریان حلقه  $I$  برابر ۲ آمپر می باشد. علامت (+) بیانگر این است که جهت جریان حلقه  $I$  موافق جهت جریان مسیر بسته می باشد.

مثال: قانون ولتاژ کیرشهف را برای مدار شکل زیر بنویسید و به کمک آن جریان مدار را به دست آورید.



شکل ۱۰

حل: حلقه جریان  $I$  در جهت حرکت عقربه ساعت ترسیم می شود.



شکل ۱۱

اکنون رابطه ریاضی قانون کیرشهف نوشته می شود.

$$\text{KVL}) \Sigma V + \Sigma RI = 0$$

$$-\text{KVL}) -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

$$+6 + 4I + 8I = 0$$

$$+6 + 12I = 0$$

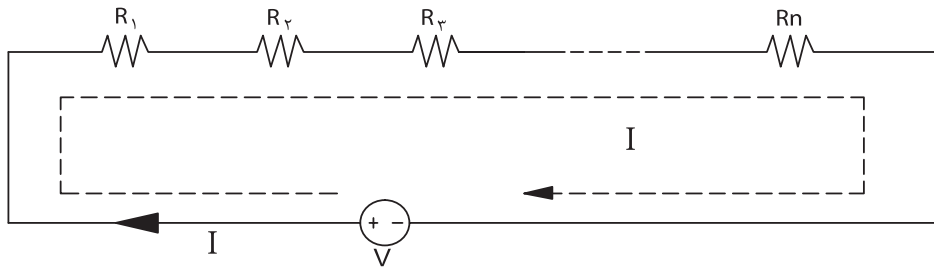
$$12I = -6$$

$$I = \frac{-6}{12} = -0.5 \text{ A}$$

جریان حلقه I برابر ۰/۵ آمپر می‌باشد. علامت (-) بیانگر این است که جهت جریان حلقه I خلاف جهت جریان مسیر بسته می‌باشد.

## مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد به طوری که در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود، مقاومت معادل را با  $R_{eq}$  نشان می‌دهند. برای بدست آوردن مقاومت معادل در مدارهای سری از KVL استفاده می‌شود. برای این منظور n تا مقاومت سری مدار شکل زیر در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲

برای مدار KVL نوشته می‌شود

$$\text{KVL}) -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I = 0$$

$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I$$

از I فاکتور گرفته می‌شود:

$$V = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

طرفین رابطه بر I تقسیم می‌شود.

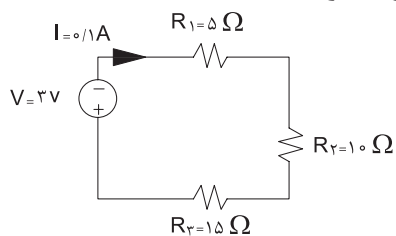
$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

نسبت  $\frac{V}{I}$  همان  $R_{eq}$  است:

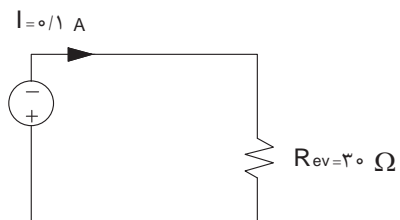
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

از این رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین n تا مقاومت با اتصال سری استفاده می‌شود.

مثال: مقاومت معادل مدار شکل زیر را بدست آورید (شکل ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۴

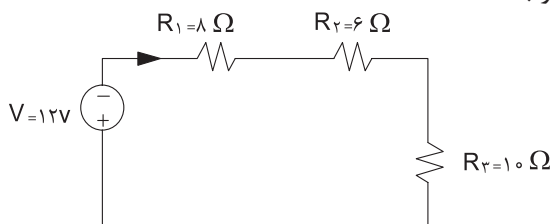


شکل ۱۳

$$R_{eq} = R_1 + R_r + R_r$$

$$R_{eq} = 5 + 10 + 15 = 30 \Omega$$

مثال: در مدار شکل زیر مطلوب است:



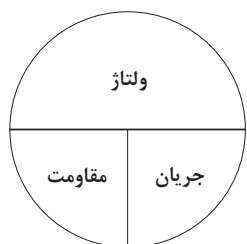
شکل ۱۵

الف) مقاومت معادل

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_r$$

$$R_{eq} = 8 + 6 + 10 = 24 \Omega$$

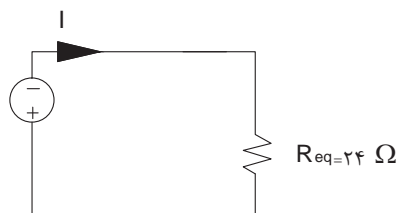
ب) شدت جریان مدار (شکل ۱۶).



$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{جریان}}{\text{مقاومت}}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{24} = 0.5 \text{ [A]}$$

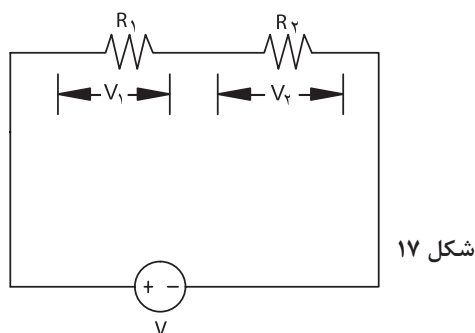
$V=12$



شکل ۱۶

## تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری

افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها بخشی از ولتاژ منبع مدار است. افت ولتاژ دو سر مقاومت را می‌شود بدون استفاده از جریان با رابطه تقسیم ولتاژ محاسبه کرد. رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری به صورت زیر است (شکل ۱۷)



$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

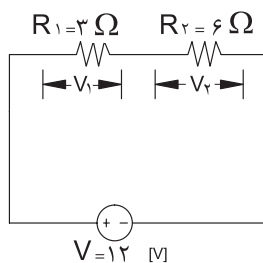
رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری را اثبات کنید.

**مثال:** در مدار شکل زیر با استفاده از رابطه تقسیم ولتاژ مقدار  $V_1$  و  $V_2$  را به دست آورید (شکل ۱۸)

فعالیت کلاسی

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{36}{9} = 4 \text{ [V]}$$

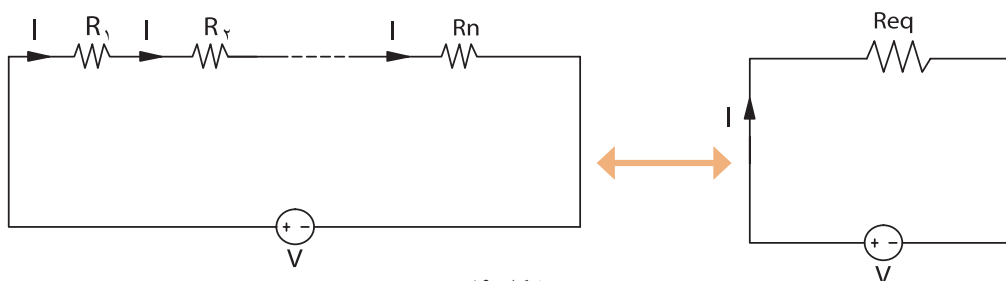
$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{72}{9} = 8 \text{ [V]}$$



شکل ۱۸

## توان مدار سری

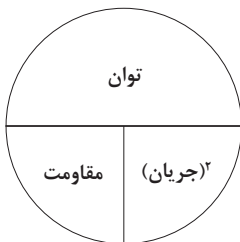
توان مدار سری از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به دست می‌آید. در مدار الکتریکی شکل ۱۹ که شامل  $n$  مقاومت سری است داریم: شکل ۱۹



شکل ۱۹

$I^2$  (جریان)  $\times$  مقاومت = توان

$$P = RI^2$$



توان مدار الکتریکی شکل ۱۹ از مجموع توان هر مقاومت به دست می آید و آن را با  $P_{eq}$  نشان می دهند.

$$P_{eq} = R_1 I^2 + R_2 I^2 + \dots + R_n I^2$$

از  $I^2$  فاکتور گرفته می شود.

$$P_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I^2$$

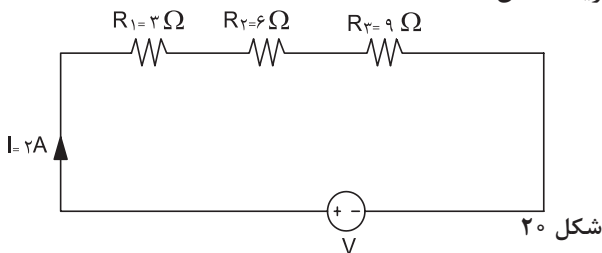
حاصل پرانتز همان مقاومت معادل مدار سری است لذا:

$$P_{eq} = R_{eq} I^2$$

این رابطه نشان می دهد توان مدار سری با توان مقاومت معادل سری نیز برابر است یعنی:

$$P_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I^2 = R_{eq} I^2$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۰ را به دست آورید (شکل ۲۰).



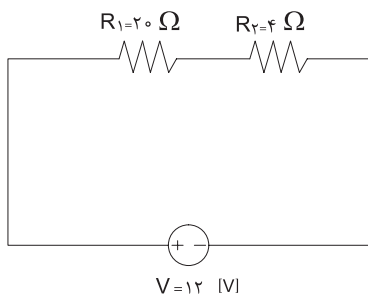
حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  به دست می آید.

$$P_{eq} = R_1 I^2 + R_2 I^2 + R_3 I^2$$

$$P_{eq} = 3(2)^2 + 6(2)^2 + 9(2)^2$$

$$P_{eq} = 12 + 24 + 36 = 72 [W]$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۱ را به دست آورید (شکل ۲۱).



شکل ۲۱

حل: مقاومت معادل مدار به دست می آید.

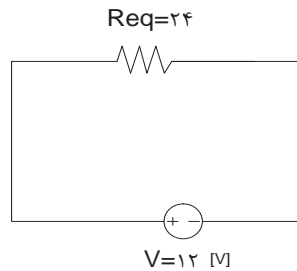
$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 20 + 4 = 24 \Omega$$



از قانون اهم جریان مدار به دست می‌آید (شکل ۲۲).

$$\text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{24} = 0.5 [A]$$



شکل ۲۲

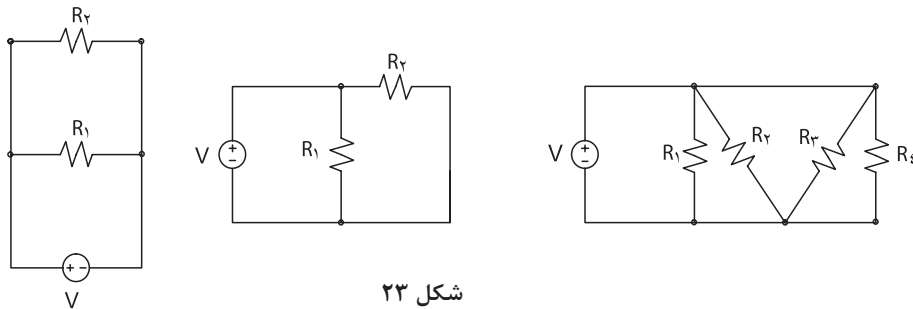
توان مقاومت معادل  $R_{eq}$  برابر مجموع توان  $R_1$  و  $R_2$  است لذا:

$$P_{eq} = R_{eq} I^2$$

$$P_{eq} = 24 \times 0.5^2 = 6 [W]$$

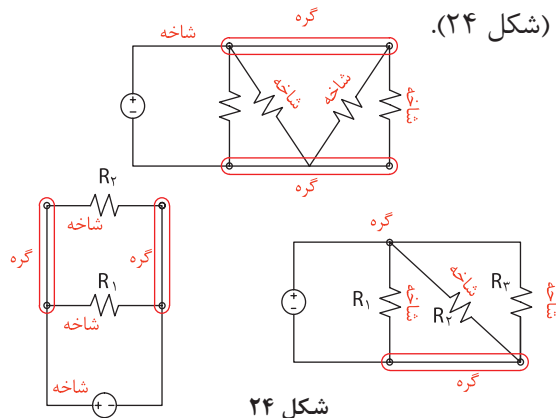
## اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها با هم برابر باشند. در اتصال موازی دو سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳

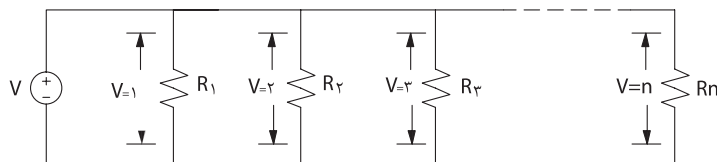
مسیر عبور جریان از هر مقاومت موازی و منبع را (شاخه) گویند و نقطه‌ای از مدار را که بیش از دو شاخه به آن متصل باشد، «گره» گویند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴

هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال موازی پیدا می‌کنند تشکیل یک مدار الکتریکی می‌دهند که اصطلاحاً آن را «مدار موازی» گویند.

ولتاژ دو سر مقاومت‌هایی که با یکدیگر اتصال موازی دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای موازی می‌باشد. در شکل ۲۵،  $n$  تا مقاومت که با یکدیگر اتصال موازی دارند و تشکیل یک مدار موازی داده‌اند نشان داده شده است.

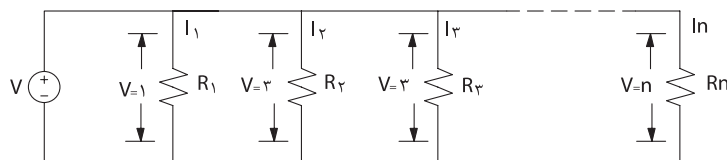


شکل ۲۵

همانطور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های شکل ۲۶ در هر یک از مقاومت‌ها جریان جاری می‌کند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

جریان هر یک از مقاومت‌ها با استفاده از قانون اهم به دست می‌آیند.

$$\text{ولتاژ} \\ \text{جریان} = \frac{\text{مقاومت}}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

⋮  
⋮  
⋮

$$I_n = \frac{V_n}{R_n}$$

با توجه به شرط اساسی مدارهای موازی ولتاژ مقاومت‌های با اتصال موازی با هم برابرند لذا می‌توان نوشت:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

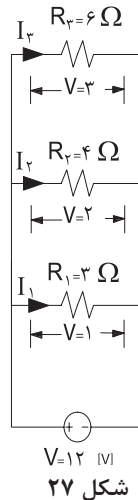
و روابط جریان هر مقاومت را با جایگزینی  $V$  به صورت زیر می توان نوشت:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_n = \frac{V}{R_n}$$

مثال: جریان شاخه های هریک از مقاومت های مدار شکل زیر را به دست آورید (شکل ۲۷).



شکل ۲۷

حل: مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  با یکدیگر اتصال موازی دارند لذا ولتاژ آنها با هم برابر است یعنی:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = 12 [V]$$

با استفاده از قانون اهم جریان هر یک از شاخه های مقاومت ها محاسبه می شود.

$$\text{ولتاژ} \\ \text{جریان} = \frac{\text{مقاومت}}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{12}{3} = 4 [A]$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{12}{4} = 3 [A]$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{12}{6} = 2 [A]$$

## قانون جریان کیرشهف KCL

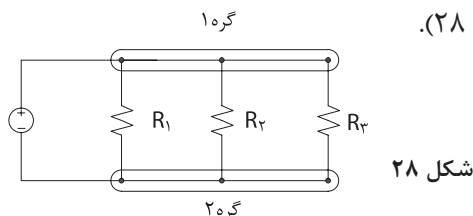
قانون جریان کیرشهف KCL بیان می کند «حاصل جمع جبری جریان هایی که به یک گره می رسد صفر است» و با رابطه ریاضی زیر بیان می شود:

$$\text{KCL) } I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

که می توان آن را به صورت زیر نیز نوشت:

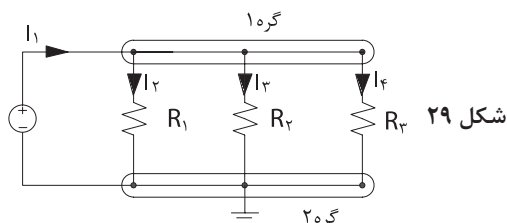
$$\text{KCL) } \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

برای نوشتن رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف یا KCL به صورت زیر عمل می‌شود.  
 ۱- گره‌های مدار مشخص و نام‌گذاری شود (شکل ۲۸).



شکل ۲۸

۲- یکی از گره‌ها زمین شود و برای شاخه‌های متصل به گره‌های دیگر جهت جریان مشخص می‌شود. شکل ۲۹ در اینجا گره ۲ زمین شده است (شکل ۲۹).



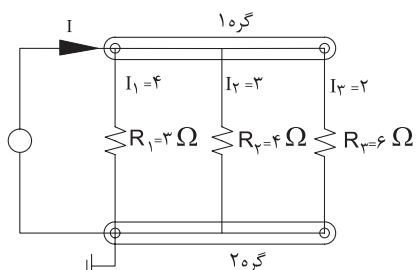
شکل ۲۹

۳- برای نوشتن KCL برای گره ۱ جریان‌هایی که به گره وارد می‌شوند با علامت (+) و جریان‌هایی که از گره خارج می‌شوند با علامت (-) اختیار می‌شود و سپس رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف نوشته می‌شود.

$$KCL) \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$KCL) + I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

مثال: قانون جریان کیرشهف را برای مدار شکل زیر بنویسید و به کمک آن جریان منبع را به دست آورید (شکل ۳۰).



شکل ۳۰

حل: جهت جریان شاخه‌ها در شکل مشخص شده است لذا رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف نوشته می‌شود.

$$KCL) + I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

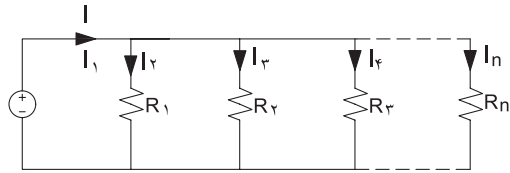
$$KCL) + I - 4 - 3 - 2 = 0$$

$$I = 9 [A]$$

## مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد بطوریکه در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود. مقاومت معادل را با  $R_{eq}$  نشان می‌دهند. برای بدست آوردن مقاومت معادل در مدارهای موازی از KCL استفاده می‌شود. برای این منظور  $n$  تا مقاومت موازی مدار شکل زیر در نظر گرفته می‌شود.

- برای مدار KCL نوشته می شود (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

$$KCL) + I - I_1 - I_2 - I_3 - \dots - I_n = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, I_n = \frac{V}{R_n},$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

$$I = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

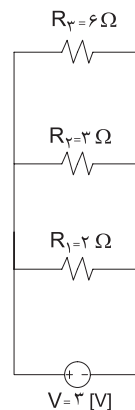
$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

تعیین رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین n تا مقاومت با اتصال موازی استفاده می شود.

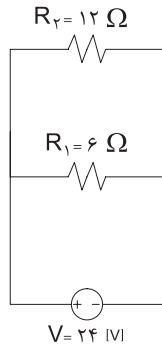
مثال: مقاومت معادل مدار شکل زیر را به دست آورید (شکل ۳۲)



شکل ۳۲

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 1 \Omega$$



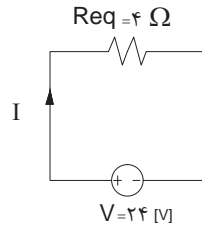
مثال: در مدار شکل مقابل مطلوب است (شکل ۳۳)

شکل ۳۳

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{12}} = 4 \Omega$$

الف) مقاومت معادل

ب) شدت جریان مدار شکل ۳۴ را به دست آورید:



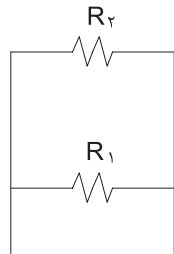
شکل ۳۴

$$\text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{24}{4} = 6 [A]$$

نشان دهید برای دو مقاومت موازی  $R_1$  و  $R_2$  می‌توان از رابطه زیر مقاومت معادل را به دست آورد (شکل ۳۵).

فعالیت کلاسی



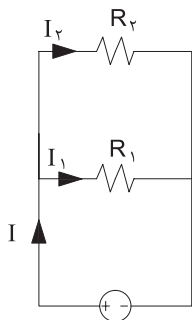
شکل ۳۵

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

## تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

جریان مقاومت‌های هر شاخه بخشی از جریان منبع مدار است. جریان مقاومت هر شاخه را می‌شود بدون استفاده از ولتاژ با رابطه تقسیم جریان محاسبه کرد.

رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی به صورت زیر است (شکل ۳۶ و ۳۷).



شکل ۳۶

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

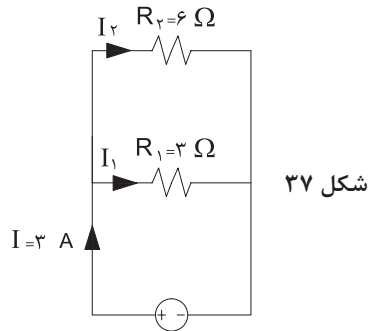
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی را اثبات کنید.

مثال: در مدار شکل مقابل با استفاده از رابطه تقسیم جریان، جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  را به دست آورید (شکل ۳۷).

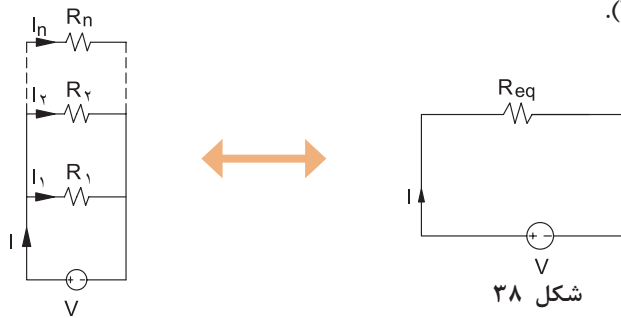
$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2 \text{ [A]}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 3 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{9}{9} = 1 \text{ [A]}$$



## توان مدار موازی

توان مدار موازی از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به دست می‌آید. در مدار الکتریکی شکل ۳۸ که شامل  $n$  مقاومت موازی است داریم (شکل ۳۸).



توان = (جریان) × مقاومت

توان هر مقاومت برابر خواهد بود:

$$P = RI^2$$

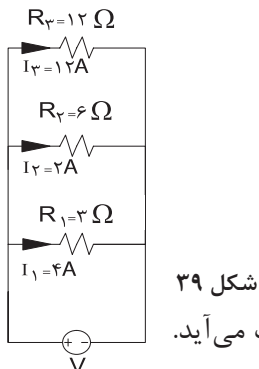
توان مدار الکتریکی شکل (۳۸) از مجموع توان هر مقاومت به دست می‌آید و آن را با  $P_{eq}$  نشان می‌دهند.

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + \dots + R_n I_n^2$$

توان مدار موازی نیز با توان مقاومت معادل مدار موازی برابر است یعنی:

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + \dots + R_n I_n^2 = R_{eq} I^2$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۳۹ را به دست آورید.

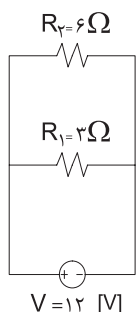


حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  به دست می‌آید.

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$P_{eq} = 3(4)^2 + 6(2)^2 + 12(1)^2 = 84 [W]$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۴۰ را به دست آورید.

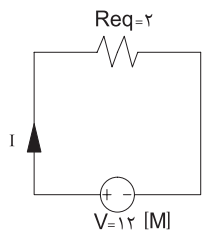


شکل ۴۰

حل: مقاومت معادل مدار به دست می آید.

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 2 \Omega$$

جریان مدار از قانون اهم به دست می آید (شکل ۴۱)



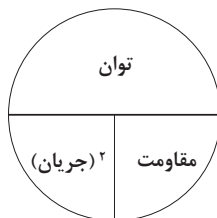
شکل ۴۱

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{2} = 6 [A]$$

- توان مقاومت معادل  $R_{eq}$  با مجموع توان مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  برابر است.

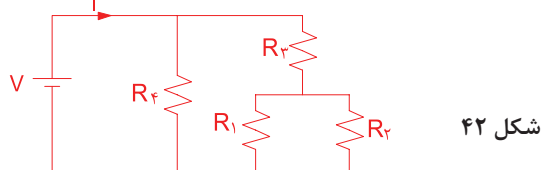
$I^2$  (جریان)  $\times$  مقاومت = توان

$$P_{eq} = R_{eq} I^2 = 2 \times 6^2 = 72 [W]$$



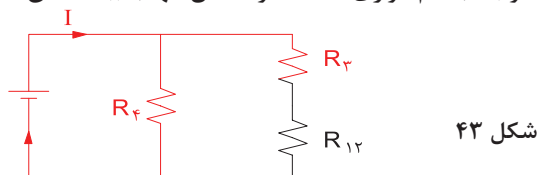
## مدارهای سری - موازی

مدارهای سری - موازی مدارهایی هستند که در آنها ترکیبی از مقاومت های سری و موازی شده وجود دارد (شکل ۴۲).



شکل ۴۲

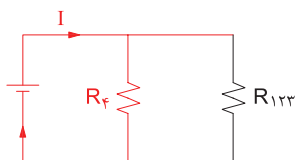
در مدار شکل ۴۳ مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  با هم موازی هستند و معادل آنها با  $R_{12}$  نشان داده شده است (شکل ۴۳).



شکل ۴۳

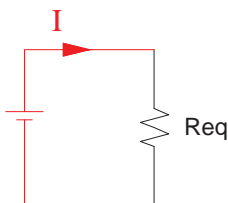
مقاومت  $R_{12}$  با  $R_3$  سری شده است و مقاومت معادل آنها فقط با  $R_{123}$  نشان داده شده است (شکل ۴۴).





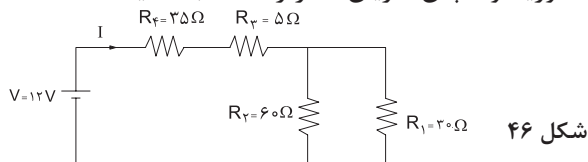
شکل ۴۴

مقاومت  $R_{123}$  با  $R_f$  موازی شده است و مقاومت معادل آنها با  $R_{eq}$  نشان داده شده است (شکل ۴۵).



شکل ۴۵

مثال: مقاومت معادل مدار شکل ۴۶ مقابل را به دست آورید و سپس جریان مدار را محاسبه کنید.

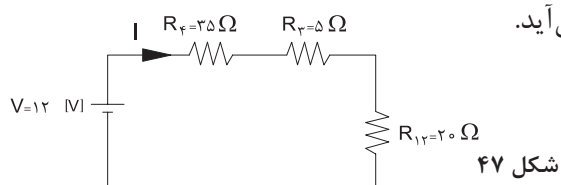


شکل ۴۶

حل: مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  با هم موازی هستند و معادل آنها  $R_{12}$  به دست می‌آید.

$$R_{12} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20 \Omega$$

با جایگزینی  $R_{12}$  بجای  $R_1$  و  $R_2$  شکل ۴۷ به دست می‌آید.



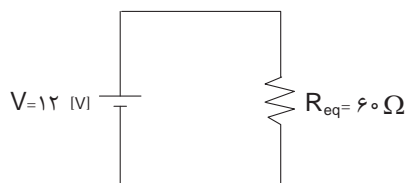
شکل ۴۷

مقاومت  $R_{12}$ ،  $R_r$  و  $R_f$  با هم سری هستند و معادل آنها  $R_{eq}$  به دست می‌آید.

$$R_{eq} = R_f + R_r + R_{12}$$

$$R_{eq} = 35 + 5 + 20 = 60 \Omega$$

با جایگزینی  $R_{eq}$  به جای  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_f$  و  $R_{12}$  شکل ۴۸ به دست می‌آید.

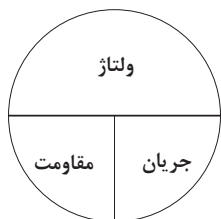


شکل ۴۸

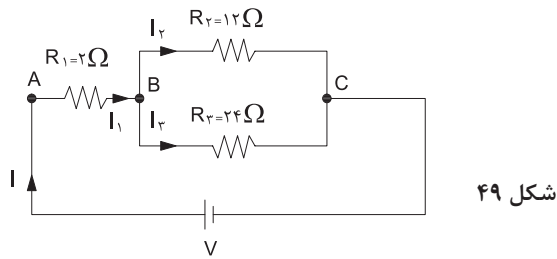
با قانون اهم جریان مدار به دست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \text{جریان} \times \text{مقاومت}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{60} = 0.2 [A]$$



مثال: در مدار شکل مقابل اگر  $V_{BC} = 48V$  باشد جریان منبع را به دست آورید (شکل ۴۹).



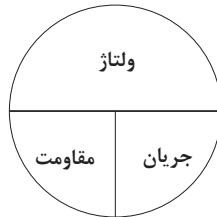
شکل ۴۹

حل: ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_2$  و  $R_3$  می‌باشد.  $R_3$  با هم موازی هستند و با قانون اهم جریان شاخه‌های آنها به دست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{جریان}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_2 = \frac{V_{BC}}{R_2} = \frac{48}{12} = 4 [A]$$

$$I_3 = \frac{V_{BC}}{R_3} = \frac{48}{24} = 2 [A]$$



با نوشتن KCL برای گره B جریان  $I_1$  به دست می‌آید.

$$\text{KCL}) + I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$+ I_1 - 4 - 2 = 0$$

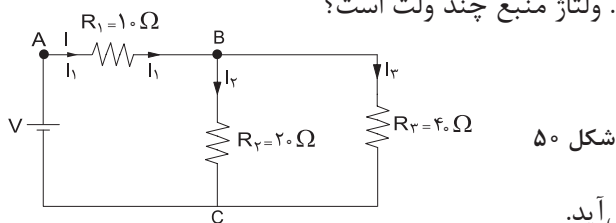
$$I_1 = 6 [A]$$

با توجه به شکل جریان منبع I با جریان عبوری از مقاومت سری  $R_1$  برابر است لذا:

$$I = I_1$$

$$I = 6 [A]$$

مثال: در مدار شکل ۵۰،  $V_{AB} = 30V$  می‌باشد. ولتاژ منبع چند ولت است؟

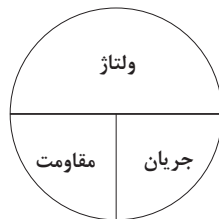


شکل ۵۰

حل: از قانون اهم جریان مقاومت  $R_1$  به دست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{جریان}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} = \frac{30}{10} = 3 [A]$$

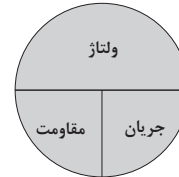


از رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی  $I_2$  و  $I_3$  به دست می‌آید.

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 3 \times \frac{40}{20 + 40} = \frac{120}{60} = 2 [A]$$

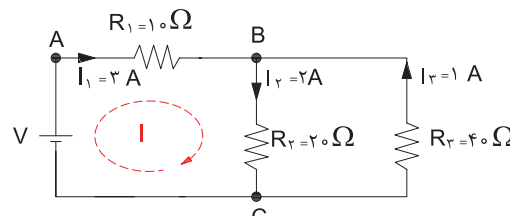
$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 3 \times \frac{20}{20 + 40} = \frac{60}{60} = 1[A]$$

از قانون اهم ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  که  $V_{BC}$  نشان داده می شود به دست می آید.  
جریان  $\times$  مقاومت = ولتاژ



$$V_{BC} = R_2 I_2 = 20 \times 2 = 40 [V]$$

از قانون ولتاژهای کیرشهف KVL ولتاژ منبع به دست می آید (شکل ۵۱).



شکل ۵۱

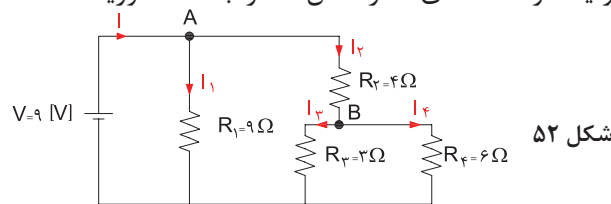
$$\text{KVL) } -V + R_1 I_1 + R_2 I_2 = 0$$

$$\text{KVL) } -V + 10(3) + 20(2) = 0$$

$$\text{KVL) } -V + 30 + 40 = 0$$

$$V = 70 [V]$$

مثال: جریان هر یک از شاخه های مدار شکل ۵۲ را به دست آورید.

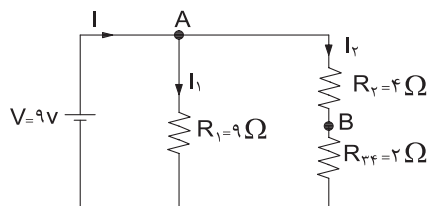


شکل ۵۲

حل: مقاومت های  $R_3$  و  $R_4$  با هم موازی هستند. مقاومت معادل آنها  $R_{34}$  به دست می آید.

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2 [\Omega]$$

با جایگزینی  $R_{34}$  به جای  $R_3$  و  $R_4$  شکل (۵۳) به دست می آید.

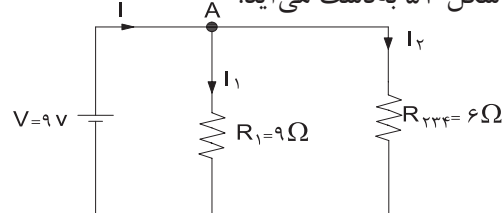


شکل ۵۳

مقاومت های  $R_2$  و  $R_{34}$  با هم سری هستند مقاومت معادل آنها  $R_{234}$  به دست می آید.

$$R_{234} = R_2 + R_{34} = 4 + 2 = 6 [\Omega]$$

با جایگزینی  $R_{234}$  به جای  $R_2$  و  $R_{34}$  شکل ۵۴ به دست می آید.



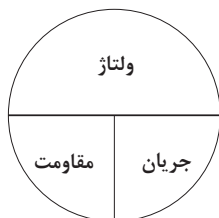
شکل ۵۴

از قانون اهم جریان های  $I_1$  و  $I_2$  بدست می آید.

$$\text{ولتاژ} \\ \text{مقاومت} = \text{جریان}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{9}{9} = 1[A]$$

$$I_2 = \frac{V}{R_{234}} = \frac{9}{6} = 1.5[A]$$



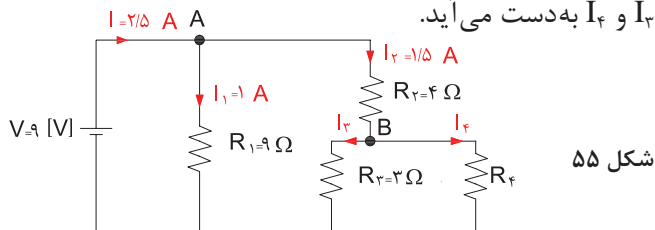
بانوشتن KCL برای گره A جریان منبع I به دست می آید.

$$KCLA) + I - I_1 - I_2 = 0$$

$$+ I - I - 1.5 = 0$$

$$I = 2.5[A]$$

اکنون با به دست آمدن I و  $I_1$  و  $I_2$  و توجه به شکل ۵۵ و استفاده از روابط تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی  $R_3$  و  $R_4$  جریان  $I_3$  و  $I_4$  به دست می آید.

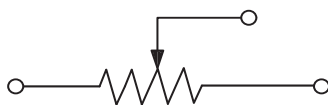


$$I_3 = I_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 1.5 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{9}{9} = 1[A]$$

$$I_4 = I_2 \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 1.5 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{4.5}{9} = 0.5[A]$$

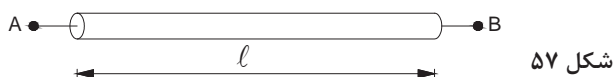
## مقاومت الکتریکی متغیر

مقاومت الکتریکی متغیر مقاومتی است که مقدار آن قابل تنظیم می باشد (شکل ۵۶).



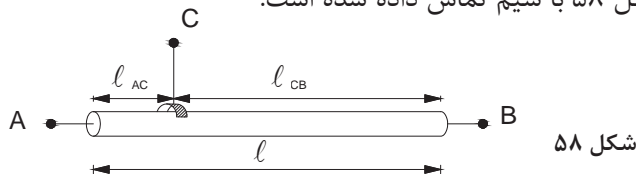
شکل ۵۶

مقاومت الکتریکی متغیر تشکیل شده است از سیم با جنس کروم نیکل که یک لغزنده به روی آن حرکت می کند. مقاومت سیم با طول سیم متناسب است لذا می توان با تغییر طول سیم به یک مقاومت متغیر رسید. سیمی به طول  $l$  مطابق شکل ۵۷ در نظر است.



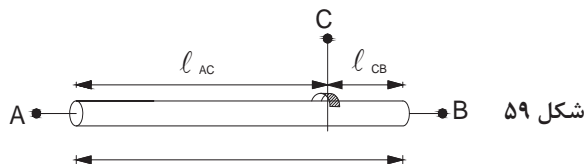
شکل ۵۷

مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و B متناسب با طول، سطح مقطع و جنس سیم مقدار مشخصی دارد. یک لغزنده مطابق شکل ۵۸ با سیم تماس داده شده است.



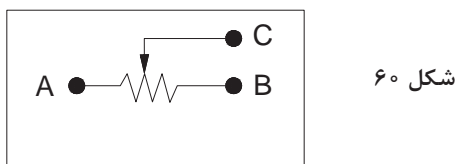
مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و C متناسب با طول  $l_{AC}$  و مقاومت بین سری‌های C و B متناسب با طول  $l_{CB}$  می‌باشد.

با جابه‌جایی لغزنده طول‌های  $l_{AC}$  و  $l_{CB}$  تغییر کرده و متناسب با آن مقاومت الکتریکی سری‌های A و C و مقاومت الکتریکی و مقاومت الکتریکی سری‌های C و B تغییر می‌نماید (شکل ۵۹).



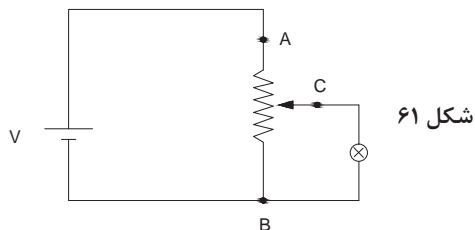
بنابراین مقاومت الکتریکی  $R_{AB}$  ثابت و مقاومت‌های الکتریکی  $R_{AC}$  و  $R_{CB}$  متغیر می‌باشد که با جابه‌جایی لغزنده مقدار آنها تغییر می‌کند.

مقاومت الکتریکی متغیر در مدارهای الکتریکی مطابق شکل ۶۰ نشان داده می‌شود.



## پتانسیومتر

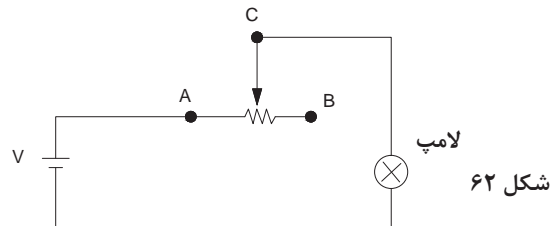
پتانسیومتر، مقاومت الکتریکی متغیری است که سری‌های A، B و C آن در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند (شکل ۶۱).



از پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ بین سرهای C و B بر اساس تقسیم ولتاژ بین سری‌های AC و CB استفاده می‌کنند. در شکل ۶۱ با جابه‌جایی لغزنده ولتاژ لامپ تغییر و متناسب آن نور تغییر می‌کند.

## رئوستا

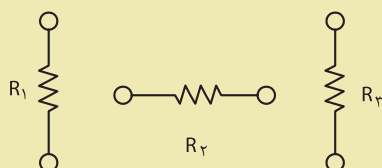
رئوستا، مقاومت الکتریکی متغیری است که سری‌های A و C آن در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند (شکل ۶۲).



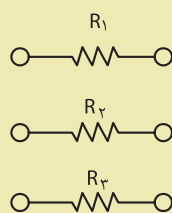
از رئوستا برای تغییر جریان استفاده می‌شود. در شکل ۶۲ با جابه‌جایی لغزنده جریان لامپ تغییر می‌نماید و متناسب آن افت ولتاژ دو سر لامپ و نور لامپ تغییر می‌کند.

- ۱- مدار سری را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.
- ۲- مدار موازی را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.
- ۳- قانون ولتاژهای کیرشهف (KVL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.
- ۴- قانون جریان‌های کیرشهف (KCL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.
- ۵- مفاهیم زیر را تعریف کنید.  
(الف) گره (ب) شاخه (ج) مسیر بسته (د) مدار سری - موازی
- ۶- مقاومت متغیر را تعریف کنید و ساختمان آن را تشریح کنید.
- ۷- پتانسیومتر را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.
- ۸- رئوستا را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.
- ۹- مقاومت‌های الکتریکی شکل‌های زیر را به صورت سری به یکدیگر اتصال دهید.

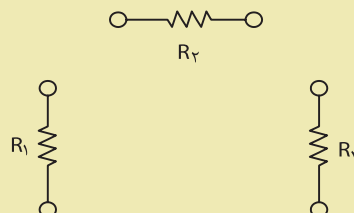
شکل الف



شکل ب

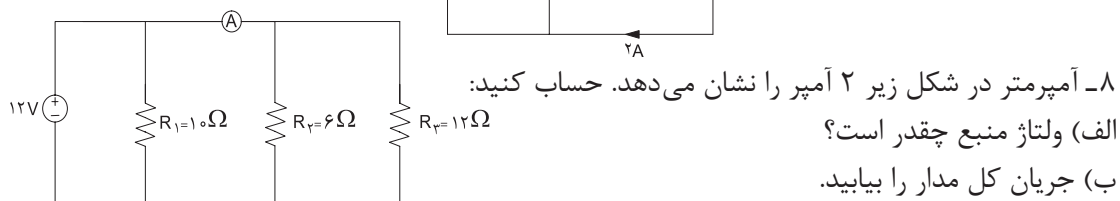
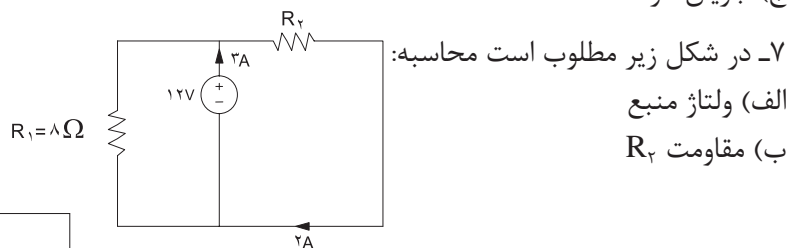
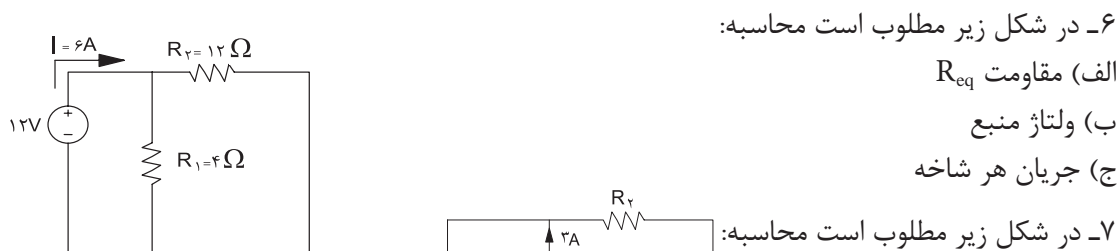
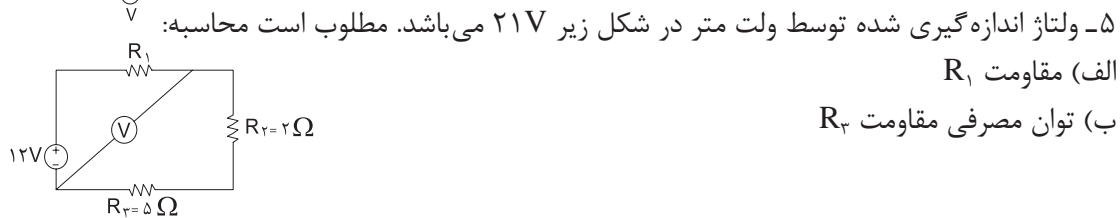
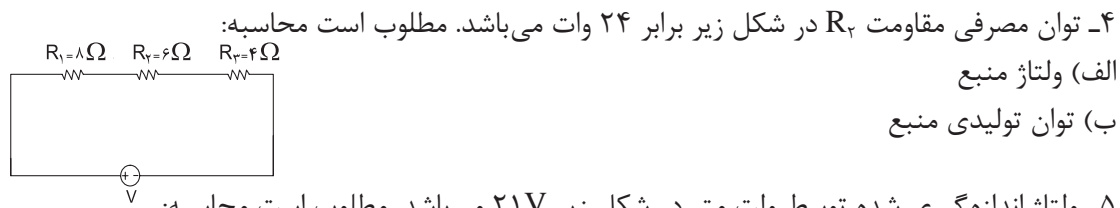
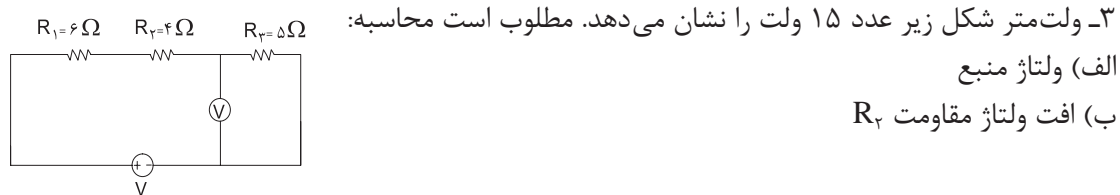
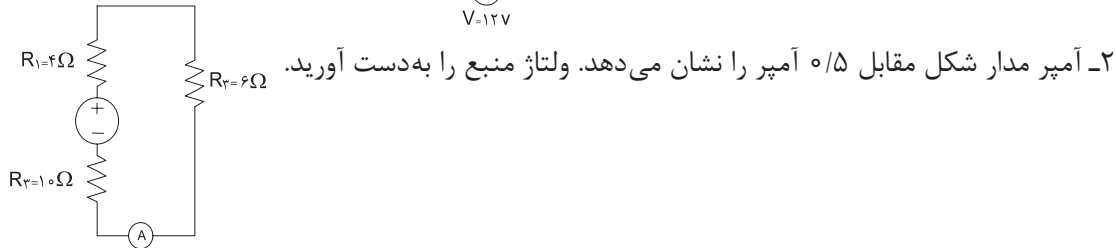
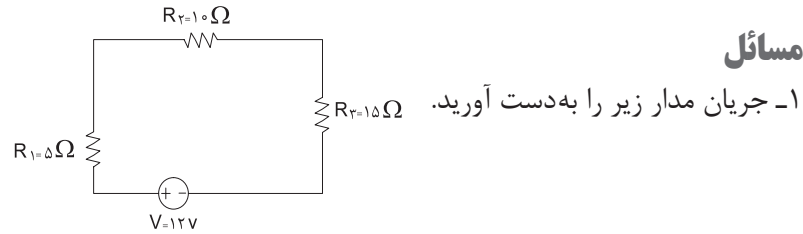


شکل ج



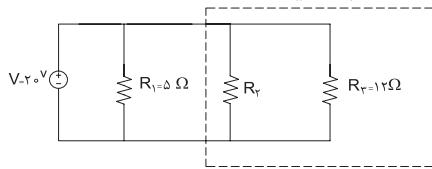
- ۱۰- مقاومت‌های الکتریکی پرسش ۹ را مجدداً رسم کنید و آنها را به صورت موازی به یکدیگر متصل کنید.
- ۱۱- مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به صورت موازی اتصال دارند و با مقاومت  $R_3$  سری شده‌اند.
- ۱۲- مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به صورت سری اتصال دارند و با مقاومت  $R_3$  موازی شده‌اند.
- ۱۳- لوازم الکتریکی منزل مسکونی با کدام اتصال الکتریکی به شبکه وصل شداند؟

## مسائل





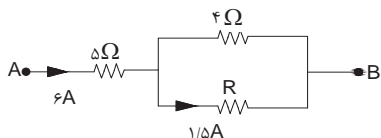
۹- در شکل زیر توان مصرفی قسمت مشخص شده  $100\text{ W}$  می باشد. حساب کنید:



الف) جریان کل مدار

ب) مقاومت  $R_2$

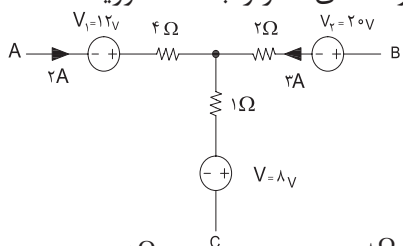
۱۰- شکل زیر بخشی از مدار الکتریکی است، مطلوب است محاسبه:



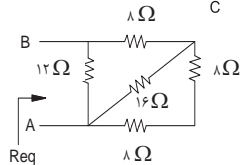
الف)  $V_{AB}$

ب) مقدار R

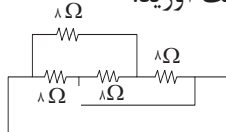
۱۱- شکل زیر بخشی از یک مدار الکتریکی است. توان هر یک از مقاومت های مدار را به دست آورید.



۱۲- مقاومت معادل را در هر یک از شکل های زیر به دست آورید:

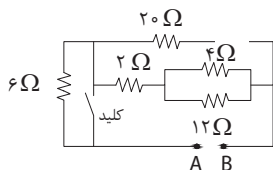


الف)

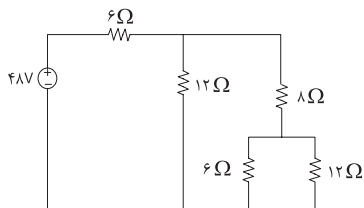


ب)

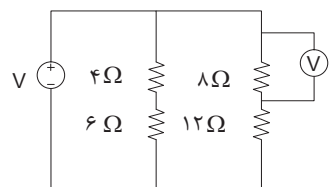
۱۳- در شکل زیر مقاومت معادل را در دو حالت کلید باز و بسته محاسبه کنید.



۱۴- در شکل زیر جریان، ولتاژ و توان هر مقاومت را بیابید.



۱۵- در شکل زیر ولت متر ۳۲ ولت را نشان می دهد مطلوب است:



الف) جریان هر مقاومت

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت

ج) توان کل مدار

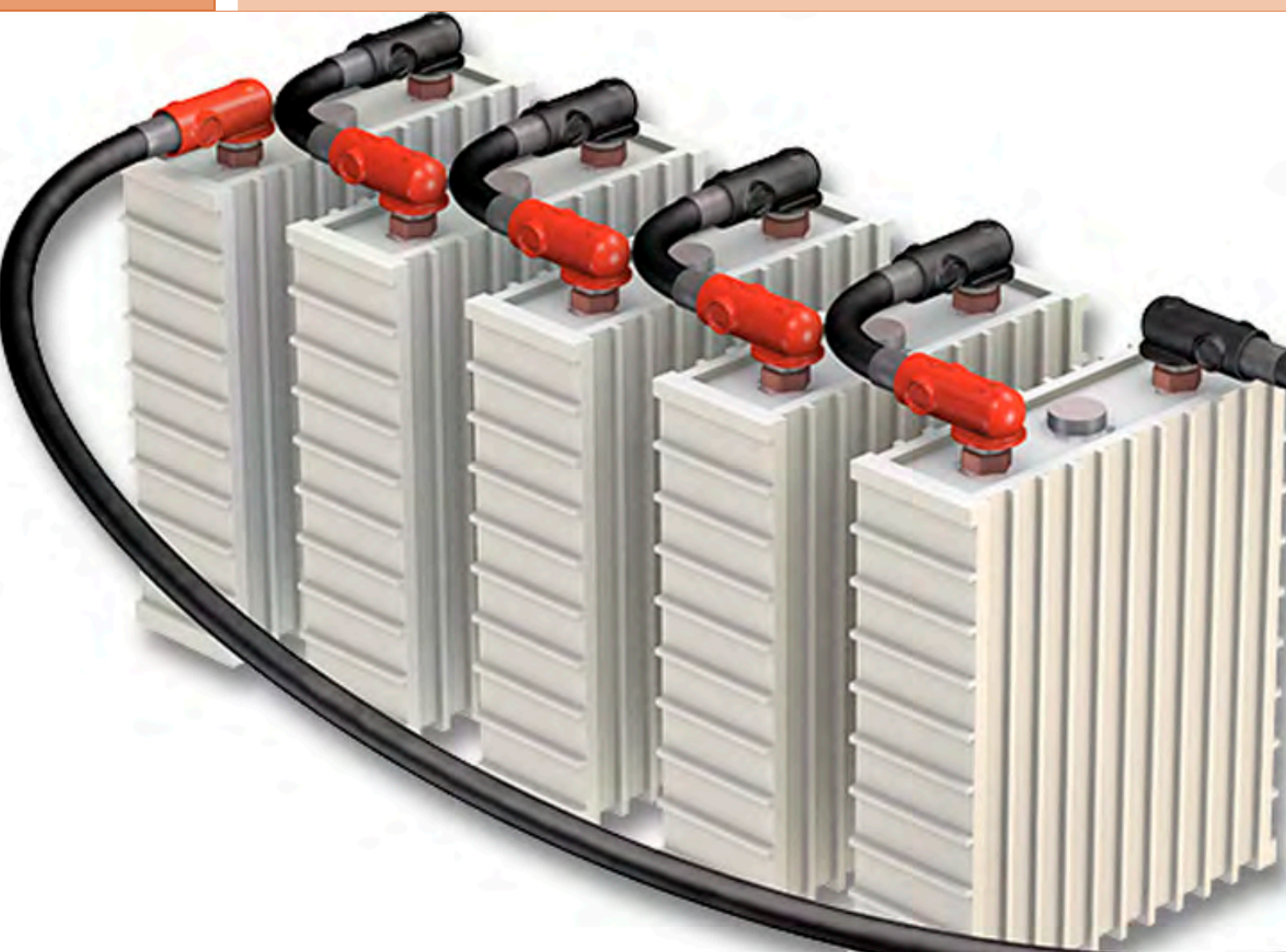
۱۶- در یک مدار با فیوز ۱۶ آمپری چند لامپ رشته ای  $100\text{ W}$ ،  $230\text{ V}$  ولت می تواند روشن باشد؟ اگر در

این مدار از یک اتوی  $1200\text{ W}$  وات استفاده شود چند لامپ می تواند روشن کرد؟



واحد یادگیری ۷

اتصال پیل ها



## اتصال باتری‌ها

یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی، باتری‌ها هستند. باتری‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نمونه‌ای از باتری‌ها، پیل‌های خشک و تر هستند که در چراغ قوه و اتومبیل به کار می‌روند.

واژه باتری و پیل را معمولاً به جای یکدیگر به کار می‌برند اما این دو از نظر فنی با هم تفاوت دارند. باتری از دو یا چند پیل تشکیل می‌شود که به طور سری یا موازی به هم وصل شده‌اند. به عبارت دیگر، پیل‌ها واحد تشکیل دهنده باتری‌ها هستند. شکل مداری یک پیل به صورت دو خط موازی است که یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر می‌باشد (شکل ۶۳).



شکل ۶۳

خط بزرگ‌تر را قطب مثبت و خط کوچک‌تر را قطب منفی در نظر می‌گیرند. در شکل ۶۳ اتصال سری و موازی پیل‌ها را مشاهده می‌کنید.

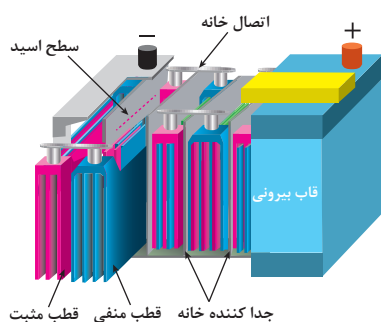


ب) اتصال موازی

الف) اتصال سری

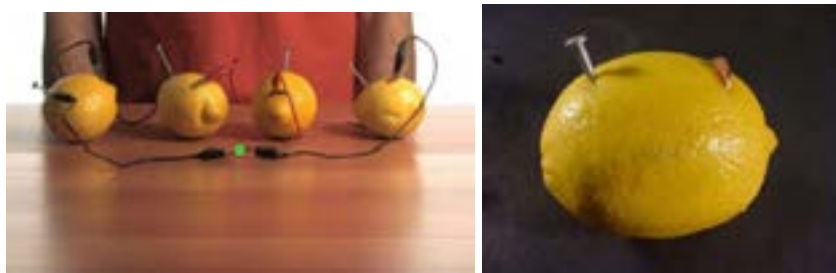
شکل ۶۴

پیل‌های خشک در دو نوع قابل شارژ و غیر قابل شارژ تولید می‌شود. در صورتی که پیل‌های تر معمولاً قابل شارژ هستند. در شکل ۶۵ یک نمونه پیل تر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶۵

از اتصال بعضی از میوه‌ها نیز می‌توان ولتاژ و جریان الکتریکی تولید کرد (شکل ۶۶).

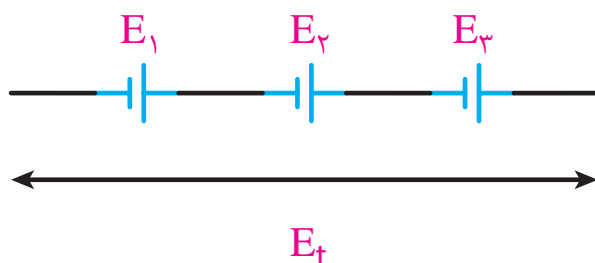


(ب)

(الف)

شکل ۶۶

برای به دست آوردن ولتاژهای بیشتر، چند پیل را با هم سری می‌کنند. برای سری کردن پیل‌ها باید قطب مثبت هر پیل به قطب منفی پیل دیگر اتصال یابد (شکل ۶۷). ولتاژ کل یک باتری در صورت اتصال صحیح با مجموع ولتاژ تک تک پیل‌های سری شده برابر است؛ یعنی:



شکل ۶۷

رابطه ولتاژ کل  $n$  پیل سری شده به صورت زیر است:

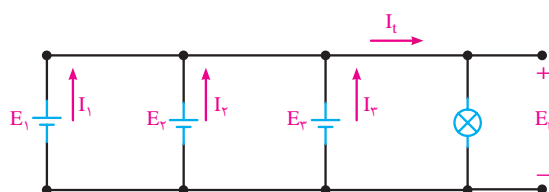
$$E_t = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

لازم به ذکر است در اتصال سری پیل‌های سری جریان عبوری از مدار یکسان است. در شکل ۶۸ اتصال سری چند پیل را می‌بینید.



شکل ۶۸

برای بالا بردن جریان دهی باتری، پیل‌ها به طور موازی بسته می‌شوند. برای موازی کردن پیل‌ها باید قطب مثبت پیل‌ها را به یکدیگر و قطب منفی آنها را به یکدیگر اتصال داد. در شکل ۶۹ چند پیل موازی به صورت نمای الکتریکی و ظاهری نشان داده شده است.



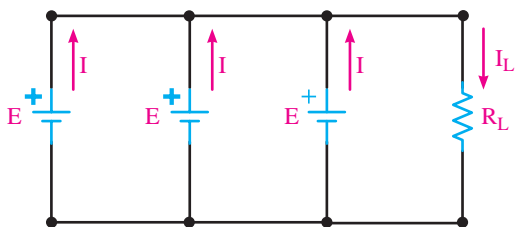
شکل ۶۹

لازم به توضیح است که در مدار شکل ۶۹ ولتاژ دو سر پیل‌ها باید با هم برابر باشد، اما ظرفیت جریان دهی، متناسب با تعداد پیل‌ها افزایش می‌یابد؛ یعنی:

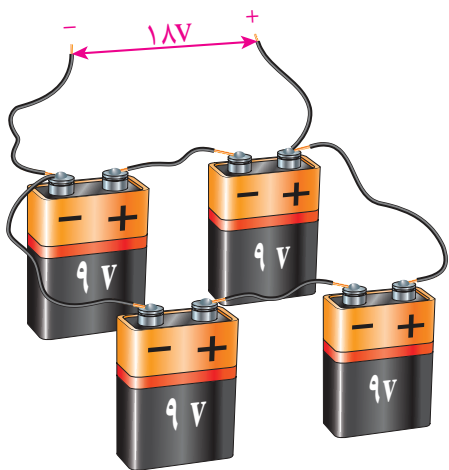
مثال ۴: در مدار شکل ۷۳ ولتاژ و جریان دو سر بار چقدر است؟

$$V_t = E$$

$$I_L = I + I + I = 3I$$



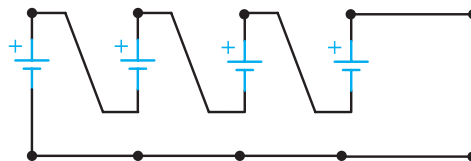
اگر بخواهند ولتاژ باتری و جریان دهی را افزایش دهند، پیل‌های تشکیل دهنده باتری را به طور سری - موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۷۴).



شکل ۷۴

مثال ۱: پیل‌های شکل ۷۰ را طوری وصل کنید که حداکثر ولتاژ از آنها بدست آید.

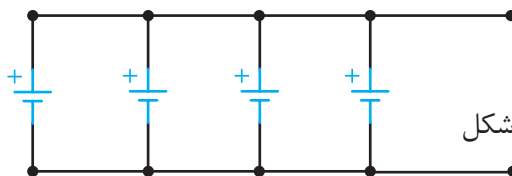
حل:



شکل ۷۰

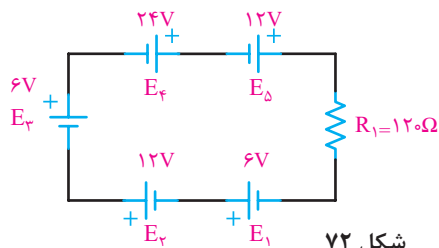
مثال ۲: پیل‌های شکل ۷۱ را برای به دست آوردن حداکثر ظرفیت جریان به یکدیگر اتصال دهید.

حل:



شکل ۷۱

مثال ۳: در مدار شکل ۷۲ ولتاژ و جریان دو سر مصرف کننده چقدر است؟



شکل ۷۲ : حل

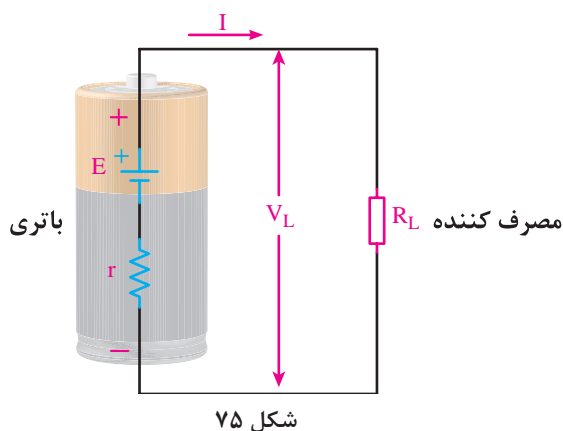
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

$$E_t = 6 + 12 + 6 + 24 + 12 = 60\text{V}$$

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{60}{120} = 0.5\text{A}$$

## مقاومت داخلی پیل‌ها (باتری)

یک مولد (باتری) را در نظر می‌گیریم؛ ابتدا به کمک ولت متر، ولتاژ باتری را اندازه‌گیری کرده و مقدار آن را یادداشت می‌کنیم. سپس باتری را به دو سر یک مقاومت می‌بندیم. بار دیگر ولتاژ دو سر باتری را اندازه‌گیری می‌گیریم و یادداشت می‌کنیم. از مقایسه ولتاژها، متوجه می‌شویم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله دوم از ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله اول کمتر است؛ در صورتی که انتظار می‌رفت، ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله برابر باشد. از این رو اختلاف ولتاژ اندازه‌گیری شده را این‌گونه تعبیر می‌کنیم که در داخل مولد (باتری)، مقاومتی وجود



دارد که با عبور جریان از آن و افت مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت، ولتاژ باتری کاهش یافته است. این مقاومت را مقاومت داخلی مولد (باتری) می‌گویند. مقاومت داخلی هر باتری از نظر مصرف مانند مقاومتی است که با باتری سری شده است. شکل ۷۵ یک باتری را با مقاومت داخلی نشان می‌دهد. مقاومت داخلی باتری را با حرف  $I$  نمایش می‌دهند که همیشه با مصرف کننده سری می‌شود.

هر چه مقاومت داخلی باتری کوچک‌تر باشد، افت ولتاژ دو سر آن کوچک‌تر است و می‌توان آن را نادیده گرفت. با ضعیف شدن باتری، مقاومت داخلی آن زیاد می‌شود و در نتیجه، ولتاژ و شدت جریان تولیدی باتری را کاهش می‌دهد.

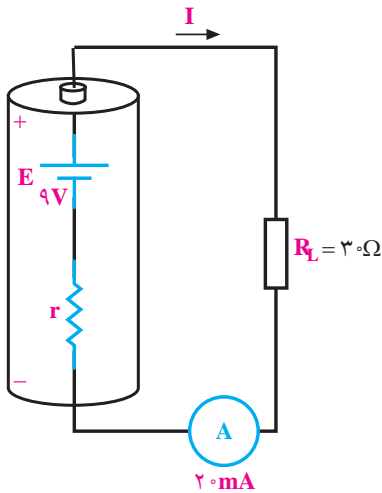
علت کاهش ولتاژ دو سر باتری، همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد، این است که مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند و بقیه ولتاژ آن به مصرف کننده می‌رسد. در مورد کاهش جریان باتری، چون مقاومت داخلی باتری به مقاومت کل مدار اضافه می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد، مثلاً برای مدار شکل ۷۵ ولتاژ و جریانی که به مصرف کننده می‌رسد برابر است با:

$$R_t = r + R_L$$

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{E_t}{r + R_t}$$

$$V_L = E + V_r = E - IR$$

$E$  ولتاژ باتری،  $V_r$  افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی و  $V_L$  افت ولتاژ دو سر بار یا مصرف کننده است. از روابط گفته شده چنین برمی‌آید که ولتاژی که به مصرف کننده می‌رسد، همیشه به اندازه افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی از ولتاژ باتری کمتر است.



شکل ۷۶

مثال ۵: در مدار شکل ۷۶ مطلوب است محاسبه:

الف) مقدار  $I$  و ولتاژی که به بار می‌رسد  $R_L = 300\Omega$  چقدر است؟

ب) اگر مقدار مقاومت را به  $3450\Omega$  اهم افزایش دهیم، ولتاژ دو سر بار و شدت جریان مدار چقدر می‌شود؟

حل : الف -  $R_L = 300\Omega$

مقاومت معادل با استفاده از قانون اهم

$$R_t = \frac{E}{I} = \frac{9}{2 \times 10^{-3}} = 4500\Omega$$

$$R_t = r + R_L \Rightarrow r = R_t - R_L = 4500 - 3000 = 1500\Omega$$

$$V_L = I.R_L = 20\text{mA} \times 3000 = 6\text{V}$$

اگر بار  $R_L = 3000\Omega$  باشد از ولتاژ باتری فقط ۶ ولت به بار می‌رسد و ۳ ولت دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

ب-  $R_L = 3450\Omega$

با معلوم شدن مقاومت داخلی، مقاومت کل برابر است با :

$$R_t = r + R_L \Rightarrow 1500 + 3450 = 4950\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_t} \Rightarrow I = \frac{9}{4950} = 1.8 \times 10^{-3} \text{ A}$$

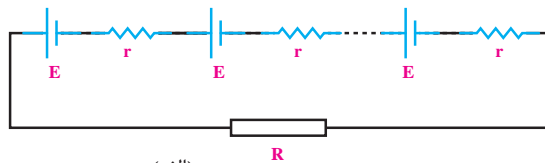
$$V_L = I.R_L = 1.8 \times 10^{-3} \times 3450 = 6.21\text{V}$$

در این حالت، با اضافه شدن  $R_L$  ولتاژ بیشتری به بار می‌رسد (۶.۲۱V) و ولتاژ کمتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند (۰.۳۷۵V).

نتیجه : اگر مقاومت مصرف کننده نسبت به مقاومت داخلی مولد خیلی بزرگ باشد، از مقاومت داخلی می‌توان صرف نظر کرد.

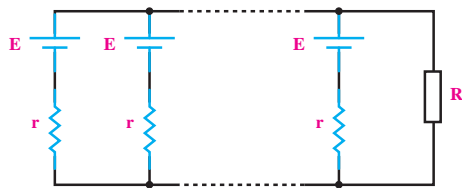


در صورتی که چند باتری کاملاً مشابه بامقاومت داخلی برابر را با مصرف کننده شکل ۷۷ سری یا موازی ببندیم، شدت جریان کل مدار به ترتیب از روابط زیر به دست می آید.



$$I = \frac{nE}{nr + R_L}$$

الف) اتصال سری باتری ها



$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R_L}$$

ب) اتصال موازی باتری ها

شکل ۷۷

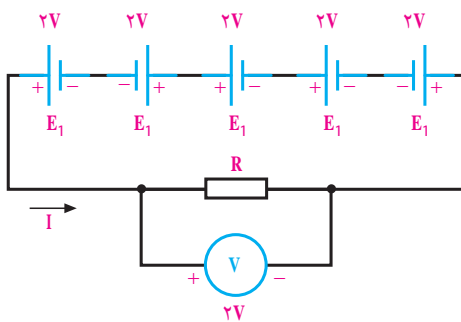
## اتصال متقابل پیل ها

در صورتی که دو یا چند پیل، مطابق شکل ۷۸ به هم اتصال داده شوند، به آن اتصال متقابل می گویند. در این حالت، ولتاژ کل کاهش می یابد؛ زیرا پیل هایی که قطب هایشان به صورت مخالف با بقیه بسته شده است، مانند مصرف کننده عمل می کنند. رابطه ولتاژ کل در این مدار برابر است با تفاوت بین ولتاژهای مخالف و موافق، یعنی:

$$E_t = E_1 - E_2 + E_3 + E_4 - E_5$$

$$E_t = 2 - 2 + 2 + 2 - 2 = 2V$$

رابطه فوق برای پیل های با ولتاژ نابرابر در مدار سری نیز صادق است.

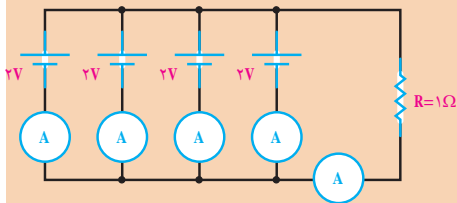


شکل ۷۸

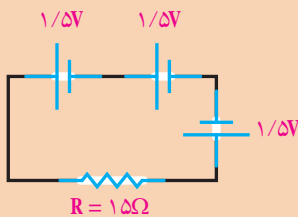
معمولاً پیل هایی را که ولتاژ متفاوت دارند، به صورت موازی و متقابل به یکدیگر اتصال نمی دهند؛ زیرا انرژی الکتریکی پیل های با ولتاژ بالاتر در پیل های با ولتاژ کمتر تخلیه می شوند. اگر باتری ها قابل شارژ باشند باتری ضعیف تر شارژ می شود و اگر باتری ها غیرقابل شارژ باشند انرژی الکتریکی در باتری ضعیف تر به حرارت تبدیل می شوند.

- ۱- پیل را تعریف کنید.
- ۲- باتری را تعریف کنید.
- ۳- چند پیل تر و خشک را نام ببرید.
- ۴- اتصال چند پیل سری را از لحاظ پلاریته (قطب‌های مثبت و منفی) بررسی کنید.
- ۵- در اتصال موازی پیل‌ها شدت جریان کل چگونه تغییر می‌کند؟
- ۶- برای افزایش ولتاژ، پیل‌ها را چگونه اتصال می‌دهند؟
- ۷- مقاومت داخلی پیل چیست و چه تأثیری در مدار دارد؟
- ۸- اتصال متقابل پیل‌ها را با رسم یک شکل شرح دهید.

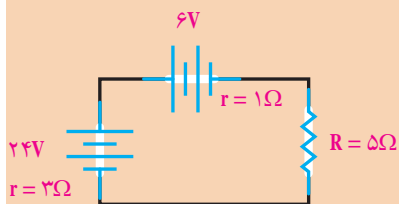
- ۱- برای تأمین ولتاژ ۹ ولت حداقل از چند باتری  $1/5$  ولتی و به چه صورت استفاده می‌کنیم؟
- ۲- برای افزایش میزان جریان دهی یک باتری به ۵ برابر، چند پیل مشابه را به چه صورت باید به یکدیگر اتصال دهید؟
- ۳- در مدار شکل زیر شدت جریان هر پیل و شدت جریان کل را به دست آورید؟



- ۴- در مدار شکل مقابل ولتاژ و جریان کل چقدر است؟



- ۵- در مدار شکل مقابل شدت جریان مدار چقدر است؟





در این پودمان مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

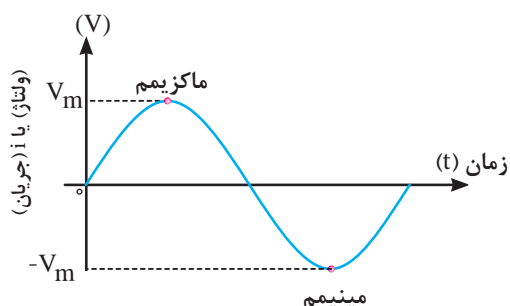
- ۱- جریان متناوب
- ۲- الکترومغناطیس
- ۳- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده
- ۴- قانون لنز
- ۵- خودالقایی
- ۶- سلف
- ۷- خازن

# واحد یادگیری ۸

## جریان متناوب



## جریان متناوب



شکل ۱

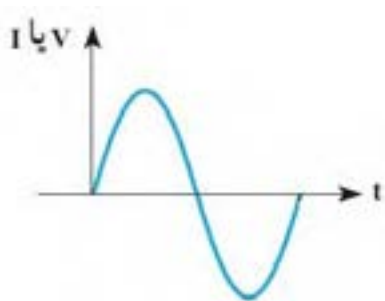
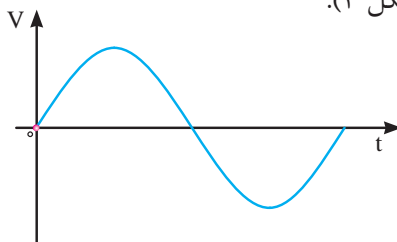
جریان متناوب جریانی است که جهت و مقدار آن در هر لحظه زمان تغییر می‌کند و دامنه آن نیز نسبت به زمان از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و از صفر تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند. شکل موج متداول جریان متناوب، سینوسی است. در موج سینوسی حداکثر مثبت را ماکزیمم و حداکثر منفی را مینیمم گویند شکل (۱)

## تولید جریان متناوب

تولید جریان متناوب توسط ژنراتورهای جریان متناوب انجام می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲



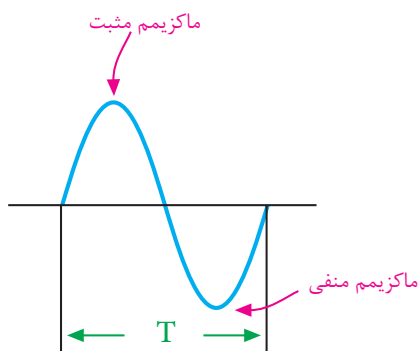
شکل ۳

ژنراتور جریان متناوب از دو قسمت ساکن و متحرک تشکیل شده است. قسمت ساکن را استاتور<sup>۱</sup> و قسمت متحرک را رتور<sup>۲</sup> می‌گویند. انرژی مکانیکی توربین، رتور ژنراتور را می‌گرداند تا ژنراتور انرژی الکتریکی تولید کند. انرژی الکتریکی دارای سه مشخصه (ولتاژ)، (جریان)، (زمان) است (شکل ۳).

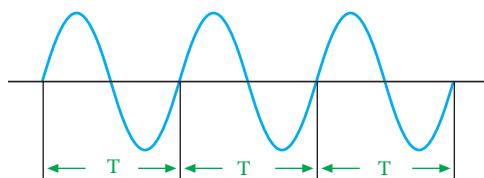
مقدار و جهت ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آنگاه دوباره صفر می‌شود و سپس به

۱ - Stator

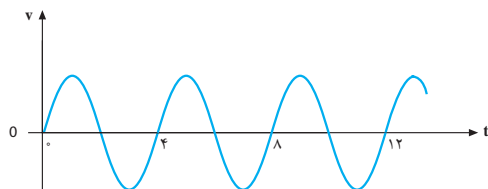
۲ - Rotor



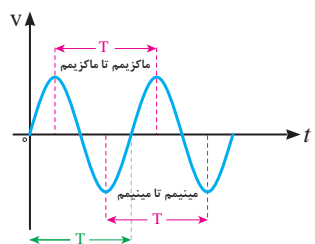
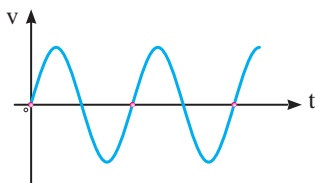
شکل ۴



شکل ۵



شکل ۶



شکل ۷

پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعه‌ای یک تناوب مثبت و منفی را یک سیکل کامل گویند. (شکل ۴).

زمان تناوب مدت زمان انجام یک سیکل کامل می‌باشد و آن را با حرف T نشان می‌دهند. واحد زمان تناوب ثانیه است (شکل ۵).

**مثال ۱:** در شکل ۶ زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.

**حل:** یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان به دست می‌آوریم.  
 $T=4\text{ s}$

**مثال ۲:** در شکل ۷ سه روش برای اندازه‌گیری زمان تناوب پیدا کنید.

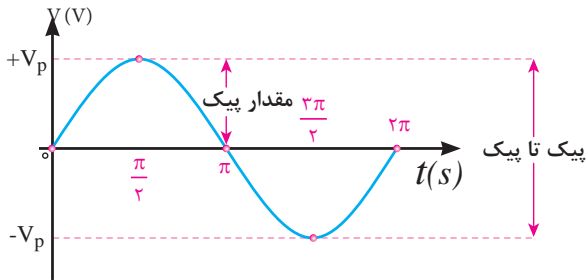
**حل:**

روش اول: زمان تناوب را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت. روش دوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) مثبت متوالی اندازه گرفت.

روش سوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) منفی متوالی اندازه گرفت.

شکل ۷ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. زاویه بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر  $360^\circ$  درجه است. (شکل ۸)

واحد اندازه‌گیری زاویه علاوه بر درجه رادیان نیز می‌باشد بطوری که هر  $360^\circ$  درجه معادل  $2\pi$  رادیان است یعنی :



شکل ۸

$$360^\circ = 2\pi$$

زاویه بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر  $2\pi$  رادیان است (شکل ۸). برای تبدیل رادیان و درجه به یکدیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\frac{D}{360^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

**مثال ۳:** زاویه  $18^\circ$  معادل چند رادیان است؟

**حل :**

در رابطه روبه‌رو داریم.

$$\frac{D}{360^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

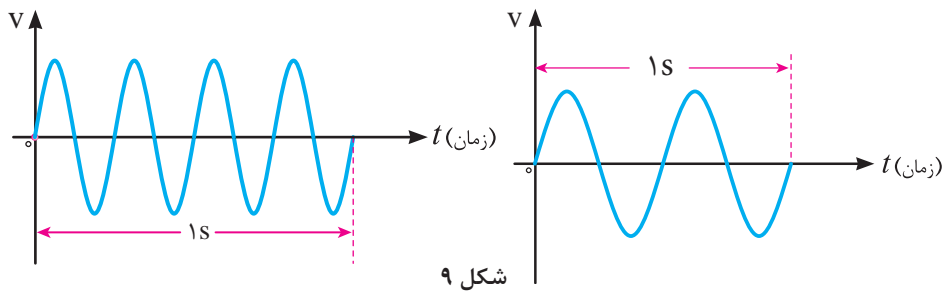
$$\frac{18^\circ}{360^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

$$R = \frac{2\pi \times 18^\circ}{360^\circ} = \pi [\text{Rad}]$$

## فرکانس

فرکانس به تعداد سیکل‌هایی که در یک ثانیه انجام می‌گیرد گفته می‌شود و آن را با حرف  $f$  نشان می‌دهند.

واحد فرکانس سیکل بر ثانیه است و با (CPS) نشان می‌دهند و به احترام آقای هرتز آن را با هرتز (HZ) نشان می‌دهند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس بیشتر است. شکل ۹ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس موج (ب) چهار هرتز است.



شکل ۹

(ب)

(الف)

فرکانس برق در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰ CPS است. یعنی ۵۰ سیکل کامل در یک ثانیه انجام می‌شود. فرکانس برق بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰ CPS) است. فرکانس جریان یا ولتاژ را می‌توان، با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) اندازه گرفت و با اسیلوسکوپ شکل ۱۰ (دستگاه نمایش شکل موج) پس از نمایش محاسبه کرد. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت :



$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

شکل ۱۰

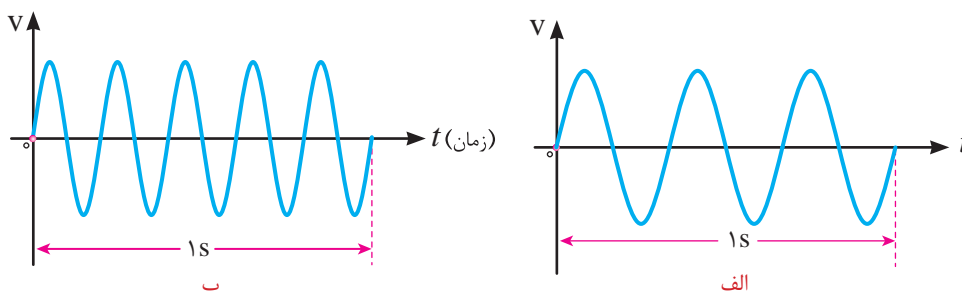
با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

**مثال ۴:** با توجه به شکل ۱۱

الف- فرکانس کدام موج بیشتر است ؟

ب- مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.

ج- مقدار زاویه در مدت ۱ ثانیه در هر موج چند رادیان است.



شکل ۱۱

**حل:** موج (الف) ۳ سیکل و موج (ب) ۵ سیکل را در ثانیه طی کرده‌اند. پس فرکانس موج (ب) بیشتر است.

موج الف:

$$f = 3\text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{3} = 0.33$$

$$\text{زاویه} = 6\pi [\text{Rad}]$$

موج ب:

$$f = 5\text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$\text{زاویه} = 10\pi [\text{Rad}]$$





شکل ۱۲

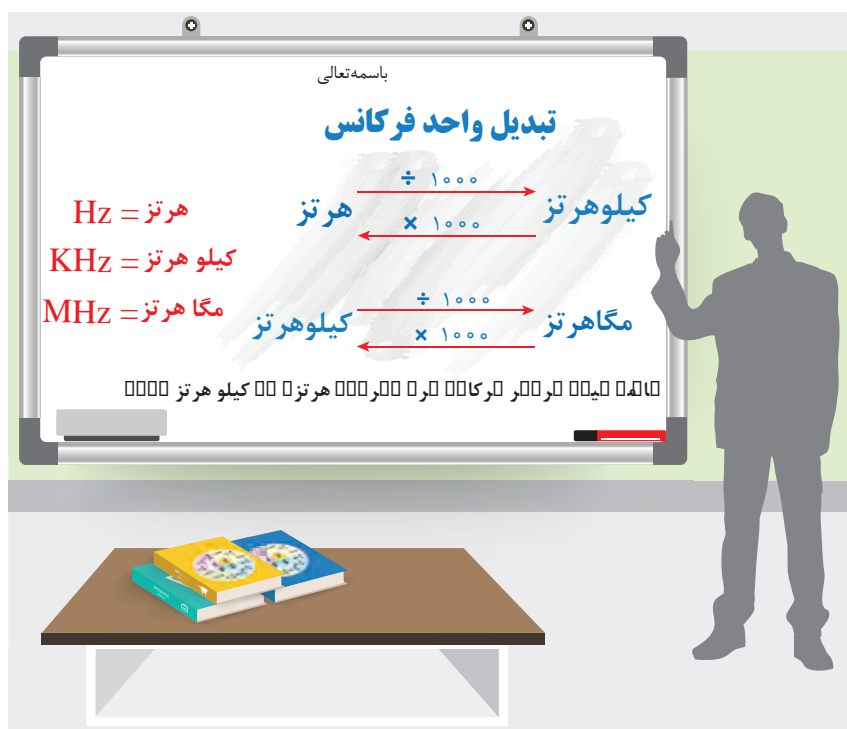
در صنعت برای زمان تناوب از واحدهای کوچک تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ تر استفاده می کنند. این واحدها به صورت زیر نوشته می شوند.

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz} \text{ یک کیلوهرتز}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} \text{ یک مگاهرتز}$$

$$1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz} \text{ یک گیگاهرتز}$$

با دستگاه اسیلوسکوپ می توانید شکل موج فرکانس برق شهر را مشاهده کنید (شکل ۱۲).



مثال ۵: اگر زمان تناوب یک موج سینوسی ۱۰ میلی ثانیه باشد، فرکانس آن چقدر است؟

حل:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \times 10^{-3} \text{ (s)}} = 100 \text{ Hz}$$

مثال ۶: فرکانس یک موج سینوسی ۶۰ هرتز است. زمان تناوب آن چقدر است؟

حل:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60 \text{ Hz}} = 16.67 \text{ (ms)}$$

## سرعت زاویه‌ای

موج متناوب در هر سیکل  $2\pi$  رادیان را طی می‌کند، لذا مقدار زاویه طی شده در مدت یک ثانیه برابر  $2\pi f$  می‌باشد که آن را سرعت زاویه‌ای گویند و با رابطه زیر نشان می‌دهند:

$$\omega = 2\pi f$$

که در این رابطه:

$W$  سرعت زاویه بر حسب [Rad/s]

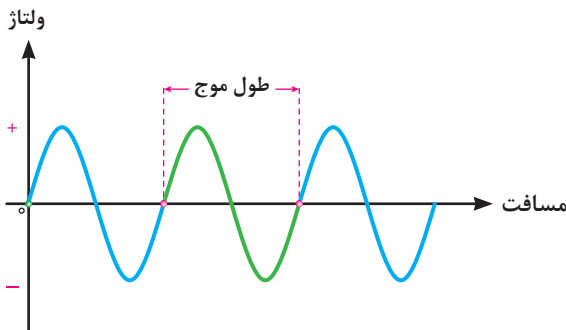
$f$  فرکانس بر حسب [HZ] است.

**مثال ۷:** فرکانس یک موج متناوب سینوسی  $50\text{ Hz}$  می‌باشد سرعت زاویه‌ای آن را به دست آورید:

**حل:** با توجه به رابطه  $W = 2\pi F$  داریم:

$$\omega = 2\pi \times 50 = 100\pi = 100 \times 3.14 = 314 \text{ [Rad/s]}$$

## طول موج



شکل ۱۳

**مثال ۹:** طول موج یک موج رادیویی با فرکانس

۳ گیگا هرتز چقدر است؟

$$V = 3 \times 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{3 \times 10^9}{3 \times 10^9} = 1 \text{ m}$$

طول موج عبارت است از مسافتی که در یک

سیکل کامل طی می‌شود. (شکل ۱۳).

طول موج با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم

و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول

موج را که با حرف  $\lambda$  (لاندا) نمایش می‌دهند از

رابطه زیر به دست می‌آید.

در این رابطه:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$\lambda$ : طول موج [m]

$V$ : سرعت موج  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

$f$ : فرکانس موج است [HZ]

**مثال ۸:** طول موج یک صدا با فرکانس  $100\text{ Hz}$

که به وسیله بلندگویی پخش می‌شود، چقدر

است؟ (سرعت صوت  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  فرض شود)

$$V = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f = 100 \text{ HZ}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{100} = 3.4 \text{ m}$$

## مقدار متوسط موج متناوب سینوسی

نکته هر قدر تعداد قسمت‌ها بیشتر باشد، مقدار میانگین محاسبه شده دقیق‌تر است.

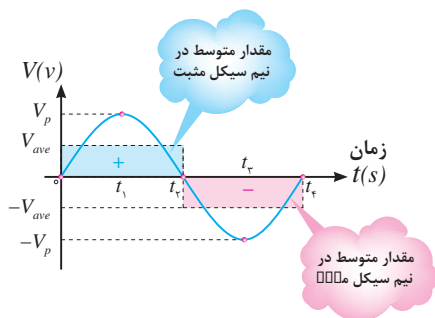
$$V_{ave}^+ = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5}$$

(میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت)

$$V_{ave}^- = \frac{-V_7 - V_8 - V_9 - V_{10} - V_{11}}{5}$$

(میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل منفی)

مقدار متوسط هر یک از نیم سیکل‌های یک موج سینوسی در شکل ۱۵ نشان داده شده است. مساحت زیر هر نیم سیکل با مساحت مقدار متوسط در همان نیم سیکل برابر است.



شکل ۱۵

همان طوری که از شکل ۱۶ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل از جمع دو نیم سیکل به دست می‌آید مقدار آن مساوی صفر می‌شود.

$$V_{av} = V_{av}^+ + V_{av}^- = 0$$

هرگاه موج‌هایی به صورت شکل ۱۶ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آنها را حساب کنیم می‌توان از روابط نوشته شده در مقابل آنها استفاده کرد.

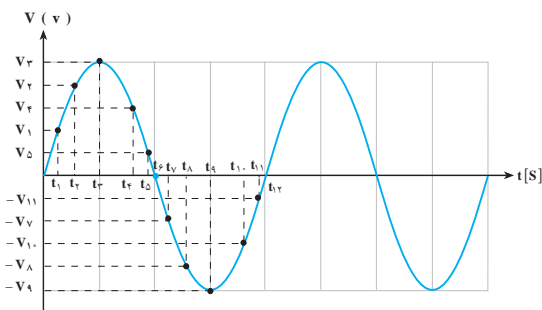
مقدار متوسط یک ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی، میانگین مقادیر لحظه‌ای آن موج در یک دوره تناوب است.

برای محاسبه میانگین هر کمیتی باید حاصل جمع مقادیر نقاط مختلف را بر تعداد نقاط تقسیم کرد.

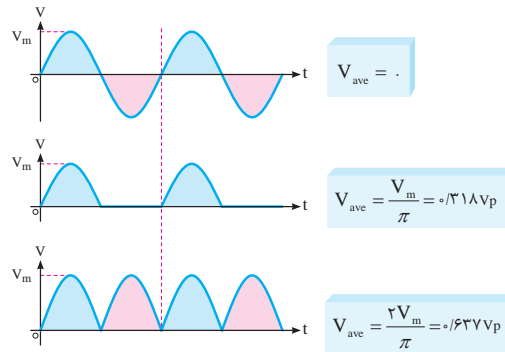
به‌طورمثال برای محاسبه میانگین حداقل و حداکثر دمای یک اتاق باید حاصل جمع حداقل دما با حداکثر دمای محیط را جمع و بر ۲ تقسیم کرد و یا برای محاسبه میانگین بین سه عدد ۱۰، ۱۸ و ۱۷ به صورت زیر عمل کرد.

$$\text{میانگین سه عدد} = \frac{10 + 18 + 17}{3}$$

بر همین اساس برای محاسبه دقیق مقدار متوسط یک موج باید مقادیر موج در هر لحظه را با هم جمع و بر تعداد نمونه‌های برداشته شده تقسیم کرد. شکل ۱۴ یک موج سینوسی ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد که در هر نیم سیکل به ۶ قسمت تقسیم شده است و مقدار متوسط آن در هر نیم سیکل حساب شده است.

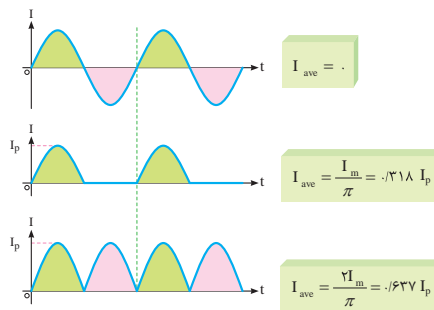


شکل ۱۴



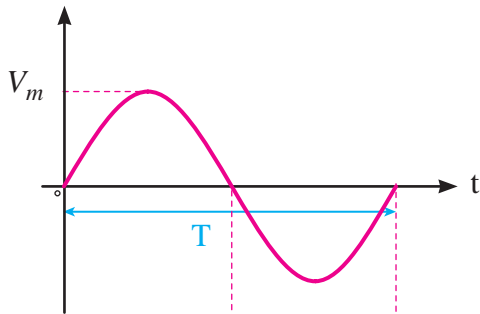
شکل ۱۶

لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار متوسط شکل موج جریان نیز به همین ترتیب و بر پایه این روابط می‌توان عمل کرد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷

### مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی

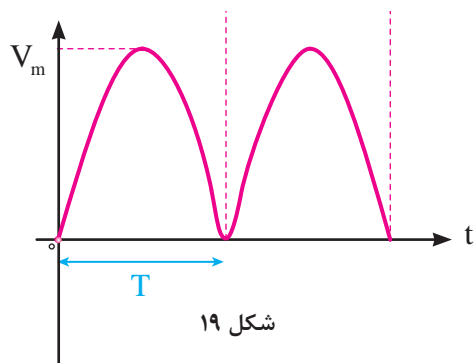


شکل ۱۸

مقدار مؤثر موج متناوب عبارت از «جذر میانگین مربعات» می‌باشد و آن را با  $I_{rms}$  یا  $V_{eff}$  نشان می‌دهد. برای تعیین مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی شکل ۱۸ ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج را به توان دو رسانده تا مقادیر نیم سیکل منفی به مثبت تبدیل شود. شکل ۱۹ سپس میانگین موج محاسبه می‌شود.

۱-root mean square

۲-effective



شکل ۱۹

چون در ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج به توان دو رسیده است از میانگین آن جذر گرفته می‌شود. مقدار مؤثر ولتاژ با شکل موج متناوب سینوسی از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید.

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

که در این رابطه :

$V_m$  مقدار ماکزیمم ولتاژ متناوب و

$V_{\text{rms}}$  مقدار مؤثر ولتاژ متناوب است.

برای محاسبه مقدار مؤثر جریان با شکل موج متناوب سینوسی نیز از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

که در این رابطه :

$I_m$  مقدار ماکزیمم جریان متناوب

$I_{\text{rms}}$  مقدار مؤثر جریان متناوب می‌باشد.

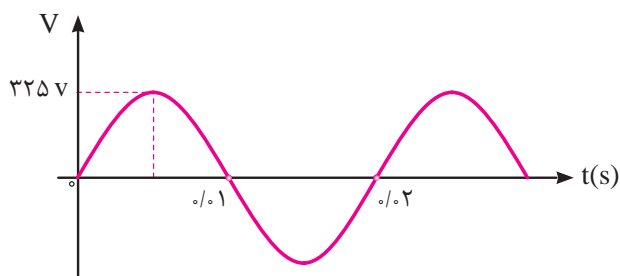
مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان متناوب برابر مقدار ولتاژ یا جریان مستقیمی است که در یک

مقاومت مشخص در مدت زمان معینی به یک اندازه گرما تولید کند.

**مثال ۱۰:** مقدار مؤثر شکل موج متناوب سینوسی زیر را به دست آورید؟

**حل:** مقدار ماکزیمم با توجه به شکل موج سینوسی برابر است با :

با استفاده از رابطه مقدار مؤثر ولتاژ محاسبه می‌شود : (شکل ۲۰)



شکل ۲۰

$$V_m = 325 \text{ V}$$

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{325}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$$

**مثال ۱۱:** یک جریان متناوب با شکل موج سینوسی دارای مقدار مؤثر ۵ آمپر می‌باشد مقدار

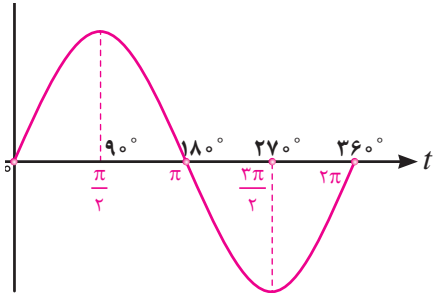
ماکزیمم جریان چند آمپر است؟

**حل:** از رابطه مقدار ماکزیمم جریان محاسبه می‌شود:

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$5 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

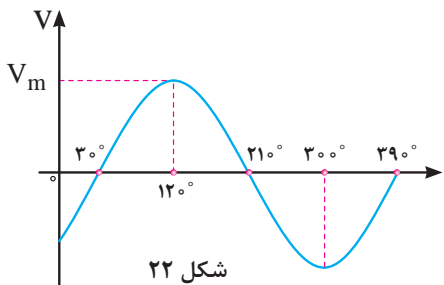
$$I_m = 5 \times \sqrt{2} = 7 \text{ A}$$



شکل ۲۱

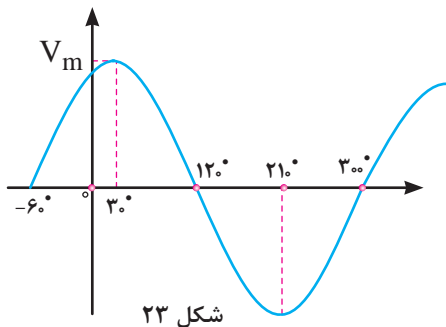
فاز<sup>۱</sup> در لغت به معنی موقعیت می‌باشد. برای یک موج متناوب سینوسی شروع موج، موقعیت یا فاز موج را نسبت به مبدأ دستگاه مختصات نشان می‌دهد. فاز موج سینوسی را با  $\theta$  نشان می‌دهند (شکل ۲۱).

در شکل ۲۱ فاز موج سینوسی صفر است و آن را به صورت  $\theta_V = 0^\circ$  نشان می‌دهند.



شکل ۲۲

در شکل ۲۲ فاز موج سینوسی  $-30^\circ$  درجه است. یعنی  $\theta_V = -30^\circ$  می‌باشد.



شکل ۲۳

و در شکل ۲۳ فاز موج سینوسی  $+60^\circ$  درجه است یعنی  $\theta_V = +60^\circ$  می‌باشد.

در مدارهای الکتریکی اختلاف بین فاز موج سینوسی ولتاژ با فاز موج سینوسی جریان که هم فرکانس هستند را (اختلاف فاز) گویند و با  $(\varphi)$  نشان می‌دهند و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

فاز جریان - فاز ولتاژ = اختلاف فاز

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

که در این رابطه  $\varphi$ : زاویه اختلاف فاز بین فاز موج سینوسی

ولتاژ با فاز موج سینوسی جریان

$\theta_V$ : فاز موج سینوسی ولتاژ

$\theta_i$ : فاز موج سینوسی جریان است.

در شکل ۲۴ فاز موج سینوسی ولتاژ  $\theta_V = 0^\circ$

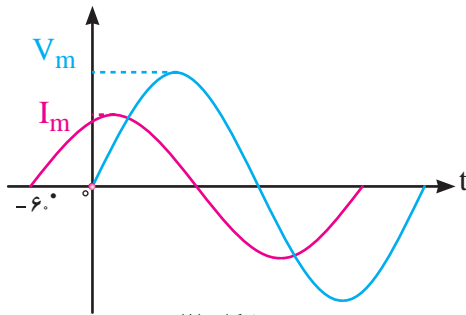
می‌باشد و فاز موج سینوسی جریان  $\theta_i = -30^\circ$  است. اختلاف فاز

آنها  $\varphi = +30^\circ$  است، زیرا:

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

$$\varphi = -(-30^\circ) = +30^\circ$$

این مدار الکتریکی را پس فاز گویند زیرا جریان مدار  $30^\circ$  از ولتاژ مدار عقب تر است. در مدارهای پس فاز  $\phi$  مثبت خواهد شد.



شکل ۲۵

**مثال ۱۲:** اختلاف فاز موج‌های سینوسی شکل ۲۵ را محاسبه کنید.

**حل:** فاز موج سینوسی ولتاژ صفر است یعنی  $\theta_v = 0^\circ$  می‌باشد. فاز موج سینوسی جریان  $+60^\circ$  است یعنی  $\theta_i = +60^\circ$  می‌باشد.

از رابطه اختلاف فاز بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}\phi &= \theta_v - \theta_i \\ \theta_v &= 0^\circ \\ \theta_i &= +60^\circ \\ \phi &= 0^\circ - (+60^\circ) = -60^\circ\end{aligned}$$

این مدار الکتریکی را «پیش‌فاز» گویند زیرا جریان مدار  $60^\circ$  از ولتاژ مدار جلوتر است. در مدارهای پیش فاز  $\phi$  منفی خواهد شد.

## معادله زمانی موج

معادله زمانی موج سینوسی رابطه بین کمیت‌های «مقدار ماکزیمم»، «سرعت زاویه‌ای»، «فاز» موج سینوسی را نشان می‌دهد. معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ متناوب به صورت زیر است.

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$$

که در این رابطه :

$V(t)$  مقدار لحظه‌ای ولتاژ در لحظه  $t$  بر حسب ولت

$V_m$  مقدار ماکزیمم ولتاژ بر حسب ولت

$\omega$  سرعت زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه  $\left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right]$

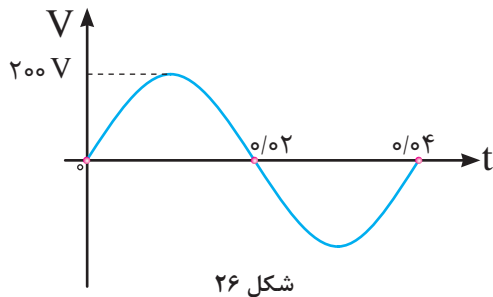
$\theta_v$  فاز موج سینوسی ولتاژ بر حسب درجه یا رادیان است.

کمیت‌های معادله زمانی  $V(t) = 100 \sin(100\pi t + 0^\circ)$  برابر است با :

$$V_m = 100 \text{ [V]}$$

$$\omega = 100\pi \left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right]$$

$$\theta_v = 0^\circ$$



مثال ۱۳: معادله زمانی موج سینوسی شکل ۲۶ را بنویسید.

حل:

با توجه به شکل داریم:

$$\theta_V = 0^\circ$$

$$T = 0.04 \text{ [s]}$$

$$V_m = 200 \text{ [V]}$$

از رابطه سرعت زاویه‌ای داریم:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.04} = 50\pi \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

معادله زمانی موج سینوسی به صورت زیر است :

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_V)$$

با جایگذاری کمیت‌های آن داریم:

$$V(t) = 200 \sin(50\pi t + 0)$$

معادله زمانی موج سینوسی جریان نیز مشابه معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

که در این رابطه:

$i_t$  مقدار لحظه‌ای جریان در لحظه  $t$  بر حسب آمپر

$I_m$  مقدار ماکزیمم جریان بر حسب آمپر

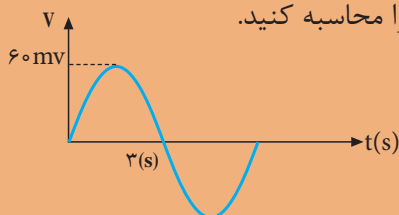
$\omega$  سرعت زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه

$\theta_i$  فاز موج سینوسی جریان بر حسب درجه یا رادیان است.

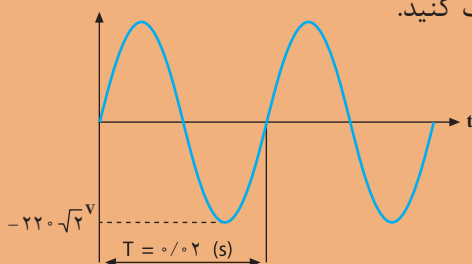


- ۱- هر یک از مفاهیم زیر را تعریف کنید.
- ولتاژ متناوب، فرکانس، زمان تناوب، مقدار مؤثر و متوسط یک موج سینوسی.
- ۲- مقدار ولتاژ ماکزیمم یک موج سینوسی برابر با یک ولت است مقدار مؤثر، ولتاژ را به دست آورید.
- ۳- بار رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه آنها را که اولی نسبت به دومی  $30^\circ$  درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی  $45^\circ$  درجه جلوتر است، نشان دهید.
- ۴- زاویه فاز  $90^\circ$  درجه برابر با چند رادیان است؟

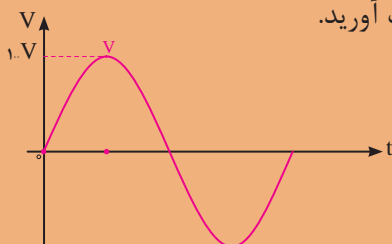
- ۱- منبع ولتاژ  $220$  ولت AC را به یک مقاومت  $20$  اهمی اتصال داده ایم:
  - الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه کنید.
  - ب) اگر  $\omega = 100$  رادیان بر ثانیه باشد، فرکانس جریان برق چقدر است؟
  - پ) چه مقدار ولتاژ (dc) مورد نیاز است تا معادل ولتاژ مؤثر در این مقاومت حرارت تولید شود؟
- ۲- فرکانس امواج متناوب سینوسی زیر چقدر است؟
  - الف) ده سیکل در ثانیه
  - ب) یک سیکل در ثانیه
  - پ)  $50$  سیکل در یک ثانیه
  - ت)  $50$  سیکل در  $5$  ثانیه
- ۳- زمان تناوب را برای فرکانس های زیر محاسبه کنید.
  - الف)  $500$  هرتز (HZ)
  - ب)  $5$  مگا هرتز (MHZ)
  - پ)  $5$  گیگاهرتز (GHZ)
- ۴- در شکل زیر مقادیر  $V_{rms}$ ، زمان تناوب و فرکانس را محاسبه کنید.



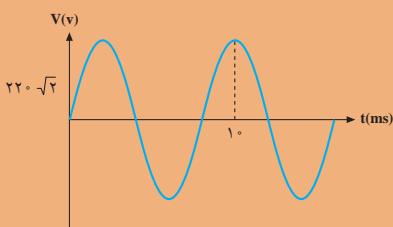
- ۵- جریانی به معادله  $i(t) = 10 \sin(100\pi t + 0^\circ)$  از یک مقاومت  $10$  اهمی عبور می کند. ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟
- ۶- مقدار ولتاژ منحنی شکل زیر را در  $\frac{T}{4}$  حساب کنید. فرکانس و مقدار مؤثر آن چقدر است؟



۷- مقدار مؤثر ولتاژ موج متناوب شکل مقابل را به دست آورید.



۸- ولتاژ متناوب سینوسی شکل زیر یک مقاومت الکتریکی  $5\Omega$  را تغذیه می کند. مطلوب است محاسبه:



الف) سرعت زاویه‌ای، فرکانس، زمان تناوب.

ب) ولتاژ rms.

ج) جریان عبوری از مقاومت الکتریکی.

۹- در یک مصرف کننده الکتریکی فاز موج سینوسی ولتاژ  $\theta_v = 0^\circ$  و فاز موج سینوسی جریان  $\theta_i = -60^\circ$  می باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان

ب) مدار پس فاز است یا پیش فاز؟ چرا؟

ج) شکل موج سینوسی جریان و ولتاژ را رسم کنید.

۱۰- معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ و جریان مصرف کننده‌ای به صورت

$V(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + 0)$  و  $i(t) = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t + 0)$  می باشد. مطلوب است

محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان.

ب) سرعت زاویه‌ای، فرکانس و زمان تناوب موج ولتاژ.