

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## مقاومت و کاربرد آن در مدار

**مقاومت (Resistor)** قطعه‌ای الکترونیکی است که یک **مقاومت الکتریکی (Resistance)**

مشخص و معمولاً ثابت دارد. مقاومت الکتریکی جریان الکترون‌های یک مدار را محدود می‌کند. مقاومت‌ها قطعاتی پسیو هستند؛ به این معنی که فقط توان مصرف می‌کنند و نمی‌توانند آن را تولید کنند. این قطعات معمولاً به قسمت‌های اکتیو مدار مانند آپ‌امپ‌ها، میکروکنترلرها و سایر مدارهای مجتمع نیز اضافه می‌شوند. از مهم‌ترین نقش‌های مقاومت‌ها در مدار می‌توان به محدود کردن جریان، تقسیم ولتاژ و خطوط ورودی/خروجی Pull-up اشاره کرد.

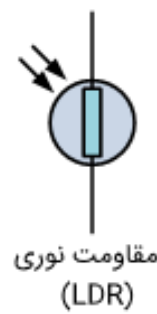
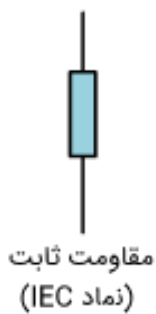
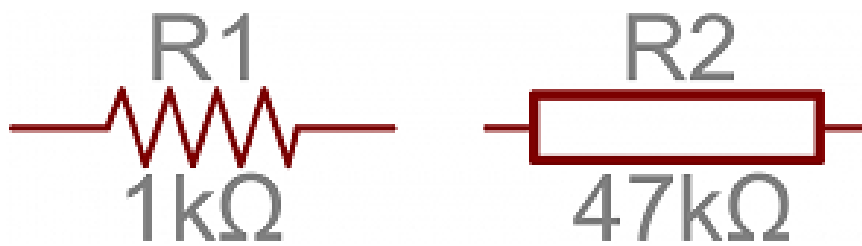
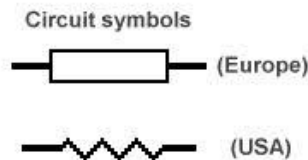
### واحد اندازه‌گیری مقاومت‌ها

مقاومت الکتریکی یک مقاومت برحسب اهم اندازه‌گیری می‌شود. نماد اهم، حرف یونانی اُمگای بزرگ یا  $\Omega$  است. یک امگا برابر است با مقاومت بین دو نقطه که اختلاف پتانسیل یک ولت به آن‌ها اعمال می‌شود و جریان یک آمپر از آن‌ها می‌گذرد.

برای سادگی، مقادیر بزرگ مقاومت را می‌توان با پیشوندهای کیلو، مگا یا گیگا نشان داد. رایج‌ترین پیشوند برای بیان مقدار مقاومت‌ها معمولاً کیلو است. برای مثال، اندازه یک مقاومت ۴,۷ کیلو اهمی معادل با ۴۷۰۰ اهم است.

## نماد مداری مقاومت الکتریکی

همان طور که می دانیم، مقاومت ها قطعاتی با دو سر هستند و نماد آن ها در مدار به یکی از چند شکل زیر است.



## انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌ها در شکل‌ها و اندازه‌های متنوعی وجود دارند. از نظر نحوه نصب، مقاومت‌ها در دو نوع «سوراخ کامل» (Plated Through-Hole) یا PTH یا «فناوری نصب سطحی» (Surface-Mount Technology) یا (Surface-Mount Device) یا SMT/SMD موجودند.

مقاومت‌های سوراخ کامل پایه‌های بلندی دارند که فلز آن‌ها قابلیت خم شدن دارد و می‌توان آن را به صورت دستی روی برد مدار چاپی یا PCB نصب کرد. این مقاومت‌ها معمولاً در بردبردها (Breadboard)، نمونه‌های اولیه یا هر گونه دیگری که لحیم به کوچکی مقاومت‌های SMD با اندازه ۰,۶ میلی‌متر نیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. پایه‌های بلند این مقاومت‌ها معمولاً کوتاه می‌شوند و سپس نصب می‌گردند تا فضای کمتری اشغال شود.

رایج‌ترین مقاومت‌های سوراخ کامل، مقاومت‌های محوری (Axial) هستند که اندازه آن‌ها متناسب با توان نامی‌شان است. شکل زیر یک مقاومت ۰,۵ وات را با اندازه ۹,۲ میلی‌متر و یک مقاومت ۰,۲۵ وات را با طول ۶,۳ میلی‌متر نشان می‌دهد.



مقاومت‌های نصب سطحی معمولاً به صورت مستطیلی سیاه هستند که از دو طرف نقره‌ای، درخشان و رسانا هستند و ضخامت کمتری دارند. لبه مقاومت‌های SMD رسانا است. این مقاومت‌ها روی PCB ها و معمولاً توسط یک ربات نصب می‌شوند (زیرا بسیار کوچک هستند).

## ۱- مقاومت آجری

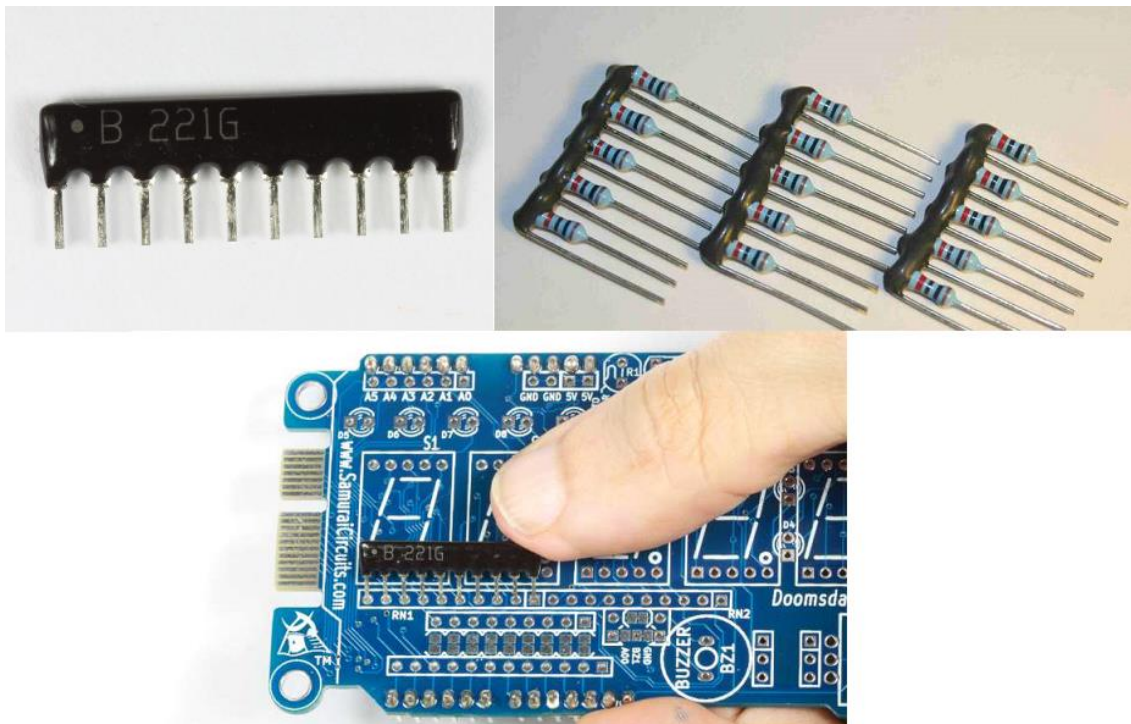
مقاومت آجری نیز یکی از انواع مقاومت‌های ثابت است که برای تحمل توان‌های بالا داخل یک پوشش سرامیکی قرار می‌گیرد و زیر این پوشش‌های سرامیکی، با نوع خاصی از عایق پر می‌شود. این مقاومت‌ها از ۱ وات تا ده‌ها وات در بازار موجود هستند.



نکته حائز اهمیت در مورد مقاومت‌های آجری، این است که ممکن است در هنگام کار، تا حد زیادی گرم یا داغ شوند و در هنگام طراحی مدار باید محل مناسبی برای نصب آن‌ها در نظر گرفته شود.

## ۲ - مقاومت آرایه‌ای

امروزه، کاهش هرچه بیشتر فضای اشغال شده توسط مدارها، از اصول اولیه هر طراحی است. مقاومت‌های آرایه‌ای، شامل چند مقاومت در یک بسته هستند. در این مقاومت‌ها، به منظور کاهش فضا، معمولاً یک پایه مشترک بوده و هر پایه دیگر دارای مقدار مقاومت مشخصی است. در بعضی از انواع مقاومت‌های آرایه‌ای، هر دو پایه یک مقاومت متفاوت را تشکیل می‌دهند. از این نوع مقاومت‌ها می‌توان به سادگی برای *pull-up* یا *push-down* ورودی و خروجی‌های منطقی بهره گرفت. از مقاومت‌های آرایه‌ای، هنگامی که تعدادی مقاومت معمولاً با مقدار یکسان در کنار یکدیگر نیاز است، استفاده می‌شود. یک مثال رایج از این کاربردها، راه‌اندازی نمایشگرهای سئون سگمنت است.


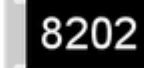


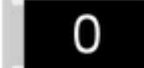
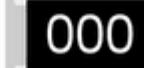


### ۳ - مقاومت نصب سطحی یا SM

نوعی دیگر از مقاومت‌ها که بر روی مدارات الکترونیکی لحیم کاری می‌شود مقاومت نصب سطحی (Surface-mount devices) یا SMD است. این نوع مقاومت در بردهای مدار چاپی با رنگ مشکی و چند عدد در وسط و رنگ نقره‌ای (قسمت لحیم شده) در دو طرف آن نشان داده می‌شوند.

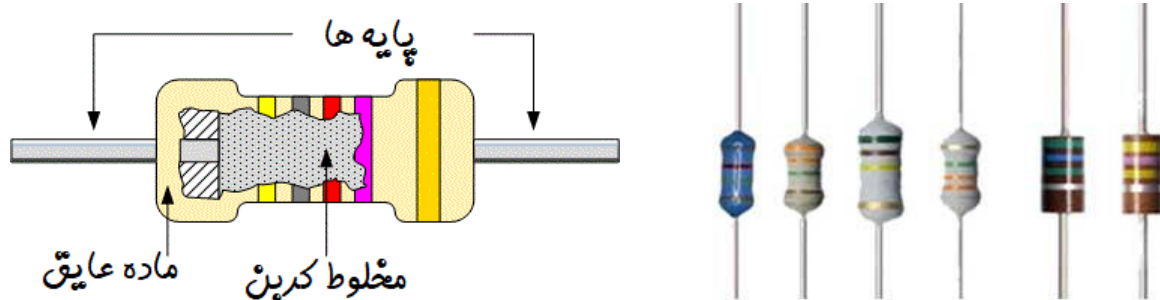


### SMD Resistors Cheat Sheet

 <b>223</b>	$223$ $= 22 \times 10^3$ $= 22,000 \text{ Ohm}$ $= 22\text{K Ohm}$	 <b>8202</b>	$8202$ $= 820 \times 10^2 \text{ Ohm}$ $= 82,000 \text{ Ohm}$ $= 82 \text{ KOhm}$
Three-Digit Resistor		Four-Digit Resistor	
 <b>4R7</b>	$4R7$ $= 4.7 \text{ Ohm}$	 <b>0R22</b>	$0R22$ $= 0.22 \text{ Ohm}$
Resistor With Radix Point		Resistor With Radix Point	
 <b>0</b>	$0$ $= 0 \text{ Ohm}$	 <b>000</b>	$000$ $= 0 \text{ Ohm}$
Zero-Ohm Resistor		Precision Zero-Ohm Resistor	

## ۴ - مقاومت ترکیب کربنی

«مقاومت‌های کربنی» ( **Carbon Resistance** ) پر استفاده‌ترین و ارزان‌ترین نوع مقاومت‌های ترکیبی هستند. این مقاومت‌ها در مدارهای الکترونیکی و الکتریکی کاربرد فراوانی دارند. عنصر مقاومتی این مقاومت‌ها، از ترکیبی از گرد کربن یا گرافیت (مثل نوک مداد) تشکیل شده است. همچنین در ترکیب آن‌ها، پودر غیر رسانای سرامیک (خاک رس) نیز برای چسباندن گرد کربن به کار می‌رود.

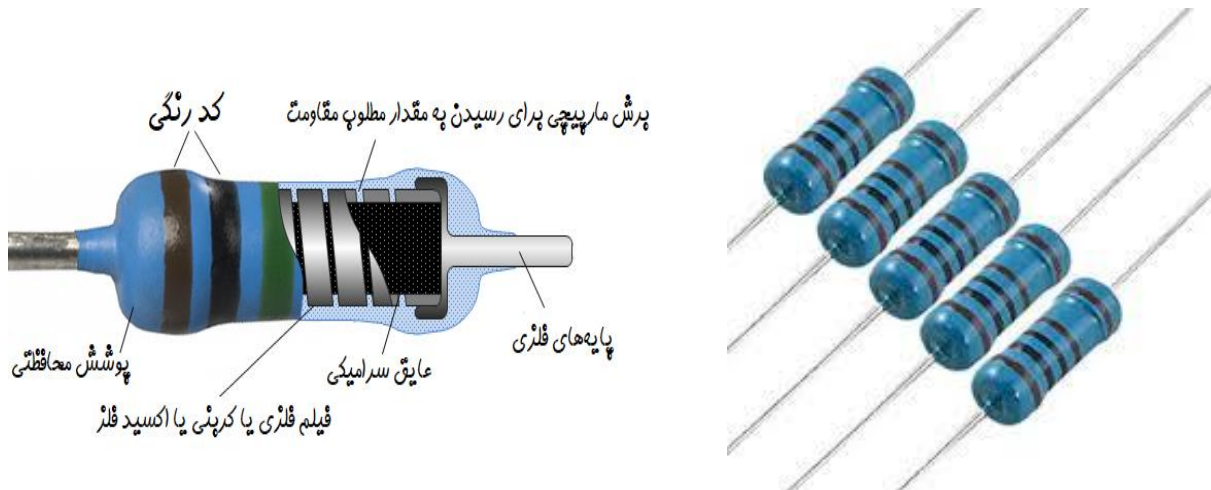


## ۵ - مقاومت فیلمی

عبارت کلی «مقاومت فیلمی» ( **Film Resistor** ) ، برای مقاومت‌های مختلفی از جمله فیلم کربنی، فیلم فلزی و فیلم اکسید فلزی به کار برده می‌شود. در حالت کلی، این نوع مقاومت‌ها با ته‌نشین کردن فلز خالص روی یک سرامیک عایق یا زیرلایه ساخته می‌شوند. فلزهای خالص به کار برده شده در ساخت این مقاومت‌ها عبارتند از: نیکل و فیلم اکسید فلز، مانند اکسید قلع.

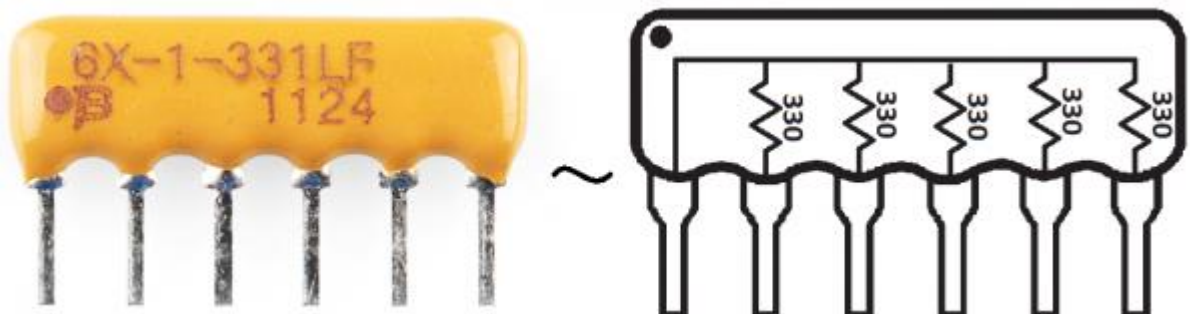
مقدار مقاومت مقاومت‌های فیلمی، با افزایش ضخامت فیلم ته‌نشین شده روی عایق، زیاد می‌شود. بنابراین دو نوع کلی مقاومت با نام‌های «مقاومت‌های فیلم ضخیم» ( **Thick-Film Resistors** ) و «مقاومت‌های فیلم نازک» ( **Thin-Film Resistors** ) داریم.

هنگامی که فلز روی عایق ته‌نشین می‌شود، از یک لیزر با دقت بالا برای ایجاد شیارهای مارپیچی روی این فیلم فلزی استفاده می‌شود (مانند اینکه یک سیم طویل را به شکل یک سیم پیچ در بیاوریم). برش فیلم، باعث افزایش مسیر مقاومتی یا هدایتی ماده خواهد شد.



## ۶- بسته‌های مقاومتی خاص

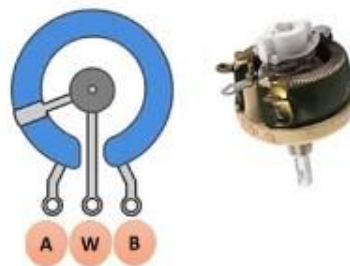
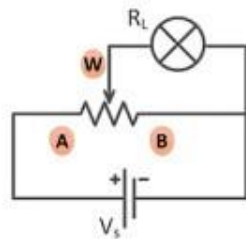
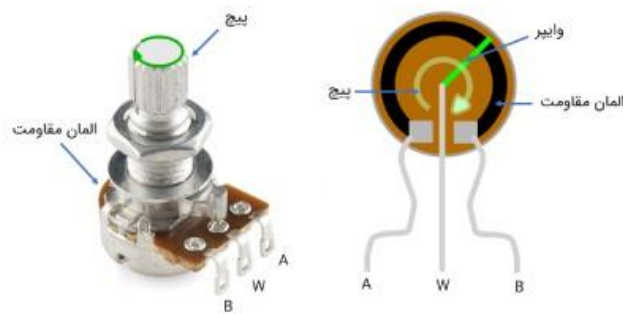
انواع دیگری از مقاومت‌های خاص وجود دارد که برای اهداف ویژه‌ای به کار می‌روند. برخی مقاومت‌ها از قبل به یکدیگر متصل شده و در یک بسته قرار داده می‌شوند. آرایه‌های پنج مقاومتی از این دسته‌اند. مقاومت‌ها در این آرایه‌ها یک پین مشترک دارند یا به عنوان مقسم ولتاژ ساخته می‌شوند. شکل زیر، آرایه‌ای از پنج مقاومت ۳۳۰ اهمی را نشان می‌دهد که یک انتهای آن‌ها به یکدیگر متصل است.





## ۸ - مقاومت‌های متغیر (پتانسیومترها)

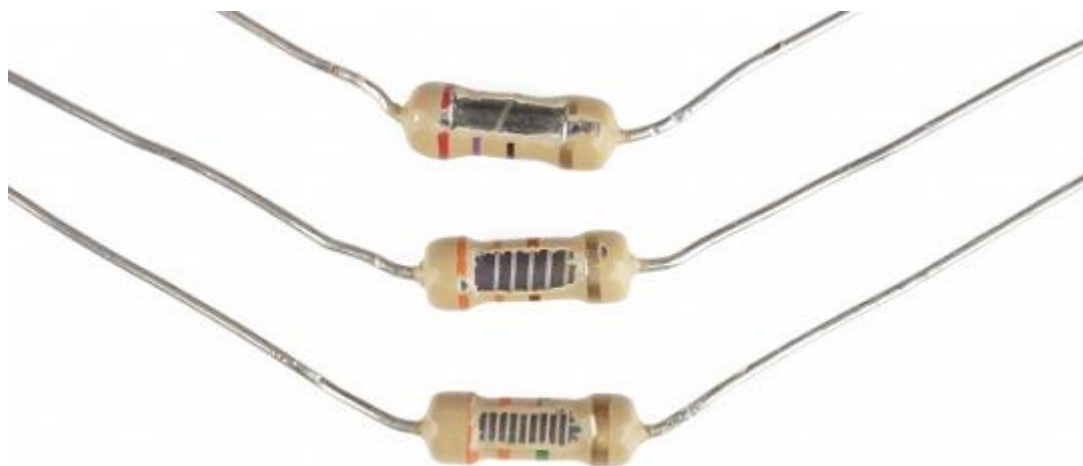
این نوع مقاومت‌ها که رئوستا نیز نامیده می‌شوند، مقاومت‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را در یک محدوده مقادیر مشخص تنظیم کرد. پتانسیومترها نیز مقاومت‌های متغیری هستند که دو مقاومت درونی را به صورت سری به یکدیگر متصل کرده و یک مقسم ولتاژ قابل تنظیم می‌سازند. این نوع مقاومت‌ها معمولاً برای ورودی‌هایی از قبیل دکمه‌های تنظیم صدا به کار می‌روند. شکل زیر، چند نمونه از این مقاومت‌ها را نشان می‌دهد.



## ساختار مقاومت‌ها

مقاومت‌ها را می‌توان با مواد مختلفی ساخت. رایج‌ترین موادی که مقاومت‌ها از آن‌ها ساخته می‌شوند، کربن، فلز یا فیلم اکسید فلز هستند. در این مقاومت‌ها، یک فیلم نازک از ماده رسانا (البته همچنان دارای مقاومت) در یک ماریپچ حلزونی پیچیده شده و با یک ماده عایق پوشانده می‌شود. اغلب مقاومت‌های بدون زوائد و سوراخ کامل، از ترکیبات **فیلم کربن** یا **فیلم فلز** ساخته شده‌اند.

شکل زیر، برشی از مقاومت‌های فیلم کربن را نشان می‌دهد:

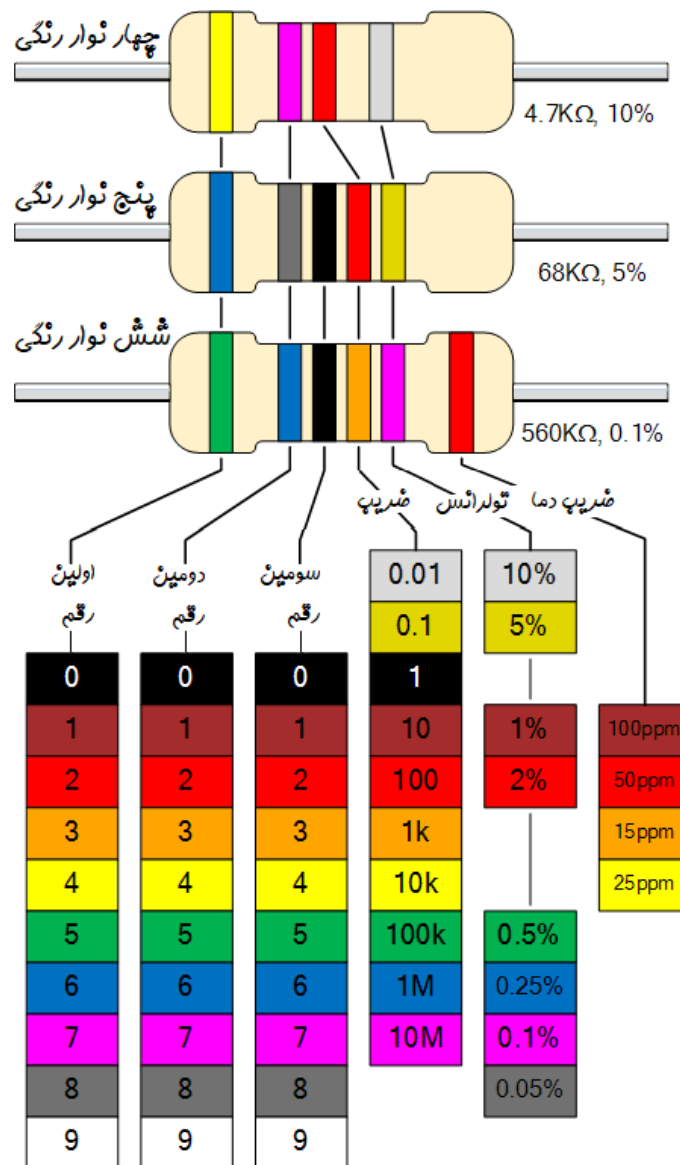


مقادیر مربوط به مقاومت‌های بالا، به ترتیب، برابر با ۲۷ اهم، ۳۳۰ اهم و ۳,۳ مگا اهم هستند. درون هر مقاومت یک فیلم کربن پیچانده شده که دارای پوشش عایق است. همان‌طور که می‌بینیم، هرچه تعداد پیچ‌ها بیشتر باشد، مقدار مقاومت نیز بیشتر است.

سایر مقاومت‌های سوراخ کامل ممکن است سیم‌پیچی شده یا از ورق فلزی بسیار نازک ساخته شوند. این مقاومت‌ها معمولاً گران‌تر هستند و از آنجایی که مشخصه‌های ویژه‌ای مانند توان و محدوده دمای حداکثر بالاتر دارند، در کاربردهای خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## محاسبه مقاومت از روی رنگ

مقدار مقاومت الکتریکی همیشه از چپ به راست خوانده می‌شود. برای محاسبه مقدار مقاومت، نوار رنگی با پهنای بیشتر باید در سمت راست قرار بگیرد. این نوار، نمایانگر تolerانس یا دقت مقاومت است. با تطبیق رنگ اول از سمت چپ و شماره آن در ستون ارقام، اولین رقم مقدار مقاومت مشخص می‌شود. به همین ترتیب، با تطبیق دومین رنگ از سمت چپ با شماره آن در ستون ارقام، دومین رقم مقدار مقاومت نیز مشخص می‌شود. سپس عدد رنگ دوم در کنار عدد رنگ اول و در سمت راست آن قرار می‌گیرد. به این ترتیب، مقدار مقاومت از سمت چپ به سمت راست نوشته می‌شود. شکل زیر، جدول رنگ مقاومت را نشان می‌دهد:



کد نوارهای رنگی مقاومت‌ها در جدول زیر آورده شده است:

رنگ	کد رنگ (Digit)	ضریب (Multiplier)	تولرانس (Tolerance)
مشکی	0	1	
قهوه‌ای	1	10	± 1%
قرمز	2	100	± 2%
نارنجی	3	1,000	
زرد	4	10,000	
سبز	5	100,000	± 0.5%
آبی	6	1,000,000	± 0.25%
بنفش	7	10,000,000	± 0.1%
خاکستری	8		± 0.05%
سفید	9		
طلایی		0.1	± 5%
نقره‌ای		0.01	± 10%
هیچ‌یک			± 20%

کد رنگی مقاومت، سیستمی مناسب برای محاسبه مقدار آن است. اما برای رسیدن به مقدار صحیح مقاومت، لازم است طریقه کارکرد آن را نیز بدانیم. نوار رنگی سمت چپ، مهمترین نوار رنگی و نزدیکترین نوار به پایه مقاومت است. این نوار، اولین عدد مقاومت را مشخص می‌کند. مقدار مقدار مقاومت از چپ به راست به صورت زیر نوشته می‌شود:

از چپ به راست

→

$$\Omega \text{ (به اهم)} = \text{رنگ}^1 \times \text{رنگ}^2 - \text{رنگ}^3 = \text{ضریب} - \text{رقم} - \text{رقم}$$

## مقدار نامی و تolerانس مقاومت

مقدار واقعی یک مقاومت، در محدوده‌ای از مقدار نامی و تolerانس آن است. تolerانس یک مقاومت، حداکثر اختلاف بین مقدار واقعی و مقدار مطلوب است و معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود. برای مثال، در یک مقاومت با اندازه  $1K\Omega \pm 20\%$ ، حداکثر و حداقل مقدار مقاومت، به ترتیب برابر است با:

$$1K\Omega + 20\% = 1200\Omega$$

9

$$1K\Omega - 20\% = 800\Omega$$

می‌بینیم که اختلاف بین حداکثر و حداقل مقدار مقاومت برای مقدار نامی ۱۰۰۰ اهم، برابر ۴۰۰ اهم است.

در اغلب مدارهای الکتریکی و الکترونیکی، تolerانس ۲۰ درصد مشکلی ایجاد نمی‌کند. اما هنگام کار با مدارهایی که دقت بالایی نیاز دارند، مثل **فیلترها**، نوسان‌سازها یا **تقویت‌کننده‌ها**، یک مقاومت با تolerانس ۲۰ درصد با مقاومتی با تolerانس دو درصد، قابل مقایسه نیست.

نوارهای رنگی پنجم و ششم برای دقت بالا مناسب هستند که تolerانس آنها در حدود یک درصد و دو درصد است. در حالی که تolerانس‌های ۵ درصد و ۱۰ درصد از نوار رنگی چهارم استفاده می‌کنند. مقاومت‌ها، تolerانس‌های مختلفی دارند، اما دو نوع اصلی آنها، سری‌های E1۲ و E۲۴ است.

## توان مقاومت‌ها

توان یکی از پارامترهای مهم در مقاومت‌ها است که به ویژه در هنگام انتخاب مقاومت‌ها باید آن را در نظر گرفت. توان نرخ مصرف انرژی است و با ضرب اختلاف ولتاژ بین دو نقطه و جریان گذرنده است. برای مثال، لامپ‌ها توان الکتریکی (W) از آن به دست می‌آید. واحد اندازه‌گیری توان، وات را به نور تبدیل می‌کنند. اما یک مقاومت فقط می‌تواند انرژی الکتریکی را به گرما تبدیل کند. گرما معمولاً پارامتر جالبی در الکترونیک نیست و گرمای زیاد سبب آسیب‌دیدگی‌های مختلفی (حتی آتش گرفتن مدار) می‌شود.

هر مقاومت یک اندازه توان ماکزیمم مشخص دارد و برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد مقاومت باید مطمئن شویم توان کاری آن کمتر از مقدار ماکزیمم نامی است. توان نامی یک مقاومت بر حسب وات بیان می‌شود و معمولاً بین ۱/۸ (۰,۱۲۵) وات و ۱ وات است. مقاومت‌هایی با توان بیش از یک وات معمولاً در دسته مقاومت‌های قدرت قرار می‌گیرند و کاربردهای خاص خود را دارند.

## یافتن توان مقاومت

توان نامی یک مقاومت را معمولاً می‌توان با مشاهده اندازه بسته آن تعیین کرد. مقاومت‌های سوراخ کامل معمولاً در توان‌های ۱/۴ (۰,۲۵) و ۱/۲ (۰,۵) وات ساخته می‌شوند. توان مقاومت‌هایی نیز که برای کاربردهای قدرت ساخته می‌شوند معمولاً روی آن‌ها درج می‌شود.

شکل زیر، چند مقاومت قدرت را نشان می‌دهد که در توان‌های بزرگ‌تری نسبت به مقاومت‌های عادی کار می‌کنند. مقادیر توان این مقاومت‌ها از راست به چپ، به ترتیب، برابر با ۲۵، ۵ و ۳ وات است. مقادیر مقاومت آن‌ها نیز به ترتیب ۲ اهم، ۳ اهم، ۰,۱ اهم و ۲۲ کیلو اهم است. از مقاومت‌هایی با توان کوچک‌تر معمولاً برای اندازه‌گیری جریان استفاده می‌شود.



$$\text{Power (P)} = V \times I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

که در این روابط P توان مجاز مقاومت ، V ولتاژ دو سر مقاومت ، I جریان عبوری از مقاومت و R مقدار اهمی مقاومت می باشد .

## کاربردهای مقاومت

### ۱ - محدود کردن جریان

استفاده از مقاومت در مدارهای الکترونیک می تواند جریان را محدود کند. طبق قانون اهم اگر ولتاژ دو سر یک رسانا ثابت باشد می توانیم با تغییرات مقدار مقاومت مسیر، جریان را تحت کنترل درآوریم.

## ۲ - تقسیم ولتاژ

با استفاده از مقاومت می‌توانیم سطح ولتاژ را برای قسمتی از مدار کاهش دهیم. فرض کنید که از یک باتری ۵ ولتی برای تغذیه یک مدار استفاده می‌کنیم ولی یک قسمتی از مدار به ولتاژ کمتری احتیاج دارد. در این شرایط مقاومت می‌تواند ولتاژ پایین‌تری که مورد نیاز می‌باشد را تامین کند.

## ۳ - شبکه‌های مقاومت، خازن، سلف

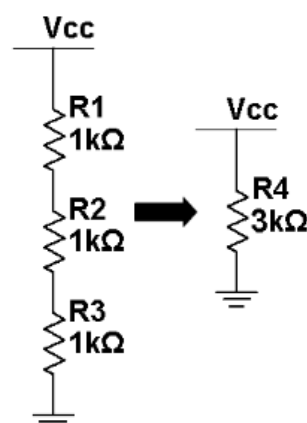
مقاومت‌ها می‌توانند با سایر قطعات پایه‌ی الکتریکی تشکیل شبکه‌های خاصی بدهند که در مصارف مخابراتی و ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ترکیب مقاومت‌ها به صورت سری و موازی

گاهی اوقات ما نیازمند آن هستیم که با ترکیب مقاومت‌ها به صورت سری یا موازی مدار مورد نظرمان را پیاده کنیم. گاهی اوقات نیز طراحی مدارهای پیچیده ما را مجبور به محاسبه‌ی مقاومت معادل یک شبکه‌ی مقاومتی می‌کند.

## ترکیب مقاومت‌ها به صورت سری

مدار زیر را در نظر بگیرید. در این مدار سه مقاومت به صورت سری به هم متصل شده‌اند. در این صورت می‌توان این سه مقاومت را معادل با یک مقاومت در نظر گرفت که مقدار این مقاومت مساوی با جمع مقادیر این سه مقاومت است.

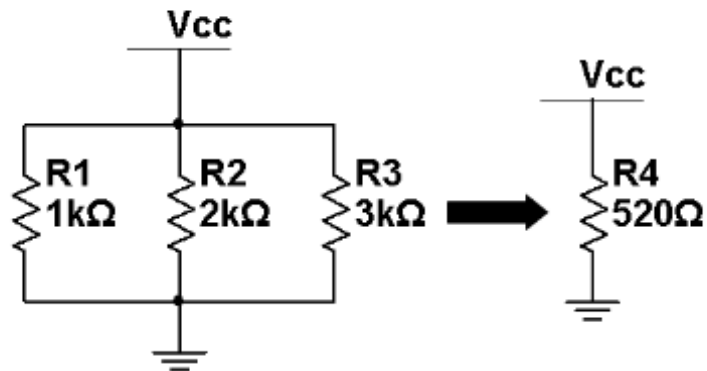


$$R_4 = R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$



## ترکیب مقاومت‌ها به صورت موازی

مدار زیر نمونه‌ای از ترکیب موازی مقاومت‌ها است. در این صورت برای محاسبه‌ی مقاومت معادل مطابق روابط زیر عمل می‌کنیم:



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \simeq 1.9k\Omega$$

$$R_{eq} = \frac{1}{1.9k\Omega} \simeq 520\Omega$$