

۱. اصطلاحات و تعاریف مربوط به ایمنی در برق

۱. جرم کلی زمین (زمین)^۱ (IEC 60050-195)

جرم هادی زمین که پتانسیل الکتریکی آن در هر نقطه، به صورت قراردادی برابر صفر در نظر گرفته می شود.

۲. زمین کردن حفاظتی^۲ (IEC 60050-195)

زمین کردن یک نقطه یا چند نقطه در یک سیستم، در یک تأسیسات یا در یک تجهیز، به منظور ایمنی الکتریکی.

۳. زمین کردن عملیاتی^۳ (IEC 61140)

زمین کردن یک یا چند نقطه در تأسیسات، برای اهدافی غیر از ایمنی الکتریکی، مانند بهبود عملکرد، کنترل نویز یا پایداری ولتاژ.

۴. زمین مرجع^۴ (زمین دور) (IEC 61140)

بخشی از زمین است که تحت تأثیر هیچ یک از جریان های تزریقی ناشی از سیستم زمین مورد بررسی قرار ندارد و بنابراین پتانسیل الکتریکی آن به طور قراردادی صفر در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر، در فاصله ای کافی از الکترودها یا شبکه زمین قرار دارد که افزایش پتانسیل زمین (GPR) ناشی از عبور جریان خطا در آن ناحیه قابل صرف نظر کردن است.

۵. زمین محلی^۵ (IEC 61140)

بخشی از زمین که با یک الکترود زمین در تماس الکتریکی است و پتانسیل الکتریکی آن لزوماً برابر صفر نیست.

۶. خطای زمین^۶ (IEC 61936-1)

حالتی است که در آن یک هادی برق دار با زمین تماس برقرار می کند یا مقاومت عایقی میان هادی برق دار و زمین به مقداری کمتر از حد تعیین شده در الزامات فنی کاهش می یابد. مسیر این تماس ممکن است از طریق عایق آسیب دیده، سازه های رسانا (از جمله تیرها، داربست ها، جرثقیل ها و نردبان ها) یا پوشش های گیاهی (نظیر درختان و بوته ها) برقرار شود و می تواند دارای مقاومت قابل توجه باشد.

^۱ Earth

^۲ Protective Earthing

^۳ Functional Earth

^۴ Remot Earth

^۵ Local Earth

^۶ Earth Fault

۷. شوک الکتریکی (برق گرفتگی)^۷ (IEC 60050-195) و (IEC 61140)

شوک الکتریکی، اثر فیزیولوژیکی ناشی از عبور جریان برق از بدن انسان یا دام است و می تواند اثراتی از سوزش و انقباض عضلات تا آسیب های جدی قلبی یا مرگ ایجاد کند.

۸- قسمت هادی زنده (برق دار)^۸ (IEC 61140)

بخشی از سیستم هادی که در شرایط عادی قرار است تحت ولتاژ باشد و لمس آن می تواند خطرناک باشد. این بخش شامل هادی های فاز، هادی نول و هادی نقطه میانی می شود، اما هادی حفاظتی شامل این تعریف نمی شود.

۹. بدنه هادی^۹ (مقررات ملی)

بخش هادی و قابل لمس از تجهیزات برقی است که در حالت عادی دارای ولتاژ نمی باشد، اما در صورت بروز خطا (مثلاً تماس فاز با بدنه) ممکن است برق دار شود.

۱۰. هادی بیگانه^{۱۰} (مقررات ملی)

اجزای فلزی یا هادی هایی که جزء تأسیسات الکتریکی نمی باشند، اما قادرند در تماس الکتریکی با زمین یا با بخش هایی که در پتانسیل زمین قرار دارند، واقع شوند. این اجزاء معمولاً در شرایط عادی دارای ولتاژ نمی باشند، ولی در اثر بروز خطای الکتریکی در سیستم، ممکن است در معرض پتانسیل خطرناک قرار گیرند.

۱۱. جریان طولی^{۱۱} (IEC 60479-1)

جریانی که از طول بدن انسان، برای مثال از دست به پاها عبور می کند.

۱۲. جریان عرضی^{۱۲} (IEC 60479-1)

جریانی که از عرض بدن انسان، برای مثال از دست به دست عبور می کند.

۱۳. آستانه احساس^{۱۳} (IEC 60479-1)

کمینه مقدار جریان تماس که عبور آن، توسط شخص احساس می شود.

۱۴. آستانه واکنش^{۱۴} (IEC 60479-1)

^۷ Electric shock

^۸ Live Part

^۹ Exposed conductive part

^{۱۰} Extraneous conductive part

^{۱۱} longitudinal current

^{۱۲} transverse current

^{۱۳} threshold of perception

^{۱۴} threshold of reaction

کمینه مقدار جریان تماس که باعث انقباض ماهیچه‌ها غیرارادی می‌شود.

۱۵. آستانه عدم تحرک^{۱۵} (IEC 60479-1)

کمینه مقدار جریان عبوری از بدن که منجر به چنان واکنش عضلانی می‌شود که تا زمانی که جریان عبور می‌کند، فرد نمی‌تواند حرکت اختیاری کند.

۱۶. فیبریلاسیون بطنی^{۱۶} (IEC 60479-1)

فیبریلاسیون بطنی حالتی است که در اثر عبور جریان الکتریکی از بدن انسان، انقباض‌های منظم عضلات بطن‌های قلب از بین رفته و با لرزش‌های سریع و نامنظم جایگزین می‌شود. در این وضعیت، عملکرد پمپاژ موثر قلب متوقف شده و گردش خون بدن از کار می‌افتد. این پدیده شدیدترین اثر فیزیولوژیکی عبور جریان برق بر بدن محسوب می‌شود.

۱۷. جریان تماس^{۱۷} (NFPA 70E)

جریان تماس، جریان الکتریکی است که هنگام تماس بدن انسان یا بدن حیوان با یک یا چند قسمت قابل دسترس از یک تأسیسات یا تجهیزات، از بدن عبور می‌کند. این جریان معمولاً در اثر وجود اختلاف پتانسیل بین قسمت فلزی قابل لمس تجهیزات و زمین یا اجسام رسانای دیگر ایجاد می‌شود.

۱۸. الکتروود زمین^{۱۸} (IEEE 80)

جسم فلزی که برای تامین ارتباط الکتریکی پایدار و کم‌امپدانس بین تأسیسات الکتریکی و زمین در خاک قرار داده می‌شود و به منظور تخلیه جریان‌های ناخواسته به زمین یا جمع‌آوری جریان‌های زمین از سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۹. افزایش پتانسیل زمین (GPR)^{۱۹} (IEEE 80)

به بیشینه اختلاف پتانسیل الکتریکی بین الکتروود زمین و نقطه‌ای دوردست از زمین که پتانسیل آن صفر فرض می‌شود گفته می‌شود. این ولتاژ ناشی از عبور جریان خطا از سیستم زمین بوده و برابر با حاصل ضرب بیشینه جریان شبکه زمین در مقاومت شبکه زمین است.

۲۰. ولتاژ گام^{۲۰} (IEEE 80)

^{۱۵} threshold of immobilization

^{۱۶} Ventricular Fibrillation

^{۱۷} Touch Current

^{۱۸} Ground Electrode

^{۱۹} Ground Potential Rise (GPR)

^{۲۰} Step Voltage

ولتاژ گام نشان‌دهنده اختلاف ولتاژ بین دو نقطه از سطح زمین است که توسط فاصله معمول گام انسان (حدود ۱ متر) از هم جدا شده‌اند. این ولتاژ در هنگام عبور جریان خطا از سیستم زمین ایجاد شده و می‌تواند باعث عبور جریان از بدن فرد شود.

۲۱. ولتاژ تماس^{۲۱} (IEEE 80)

ولتاژ تماس، اختلاف پتانسیل بین افزایش پتانسیل زمین (GPR) یک سیستم زمین و پتانسیل سطحی در نقطه‌ای از زمین که در آن یک فرد ممکن است ایستاده باشد در حالی که هم‌زمان دستش با یک سازه‌ی زمین‌شده تماس دارد. این ولتاژ می‌تواند به‌صورت مدار باز (بدون در نظرگیری مقاومت بدن) یا مدار بسته (با در نظرگیری مقاومت معادل بدن انسان) اندازه‌گیری شود.

۲۲. ولتاژ انتقالی^{۲۲} (IEC 61936-1)

افزایش پتانسیل یک سیستم زمین است که بر اثر جریان عبوری به زمین و از طریق یک هادی متصل‌شده (برای مثال غلاف فلزی کابل، هادی PEN، خطوط لوله یا ریل)، به ناحیه‌ای منتقل می‌شود که نسبت به زمین مرجع دارای افزایش پتانسیل کم یا بدون افزایش پتانسیل است. در نتیجه، اختلاف پتانسیل میان آن هادی و محیط پیرامونی آن ناحیه ایجاد می‌گردد.

۲۳. شبکه زمین^{۲۳} (IEEE 80)

شبکه زمین مجموعه‌ای از الکترودهای به‌هم‌پیوسته است که در الگوی مشخصی در زیر سطح زمین نصب می‌شوند تا گرادیان پتانسیل سطحی را کنترل و مسیر با امپدانس پایین برای تخلیه جریان‌های خطا و صاعقه فراهم کنند. این شبکه معمولاً شامل هادی‌های افقی دفن‌شده در عمق کم است و به‌منظور کاهش مقاومت نسبت به زمین دور، توسط میله‌های زمین و در صورت نیاز الکترودهای کمکی تکمیل می‌شود.

۲۴. محیط غیرهادی^{۲۴} (IEC 61140)

محیطی که در آن تماس با بدنه هادی، به دلیل مقاومت بالای محیط (مانند کف و دیوارهای عایق) و نبود قسمت‌های هادی زمین‌شده دیگر، جریان خطرناک از بدن عبور نمی‌کند و ایمنی برقرار است.

۲۵. مانع محافظتی الکتریکی^{۲۵} (IEC 61140)

^{۲۱} Touch Voltage

^{۲۲} Transferred Voltage

^{۲۳} Ground Grid

^{۲۴} Non-conducting Environment

^{۲۵} Electrically Protective Obstacle

بخشی که از تماس تصادفی بدن انسان یا حیوان با یک قسمت برق‌دار جلوگیری می‌کند، اما مانع تماس عمدی نمی‌شود.

۲۶. حصار محافظتی الکتریکی^{۲۶} (IEC 61140)

بخشی که در برابر تماس انسان یا حیوان با قسمت‌های برق‌دار از هر مسیر دسترسی معمولی حفاظت ایجاد می‌کند. این حفاظ، جلوی تماس مستقیم با قسمت‌های برق‌دار را می‌گیرد و ایمنی قوی‌تری نسبت به مانع محافظتی الکتریکی دارد، چرا که حتی تماس عمدی یا از مسیرهای معمولی را نیز محدود می‌کند (مثل ایجاد حصار توری، اتاقک، قراردادن یک حفاظ پلاستیک شفاف جلوی بخشهای در معرض تماس).

۲۷. محفظه محافظتی الکتریکی^{۲۷} (IEC 61140)

محفظه‌ای که تمام قسمت‌های داخلی تجهیزات را احاطه می‌کند و از دسترسی مستقیم انسان یا حیوان به قسمت‌های برق‌دار از هر مسیر معمولی جلوگیری می‌کند (مثل تابلوی برق، جعبه فیوز، جعبه اتصالات).

۲۸. همبندی هم‌پتانسیل کننده^{۲۸} (IEC 61140)

ایجاد اتصالات الکتریکی بین بخش‌های هادی به گونه‌ای که همه آن‌ها دارای پتانسیل یکسان شوند و اختلاف ولتاژ خطرناک حذف گردد. این نوع اتصال برای حفاظت انسان و حیوان در برابر برق‌گرفتگی ایجاد می‌شود.

۲۹. تماس مستقیم^{۲۹} (IEC 60204-1)

تماس اشخاص و حیوانات با هادی‌های فاز می‌باشد.

۳۰. تماس غیر مستقیم^{۳۰} (IEC 60204-1)

تماس اشخاص و حیوانات با بدنه هادی‌ای که در شرایط بروز اتصالی، برق‌دار شده است.

۳۱. هادی حفاظتی^{۳۱} (PE) (IEC 61140)

هادی که به منظور ایمنی، مانند حفاظت در برابر شوک الکتریکی، فراهم شده است.

۳۲. هادی مشترک حفاظتی/نول^{۳۲} (PEN) (IEC 61140)

^{۲۶} Electrically Protective Barrier

^{۲۷} Electrically Protective Enclosure

^{۲۸} Equipotential Bonding

^{۲۹} Direct contact

^{۳۰} Indirect contact

^{۳۱} Protective (Earthing) Conductor

^{۳۲} Protective Earth and Neutral conductor

هادی که هم برای حفاظت در برابر برق گرفتگی و هم برای انتقال جریان نول به کار می‌رود.

۳۳. هادی هم‌بندی حفاظتی^{۳۳} (IEC 61140)

هادی که برای هم‌پتانسیل‌سازی حفاظتی بین بدنه‌های هادی فراهم شده و هدف آن جلوگیری از اختلاف پتانسیل و کاهش خطر شوک الکتریکی است.

۳۴. هادی اتصال به زمین^{۳۴} (IEC 61140)

هادی است که برای اتصال هادی سیستم زمین یا تجهیزات به یک الکتروود زمین یا به نقطه‌ای در سیستم الکتروودهای زمین (از شبکه زمین) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳۵. پتانسیل زمین^{۳۵} (BS 7430)

پتانسیل الکتریکی زمین اطراف یک الکتروود نسبت به جرم کلی زمین که در اثر عبور جریان از الکتروود به زمین، بر روی سطح زمین یا داخل آن ایجاد می‌گردد.

۳۶. سیستم ولتاژ بسیار پایین ایمن^{۳۶} (SELV) (IEC 61140)

یک سیستم الکتریکی ایمن با ولتاژ بسیار پایین است که در آن مقدار ولتاژ، چه در شرایط عادی و چه در حالت بروز خطا (از جمله خطای زمین در مدارهای دیگر)، هرگز از محدوده مجاز تجاوز نمی‌کند. طراحی سیستم SELV به گونه‌ای است که خطر شوک الکتریکی به حداقل رسیده و ایمنی ذاتی سیستم حتی در شرایط خطا حفظ شود.

۳۷. سیستم ولتاژ بسیار پایین حفاظتی^{۳۷} (PELV) (IEC 61140)

یک سیستم الکتریکی با ولتاژ خیلی پایین است که مقدار ولتاژ آن، چه در شرایط عادی و چه در حالت بروز خطا، از محدوده ولتاژ خیلی پایین فراتر نمی‌رود؛ با این تفاوت که در سیستم‌های PELV، وقوع خطای زمین در مدارهای دیگر می‌تواند مجاز باشد. این سیستم با هدف تأمین ایمنی در برابر شوک الکتریکی طراحی می‌شود و معمولاً یک هادی حفاظتی یا اتصال زمین مشترک دارد.

۳۸. منطقه خطر^{۳۸} (IEC 61140)

^{۳۳} Protective Bonding Conductor

^{۳۴} Grounding Electrode Conductor

^{۳۵} Earth Potential

^{۳۶} Safety Extra-Low Voltage

^{۳۷} Protective Extra-Low Voltage

^{۳۸} Danger Zone

ناحیه‌ای در تجهیزات فشارقوی که براساس حداقل فاصله مجاز ایمنی اطراف قسمت‌های برقدار، خطرناک تعریف می‌شود و در شرایطی که حفاظت کامل برقرار نیست، ورود به این ناحیه از نظر استاندارد معادل تماس مستقیم با قسمت‌های برقدار خطرناک تلقی می‌گردد.

۳۹. جریان نشتی^{۳۹} (IEC 61140)

جریان الکتریکی است که در شرایط کاملاً عادی از یک مسیر غیرعمدی و ناخواسته در یک تجهیز یا سیستم عبور می‌کند. این مسیر معمولاً شامل عایق‌ها، سطوح مرطوب، آلودگی‌ها، خازن‌های پراکندگی یا اتصالات ناخواسته بین قسمت‌های فعال و زمین یا بدنه فلزی تجهیزات است. مقدار این جریان معمولاً کم است اما کنترل و محدودسازی آن برای جلوگیری از شوک الکتریکی، عملکرد صحیح حفاظتی و جلوگیری از تخریب عایق ضروری است.

۴۰. سوختگی الکتریکی^{۴۰} (IEC 61140)

سوختگی الکتریکی نوعی آسیب پوستی یا بافتی است که بر اثر عبور جریان الکتریکی از سطح پوست یا از درون بافت‌های بدن ایجاد می‌شود.

۴۱. ایزولاسیون الکتریکی^{۴۱} (IEC 61140)

ایزولاسیون، عملکردی است که با هدف قطع و حفظ فاصله ایمنی کافی از تمام منابع انرژی الکتریکی انجام می‌شود تا ایمنی افراد تضمین گردد.

۴۲. کلید جریان باقیمانده^{۴۲} (RCD) (IEC 61936-1)

تجهیز یا کلید (الکترومکانیکی) که اگر اختلاف جریان ورودی و خروجی (باقیمانده) آن تحت شرایط معینی به مقدار مشخصی برسد، مدار را قطع می‌کند.

۴۳. کار الکتریکی^{۴۳} (IEC 61936-1)

به هرگونه فعالیت اطلاق می‌شود که مستقیماً روی تأسیسات برق، با استفاده از آن‌ها، یا در مجاورت آن‌ها انجام گیرد، از جمله این فعالیت‌ها عبارتند از آزمایش و اندازه‌گیری، تعمیر، تعویض، اصلاح یا تغییر، توسعه یا گسترش، نصب یا برپا کردن، بازرسی و کنترل.

^{۳۹} Leakage Current

^{۴۰} Electric Burn

^{۴۱} Electric Isolation

^{۴۲} Residual Current Device

^{۴۳} Electrical Work

این تعریف تضمین می‌کند که تمام انواع کارهای مرتبط با تأسیسات برق تحت دامنه کار الکتریکی قرار دارند و مبنای ایمنی و مقررات حفاظتی است.

۴۴. قوس الکتریکی^{۴۴} (NFPA 70E)

تخلیه الکتریکی پیوسته‌ای است که میان دو نقطه یا هادی با اختلاف پتانسیل کافی برای یونیزه کردن هوا یا سایر گازها ایجاد می‌شود و جریان از طریق پلاسمای یونیزه شده عبور می‌کند. این پدیده می‌تواند نور و گرمای شدید تولید کند و در شرایط خاص موجب سوختگی، آتش‌سوزی یا آسیب به تجهیزات و افراد شود.

۴۵. تجهیزات حفاظت فردی^{۴۵} (PPE) (IEC 60050-651)

تجهیزاتی که برای حفاظت فرد در برابر خطرات الکتریکی، مکانیکی، حرارتی، شیمیایی یا سایر خطرات مرتبط با محیط کار استفاده می‌شود. هدف از PPE، کاهش خطر صدمات جانی هنگام کار روی یا نزدیک تأسیسات برق است. تجهیزات حفاظت فردی در زمینه برق شامل وسایلی مانند دستکش‌های عایق برق، کلاه ایمنی عایق، عینک یا شیلد محافظ صورت، لباس عایق یا مقاوم در برابر حرارت و جرقه، کفش ایمنی عایق و غیره می‌باشند.

۴۶. خطر الکتریکی^{۴۶} (NFPA 70E)

وضعیتی خطرناک است که در آن تماس مستقیم یا نقص تجهیزات می‌تواند منجر به شوک الکتریکی، سوختگی ناشی از قوس الکتریکی، سوختگی حرارتی و آسیب ناشی از انفجار قوس شود.

۴۷. قفل‌گذاری و برچسب‌گذاری^{۴۷} (LOTO) (NFPA 70E)

مجموعه‌ای از اقدامات حفاظتی است که شامل قرار دادن دستگاه قفل‌کننده یا برچسب روی وسایل جداساز انرژی می‌شود تا تجهیزات تحت کنترل تا زمان رفع قفل یا برچسب، از بهره‌برداری ایمن خارج شوند. هدف از این اقدام حفاظت پرسنل در برابر انرژی خطرناک و جلوگیری از راه‌اندازی ناخواسته تجهیزات در حین کار است.

۴۸. ارزیابی خطر^{۴۸} (NFPA 70E)

فرآیندی کلی است که در آن خطرات شناسایی شده و احتمال وقوع و شدت صدمات یا آسیب به سلامت تعیین می‌گردد و نیاز به اقدامات حفاظتی مشخص می‌شود.

^{۴۴} Arc Flash

^{۴۵} Personal Protective Equipment

^{۴۶} Electrical Hazard

^{۴۷} Lockout/Tagout

^{۴۸} Risk Assessment

۴۹. تحلیل انرژی حادثه‌ای^{۴۹} (NFA 70E)

بخشی از ارزیابی خطر قوس الکتریکی است که برای پیش‌بینی انرژی حادثه‌ای ناشی از قوس الکتریکی در یک مجموعه شرایط مشخص به کار می‌رود.

۵۰. حوزه تاثیر گذاری الکتروود زمین^{۵۰} (BS 7671)

ناحیه ای از سطح زمین اطراف یک الکتروود (شبکه) که گرادیان ولتاژ در آن وجود داشته باشد.

۵۱. ناحیه داغ (Hot Zone)

منطقه‌ای اطراف شبکه زمین که در آن افزایش پتانسیل زمین (GPR) هنگام وقوع خطا از آستانه ولتاژ تعیین شده فراتر می‌رود. این آستانه در هر کشور متفاوت است و معمولاً حدود ۴۳۰ ولت است.

برای پست‌های با مدارهای با قابلیت اطمینان بالا (شبکه‌های با ولتاژ بالای ۳۳ کیلوولت و زمان رفع خطا کمتر از ۰.۲ ثانیه) تا ۶۵۰ ولت نیز افزایش داد.

۵۲. ناحیه سرد (Cold Zone)

منطقه ای از اطراف شبکه زمین که مقدار افزایش پتانسیل زمین کمتر از ۴۳۰ ولت (یا هر مقدار تعیین شده) باشد.

۲. برق گرفتگی و عوامل تاثیر گذار بر آن

۱-۲. تعریف برق گرفتگی و انواع آن

برق گرفتگی به حالتی گفته می شود که جریان الکتریکی از بدن انسان عبور کند و باعث اثرات فیزیولوژیک، حرارتی یا مکانیکی شود. اثرات ممکن است از احساس سوزش یا گرگز ساده تا انقباض عضلانی، سوختگی موضعی، ایست قلبی یا مرگ متغیر باشد. استانداردهای فنی، برق گرفتگی را نه تنها به عنوان تماس با ولتاژ بلکه به عنوان هرگونه عبور جریان از بدن که منجر به پیامدهای زیان بار شود تعریف و طبقه بندی می کنند؛ بنابراین در ارزیابی خطر باید مسیر جریان، مقدار جریان، مدت زمان تماس و سایر عوامل را مدنظر قرار داد. (IEC 60479-1)

بر اساس اصول ایمنی، انواع برق گرفتگی را می توان به دو دسته ی کلی تقسیم کرد:

۱. **تماس مستقیم (یا تماس با هادی برق دار):** در این وضعیت، اجزای برقدار و تحت ولتاژ یک تاسیسات الکتریکی بدون هیچ نقص فنی در دسترس فرد قرار گرفته اند. بروز حادثه معمولاً به دلیل بی احتیاطی، نبود حفاظت مناسب یا دسترسی آسان فرد به قسمت های برق دار رخ می دهد. به طور معمول، این حالت زمانی اتفاق می افتد که کاربر به طور مستقیم با یک هادی فاز تماس پیدا کند.
۲. **تماس غیر مستقیم (یا تماس با بدنه هادی):** در این حالت، شخص با قسمتی تماس پیدا می کند که در شرایط عادی نباید تحت ولتاژ باشد. این وضعیت معمولاً به دلیل آسیب دیدگی عایق ها، نقص عملکرد تجهیزات، یا اتصال هادی فاز به بدنه ی فلزی دستگاه ایجاد می شود. در نتیجه ی این نقص، بدنه ی هادی دستگاه برق دار شده و تماس فرد با آن منجر به برق گرفتگی غیرمستقیم می شود.

۲-۲. ماهیت برق گرفتگی و تأثیرات آن بر بدن

در برق گرفتگی، شش عامل اصلی و تعیین کننده شدت آسیب و پیامدهای آن وجود دارد که نقش بسیار مهمی در نتیجه نهایی حادثه ایفا می کنند و میزان خطر و شدت جراحات را به طور مستقیم تحت تاثیر قرار می دهند، به طوری که حتی کوچک ترین تغییر در هر یک از این عوامل می تواند تفاوت چشمگیری در اثرات برق گرفتگی ایجاد کند و تصمیم گیری ها در زمینه ایمنی و پیشگیری را تحت تاثیر قرار دهد. این عوامل عبارتند از:

- سطح ولتاژ
- شدت جریان
- مدت زمان عبور جریان از بدن
- مقاومت بدن
- مسیر عبور جریان از بدن
- فرکانس جریان

۲-۲-۱. تأثیر سطح ولتاژ بر برقگرفتگی

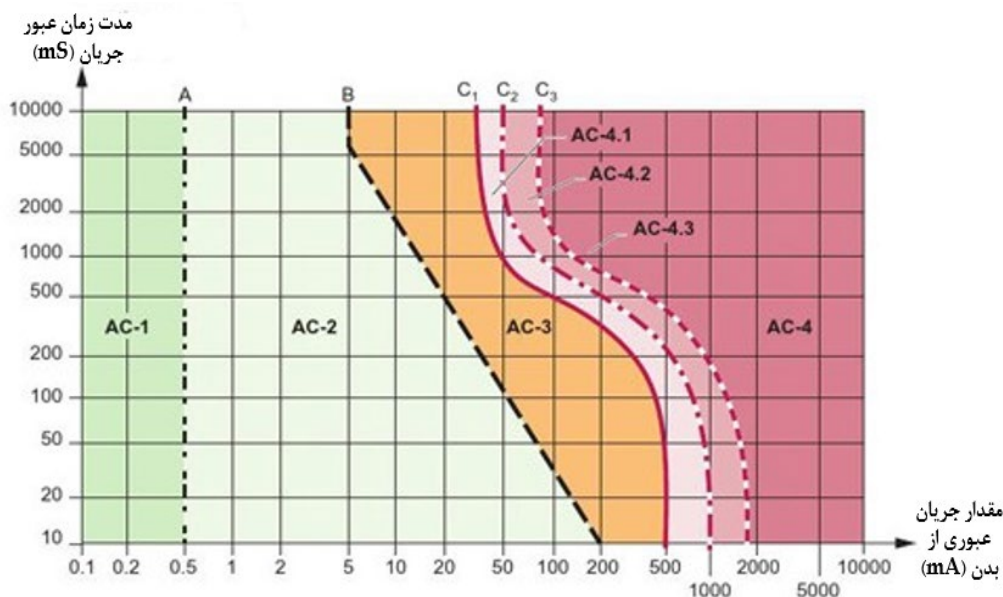
ولتاژ، محرک اصلی ایجاد جریان در بدن انسان است و هرچه میزان ولتاژ تماس افزایش یابد، احتمال برق گرفتگی و شدت پیامدهای آن نیز به طور محسوسی بیشتر می شود. از دیدگاه استانداردهای ایمنی، سطوح ولتاژی کمتر از حدود ۳۰ ولت معمولاً کم خطر محسوب می شوند، اما مقادیر ۵۰ ولت و بیشتر در رده ولتاژهای خطرناک قرار می گیرند. در محدوده ولتاژهای بالا، احتمال بروز انقباض ناگهانی عضلات، ناتوانی در رها کردن منبع، سقوط فرد و همچنین شکل گیری قوس الکتریکی وجود دارد؛ قوسی که دمای آن می تواند به چند هزار درجه سانتی گراد برسد و در مدت زمانی بسیار کوتاه باعث آسیب های شدید حرارتی و از بین رفتن بافت شود. به همین دلیل، کار در مجاورت سامانه های فشارقوی همواره با ریسک وقوع قوس الکتریکی و سوختگی های بسیار عمیق همراه است. حتی پس از قطع جریان نیز نباید بلافاصله به تجهیزات نزدیک شد، زیرا بار خازنی موجود در مدار قادر است در لحظه تخلیه شده و قوس الکتریکی خطرناک دیگری ایجاد کند.

۲-۲-۲. تأثیر شدت جریان بر برقگرفتگی

رفتار فیزیولوژیک بدن انسان در برابر جریان الکتریکی تابع نوع جریان (AC یا DC)، مقدار جریان و شرایط فیزیکی پوست و بافت ها است. استاندارد IEC 60479-1 محدوده های جریان و پیامدهای هریک را با دقت طبقه بندی کرده و NFPA 70E نیز آن را برای تحلیل خطرات شوک الکتریکی و فیبریلاسیون بطنی به کار می برد.

۲-۲-۲-۱. آستانه ها و اثرات فیزیولوژیک جریان بر بدن

آستانه های جریان الکتریکی بر اساس شدت و اثرات آن بر بدن انسان طبقه بندی می شوند. آستانه احساس، سطح جریانی است که برای نخستین بار توسط فرد درک می شود و معمولاً به صورت سوزش یا خارش بروز می کند. این جریان مطابق استانداردها برابر با ۰/۵ میلی آمپر است. این موضوع در شکل (۲-۱) با منحنی زمان-جریان متناوب نمایش داده شده است. همچنین، استاندارد IEC 60479-1 منحنی هایی را برای اثرات جریان مستقیم ارائه می کند که مطالعه آن ها برای درک کامل پاسخ بدن به جریان های مختلف توصیه می شود.



شکل (۲-۱). نمودار نواحی اثر جریان AC بر بدن بر اساس IEC 60479-1

مطابق شکل (۲-۱)، ناحیه AC-1 (آستانه احساس)، ناحیه‌ای است که جریان الکتریکی غیرقابل احساس و کاملاً بی ضرر است. در این ناحیه جریان از ۰/۵ میلی آمپر کمتر است و جریان ۰/۵ میلی آمپر آستانه احساس است. در ناحیه AC-2 (آستانه واکنش)، اثرات جریان کاملاً برگشت پذیرند؛ فرد ممکن است شوک خفیف یا انقباض جزئی عضلات را تجربه کند، اما هیچ آسیب پایدار ایجاد نمی شود و توانایی رهاسازی هادی همچنان وجود دارد. در ناحیه AC-3 (آستانه عدم تحرک)، جریان می تواند موجب انقباض شدید عضلات، ناتوانی در رها کردن هادی و اختلال تنفسی شود. احتمال فیبریلاسیون بطنی در زمان های کوتاه هنوز کم است، اما با افزایش جریان یا زمان تماس، خطر آن بیشتر می شود.

در ناحیه AC-4 (خطر فیبریلاسیون)، خطر جدی برای قلب و تنفس وجود دارد و احتمال فیبریلاسیون بطنی، ایست قلبی و آسیب شدید بسیار بالا است. این ناحیه به سه بخش AC-4.1، AC-4.2 و AC-4.3 تقسیم می شود که میزان احتمال فیبریلاسیون در آنها از ۵ درصد تا بیش از ۵۰ درصد افزایش می یابد. در جدول (۱-۱) (۲)، جمع بندی اطلاعات مرتبط با نواحی مختلف منحنی زمان-جریان متناوب ارائه شده است.

جدول (۲-۱). جمع بندی نواحی استاندارد منحنی زمان-جریان AC

توضیح	ناحیه
غیر قابل احساس	AC-1
قابل احساس امکان جداسازی	AC-2
عوارض برگشت پذیر و عدم امکان جداسازی	AC-3
احتمال عوارض برگشت ناپذیر	AC-4
تا ۵٪ احتمال فیبریلاسیون بطنی	AC-4.1

تا ۵۰٪ احتمال فیبریلاسیون بطنی	AC-4.2
بیش از ۵۰٪ احتمال فیبریلاسیون بطنی	AC-4.3

در تحلیل شرایط برق گرفتگی در بدترین شرایط، عبور جریان در حدود ۳۰ میلی آمپر با مدت زمان تقریبی ۲۰۰ میلی ثانیه به عنوان مرز برق گرفتگی انسان در نظر گرفته می شود، به گونه ای که از ورود به نواحی خطرناک تر جلوگیری می گردد. انتخاب مقادیر نامی و زمان قطع تجهیزات حفاظتی، از جمله RCD، بر اساس همین اصول صورت می گیرد تا پیش از آنکه جریان عبوری از بدن به ناحیه های پرخطر به ویژه AC-4 برسد، مدار قطع شود. برای تعیین دقیق آستانه ورود به ناحیه AC-4، که محدوده ای با احتمال بالای فیبریلاسیون بطنی محسوب می شود، از رابطه تجربی دالتزیل^{۵۱} استفاده می شود. رابطه دالتزیل به صورت زیر تعریف می شود:

$$I = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

که در آن:

I : جریان عبوری قابل تحمل از بدن انسان بر حسب آمپر

t : زمان عبور جریان از بدن بر حسب ثانیه (کوچکتر از ۳ ثانیه)

k : ثابت وزن بدن، که مقدار آن بسته به وزن فرد متفاوت است؛ برای وزن ۵۰ کیلوگرم $k=0.116$ و برای وزن ۷۰ کیلوگرم $k=0.157$

به عنوان مثال اگر مدت زمان قطع کلید ۱ ثانیه باشد و شخص مورد نظر ۵۰ کیلوگرم باشد، با توجه به رابطه دالتزیل، جریان ۱۱۶ میلی آمپر می تواند عبور کند بدون اینکه فرد دچار فیبریلاسیون بطنی شود. **جدول (۲-۲)** نشان دهنده واکنش های تقریبی بدن انسان در برابر عبور مقادیر مختلف جریان است.

جدول (۲-۲). مقدار جریان عبوری از بدن و واکنش بدن

واکنش بدن	مقدار جریان عبوری از بدن
غیر محسوس	$I < 1 \text{ mA}$
تقریباً قابل احساس	$1 \text{ mA} < I < 2/5 \text{ mA}$
حداکثر جریان غیر مضر برای بدن	$2/5 \text{ mA} < I < 4/5 \text{ mA}$
احساس شوک، اما بدون درد	$4/5 \text{ mA} < I < 7/5 \text{ mA}$
احساس درد، اما عضلات تحت کنترل هستند	$7/5 \text{ mA} < I < 9/5 \text{ mA}$
با استمرار جریان احتمال مرگ افزایش می یابد	$9/5 \text{ mA} < I < 30 \text{ mA}$
قطع تنفس، اغلب کشنده	$30 \text{ mA} < I < 55 \text{ mA}$
انقباض قلب در مدت ۱ تا ۴ ثانیه، معمولاً کشنده	$55 \text{ mA} < I < 250 \text{ mA}$

توقف قلب در مدت شوک، امکان برگشت قلب در صورت قطع جریان و زنده بودن انسان	$250 \text{ mA} < I < 3/5 \text{ A}$
سوختگی شدید (تا وقتی که بافت‌ها و بافت‌های حیاتی بدن نسوخته باشند، کشنده نیست)	$3/5 \text{ mA} < I < 10 \text{ A}$

۳-۲-۲. تأثیر مدت زمان عبور جریان از بدن بر برق‌گرفتگی

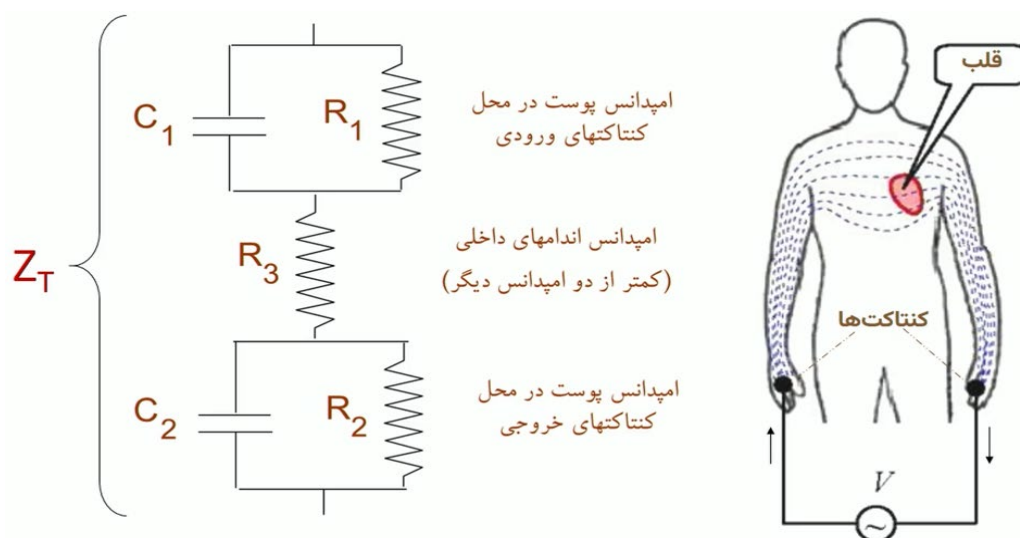
مطابق شکل (۱-۲) هر چه مدت زمان عبور جریان از بدن طولانی‌تر باشد، خطر و شدت آسیب‌های ناشی از برق‌گرفتگی افزایش می‌یابد. بنابراین، اقدام سریع در قطع جریان و جداسازی فرد از منبع برق، نقش حیاتی در کاهش آسیب و نجات جان او دارد. در لحظات اولیه عبور جریان، مقاومت پوست نسبتاً زیاد است؛ با این حال، عبور جریان باعث تولید حرارت در لایه فوقانی پوست که بیشترین مقاومت را دارد، می‌شود و در نتیجه سوراخ‌ها و تخریب‌های موضعی ایجاد شده و مقاومت پوست به سرعت کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت، امکان گسترش جریان و بروز آسیب‌های متعدد بعدی را فراهم می‌کند.

۴-۲-۲. تأثیر مقاومت بدن بر برق‌گرفتگی

مقاومت الکتریکی بدن انسان یکی از بنیادی‌ترین پارامترها در تحلیل ریسک برق‌گرفتگی است و بر اساس استانداردهای IEC 60479، NFPA و تجربیات آزمایشگاهی، مقدار ثابتی ندارد و می‌تواند تحت شرایط مختلف تا ۱۰۰ برابر تغییر کند. لایه خارجی پوست اصلی‌ترین بخش مقاومتی بدن است و رفتار الکتریکی آن ماهیتی غیرفرمی و وابسته به رطوبت دارد.

۱-۴-۲-۲. مدل الکتریکی بدن انسان

بر اساس مدل ارائه شده در شکل (۲-۲)، مقاومت بدن انسان در برابر جریان مستقیم مقدار بالاتری دارد؛ بنابراین در یک ولتاژ مشخص، جریان عبوری در حالت DC کمتر خواهد بود. در مقابل، در جریان متناوب، به دلیل وجود مؤلفه‌های ظرفیتی و رفتار فرکانسی پوست، امپدانس بدن کاهش یافته و جریان عبوری افزایش می‌یابد که به طور مستقیم موجب افزایش سطح خطر می‌شود. به عبارت دیگر، عبور جریان DC عمدتاً از مسیر مقاومتی بدن صورت می‌گیرد در حالی که جریان AC علاوه بر مسیر مقاومتی از مولفه ظرفیت سطحی پوست نیز عبور می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط مشابه ولتاژ، جریان AC اثر فیزیولوژیکی بیشتری داشته و از جریان DC خطرناک‌تر است.



شکل (۲-۲). مدل الکتریکی بدن انسان

۲-۴-۲. محدوده مقاومت بدن

بدن انسان به طور کلی یک رسانا الکتریکی دارای مقاومت محسوب می شود. مقادیر تجربی به صورت زیر گزارش شده اند:

- پوست خشک: $100 \text{ k}\Omega$ تا $600 \text{ k}\Omega$
- پوست مرطوب: حدود $1 \text{ k}\Omega$ و کمتر
- مسیر دست تا پا: 400Ω تا 600Ω
- مسیر گوش تا گوش: حدود 100Ω

این اعداد نشان می دهند که در شرایط مرطوب مقاومت پوست به شدت کاهش یافته و بدن در برابر عبور جریان بسیار حساس تر می شود.

۳-۴-۲. عوامل تعیین کننده مقاومت بدن

مقاومت بدن انسان مقدار ثابتی نیست و تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل فیزیولوژیکی و محیطی قرار دارد. رطوبت، تعریق و دمای پوست بیشترین نقش را در کاهش مقاومت دارند و تماس وسیع یا تحت فشار نیز مقاومت موثر را به طور چشمگیری کاهش می دهد. ضخامت و وضعیت پوست، مسیر عبور جریان و مدت زمان تماس از دیگر عوامل مهم هستند؛ به ویژه اینکه گرم شدن پوست در تماس های طولانی مدت مقاومت را کاهش می دهد. علاوه بر این، نوع جریان به دلیل خصوصیات خازنی پوست بر مقاومت موثر تأثیر می گذارد و شرایط جسمانی و روحی فرد مانند خستگی، کم آبی یا استرس می توانند مقاومت را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهند.

۲-۴-۴. ماهیت دینامیکی مقاومت بدن

با اعمال ولتاژ، بخشی از انرژی الکتریکی در پوست به حرارت تبدیل می‌شود و این گرما می‌تواند لایه مقاومتی سطح پوست را تجزیه کرده و باعث کاهش مقاومت در طول زمان شود. همین رفتار دینامیکی است که در استاندارد IEC 60479-1 مورد تاکید قرار گرفته و علت تغییرپذیری زیاد مقاومت در شرایط واقعی به‌شمار می‌رود.

۲-۵. تأثیر مسیر عبور جریان از بدن بر برق‌گرفتگی

مسیر عبور جریان الکتریکی از بدن انسان یکی از عوامل کلیدی تعیین‌کننده شدت آسیب و پیامدهای ناشی از برق‌گرفتگی است. بر اساس استاندارد IEC 60479-1، محل ورود و خروج جریان، طول مسیر عبور آن و نزدیکی به قلب و سایر اندام‌های حیاتی نقش مستقیم در شدت آسیب و احتمال مرگ دارد. مسیرهای رایج عبور جریان و اثرات آن عبارتند از:

- **دست تا دست:** جریان عبوری معمولاً از قلب عبور می‌کند و شدت پیامدها بسیار وخیم خواهد بود و در جریان‌های بالا، نزدیکی مسیر به قلب ممکن است موجب ایست قلبی گردد. همچنین عبور جریان از این مسیر می‌تواند باعث اسپاسم عضلانی بازو و شانه شود.
- **دست تا پا:** این مسیر خطرناک‌ترین مسیر برای قلب است. جریان عبوری از دست به پا احتمال فیبریلاسیون بطنی را افزایش می‌دهد و یکی از اصلی‌ترین علل مرگ ناشی از برق‌گرفتگی است.
- **پا تا پا:** جریان عمدتاً از اندام‌های تحتانی عبور می‌کند و خطر ایست قلبی کمتر است، اما انقباض شدید عضلات ساق پا، سوختگی بافت‌ها و سقوط فرد می‌تواند موجب آسیب‌های ثانویه شود.
- **سر تا پا (اندام فوقانی تا اندام تحتانی):** عبور جریان از مسیر طولانی که قلب و سیستم عصبی را درگیر کند، بیشترین احتمال ایجاد آسیب‌های قلبی و عصبی و مرگ را دارد. اتصال مستقیم جریان به سر علاوه بر اختلال در سیستم عصبی، ممکن است عوارض طولانی‌مدت ایجاد کند.

شدت آسیب ناشی از برق‌گرفتگی به مسیر عبور جریان، طول مسیر و سطح تماس وابسته است. تماس دست با سیم‌ها یا دستگاه‌های برقی پرخطر بیشترین خطر را دارد، خصوصاً اگر هر دو دست درگیر شوند. مسیرهایی که از قلب عبور می‌کنند، احتمال فیبریلاسیون و مرگ را افزایش می‌دهند، در حالی که مسیرهای محدود به سایر اندام‌ها معمولاً آسیب کمتر و امکان نجات بالاتری دارند.

۲-۶. تأثیر فرکانس جریان بر برق‌گرفتگی

فرکانس جریان الکتریکی یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل شدت اثرات برق‌گرفتگی است. توانایی تحریک اعصاب و عضلات در فرکانس‌های مختلف متفاوت بوده و نوع آسیب ناشی از جریان الکتریکی (تحریکی، عضلانی، قلبی یا

سوختگی) به این عامل وابسته است. استاندارد IEC 60479-1 و مطالعات معتبر نشان می‌دهند که فرکانس‌های متداول برق شهر (۵۰ و ۶۰ هرتز) بیشترین تحریک عصبی و عضلانی را ایجاد می‌کنند و حتی جریان‌های نسبتاً کم می‌توانند باعث احساس شوک، اسپاسم عضلانی و در موارد شدید، فیبریلاسیون بطنی قلب شوند. برای مثال، عبور جریان AC با فرکانس ۵۰ هرتز تنها حدود ۰/۳ میلی‌آمپر برای ایجاد احساس شوک کافی است، در حالی که در فرکانس‌های بالاتر مانند ۱۰۰۰ هرتز، شدت جریان لازم برای تحریک مشابه به حدود ۸۰ میلی‌آمپر افزایش می‌یابد. این تفاوت نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس، جریان تمایل دارد بیشتر از سطح بدن عبور کند تا عمق آن، پدیده‌ای که به اثر پوستی^{۵۲} شناخته می‌شود. به همین دلیل، صاعقه که دارای فرکانس بسیار بالا است معمولاً باعث مرگ نمی‌شود اما می‌تواند سوختگی سطحی شدید ایجاد کند.

۳-۲. شناسایی انواع مخاطرات الکتریکی مرتبط با تجهیزات و محیط کار

خطرات الکتریکی یکی از مهم‌ترین ریسک‌های موجود در محیط‌های صنعتی و کاری است که می‌تواند منجر به آسیب‌های جدی فیزیکی، سوختگی و حتی مرگ شود. این خطرات ناشی از تماس مستقیم با جریان برق، خرابی تجهیزات، طراحی نامناسب، شرایط محیطی و خطاهای انسانی هستند. شناخت دقیق انواع مخاطرات و سازوکار آن‌ها، اساس برنامه‌های ایمنی الکتریکی و استانداردهای صنعتی است. در ادامه به بررسی انواع مخاطرات الکتریکی پرداخته می‌شود.

۳-۲-۱. شوک الکتریکی

شوک الکتریکی ناشی از عبور جریان از بدن انسان است و می‌تواند اثرات شدیدی بر سیستم عصبی، عضلانی و قلب داشته باشد. شدت و نوع این اثرات به پارامترهایی مانند مقدار جریان، مسیر عبور آن (ت دست تا دست یا دست تا پا)، نوع جریان (AC یا DC)، فرکانس و مدت زمان تماس بستگی دارد. پیامدهای این پدیده همانطور که در بخش قبل ذکر گردید شامل تحریک و گرفتگی عضلات، از دست رفتن کنترل عضلانی، فیبریلاسیون بطنی و در موارد شدید، ایست قلبی است.

۳-۲-۲. قوس الکتریکی و انفجار آرک

قوس الکتریکی و انفجار آرک ناشی از آزاد شدن ناگهانی انرژی بین هادی‌ها یا بین هادی و زمین است و می‌تواند پیامدهای جدی ایجاد کند. این پدیده منجر به سوختگی‌های شدید، پرتاب قطعات فلزی، آسیب مکانیکی ناشی از موج انفجار و تخریب تجهیزات می‌شود. شدت این خطر با میزان انرژی آزاد شده و شرایط محیطی مرتبط است و می‌تواند ایمنی کارکنان و تجهیزات را به شدت تهدید کند. محاسبه انرژی حادثه و تعیین حد قوس الکتریکی بر اساس IEEE 1584 و روش‌های پذیرفته‌شده مرتبط انجام می‌شود.

۲-۳-۳. خطرات حرارتی و سوختگی

خطرات حرارتی ناشی از تماس مستقیم با اجزا داغ یا تابش حرارتی قوس الکتریکی است و ممکن است باعث آسیب‌های پوستی و داخلی شود. سوختگی‌های ناشی از این خطرات می‌تواند از درجه دوم تا سوم متغیر باشد و شدت آن به مدت تماس و میزان انرژی حرارتی وابسته است.

۲-۳-۴. خطرات ثانویه مکانیکی، سقوط و آتش سوزی

خطرات ثانویه ناشی از برق‌گرفتگی یا ترس ناگهانی شامل سقوط، برخورد با اشیاء و خطرات ناشی از آتش‌سوزی است. جریان‌های خطا و قوس الکتریکی می‌توانند باعث ایجاد آتش یا انفجار شوند و بدین ترتیب ایمنی افراد و محیط کار را به خطر اندازند.

۲-۳-۵. خرابی عایق و فرسودگی کابل‌ها

خرابی یا فرسودگی عایق کابل‌ها و دستگاه‌ها می‌تواند منجر به تماس غیرمستقیم یا ایجاد قوس الکتریکی شود. این خطر یکی از رایج‌ترین عوامل حوادث الکتریکی در محیط‌های صنعتی است و معمولاً با معاینه بصری و ارزیابی تجهیزات شناسایی می‌شود.

۲-۳-۶. اتصالات نامطمئن و شل

اتصالات معیوب یا شل می‌توانند موجب ایجاد نقاط داغ، اکسیداسیون و قوس الکتریکی شوند. این پدیده خطر ایجاد شوک یا آسیب به تجهیزات را افزایش می‌دهد و یکی از منابع بالقوه حوادث الکتریکی است.

۲-۳-۷. اتصال زمین نامطلوب

خطا در سیستم ارتینگ یا عدم اتصال صحیح بدنه فلزی دستگاه‌ها می‌تواند اختلاف پتانسیل خطرناک ایجاد کند. این وضعیت، احتمال ایجاد شوک الکتریکی در تماس با بدنه فلزی تجهیزات را افزایش می‌دهد و در محیط‌های صنعتی با ترانس‌ها، تابلوها و موتورهای صنعتی شایع است.

۲-۳-۸. اتصال بدنه و ایجاد ولتاژ تماس

تماس افراد با بدنه فلزی تجهیزاتی که دارای اختلاف پتانسیل هستند، یکی دیگر از خطرات جدی محسوب می‌شود. ولتاژ تماس ناشی از اتصال بدنه، می‌تواند منجر به شوک الکتریکی شدید و اثرات تهدیدکننده زندگی شود.

۲-۳-۹. اتصال کوتاه و اضافه بار

اتصال کوتاه ناشی از تماس دو سیم بدون عایق باعث عبور جریان شدید از مدار می‌شود و ممکن است منجر به قوس الکتریکی و آتش‌سوزی گردد. همچنین اضافه بار و عبور جریان بیش از ظرفیت سیم‌ها به مدت طولانی، باعث گرم شدن سیم‌ها و در نهایت منجر به آتش‌سوزی می‌گردد.

۲-۳-۱۰. خطرات محیطی

شرایط محیطی نامناسب نقش اساسی در افزایش احتمال بروز حوادث الکتریکی دارد. رطوبت با کاهش مقاومت پوست انسان، شدت جریان عبوری در هنگام تماس را افزایش داده و احتمال وقوع شوک الکتریکی را بالا می‌برد. فضاهای محدود نیز به دلیل محدودیت حرکت، کاهش دید و دشواری دسترسی به تجهیزات، خطر تماس ناخواسته با اجزای برق‌دار را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، محیط‌های خورنده و دماهای بالا با ایجاد خوردگی، تخریب عایق‌ها و تضعیف اتصالات الکتریکی، منجر به ایجاد نقاط ضعف در تجهیزات می‌شوند و احتمال بروز خطاهای الکتریکی و حوادث ناشی از آن‌ها را تشدید می‌کنند. مجموع این عوامل محیطی، در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند ریسک حوادث الکتریکی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد.