



دانشگاه فنی و حرفه‌ای – دانشکده انقلاب اسلامی تهران
Technical and Vocational University
(www.tvu.ac.ir)

عنوان درس :

ایمنی در برق

مدرس:

احمد علی شجاعی

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

- بیش از یک قرن از اولین تولید انرژی الکتریکی می‌گذرد. انرژی الکتریکی به علت مزایای قابل توجه آن به سرعت در سراسر جهان توسعه یافت که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- انرژی الکتریکی در مقایسه با سایر صورتهای انرژی ارزانتر است.
- ۲- انرژی الکتریکی به عنوان یک انرژی پاکیزه شناخته شده است.
- ۳- انرژی الکتریکی به سهولت قابل کنترل و انتقال می‌باشد.
- ۴- انرژی الکتریکی به آسانی قابل تبدیل به سایر صورتهای انرژی می‌باشد.

- از معایب انرژی الکتریکی می‌توان به دو مورد زیر اشاره نمود:

- ۱- انرژی الکتریکی قابل ذخیره شدن در مقیاسهای بزرگ نیست.
- ۲- در صورت رعایت نکردن شرایط ایمنی بهره‌برداری خطراتی به همراه دارد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ خطرات انرژی الکتریکی:

۱- خطر ایجاد آتش سوزی

۲- خطر برق گرفتگی

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ خطر ایجاد آتش سوزی:

جریان برق در عبور از مدارات الکتریکی طبق رابطه $P = RI^2$ تلفاتی ایجاد می کند. در شرایط عادی این تلفات به صورت حرارت به محیط اطراف داده می شود لذا، درجه حرارت المانهای مدار اعم از سیمها، کابلها، کلیدها و غیره از حد متعارف تجاوز نمی کند.

در صورتی که وسایل مناسبی در مدار انتخاب نشده باشد، ممکن است درجه حرارت وسایل برقی از حد تجاوز نموده و باعث فرسایش زودرس و از بین رفتن پوشش عایقی سیمها، کابلها و کلیدها گردد.

چون برای ایجاد آتش سه عامل هوا، مواد سوختنی و حرارت (مثلث آتش) شرکت دارند لذا بالا رفتن دمای المانهای مدار یا ایجاد جرقه کافی خواهد بود تا مثلث آتش و در نتیجه آتش سوزی شکل بگیرد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ خطر برق گرفتگی:

برق گرفتگی اثر سوء جریان الکتریکی بر بدن انسان می باشد. فرمانهای صادره از مغز انسان به کمک سلسله اعصاب، که حاوی جریانهای الکتریکی بسیار پایین در حد نانوآمپر هستند، به عضلات می رسند. در صورتی که جریانهای برق قوی تر از خارج روی اعصاب اثر بگذارند موجب خارج شدن کنترل عضلات از اختیار فرد شده و به صورت حرکات ناگهانی و شدید عضلات خود را نشان می دهد. به این پدیده برق گرفتگی یا شوک الکتریکی می گویند.

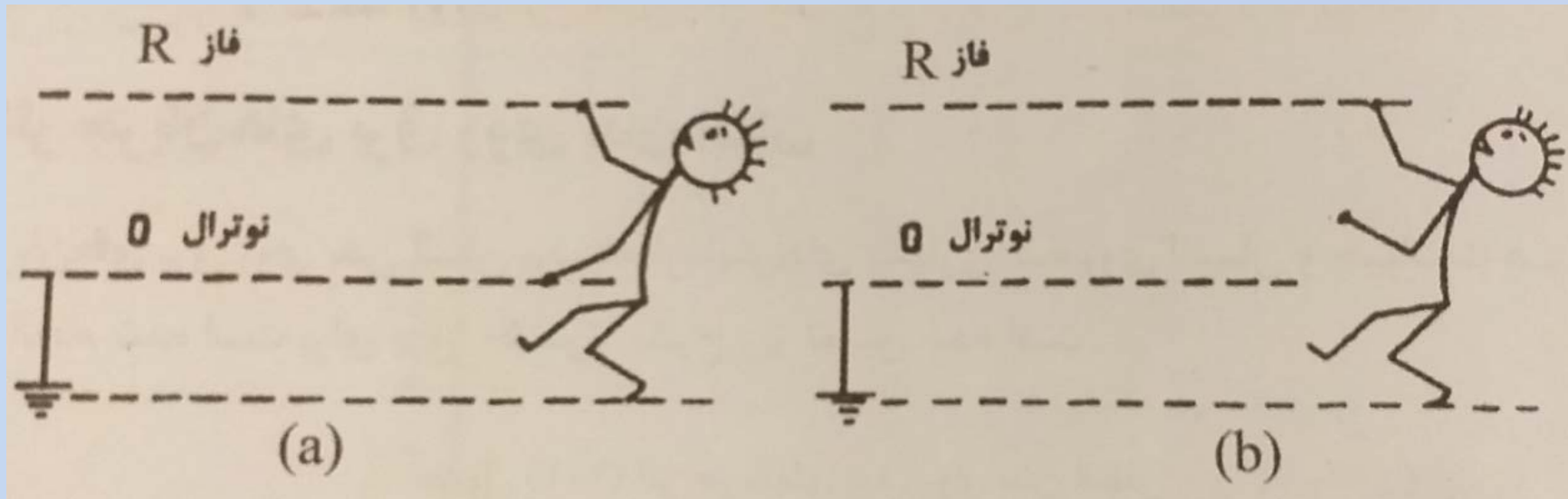
شدت شوک الکتریکی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- میزان جریانی که از بدن عبور می کند. شدت جریان عبوری طبق رابطه قانون اهم ($U = R.I$) به میزان ولتاژ و مقاومت مدار تشکیل شده بستگی دارد.

۲- مسیر عبور جریان از بدن

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ نمایش دو مدار مختلف در برق گرفتگی:



در شکل (a) مصدوم با یک دست به سیم فاز بدون عایق و با دست دیگر به سیم نول متصل است. لذا یک ولتاژ خطرناک بین دستهای او افت می‌کند و از طریق دستها، قفسه سینه او و قسمتی از سیمها مدار بسته‌ای تشکیل می‌شود.

در شکل (b) مدار از طریق بدن و اتصال به زمین و سیم نول، که در پست ترانسفورماتور زمین شده است، تکمیل می‌گردد. مقاومت اتصال بدن به زمین، به وضعیت سطح زمین و پا پوش شخص بستگی دارد. مثلاً اگر شخص کفش با کف لاستیکی پوشیده باشد و روی قالی ضخیم ایستاده باشد مقاومت بسیار زیاد خواهد بود. در حالی که اگر پای او برهنه باشد و بر روی زمین مرطوب ایستاده باشد مقاومت مدار کم شده و جریانهای عبوری از بدن خطرناک خواهد بود.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ بیشترین موارد برق‌گرفتگی در کارخانجات:

۱- تماس با قسمت برق‌دار فازها (سیم دارای ولتاژ)

۲- تماس با سیم نول (سیم بدون ولتاژ) در صورتی که سیم نول مصرف‌کننده به نول شبکه وصل نباشد.

۳- تماس با بدنه دستگاهها در صورت وجود اتصالی بین قسمت برق‌دار با بدنه دستگاه

۴- تخلیه بارهای الکتریکی ذخیره شده در دستگاه برقی در زمان خاموش بودن دستگاه (اثر خازنی)

۵- ایجاد اختلاف ولتاژ بین دو قسمت بدن (مثلاً بین دو پا) در موقع اتصال فاز به زمین

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ اثر جریان‌های برق روی بدن انسان:

اثر جریان‌های برق روی بدن انسان به وسیله آزمایش‌های بسیاری که روی انسان و حیوانات هم‌جثه انسان برای برق ۵۰ هرتز انجام شده است به شرح جدول زیر می‌باشد:

جریان بر حسب میلی آمپر	اثر
$I < 1$	غیر قابل تشخیص
$1 < I < 5$	همراه با ناراحتی قابل تحمل
$5 < I < 12$	همراه با ناراحتی شدید
$I = 16$ (مردان) $I = 10.5$ (زنان)	آستانه از دست رفتن کنترل عضلات و قدرت رها کردن سیم
$I > 30$	اختلال سیستم تنفسی
$I > 75$	بی نظمی یا توقف کامل قلب یا هلاکت

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

در فرکانسهای بالاتر (بیشتر از ۱۰ کیلوهرتز) جریانهای ورودی به بدن به سطوح خارجی بدن محدود می‌شود و از قسمتهای حساس داخلی نمی‌گذرد. برای مثال در فرکانس ۵۰ هرتز جریانهای بیشتر از ۱ میلی‌آمپر قابل تشخیص هستند در حالی که در فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز جریانهای کمتر از ۱۰۰ میلی‌آمپر قابل تشخیص نیستند.

■ مقاومت بدن انسان و مسیرهای احتمالی عبور جریان:

شدت جریانی که از بدن انسان عبور می‌کند بستگی به مقاومت بدن دارد. مقاومت بدن انسان در مقابل جریان الکتریسیته در قسمتهای مختلف بدن متفاوت است به طوری که استخوان و پوست و چربی و غضروف نسبت به عضلات و خون مقاومت بیشتری را در مقابل عبور جریان نشان می‌دهند.

بزرگترین مقاومت بدن در پوست انسان می‌باشد که فاقد عصب و رگهای خونی است. این قشر در حدود ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر ضخامت دارد که می‌توان آن را تقریباً جزء عایقها محسوب نمود. این قشر را قسمت شاخی پوست می‌نامند.

پوست خشک و سالم دارای مقاومت ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ اهم است و در صورتی که قشر شاخی پوست برداشته شود این مقاومت به ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ اهم تنزل خواهد کرد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

ضخامت پوست نقش مهمی در میزان جریان عبوری دارد، به طوری که مقاومت دست یک کارگر در حالت خشک قابل مقایسه با مقاومت پوست دست یک بچه نمی باشد.

مایعات و جنس آنها و درجه حرارتشان در مقاومت پوست اثر می کنند. اسید، باز، نمک و عرق پوست مقاومت آن را خیلی پایین می آورد.

برای پوست سالم و خشک تا ولتاژ ۵۰ ولت، مقاومت پوست بستگی به سطح فشار تماس، رطوبت، نمکی بودن پوست و درجه حرارت دارد.

فشار الکتریکی روی پوست تأثیر زیادی دارد. به طوری که با فشار الکتریکی قشر شاخی پوست سوراخ شده و مقاومت پوست تقلیل می یابد. این اثر در پوستهای نازک در فشار الکتریکی ۴۰-۱۰ ولت مشاهده می شود. در ولتاژ ۲۵۰ ولت و بیشتر، مقاومت پوست بدن مانند بدن بدون پوست می باشد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

علاوه بر مقاومت پوست، مقاومت بدن انسان به محل تماس، سطح تماس، محل ورود و خروج جریان بستگی دارد. پوست بدن را می‌توان عایق غیرکاملی به حساب آورد که عوامل زیر در تغییر مقاومت آن مؤثرند:

- ۱- وضع پوست
- ۲- سطح پوست و استحکام اتصال
- ۳- مقدار شدت جریان و مدت عبور آن
- ۴- فشار الکتریکی (ولتاژ)
- ۵- مسیر عبور جریان
- ۶- نوع جریان الکتریکی و فرکانس آن

با رطوبت و عرق کردن، مقاومت الکتریکی پوست خیلی کم می‌شود. هر قدر سطح تماس الکترودها بیشتر باشد این مقاومت کمتر خواهد شد. مقاومت پوست با مقدار جریان و ازدیاد آن کم می‌شود و اگر مدت عبور جریان بیشتر باشد تعریق پوست پیش آمده و کم شدن مقاومت مشاهده می‌شود.

آزمایشات و تجربه نشان داده که اگر مقاومت بدن انسان در مقابل جریان 0.1 میلی‌آمپر برابر با 500000 اهم باشد در عبور جریان 10 میلی‌آمپری به 8000 اهم می‌رسد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

طبق آزمایشاتی که فریبرگر در آلمان روی اجساد در حالتهای مختلف انجام داد، مقاومت پوست خشک در فشار الکتریکی (ولتاژ) ۲۵۰ ولت از ۱۰۰۰ اهم کمتر نمی‌باشد و برای حالتی که بدن داخل آب است به ۷۵۰ اهم می‌رسد. از این رو، ولتاژ ۲۲۰ ولت، جریانی در حدود ۲۲۰ میلی‌آمپر در بدن برقرار می‌کند که بسیار خطرناک و به احتمال قوی کشنده است.

کمترین ولتاژ ثبت شده که سبب برق‌گرفتگی منجر به مرگ شده است، ۳۸ ولت گزارش شده است.

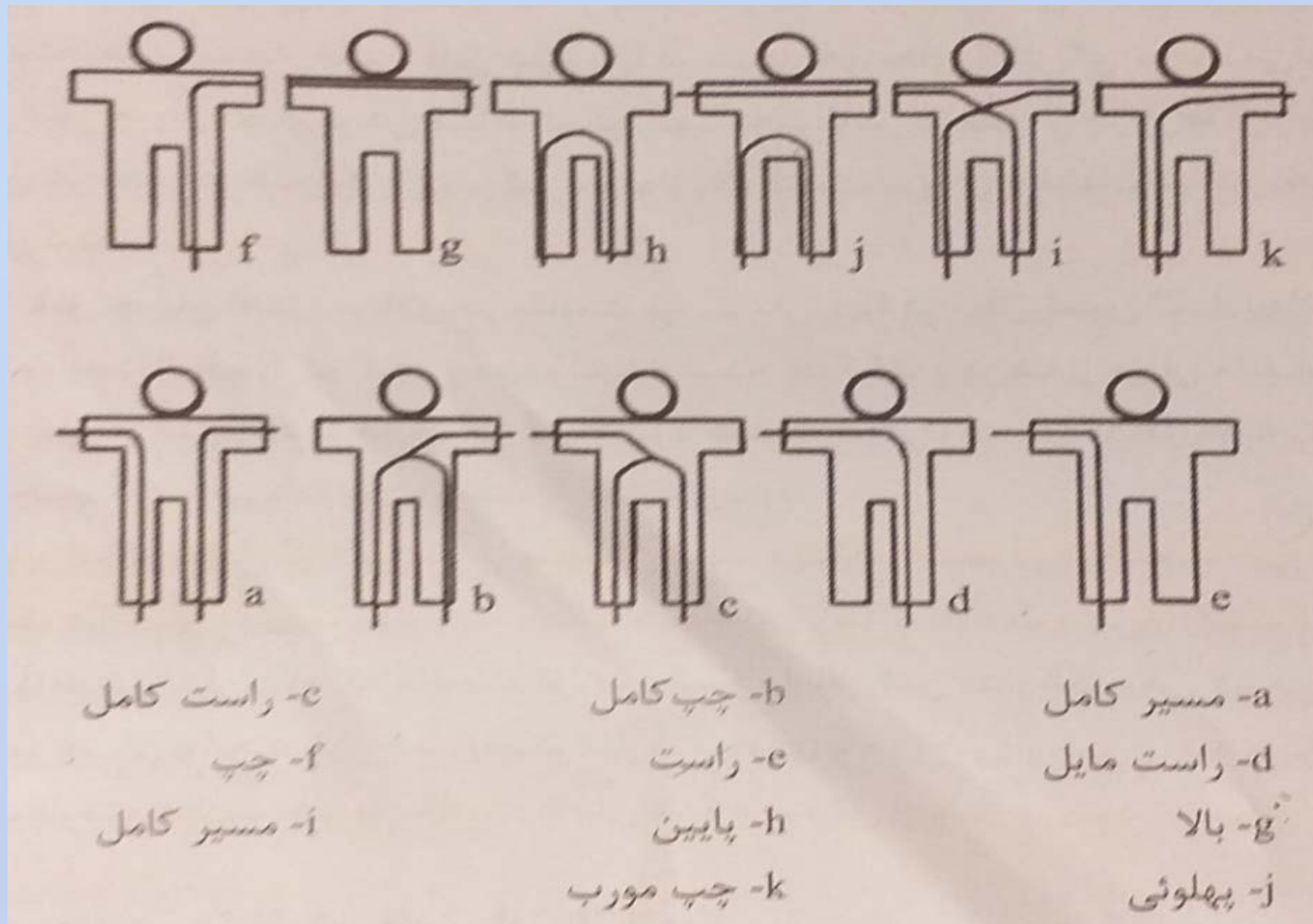
پروفسور جورنو که حالت تحریک قلب را به وسیله فشار الکتریکی ۵۰۰۰ ولت به وجود آورد، مشاهده نمود که مقاومت داخل سینه در حدود ۵۰ اهم می‌باشد.

مقاومت بین دودست و یا دست و پا متغیر بوده و در موقع عبور جریان از قلب سوانح مرگبار پیش می‌آید.

علاوه بر تأثیر عوامل گوناگون بر تغییر مقاومت بدن انسان، وضع روحی شخص نیز ممکن است در تغییر مقاومت مؤثر باشد. خنده، گریه و هیجانات مقاومت بدن را کمتر از حالت آرام می‌نماید.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

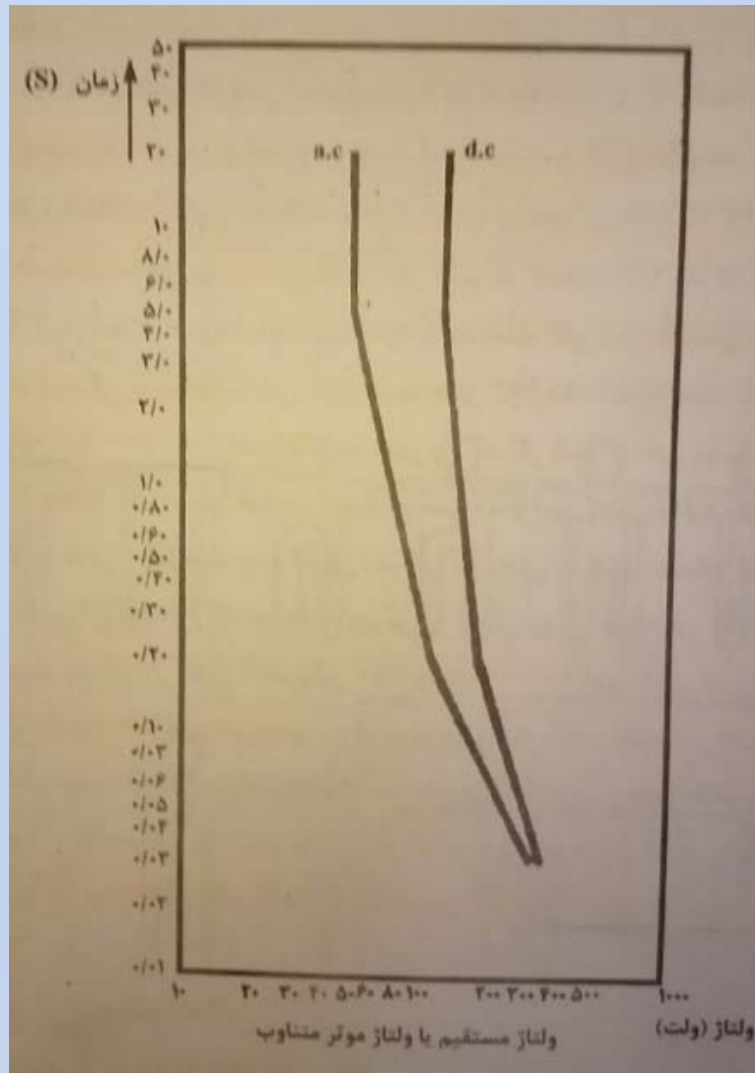
مقاومت الکتریکی در محل ورود و خروج بستگی به مسیر جریان از بدن دارد. طبق اشکال زیر یازده مسیر عبور جریان از بیرون وجود دارد.



➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ بررسی مدت تأثیر مجاز ولتاژ روی بدن انسان:

شکل زیر منحنی تغییرات ولتاژ مستقیم و متناوب را با توجه به مدت زمان تماس مطابق کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC) نشان می‌دهد.



➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

بدن ولتاژ ۵۰ ولت را می‌تواند برای مدت طولانی تحمل کند، لکن ولتاژ ۱۰۰ ولت برای مدتی بیشتر از ۰/۳ ثانیه و ولتاژ ۲۲۰ ولت برای مدتی بیشتر از ۰/۰۵ ثانیه قابل تحمل نمی‌باشد.

بنابراین، وسایل حفاظتی باید طوری انتخاب شوند که در مدت مجاز مدار را قطع کنند. برای مثال اگر سیم فاز ۲۲۰ ولت مستقیماً به بدنه برخورد کند ولتاژ بدنه برابر ۲۲۰ ولت خواهد شد و وسیله حفاظتی باید در ۰/۰۵ ثانیه عمل کند تا شخصی که با بدنه در تماس است آسیب نبیند.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

■ تقسیم‌بندی ولتاژ در تأسیسات الکتریکی:

به طور کلی تقسیم‌بندی ولتاژ در تأسیسات الکتریکی به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- ولتاژ خیلی ضعیف: تا $42/24$ (ولتاژ فاز و ولتاژ خط) ولت در جریان متناوب
- ۲- ولتاژ ضعیف: از $42/24$ ولت تا $380/220$ ولت در جریان متناوب
- ۳- ولتاژ قوی: از $380/220$ ولت تا $57/33$ کیلوولت
- ۴- ولتاژ خیلی قوی: بیش از $57/33$ کیلوولت

■ سطح ولتاژهای استاندارد در خطوط توزیع و انتقال ایران:

- ۱- فشار ضعیف: خطی که دارای ولتاژ کمتر از 1000 ولت است. (380 ولت)
- ۲- فشار متوسط: خطی که دارای ولتاژ از 1000 ولت تا 63000 ولت است. (6 و 20 کیلوولت)
- ۳- فشار قوی: خطی که دارای ولتاژ 63000 ولت و بالاتر است. (63 ، 132 ، 230 و 400 کیلوولت)

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

در مورد فشار ضعیف به واسطه این که میدان الکتریکی در اطراف سیمهای حامل جریان قوی نیست برق گرفتگی الزاماً با تماس اعضاء بدن با سیمهای فاز و نول اتفاق می افتد. در حالی که در فشار قوی به واسطه بالا بودن میدان الکتریکی در اطراف سیمهای حامل جریان، نزدیکی بیش از حد به سیمهای حامل جریان بدون تماس بدن می تواند باعث مرگ و یا نقص عضو گردد.

بارها اتفاق افتاده است که به واسطه نزدیکی بیش از حد کارگر با سیم برق دار، بدون تماس با سیم و به علت ولتاژ فوق العاده زیاد، هوای بین سیم و عضو نزدیک شده یونیزه شده و جریان از این طریق با صدای وحشتناک توأم با جرقه شدید باعث قطع عضو یا مرگ فجیع شده است.

■ حداقل ولتاژ خطرناک:

در الکتروتکنیک محیطهای مختلف زندگی و کار را از نظر شرایط بدنی و هادی بودن آن به چند دسته تقسیم می کنند و برای هر یک حداکثر ولتاژی را که ممکن است بدن را به مدت زمان نسبتاً زیادی بدون ایجاد خطر برق گرفتگی باشد، تعیین می نمایند.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

برای محیطهای عادی زندگی و کار حداکثر ولتاژی که از نظر برق گرفتگی ایمن تشخیص داده می شود، ۵۰ ولت است (در آلمان این مقدار ۶۵ ولت انتخاب شده است) و مقدار ولتاژ ایمنی برای محیطهای با هدایت الکتریکی بالا مثلاً سرویس یا ساخت دیگ که کارگران در محیطی تنگ با هدایت الکتریکی خیلی زیاد کار می کنند، این ولتاژ ۴۲ ولت می باشد.

به طور خلاصه فرض بر این است که در اغلب قریب به اتفاق موارد، در صورتی که ولتاژ برقرار شده بین هادی برق دار با زمین ۵۰ ولت یا کمتر باشد و انسانی تحت این ولتاژ قرار گیرد از نظر برق گرفتگی خطری متوجه وی نخواهد شد.

■ حریم خطوط انتقال انرژی:

حریم خطوط هوایی انتقال و توزیع نیروی برق مطابق مصوبه هیأت وزیران به تاریخ ۱۳۹۴/۰۱/۳۰ در دسترس قرار دارد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

- ۱- حریم زمینی: دو نوار در طرفین مسیر خط و متصل به آن از سطح زمین که عرض هر یک از این دو نوار در این تصویبنامه تعیین شده است.
- ۲- حریم هوایی: نقاطی در هوا در امتداد هادی و به شکل مستطیل ناشی از اعمال حریمهای افقی و عمودی که هادی جریان برق در مرکز قرار دارد.
- ۳- حریم عمودی: فاصله عمودی در هوا از طرفین هادی جریان برق در راستای قائم که در این تصویب نامه تعیین شده است.
- ۴- حریم افقی: فاصله افقی در هوا از طرفین هادی جریان برق در راستای افق که در این تصویب نامه تعیین شده است.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

۱- حریم خطوط هوایی فشار ضعیف: حریم خطوط نیروی برق کمتر از ۱۰۰۰ ولت به صورت زمینی بوده که حداکثر آن ۱/۳ متر می باشد.

۲- حریم خطوط هوایی فشار متوسط:
(الف) ولتاژ ۱۰۰۰ ولت تا ۲۰۰۰۰ ولت به صورت زمینی بوده که حداکثر ۲/۱۰ متر می باشد.
(ب) ولتاژ ۳۳۰۰۰ ولت به صورت زمینی و حداکثر ۳/۵ متر می باشد.

۳- حریم خطوط هوایی فشار قوی:
(الف) ولتاژ ۶۳۰۰۰ ولت به صورت زمینی و برابر ۸ متر می باشد.
(ب) ولتاژ ۱۳۲۰۰۰ ولت به صورت زمینی و برابر ۹ متر می باشد.
(ج) ولتاژ ۲۳۰۰۰۰ ولت به صورت زمینی و برابر ۱۱/۹ متر می باشد.
(د) ولتاژ ۴۰۰۰۰۰ ولت به صورت زمینی و برابر ۱۴ متر می باشد.
(ه) ولتاژ ۷۶۵۰۰۰ ولت به صورت زمینی و برابر ۲۵ متر می باشد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

تبصره: وزارت نیرو می‌تواند در داخل و خارج از محدوده شهرها به صورت کلی یا موردی بر اساس ضوابط ابلاغی آن وزارت، موقعیت محلی و سایر شرایط و به شرط اطمینان از استقامت خط، حریم هوایی را به شرح زیر اعمال نماید. در این صورت سی درصد از حریمهای زمینی بند ۳ (حریم خطوط هوایی فشار قوی) لازم‌الاجرا می‌باشد.

- ۱- در ولتاژ ۶۳۰۰۰ ولت حریم افقی ۳ متر و حریم عمودی ۶ متر می‌باشد.
- ۲- در ولتاژ ۱۳۲۰۰۰ ولت حریم افقی ۴/۵ متر و حریم عمودی ۷ متر می‌باشد.
- ۳- در ولتاژ ۲۳۰۰۰۰ ولت حریم افقی ۶/۵ متر و حریم عمودی ۸ متر می‌باشد.
- ۴- در ولتاژ ۴۰۰۰۰۰ ولت حریم افقی ۹ متر و حریم عمودی ۱۰ متر می‌باشد.
- ۵- در ولتاژ ۷۶۵۰۰۰ ولت حریم افقی ۲۰ متر و حریم عمودی ۱۵ متر می‌باشد.

➤ مزایا و معایب انرژی الکتریکی و خطرات آن:

هرگونه عملیات ساختمانی و اقداماتی نظیر ایجاد تأسیسات صنعتی، مسکونی، مخازن سوخت، انبارداری و تأسیسات دامداری یا باغ یا درختکاری در مسیر و حریم زمینی و هوایی خطوط انتقال و توزیع نیروی برق ممنوع است و فقط اقداماتی از قبیل زراعت فصلی و سطحی، حفظ یا کاشت درختان کم ارتفاع، حفر چاه و قنوات بدون استفاده از دکل حفاری، اکتشاف و بهره‌برداری از معادن، راه‌سازی و احداث شبکه آبیاری مشروط بر این که مانعی برای دسترسی به خطوط برق برای وزارت نیرو و شرکتهای برق ایجاد ننماید و سبب ایجاد خسارت برای تأسیسات خطوط برق نگردد به شرط دریافت مجوزهای لازم از وزارت نیرو بلا مانع است.

حریم کابل‌های برق در زیر زمین و زیر سطح آب نیم متر به صورت افقی و تا دو متر به صورت عمودی از محور کابل مطابق ضوابط فنی وزارت نیرو با حق دسترسی می‌باشد و در صورتی که کابل با سایر تأسیسات شهری از قبیل تلفن، لوله‌کشی آب، فاضلاب، گاز و مانند آن تقاطع نماید ضوابط فنی متداول شبکه انتقال و توزیع نیروی برق باید رعایت گردد.

بَا فَشْكُرْ لِرِزْقِ جِهَنَّا