# فصل چهارم
## قوانین تونن و نورتن

**هدف کلی:** آشنایی با منبع ولتاژ و منبع جریان و قوانین تونن و نورتن و به کارگیری آن‌ها در مدارها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

۱- منبع جریان را تعریف کند.

۲- انواع منبع جریان را نام ببرد.

۳- منبع ولتاژ را تعریف کند.

۴- انواع منابع ولتاژ را نام ببرد.

۵- منابع ولتاژ و منابع جریان را به یکدیگر تبدیل کند.

۶- مدار معادل تونن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به‌دست آورد.

۷- مدار معادل نورتن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به‌دست آورد.

۸- کلیه‌ی هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول بخش اول به آن‌ها اشاره شده است را اجرا کند.

| | ساعت آموزش | | |
|---|---|---|---|
| توانایی | نظری | عملی | جمع |
| شماره ۴ | ۴ | ۴ | ۸ |

# پیش آزمون فصل (۴)

۱- عناصر فعال به عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را ..... می‌کنند.

الف) مصرف ب) تامین

۲- منبع ولتاژ حقیقی را می‌توان منبع ولتاژ ایده‌آلی دانست که یک مقاومت اهمی.....، با آن ..... شده باشد.

الف) کوچک- سری ب) کوچک- موازی

ج) بزرگ- سری د) بزرگ- موازی

۳- منابع جریان واقعی، منابع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت اهمی بزرگ به صورت موازی قرار گرفته‌اند.

صحیح ❐ غلط ❐

۴- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

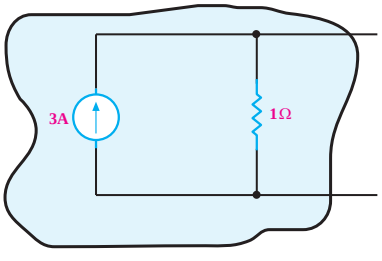
الف) منابع جریان ایده‌آل، در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می‌دهند.

ب) منبع ولتاژ حقیقی منبعی است که با افزایش بار، ولتاژ خروجی آن کاهش می‌یابد.

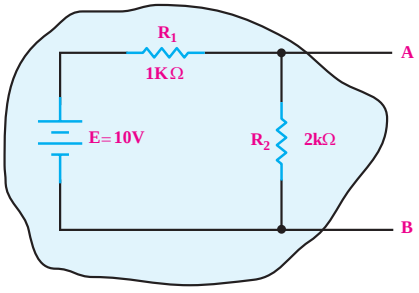
ج) منابع ایده‌آل را می‌توان به یکدیگر تبدیل کرد و توان آن را افزایش داد.

د) برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

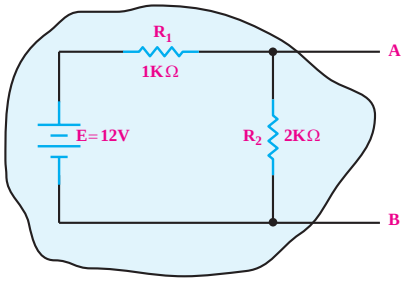
۵- منبع ولتاژ معادل منبع جریان شکل زیر را به‌دست آورید.




۶- مدار معادل نورتن شکل زیر را از دو نقطه‌ی A و B به‌دست آورید.




۷- مدار معادل تونن مدار زیر را از دو نقطه‌ی A و B به‌دست آورید.



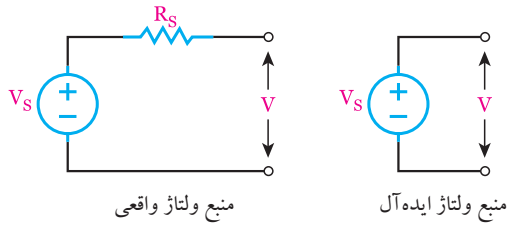
## ۴–۱ عناصر فعال مدارهای الکتریکی

عناصر فعال به عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را تأمین می‌کنند. این عناصر منابع ولتاژ و منبع جریان هستند. هر یک از این دو منبع به دو گروه منابع ایده‌آل و منابع حقیقی تقسیم می‌شوند.

### ۴–۱–۱ منابع ولتاژ

منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که بتواند در بارهای مختلف، ولتاژ ثابتی را به مدار بدهد. منبع ولتاژ حقیقی، منبعی است که با افزایش بار (کاهش مقاومت مدار)، ولتاژ خروجی آن کاهش می‌یابد.

منبع ولتاژ حقیقی را می‌توان منبع ولتاژ ایده‌آلی دانست که یک مقاومت اهمی کوچک با آن سری شده است. منابع تغذیه در صنعت، منابع ولتاژ حقیقی هستند و منابع ولتاژ ایده‌آل وجود خارجی ندارند ولی با تقریب می‌توان منابع ولتاژ با انرژی بسیار بزرگ را ایده‌آل فرض کرد. شکل ۱–۴یک نمونه منبع ولتاژ ایده‌آل و یک نمونه منبع ولتاژ واقعی را نشان می‌دهد.

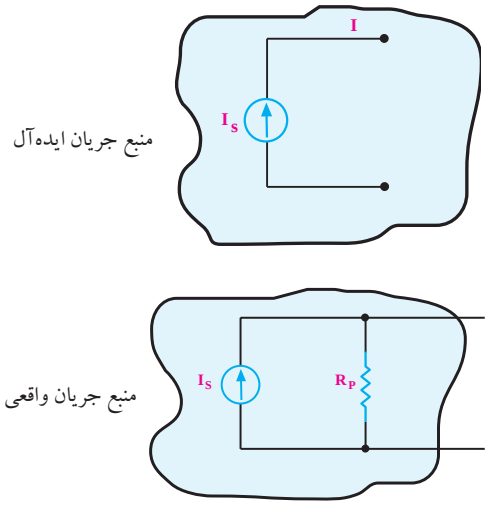



شکل ۱–۴ دو نمونه منبع ولتاژ

### ۴–۱–۲ منابع جریان

منابع جریان ایده‌آل منابعی هستند که در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می‌دهند. به عبارت دیگر، اگر مقاومت بار در مدار تغییر کند، ولتاژ آن تغییر می‌کند ولی جریان آن ثابت است. منابع جریان بیش‌تر در مدارهای الکترونیکی دیده می‌شوند و به صورت ایده‌آل وجود ندارند. منابع جریان واقعی، منابع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت بزرگ اهمی به صورت موازی قرار گرفته‌اند.

در این منابع به دلیل ثابت بودن جریان منبع، در صورت تغییر بار، جریان عبوری در مصرف‌کننده قدری تغییر می‌کند. در شکل ۲–۴ دو نمونه منبع جریان ایده‌آل و واقعی را مشاهده می‌کنید.



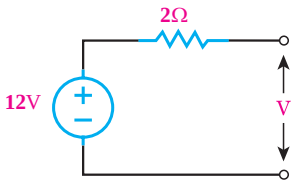

شکل ۲–۴ دو نمونه منبع جریان

### ۴–۱–۳ تبدیل منابع ولتاژ و جریان به یکدیگر

در تحلیل مدارهای الکتریکی مواردی پیش می‌آید که اگر به جای منبع ولتاژ، یک منبع جریان در مدار قرار گیرد، تحلیل مدار ساده‌تر می‌شود.

برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان کافی است، ولتاژ منبع را بر مقاومت داخلی آن تقسیم کنیم تا مقدار جریان منبع جریان معادل به دست آید. مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

**مثال ۱:** منبع جریان معادل منبع ولتاژ شکل ۳–۴ را به‌دست آورید.




شکل ۳–۴

**حل:**

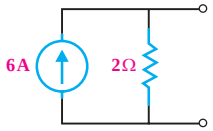
مقاومت داخلی منبع جریان و منبع ولتاژ با هم برابر است:

$$R_S=R_P=۲\Omega$$

مقـدار جریان منبع جریان را از تقسـیم ولتاژ منبع ولتاژ بر مقاومت سری با آن به‌دست می‌آوریم:

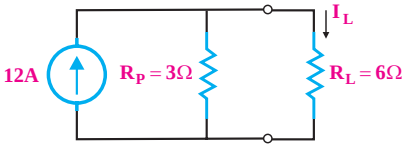
$$I_S=\frac{V_S}{R_S}=\frac{۱۲(V)}{۲(\Omega)}=۶A$$

پس منبع جریان معادل به‌صورت شکل ۴-۴ در می‌آید.




شکل ۴-۴ منبع جریان معادل

**مثال ۲:** در شـکل ۵-۴ منبع ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسـبه کنید و شکل مدار را رسـم کنید. جریان مصرف کننـده‌ی $R_L$ را در مـدار منبـع جریان و در مـدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.




شکل ۵-۴

**حل:**

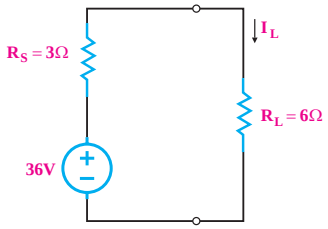
از قانـون تقسـیم جریان بیـن دو مقاومت برای به‌دسـت آوردن $I_L$ استفاده می‌کنیم:

$$I_L=I_{\text{کل}}\times\frac{۳\Omega}{۳+۶}=۱۲\times\frac{۳}{۹}=۴(A)$$

مقدار ولتاژ معادل منبـع ولتاژ از حاصل‌ضرب جریان کل در $R_P$ به‌دست می‌آید:

$$V_S=۱۲\times۳=۳۶(V)$$
$$R_S=R_P=۳\Omega$$

منبع ولتـاژ معادل منبع جریان این مثال را در شـکل ۶-۴ مشاهده می‌کنید.




$$I_L=\frac{۳۶(V)}{۳+۶}=۴(A)$$

شکل ۶-۴ مدار معادل منبع جریان

همان‌طور که ملاحظه می‌کنیـد جریان مصرف کننده در حالتی که منبع جریان در مدار اسـت برابر با زمانی اسـت که در مدار منبع ولتاژ معادل قرار دارد. بدیهی اسـت که ولتاژ دو سـر مقاومت بار و توان مصرفی آن نیز در هر دو حالت، ثابت است.

**تذکر:** منابع ایـده‌آل را نمی‌توان به یکدیگر تبدیل کرد.

به طور خلاصه برای تبدیل منبع جریان به منبع ولتاژ باید به طریق صفحه بعد عمل کنید:

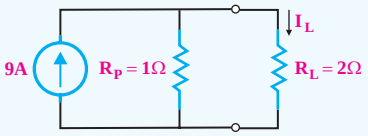
– همیشه مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

$$R_S = R_P$$

– ولتاژ منبع ولتاژ از حاصل‌ضرب جریان در مقاومت داخلی منبع جریان به دست می‌آید.

$$V_S = R_P \times I_S$$

**تمرین کلاسی ۱:** در مدار شکل ۷-۴، منبع ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و مدار جدید را رسم کنید. هم‌چنین جریان مصرف کننده‌ی $R_L$ را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.




شکل ۷-۴

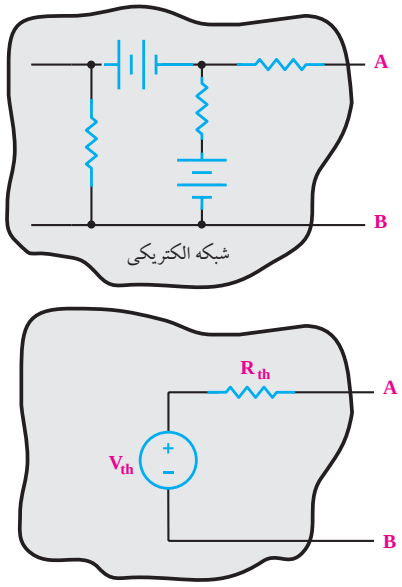
آیا می‌دانید:

یک لامپ کم مصرف ۲۰ وات با بازده‌ی انرژی A در طول عمر خود معادل یک بشکه نفت خام صرفه‌جویی می‌کند.

## ۴-۲ قضایای تونن و نورتن

### ۴-۲-۱ قضیه‌ی تونن

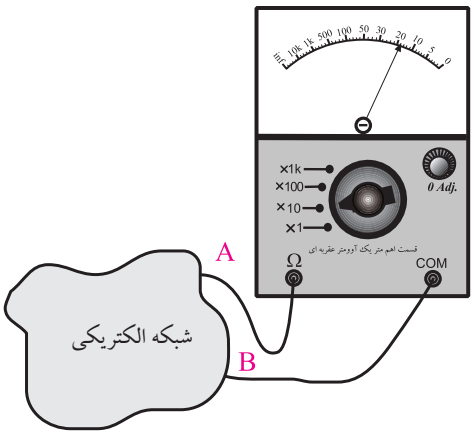
طبق قضیه‌ی تونن، هر شبکه‌ی الکتریکی از دو نقطه‌ی مشخص را می‌توان به‌صورت یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری شده با آن معادل نمود، شکل ۸-۴.




شکل ۸-۴ مدار معادل یک شبکه از دو نقطه‌ی A و B

ولتاژ مدار معادل شده از دو نقطه‌ی A و B با ولتاژ شبکه‌ی اصلی دقیقا برابر است. هم‌چنین مقاومت اهمی شبکه‌ی اصلی با شبکه‌ی معادل شده نیز یکی است.

برای به‌دست آوردن مقاومت معادل تونن می‌توانیم مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم‌متر مستقیما اندازه‌بگیریم، شکل ۹-۴.



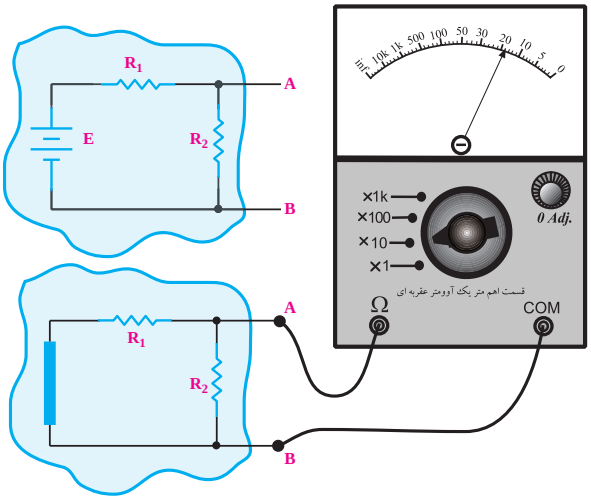

شکل ۹-۴- اهم‌متر مقاومت $R_{th}$ را نشان می‌دهد.

برای به‌دست آوردن $R_{th}$ به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

الف- بار را بر می‌داریم.

ب- منابع ولتاژ را بی‌اثر می‌کنیم. برای این منظور منابع ولتاژ ایده‌آل را اتصال کوتاه می‌کنیم. در شکل ۱۰-۴ به جای منابع ولتاژ واقعی، مقاومت داخلی آن را در مدار قرار داده‌ایم.

پ- از دو نقطه‌ای که بار قرار می‌گیرد (A و B) مقاومت معادل مدار را به‌دست می‌آوریم.

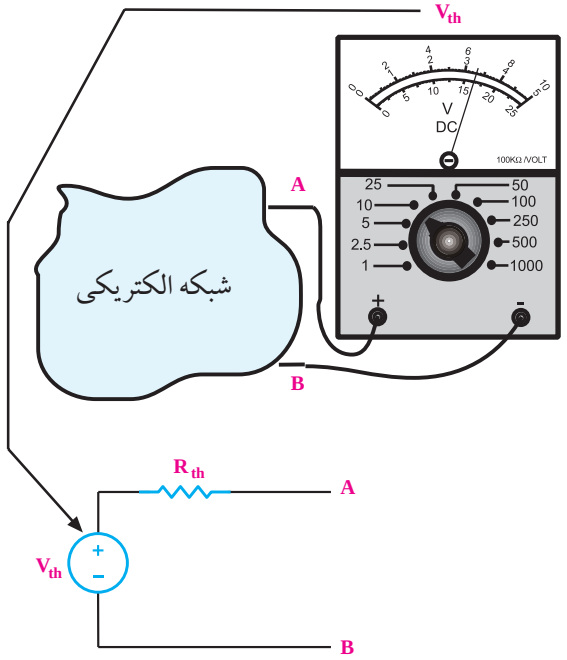



شکل ۱۰-۴ اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر

**توجه**

هنگام اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر، باید منبع ولتاژ را از مدار خارج کنیم و به جای آن مقاومت معادل داخلی آن را قرار دهیم.

برای اندازه‌گیری ولتاژ معادل تونن مدار، باید ابتدا ولتاژ بین دو نقطه مشخص شده را محاسبه کنید یا با ولت‌متر مستقیما ولتاژ را اندازه‌بگیرید، شکل ۱۱-۴.

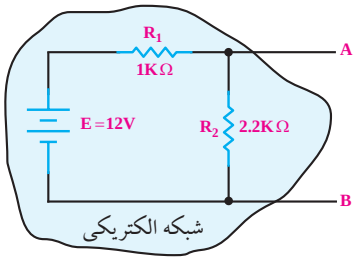



شکل ۱۱-۴- نحوه‌ی به‌دست آوردن ولتاژ معادل تونن

**مثال۳:** مدار معادل تونن شکل ۱۲-۴ را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.

**حل:**

ولتاژ معادل تونن یا ولتاژ بین نقاط A و B در مدار شکل ۱۲-۴، همان ولتاژ دو سر مقاومت $R_2$ است.

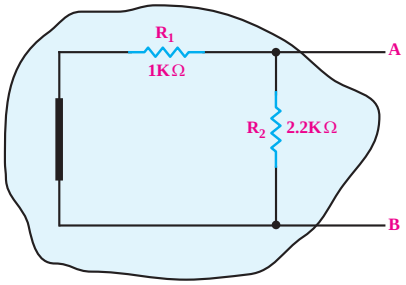



**شکل ۱۲-٤**

$$V_{AB}=V_{th}=R_{۲}.I$$

$$I=\frac{E}{R_{۱}+R_{۲}}=\frac{۱۲}{۱۰۰۰+۲۲۰۰}=\frac{۱۲}{۳۲۰۰}=۰/۰۰۳۷۵A$$
$$V_{th}=۲۲۰۰\times ۰/۰۰۳۷۵=۸/۲۵V$$

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا کنید، سپس به جای آن اتصال کوتاه بگذارید، سپس از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت معادل مدار را محاسبه کنید، شکل ۱۳-۴.

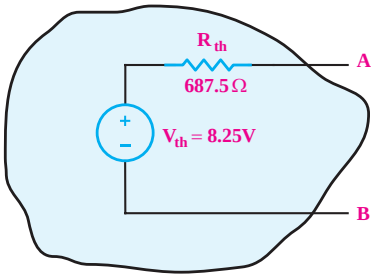



شکل ۱۳-۴ محاسبه‌ی مقاومت معادل تونن

همان‌طور که مشاهده می‌شود از دو نقطه‌ی A و B مقاومت‌های $R_{۱}$ و $R_{۲}$ با یکدیگر موازی هستند. لذا داریم:

$$R_{AB}=R_{th}=\frac{R_{۱}.R_{۲}}{R_{۱}+R_{۲}}$$
$$R_{th}=\frac{۱۰۰۰\times ۲۲۰۰}{۱۰۰۰+۲۲۰۰}=۶۸۷/۵\Omega$$

مدار معادل تونن مدار شکل ۱۱-۴ به صورت شکل ۱۴-۴ در می‌آید.




شکل ۱۴-۴ مدار معادل تونن

با داشتن آرامش می‌توانید از تمام توانایی‌های خود استفاده کنید. پس سعی کنید در هنگام بروز اضطراب از تکنیک‌های کسب آرامش استفاده کنید.

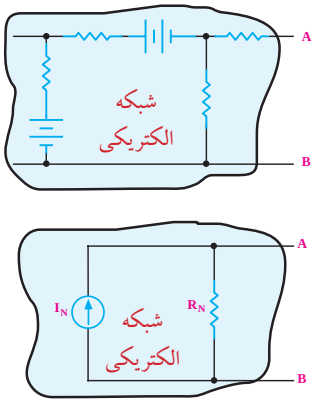
### ۴-۲-۲ قضیه‌ی نورتن

بر اساس قضیه‌ی نورتن، می‌توانیم هر شبکه‌ی الکتریکی را از دو نقطه‌ی مشخص به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل کنیم.

منبع جریان عنصری است که می‌تواند جریان ثابتی را به مدار تزریق کند. این جریان کاملا ثابت بوده و به ولتاژ دو سر آن، یعنی به منبع بستگی ندارد. منبع جریان را با عناصر الکترونیکی و با استفاده از منبع ولتاژ می‌سازند و با علامت قرار دادی شکل ۱۵-۴ نشان می‌دهند.

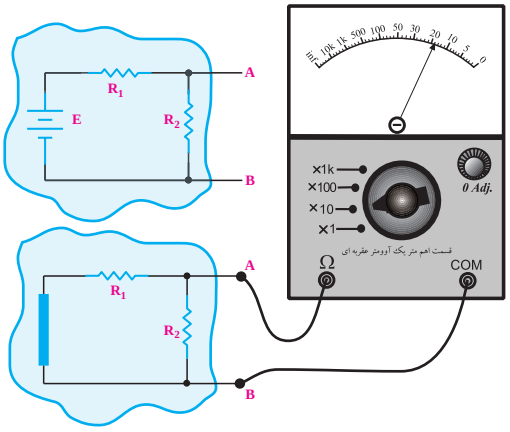
شکل ۱۵-۴ علامت قرار دادی منبع جریان

شکل ۱۶-۴ مدار معادل نورتن یک شبکه‌ی الکتریکی را نشان می‌دهد.



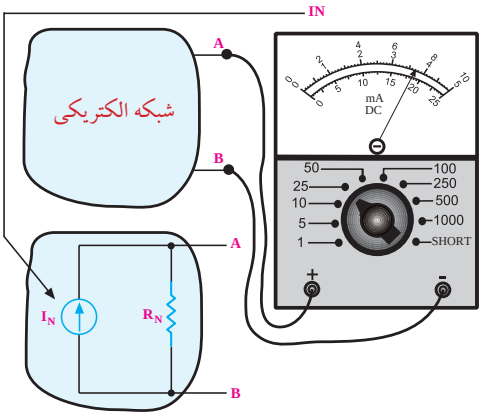

شکل ۱۶-۴ مدار معادل نورتن یک شبکه‌ی الکتریکی

برای به دست‌آوردن مقاومت معادل نورتن می‌توانیم مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم‌متر مستقیم اندازه بگیریم. در هر دو حالت، اگر در مدار منبع ولتاژ وجود داشته باشد باید منبع را از مدار جدا کنید و در محل اتصال منبع به مدار یک اتصال کوتاه قرار دهید، شکل ۱۷-۴.



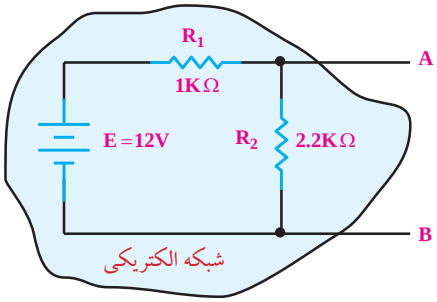

شکل ۱۷-۴ - نحوه‌ی به دست آوردن مقاومت معادل نورتن

برای به‌دست آوردن جریان معادل نورتن مدار، باید بین دو نقطه‌ی A و B در شکل ۱۸-۴ را اتصال کوتاه کنید. این جریان اتصال کوتاه، که همان جریان نورتن است را می‌توانید به کمک روابط محاسبه کنید یا با یک آمپرمتر که بین دو نقطه‌ی A و B قرار می‌دهید، جریان را اندازه بگیرید، شکل ۱۸-۴. توجه داشته‌باشید که آمپرمتر بین دو نقطه‌ی A و B را اتصال کوتاه می‌کند.




شکل ۱۸-۴ چگونگی به‌دست آوردن جریان معادل نورتن

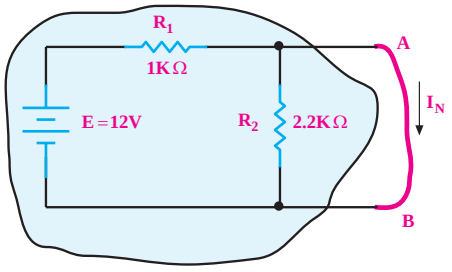
**مثال ٤:** مدار معادل نورتن شکل ۱۹-۴ را از دو نقطه‌ی A و B به‌دست آورید.




شکل ۱۹-۴

## حل:

برای به‌دست آوردن جریان نورتن، نقطه‌ی A و B را اتصال کوتاه می‌کنیم و جریان گذرنده از آن را از طریق محاسبه به دست می‌آوریم. در شکل ۲۰-۴ بین نقاط A و B اتصال کوتاه شده است، لذا از مقاومت $R_2$ جریانی عبور نمی‌کند.

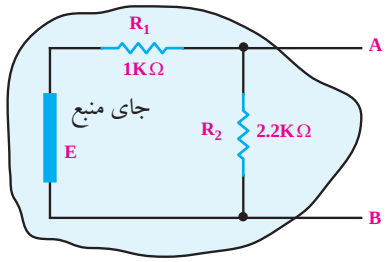



شکل ۲۰-۴ - محاسبه‌ی جریان معادل نورتن

از طرفی، چون دو سر مقاومت $R_2$ اتصال کوتاه شده است، جریان $I_N$ از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_N = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{1K} = 0/012A = 12mA$$

برای به‌دست آوردن مقاومت معادل نورتن، منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می‌کنیم و به جای آن، اتصال کوتاه قرار می‌دهیم، شکل ۴-۲۱. سپس از دو نقطه‌ی A و B مقاومت معادل را محاسبه می‌کنیم.

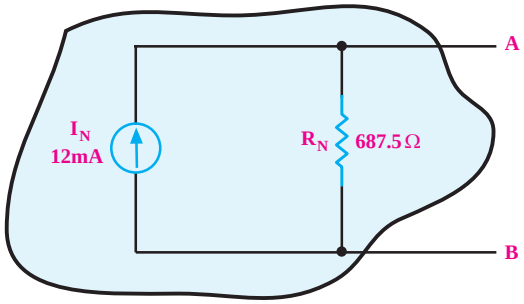



شکل ۴-۲۱ اتصال کوتاه منبع

با نگاه از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ با هم موازی هستند لذا داریم:

$$R_N = R_{AB} = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2} = \frac{1000\times2200}{1000+2200} = 687/5\Omega$$

مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ به‌صورت شکل ۴-۲۲ در می‌آید.




شکل ۴-۲۲ مدار معادل نورتن

توجه: همیشه $R_N$ و $R_{th}$ با یکدیگر برابرند و نحوه‌ی محاسبه و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیز مشابه است.

در مدار معادل نورتن و تونن روابط زیر همیشه برقرار است:

$$V_{th}=I_N.R_N$$

یا:

$$I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}}$$

بنابراین مدار معادل تونن و نورتن می‌توانند به هم تبدیل شوند.

## ۴-۳ آزمایش شماره‌ی (۱) :

مدار تونن — زمان اجرا : ۴ ساعت آموزشی

### ۴-۳-۱ هدف آزمایش:

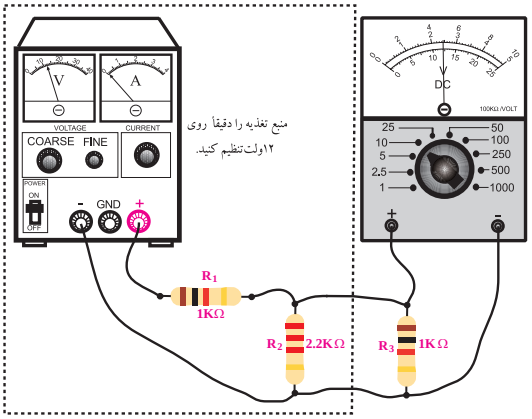
به‌دست آوردن ولتاژ و مقاومت معادل تونن در یک مدار الکتریکی

### ۴-۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

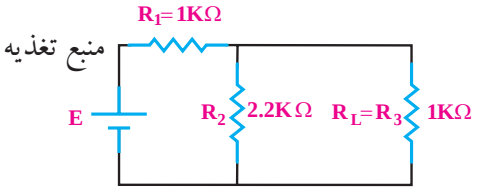
| ردیف | نام و مشخصات دستگاه و قطعات | تعداد / مقدار |
|---|---|---|
| ۱ | منبع تغذیه ۰-۱۵V | یک دستگاه |
| ۲ | مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی | یک دستگاه |
| ۳ | بردبرد | یک قطعه |
| ۴ | مقاومت ۲/۲KΩ | یک عدد |
| ۵ | مقاومت۱KΩ | دو عدد |
| ۶ | سیم دو سرگیره‌دار | چهار رشته |
| ۷ | سیم یک سرگیره‌دار | چهار رشته |
| ۸ | سیم رابط | به مقدار کافی |

### ۴-۳-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۴-۲۳ را روی بردبرد ببندید.




الف) مدار عملی




ب) نقشه فنی مدار

شکل ۲۳-۴

■ ابتـدا در حالی که مدار به‌صـورت کامل روی بردبرد بسته شده است، ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه می‌گیریم.

■ ولت‌متر DC را به دو سـر مقاومـت بار ۱KΩ وصل کنید و ولتاژ دو سـر مقاومت بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{O_1}=V_{R_2}=\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (V)$$

■ برای به‌دسـت آوردن مقاومت تونن مـدار، ابتدا منبع تغذیه را از مدار جدا کنید.

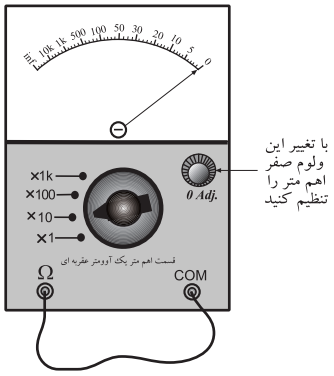
■ بـه جـای منبع ولتـاژ، یک سـیم اتصال کوتـاه قرار دهید.

■ مقاومت بار $R_2$ را از مدار جدا کنید.

■ مولتی‌متر را روی رنج اهم‌متر تنظیم کنید.

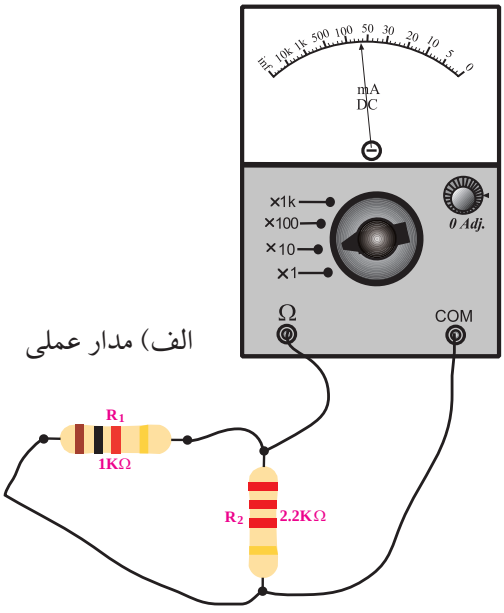
■ ولت‌متر را از مدار جدا کنید و به جای آن اهم‌متر قرار دهید.

■ اگر اهم‌متر شما عقربه‌ای است، حتما صفر آن را تنظیم کنید.برای ایـن کار دو ترمینال اهم‌متر کـه مقاومت به آن‌ها وصل می‌شود را اتصال کوتاه و با ولوم روی آن صفر را تنظیم کنید. اهم‌متر دیجیتالی نیاز به تنظیم صفر ندارد، شکل ۲۴-۴.

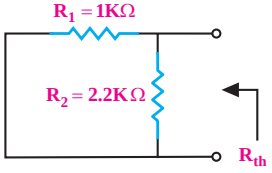



شکل ۲۴-۴- نحوه‌ی تنظیم صفر اهم‌متر عقربه‌ای

■ مدار شکل ۲۵-۴ را روی بردبرد ببندید.




الف) مدار عملی




ب) نقشه فنی مدار

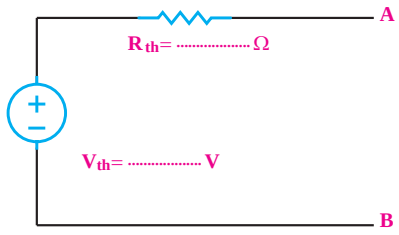
شکل ۲۵-۴

■ مقاومتی را که اهم‌متر اندازه می‌گیرد، مقاومت معادل

تونن مدار شکل ۲۵-۴ است. مقدار آن را بخوانید و یادداشت کنید.

$R_{th}$= ..... Ω

■ معادل تونن مدار شکل ۲۳-۴ به صورت شکل ۲۶-۴ درمی‌آید.

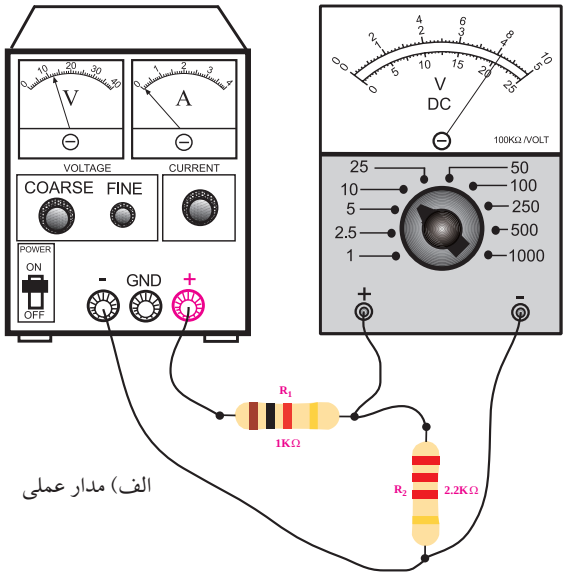



شکل ۲۶-۴ مدار معادل تونن شکل ۲۳-۴

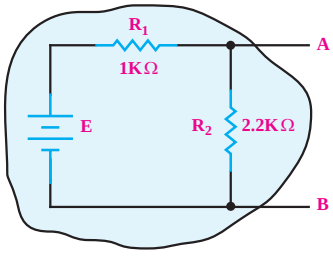
■ برای به دست آوردن ولتاژ تونن، باید مجددا منبع تغذیه را به دو سر مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ وصل کنید.

■ هم‌چنان مقاومت بار $R_3$ را در مدار قرار ندهید.

■ مدار شکل ۲۷-۴ را روی بردبرد ببندید.




الف) مدار عملی




ب) نقشه فنی مدار

شکل ۲۷-۴

■ رنج کلید ولت‌متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.

■ منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

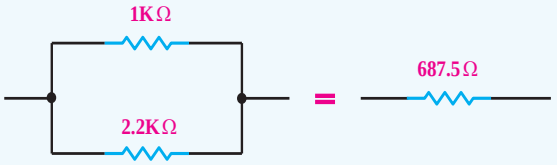
■ مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید. این همان ولتاژ معادل تونن مدار مورد نظر است.

$V_{th}$= ..... V

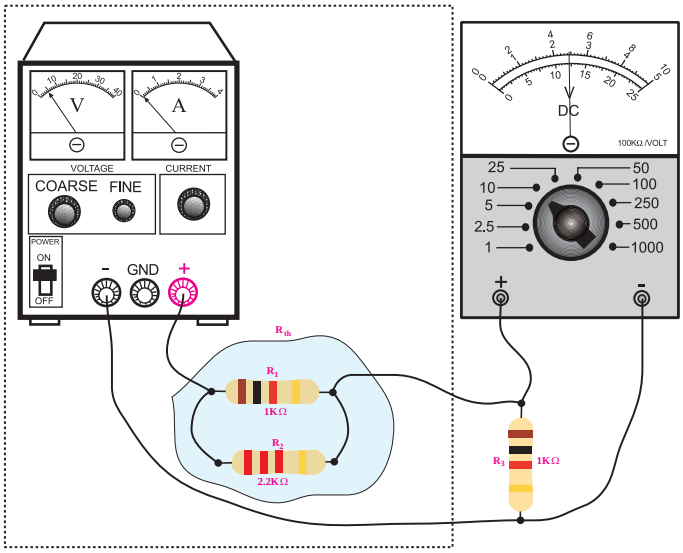
■ منبع تغذیه را دقیقا روی مقدار $V_{th}$ که در مرحله‌ی قبل به دست آورده‌اید، تنظیم کنید.

■ به جای مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ مقاومت معادل تونن ($R_{th}$) را در مدار شکل ۲۶-۴ قرار دهید.

■ به جای $R_{th}$=۶۸۷/۵Ω می‌توانید از دو مقاومت ۱KΩ و ۲/۲KΩ که با یکدیگر موازی شده‌اند استفاده کنید.




■ مدار شکل ۲۸-۴ را روی بردبرد ببندید.




شکل ۲۸-۴

■ ولتاژ دو سر مقاومت $R_۳$ ($۱K\Omega$) را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

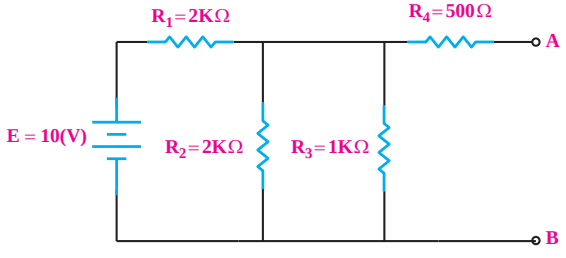
$$V_{O۲}=V_{R۳}=\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (V)$$

**سوال ۱:** آیا مقدار $V_{O۱}$ (خروجی مدار واقعی) با $V_{O۲}$ (خروجی معادل تونن) دقیقا برابرند؟چرا؟ توضیح دهید.

### ۴-۳-۴ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

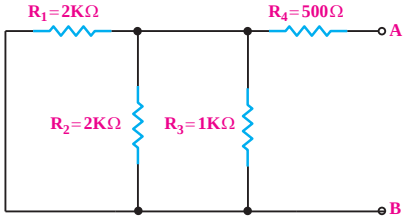
**مثال ۵:** مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۲۹ از دو نقطه‌ی A و B را به دست آورید.




شکل ۴-۲۹

**حل:**

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن، ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می‌کنیم و جای آن را اتصال کوتاه می‌گذاریم.




شکل ۴-۳۰

همان‌طور که در شکل ۴-۳۰ مشاهده می‌شود، از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ موازی هستند، لذا داریم:

$$R_۱ \| R_۲ = \frac{R_۱ \times R_۲}{R_۱ + R_۲}$$

$$R_۱ \| R_۲ = \frac{۲\times۲}{۲+۲} = \frac{۴}{۴} = ۱K\Omega$$

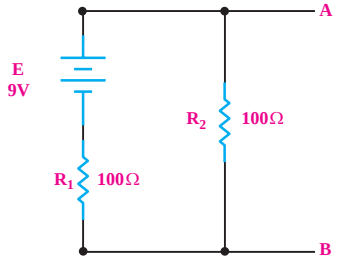
$$R_۳ \| (R_۱ \| R_۲) = \frac{R_۳ \times (R_۱ \| R_۲)}{R_۳ + (R_۱ \| R_۲)} = \frac{۱\times۱}{۱+۱} = \frac{۱}{۲}K\Omega$$

مقاومت معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B، از سری شدن $R_۴$ با معادل موازی $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ به دست می‌آید:

$$R_{th} = R_{۱۲۳} + R_۴$$
$$R_{th} = ۰/۵K\Omega + ۵۰۰\Omega$$
$$R_{th} = (۰/۵\times۱۰^{۳})\Omega + ۵۰۰\Omega$$
$$R_{th} = ۵۰۰\Omega + ۵۰۰\Omega = ۱۰۰۰\Omega$$
$$R_{th} = ۱۰۰۰\Omega = ۱۰۰۰\times۱۰^{-۳} = ۱K\Omega$$

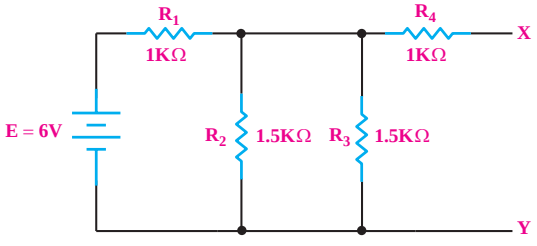
## آزمون پایانی فصل (۴)

۱- مـدار معادل تونـن از دو نقطه‌ی A و B مدار شـکل ۴-۳۱ را به‌دست آورید.



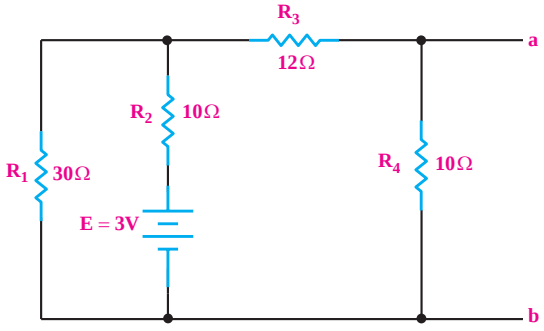

شکل ۴-۳۱

۲- مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۳۲ از دو نقطه‌ی x و y را به دست آورید.



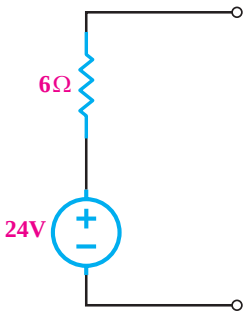

شکل ۴-۳۲

۳- مـدار معادل نورتـن از دو نقطه‌ی a و b مدار شـکل ۴-۳۳ را به دست آورید.




شکل ۴-۳۳

۴- منبع جریان معادل منبع ولتاژ شکل ۳۴-۴ را به‌دست آورید.




شکل ۳۴-۴

۵- منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که در بارهای مختلف ..... ثابتی به مدار می‌دهد.

۶- برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

صحیح ❐ غلط ❐

۷- منابع ولتاژ و منابع جریان ایده‌آل را می‌توان به یکدیگر تبدیل کرد.

صحیح ❐ غلط ❐

۸- منابع جریان ایده‌آل با یک مقاومت اهمی ..... به صورت ..... قرار گرفته‌اند.

الف) کوچک- سری

ب) کوچک- موازی

ج) بزرگ- سری

د) بزرگ- موازی

۹- طبق قضیه‌ی نورتن، هر شبکه‌ی الکتریکی را می‌توان به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل نمود.

صحیح ❐ غلط ❐

این کتاب برای استاندارد الکترونیک کار صنعتی تنظیم شده است . برای آموزش سایر استانداردها نیز می توانید از این کتاب استفاده کنید . برای این منظور لازم است محتوای استاندارد مورد آموزش را دقیقا مطالعه نمایید و موارد اضافی را آموزش ندهید. همچنین موارد اضافی مربوط به سایر استانداردها در این کتاب مشخص شده است .