

# برق و خطرات آن در بدن انسان

حسن اتحاد مهرآباد

دبیر فیزیک منطقه عجب‌شیر، استان آذربایجان شرقی

## مقدمه

انرژی الکتریکی یکی از بهترین و تمیزترین نوع انرژی‌هاست این انرژی را می‌توان به راحتی از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل کرد. تبدیل آن به سایر انرژی‌ها نیز خیلی ساده است<sup>(۱)</sup>. اما روش حفاظت و بهره‌داری صحیح از آن همیشه و در همه جا با مشکلاتی همراه است.

یکی از مهم‌ترین مشکلات آن، برق‌گرفتگی و خطرات ناشی از آن است که گاهی موجب از دست دادن جان انسان‌ها و حیوانات می‌گردد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، پنجاه درصد برق‌گرفتگی‌های منجر به مرگ بر اثر تماس مستقیم سیم حامل جریان برق در حمام، استخر، حیاط، زیرزمین، پارک‌ها و یا جاهای مرطوب بوده که جریان برق مستقیماً از بدن افراد به زمین رفته است. بقیه موارد ناشی از فرسودگی کابل‌ها یا عایق‌بندی نادرست لوازم خانگی و دستگاه‌های برقی و یا سیم‌کشی‌های غلط اتفاق افتاده است.

جریان برق در نقاطی از بدن که مقاومت اهمی کمتر باشد بیشتر و راحت‌تر برقرار و موجب متلاشی شدن و سوزاندن آن می‌شود.

## چگونگی برق‌گرفتگی

تمامی نقاط سطح زمین، دیوارها و کف اتاق‌ها در همه طبقات، نقطه‌ای از دستگاه برق‌رسانی محسوب می‌شوند و اگر

## چکیده

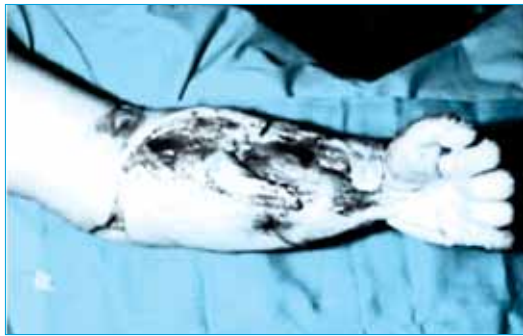
انرژی الکتریکی یکی از بهترین و تمیزترین نوع انرژی‌هاست، اما استفاده از آن در حالت‌ها و شرایط مختلف با مشکلاتی همراه است که اگر اصول بهره‌گیری صحیح آن رعایت نگردد، برق‌گرفتگی پیش می‌آید که می‌تواند انسان را تا حد مرگ برساند. در این نوشتار سعی بر این است که برق و خطرهای آن بر موجودات زنده، اعم از انسان و حیوان، مورد بحث قرار گیرد.

برق‌گرفتگی انواع مختلفی دارد که میزان تأثیر آن بر بدن و خطرات آن به شدت جریان برق و نوع آن به مدت زمان عبور جریان الکتریکی، اندازه ولتاژ یا فشار الکتریکی برق و مقاومت بدن انسان بستگی دارد. همچنین، مسیر عبور جریان بسیار مهم است؛ زیرا ممکن است از محلی عبور کند که موجب از کارافتادن دستگاه تنفس یا اختلال در کار قلب یا حتی هر دو شود. چند نمونه از حالت‌های مختلفی که جریان برق ممکن است از بدن عبور کند، به قرار زیرند: از یک دست به یک پا، از دست راست به پاهای راست، از دست چپ به پاهای چپ، از پا به پا، از دست به دست.

خطرناک‌ترین حالت وقتی است که جریان از یک دست وارد و از دست دیگر خارج شود؛ زیرا در این هنگام جریان برق از قلب و ریه می‌گذرد و می‌تواند باعث از کار افتادن آن‌ها و در نتیجه مرگ شود. در پایان توصیه‌هایی برای ایمنی بیشتر ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: انرژی الکتریکی، برق‌گرفتگی، فشار قوی، جریان الکتریکی، مرگ، سیم ارت

این نوع سوختگی‌ها عمیق و مداوای آن‌ها چنانچه زیاد باشند بسیار دشوار و در بعضی موارد علاج‌ناپذیر است. به‌ویژه اگر سوختگی در برق‌گرفتگی با ولتاژ زیاد اتفاق افتاده باشد و زخم‌های ایجاد شده عمیق‌تر باشند، همیشه با دردهای زیاد و عفونت‌های سختی همراه خواهند بود.



▲ شکل ۱. سوختگی شدید بر اثر برق‌گرفتگی

ارتباط اعصاب با مراکز عصبی و ضربان قلب توسط الکترون‌های موجود در بدن صورت می‌گیرد. هنگام عبور جریان برق از بدن کسی که دچار برق‌گرفتگی شده است ماهیچه‌های بدن واکنش‌هایی را به‌وجود می‌آورند و مفصل‌ها حالت تعادل خود را از دست می‌دهند. این امر منجر به پرت شدن شخص از منطقه برق‌گرفتگی می‌شود که به علت فرمان مغز جهت رهایی از مدار جریان الکتریکی است.

تأثیر برق‌گرفتگی حتی اگر زمان آن خیلی کوتاه باشد بسیار زیاد و ناگوار است. برخی بر این باورند که وقتی شخصی دچار برق‌گرفتگی می‌شود، اگر جریان برق او را پرت کند می‌میرد. در صورتی که چنین نیست؛ زیرا هرگز برق کسی را پرت نمی‌کند بلکه پرت شدن نتیجه واکنشی است که ماهیچه‌های بدن در مقابل رهایی از جریان برق از خود نشان می‌دهند. مرگ واقعی وقتی اتفاق می‌افتد که سلول‌های مغزی از کار افتاده باشند و تا زمانی که اکسیژن کافی به مغز می‌رسد، انسان زنده است.



▲ شکل ۲. برق‌گرفتگی و پرت شدن ظاهری که نتیجه واکنش ماهیچه‌های بدن نسبت به رهایی از جریان برق است.

نقطه‌ای از بدن موجود زنده از یک طرف به زمین یا دیوارها و از طرف دیگر به سیم برق یا بدنه فلزی یک وسیله برقی (مانند یخچال یا کولر...) تماس داشته باشد، جریان قوی از بدن او عبور می‌کند.

شدت برق‌گرفتگی به شدت و مدت عبور جریان برق بستگی دارد و می‌تواند پیامدهای مختلفی نظیر مرگ، ناشی از ایست قلبی - سوختگی داخلی و سوختگی خارجی داشته باشد. بعد از برق‌گرفتگی ممکن است کلیه‌ها از کار بیفتند یا دست‌ها به دلیل سوختگی داخلی قطع شوند و یا به علت پرتاب شدن (به دلیل لرزش ناشی از برق‌گرفتگی)، استخوان‌ها دچار شکستگی گردند. بنابراین، برای جلوگیری از برق‌گرفتگی بایستی از تماس با سیم‌های برق و بدنه فلزی دستگاه‌های برقی که ممکن است اتصال داخلی داشته باشند، خودداری کنیم.

## انواع برق‌گرفتگی

دو نوع برق‌گرفتگی وجود دارد: (۳)

با ولتاژهای بالا

با ولتاژهای پایین

در موارد با ولتاژ بالا، حتماً لازم نیست بدن انسان به‌طور مستقیم با سیم یا کابل برق تماس داشته باشد، بلکه ممکن است در فاصله چند متری هم جریان برق از هوا عبور کند و به بدن فرد منتقل و باعث برق‌گرفتگی شود. در این موارد، هر چقدر ولتاژ برق و رطوبت هوا بالاتر باشد، میزان انتقال و آسیبی که به بدن او وارد می‌شود بیشتر است.

موارد ولتاژ پایین بیشتر در منازل مسکونی اتفاق می‌افتد. مثلاً فرد از سیم لخت و یا وسایل برقی (به‌ویژه آن دسته از وسایلی که در آن‌ها آب ریخته می‌شود) آسیب می‌بیند و یا ممکن است از طریق کلید برق، برق‌گرفتگی ایجاد شود.

در برق‌گرفتگی با ولتاژ پایین بدن فرد دچار لرزش می‌شود، حال آنکه در برق‌گرفتگی با ولتاژ بالا به دلیل گرفتگی عضلات، منجر به اتصال دائم با آن وسیله خواهد شد.

ساختمان بدن انسان و هر جانور زنده دیگر در مقابل جریان برق از مقاومت‌های زیادی تشکیل شده است و به‌طور ساده می‌توان گفت که مقاومت کل بدن انسان برابر مجموع مقاومت‌های اجزای بدن است.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9$$

کمترین مقاومت‌ها مربوط به عضلات و ماهیچه‌ها و حساس‌ترین و ظریف‌ترین آن‌ها دریچه‌های قلبی، کبد، ریه و غده تیروئید است.

بیشترین مقاومت‌ها از پوست بدن شروع و به سلسله مویرگ‌ها می‌رسد که در مقابل جریان برق دچار سوختگی ناگواری می‌شوند.

زیرا شاید برق از محلی عبور کند که موجب از کار افتادن دستگاه تنفس یا اختلال در کار قلب یا حتی هر دو شود. چند نمونه از حالت‌های مختلفی که جریان برق ممکن است از بدن عبور کند، به قرار زیرند:

- از یک دست به یک پا
- از دست راست به پاها
- از دست چپ به پاها
- از پا به پا
- از دست به دست.



▲ شکل ۳. سوختگی شدید در اثر برق فشار قوی

خطرناک‌ترین حالت وقتی است که جریان از یک دست وارد و از دست دیگر خارج شود؛ زیرا در این هنگام جریان برق از قلب و ریه می‌گذرد و می‌تواند باعث از کار افتادن آن‌ها و در نتیجه موجب مرگ انسان شود.

جریان الکتریکی که از بدن انسان می‌گذرد، به دو عامل بستگی دارد؛ اول مقاومت بدن و دوم ولتاژ (یا فشار الکتریکی) که بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در صورتی که بتوانیم به نحوی از ورود جریان به بدن یا خروج آن جلوگیری کنیم، خطر برق‌گرفتگی ایجاد نخواهد شد. این کار با بالا رفتن مقاومت سطح تماس بدن با برق توسط ابزارهای ایمنی مانند دستکش عایق، کفش، کفپوش عایق و غیره امکان‌پذیر خواهد شد.

جریان عبوری از بدن انسان تا رها کردن سیم برق و قطع جریان را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد. (۳)

(الف) جریان‌های کمتر از نیم میلی‌آمپر:

در این حالت بدن انسان عبور جریان برق را احساس نمی‌کند.

(ب) جریان‌های بین نیم میلی‌آمپر تا ۲۰۰ میلی‌آمپر برای مدت کمتر از ۲ میلی‌ثانیه:

در این حالت خطرات و جراحات جدی بر اثر برق‌گرفتگی به وجود نمی‌آید ولی درد زیاد در ماهیچه‌ها و انگشتان و یا مفصل‌ها احساس می‌شود.

(پ) جریان‌های بین نیم میلی‌آمپر تا ۱۰ میلی‌آمپر برای مدت بیشتر از ۲ میلی‌ثانیه:

در این حالت نیز مشابه حالت قبل خطرها و جراحات جدی در اثر برق‌گرفتگی به وجود نمی‌آید ولی با درد زیاد در ماهیچه‌ها و انگشتان- یا مفصل‌ها احساس می‌شود.

(ت) جریان‌های بیشتر از ۲۰۰ میلی‌آمپر:

خطرات و لرزش‌های قلبی در این گروه اتفاق می‌افتد که تا زمان کوتاهی در حدود چند ثانیه با دردهای شدیدی در بازوان و پاها و ماهیچه‌های شانه و اضافه شدن فشار خون و تنگی نفس و تغییر ضربان قلب با احساس بی‌هوشی توأم است. خطرها و لرزش‌های قلبی در این گروه قطعی است. سوزش‌های داخلی قلب و جراحات قلبی بسیار زیاد و از کارافتادن قلب نیز قطعی است و گرفتگی ماهیچه‌ها و دردهای بسیار شدید نیز به همراه دارد. در این گروه، مرگ به واسطه سوختگی‌های داخلی بسیار زیاد حتمی است.

در برق‌گرفتگی، مسیر و مدت عبور جریان برق و پایین آوردن مقاومت بدن شخص مؤثر است. تجربیات نشان داده است که هرچه مدت عبور جریان برق از بدن بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی بدن کمتر می‌گردد، یعنی مقاومت بدن در مقابل عبور جریان در لحظات اول بسیار بیشتر از چند لحظه بعدی است. همچنین مسیر عبور جریان نیز بسیار مهم است؛



▲ شکل ۴. برق‌گرفتگی از نوع دست به دست

صورت گرما ظاهر می‌شود و اساساً گرما و سوختگی تنها آثار شوک ناشی از عبور جریان با بسامدهای بالای ۱۰۰ کیلو هرتز هستند.

## ولتاژ خطرناک برای انسان

حداکثر ولتاژ بی‌خطر برای انسان در شرایط عادی در بسامد ۵۰ هرتز برق شهر حدود ۵۰ ولت است. و در رابطه با جریان مستقیم یا دی‌سی حداکثر ولتاژ بی‌خطر را ۱۲۰ ولت اعلام نموده‌اند.<sup>(۶)</sup>



▲ شکل ۵. سیم‌های بالای سر ما می‌توانند بسیار خطرناک باشند

## مقاومت الکتریکی بدن انسان و تأثیر آن در برق‌گرفتگی

مقاومت الکتریکی بدن انسان ثابت نیست و بر اثر عوامل فردی و شرایط محیط ممکن است تا ۱۰۰ برابر تغییر کند، مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغییر این مقاومت عبارت‌اند از:

### الف) حالات روحی فرد

خستگی، گرسنگی، تشنگی، بی‌خوابی، عصبانیت، خوشحالی، غم و بیماری از عواملی است که مقاومت بدن را می‌تواند به حد زیادی تغییر دهد و کم کند.

### ب) سطح تماس و فشار تماس

هرچه سطح و فشار تماس بیشتر باشد، مقاومت بدن کمتر می‌گردد. البته عوامل دیگری غیر از آنچه ذکر شده وجود دارد که می‌تواند مقاومت بدن را کمتر کند؛ از جمله وقتی که بدن مرطوب و عرق کرده باشد مقاومت آن تا حد زیادی کم می‌شود که در این صورت خطر برق‌گرفتگی چندین برابر افزایش می‌یابد.

بیشترین مقاومت بدن در قسمت پوست است؛ به‌طوری‌که مقاومت پوست‌های خشک و سالم گاهی حتی تا چند درصد هزار اهم نیز می‌رسد. چون جریان برق برای عبور از بدن باید از پوست داخل و خارج شود، هرگونه اقدامی که در جهت بالا

## تأثیر متفاوت جریان‌های الکتریکی مستقیم و متناوب در برق‌گرفتگی

جریان‌های الکتریکی در دو دسته مستقیم و متناوب تقسیم می‌شوند.

### الف) جریان مستقیم

جریان مستقیم جریانی است که جهت و اندازه آن در لحظات مختلف همواره ثابت است. نمونه این نوع جریان، جریان الکتریکی پیل یا باتری و یا ناشی از دستگاه‌های یکسوساز است که جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می‌کنند. مقاومتی که بدن انسان در مقابل جریان مستقیم از خود نشان می‌دهد، بسیار بیشتر از جریان متناوب است؛ به‌طوری‌که می‌تواند عبور تا ۸۰ میلی‌آمپر جریان مستقیم را از بدن تحمل کند، بدون اینکه تأثیر مهمی در دستگاه تنفس و یا قلب بگذارد. البته جریان مستقیم خطر الکترولیز یا تجزیه سریع خون را به همراه دارد که می‌تواند موجب مرگ شود.<sup>(۷)</sup>

### ب) جریان متناوب

جریان متناوب جریانی است که جهت و اندازه آن به‌صورت تناوبی تغییر می‌کند. بدن انسان در مقابل جریان متناوب، مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد و برخلاف جریان مستقیم، که تا ۸۰ میلی‌آمپر خطر جدی پیش نمی‌آورد، در این نوع جریان در ۲۵ میلی‌آمپر خطر برق‌گرفتگی وجود دارد.

### بسامد در جریان متناوب

تعداد دفعاتی که جهت جریان متناوب در واحد زمان عوض می‌شود را بسامد می‌گویند. برای مثال، برق شهر ۵۰ هرتز است؛ یعنی، جهت جریان در هر ثانیه ۵۰ مرتبه تغییر می‌کند. تجربه نشان می‌دهد بسامد ۵۰ تا ۴۰۰ هرتز مهلک‌ترین بسامدهاست. بسامدهای بیشتر از ۴۰۰ هرتز فقط موجب سوختگی در محل می‌گردد. گرچه برای بسامدهای کمتر از ۵۰ هرتز خطر مرگ کاهش می‌یابد ولی استفاده از آن‌ها باعث اتلاف مقادیر زیادی انرژی در خطوط انتقال می‌شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست. به‌دلیل غیرصفر بودن بسامد در برق متناوب (AC)، خطر و آسیب‌های برق‌گرفتگی آن بیشتر از برق مستقیم (DC) است زیرا تغییر جهت مداوم جریان متناوب باعث ایجاد ضربات شدیدی بر سلسله اعصاب می‌شود و منجر به کاهش مقاومت بدن انسان نیز می‌گردد. به همین دلیل، عبور جریان حدود ۲۵ میلی‌آمپر در بسامد ۵۰ تا ۶۰ هرتز می‌تواند باعث از کار افتادن دستگاه تنفس و مرگ انسان شود. در صورتی که جریان‌های بالای ۸۰ میلی‌آمپر در برق مستقیم این شرایط را به‌وجود می‌آورد و باعث مرگ می‌شود. در جریان‌های متناوب (AC) با بسامد ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلو هرتز نحوه تأثیرگذاری جریان برق روی بدن به جای شوک و خارش به

بردن مقاومت محل ورود و خروج جریان صورت گیرد خطر برق‌گرفتگی را کاهش می‌دهد.

استفاده از دستکش و کفش برای کسی که با وسیله‌های برقی سروکار دارد، بسیار حائز اهمیت است؛ چون دستکش و کفش باعث افزایش مقاومت در برابر عبور جریان می‌شوند. شدت آسیب به بدن انسان به عوامل زیر بستگی دارد<sup>(۵)</sup>؛  
 - شدت و نوع جریان (متناوب و مستقیم‌بودن)  
 - مقدار ولتاژ، به طوری که بیش از ۵۰ ولت خطرناک تلقی می‌گردد

- سطح تماس بدن با زمین

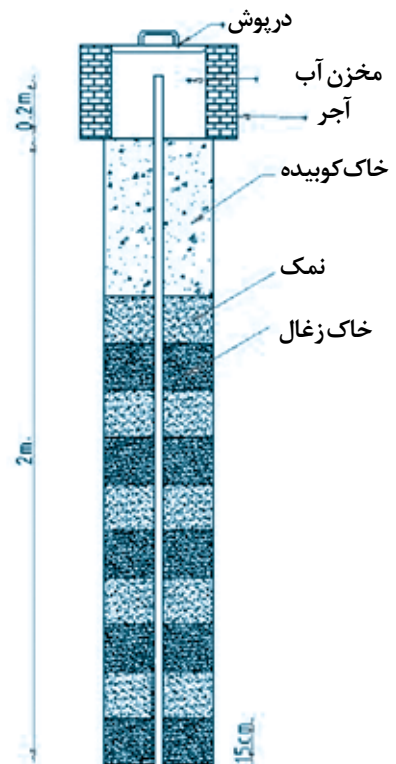
- مدت زمان تماس.

### چند توصیه برای ایمنی بیشتر

۱. هرگز با دستان خیس سیم‌های لخت را امتحان و کلیدهای برق را لمس یا روشن و خاموش نکنید، و اگر ناچارید با پشت دست راست این کار را انجام دهید؛ زیرا موقع برق‌گرفتگی عضلات بدن منقبض و انگشتان دست مشت می‌شوند و به اتصال شدت می‌بخشند.

۲. در سیم‌کشی ساختمان از سیم زمین یا ارت استفاده کنید.

سیم زمین یا اتصال به زمین برای وسایلی مؤثر است که دو شاخه آن‌ها سه سیم فاز، نول و ارت دارد. این گونه وسایل برقی



شکل ۶. نمای کلی چاه ارت

در صورت داشتن اتصال داخلی و یا هر مشکل الکتریکی دیگر کاملاً ایمن هستند؛ چون بدنه آن‌ها از طریق همان سیم ارت به زمین اتصال کوتاه می‌شود و اگر این اتصال کوتاه کامل باشد، فیوز عمل کرده و جریان برق را قطع می‌کند.

برای داشتن یک ارت مناسب، وجود یک چاه ارت الزامی است. چاه ارت چاهی است که در زیرزمین با رعایت قوانین خاصی حفر می‌شود. سپس درون آن یک شبکه فلزی قرار می‌دهند و آن را با استفاده از سیم‌های ضخیم به تمام پریزهای برق می‌رسانند.

پریزهای برق از نوع ارت‌دار (که متأسفانه در ساختمان‌های غیراصولی به کار گرفته نمی‌شود) علاوه بر دو سوراخ مربوط به دو شاخه، یک فنر فلزی هم در محیط گودی پریز دارند که سیم ارت به آن متصل می‌شود.



شکل ۷. نمونه یک پریز مجهز به سیم اتصال به زمین



شکل ۸. نمونه یک پریز غیراستاندارد بدون ارت

۳. در هنگام کار با برق به اعصاب خود مسلط باشید.

۴. موقع کار کردن با سیم‌های برق سعی کنید دست چپ خود را در پشت قرار دهید و با دست راست کار کنید؛ چون دست راست در بیشترین فاصله از قلب قرار دارد.

۵. اگر با سیم‌کشی ساختمان و کار کردن با برق آشنایی کافی ندارید، هرگز در مورد آن کنجکاوی به خرج ندهید.

#### منابع

۱. پورقاضی، اعظم، شیوایی، سیدمهدی، حسن عزیزی و غلامعلی محمودزاده، فیزیک ۱ و آزمایشگاه، تهران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۲.
۲. ذره، مهدی؛ مبانی حفاظت در برابر خطر برق‌گرفتگی (فشار ضعیف)، مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷.
۳. فرانک، ج. پلِت، فیزیک پایه جلد سوم، الکتروسیسته، مغناطیس و الکترومغناطیس، مترجم: محمد خرمی، انتشارات فاطمی، ۱۳۸۵.
۴. محمدی، روح‌الله؛ برق و خطرات آن، تهران، نشر شهر، ۱۳۸۹.
۵. مکتبی، سیدحجت‌الله؛ آموزش ایمنی خطرات جریان‌های الکتریکی، دانشکده صنعت آب و برق شهید عباسپور، ۱۳۸۸.