

الزامات عمومی و روش‌های کاربردی در

مدیریت ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی

تألیف:

دکتر محمد فلاح تفتی

عضو هیئت علمی مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون



مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی
طب انتقال خون



مركز تحقيقات
بيانات انتقال خون ايران

مركز تحقيقات انتقال خون

مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون

بسم الله الرحمن الرحيم

سرشناسه	: فلاح تفتی، محمد، ۱۳۳۷-
عنوان و نام پدیدآور	: الزامات عمومی و روش‌های کاربردی در مدیریت ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی / تألیف محمد فلاح تفتی.
مشخصات نشر	: تهران: موسسه فرهنگی انتشاراتی زهد: سازمان انتقال خون ایران، مرکز تحقیقات: موسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۲۴ ص.: مصور، جدول.
شابک	: 978-622-5307-18-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۲۴-۲۲۳.
موضوع	: پزشکی -- ابزار و وسایل -- پیش‌بینی‌های ایمنی Medical instruments and apparatus-- Safety measures ایمنی (پزشکی) Immunity
شناسه افزوده	: سازمان انتقال خون ایران. مرکز تحقیقات
شناسه افزوده	: موسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون
رده بندی کنگره	: ۸۵۶/۶R
رده بندی دیویی	: ۶۸۱/۷۶۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۴۶۹۵۷۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا



الزامات عمومی و روش‌های کاربردی در مدیریت ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی

تألیف: دکتر محمد فلاح تفتی

ناشر: انتشارات زهد

با همکاری مرکز تحقیقات انتقال خون؛

مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون

صفحه‌آرا: فاطمه حامدی یکتا

نوبت چاپ: اول، زمستان ۱۴۰۲

شمارگان: ۱۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۳۰۷-۱۸-۶

قیمت: ۲۵۰۰۰۰ تومان

کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ است

نشانی ناشر: تهران- خیابان انقلاب- خیابان قدس- نبش بزرگمهر- پلاک ۷- واحد ۱۰

تلفن و دورنگار: ۶۶۴۹۹۲۶۱-۳

فهرست مطالب

دیباجه.....	۱۱
پیشگفتار.....	۱۳
فصل اول: جریان برق و کاربردهای آن.....	۱۵
۱-۱. جریان برق در فعالیت‌های پزشکی.....	۱۵
۲-۱. جریان برق در بیمارستان‌ها.....	۱۶
۳-۱. استانداردهای ایمنی برق در بیمارستان‌ها.....	۱۷
۴-۱. توصیه‌های ایمنی الکتریکی.....	۳۰
۵-۱. جریان نشتی.....	۳۳
۶-۱. انواع جریان‌های نشتی.....	۳۳
۷-۱. شوک الکتریکی.....	۳۴
۸-۱. انواع شوک الکتریکی.....	۳۵
۹-۱. اثرات شوک الکتریکی.....	۳۶
۱۰-۱. انواع خطرات برق.....	۳۷
۱۱-۱. علل بروز حوادث الکتریکی در بیمارستان‌ها.....	۳۸
۱۲-۱. انواع روش‌های ایمن‌سازی مراکز درمانی.....	۳۹
فصل دوم: سیستم‌های توزیع نیروی الکتریکی بیمارستان.....	۴۵
۱-۲. خصوصیات برق سالم.....	۴۵
۲-۲. الکتریسیته.....	۴۷
۳-۲. عوامل الکتریکی.....	۴۸
۴-۲. مدارهای الکتریکی.....	۵۲
۵-۲. فیوز.....	۵۴
۶-۲. تفاوت نول و ارت.....	۵۴
۷-۲. انواع اتصالات زمین.....	۵۵
۸-۲. سیستم‌های توزیع نیرو و تغذیه ایمن براساس استاندارد.....	۶۰
۹-۲. نقش سیم‌های حفاظتی در سیستم ارتینگ.....	۶۱
۱۰-۲. ولتاژ تماس یا ولتاژ بی خطر.....	۶۲

۱۱-۲	جریان الکتریکی و کاربران	۶۴
۱۲-۲	طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ تأمین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی	۶۵
۱۳-۲	طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ حفاظت در برابر برق‌گرفتگی	۶۶
۱۴-۲	طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ وضعیت کار	۶۷
۱۵-۲	ایمنی تجهیزات پزشکی	۶۸
۱۶-۲	انواع حوادث در بیمارستان‌ها	۶۹
۱۷-۲	ارزیابی میزان ارت شبکه برق‌رسانی	۷۲
۱۸-۲	سیستم‌های پشتیبان از شبکه برق بیمارستانی	۷۳
۱۹-۲	دیزل ژنراتور یا سیستم برق اضطراری	۷۳
۲۰-۲	محافظ برق	۸۱
۲۱-۲	رگولاتور، تثبیت‌کننده ولتاژ یا استابلایزر	۸۲
۲۲-۲	استابلایزرهای پزشکی، دندان‌پزشکی و آزمایشگاهی	۸۴
۲۳-۲	ضرورت منبع تغذیه بدون وقفه (UPS) در تجهیزات پزشکی بیمارستان‌ها و آزمایشگاه‌ها	۸۷
۲۴-۲	ترانس ایزوله	۹۰
۲۵-۲	تابلو فرمان	۹۱
۲۶-۲	سیم کشی و اتصالات	۹۲
۹۵	فصل سوم: اثرات جریان برق بر بدن انسان	
۱-۳	ساختار الکتریکی بدن انسان	۹۵
۲-۳	امپدانس بدن انسان	۹۶
۳-۳	الکتروفیزیولوژی	۹۶
۴-۳	شرایط محیطی جریان‌ها و ولتاژهای مجاز برای بدن انسان	۹۸
۵-۳	برق‌گرفتگی	۹۹
۶-۳	حداکثر شدت جریان مجاز برای بدن انسان	۱۰۱
۷-۳	حداقل ولتاژ برق‌گرفتگی	۱۰۴
۸-۳	اثرات فرکانس	۱۰۵
۹-۳	اثرات امواج الکترو مغناطیس بر بدن	۱۰۶
۱۰-۳	مقاومت‌های الکتریکی بدن انسان	۱۰۷
۱۱-۳	مدت زمان تماس یا تأثیر عبور جریان	۱۱۵

۱۲-۳	مسیر عبور جریان	۱۱۷
۱۳-۳	شدت عبور برق	۱۱۹
۱۴-۳	قوس الکتریکی	۱۲۱
۱۵-۳	آثار عبور جریان برق بر اعضای بدن	۱۲۱
۱۶-۳	خطرات و عوارض برق گرفتگی	۱۲۲
۱۷-۳	سوختگی	۱۲۵
۱۸-۳	فیبریلاسیون بطنی	۱۲۶
۱۹-۳	اختلالات قلبی عروقی	۱۳۰
۲۰-۳	اختلالات سیستم عصبی	۱۳۱
۲۱-۳	انقباض عضلانی	۱۳۲
۲۲-۳	تجزیه خون	۱۳۲
۲۳-۳	اختلالات و ضایعات عصبی	۱۳۲
۲۴-۳	استخوان	۱۳۲
۲۵-۳	پوست	۱۳۳
۲۶-۳	تأثیر بر روی سلسله اعصاب و تنفس	۱۳۳
۲۷-۳	سیستم گوارشی	۱۳۴
۲۸-۳	سیستم عضلانی - اسکلتی	۱۳۵
۲۹-۳	سیستم کلیوی	۱۳۵
۳۰-۳	اختلالات حسی (شنوایی و بینایی)	۱۳۵
۳۱-۳	اقدامات امدادی در اثر برق گرفتگی	۱۳۶
۳۲-۳	ایمنی الکتریکی در فضاهای بیمارستان	۱۳۷
۱۳۹	فصل چهارم: سیستم ارتینگ	
۱-۴	ارت یا زمین الکتریکی	۱۳۹
۲-۴	عملکرد ارتینگ	۱۴۰
۳-۴	کاربرد سیستم ارتینگ	۱۴۱
۴-۴	مقاومت ویژه خاک	۱۴۲
۵-۴	عوامل مؤثر در مقاومت ویژه خاک و کارایی سیستم ارتینگ و چاه ارت	۱۴۴
۶-۴	اندازه گیری مقاومت زمین	۱۴۵
۷-۴	اندازه گیری مقاومت الکتروود زمین	۱۵۰

۸-۴	افت پتانسیل و روش سه سیم.....	۱۵۲
۹-۴	روش افت پتانسیل کلاسیک.....	۱۵۴
۱۰-۴	ارت سنج سه سیمه.....	۱۵۵
۱۱-۴	انواع زمین در سیستم‌های الکتریکی.....	۱۵۶
۱۲-۴	زمین الکتریکی خوب.....	۱۶۱
۱۳-۴	جرم کلی زمین (زمین ایده‌آل).....	۱۶۲
۱۴-۴	کاهش مقاومت زمین از طریق تعویض یا آماده‌سازی خاک.....	۱۶۲
۱۵-۴	کاربرد بنتونیت (مواد کاهنده) در چاه ارت.....	۱۶۲
۱۶-۴	انواع الکترودهای زمین.....	۱۶۴
۱۷-۴	الکترودهای قائم.....	۱۶۷
۱۸-۴	الکترودهای افقی.....	۱۷۱
۱۹-۴	ساختمان و جنس الکترودهای صفحه‌ای مشبک (مسی یا آهن گالوانیزه).....	۱۷۳
۲۰-۴	سایر روش‌های اجرای ارت میله‌ای.....	۱۷۵
۲۱-۴	الکترودهای اساسی زمین.....	۱۷۷
۲۲-۴	چاه ارت.....	۱۷۸
۲۳-۴	انواع چاه ارت الکتریکی.....	۱۸۱
۲۴-۴	روش اجرای ارت به روش عمقی.....	۱۸۴
۲۵-۴	همبندسازی سیستم ارتینگ.....	۱۸۸

فصل پنجم: ایمنی و حفاظت از سیستم شبکه برق‌رسانی..... ۱۸۹

۱-۵	مقدمه.....	۱۸۹
۲-۵	الزامات اساسی در ایمنی و حفاظت از سیستم برق‌رسانی.....	۱۹۰
۳-۵	اتصال زمین.....	۱۹۱
۴-۵	مقاومت زمین.....	۱۹۲
۵-۵	سیستم اتصال زمین.....	۱۹۳
۶-۵	روش‌های تأمین حفاظت الکتریکی.....	۱۹۳
۷-۵	الزامات عمومی در تأمین ایمنی الکتریکی.....	۱۹۶
۸-۵	پریزها.....	۱۹۷
۹-۵	شرایط عمومی پریز برق ساختمان.....	۱۹۹
۱۰-۵	نوع و ارتفاع نصب پریزها.....	۲۰۰

۱۱-۵. ایمنی ابزار برقی در شبکه برق رسانی.....	۲۰۰
۱۲-۵. اتصال کلیدها و پریزها.....	۲۰۱
۱۲-۵-۶: سیم کشی قدیمی یا استفاده از سیم و کابل غیر استاندارد و معیوب.....	۲۰۵
۱۲-۵-۷. استفاده از سهراهی ها در فرآیند استفاده از تجهیزات الکتریکی.....	۲۰۵
۱۲-۵-۸. فرسودگی پریز یا عایق کابل دوشاخه.....	۲۰۶
۱۲-۵-۹. فرسودگی، صدمه یا ضربه به کابل برق.....	۲۰۶
۱۳-۵. اتصال کوتاه.....	۲۰۷
۱۴-۵. بار اضافه به پریزها.....	۲۰۸
۱-۵. اتصال دوشاخه ارت دار.....	۲۰۹
۱۶-۵. فیوز.....	۲۰۹
۱۷-۵. اجزای تشکیل دهنده فیوز.....	۲۱۱
۱۸-۵. انواع فیوز.....	۲۱۱
۱۹-۵. رله های حفاظتی.....	۲۱۷
۲۰-۵. عوامل بروز اتصالات در شبکه ها.....	۲۱۸
۲۱-۵. عملکرد رله ها.....	۲۱۹
۲۲-۵. بازرسی های روتین (PM) الکتریکی تجهیزات الکتریکی.....	۲۲۱
۲۳-۵. شرایط ایمن سازی شبکه برق رسانی و خطوط.....	۲۲۱
مرجع.....	۲۲۳

دیباچه

با یاد و نام خداوند متعال

با توسعه استفاده از ابزار و تجهیزات پزشکی به‌ویژه در امر پیشگیری، تشخیص، درمان، مراقبت و غیره، ضرورت تدوین قوانین و دستورالعمل‌های جامع در تأمین ایمنی کاربران و حفاظت از دستگاه‌ها دو چندان گردیده است. در سالیان اخیر سازمان‌های بین‌المللی و ملی تلاش‌های فوق‌العاده‌ای در امر تدوین، تصویب قوانین و دستورالعمل‌های مفید و مؤثر در زمینه‌های بهره‌برداری، حفظ و نگهداری، پشتیبانی صحیح با هدف افزایش دقت، صحت، سرعت و تضمین ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی به‌کار گرفته‌اند، از جمله شاخص‌ترین و جامع‌ترین آنها، سلسله دستورالعمل‌های استاندارد IEC است که سازمان بین‌المللی IEC در زمینه فرآیند سیستم برق‌رسانی با هدف تأمین ایمنی و حفاظت الکتریکی ابزار و تجهیزات الکتریکی پزشکی در بخش‌های مختلف مراکز درمانی تهیه و توصیه نموده است.

مراکز انتقال خون به‌عنوان مکان ارائه‌دهنده خدمات پزشکی به بیماران باید کاملاً ایمن و از هرگونه خطری برای مراجعین، بیماران و کارکنان خود به دور باشند. در این رابطه تنها روش مطمئن برای جلوگیری از این خطرات و صدمات، وجود یک سیستم برنامه‌ریزی شده منظم با هدف نظارت، رعایت قوانین و مقررات سرویس‌های نگهداری علمی، کنترل دقیق و مستمر کلیه دستگاه‌ها و سیستم‌های مورد استفاده به صورت دوره‌ای است تا از این طریق سلامت و ایمنی آنها تضمین گردد. لذا وجود نیروهای آموزش‌دیده، به‌کارگیری نیروهای توانمند و متناسب با فعالیت دستگاه‌ها، وجود برنامه‌های منظم و مستمر بازدید و نگهداری دوره‌ای تجهیزات و دستگاه‌ها، شناخت کافی خطرات، تأمین حفاظت و ایمنی کاربران و دستگاه‌ها به‌وسیله کارشناسان در مراکز انتقال خون باعث می‌شود تا ضمن جلوگیری از تحمیل هزینه‌های سرسام‌آور برای تعمیر، تعویض و جایگزینی قطعات و تجهیزات، منجر به حفاظت و استفاده بهینه از تجهیزات و دستگاه‌ها نیز بشود.

در این کتاب به عنوان یک مرجع آموزشی به سلسله مطالب و اطلاعاتی به صورت جامع و شفاف اشاره شده است که کاربران ابزار و تجهیزات پزشکی به خوبی توان استفاده از آنها در جهت تأمین ایمنی و حفاظت الکتریکی سیستم‌ها و دستگاه‌ها در فرآیند پشتیبانی‌های دوره‌ای مشخص شده را داشته باشند. لذا بدین وسیله از تلاش و پشتکاری که نویسنده محترم در امر تدوین این مجموعه ارزشمند به کار گرفته است قدردانی می‌شود.

دکتر صدیقه امینی کافی آباد

رئیس مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون

پیشگفتار

امروزه انرژی الکتریکی، یکی از بهترین و تمیزترین انرژی‌ها در پهنه زندگی انسان‌ها است. این انرژی با وجود برخورداری از مزیت‌های بیشمار، در صورت سهل‌انگاری و عدم رعایت الزامات و پشتیبانی‌های تعریف‌شده در حین کار می‌تواند به عاملی برای بروز انواع آسیب‌ها، صدمات و خطرات برای مصرف‌کننده تبدیل شود. این مجموعه شامل نکات اساسی، الزامات، توصیه‌ها، دستورالعمل‌ها، روش‌ها و استانداردهای بنیادی مورد نیاز در امر تضمین ایمنی الکتریکی کاربران، تجهیزات پزشکی و سیستم‌های الکتریکی مستقر در مراکز درمانی و خدمات درمانی است. استقرار و رعایت این الزامات به‌وسیله کاربران در طول دوره نظارت بر فعالیت ابزار و دستگاه‌ها و به‌خصوص در زمان بازدیدهای دوره‌ای برنامه‌ریزی شده، تعمیرات و تست‌های روتین، نظافت و جابه‌جایی، نوسانات برق، سیستم ارتینگ و غیره می‌تواند اقدامی بسیار مؤثر در تضمین استمرار عملکرد صحیح آنها همراه با کاهش هزینه‌ها باشد.

در فصل اول این مجموعه مختصراً به کاربرد استانداردهایی نظیر سازمان بهداشت جهانی (Who) و سلسله دستورالعمل‌های کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکال (IEC) تحت عنوان IEC60601-1-X با بیش از ۵۰ دستورالعمل مجزا اشاره شده است که نقش اساسی در استقرار انواع الزامات و روش‌های ایمن‌سازی مراکز درمانی و خدمات درمانی، جلوگیری از بروز حوادث الکتریکی و تضمین ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی دارند، در فصل دوم به سیستم‌های توزیع انرژی برق و تغذیه ایمن آنها براساس استاندارد (IEC 60364-7-710:2002-11)، طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ ایمنی و حفاظت در برابر برق‌گرفتگی به‌همراه روش‌های تضمین‌کننده حفظ استمرار و پایداری و لثاژ به‌وسیله تثبیت‌کننده‌ها و ضرورت استقرار منابع تغذیه انرژی اضطراری و بدون وقفه و غیره در مراکز پزشکی و آزمایشگاه‌ها، در فصل سوم به عوامل مؤثر در ایجاد برق‌گرفتگی کاربران به‌همراه بروز انواع عوارض جسمی، عصبی، اختلالات قلبی عروقی، انقباض عضلانی، تجزیه خون در فضاها و مختلف بیمارستان در کنار کلیه اقدامات امدادی، در فصل چهارم به ساختار، عملکرد و کاربرد سیستم ارتینگ در افزایش ایمنی

کاربران و حفاظت دستگاه‌ها، کاهش خطرات برق‌گرفتگی و آسیب به زیرساخت‌ها همراه با فرآیند استقرار چاه ارت و در فصل پنجم به الزامات عمومی در تأمین ایمنی الکتریکی ساختار سیستم شبکه برق‌رسانی به همراه بازرسی‌های روتین (PM) از اجزای الکتریکی آنها طی دوره‌های مختلف و غیره اشاره شده است.

امید است اطلاعات ارائه شده در این مجموعه برای کلیه کاربران اعم از مدیران، پزشکان، کارشناسان، پرستاران، دانشجویان، اپراتورها، و تعمیرکاران مفید واقع شود. شکی نیست که ارسال هرگونه پیشنهاد و انتقاد سازنده در این رابطه به پست الکترونیکی moft150@gmail.com کمک بزرگی به مؤلف در امر غنا بخشیدن به مفاد و مطالب ارائه شده در این مجموعه است.

در پایان وظیفه خود می‌دانم از کلیه افراد و همکاران بزرگواری که به نوعی از نظرات و تجارب علمی و کاری آنها در این مجموعه استفاده شده و به‌خصوص همسر و دو فرزندم که در صورت نبود پشتیبانی‌های بی‌دریغ آنها، پدید آمدن چنین اثر طی چند سال بدور از انتظار بود، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری کنم.

دکتر محمد فلاح تفتی

شهریور ۱۴۰۲

فصل اول:

جریان برق و کاربردهای آن

۱-۱. جریان برق در فعالیت‌های پزشکی

جریان برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل حیاتی در فرآیند فعالیت ابزار و تجهیزات پزشکی مراکز درمانی و زیرمجموعه‌های آن است. عدم به‌کارگیری روش‌ها و استانداردهای تعریف‌شده در روند این فعالیت‌ها می‌تواند عوارض و خطرات گوناگونی را برای کاربران و دستگاه‌ها به دنبال داشته باشد. برای تضمین عملکرد و ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی در ایالات متحده، کشورهای اروپایی و سایر نقاط جهان استانداردهای عمومی و اختصاصی ایمنی الکتریکی نظیر AAMI/NFPA99، استاندارد اولیه برای تجهیزات پزشکی و الزامات عمومی توصیه شده (IEC 60601-1) در امر حفاظت کاربران تجهیزات پزشکی در برابر خطرات شوک الکتریکی و غیره به کار برده می‌شود.

کاربرد جریان برق در شرایط کنونی، به اندازه‌ای رشد یافته که عدم وجود آن ادامه هر نوع فعالیتی در هر زمینه از قبیل انواع فعالیت‌های خدماتی، تجاری، صنعتی، آموزشی، پژوهشی، بهداشتی، درمانی، مخابراتی، بانکی، دارویی، کشاورزی، مواد غذایی، حمل‌ونقل، روشنایی، تصفیه و توزیع آب، انواع صنایع سبک و سنگین و غیره را غیرممکن می‌سازد. تا جایی که در پناه این پدیده اعجاب‌انگیز و به‌ویژه پیدایش تحول عظیم در صنایع الکترونیک در دهه ۱۹۷۰ میلادی، توسعه علوم مختلف مهندسی همراه با معرفی فناوری‌های نوین در زمینه‌های مختلف پزشکی در دهه ۱۹۸۰ میلادی، آغاز تحولات شگرف در زمینه دسترسی به انواع تکنولوژی‌ها و ابزارها در مسیر شناسایی و درمان بسیاری از بیماری‌ها، معضلات و اختلالات پزشکی که پیش‌بینی و رفع بسیاری از آنها تا سالیان قبل دشوار یا غیرممکن بود زمینه پیشگیری، تشخیص و درمان آنها در کوتاه‌ترین زمان با ساده‌ترین روش‌ها را فراهم آورد.

۱-۲. جریان برق در بیمارستان‌ها

بیمارستان به عنوان مکانی برای معالجه و درمان بیماران باید به گونه‌ای طراحی شود که بیمار به محض ورود به آن احساس امنیت و آرامش داشته باشد. با این حال خطرات الکتریکی نامرئی در مراکز بهداشتی و درمانی به دلیل وجود تجهیزات متفاوت تاکنون بیش از حد انتظار بوده است. به عنوان مثال تجهیزاتی از قبیل تخت‌های برقی، کاف‌های فشارخون خودکار، تجهیزات اسکن، ابزارهای تشخیصی و سایر تجهیزات الکتریکی که در امر پیشگیری، تشخیص، درمان، مراقبت، آموزش پزشکی و غیره استفاده می‌شوند هریک عاملی برای بروز حوادث و خطرات مختلف برای پرستاران، پزشکان، دانشجویان، اساتید، بیماران و نیروهای خدمات عمومی بوده است.

اکثر ابزار و دستگاه‌های مورد استفاده در زمینه‌های مختلف پزشکی، علاوه بر نیاز مستقیم یا غیرمستقیم به جریان برق، از مدارات ترکیبی شامل یک یا چند مدار الکتریکی، الکترونیکی، میکروالکترونیکی، مکانیکی، پنوماتیکی و غیره با ابعاد، قابلیت‌ها و توانمندی‌های متفاوت برخوردار هستند که برای بهره‌گیری مؤثرتر از توانمندی‌های آنها نیاز به تأمین انواع خدمات نگهداری و پشتیبانی به خصوص تأمین الزامات پیشنهادشده جهت تضمین ایمنی و حفاظت کاربران می‌باشد. لذا کاربران این نوع دستگاه‌ها لازم است نسبت به شرایط استفاده و نگهداری آنها به خصوص در اجزاء و قطعاتی که ارتباط مستقیم با جریان برق دارند آگاهی لازم و کافی داشته باشند تا از بروز هر نوع خسارت جانی و مالی در زمان بهره‌برداری جلوگیری شود. آگاهی کاربران نسبت به حوادث شغلی مرتبط با جریان الکتریکی بسیار حائز اهمیت و در بالاترین سطح قرار دارد چرا که به دلیل ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم یکایک ابزار و دستگاه‌ها در دسته‌های مختلف با جان انسان‌ها امکان تولید انواع خطرات مختلف برای پزشکان، کارکنان، بیماران و مراجعه‌کنندگان آن مراکز وجود دارد. لذا برای جلوگیری از بروز هر نوع خطر و حوادث پیش‌بینی نشده، روش‌های تضمین شده‌ای از سوی تولیدکنندگان دستگاه‌ها یا مراکز تدوین‌کننده استاندارد محلی یا بین‌المللی توصیه شده است تا بیمارستان یا هر مرکز درمانی به عنوان ایمن‌ترین محل برای بیماران، تحت هیچ شرایطی به محلی ناامن تبدیل نشود. در همین راستا طبق توصیه‌ای که از سوی مجمع عمومی سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۲ میلادی انجام گرفت، همه مراکز تحت نظارت آن سازمان ملزم به تدوین و اجرای

برنامه‌ای برای حفاظت از بیماران شدند. این توصیه بدین دلیل انجام گرفت که بیش از ۵۰ درصد تجهیزات فعال در کشورهای در حال توسعه همچنان به درستی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا روش استفاده از آنها صحیح نیست. در این رابطه طبق گزارشات موجود در ایران، روزانه در اثر خطرات ناشی از برق‌گرفتگی پنج نفر جان خود را از دست می‌دهد، ۴۲٪ آتش‌سوزی‌ها دارای منشأ الکتریکی و ۸٪ مرگ‌ومیرها در بخش صنایع ناشی از خطرات الکتریکی می‌باشد. لذا به هیچ‌وجه نباید فراموش کرد که اکثر دستگاه‌های پزشکی فعال در بیمارستان‌ها از نوع الکترومکانیکال هستند که از منابع و شبکه برق شهری تغذیه می‌کنند و هر نوع نقص ایمنی الکتریکی در آنها می‌تواند عامل خطرات و آسیب‌های جبران‌ناپذیر برای بیماران یا کاربران باشد.

۱-۳. استانداردهای ایمنی برق در بیمارستان‌ها

۱-۳-۱. قوانین و توصیه‌های IEC

کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکال IEC به‌عنوان یک سازمان بین‌المللی^(۱) در جهت یکسان‌سازی قوانین مرتبط با مصرف برق، برای اولین بار طی کنگره بین‌المللی برق (International Electrical Congress) در سال ۱۸۸۱ و سپس به ترتیب در سال‌های ۱۸۸۹، ۱۸۹۳ و ۱۹۰۰ میلادی به طور خاص با حضور دانشمندان فعال در زمینه برق تشکیل شد و تعاریفی را در سه فصل تنظیم کرد که در فصل اول به سیستم‌های توزیع جریان برق منطبق با استاندارد IEC، در فصل دوم به اثرات و میزان عبور جریان برق از بدن انسان و در فصل سوم به روش‌های حفاظت در برابر برق‌گرفتگی اشاره دارد. پس از برگزاری جلسات متعدد در سال‌های بعد در سال ۱۹۶۵ میلادی IEC تصمیم گرفت تا مطالعات اولیه برای تدوین مقررات جامع را شروع و یک سال بعد در سال ۱۹۶۶ میلادی یونسکو (سازمان تربیتی، علمی و فرهنگی سازمان ملل متحد unesco) از متخصصین شناخته شده دنیا دعوت کرد تا درباره لزوم تهیه مقررات بین‌المللی در زمینه برق اقدام لازم را به عمل آورند و از آن زمان به بعد IEC مدارک و مستندات بسیاری را در زمینه تأسیسات الکتریکی منتشر کرد. البته سازمان استانداردهای بین‌المللی یا ISO که در سال ۱۹۴۷ میلادی معرفی شد به این دلیل که IEC دارای سابقه طولانی در این رشته است هیچ استandar دی را تاکنون در زمینه برق منتشر نکرده

است. با ادامه تحولاتی که منجر به تشکیل اتحادیه اروپا (EC) و همکاری بیشتر بین‌المللی گردید، سه کشور اروپایی صاحب نام (بریتانیا- آلمان- فرانسه) که هر سه از اعضای مهم این اتحادیه هستند مقررات ملی خود را بر اساس مقررات IEC تنظیم کردند.

۱-۳-۲. انواع قوانین IEC

با جهانی شدن استفاده از ابزار و تجهیزات پزشکی تولید شده در کشورهای مختلف نیاز به تدوین قوانین جامع در امر صادرات، واردات و تأمین ایمنی کافی به‌ویژه برای ابزار و دستگاه‌های مرتبط با فرآیند پیشگیری، تشخیص، درمان و غیره در مراکز مختلف دو چندان گردید. هرچند که طی سالیان گذشته سازمان‌های مختلف قوانین و دستورالعمل‌های متفاوتی را در زمینه استفاده و تضمین ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی تدوین و ارائه کردند، اما شاخص‌ترین و جامع‌ترین آنها، سلسله دستورالعمل‌های استاندارد است که سازمان بین‌المللی IEC تحت عنوان IEC60601 با بیش از ۵۰ دستورالعمل مجزا^(۲) برای به‌کارگیری در فرآیندهای انواع تجهیزات پزشکی فعال در بخش‌های مختلف درمانی و خدمات درمانی تدوین و پیشنهاد کرده که در زیر به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد:

۱. استاندارد IEC 60950-1 به‌عنوان یک استاندارد مرجع برای منابع تغذیه الکتریکی تجهیزات مختلف.

۲. استاندارد IEC60601-1 به‌عنوان یک استاندارد پایه بین‌المللی ایمنی برای تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی پزشکی.

این استاندارد نیازهای اضافی مربوط به استاندارد IEC60950-1 برای بهره‌گیری در سیستم تغذیه الکتریکی تجهیزات پزشکی را فراهم می‌سازد. لذا توصیه‌های ضروری ارائه شده در این دو استاندارد IEC60950-1 و IEC60601-1 برای جلوگیری از خطرات زیر است:

- شوک الکتریکی
- انرژی‌های خطرناک
- آتش‌سوزی
- حرارت‌های خطرناک
- خطرات مکانیکی

- خطرات شیمیایی
- اشعه‌ها

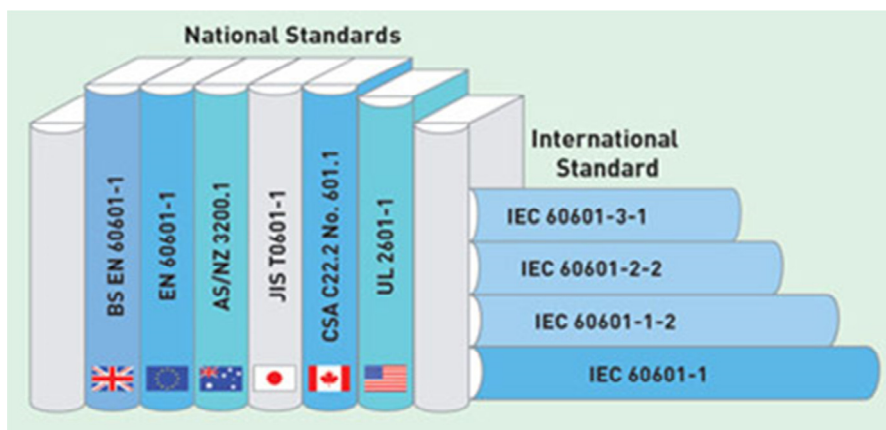
۳. استاندارد IEC60601-2-2:2009، الزامات اساسی جهت تأمین ایمنی پایه و ضروری تجهیزات جراحی با فرکانس بالا و ابزار جانبی آنها.

۴. استاندارد IEC60601-2-3:2012 الزامات خاص جهت تأمین ایمنی پایه و ضروری برای تجهیزات مورد استفاده در مراحل معالجه یا درمان.

۵. استاندارد IEC61000-4-3:20065، روش‌های آزمایش و اندازه‌گیری میزان تابش اشعه، فرکانس رادیویی، اصلاح مصونیت میدان الکترومغناطیس.

۱-۳-۳. استاندارد IEC 60601

سازمان‌های نظارتی جهان با هدف تأمین ایمنی محصولات برای بیماران، کاربران و سرویس‌کاران مقررات و استانداردهای خاص دستگاه‌ها را معرفی کرده‌اند. چرا که در بین همه ابزار و دستگاه‌ها در صنایع مختلف هیچ ابزاری مهم‌تر و حساس‌تر از ابزار و تجهیزات پزشکی در جهت تضمین ایمنی الکتریکی بیماران و حفاظت دستگاه‌های پزشکی نیست. به همین دلیل استانداردهای مشتق شده^(۳) از استاندارد جهانی IEC60601-1 برحسب شرایط و نیازهای تعریف شده، استاندارد EN60601 برای استفاده در اتحادیه اروپا و UL2601-1 در ایالات متحده و CSA C22.2 No.606.1 در کانادا مطابق شکل ۱-۱ معرفی شد.



شکل ۱-۱. استانداردهای مشتق شده از استاندارد IEC60601-1

۱-۳-۴. برخی تفاوت‌ها در استانداردها

تدوین استاندارد IEC60601 برای استفاده در همه کشورها سبب تفاوت‌هایی در تفسیر استاندارد IEC60601 شده که منجر به برخی اختلاف‌ها در الزامات اجرایی گردیده است. به‌عنوان مثال استاندارد UL2601-1 در ایالات متحده جریان نشتی را در حالت ساده‌تر به این صورت بیان می‌کند: «جریان نشتی: جریانی است که شامل capacitively coupled currents می‌شود که ممکن است از یک بخش قابل دسترس دستگاه به زمین یا به بخش قابل دسترس دیگر دستگاه منتقل شود و این جریان برای اعمال به بیمار مناسب نیست».

استانداردهای IEC 60601 و UL2601-1 حداکثر جریان‌های نشتی مجاز در یک دستگاه الکتریکی را تعیین کرده‌اند که می‌توان از آن استفاده کرد. در این شرایط مشخصات حداکثر جریان نشتی مجاز باید کاملاً دقیق باشد. در حال حاضر جالب است بدانیم که چگونه استاندارد IEC60601 جریان نشتی را در ساختار تجهیزات الکتریکی پزشکی محدود می‌کند.

۱-۳-۵. محدود کردن جریان نشتی توسط طراحی

استاندارد IEC 60601 دستورالعمل‌هایی برای طراحی و ساخت اجزای سیستم الکتریکی دارد که از الزامات جریان نشتی تخطی خواهد کرد. این دستورالعمل‌ها برای طراحی منابع تغذیه و بردهای مدار چاپی در مونتاژ سیستم دستگاه‌های الکتریکی پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یک راه برای کاهش جریان‌های نشتی، رعایت برخی دستورالعمل‌های مکانیکی برای جداسازی فیزیکی مدارات الکتریکی است. برخی از انواع مدارات (حتی مداراتی که روی یک برد مداری مشترک هستند) باید از لحاظ فیزیکی از همدیگر جدا شوند تا با الزامات جریان نشتی منطبق شوند.

۱-۳-۶. استاندارد UL260-1 در مقابل استاندارد IEC60601

همان‌طور که اشاره شد برخی تفاوت‌ها در استانداردهای IEC60601 به دلیل تفسیر و اجرای آن توسط سازمان‌های مختلف است. دو استاندارد IEC60601 و UL260-1 دو کاربرد مختلف

از جریان نشستی را مطرح می‌کنند. این کاربردها تحت عنوان «اتصال بیمار patient connected» و «محدوده بیمار patient vicinity» تعریف می‌شوند.

تمام اتصالات به بیمار مانند پدها، اتصال‌ها، پروب‌ها، سنسورها (cuffs plus) که هرگونه سر مشترک دارند)، کابل‌ها، اجزاء و سیم‌کشی (هم قسمت داخلی و هم قسمت خارجی دستگاه یا بدنه لوازم) به عنوان «اتصال بیمار» طراحی شده‌اند. مدارات «اتصال بیمار» زمانی از بیمار به تجهیزات گسترش می‌یابند که توسط طراحی، امپدانس حفاظتی یا جداسازی تأمین شود.

«محدوده بیمار» به فضا یا سطوح احتمالی که بیمار در آن مستقر باشد و یا هر پرسنل پزشکی در دوره خدمات‌رسانی به بیمار آن را لمس کند، گفته می‌شود. این محدوده شامل فضایی به اندازه ۶ فوت (۱/۸۳ متر) در اطراف تخت، میز معاینه، صندلی دندان پزشکی و غیره می‌شود و ارتفاع عمودی اتاق بیمار باید ۷/۵ فوت (یا ۲/۲۹ متر) بالاتر از کف اتاق باشد.

هر دو استاندارد IEC60601 و UL2601-1 حداکثر جریان نشستی را برای «محدوده بیمار» به ۳۰۰ میکروآمپر محدود کرده‌اند. برای مدارات یا دستگاه‌های «اتصال بیمار» استاندارد UL2601-1 بسیار دقیق‌تر است و این استاندارد جریان نشستی «اتصال بیمار» را به ۵۰ میکروآمپر محدود نموده درحالی‌که استاندارد IEC60601 با سخت‌گیری کمتر این جریان را به ۱۰۰ میکروآمپر محدود کرده است.

۱-۳-۷. استفاده از رایانه‌های شخصی در سیستم‌های پزشکی

همان‌طور که در مورد بسیاری از برنامه‌های کاربردی دیده می‌شود، رایانه‌های شخصی دارای قدرت پردازش مورد نیاز برای طراحی سیستم پزشکی هستند. رابط گرافیکی (GUI) ارائه شده توسط سیستم عامل ویندوز مایکروسافت معمولاً برای تولیدکننده‌ای که برنامه به اپراتور سیستم پزشکی ارائه می‌دهد مطلوب است. اپراتور سیستم‌های پزشکی کسانی هستند که سواد کامپیوتری برای فهم سریع‌تر منحنی و استفاده آسان‌تر دارند. این کمی تعجب‌آور است که بسیاری از مهندسان سیستم ترجیح می‌دهند برای طراحی یک سیستم پزشکی جدید از اجزای کم‌هزینه کامپیوتر شخصی استفاده کنند. انجام این کار تا زمانی که سخت‌افزار رایانه‌های شخصی با استفاده از منابع تغذیه‌ای ساخته شوند که الزامات استاندارد IEC60601 را رعایت نکند چالش درست خواهد کرد.

۸-۳-۱. مقررات ایمنی الکتریکی IEC60601

مقررات ایمنی الکتریکی مجموعه‌ای از استانداردهایی هستند که با هدف پیشگیری و کاهش خطرات برای بیماران، تأسیسات الکتریکی، دستگاه‌ها، نیروهای انسانی و محیط زیست تدوین شده است. سازمان‌های اصلی که استانداردهای جهانی ایمنی الکتریکی را برای بیمارستان‌ها تعیین می‌کنند شامل سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) و کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکال (IEC) هستند. در این رابطه IEC مجموعه‌ای از استانداردهای ایمنی را منتشر کرده است که الزامات ضروری مربوط به طراحی، ساخت و فعالیت‌های مربوط به ایمنی تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی پزشکی را تشریح می‌کند. اولین نسخه این استاندارد در سال ۱۹۷۷ و اولین بازبینی در سال ۱۹۸۸ و برای بار سوم پس از بازبینی در سال ۲۰۰۵ منتشر شد. استاندارد اصلی در این سری IEC60601-1 است.

این استاندارد تعاریف و الزاماتی را مشخص می‌کند که به طور گسترده برای اکثر دستگاه‌های پزشکی مطابق شکل ۱-۲، ایمنی بیمار، کاربران و سرویس‌کاران قابل استفاده است. بدین دلیل که هیچ ابزاری در صنایع مختلف مهم‌تر از ابزار پزشکی با هدف تأمین ایمنی و حفاظت از بیماران و دستگاه‌های پزشکی نیست.



شکل ۱-۲. استانداردهای ایمنی در تجهیزات پزشکی

در واقع این استاندارد ترکیبی از چهار استاندارد اصلی یا جانبی است که به صورت IEC 60601-1-X نوشته می‌شود. (X نماینده استانداردهای ۱ تا ۴ می‌باشد). استانداردهای جانبی چهل و پنج استاندارد خاص را پشتیبانی می‌کنند که به صورت IEC 60601-2-X مطابق جداول ۱ و ۲ نوشته می‌شود. (در آن X نشان‌دهنده استانداردهای خاص شماره‌های ۱

تا ۵۰ است). هریک از این استانداردهای خاص، ارتباط استانداردهای اصلی را با انواع مختلفی از تجهیزات پزشکی^(۴) بیان می‌کند که برای درمان بیماران مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال استاندارد IEC 60601-1-2 الزامات مربوط به اختلالات الکترومغناطیسی و استاندارد IEC 60601-1-8 الزامات و آزمون‌ها و راهنماهای مربوط به سیستم‌های هشداردهنده تجهیزات و سیستم‌های پزشکی الکتریکی است.

استاندارد IEC 60601-1 تقریباً در همه کشورهای جهان^(۵) پذیرفته شده است، اما ممکن است در بعضی کشورها دقیقاً به همین نام استفاده نشود. مثلاً در اروپا پس از بررسی‌های کامل مورد قبول واقع شد و با نام EN 60601-1:2006 معرفی گردید. در ایالات متحده استاندارد IEC 60601-1 همراه با مجموعه‌ای از اصلاحات با هدف سازگاری با کدهای ساختاری ایالات متحده مانند کد ملی برق با نام رسمی ANSI/AAMI ES 60601-1 شناخته می‌شود. این نسخه فعلی شامل ۱۰۰ مورد است که برای استفاده در تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی پزشکی قابل فروش در ایالات متحده استفاده می‌شود.

این استانداردها همچنان که مشاهده می‌شود، هم‌اینک طیف گسترده‌ای از تجهیزات پزشکی را پوشش می‌دهد. به‌عنوان مثال تجهیزات جراحی با فرکانس بالا، دفیبریلاتورهای قلبی، مانیتور بیمار، دستگاه‌های سونوگرافی درمانی و تشخیصی، لیزرهای پزشکی، ونتیلاتورهای بیمار و گرمکن‌های کودکان، تحت پوشش این استاندارد قرار دارند.

علاوه بر استاندارد عمومی IEC 60601-1 از سری IEC 60601 مواردی را به‌عنوان الزامات اضافی یا الحاقی به آن اضافه کرده که در محیط‌های خاص، ایمنی تکنولوژی‌های جدید یا انواع تجهیزات خاص قابل استفاده است و به شکل IEC 60601-1-XX معرفی می‌شود.

دسته دیگری از استانداردهای سری IEC 60601 نیز وجود دارد که به استانداردهای خاص شناخته می‌شود که در جهت کاهش یا اصلاح الزامات استانداردهای عمومی و جانبی برای نوع خاصی از تجهیزات پزشکی نظیر پمپ‌های تزریق یا مکندوها با استانداردهای خاص با شماره IEC 60601-2-XX یا ISO/IEC 80601-2-XX شماره‌گذاری می‌شوند و بستگی به این دارد که از طریق IEC یا سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) توسعه یافته باشند.

استانداردهای اصلی، جانبی و خاص IEC 60601 ذکر شده در جداول ۱ و ۲ برای حفظ ایمنی بیماران، در چهار حوزه اساسی به ترتیب زیر تقسیم گردیده است:

۱. **ملزومات مکانیکی:** در این بخش به جزئیات مربوط به بدنه تجهیزات برای استفاده صحیح در برابر فرسودگی و پارگی، حفاظت درست از قسمت‌های متحرک دستگاه جهت اطمینان از بی‌خطری و ایمنی آنها و همچنین به ثبات دستگاه و فاقد گوشه‌ها، لبه‌ها و قسمت‌های تیز اشاره شده است.

۲. **مشخصات دستگاه IEC 60601:** این بخش به لیست اطلاعاتی که بایستی بر روی صفحه مشخصات دستگاه درج شود اشاره می‌کند که شامل اطلاعات الکتریکی، شماره سریال، مدل دستگاه و نام تولیدکننده و غیره است. علاوه بر این، استاندارد IEC60601 تستی برای عمر این صفحه مشخصات دستگاه تعریف می‌کند که مطمئن شود صفحه مشخصات دستگاه در شرایط استفاده صحیح، اطلاعاتش پاک نمی‌شود.

۳. **ارتینگ (زمین الکتریکی):** ارتینگ مشخص می‌کند که چگونه یک دستگاه به زمین متصل شود یا چگونه اتصال زمین ایمن برای منبع تغذیه وجود داشته باشد تا در زمان وقوع هر نوع خطای الکتریکی، ایمنی کافی فراهم گردد. بدین ترتیب که IEC 60601 با اصطلاحی با نام «پلاید پارت (Applied Part)» تعریف می‌کند که یک دستگاه الکتریکی چگونه می‌تواند با بدن شخص بیمار در تماس باشد.

Table 1. IEC 60601 General Requirements Standards

IEC 60601-1-1 EN 60601-1-1	Medical electrical equipment - Part 1-1: General requirements for Safety 1: Collateral standard: Safety requirement for medical electrical systems
IEC 60601-1-2 EN 60601-1-2	Medical electrical equipment - Part 1-1: General requirements for Safety 2: Collateral standard: Electromagnetic disturbances- Requirments and tests
IEC 60601-1-3 EN 60601-1-3	Medical electrical equipment- Part 1: General requirements for Safety and essential performance-- Collateral standard: Radiation protection in diagnostic X-Ray equipment
IEC 60601-1-4 EN 60601-1-4	Medical electrical equipment- Part 1-1: General requirements for Collateral standard: Programmable electrical medical electrical systems
IEC 60601-1-6 EN 60601-1-6	Medical electrical equipment- Part 1-1: General requirements for Safety and essential performance-- Collateral standard: Usability
IEC 60601-1-8 EN 60601-1-8	Medical electrical equipment- Part 1-1: General requirements for Safety and essential performance-- Collateral standard: General requirements, Tests and Guidance for alarm systems in medical electrical equipment and medical electrical systems

IEC 60601-1-11 EN 60601-1-11	Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for Safety and essential performance-- Collateral standard: Requirements for medical electrical equipment in the home healthcare environment
---------------------------------	--

بر اساس استاندارد IEC 60601 سه نوع Applied Part با عناوین B، BF، CF وجود دارد:

الف) نوع Applied Part CF: برای تماس مستقیم با قلب انسان مناسب است.

ب) نوع Applied Part BF: با قسمت‌های بیرونی بیمار از طریق رسانا در تماس است مانند الکترودی که در عملیات ECG و EEG استفاده می‌شود.

ج) نوع Applied Part B: قسمت‌هایی که از بیمار جدا هستند و یا توسط رسانا با بیمار تماس ندارند.

در این رابطه استاندارد IEC 60601 مشخص می‌کند که Applied Part نوع BF و CF نباید به زمین متصل باشند، درحالی‌که Applied Part نوع B ممکن است (در بیشتر مواقع) به زمین متصل شده باشد.

۴. ملزومات الکتریکی: در نهایت IEC 60601 مشخص می‌کند که مسئله واقعی در ایمنی الکتریکی، مربوط به استفاده از تجهیزات الکتریکی پزشکی در روند مراقبت از بیمار می‌باشد. یک استاندارد قابل قبول مستلزم آن است که یک سیستم پزشکی، ایمنی دستگاه‌ها را نه تنها تحت شرایط نرمال و عادی اعمال کند، بلکه تحت شرایط اورژانس نیز قابل اعمال باشد که IEC آن را شرایط «single fault» یا شرایط تک‌خطایی می‌نامد.

Table 2. IEC 60601 Specific Standards

IEC 60601-2-1 EN 60601-2-1	Medical electrical equipment - Part 2-1: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electron accelerators in the range 1 MeV to 50 MeV
IEC 60601-2-2 EN 60601-2-2	Medical electrical equipment-Part 2-2: Particular requirements for the basic safety and essential performance of high frequency surgical equipment and high frequency surgical accessories
IEC 60601-2-3 EN 60601-2-3	Medical electrical equipment - Part 2-3: Particular requirements for the basic safety and essential performance of short-wave therapy equipment
IEC 60601-2-4 EN 60601-2-4	Medical electrical equipment - Part 2-4: Particular requirements for the basic safety and essential performance of cardiac defibrillators
IEC 60601-2-5 EN 60601-2-5	Medical electrical equipment - Part 2-5: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic physiotherapy equipment

IEC 60601-2-6 EN 60601-2-6	Medical electrical equipment - Part 2-6: Particular requirements for the basic safety and essential performance of microwave therapy equipment
IEC 60601-2-7 EN 60601-2-7	Medical electrical equipment - Part 2-7: Particular requirements for the safety of high voltage generators of diagnostic X-Ray generators
IEC 60601-2-8 EN 60601-2-8	Medical electrical equipment-Part 2-8: Particular requirements for basic safety and essential performance of therapeutic X-ray equipment operating in the range 10 kV to 1 MV
IEC 60601-2-9 EN 60601-2-9	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of patient contact dosimeters used in radiotherapy with electrically connected radiation detectors
IEC 60601-2-10 EN 60601-2-10	Medical electrical equipment - Part 2-10: Particular requirements for the basic safety and essential performance of nerve and muscle stimulators
IEC 60601-2-11 EN 60601-2-11	Medical electrical equipment. Part 2-11. Particular requirements for basic safety and essential performance of gamma beam therapy equipment
ISO/IEC 80601-2-12 EN ISO 80601-2-12	Medical electrical equipment. Part 2-12. Particular requirements for basic safety and essential performance of critical care ventilators
ISO/IEC 80601-2-13 EN 60601-2-13	Medical electrical equipment - Part 2-13: Particular requirements for basic safety and essential performance of an anaesthetic workstation
IEC 60601-2-14 EN 60601-2-14	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of electroconvulsive therapy equipment
IEC 60601-2-15	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of capacitor discharge X-Ray generators
IEC 60601-2-16 EN 60601-2-16	Medical electrical equipment - Part 2-16: Particular requirements for basic safety and essential performance of haemodialysis, haemodiafiltration and haemofiltration equipment
IEC 60601-2-17 EN 60601-2-17	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety remote controlled automatically driven Gamma-Ray after loading equipment.
IEC 60601-2-18 EN 60601-2-18	Medical electrical equipment - Part 2-18: Particular requirements for the basic safety and essential performance of endoscopic equipment
IEC 60601-2-19 EN 60601-2-19	Medical electrical equipment - Part 2-19: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators
IEC 60601-2-20 EN 60601-2-20	Medical electrical equipment - Part 2-20: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant transport incubators
IEC 60601-2-21 EN 60601-2-21	Medical electrical equipment - Part 2-21: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant radiant warmers

IEC 60601-2-22 EN 60601-2-22	Medical electrical equipment - Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment
IEC 60601-2-23 EN 60601-2-23	Medical electrical equipment - Part 2-23: Particular requirements for the basic safety and essential performance of transcutaneous partial pressure monitoring equipment
IEC 60601-2-24 EN 60601-2-24	Medical electrical equipment - Part 2-24: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infusion pumps and controllers
IEC 60601-2-25 EN 60601-2-25	Medical electrical equipment - Part 2-25: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electrocardiographs
IEC 60601-2-26 EN 60601-2-26	Medical electrical equipment - Part 2-26: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electroencephalographs
IEC 60601-2-27 EN 60601-2-27	Medical electrical equipment - Part 2-27: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electrocardiographic monitoring equipment
IEC 60601-2-28 EN 60601-2-28	Medical electrical equipment - Part 2-28: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray tube assemblies for medical diagnosis
IEC 60601-2-29 EN 60601-2-29	Medical electrical equipment - Part 2-29: Particular requirements for the basic safety and essential performance of radiotherapy simulators
IEC 80601-2-30 EN 60601-2-30	Medical electrical equipment - Part 2-30: Particular requirements for the basic safety and essential performance of automated non-invasive sphygmomanometers
IEC 60601-2-31 EN 60601-2-31	Medical electrical equipment - Part 2-31: Particular requirements for the basic safety and essential performance of external cardiac pacemakers with internal power source
IEC 60601-2-32 EN 60601-2-32	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety associated equipment of X-Ray equipment.
IEC 60601-2-33 EN 60601-2-33	Medical electrical equipment - Part 2-33: Particular requirements for the basic safety and essential performance of magnetic resonance equipment for medical diagnosis
IEC 60601-2-34 EN 60601-2-34	Medical electrical equipment - Part 2-34: Particular requirements for the basic safety and essential performance of invasive blood pressure monitoring equipment
IEC 80601-2-35 EN 80601-2-35	Medical electrical equipment. Particular requirements for the basic safety and essential performance of heating devices using blankets, pads and mattresses and intended for heating in medical use

IEC 60601-2-36 EN 60601-2-36	Medical electrical equipment. Particular requirements for the basic safety and essential performance of extracorporeally induced lithotripsy
IEC 60601-2-37 EN 60601-2-37	Medical electrical equipment - Part 2-37: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic medical diagnostic and monitoring equipment
IEC 60601-2-38 EN 60601-2-38	Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of electrically operated hospital beds
IEC 60601-2-39 EN 60601-2-39	Medical electrical equipment - Part 2-39: Particular requirements for basic safety and essential performance of peritoneal dialysis equipment
IEC 60601-2-40 EN 60601-2-40	Medical electrical equipment-Part 2-40: Particular requirements for the safety electrocardiographs and evoked response equipment
IEC 60601-2-41 EN 60601-2-41	Medical electrical equipment -- Part 2-41: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical luminaires and luminaires for diagnosis
IEC 60601-2-43 EN 60601-2-43	Medical electrical equipment - Part 2-43: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for interventional procedures
IEC 60601-2-44 EN 60601-2-44	Medical electrical equipment - Part 2-44: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for computed tomography
IEC 60601-2-45 EN 60601-2-45	Medical electrical equipment - Part 2-45: Particular requirements for basic safety and essential performance of mammographic X-ray equipment and mammographic stereotactic devices
IEC 60601-2-46 EN 60601-2-46	Medical electrical equipment - Part 2-46: Particular requirements for basic safety and essential performance of operating tables
IEC 60601-2-47 EN 60601-2-47	Medical electrical equipment - Part 2-47: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ambulatory electrocardiographic systems
IEC 60601-2-49 EN 60601-2-49	Medical electrical equipment - Part 2-49: Particular requirements for the basic safety and essential performance of multifunction patient monitoring equipment
IEC 60601-2-50 EN 60601-2-50	Medical electrical equipment - Part 2-50: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant phototherapy equipment
IEC 60601-2-51 EN 60601-2-51	Medical electrical equipment - Part 2-50: Particular requirements for safety, including essential performance of recording and analyzing single channel and multichannel electrocardiographs

IEC 60601-2-52 EN 60601-2-52	Medical electrical equipment -- Part 2-52: Particular requirements for basic safety and essential performance of medical beds
IEC 60601-2-54 EN 60601-2-54	Medical electrical equipment - Part 2-54: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for radiography and radioscopy

۱-۳-۹. احتیاط‌های ضروری

دستورالعمل‌های الکتریکی برای ایمنی تجهیزات الکتریکی پزشکی بیش از دیگر محصولات الکتریکی مورد توجه است و این بدین دلیل است که در بخش مراقبت‌های ویژه، به عنوان مثال یک بیمار ممکن است هم‌زمان به چندین دستگاه الکتریکی متصل باشد.

برخی از این دستگاه‌ها ممکن است توسط رسانا به طور مستقیم به بیمار متصل باشند. سر الکترود ECG ممکن است یک مثال خوب باشد. کاملاً قابل تصور است که اتصال به بیمار ممکن است از طریق یک دستگاه تهاجمی یا از طریق بازکردن پوست یا از طریق یک منفذ طبیعی به داخل بدن انجام شده باشد.

در سال ۱۹۷۶ J.R.Scott, O.Z.Roy و G.C.Park یافته‌ها را با عنوان IEEE Transactions in Biomedical Engineering منتشر کردند که نشان می‌دهد جریان به میزان کم تا ۱۰۰ میلی‌آمپر می‌تواند دستگاه تنفسی را فلج کند و باعث فیبریلاسیون (fibrillate) عضله قلب شود. واضح است ایمنی دستگاه‌های الکتریکی مورد استفاده در مراقبت‌های بهداشت و درمان اهمیت زیادی دارد. هدف از این مقاله (این مقاله توسط POWERVAR منتشر شده است) بررسی دستورالعمل‌های عمومی برای ایمنی الکتریکی تحت استاندارد IEC60601 بود. علاوه بر این، جست‌وجو کرد که چگونه یک تولیدکننده تجهیزات الکتریکی پزشکی و دندانپزشکی می‌تواند به طور مؤثر و اقتصادی مطمئن شود که یک سیستم از طریق کاربرد و استفاده از منبع برق مناسب و تأمین تجهیزات منبع تغذیه بدون وقفه (بدون قطعی) به الزامات استاندارد IEC 60601 دست می‌یابد.

۱-۳-۱۰. الزامات قابل قبول الکتریکی

استاندارد IEC60601 ایمنی الکتریکی را در چندین روش نشان می‌دهد. این استاندارد مسائل مکانیکی و الکتریکی که ممکن است ایمنی الکتریکی را تحت تأثیر قرار دهد و همچنین موضوع عایق‌بندی را شرح می‌دهد.

بایستی توجه داشت که ایمنی بیمار از لحاظ الکتریکی، به جریان وابسته است و به ولتاژ ربطی ندارد. همان‌طور که تنها یک مقدار کم جریان می‌تواند مانع ادامه تنفس، فیبریلاسیون بطنی و احتمالاً مرگ بیمار گردد. طبق استاندارد IEC 60601 این جریان از یک منبع سرگردان ناشی می‌شود و در تجهیزات الکتریکی از تابعی پیروی نمی‌کند. به همین دلیل، آن را «جریان نشتی (leakage current)» می‌نامند. جریان نشتی به سه منبع مختلف تقسیم می‌شود:

- **جریان نشتی زمین:** جریانی است که منشأ آن از منبع تغذیه الکتریکی یا سیستم الکتریکی است و در طول سیستم عایق‌بندی شده به سمت هادی محافظ زمین جریان می‌یابد.
- **جریان نشتی بدنه:** جریانی است که منشأ آن از بدنه (یا بخشی از بدنه) دستگاه الکتریکی است و این جریان از یک اتصال خارجی به غیر از هادی محافظ زمین به یک قسمت دیگر بدنه عبور می‌کند.
- **جریان نشتی بیمار:** این جریان یا از طریق Applied Part از بیمار به زمین عبور کند و یا از طریق بیمار از Applied Part به زمین عبور می‌کند که منشأ این جریان یک ولتاژ ناخواسته است که به وسیله یک منبع خارجی تولید می‌شود.

۱-۴. توصیه‌های ایمنی الکتریکی

یکی از عوامل اصلی در بحث ایمنی الکتریکی، شوک الکتریکی است که بروز آن در شرایط مختلف به عنوان مثال آستانه تحمل آن برای کاربران کاملاً متفاوت است. بدین ترتیب که اگر یک فرد سالم و کاملاً هوشیار یک شوک الکتریکی در حد ۱۰ میلی‌آمپر را احساس کند معمولاً از آسیب آن در امان می‌باشد. البته برای اطمینان و تضمین ایمنی الکتریکی اجزای متصل یا

مرتبط به ابزار و تجهیزات پزشکی لازم است از قطعاتی استفاده شود که قبلاً آزمایشات و تأییدیه‌های لازم را طی کرده باشند. تعدادی از عوامل کلیدی مورد نظر در این رابطه عبارتند از:

۱-۴-۱. منابع تغذیه

منبع تغذیه‌ای که برای بیمار قابل دسترس نباشد و مطابق با استاندارد IEC60950-1 یا IEC62368 سطح ایمنی مورد انتظار را برای اپراتور فراهم کند. این استانداردها برای تجهیزات فناوری اطلاعات و تجهیزات صوتی/ تصویری (کامپیوتر، چاپگر، مانیتور) می‌باشند. چنانچه یک منبع تغذیه‌ای با نشتی جریان کم در گستره پزشکی مطابق با استاندارد IEC 60601-1 انتخاب شود. این منبع تغذیه بایستی ایمنی مشخص شده در IEC 60601-1 را به‌عنوان ابزاری برای محافظت از بیمار ارائه دهد. بدین ترتیب که هنگام انتخاب منبع تغذیه، شرایط فعالیت آن از قبیل دما، رطوبت، فشار و غیره بایستی با مشخصات تجهیزات مطابقت داشته باشد.

۲-۴-۱. کابل‌های منبع تغذیه

اگر تجهیزات با استفاده از سیم برق دارای سه هادی به زمین متصل می‌شوند لازم است از یک کابل برق درجه بیمارستانی استفاده شود. الزامات اضافی این نوع سیم‌ها برای اتصال به زمین، اطمینان از امپیدانس (مقاومت) کم و دوام بالای آنها است. چنانچه تجهیزات از کلاس II است لازم است از یک سیم با دوشاخه NEMA 1-15P (پلاریزه) استفاده شود.

۳-۴-۱. فیلترهای خطوط تداخل الکترومغناطیسی (EMI)/ سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)

در صورتی که از فیلترهای EMI/EMC در منبع تغذیه استفاده شده است، این فیلترها بایستی دارای درجه پزشکی باشند. زیرا که فیلترهای درجه پزشکی معمولاً دارای ساختاری برای کمک به محدود کردن جریان نشتی هستند. این فیلترها در عین حال اطمینان لازم برای

سازگاری الکترومغناطیسی را فراهم می‌کنند. برخی از منابع تغذیه درجه پزشکی که با IEC60601 مطابقت دارند دارای فیلتر EMI/EMC با نشتی کم هستند، اما برخی دیگر فقط با افزودن فیلتر خارجی عبور می‌کنند.

یادآوری: این نکته قابل توجه است که منابع تغذیه درجه تجاری از قبیل منابع تغذیه مطابق با استاندارد IEC60950-1 یا IEC62368 معمولاً دارای الزامات جریان نشتی IEC60601 نیستند.

یک راه‌حل بالقوه، استفاده از ترانسفورماتورهای جداساز درجه پزشکی، برای کمک به کاهش جریان نشتی از منبع تغذیه غیرمنطبق به سطح قابل قبول است.

۴-۴-۱. کلیدها، فیوزها، مدارهای شکننده و غیره

در بررسی میزان ایمنی الکتریکی، همه قطعات متصل به ولتاژ برق بایستی شرایط و وضعیت سیم‌ها، پایانه‌ها، کانکتورها و سایر سخت‌افزارهای حامل جریان برق، مورد توجه جدی قرار گیرند. بهترین روش، استفاده از ابزار و وسایل تأیید شده در فرآیند مونتاژ و سیم‌کشی در دستگاه‌ها است.

فیوزها ممکن است برحسب ظرفیت کم/ زیاد و همچنین سرعت عمل درجه‌بندی شوند. به همین دلیل از طریق نصب یک برچسب در نزدیکی فیوز یا نگهدارنده آن بایستی نوع و درجه آن مشخص شود. به عنوان مثال $T6.3AH/250\ V$ در آن T نشان‌دهنده (تأخیر زمانی)، A (آمپر)، H (ظرفیت شکست بالا) و V (ولت) می‌باشد.

۵-۴-۱. جداسازی / جداسازی قطعات

جداسازی قطعات به دور نگه داشتن افراد از ولتاژهای خطرناک یا ولتاژهای غیرخطرناک اشاره دارد. جداسازی معمولاً با ترکیبی از موارد زیر انجام می‌گیرد:

- ایجاد فاصله فیزیکی کافی، استفاده از جداکننده‌های ولتاژ خطرناک، استفاده از ولتاژهای پایین و مدارهای جداکننده از بیمار.
- انتخاب و استفاده از مواد عایق الکتریکی مناسب.
- استفاده از تست قدرت دی الکتریک یا hi-pot6 در نقاط جداسازی.

۱-۵. جریان ناشتی

جریان ناشتی شامل یک جریان ناخواسته و ناچیز (در حد چند میکروآمپر) است که به طور اجتناب‌ناپذیر در مسیری غیر از مسیر اصلی یا از طریق یک هادی به زمین، به بدن بیمار یا اپراتور جریان می‌یابد. بسیاری از دستگاه‌های پزشکی متصل به بیمار تحت شرایطی، یک جریان ناشتی قابل اندازه‌گیری را به بیمار انتقال می‌دهند. زیرا که بیماران نسبت به افراد عادی بیشتر مستعد آسیب‌های ناشی از جریان ناشتی هستند. از این رو الزامات IEC60601-1 کمک می‌کند تا جریان ناشتی تولید شده از تجهیزات در طول استفاده زیر آستانه آسیب باقی بماند. در این رابطه استاندارد IEC 60601-1 آزمایش‌ها و محدودیت‌هایی را برای کنترل جریان ناشتی تجهیزاتی ارائه می‌دهد که به بیمار متصل است. در جایی که تجهیزات با بیمار تماس الکتریکی یا رسانایی برقرار می‌کند جریان ناشتی در دسترس بیمار بایستی به طور مستمر اندازه‌گیری شود تا اطمینان حاصل شود که در محدوده قابل قبول است.

۱-۶. انواع جریان‌های ناشتی

آن دسته از جریان‌های ناخواسته^(۶) که نقش قابل توجهی بر حیات و سلامتی بیماران یا کاربران دارند به عنوان جریان ناشتی شناخته می‌شوند. این جریان‌ها را به طور کلی می‌توان به چهار دسته زیر تقسیم کرد:

- **جریان ناشتی تجهیزات:** غالب ابزار و تجهیزات پزشکی از اجزای الکتریکی تشکیل یافته است و جریان برق از طریق هادی‌های تعریف شده در درون پوشش‌های عایقی جاری می‌شود. در این حالت چنانچه عایق‌بندی هادی‌ها دچار صدمه، ضربه یا خرابی شود، جریان الکتریکی از آنها نشت کرده و به سمت زمین روانه می‌شود. این مسیر همچنین ممکن است از طریق بدن بیمار یا کاربر ایجاد شود. جریان برق همیشه مسیرهای دارای کمترین مقاومت را برای عبور انتخاب خواهد کرد.

توجه: هرگاه یک فرد یک سیم الکتریکی حاوی برق را لمس کند، یک جریان الکتریکی از یک دست وارد و از ناحیه دیگر بدن خارج می‌شود. در این وضعیت اعصاب و ماهیچه‌های بدن

سریع‌تر در معرض آسیب قرار می‌گیرند که این آسیب از مشکلات تنفسی، فیبریلاسیون تا سوختگی و مرگ با توجه به دامنه و فرکانس جریان متغیر است.

- **جریان نشستی زمین:** جریانی که از طریق منبع اصلی برق یا از طریق عایق‌بندی سیستم برق‌رسانی به زمین نشت می‌کند به‌عنوان جریان نشستی زمین شناخته می‌شود. مقدار مجاز در شرایط عادی حداکثر ۵ میلی‌آمپر می‌باشد.
- **جریان نشستی بدنه:** جریانی که از بدنه و یا قسمت‌های قابل دسترس دستگاه‌ها (به غیر از بخش‌های کاربردی) از مسیر یا مسیرهایی غیر از مدار محافظتی زمین به زمین نشت می‌کند به‌عنوان جریان نشستی بدنه نام برده می‌شود. مقدار مجاز در شرایط عادی حداکثر ۱۰۰ میکروآمپر است.
- **جریان نشستی بیمار:** جریانی که از طریق اتصالات قسمت‌های کاربردی متصل به بیمار و یا از طریق بیمار به زمین نشت می‌کند به‌عنوان جریان نشستی بیمار تلقی می‌شود.

۷-۱. شوک الکتریکی

پدید آمدن شوک الکتریکی را می‌توان در شرایط زیر انتظار داشت:

۱. هرگاه دو نقطه از بدن انسان در تماس با هادی یک مدار با پتانسیل مختلف قرار گیرد منجر به یک اختلاف پتانسیل در بدن انسان می‌گردد که به آن شوک الکتریکی گفته می‌شود.
۲. بدن انسان دارای مقاومت الکتریکی است و هرگاه بدن در بین دو هادی با پتانسیل مختلف یک مدار قرار گیرد منجر به جاری شدن جریان الکتریکی در بدن می‌گردد.
۳. هرگاه بدن انسان در تماس با یک هادی قرار گیرد هیچ اتفاقی روی نخواهد داد. بدین معنی که اگر بدن با ابزار یا دستگاهی در تماس باشد که فقط یک هادی به آن وصل است میزان ولتاژ و یا جریان در آن بی‌معنی خواهد بود زیرا هیچ اختلاف پتانسیلی وجود نخواهد داشت.
۴. اختلاف پتانسیل بیشتر منجر به خطر الکتریکی بیشتر خواهد شد و میزان اثر شوک الکتریکی بستگی به این دارد که چه بخش‌هایی از بدن در تماس با هادی‌های دستگاه است. مقاومت نقطه تماس بدن با هادی نیز میزان تأثیر جریان بر بدن را نیز تعیین خواهد کرد.

۵. هرگاه نقطه تماس الکتریکی با بدن یک فرد در مسیر یا در اطراف قلب باشد احتمال مرگ فرد نیز بیشتر خواهد شد.

۶. مقاومت الکتریکی بدن انسان مطابق جدول ۱-۳ از ۵۰۰ اهم تا چند صد هزار اهم متغیر است و هرچه پوست بدن مرطوب تر باشد مقاومت آن نیز کمتر می شود و اگر پوست بدن در اثر عرق خیس شده باشد به دلیل آغشتگی با نمک، مقاومت آن کاهش بیشتری خواهد داشت. میزان حداقل و حداکثر مقاومت دو عضو اصلی بدن مورد استفاده در ثبت فعالیت الکتریکی قلب برحسب استاندارد IEEE 1048-1990 به ترتیب زیر است:

جدول ۱-۳. مقاومت بدن انسان در شرایط مختلف

اندازه مقاومت	مقاومت بدن انسان (اهم)	مقاومت دست به دست (اهم)	مقاومت دست به پا (اهم)
	شرایط خشک	شرایط خیس	شرایط خیس
حداقل	۱۵۰۰	۶۱۰	۸۲۰
حداکثر	۱۳۵۰۰	۱۲۶۰	۱۹۵۰
میانگین	۴۸۳۸	۸۶۵	۱۲۲۱

۸-۱. انواع شوک الکتریکی

شوک الکتریکی زمانی ایجاد می شود که یک جریان کشنده از بدن فردی عبور کند که در تماس مستقیم با الکتریسیته باشد. این جریان ممکن است مستقیماً از قلب یا از پوست عبور کند. شوک الکتریکی زمانی ایجاد می شود که جریان الکتریکی به قدری قوی باشد که بتواند از سیستم عصبی فرد عبور کند. این اثرات از یک احساس قلقلک در محل تماس شروع می شود و تا نکرز نسجی و فیبریلاسیون بطنی و مرگ ادامه می یابد. شوک الکتریکی در حالت کلی شامل دو حالت میکروشوگ و ماکروشوگ می باشد.

۱-۸-۱. میکروشوگ

میکروشوگ زمانی ایجاد می شود که یک میزان جریان الکتریسیته کم به سطح کوچکی از بدن اعمال شود. مثلاً از طریق کاتترهای پر از مایع و پروب هایی که در عروق بزرگ هستند و یا

الکترودهایی که اطراف قلب هستند به اعضای حساس بدن اعمال گردد. به همین دلیل برای ایجاد اثرات مرگ‌آور، شدت جریان بسیار کمتری لازم است. مهم‌ترین روش برای پیشگیری از میکروشوک، جلوگیری از تماس سطوح هادی با این راه‌ها می‌باشد و هر وقت نیاز به لمس آنها بود، بهتر است از دستکش‌های پلاستیکی استفاده شود تا از انتقال الکتریسیته ساکن به بدن و بروز میکروشوک در بیمار بیهوش جلوگیری شود.

۱-۸-۲. ماکروشوک

این شوک زمانی ایجاد می‌شود که جریان الکتریسیته از سطح وسیعی از پوست عبور کند. در این صورت عبور جریان تا ۱ میلی‌آمپر می‌تواند باعث سوختگی نقطه تماس و در صورت عبور از قفسه سینه جریان در حدود ۱۰۰ میلی‌آمپر می‌تواند فیبریلاسیون بطنی ایجاد کند و عوارض مربوطه وابسته به شدت جریانی است که از بدن عبور می‌کند. منشأ ماکروشوک، سیم‌های لخت برق یا سطوح با ولتاژ بالا می‌باشد. لمس بدن قربانی با دست‌های لخت می‌تواند سبب بروز شوک در فرد کمک‌کننده هم بشود. بنابراین در زمان کمک‌رسانی ابتدا باید جریان برق را قطع کرد و سپس به کمک یک ابزار عایق‌دار، فرد قربانی را از جریان الکتریسیته جدا نمود.

۱-۹. اثرات شوک الکتریکی

شوک الکتریکی یک آسیب جدی ناشی از جریان الکتریکی یا ولتاژ بالا بر روی یک قوس الکتریکی است که باعث ایجاد انواع جراحات^(۷) منجر به آسیب به پوست و سایر بافت‌های نرم، تاندون‌ها، مفاصل و غیره می‌شود. آثار جریان برق در اثر عبور جریان مستقیم برق از بدن انسان یا تماس بدن با یک جسم هادی ممکن است دارای مراحل مختلف سوختگی از قبیل تورم پوست، ظهور حباب و نکروز تمام لایه‌های پوست باشد که با ضربه الکتریکی شدیدتر منجر به عواقب مغزی-عروقی یا اختلالات سیستم عصبی نظیر موارد زیر خواهد شد:

۱. اختلالات بینایی

۲. سردرد مکرر

۳. آب مروارید

۴. اختلال در حافظه
 ۵. اختلال در تعادل حسی
 ۶. پارگی نخاعی
 ۷. تشنج
 ۸. از دست دادن هوشیاری
 ۹. سوختگی در اثر حرارت بالا
 ۱۰. اختلالات سیستم عصبی، آسیستول
 ۱۱. تشدید بیماری‌های مزمن
 ۱۲. خونریزی داخلی
 ۱۳. افزایش عمومی فشار
- طبق شواهد موجود، عبور جریان برق از بدن عامل تغییراتی به ترتیب زیر است:
- تغییرات بیولوژیکی:** شامل اختلال جدی در ترکیب بافت‌های بدن، فرآیندهای بیولوژیکی و تشدید بیماری‌ها
- تغییرات مکانیکی:** شامل اختلال در یکپارچگی پوست و دیگر بافت‌ها
- تغییرات الکترولیتی:** از قبیل اختلال در گردش خون و ترشحات بدن
- تغییرات حرارتی:** نظیر ایجاد سوختگی در نقاط مختلف بدن، تولید گرمایش در رگ‌های خونی و غیره.

۱-۱۰. انواع خطرات برق

انواع خطرات مربوط به جریان الکتریسیته در فضاهای مختلف را می‌توان به دو دسته جانی و اقتصادی زیر تقسیم کرد.

الف) خطرات جانی: این خطرات به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود.

- خطرات اولیه: شامل سوختگی‌ها و مرگ
- خطرات ثانویه: شامل از کار افتادن بعضی از حواس (شنوایی و بینایی) و اعضاء، اختلالات قلبی، اختلالات عصبی و اختلالات حرکتی.

نکته: هر چه مقاومت بدن بدلائل مختلف در مسیر جریان الکتریکی کمتر باشد، شدت اثر جریان بیشتر خواهد بود.

ب) اثرات اقتصادی: شامل ایجاد حریق و آتش‌سوزی، از بین رفتن تجهیزات و وسایل، از بین رفتن شبکه سیم کشی و اتصالات.

۱-۱۱. علل بروز حوادث الکتریکی در بیمارستان‌ها

عمده‌ترین دلایل بروز حوادث و خطرات در فضاهای مختلف مراکز بهداشتی درمانی به‌ویژه بیمارستان‌ها را می‌توان به ترتیب زیر دسته‌بندی کرد:

۱. عدم آموزش و اطلاعات کافی
 ۲. نداشتن تجربه و توانایی در انجام کار
 ۳. عدم به‌کارگیری دقت و زمان کافی
 ۴. عدم توان عیب‌یابی صحیح
 ۵. نامرتب بودن صلاحیت فرد فنی در انجام کارها
 ۶. ضعف در به‌کارگیری روش‌ها و استانداردهای تعیین‌شده
 ۷. عدم کنترل و تست‌های اطمینان‌بخش قبل از بهره‌برداری مجدد
- عوامل اشاره‌شده در فوق هر یک می‌تواند زمینه‌ساز حوادث جدی باشد. هر چند که بعضی از عوامل انسانی از قبیل بی‌خوابی، خستگی، نگرانی، مداخلات بی‌مورد، اختلافات درون سازمانی، مشکلات شخصی یا خانوادگی، بیماری و غیره نیز می‌تواند در بروز حوادث نقش تعیین‌کننده داشته باشد.

۱-۱۲. انواع روش‌های ایمن‌سازی مراکز درمانی

ایمن‌سازی بخش‌های مختلف مراکز درمانی و خدمات درمانی از جمله مهم‌ترین عوامل رفع هر نوع خطر برای کارکنان، بیماران و مراجعین به آن مراکز می‌باشد. لذا برای دستیابی به چنین شرایطی توجه به مفاهیم و اقدامات ذیل ضروری است:

۱. ایمن‌سازی عمومی: هر ابزار یا دستگاه الکترومکانیکال که در بخش‌های مختلف بیمارستان یا مراکز درمانی برای تعیین کمیت‌ها، تشخیص اختلالات، بیماری‌ها، درمان و غیره به کار می‌رود، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با بیماران یا کاربران در ارتباط است. این تجهیزات در حین فعالیت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، فیزیکی، الکتریکی، الکترونیکی، مکانیکی، شیمیایی و غیره قرار دارند و می‌توانند کاربران و بیماران را با حادثه روبه‌رو سازند. این حوادث در شرایط جوی و محیطی مختلف دارای اثرات متفاوت هستند. لذا برای جلوگیری از تأثیر عوامل ناخواسته نظیر شوک‌های الکتریکی، تشعشعات، جریان‌های ناشی، ضربات، آتش‌سوزی و غیره لازم است از روش‌ها و توصیه‌های ارائه شده از سوی سازندگان و مؤسسات تدوین‌کننده استاندارد ملی و بین‌المللی استفاده شود.

۲. ایمن‌سازی الکتریکی: روند عملکرد و کاربرد تجهیزات پزشکی شامل الزاماتی است که بایستی از طریق کلیه مراکز درمانی و خدمات درمانی، شرکت‌های سازنده، نمایندگان مجاز ابزار و تجهیزات و همچنین کلیه افراد و شرکت‌های مجاز فعال در امر تجهیزات پزشکی و غیره مطابق با توصیه و دستورالعمل شرکت‌های سازنده رعایت شود. بخشی از این الزامات را می‌توان به ترتیب زیر دسته‌بندی کرد:

- تأمین الزامات ایمنی الکتریکی عمومی برای ابزار و دستگاه‌های مورد استفاده در بیمارستان‌ها، مراکز درمانی، خدمات درمانی و غیره بر اساس استاندارد IEC60601-1.
- استفاده از یک سیستم زمین الکتریکی استاندارد در بیمارستان‌ها، مراکز درمانی، خدمات درمانی و
- اتصال کلیه تجهیزات الکتریکی پزشکی و تأسیسات مورد استفاده در بیمارستان یا مرکز خدمات درمانی و غیره به سیستم زمین.

- استفاده مؤثر از سیستم یا مدار محافظ جریان زمین.
- عدم استفاده از هر نوع رابط، سیم یا کابل فاقد محافظ سیم زمین در بخش‌های مختلف بیمارستان یا مراکز خدمات درمانی.
- استفاده از یک ترانس ایزوله الکتریکی در فضاها و بخش‌های حساس بیمارستان یا مراکز خدمات درمانی نظیر فضاهای مرطوب، اتاق‌های عمل و غیره و همچنین کنترل جریان ناشی ترانس‌های ایزوله با استفاده از مانیتورینگ جریان ناشی.
- اعمال تست‌های منظم ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی و متعلقات آنها قبل از بهره‌برداری، بعد از هر بار تعمیر و نظافت، بعد از هر بار جابه‌جایی و انتقال و در مراحل بازرسی‌های دوره‌ای.
- استفاده از اتصال حداقل دستگاه‌ها به بیمار به طور همزمان در بیمارستان‌ها و مراکز خدمات درمانی.
- عدم استفاده از هر نوع ابزار و تجهیزات پزشکی به‌وسیله کاربران فاقد تجربه کافی و آموزش در نحوه استفاده و عیب‌یابی دستگاه.
- آموزش کاربران ابزار و دستگاه‌ها در امر آشنایی آنها با انواع خطرات الکتریکی، شیمیایی و غیره و راه‌های مقابله و کاهش خطرات آنها.
- استفاده جدی و مؤثر از اتصالات استاندارد به بیمار نظیر کابل‌ها، پروب‌ها، لیدها و غیره.
- نصب نکات مهم و ضروری توصیه‌ها و دستورالعمل‌های استفاده و نگهداری از تجهیزات پزشکی به‌خصوص نکات ایمنی بر اساس پیشنهادات سازندگان یا مؤسسات ملی و بین‌المللی بر روی دستگاه‌ها یا نزدیک‌ترین محل به آنها.
- قطع سریع منابع تغذیه جریان برق هر نوع ابزار و تجهیزات پزشکی مستقر در بخش‌های مختلف بیمارستانی یا مراکز درمانی در صورت مشاهده هر نوع جرقه، سوختن فیوز یا حتی احساس کمترین برق‌گرفتگی از طریق بدنه یا سایر بخش‌های آن.

- تهیه و تدوین راه‌ها و روش‌های اجرایی در جهت اعلام سریع مشکل پدید آمده در ابزار و دستگاه‌ها به نیروهای فنی و مسئولین مرتبط در بیمارستان، مراکز درمانی و خدمات درمانی یا حتی نماینده یا مسئول فنی شرکت تولیدکننده ابزار یا دستگاه.
 - تهیه، تدوین و نگهداری راه‌ها و روش‌های مقابله با نواقص و مشکلات به وجود آمده در حداقل زمان.
 - تدوین توصیه‌های اضطراری برای زمان وقوع مشکل برای ابزار یا تجهیزات، عدم استفاده از آنها و اعلام سریع به بخش مهندسی پزشکی یا سایر مسئولین ذیربط در جهت بررسی و رفع مشکل به وجود آمده.
 - عدم استفاده از انواع مولدهای امواج الکترومغناطیس نظیر تلفن همراه، بیسیم، پیچر و غیره، (حداقل در یک و نیم متری ابزار و تجهیزات پزشکی مستقر در محیط تشخیصی و درمانی بیمارستان‌ها و مراکز خدمات درمانی).
 - تست ایمنی و الکتریکی دستگاه‌ها به صورت دوره‌ای به ترتیب زیر:
 - بررسی کیفیت کلیه اتصالات به ابزار و دستگاه نظیر رابط‌ها، کابل‌ها، لیدها، ابزار جانبی و غیره.
 - ارزیابی عملکرد کلیه کلیدها و کنترل‌های مرتبط به ابزار و دستگاه‌ها.
 - ارزیابی عملکرد و شرایط کیفی کلیه نشانگرها، کنترل‌ها و ابزار کنترل‌کننده الکتریکی و دیجیتالی.
 - تست فعالیت مستقل دستگاه با باتری با قطع جریان برق شبکه سراسری شهر.
 - بررسی عملکرد و کیفیت زمین حفاظتی مرکزی، پریزها به همراه ابزار و دستگاه‌ها.
 - بررسی میزان جریان نشتی ابزار و دستگاه‌ها.
 - بررسی عملکرد سیستم آلام یا علائم هشداردهنده ابزار و دستگاه‌ها.
۳. ایمن‌سازی فیزیکی - مکانیکی: فضا و محل استقرار ابزار و تجهیزات در بخش‌های مختلف بیمارستان و مراکز درمانی و خدمات درمانی نظیر استحکام محل استقرار، پایداری مکانیکی ابزار و تجهیزات، مقاومت در برابر انواع ضربه‌های جوی و محیطی، مقاومت در برابر نفوذ و نشت مایعات و گازها و غیره بسیار حائز اهمیت است. از این‌رو

قبل از استقرار ابزار و دستگاه‌ها فضاهایی که برای استقرار آنها در نظر گرفته می‌شود بایستی کاملاً شناسایی و مورد ارزیابی فنی و محیطی قرار گیرند.

۴. ایمن‌سازی در برابر امواج الکترومغناطیسی: عملکرد برخی از تجهیزات نسبت به امواج الکترومغناطیس تولیدشده به وسیله بعضی از دستگاه‌ها نظیر تلفن همراه یا بیسیم و پیجر بسیار حساس است و این تجهیزات بایستی حداقل ۱/۵ تا ۲ متر از آنها فاصله داشته باشند.

۵. ایمن‌سازی اشعه: براساس توصیه‌ها و استانداردهای تدوین شده برای انواع دستگاه‌های تولید اشعه، امواج، پرتوها و غیره کاربران و بیماران استفاده‌کننده از چنین تجهیزات در بخش‌های مختلف بیمارستان، مراکز درمانی و خدمات درمانی بایستی در برابر هر نوع پرتو از قبیل ماورای بنفش، اشعه ایکس، گاما، بتا و غیره ایمن باشند.

۶. ایمن‌سازی شیمیایی: ابزار و تجهیزات پزشکی از هر نوع، نیازمند نظافت و بازدیدهای دوره‌ای بر اساس توصیه‌های تولیدکنندگان و سازمان‌های تدوین‌کننده استاندارد ملی و بین‌المللی می‌باشند و در این رابطه از انواع مواد شوینده، پاک‌کننده، ضد عفونی‌کننده، استریل‌کننده و غیره استفاده می‌شود. به همین دلیل لازم است دستگاه، کاربران و بیماران در برابر آنها کاملاً ایمن و مصون باشند.

۷. ایمن‌سازی عفونی: ابزار و تجهیزات پزشکی با توجه به نوع کاربریشان در همه بخش‌های بیمارستانی و مراکز خدمات درمانی ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با انواع عفونت‌ها و آلودگی‌ها دارند. از این رو لازم است کاربران در حین استفاده، کارشناسان در هنگام ارزیابی عملکرد و دقت دستگاه‌ها و نیروهای فنی و مهندسی قبل و بعد از تعمیر، از عدم سرایت و انتقال عفونت‌ها بر اساس توصیه‌ها و دستورالعمل‌های تدوین شده اطمینان حاصل کنند.

۸. ایمن‌سازی محیط: ایمن‌سازی محیط و فضاهای اطراف یکایک دستگاه‌ها در تمام زمینه‌های درمانی و خدمات درمانی به عنوان مثال اطراف دستگاه‌های اتوکلاو یا زباله‌سوز می‌تواند عامل مؤثری در عدم انتقال انواع آلودگی‌ها به محیط زیست باشد. از این رو لازم است توصیه‌ها و دستورالعمل‌های مورد نیاز در این رابطه تهیه و در

دسترس کاربران قرار گیرد. کلیه کاربران و افراد خدماتی در این زمینه بایستی آموزش‌های مورد نیاز را فرا گرفته و بر فعالیت آنها نظارت کافی انجام گیرد.

۹. ایمن‌سازی کاربران: کاربر انتخاب شده برای اپراتوری ابزار یا دستگاه‌های مستقر در بخش‌های مختلف لازم است اطلاع کافی از نحوه عملکرد و شرایط ایمنی آنها نسبت به خود، بیمار، سایر افراد فعال در آن بخش و محیط اطراف داشته باشد. در این رابطه کاربر بایستی آموزش‌های لازم را فرا گرفته و توصیه‌های مورد نیاز در قالب دستورالعمل را در دسترس داشته باشد.

فصل دوم:

سیستم‌های توزیع نیروی الکتریکی بیمارستان

نیروی برق تنها عنصری است که هم‌اینک در همه فعالیت‌های اجتماعی به‌ویژه در زمینه‌های مختلف پزشکی کاربرد وسیع دارد و تجهیزات الکتریکی و به‌خصوص تجهیزات پزشکی که دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد و حساسیت خاص هستند بایستی از یک انرژی سالم و مطمئن برخوردار باشند. در غیراین‌صورت وجود هر نوع مشکل در سیستم‌های برق‌رسانی علاوه بر ایجاد تأثیرات نامطلوب در عملکرد، دقت، کارایی و عمر مفید تجهیزات، می‌تواند زمینه‌ساز تحمیل هزینه‌های گزاف از قبیل هزینه تعمیرات اتفاقی، هزینه‌های مرتبط به زمان خواب تجهیزات، خسارات ناشی از لغو گارانتی و عدم ایمنی کافی برای کاربران را در پی داشته باشد. خصوصیات طبیعی شبکه برق‌رسانی کشور در شرایط کنونی نشان می‌دهد که وضعیت شبکه‌ها با هدف تأمین برق مناسب برای کلیه تجهیزات الکتریکی فعال در بیمارستان‌ها در یک شرایط ایده‌آل نیست و کاربران آنها با توجه به اهمیت و خصوصیات هریک از تجهیزات الکتریکی، لازم است از تجهیزات مطمئن پشتیبان برق نظیر دیزل ژنراتور اضطراری، استابلایزر ولتاژ و یا ترانس ایزوله استفاده کنند تا در کنار تأمین ایمنی، ولتاژ پایدار و مستمر نیز از طریق آنها تضمین شود. در بخش‌های بعد به این تجهیزات پشتیبان اشاره خواهد شد.

۲-۱. خصوصیات برق سالم

برق سالم مجاز برای استفاده در فرآیندهای مختلف مراکز درمانی بایستی در برگیرنده خصوصیات زیر باشد:

۱. ولتاژ سالم و تمیز (Clean): ابزار و دستگاه‌های پزشکی هر یک با توجه به نوع کاربرد دارای مشخصات منحصربه‌فرد هستند. لذا لازم است شرایط فنی همراه با ولتاژ انتخاب

شده برای هر دستگاه کاملاً متناسب با شرایط مشخص شده از سوی تولیدکننده باشد.

۲. ولتاژ پایدار (Stable): ولتاژ مورد استفاده به وسیله یکایک دستگاههای پزشکی، از

لحاظ میزان بایستی ثابت، بدون تغییر و همیشه پایدار باشد.

۳. ولتاژ پیوسته (Continuous): ولتاژ مصرفی به وسیله هر دستگاه از لحاظ دامنه و

فرکانس بایستی پیوسته و مستمر باشد.

یادآوری مهم: با توجه به وضعیت طبیعی شبکه برق سراسری کشور، انتظار ولتاژ پایدار و

پیوسته جهت تجهیزات پزشکی در تمام زمانهای مورد نیاز میسر نمی باشد، لذا با توجه به

اهمیت کاربری هریک از تجهیزات الکتریکی پزشکی در زمینه های مختلف لازم است از

سیستم های پشتیبان برق از قبیل دیزل ژنراتور اضطراری، استابلایزر ولتاژ و یا ترانس ایزوله و

UPS استفاده شود.

۴. توان کافی (enough power): میزان برق مورد استفاده برای دستگاه های فعال در

مراکز درمانی و خدمات درمانی بایستی بر اساس میزان مصرف تعیین شده به وسیله

تولیدکننده با احتساب حداقل ۲۰٪ ضریب اطمینان باشد. این میزان بایستی امکان

تأمین توان یا آمپر مصرفی کلیه ابزارها و دستگاه های مستقر در آن مراکز به صورت

مستمر را به ترتیب زیر داشته باشد:

- کلیه سیستم های حرارتی و برودتی عمومی
- کلیه سیستم های روشنایی عمومی
- کلیه سیستم های الکتریکی و الکترونیکی فعال در فرآیندهای خدمات عمومی، تخصصی و غیره
- کلیه آسانسورها، بالابرها و سیستم های ایمنی و حفاظتی موجود
- کلیه ابزار و وسایل موجود در موتورخانه و تأسیسات اصلی و فرعی
- کلیه ابزار و تأسیسات مربوط به هواسازها، فن کویل ها، سردخانه ها و غیره
- کلیه سیستم های تعیین شده در بخش اتوکلاو، فاضلاب، زباله سوز، دفع زباله و غیره
- کلیه تجهیزات مشخص شده در امر جلوگیری از آتش سوزی و اطفای حریق موجود در همه بخش ها و انبار

۱. **تابلو برق استاندارد (Standard Power Supply):** در راستای تأمین جریان اصلی برق شبکه شهری جهت استفاده در بخش‌های مختلف مراکز درمانی، نیاز به انشعابات فرعی با استفاده از تابلوهای برق اصلی و فرعی شامل ملزوماتی از قبیل کلیدهای توان اصلی و فرعی، نشانگرها برای کنترل جریان و ولتاژ، کلید اتصال زمین، شینه‌های متناسب با جریان مصرفی، عایق‌بندی مناسب، ارت و نول استاندارد، سیم‌بندی و کابل‌کشی استاندارد، سیستم تفکیک مصارف تابلوهای فرعی و بخش‌ها با استفاده از کلید و فیوزهای متناسب با مصرف، ایزولاسیون و تهویه متناسب، کانال‌های استاندارد برای انتقال سیم و کابل به همراه نقشه و علائم مناسب و غیره می‌باشد.
۲. **تابلوی خازن برای اصلاح ضریب توان:** برای اصلاح ضریب توان مصرفی و ارتقای آن تا ۹۶٪ لازم است از یک تابلوی بانک خازنی متناسب با مصرف در جهت مقابله با بالا رفتن جریان، کاهش ولتاژ، افزایش (Reactive)، افزایش تلفات مسی و عوارض اقتصادی و همچنین افزایش هزینه برق مصرفی برای مصرف‌کننده استفاده شود. نصب تابلوی بانک خازنی متناسب با مصرف بسیار اهمیت دارد.
۳. **چاه ارت مناسب:** در هر مرکز درمانی یا تشخیص طبی، نیاز به وجود چاه یا چاه‌های ارت مناسب و ارت‌کشی است تا از این طریق کلیه تجهیزات به صورت استاندارد (به دلیل مسائل ایمنی فنی و حفاظت‌های لازم حیاتی برای بیماران و پرسنل مراکز درمانی و لزوم حذف نویزهای ناخواسته) به آن متصل شود.
۴. **توزیع مطلوب:** در راستای دسترسی به برق مناسب در محل مصرف، لازم است با استفاده از شبکه توزیع برق استاندارد شامل شامل سیم‌کشی و کابل‌بندی و اتصالات مناسب (سیم‌کشی مراکز درمانی از نوع ۵ سیمه شامل ارت، نول و فازهای R، T و S) بوده و برخلاف مراکز صنعتی سیم‌های نول و ارت شبکه برق‌رسانی در هیچ جایی در تابلوهای اصلی و فرعی به هم وصل نشوند.

۲-۲. الکتریسیته

اگر چه مشاهده الکتریسیته امکان‌پذیر نیست، اما اثرات آن در برخی اجسام به‌خوبی قابل احساس است. لذا الکتریسیته به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تولید جریان الکتریکی با روش‌های

مختلف از قبیل اصطحکاک، فشار، حرارت، آتش، فعالیت‌های شیمیایی و خاصیت مغناطیسی در یک هادی می‌باشد. بدین ترتیب که در اثر فعل و انفعالات الکتریکی و مغناطیسی به‌وسیله یک موتور الکتریکی منجر به حرکت حامل‌های الکتریسیته (کترون‌ها) در یک هادی به‌عنوان جریان الکتریکی خواهد شد.

۲-۲-۱. کاربردهای الکتریسیته

نیاز جریان برق در زندگی روزمره بشر امری اجتناب‌ناپذیر است و از آن به‌طور گسترده در مواردی از قبیل روشنایی، گرمایش، سرمایش، تبرید، راه‌اندازی وسایل، بهره‌گیری از وسایل کامپیوتری، الکترونیکی، ماشین‌آلات، سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، آموزش، درمان و غیره استفاده می‌شود. به‌طوری‌که روند زندگی عادی بدون وجود برق با اختلال جدی روبه‌رو خواهد شد.

۲-۲-۲. مشخصات الکتریسیته

الکتریسیته یا جریان برق که در امر فعالیت یکایک ابزار و دستگاه‌های الکتریکی در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد در برگیرنده عوامل مختلف الکتریکی است.

۲-۳. عوامل الکتریکی

عمده‌ترین عوامل مؤثر در ساختار شبکه برق‌رسانی به ترتیب زیر است:

۲-۳-۱. جریان الکتریکی

هرگاه حامل‌های الکتریسیته (کترون‌ها) در یک هادی به حرکت درآیند، جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. این حرکت بایستی در یک مسیر مشخص باشد و هر قدر الکترون‌های بیشتری در زمان کمتر در مسیر مشخص حرکت کنند، مقدار جریان نیز بیشتر خواهد شد. به‌عنوان مثال هرگاه قسمتی از بدن انسان به‌عنوان بخشی از یک مدار بسته الکتریکی قرار گیرد، صدمات بافتی و اثرات مختلف به صورت سوختگی و غیره بر جای می‌گذارد که عمدتاً ناشی از عبور جریان در آن بافت‌ها و تولید حرارت می‌باشد. زیرا که عبور جریان الکتریکی از داخل هر



بافت ممکن است منجر به اختلال فعالیت آن عضو شود. این اثر در بافت‌های حساس‌تر نظیر بافت‌های عصبی و عضلانی که دارای هدایت الکتریکی بیشتری هستند شدیدتر می‌باشد. البته بروز صدمه در بافت‌ها رابطه مستقیم با مقدار شدت ولتاژ، جریان، فرکانس و نوع جریان الکتریکی عبوری از آنها دارد. میزان شدت جریان الکتریکی عبوری از بدن که در بعضی مواقع منجر به شوک الکتریکی و نهایتاً مرگ انسان می‌گردد به میزان مقاومت بدن بستگی دارد. لذا در صورتی که با روش‌های مختلف بتوان از ورود و خروج جریان الکتریکی به بدن جلوگیری کرد می‌توان از خطر برق‌گرفتگی نیز جلوگیری کرد. جریان‌های الکتریکی را به‌طور کلی می‌توان به دو دسته تقسیم کرد.

۱. جریان مستقیم

۲. جریان متناوب

الف) جریان مستقیم (DC)

جریان مستقیم، جریانی است که از یک منبع تغذیه با دو قطب مثبت و منفی تولید می‌شود و جهت آن برحسب زمان همواره ثابت است (بنا به فرض از قطب مثبت به طرف قطب منفی). این نوع جریان معمولاً به‌وسیله پیل یا باتری و یا به‌وسیله یک دستگاه یکسوساز تولید می‌شود که نتیجه آن تبدیل جریان متناوب به مستقیم است.

به طور طبیعی، میزان مقاومتی که بدن انسان در برابر جریان مستقیم از خود نشان می‌دهد بسیار بیش از جریان متناوب است. به‌طوری‌که بدن انسان در شرایط عادی توان عبور جریان مستقیم تا میزان ۸۰ میلی‌آمپر را دارا است، بدون اینکه اثر مهمی در سیستم تنفسی و یا قلب او بر جای گذارد. البته یک خطر اساسی که جریان مستقیم می‌تواند از خود بروز دهد، الکتrolیز یا تجزیه سریع خون می‌باشد که این امر می‌تواند منجر به مرگ گردد.

ب) جریان متناوب (AC)

جریان متناوب، جریانی است که هر لحظه میزان آن بر حسب زمان تغییر می‌کند. از این‌رو بدن انسان در مقابل این جریان، مقاومت کمتری نشان می‌دهد و بر خلاف جریان مستقیم که تا

۸۰ میلی آمپر خطر جدی در بر ندارد، این جریان با ۲۵ میلی آمپر می تواند خطر برق گرفتگی را به دنبال داشته باشد.

ج) تفاوت دو جریان AC و DC

جریان متناوب (AC) به دلیل برخورداری از فرکانس، صدمات آن از جریان مستقیم بیشتر و خطرناک تر است، زیرا که در اثر تغییر مداوم جهت آن، ضربات شدیدی بر سلسله اعصاب وارد آورده و از این طریق موجب کاهش مقاومت بدن می شود. به همین دلیل عبور جریان حدود ۲۵ میلی آمپر با فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز می تواند موجب بروز اختلال در سیستم تنفسی و مرگ انسان گردد. در حالی که با جریان مستقیم (DC) جریان ۵۰ میلی آمپر منجر به مرگ انسان می شود. به همین دلیل در شرایط یکسان:

۱. مقاومت بدن انسان در مقابل عبور جریان AC کمتر از جریان DC است.
۲. عبور جریان مستقیم ۶۰ تا ۸۰ میلی آمپر، آثار مهم داخلی در بدن نخواهد داشت.
۳. جریان متناوب ۱۵ میلی آمپر سبب ایجاد عوارض در بدن انسان خواهد شد.

۲-۳-۲. فرکانس

تعداد تعویض جهت جریان متناوب در یک ثانیه به عنوان فرکانس شناخته می شود. لذا چنانچه فرکانس جریان عبوری از بدن خیلی زیاد باشد، انرژی برق عمدتاً صرف تولید حرارت در بدن گشته و احتمال ایجاد شوک الکتریکی بسیار کم خواهد بود. به عنوان مثال در جریان های متناوب با فرکانس ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلو هرتز به جای ایجاد شوک برقی بر بدن انسان اثرات آن به صورت حرارت یا سوختگی بر بدن ظاهر می شوند. در حالی که نقطه اوج خطر با ایجاد شوک الکتریکی در فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز می باشد و فرکانس های بیش از ۴۰۰ هرتز موجب هلاکت و سوختگی محل یا کاربر می شود. بنابراین:

۱. با افزایش فرکانس مقاومت الکتریکی بدن انسان که دارای ظرفیت خازنی است، کم می شود.
۲. در صورتی که فرکانس جریان زیاد باشد، انرژی برق بیشتر صرف گرمایش بدن می شود و احتمال ایجاد شوک الکتریکی بسیار کم است.

۳. نقطه اوج خطر برق‌گرفتگی در فرکانس‌های ۵۰ تا ۶۰ هرتز می‌باشد.

۲-۳-۳. ولتاژ

در یک لوله برای حرکت آب نیاز به فشار و نیرو است. به همین ترتیب در هادی‌ها، الکترون‌ها عامل جریان هستند که با نام نیروی الکتریکی شناخته می‌شود. واحد اندازه‌گیری نیروی الکتریکی ولتاژ و نماد آن ولت می‌باشد. برای اندازه‌گیری ولتاژ از دستگاه ولت‌متر استفاده می‌شود. ولتاژ نیز عاملی برای ایجاد شوک الکتریکی یا برق‌گرفتگی و نهایتاً مرگ انسان است. میزان بکارگیری ولتاژ در صنایع مختلف متفاوت است که می‌توان آنها را به سه دسته زیر تقسیم کرد:

- ولتاژ بالا که از ۶۵۰ ولت شروع می‌شود.
- ولتاژ متوسط که بین ۲۵۰ تا ۶۵۰ ولت است.
- ولتاژ پایین که کمتر از ۲۵۰ ولت می‌باشد.

در ساختمان‌های مربوط به مراکز صنعتی، خدماتی، درمانی و غیره، سطوح زمین و دیوارها معمولاً به‌عنوان بخشی از سیستم برق‌رسانی هستند و قرار گرفتن دو نقطه از بدن در یک شبکه برق‌رسانی موجب عبور جریان از آن خواهد شد. به‌طوری‌که اگر یک نقطه از بدن (مثل پاها) به زمین یا دیوار متصل و نقطه دیگر بدن (مثل دست‌ها) به سیم برق یا بدنه فلزی یک دستگاه یا ابزار برقی در تماس باشد، عبور جریان برق از بدن منجر به برق‌گرفتگی، سوختگی، ایست قلبی و مرگ شخص می‌شود. بنابراین انواع ولتاژ در برق‌گرفتگی به ترتیب زیر تعریف می‌شوند:

ولتاژهای بالا: با این ولتاژ، لازم نیست که بدن مستقیماً با سیم یا دکل برق در تماس باشد و برق‌گرفتگی یا عبور جریان برق به بدن می‌تواند در فاصله چند متری از طریق عبور در هوا به بدن منتقل یابد. در این رابطه هر چه میزان ولتاژ و رطوبت بیشتر باشد آثار برق‌گرفتگی و صدمات نیز بیشتر خواهد بود.

ولتاژهای پایین: آثار برق‌گرفتگی با این نوع ولتاژ بیشتر در مصارف خانگی، اداری و غیره قابل مشاهده است. زیرا که خراشیدگی، لختی و ضربه دیدن سیم‌های برق در وسایل برقی و

تماس بهره‌بردار با بدنه آنها به‌ویژه وسایلی که فعالیت آنها ارتباط مستقیم با مایعات دارد می‌تواند آثار برق‌گرفتگی بر روی بدن بهره‌بردار را افزایش دهد.

ولتاژ خطرناک: حداکثر ولتاژ بی‌خطر برای انسان در شرایط عادی با فرکانس ۵۰ هرتز در برق متناوب بر اساس استاندارد انگلیس حدود ۵۰ ولت و بر اساس استاندارد آلمان ۶۵ ولت می‌باشد. هرچند که در رابطه با برق مستقیم یا DC در هر دو استاندارد ۱۲۰ ولت اعلام شده است. درحالی‌که این میزان برای حیوانات ۲۵ ولت در برق متناوب و ۶۰ ولت در برق مستقیم می‌باشد.

۲-۳-۴. مقاومت

یکی از عوامل مهم در مسیر حرکت الکترون‌ها در یک هادی الکتریکی به‌عنوان مقاومت شناخته می‌شود. مقاومت در مدارهای الکتریکی موجب تولید حرارت، کنترل جریان، ایجاد ولتاژ صحیح و غیره می‌شود. میزان مقاومت در یک هادی به عوامل زیر وابسته است:

جنس مواد: هر یک از مواد، از مقاومت ویژه‌ای برخوردار هستند، از این‌رو مواد نقره‌ای و مسی دارای کمترین مقاومت و مواد آهنی از بیشترین مقاومت برخوردار هستند.

طول: آن دسته از موادی که از سطح مقطع ثابتی برخوردار هستند، مقاومت آنها به طولشان بستگی دارد. به‌عنوان مثال هادی‌های بلندتر دارای مقاومت بیشتر می‌باشند.

سطح مقطع: مقاومت هر هادی نسبت معکوس با سطح مقطع آن دارد. به‌طوری‌که با افزایش سطح مقطع هادی، مقاومت آن کاهش می‌یابد.

دما: افزایش دما در فلزات نسبت مستقیم با مقاومت آن دارد. به‌طوری‌که با افزایش دما مقاومت آن نیز افزایش می‌یابد. درحالی‌که در غیر فلزات معکوس می‌باشد.

۲-۴. مدارهای الکتریکی

مدارهای الکتریکی به‌طور کلی به دو دسته مدارهای با جریان مستقیم یا DC و مدارهای جریان متناوب یا AC تقسیم می‌شوند و هریک از این دو دسته دارای کاربردها و مزایای منحصربه‌فرد هستند. در این رابطه به‌عنوان مثال ساده‌ترین مدار با جریان مستقیم، مدار یک چراغ قوه است که از یک منبع تغذیه یا باتری و یک لامپ یا مقاومت و یک رشته سیم تشکیل شده است و



ساده‌ترین مدار جریان متناوب، مدار یک مبدل یا یکسوساز جریان برق شبکه شهری است که شامل یک ترانس و دیود یا پل دیودی و چند رشته سیم می‌باشد.

۱- مدار بسته

این نوع مدارها به عنوان مثال در مدار یک چراغ قوه، زمانی که منبع تغذیه یا باتری از طریق یک رشته سیم به لامپ متصل است و با جاری شدن جریان الکتریکی در مدار، لامپ روشن شود، به عنوان مدار بسته نامیده می‌شود. در مدارهای بسته جریان یا حرکت الکترون‌ها در کل مدار جاری خواهد شد.

۲- مدار باز

مدار باز مداری است که در آن مسیر کاملی برای حرکت الکترون‌ها وجود ندارد یا در نقطه‌ای از مدار، اتصال قطع یا مدار باز است. در این شرایط هیچ جریانی به دلیل باز بودن اتصال در مدار وجود نخواهد داشت. چنین مسیر ناقصی در مدارها معمولاً به وسیله یک اتصال ناقص یا یک کلید باز به وجود می‌آید.

۳- اتصال کوتاه

یک اتصال کوتاه زمانی به وجود می‌آید که حرکت الکترون‌ها به طور اتفاقی در مسیر دیگر منحرف شوند یا این حرکت از طریق یک مسیر کم مقاومت به وسیله یک سیم با مقاومت کم اهم در برابر (به صورت موازی) یک مصرف‌کننده قرار گیرد.

این اتفاق معمولاً زمانی رخ می‌دهد که شمار بسیار بالایی از الکترون‌ها از طریق مسیر با مقاومت کمتر به جای حرکت در مسیر مصرف جریان در مسیر دیگر جاری شوند.

اتصال کوتاه معمولاً جریان اضافی را عبور می‌دهد که این امر موجب گرم شدن بیش از حد سیم‌ها، عایق‌ها و عناصر مدار گردیده و منجر به بروز آتش‌سوزی احتمالی یا خطرات دیگر می‌گردد.

۲-۵. فیوز

عبور جریان اضافی در مدار باعث داغ شدن سیم، کابل و دیگر عناصر موجود در مدار گردیده و موجب سوختن الکتریکی آنها می‌گردد. بنابراین برای جلوگیری از هر نوع صدمه و وارد آمدن آسیب به مدار لازم است از ابزار یا عناصری در مدار استفاده شود تا هنگام بروز چنین وضعیتی سریعاً و به صورت خودکار مدار را از جریان برق اصلی قطع کند. ساده‌ترین عناصر شناخته شده در این رابطه فیوزها هستند که در هنگام افزایش جریان ورودی به مدار به بیش از میزان نوشته شده بر روی آن، به صورت خودکار مسیر جریان را قطع می‌کنند.

۲-۶. تفاوت نول و ارت

۲-۶-۱. نول

برای انتقال نیروی برق از یک مولد به یک دستگاه برقی، علاوه بر سیم فاز از یک سیم دیگر با نام سیم نول نیز استفاده می‌شود. به عبارت دیگر سیم نول، سیمی است که جریان خروجی از یک دستگاه را به مولد برمی‌گرداند. سیم نول، همان سیمی است که به نقطه خنثی سیستم یا به نقطه ستاره سیم‌پیچ ترانسفورماتور یا ژنراتور متصل شده است. این سیم (نول) قادر است در انتقال توان الکتریکی مشارکت کند. در شرایط خاصی (سیستم TNC) ممکن است سیم نول و ارت یکی شوند.

در اکثر مراکز صنعتی به‌ویژه مراکز درمانی سیم نول را برای اتصال به زمین وارد چاه مرطوب می‌کنند. این عمل باعث خواهد شد تا زمین مرطوب به‌عنوان بخشی از مدار بین مصرف‌کننده و مولد نیز شناخته خواهد شد. چاه مورد استفاده به‌عنوان چاه نول شناخته می‌شود.

توجه: سیم نول به جز در موارد خاص، فقط در شبکه‌های فشار ضعیف کاربرد دارد و در شبکه فشار متوسط شهری سیم نول وجود ندارد. پس در سطح شهر هر جا سیم نول وجود داشت شبکه فشار ضعیف است. سیم نول همیشه حامل جریان است و فقط ولتاژ نامی آن صفر است. البته در عمل هرگز ولتاژ نول صفر نیست و همواره به دلایلی از قبیل افت ولتاژ، تلفات، عدم تعادل و آنبالانسی شبکه دارای ولتاژی می‌باشد. بنابراین «سیم نول بی‌برق» نیست.

۲-۶-۲. ارت

در گذشته سیستم ارتینگ برای اماکن مختلف طراحی نمی‌شد و برق‌گرفتگی افراد و صدمات به وسایل الکتریکی امری رایج بود. اما امروزه این سیستم به‌طور گسترده و به‌ویژه در زمینه‌های مختلف برای جلوگیری از نویز شبکه‌ها، مجموعه‌های انتقال و توزیع برق، تجهیزات برق‌گیر پرکاربرد، تجهیزات دقیق و حساس به‌خصوص ابزار و تجهیزات پزشکی کاربرد وسیعی دارد. این ابزار و تجهیزات در برابر نشتی جریان بسیار حساس و آسیب‌پذیر هستند. بدین ترتیب استفاده از سیستم ارتینگ به میزان قابل توجهی در کاهش انواع خسارات و اتصالات الکتریکی در دستگاه‌ها و پیشگیری از برق‌گرفتگی کاربران از قبیل بیماران، پرستاران، پزشکان، دانشجویان و اساتید بسیار مؤثر است. به عبارت دیگر سیم ارت می‌تواند با انتقال جریان الکتریکی به زمین، در مصون داشتن مدارات الکتریکی دستگاه‌ها از هر نوع آسیب، مهار جریان‌های تولید شده از القای الکترومغناطیسی، کاهش ولتاژ در زمان اختلاف پتانسیل، حفاظت از جان کاربران، کارکرد صحیح سیستم‌های (الکتریکی، الکترومکانیکی، دیجیتالی)، عدم آسیب‌دیدگی سیستم‌ها و تجهیزات حفاظتی، برای جلوگیری از افزایش الکتریسیته ساکن در هنگام حمل مواد قابل اشتعال یا تعمیر تجهیزات الکترونیکی و غیره نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد.

زمین کردن تجهیزات در تأسیسات الکتریکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اقدامات در جهت افزایش ایمنی و سلامت افراد و حفاظت از دستگاه‌ها است. به‌طوری‌که با اتصال بدنه هر نوع ابزار و تجهیزات الکتریکی به جریان برق باعث می‌شود تا در صورت بروز خطا در هر یک از تجهیزات، جریان برق مستقیماً به سمت زمین جاری شده و از برق‌دار شدن بدنه آنها جلوگیری کند. البته برای تضمین ایمنی افراد و حفاظت ابزار و دستگاه‌ها لازم است اتصال به زمین از مقاومت پایینی برخوردار باشد تا در صورت بروز هر نوع خطا، با جاری شدن جریان به زمین، سیستم حفاظت در شبکه به‌خوبی عمل کند.

۲-۷. انواع اتصالات زمین

این اتصالات به‌طور کلی به دسته‌های IT، TN-S، TN-C و TN-C-S تقسیم می‌شوند. کاربرد این نوع اتصالات به ترتیب زیر است:

۱. سیستم TN-C-S: این سیستم یکی از پرکاربردترین سیستم‌ها است و در انگلستان از آن به‌عنوان protective multiple earthing (PME) و در استرالیا و نیوزیلند به‌عنوان multiple earthed neutral (MEN) نام برده می‌شود.

۲. اتصال TN-S: از این نوع اتصال غالباً در اروپای شرقی استفاده می‌شود.

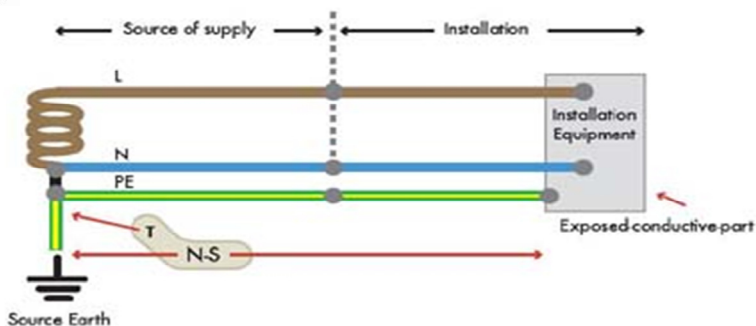
۳. اتصال TN-C: از این اتصال به ندرت استفاده می‌شود.

۴. اتصال TT: این اتصال به‌دلیل مستقل بودن از شبکه در تأمین حفاظت در شبکه‌هایی استفاده می‌شود که چندین دستگاه الکترونیکی بر روی هادی خنثی پارازیت زیادی را فراهم می‌آورند.

۵. اتصال IT: کاربرد اصلی این نوع اتصال در مراکز درمانی، بیمارستان‌ها و به‌ویژه اتاق عمل می‌باشد تا اولاً احتمال برق‌گرفتگی خیلی کم باشد و ثانیاً در صورت اتصال فاز به بدنه هادی، نه پرسنل دچار برق‌گرفتگی شوند و نه فیوز بپرد. اما لازم است تا در صورت بروز اتصالی، لامپی بر روی دستگاه نظارت عایق روشن شود تا بعداً تعمیرکار برق نسبت به رفع عیب اقدام کند.

البته حروف اختصاری به‌کاررفته در این اتصالات را می‌توان به ترتیب زیر تشریح کرد:
معمولاً برای نشان دادن چگونگی اتصال زمین سیستم توزیع برق یا سیستم ارتینگ و تأسیسات برق مصرف‌کننده از دو یا چند حرف لاتین استفاده می‌شود. حرف اول نشان‌دهنده چگونگی اتصال زمین سیستم توزیع نیروی برق و حرف دوم نشان‌دهنده چگونگی اتصال زمین تأسیسات برق مصرف‌کننده است. حروف دیگر نشان‌دهنده یکی بودن یا یکی نبودن سیم حفاظتی و سیم نول در اتصال TN است.

- حرف اول از سمت چپ مشخص‌کننده نوع ارتباط سیستم برق با زمین است.
 - T: یک نقطه از اتصال است که مستقیماً به زمین وصل می‌شود. (معمولاً نقطه خنثی)
 - حروف دوم از سمت چپ مشخص‌کننده نوع رابطه بدنه هادی با زمین است.
 - N: بدنه هادی در نقطه زمین شده از نظر الکتریکی مستقیماً به زمین وصل می‌شوند.
- علاوه بر دو حرف اصلی تعیین‌کننده نوع اتصال، در اتصال TN مطابق شکل ۱-۲ از حروف اضافی برای هادی‌های حفاظتی PE و خنثی N نیز استفاده می‌شود.



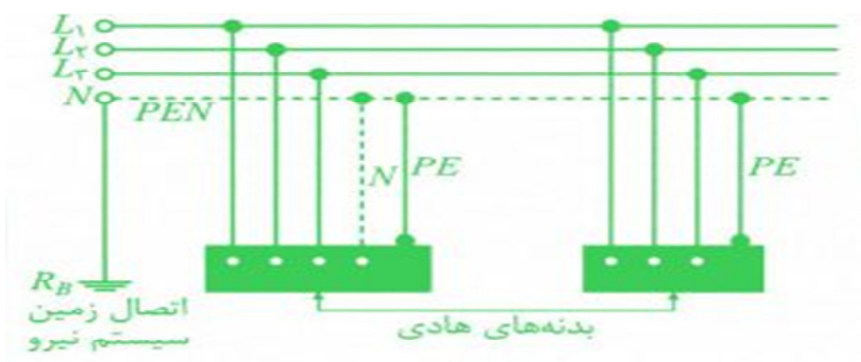
شکل ۲-۱. اتصال TN در سیستم TN-C-S

I: قسمت‌های برق‌دار اتصال نسبت به زمین دارای عایقند که از طریق یک نقطه از اتصال به وسیله یک امپدانس به زمین وصل می‌شود.

S: در سراسر اتصال، بدنه‌های هادی به وسیله یک هادی مجزا PE به نقطه خنثی N در مبدأ اتصال وصل می‌شود.

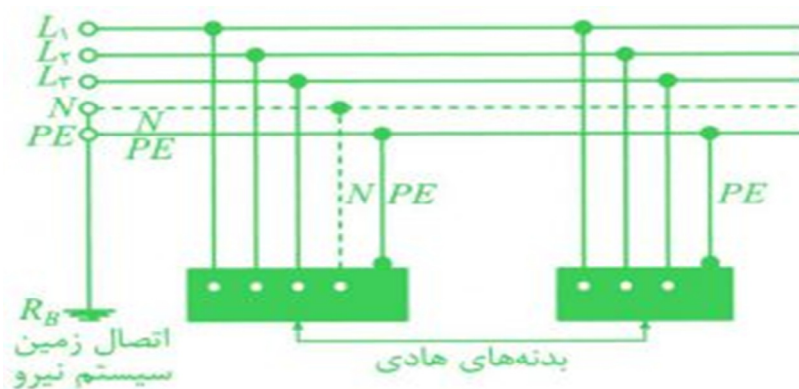
C: در سراسر اتصال، بدنه‌های هادی به یک هادی مشترک حفاظتی خنثی PEN وصل می‌شود.

الف) اتصال زمین TN-C: در این اتصال نول و ارت مشترک هستند. در این اتصال شینه نول به چاه ارت متصل می‌شود و بعد از آن به وسیله سیم PEN مطابق شکل ۲-۲ هم به عنوان سیم خنثی (N) استفاده می‌شود و هم به بدنه برای حفاظت زمین (PE) متصل می‌شوند.



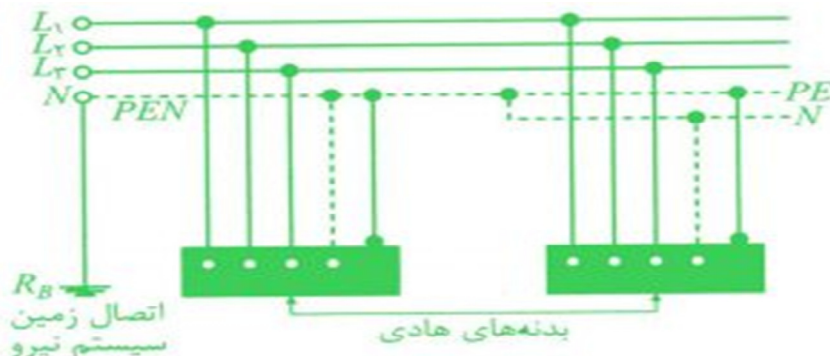
شکل ۲-۲. اتصال PEN در سیستم TN-C

ب) اتصال TN-S: در این اتصال نول و ارت از هم جدا هستند. اما هنوز سیم خنثی به چاه ارت متصل خواهد بود. از این اتصال مطابق شکل ۲-۳ برای مراکزی استفاده می‌شود که بایستی مجهز به ابزار حفاظتی جریان تفاضلی برابر با استانداردهای IEC 61008 و IEC 61009 باشند. لذا در زمان استفاده از این اتصال در محل مصرف با بهره‌گیری از شبکه توزیع استاندارد شبکه شهری شامل سیم‌کشی و کابل‌بندی و اتصالات مناسب (سیم‌کشی مراکز درمانی از نوع ۵ سیمه از قبیل ارت، نول و فازها به صورت ارت، نول و فازهای R, S, T یا L1, L2, L3) می‌باشند که در این سیستم برخلاف مراکز صنعتی، سیم‌های نول و ارت در هیچ جایی از تابلوهای اصلی و فرعی به یکدیگر وصل نخواهند شد.



شکل ۲-۳. نمونه یک سیستم TN-S

ج) اتصال TN-C-S: در اتصال TN-C-S، تنها در بخشی از آن (معمولاً در ابتدا)، اتصال نول و ارت با یکدیگر مشترک هستند و از آن نقطه به بعد، سیم پنجمی از نول منشعب شده و جداگانه به بدنه دستگاه‌های مصرف‌کننده اتصال داده می‌شود. در مواردی که قسمتی از اتصال از مبدأ تا نقطه تفکیک، هادی توأم حفاظتی - خنثی PEN دارند و از آن به بعد، دو هادی حفاظتی PE و خنثی N از هم جدا می‌شوند، از هر دو حرف C و S استفاده خواهد شد، به نحوی که چنین اتصال به صورت TN-C-S مطابق شکل ۲-۴ مشخص می‌شود.

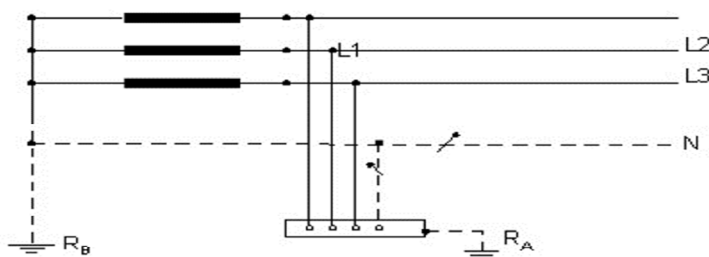


شکل ۲-۴. نمونه یک سیستم TN-C-S

در اتصال TN-C-S با قطع شدن سیم PEN یعنی نول حفاظتی ولتاژی برابر ولتاژ بین فاز و نول بین قسمت‌های هادی در دسترس تجهیزات و زمین برقرار می‌شود.

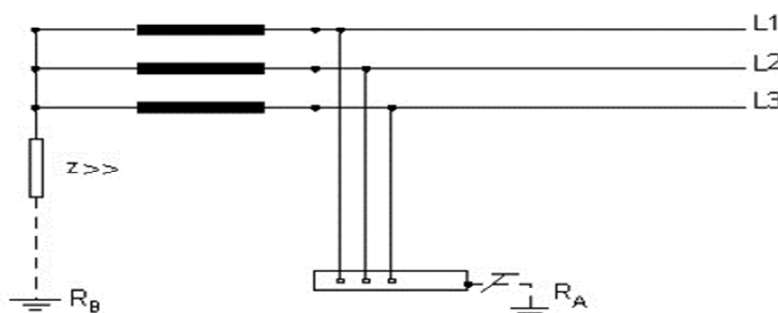
(د) اتصال زمین TT: در سیستم ارتینگ TT، مرکز ستاره ترانسفورماتور توزیع، مستقیماً به زمین وصل شده و بدنه‌های هادی تأسیسات الکتریکی، مستقل از اتصال زمین سیستم، به زمین وصل می‌شوند. در این سیستم شبکه و تأسیسات دارای دو زمین مجزا از یکدیگر هستند، به‌طوری که نقطهٔ صفر ستارهٔ ترانس، مستقیماً به زمین وصل می‌شود (زمین الکتریکی) و یک سیم از آن جهت استفاده به‌عنوان نول سیستم به خارج هدایت می‌گردد.

در صورت خراب شدن عایق‌بندی پایه و برق‌دار شدن قسمت‌های هادی در دسترس تجهیزات برقی، وسیله حفاظت عمل می‌کند و برق تجهیزاتی را که دچار اتصال هستند قطع می‌کند. در سیستم‌های TT مطابق شکل ۲-۵ می‌توان وسیله حفاظت در برابر اضافه جریان و رله جریان پسماند را به کار برد.



شکل ۲-۵. نمونه یک سیستم TT

ح) اتصال IT: در این اتصال نول و ارت مجزا هستند. نقطه صفر ستاره ترانس مستقیماً به زمین وصل می‌شود (زمین الکتریکی) و یک سیم از آن برای استفاده صفر (نول) به بیرون هدایت می‌شود و بدنه دستگاه‌ها و وسایل الکتریکی به زمین دیگری (زمین حفاظتی ارت) وصل می‌شوند. به عبارت دیگر در این سیستم مطابق شکل ۲-۶ کلیه اجزای برق‌دار نسبت به زمین جدا هستند و فلز بدنه تجهیزات به طور مستقیم و مستقل از اتصالات زمین، به ارت اصلی وصل است. از این سیستم مطابق شکل، به‌طور گسترده برای تجهیزات پزشکی مستقر در بخش‌های مختلف مراکز درمانی و به‌ویژه اتاق عمل استفاده می‌شود تا اولاً از احتمال برق‌گرفتگی به شدت کم شود و ثانیاً در صورت اتصال فاز به بدنه دستگاه، نه پرسنل دچار برق‌گرفتگی و آسیب شود و نه فیوز بپرد. هر چند که در صورت بروز اتصالی، لازم است چراغ اعلام هشدار بر روی دستگاه روشن شود تا بعداً تعمیرکار برق نسبت به رفع عیب احتمالی اقدام کند.



شکل ۲-۶. نمونه یک سیستم IT

۲-۸. سیستم‌های توزیع نیرو و تغذیه ایمن براساس استاندارد (IEC 60364-7-710:2002-11)

طراحی و اجرای سیستم توزیع و تأمین نیروی برق ایمن بیمارستان برای تغذیه تجهیزات الکتریکی پزشکی بایستی با توجه به شرایط و مخاطرات موجود در آن صورت گیرد. این‌گونه شرایط عموماً شامل موارد زیر است:

- جریان‌های ناشی بیش از حد مجاز از دستگاه‌ها و تجهیزات الکتریکی پزشکی

- اختلالات الکتریکی و مغناطیسی که ممکن است در عملکرد تجهیزات برقی پزشکی اثرگذار باشد.
 - وجود گازهای طبی محترق و گازهای ناشی از مواد ضدعفونی‌کننده، تمیزکننده و غیره
 - عدم توانایی بیمار برای واکنش طبیعی در برابر مخاطرات احتمالی
 - کاهش مقاومت پوست بدن به علت استفاده از الکترودها و سوندهای پزشکی
 - حساسیت عضله قلب در برابر جریان برق بیش از ۱۰ میکروآمپر
 - عدم امکان توقف یا تکرار جراحی‌ها
- بنابراین در چنین مکان‌هایی سیستم توزیع و منابع تغذیه نیروی برق بایستی متناسب با مورد مصرف طبقه‌بندی شده و به گونه‌ای طراحی و اجرا شود که از تداوم نیروی برق و رعایت حفاظت‌های لازم در زمینه‌های برق‌گرفتگی، شوک، آتش‌سوزی و انفجار و یا اختلالات الکتریکی و مغناطیسی اطمینان حاصل شود.

۲-۹. نقش سیم‌های حفاظتی در سیستم ارتینگ

سیستم‌های TT، TN و IT هادی حفاظتی یا PE دارند و همه قسمت‌های فلزی تجهیزات الکتریکی که در هنگام بروز اتصالی می‌توانند برق‌دار شوند، به نحوی مطمئن به سیم حفاظتی متصل شده و دستگاه و کاربران را از هر نوع آسیب و صدمه محافظت می‌کنند.

در سیم‌کشی ثابت و سیار، سیم سبز-زرد مخصوص سیم حفاظتی است. در هر ساختمان روش‌های مختلفی برای زمین الکتریکی تجهیزات با استفاده از یک سیم پتانسیل ساز اصلی برای هم‌بندی هادی‌ها به ترتیب زیر در نظر گرفته شود:

- اتصال به لوله‌های فلزی داخل ساختمان
- اتصال به میله‌های فلزی داخل ساختمان
- اتصال به نوارهای فلزی داخل ساختمان
- اتصال به سیم حفاظتی (هادی حفاظتی)، یا نول حفاظتی
- اتصال به لوله ورودی آب
- اتصال به لوله ورودی گاز

- اتصال به لوله رفت شوفاژ - تهویه مطبوع
- اتصال به اسکلت فلزی ساختمان و سایر لوله‌کشی‌های فلزی، در صورت امکان سطح مقطع سیم هم پتانسیل ساز نصف سطح مقطع سیم حفاظتی و حداقل ۶ میلی‌متر مربع است.

سطح مقطع بیشتر از ۲۰ میلی‌متر مربع برای سیم مسی یا سطح مقطع سیمی غیر از مس دارای ظرفیت انتقال جریان معادل برای سیم هم پتانسیل‌ساز ضروری نیست. اقدامات حفاظتی برای تجهیزات مصرف‌کننده برق باید بدون اتصال به سیم هم پتانسیل ساز هم مؤثر باشد.

۲-۱۰. ولتاژ تماس یا ولتاژ بی خطر

ولتاژ تماس، ولتاژی است که در هنگام وجود اتصال الکتریکی به بدنه فلزی یا هر نوع اتصال دیگر و تماس انسان با آن، ولتاژ به انسان اعمال می‌شود. براساس یک همه‌پرسی از طریق کمیته بین‌المللی الکترونیک IEC از کشورهای مختلف، برای ولتاژ متناوب با مقدار مؤثر کمتر از ۵۰ ولت، در شرایط عادی برای انسان حادثه‌ای جدی به ثبت نرسیده است. از این‌رو حد قراردادی ولتاژ تماس برای ولتاژ متناوب ۵۰ ولت و ولتاژ مستقیم ۱۲۰ ولت برای انسان و حد قراردادی ولتاژ تماس برای دام در محیط باز ۲۵ ولت گزارش شده است. در شرایط مرطوب مثلاً حمام حد مجاز ولتاژ تماس پایین‌تر می‌باشد.

اثرات ولتاژ تماس برحسب زمان متفاوت است. از این‌رو عبور ولتاژ در یک زمان معین بایستی قطع شود تا آثار زیان‌باری بر بدن از خود بر جای نگذارد. مثلاً حداکثر زمانی که در طول آن ولتاژ تماس ۲۲۰ ولت متناوب باید قطع شود، در حدود پنج صدم ثانیه است. جدول ۲-۱ حداکثر زمان برقرار ولتاژ تماس بالقوه را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲. حداکثر زمان برقراری ولتاژ تماس مؤثر

ولتاژ تماس مؤثر	ولتاژ تماس مؤثر	
	ولتاژ متناوب (برحسب ولت)	ولتاژ مستقیم (برحسب ولت)
۵	۱۲۰	۵۰
۱	۱۴۰	۷۵
۰/۵	۱۶۰	۹۰
۰/۲	۱۷۵	۱۱۰
۰/۱	۲۰۰	۱۵۰
۰/۰۵	۲۵۰	۲۲۰
۰/۰۳	۳۱۰	۲۸۰

ولتاژ تماس مؤثر برای جریان مستقیم برای ولتاژهای عاری از شکل موج مانند ولتاژ باتری است. در صورتی که ولتاژ مستقیم از یک یکسو کننده ولتاژ متناوب به دست آمده باشد، همان مقادیر مربوطه به ولتاژ متناوب معتبر است.

در سیستم‌های TN، یا سیم حفاظتی PE یا نول حفاظتی PEN وجود دارد. برای اینکه در حالت وجود اتصالی، سیم حفاظتی یا نول حفاظتی در سراسر سیستم توزیع نیرو حتی‌الامکان با زمین هم پتانسیل بماند، لازم است این سیم‌ها بلافاصله بعد از ترانسفورماتور یا ژنراتور و در طول سیستم توزیع نیرو و حتی‌المقدور در فاصله‌های مساوی و همچنین در ورود به اماکن مستقیماً زمین شود.

در هر حال کل مقاومت زمین سیستم توزیع نیرو باید مقداری باشد که در صورت ایجاد اتصالی سیم فاز به زمین، ولتاژ بین نقطه خنثی و هر یک از الکترودهای زمین، از ۵۰ ولت بیشتر نشود. برای این منظور در بعضی از استانداردها حداکثر مقاومت کل زمین ۲ اهم و حداکثر مقاومت زمین هر الکترود برابر ۵ اهم گرفته می‌شود.

۲-۱۱. جریان الکتریکی و کاربران

ایمنی کاربران تجهیزات پزشکی در مراکز درمانی نظیر بیماران، پزشکان و پرستاران در برابر جریان الکتریکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این تجهیزات مطابق شکل ۲-۷ در همه شرایط بایستی ایمن باشند زیرا:

- توان و مقاومت بدن بیمار در فرآیند درمان در واکنش به خطرات احتمالی کاهش یافته یا از بین می‌رود.
- در حالت بیهوشی یا ریکاوری قادر به مراقبت از خود یا عکس‌العمل طبیعی نسبت به شوک جریان الکتریکی نمی‌باشد.
- مقاومت الکتریکی پوست به دلیل قرار گرفتن کاتترها و زخمی شدن پوست کاهش می‌یابد.
- عضلات قلب نسبت به جریان الکتریکی بسیار حساس می‌شود.
- فعالیت طبیعی اعضای مختلف بدن به صورت موقت یا دائمی با ابزار و دستگاه‌های مرتبط جایگزین می‌شود.



شکل ۲-۷. نمونه یک سیستم TT

در چنین شرایطی لازم است همه تجهیزات و وسایل بیمارستان از ایمنی و حفاظت کامل برخوردار باشند تا کاربران از هر نوع حوادث جانی و مالی در هنگام استفاده از آنها مصون باشند.

۲-۱۲. طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ تأمین ایمنی در برابر برق‌گرفتگی

کلاس I: تجهیزات پزشکی در این کلاس برای حفاظت کاربران از خطر جریان برق‌گرفتگی فقط به عایق‌بندی آنها اکتفا نکرده و از روش‌های مطمئن‌تری برای افزایش ایمنی آنها با اتصال بدنه به کابل زمین استفاده شده است. تجهیزات پزشکی این کلاس مجهز به ۳ کابل اصلی هستند که یکی از آنها کابل زمین است. در این روش دستگاه به گونه‌ای به اتصال زمین حفاظتی متصل می‌شود تا چنانچه عایق‌بندی اصلی داخل دستگاه دچار خرابی شد، قسمت‌های فلزی قابل دسترس برای کاربر برقرار نشود و جریان ناشی به بدنه فلزی از طریق کابل زمین به زمین منتقل شود. بنابراین دستگاه‌ها در این نوع کلاس، اتصال زمین حفاظتی دارند. برخی از دستگاه‌ها در این کلاس شامل پالس اکسی متر، اتوکلاو و غیره هستند.

برای جلوگیری از هرگونه حادثه و برق‌گرفتگی، تجهیزات پزشکی بایستی به صورت دوره‌ای کنترل شوند تا از سالم بودن سیستم زمین (ارتینگ) دستگاه اطمینان حاصل شود.

کلاس II: تجهیزات مربوط به این کلاس نیز برای تأمین حفاظت کاربران در برابر خطرات برق‌گرفتگی تنها به عایق‌بندی اصلی اکتفا نشده است. بلکه اقدامات ایمنی مضاعف از قبیل عایق‌بندی دابل یا مضاعف یا تقویتی برای تأمین ایمنی کافی کاربران منظور گردیده است. به عبارت دیگر دستگاه‌های این نوع کلاس اتصال زمین ندارند، اما دارای بدنه ای با عایق مضاعف هستند. بدین ترتیب که بدنه آنها از ۲ لایه عایق فاصله‌دار ساخته شده است تا چنانچه در داخل این دستگاه‌ها خطای الکتریکی رخ داد، آثار آن بسیار ضعیف و خطری برای کاربران در پی نداشته باشد. زیرا که عایق‌بندی دو مرحله‌ای بخش داخل را از بخش‌های خارجی آن محافظت خواهد کرد. به همین دلیل در این کلاس هیچ نیازی به اتصالات زمین نیست. برخی از دستگاه‌هایی که در این کلاس قرار دارند عبارتند از: الکتروکوتر، دیفیبریلاتور و غیره.

در این راستا هرگاه دیفیبریلاتور بر روی بدن بیمار در حال دشارژ یا در حال استفاده است به بیمار آسیب نخواهد رساند. لذا تجهیزات با این علامت و نشان در هنگام استفاده نمی‌توانند به بیمار آسیب برسانند. تجهیزات با نشان دیفیبریلاتور می‌توانند در طول دیفیبریلاسیون به مریض متصل باشند.

۲-۱۳. طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ حفاظت در برابر

برق‌گرفتگی

نوع ارتباط تجهیزات پزشکی مصرف‌کننده جریان برق با بدن بیمار می‌تواند دربرگیرنده اثرات مختلفی باشد که در ادامه براساس بندهایی از استاندارد IEC60601-1 به برخی از این اثرات اشاره خواهد شد.

این تجهیزات از لحاظ حفاظت در برابر برق‌گرفتگی در ۳ دسته به ترتیب زیر هستند:

- دستگاه‌های نوع B
- دستگاه‌های نوع BF
- دستگاه‌های نوع CF

۲-۱۳-۱. دستگاه‌های نوع B (Body Type)

این نوع دستگاه‌های پزشکی از قبیل MRI، تخت‌های بیمارستانی، دستگاه‌های فتوتراپی و غیره می‌توانند از کلاس‌های مختلف اشاره شده در بخش ۲-۱۲ باشند که با توجه به قابلیت اطمینان در برابر جریان نشتی، از حفاظت کافی در برابر جریان الکتریکی برخوردار هستند. این دستگاه‌ها برای استفاده در موارد خارجی و داخلی به غیر از کاتتریزاسیون مناسب هستند. حداکثر جریان نشتی که این دسته از تجهیزات می‌توانند وارد بدن کنند ۱۰۰ میکروآمپر است. هرچند که این نوع دستگاه‌ها برای کاربردهایی که دارای اتصال مستقیم با قلب هستند مناسب نمی‌باشند.

دستگاه‌های نوع B از یک درجه حفاظت ویژه‌ای در برابر خطر برق‌گرفتگی به‌خصوص در موارد زیر برخوردار هستند:

- جریان نشتی مجاز
- قابلیت اطمینان اتصال حفاظتی زمین

۲-۱۳-۲. دستگاه‌های نوع BF (Body Float)

این نوع دستگاه‌ها نظیر فشارسنج دارای اجزای آویزان و دارای مدار داخلی شناور هستند و در تماس دائم با پوست بیمار می‌باشند، اما هیچ تماس مستقیم با قلب بیمار ندارند. بخش‌هایی از



قسمت‌های برق دار داخلی دستگاه و زمین حفاظتی ایزوله هستند. به عبارت دیگر در این دستگاه‌ها بین بیمار و زمین اتصالی برقرار نخواهد بود. این ایزولاسیون می‌تواند به وسیله opto-coupler، ترانسفورماتور ایزولاسیون و غیره ایجاد شود. حداکثر جریان نشتی به بدن بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکروآمپر است.

۲-۱۳-۳. دستگاه‌های نوع C (Cardiac) Type C

این دسته از تجهیزات پیس میکر تماس مستقیم با قلب برقرار می‌کنند. حداکثر جریان نشتی hc این تجهیزات بین ۱۰ تا ۵۰ میکروآمپر است.

۲-۱۳-۴. دستگاه‌های نوع CF (Cardiac Float) Type CF

این نوع دستگاه‌ها از توان حفاظت بالاتری نسبت به دستگاه‌های نوع BF و C در برابر خطر برق‌گرفتگی ناشی از جریان نشتی مجاز برخوردار هستند. به همین دلیل این دسته از دستگاه‌ها به صورت الکتریکی تماس مستقیم با قلب بیمار یا تماس دائم با منطقه‌ای از سینه دارند که قلب در آن قرار دارد و یا از آن برای تماس مستقیم با ماهیچه قلب و نسوج نزدیک به آن استفاده می‌شود. (مانند کاتتر برای آنژیوگرافی عروق کرونر و دستگاه‌های دیالیز). به عبارت دیگر تجهیزاتی که در ارتباط مستقیم با قلب استفاده می‌شوند، بایستی از درجه حفاظت CF برخوردار باشند. حداقل مقاومت بین منابع تغذیه و زمین ۲۰ مگا اهم و بین منابع تغذیه و قسمت‌هایی که در تماس با بیمار است ۷۰ مگا اهم باشد. این بخش‌ها (مدارات داخلی دستگاه) بایستی از قسمت‌های اعمالی به بیمار ایزوله باشند. حداکثر جریان مجاز این تجهیزات بین ۱۰ تا ۵۰ میکروآمپر است.

۲-۱۴. طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی از لحاظ وضعیت کار

تجهیزات برحسب وضعیت کار به ترتیب زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- کار کوتاه مدت: کار تحت بار عادی برای یک زمان معین که از حالت سرد شروع می‌شود و دما از حد مجاز تجاوز نمی‌کند. زمان استراحت دستگاه به حدی طولانی است که دستگاه به حالت سرد می‌رسد.

- **کار متناوب:** کار در یک سری از دوره‌های متشابه معین انجام می‌گیرد که هر دوره متشکل است از یک زمان کارکرد مشخص در شرایط تحت بار (بدون افزایش دما از حد مجاز) است. به دنبال آن دستگاه در حالت خلاص کار می‌کند یا خاموش است.
- **کار مداوم:** کار با بار عادی برای مدت زمان نامحدود، بدون اینکه دما از حد تعیین شده زیادتر شود.
- **کار مداوم با بار کوتاه مدت:** کار در حالتی که دستگاه به‌طور مداوم روشن است و زمان مجاز بارگذاری آنقدر کوتاه است که دستگاه به دمای حالت بارگذاری بلندمدت نمی‌رسد. در صورتی که فاصله زمان میان دو بارگذاری به حدی طولانی است که دستگاه به دمای حالت بدون بار بلند مدت می‌رسد.
- **کار مداوم با بار متناوب:** کار در حالتی که دستگاه به‌طور مداوم روشن است و زمان بارگذاری آنقدر کوتاه است که دستگاه به دمای حالت بارگذاری بلند مدت نمی‌رسد. با وجود این فاصله زمانی میان دو بارگذاری آنقدر طولانی نیست که دستگاه به دمای حالت بدون بار بلند مدت برسد.

۲-۱۵. ایمنی تجهیزات پزشکی

اجزای الکتریکی تجهیزات معمولاً درون پوشش‌های عایقی قرار گرفته است که در صورت خراب شدن عایق‌بندی جریان نشت کرده به سمت زمین روانه شود. این مسیر ممکن است بدن بیمار یا دیگر کاربران باشد. جریان برق همواره کم مقاومت‌ترین مسیر در بدن را برای عبور انتخاب می‌کند. به همین دلیل زمانی که یک فرد سیم الکتریکی حاوی برق را لمس می‌کند، جریان از یک دست وارد و از ناحیه دیگر خارج می‌شود. در این میان، اعصاب و ماهیچه‌ها در معرض آسیب و خطر قرار می‌گیرند که نتیجه آن فیبریلاسیون تا سوختگی و به دنبال آن مشکلات تنفسی با توجه به دامنه و فرکانس آن خواهد بود. در این رابطه اگر دستگاه سیم زمین (ارتینگ) داشته باشد در صورت تماس بیمار، جریان ناخواسته از طریق مقاومت کمتر از یک اهم سیم زمین مهار می‌شود، اما در صورت عدم وجود ارتینگ جریان از بدن بیمار عبور کرده و باعث آسیب او می‌گردد. در حالت دیگر چنانچه بیمار دارای کاتتر فشار خون باشد



یا برای گرفتن ECG به دستگاه متصل و روی تخت فلزی خوابیده باشد و نشت جریان الکتریکی صورت گیرد دچار فیبریلاسیون قلبی خواهد شد.

۲-۱۶. انواع حوادث در بیمارستان‌ها

حوادث در بیمارستان‌ها را به‌طور کلی می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم کرد:

الف) خطاها در بیمارستان‌ها

برخی از خطاها در مراکز درمانی و خدمات درمانی به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم می‌تواند موجب بروز بخشی از حوادث احتمالی به ترتیب زیر شود:

۱. **حوادث ناشی از خطاهای انسانی:** حوادث به‌وسیله فرد یا افراد در حین کار می‌تواند

ناشی از کمبود سابقه یا تجربه، خستگی، بی‌دقتی، خشم، بدخوی، حواس‌پرتی، نگرانی، پریشانی، بیماری، عملیات نایمن، بار کاری زیاد، شوخی در حین کار، کار در مدت زمان محدود، استفاده از ابزار و وسایل معیوب و ناقص، میانبر زدن در انجام کار یا انجام سلیقه‌ای کار، عدم به‌کارگیری حفاظ یا روشنایی کافی و غیره به وجود آید. این عوامل می‌تواند مقاومت بدن فرد در برابر برق‌گرفتگی را کاهش دهد.

۲. **حوادث ناشی از خطاهای دارویی:** این حوادث موجب وارد آمدن صدمه، آسیب یا

جراحات به بیمار می‌گردد و به‌هیچ‌وجه به وضعیت بیمار در زمان بستری وابسته نیست و ممکن است در اثر حساسیت یا آلرژی بیمار به دارو حادث شود.

۳. **حوادث ناشی از فعالیت تجهیزات:** برخی حوادث ممکن است در اثر بروز نقص فنی

در ابزار و تجهیزات (نقص الکتریکی، نقص مکانیکی و...) به وجود آید زیرا در کشورهای در حال توسعه، ۵۰ درصد تجهیزاتی که در این کشورها قرار دارند به درستی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا روش استفاده صحیح از آن را نمی‌دانند، مانند استفاده نادرست از الکتروکوتر که موجب سوختگی بیمار خواهد شد.

۴. **حوادث ناشی از تغییرات جوی:** برخی از حوادث ممکن است در اثر تغییر شرایط

محیطی و طبیعی در فضای مراکز درمانی و خدمات درمانی از قبیل: تغییر میزان دما

و رطوبت، عدم روشنایی کافی، تهویه نامناسب، سر و صدای مزاحم، وقوع زلزله یا ساعقه و... به وجود آید.

۵. **عفونت‌های بیمارستانی:** یکی از اصول مهم در حفاظت از بیماران توجه به موضوع عفونت‌های بیمارستانی است. به‌طوری‌که میزان این عفونت‌ها در کشورهای در حال توسعه ۲۰ برابر کشورهای توسعه یافته است.

۶. **فضای فیزیکی:** چینش تجهیزات در حفاظت بیماران نقش بسیار مهمی دارد. تا جایی که انجمن معماران امریکا بخشی را تحت عنوان الزامات طراحی مراکز درمانی همراه با چیدمان فضاها و ارتباط منطقی بین آنها در نظر گرفته است تا از این طریق کنترل بهداشت و عفونت فضاها به‌خوبی انجام گیرد.

(ب) حوادث محیط اتاق عمل

محیط اتاق عمل، سرشار از خطرات پیش‌بینی نشده برای جراحان و بیماران است. این محل بایستی از امنیت بالایی برخوردار باشد تا در برابر خطرات مختلف از قبیل آتش‌سوزی، سوختگی شیمیایی و غیره مصون باشد. در اتاق عمل اغلب از الکتریسیته به‌صورت روتین استفاده می‌شود و برای افزایش ایمنی نیاز به رعایت نکات ایمنی است زیرا که ابزار و دستگاه‌های فعال در این فضا در شرایط خاص می‌توانند زمینه‌ساز شوک الکتریکی، فیبریلاسیون بطنی و حتی ایست قلبی باشند. به‌طوری‌که استفاده نابه‌جا از ابزارهایی نظیر کوتر، دفیبریلاتور و غیره می‌تواند شرایط خطرناک، عوارض بسیار شدید یا مرگ را به وجود آورد. به همین دلیل استفاده از سیم ارت در تمام ابزارها و تجهیزات الکتریکی با هدف افزایش ایمنی کاربران و پیشگیری از نشت جریان الکتریکی یا کاهش عبور جریان الکتریسیته از بدن بیمار و در نتیجه ایجاد شوک الکتریکی و سوختگی الزامی است. بدین دلیل که در هنگام بستری بودن بیمار در اتاق عمل، بدن بیمار یا کاربر به‌صورت بخشی از ابزار و دستگاه‌های در حال فعالیت تبدیل شده است و از این طریق حجم زیادی از جریان‌های کوچک الکتریکی به‌دلیل اتصال یا تماس با انواع ابزارهای الکتریکی انباشته گردیده است. این امر می‌تواند منجر به ایجاد حالت شوک در شخص بیمار شود. برای پیشگیری از بروز چنین حالتی رعایت نکات زیر ضروری است:

۱. سیم‌ها و اتصالات الکتریکی ابزار و وسایل الکتریکی داخل اتاق عمل از نظر سلامت بایستی به صورت منظم مورد بررسی قرار گیرند.
 ۲. سیم‌های برق دستگاه‌ها نباید دارای خمیدگی، خوردگی، تاب و تاشدگی و انباشتگی در محل تردد یا زیر پا باشند.
 ۳. به هیچ وجه نباید ظروف مایعات بر روی ابزار و وسایل الکتریکی گذاشته شوند.
 ۴. کوتر و لیزر بایستی حتی الامکان از سیستم‌های مانیتورینگ فاصله داشته باشند و برای آنها از پریز برق جداگانه استفاده شود.
 ۵. کلیه ابزار و دستگاه‌های الکتریکی فعال بایستی به سیم ارت متصل باشند.
 ۶. کلیه ابزار و دستگاه‌های الکتریکی قبل از خارج یا داخل کردن دو شاخه به پریز بایستی خاموش شوند.
 ۷. برای جدا کردن سیم برق ابزار و دستگاه‌ها از پریز بایستی از طریق کشیدن دوشاخه این عمل را انجام داد و هرگز نباید از طریق کشیدن خود سیم، عمل قطع برق انجام گیرد.
 ۸. به صورت دوره‌ای بایستی کلیه ابزار و دستگاه‌های الکتریکی به وسیله فرد مهندسی پزشکی بررسی و ارزیابی شوند.
 ۹. از ترانسفورمر ایزوله و سیستم‌های مانیتورینگ ظرفیتی و مقاومتی برای پیشگیری از هر گونه خطر برق گرفتگی به روش هوشمند استفاده شود.
- کف اتاق عمل نیز یک رسانای الکتریکی است که به زمین متصل است. لذا در این فضا تمام پرسنل بایستی از کفش‌هایی استفاده کنند که دارای نوار رسانایی در تماس با پاهایشان باشد. گان‌ها و کتان‌های جراحی نیز بایستی از نوع پارچه‌های رسانا باشند. در اتاق عمل همچنین پریزهای الکتریکی به دلیل سنگین تر بودن گازهای بیهوشی از هوا بایستی بالاتر از سطح زمین نصب شوند. این عمل باعث خواهد شد تا از تراکم گازها در نزدیکی پریزهای الکتریکی جلوگیری شود و از انفجار گازهای بیهوشی جلوگیری شود. هرچند که بازرسی و کنترل منظم و مستمر سیم‌ها، پریزها و اتصالات زمین مرتبط با تجهیزات پزشکی در اتاق عمل می‌تواند تضمین کننده حفاظت الکتریکی مستمر آنها باشد.

ج) بخش مراقبت‌های ویژه

در بخش مراقبت‌های ویژه ابزار و سایل متفاوتی وجود دارند که به دلیل شرایط ویژه، بیماران مستقر در این بخش لازم است از ایمنی کافی برخوردار باشند. به همین دلیل تخت بیمار و دیگر اجزای موجود در این بخش بایستی از یک نقطه مشخص در آنها شامل موارد زیر به زمین برق شبکه بیمارستان متصل باشند:

- بدنه تخت بیمار
- کلیه عناصر متصل به منبع انرژی نزدیک بیمار
- چهارچوب کلیه درب‌ها و پنجره‌ها
- سینک ظرف‌شویی
- کف زمین
- بدنه کلیه ابزار و تجهیزات متصل به بیمار

۲-۱۷. ارزیابی میزان ارت شبکه برق‌رسانی

در راستای کسب اطمینان از برقراری ارتباط ارت زمین با شبکه برق‌رسانی و دستگاه‌های فعال در بخش‌های مختلف لازم است این ارتباط از طریق روش‌های موجود به صورت دوره‌ای چک شود. ساده‌ترین روش تست این ارتباط به ترتیب زیر می‌باشد:

الف) از طریق اندازه‌گیری ولتاژ

ابزار مورد استفاده در این روش شامل یک لامپ ۱۵۰ یا ۲۰۰ وات، یک سرپیچ که به آن دو سیم نیم‌متری متصل است، یک ولت متر و یک فازمتر می‌باشد. در این روش ابتدا از طریق فازمتر، فازپریز ارت‌دار را پیدا کرده و با متصل کردن یک سرسیم متصل به سرپیچ لامپ به فاز، سر دیگر آن را به نول وصل می‌کنیم. در این مرحله ولت‌متر بایستی با لامپ موازی باشد. در این حالت لامپ روشن می‌شود و ولت‌متر هم عددی حدود ۲۲۰ ولت را نشان می‌دهد این عدد یادداشت می‌شود، در این حالت بدون اینکه سیم فاز خارج شود، فقط سیم نول خارج می‌شود، لامپ خاموش می‌شود و ولت‌متر عدد صفر را نشان می‌دهد.



حالا سیمی که قبلاً داخل نول بود، به تیغه فلزی ارت که بر روی پریز برق قرار گرفته متصل می‌شود. در این حالت باید مجدداً لامپ روشن شود و نور آن مشابه حالت اول و ولتاژ نشان داده شده برابر ولتاژ قبلی باشد. یعنی ولتاژ بین فاز و نول در حالت روشن بودن لامپ برابر ولتاژ فاز و ارت در حالت روشن بودن لامپ باشد. این تست باید برای تک‌تک پریزها به صورت دوره‌ای انجام شود. وجود خطا در این تست نشانه وجود اشکال در سیم ارت یا وجود مقاومت در آن است که در هر صورت باید برای اصلاح آن اقدامات لازم صورت پذیرد. به طور کلی می‌توان گفت در سیستم اتصال زمین تأسیسات برق بیمارستان، علاوه بر این که عملکرد درست تأسیسات الکتریکی و حفاظت در برابر اتصال اتفاقی برق بر روی بدنه فلزی دستگاه‌ها و وسایل برقی بر اثر بروز اشکالات فنی مطرح است، نشت جریان برق از تجهیزات و لوازم برقی سالم که در مجاورت بیماران مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز ممکن است برای بیمار مخاطره آمیز باشد. به همین دلیل به منظور حفاظت از افراد در برابر شوک حاصله از این نوع جریان‌ها، باید یک سیستم اتصال زمین قابل اطمینان پیش‌بینی شود و بدنه فلزی کلیه وسایل و دستگاه‌های برقی ثابت و سیار به آن متصل شود.

۲-۱۸. سیستم‌های پشتیبان از شبکه برق بیمارستانی

الزامات برق بیمارستانی به شرح زیر می‌باشند:

- برق اضطراری (دیزل ژنراتور)
- برق سالم (استابلایزر)
- برق پشتیبان (UPS)
- ایزولاسیون (ترانس ایزوله)
- اتصال زمین (ارت)

۲-۱۹. دیزل ژنراتور یا سیستم برق اضطراری

یکی از بهترین راه‌حل‌ها در تأمین موقت انرژی مورد نیاز ابزار و دستگاه‌های حیاتی یک مرکز خدمات درمانی در زمان قطعی برق شبکه شهری استفاده از دیزل ژنراتور یا تأمین‌کننده برق

اضطراری است زیرا که تمام دستگاه‌های مورد استفاده در فرآیند زنجیره سرد بیمارستان‌ها از قبیل: یخچال‌های بانک خون، فریزرها، سردخانه‌ها و غیره بایستی به یک دستگاه ژنراتور اضطراری مجهز باشند تا در زمان قطعی برق بتوانند از توان الکتریکی آن استفاده کنند.

در راستای تأمین نیروی برق اضطراری، لازم است یک یا چند دستگاه مولد برق اضطراری از نوع خودکار، متناسب با قدرت برق اضطراری مورد نیاز همراه با تابلوی فرمان مربوط پیش‌بینی شود. این مجموعه باید در صورت قطع جریان برق عادی به طور خودکار فوراً شروع به کار کند. (زمان لازم برای به کار افتادن موتور دیزل و بهره‌برداری نیرو حدود ۵ تا ۷ ثانیه خواهد بود) و پس از برقراری جریان برق عادی، حداقل تا ده دقیقه دیگر به کار خود ادامه داده و سپس به طور خودکار خاموش شود.

این نوع ژنراتورها که برای تولید جریان برق از آنها استفاده می‌شود معمولاً به‌صورت دستی یا ثابت می‌باشند.

۲-۱۹-۱. ژنراتور دستی

این نوع ژنراتور مطابق شکل ۲-۸ معمولاً از بنزین یا گازوئیل استفاده می‌کند و به طور دستی یا اتوماتیک به سیستم شبکه اصلی برق برای استفاده در زمان قطعی برق شهر وصل هستند. به‌طور کلی ژنراتورها بایستی دارای یک کلید اتوماتیک برای اتصال برق اضطراری به شبکه داخلی باشند و بتواند در هر زمان ژنراتور را روشن کنند.



شکل ۲-۸. ژنراتور دستی

در این رابطه چنانچه یک دیزل ژنراتور از یک تابلو برق راه انداز اتوماتیک استفاده می‌کند، این امکان وجود دارد که در مدت چند ثانیه انرژی مورد نیاز ابزار و دستگاه‌های متصل به آن وارد مدار شود و این انرژی تا زمانی ادامه یابد که برق شبکه شهری مجدداً به صورت اتوماتیک وارد مدار شود. به همین دلیل تجهیزات حساس به خصوص تجهیزات نگهداری کننده عناصر حساس در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی نظیر خون، سرم، نمونه‌های بیولوژیکی و غیره به یک ژنراتور آماده به کار نیاز جدی دارند تا در صورت بروز هر نوع قطعی برق، امکان اتصال بدون وقفه تجهیزات نگهداری کننده آنها به آن وجود داشته باشد، زیرا که وجود همیشگی جریان برق در فرآیند فعالیت هر مرکز درمانی الزامی است و هرگونه قطعی برق می‌تواند زمینه بروز مشکلات حاد در امر خدمات رسانی به بیماران گردد. لذا تجهیز یک مرکز درمانی به یک ژنراتور آماده به کار به خصوص برای بخش‌های حساس یک بیمارستان نظیر اتاق عمل و بخش مراقبت‌ها یک نیاز حیاتی است.

۲-۱۹-۲. دیزل ژنراتور ثابت

این نوع دیزل ژنراتور مطابق شکل ۲-۹ معمولاً از دو بخش مکانیکی و الکتریکی تشکیل یافته است که بخش اول شامل یک موتور به عنوان موتور دیزل و بخش دوم، تولیدکننده انرژی برق به عنوان ژنراتور می‌باشد، علاوه بر این دو بخش، ابزار جانبی دیگری نظیر استارت اتوماتیک یا دستی دیزل و قطع ورودی برق شهر و ارتباط قسمت‌های اضطراری به خروجی ژنراتور، ابزار و سیستم‌های هشداردهنده نیز شامل می‌شوند.



شکل ۲-۹. نمونه یک سیستم ژنراتور

۲-۱۹-۳: مشخصات فنی ژنراتورها

مشخصات فنی و روش نصب مولدهای برق شامل:

۱. موتور دیزل با سوخت گازی (مشخصات موتور، شرایط محیطی، سیستم راه‌انداز موتور، سیستم خنک‌کننده موتور، تهویه موتورخانه، سیستم روغن) و غیره.
۲. تابلوی وسایل اندازه‌گیری موتور (لوازم و وسایل سنجش لازم، مشخصات جعبه تابلو، شرایط محل نصب و روش سیم‌کشی).
۳. سیستم اگزوست موتور و دودکش (سیستم لوله‌کشی، ایزولاسیون و صدا خفه کن).
۴. سیستم سوخت (نوع سوخت، مخازن و لوازم لازم).
۵. ژنراتور (مشخصات ژنراتور و شرایط محیطی محل نصب، نوع قابلیت اتصال به چرخ طیار، رگولاتور، کلاس ایزولاسیون).
۶. تابلو کنترل الکتریکی و دستگاه سنکرونیزاسیون (هم‌زمانی): (امکانات راه‌اندازی اتوماتیک و دستی، مشخصات کلید اتوماتیک و کنتاکتورها، جعبه تابلو، شینه‌ها، لوازم و وسایل سنجش، شارژ باتری و لوازم لازم برای هم‌زمانی).
۷. سیستم خازن اصلاح ضریب قدرت برای اصلاح ضریب مصرف برق و رساندن آن به نود و شش درصد، از نوع خودکار و متناسب با قدرت مصرف.



۸. ساخت و اجرای یک سیستم اصلاح ضریب قدرت خودکار شامل تابلوی اتصال کابل، تابلوی دستگاه رگولاتور، تابلوهای فرمان و خازن‌های صنعتی به صورت یک واحد و نصب بر روی یک شاسی.

۲-۱۹-۴. تخمین سائز ژنراتور

از آنجایی که همه امکانات و تجهیزات مورد استفاده در یک بیمارستان به یک ژنراتور اضطراری وصل است، لازم است قبل از انتخاب یک ژنراتور کلیه توان مصرفی مورد ارزیابی و برنامه‌ریزی قرار گیرند. به عنوان مثال سردخانه‌ها، تجهیزات آزمایشگاهی، حمام‌های آب، انکوباتورها، یخچال‌ها، چراغ‌ها، میکروسکوپ‌ها و غیره جزء مواردی هستند که معمولاً جهت سرویس‌دهی به هر بخش بیمارستانی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین اطلاعات این نوع دستگاه‌ها به علاوه اطلاعات مربوط به دما و ارتفاع آنها از سطح دریا می‌تواند در تخمین سائز ژنراتور مؤثر باشد.

۲-۱۹-۵. محل استقرار ژنراتور و ایمنی

ژنراتورهای اضطراری معمولاً بایستی در محلی استقرار یابند که هیچ نوع خطر آتش‌سوزی برای ابزار و امکانات اطراف نداشته باشد. این سیستم معمولاً در یک ساختمان یا یک محل مسقف کاملاً مجزا قرار داده می‌شود. برای جلوگیری از هر گونه اتفاق ناگوار در اثر نشت سوخت، مخزن سوخت آن معمولاً در یک محفظه با دیواره عایق کاری شده قرار می‌گیرد. در این رابطه هر دو مخزن و ژنراتور بایستی در جای امن قرار گیرند تا امکان سرقت آنها وجود نداشته باشد. مخزن آنها نیز بایستی دارای فیلتر ورودی و قفل باشد تا امکان کشیدن سوخت از آن غیرممکن باشد. در کنار آنها یک مخزن آتش‌نشانی با قابلیت امحای حریق نیز بایستی وجود داشته باشد. در هنگام انتخاب ژنراتور نوع و اندازه آن با توجه به حجم کاربری آن دارای اهمیت و موارد زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد:

۱. تعداد ابزار و دستگاه‌هایی که به وسیله ژنراتور تغذیه می‌شوند.
۲. میزان جریان الکتریکی که هر دستگاه در زمان فعالیت به آن نیاز دارد.
۳. کنترل گستره دمای محل استقرار ژنراتور
۴. انتخاب ژنراتور با توان خروجی بیشتر، در صورت نیاز فعالیت به‌طور مستمر

۵. انتخاب ژنراتورهای تغذیه کننده گازوئیل به دلیل توانمندی بیشتر نسبت به ژنراتورهای بنزینی.

۲-۱۹-۶. نگهداری ژنراتور

روزانه

۱. سیستم خنک کننده را چک کرده و در صورت گرفتگی تمیز شود.
۲. میزان کشش تسمه چک شود.
۳. سطح تانک منبع سوخت ژنراتور را چک کنید در صورت خالی بودن پر شود.

هر ۵۰ ساعت کار

لوله یا مسیر تهویه هوا را تمیز کنید.

هر ۲۵۰ ساعت کار

۱. فیلتر سوخت را تمیز کنید.
۲. تمام مهره‌ها، پیچ‌ها و بقیه را برای استحکام بیشتر تمیز کنید. مهره‌های سرسیلندر هنگامی که موتور گرم است نباید بسته شود.
۳. اطمینان حاصل کنید که سوخت ژنراتور از سوراخ دریچه محتوای مخزن مشخص است.
۴. سیستم تهویه هوا را تمیز کنید.
۵. پنکه ژنراتور را گریس کاری کنید.
۶. رسوب گذاری داخل سیستم تخلیه را تمیز کنید.
۷. صافی پمپ تغذیه سوخت را تمیز کنید.
۸. سیستم سوخت را از لحاظ سوراخ بودن تست کنید.

هر ۵۰۰ ساعت کار

۱. یک فیلتر سوخت تازه نصب کنید.

۲. یک سیستم تهویه هوا نصب کنید.

هر ۲۰۰۰ ساعت کار

۱. کربن‌گیری را انجام دهید.
۲. سوراخ‌های بازگشت روغن پیستون را تمیز کنید.
۳. محل ذخیره سوخت را کاملاً تمیز کنید.
۴. سیستم روغن‌کاری را کاملاً تمیز کنید.
۵. یک تسمه پنکه جدید نصب کنید.

هفتگی

۱. میزان روغن و مایع سوخت ژنراتور را چک کنید و در صورت نیاز، میزان روغن را تنظیم و منبع مایع سوخت را پر کنید.
۲. در صورتی که باتری ژنراتور از نوع باز است، آب آن را چک و در صورت نیاز پر کنید.
۳. دستگاه ژنراتور را روشن کرده و پس از گرم شدن مطمئن شوید که دستگاه صحیح کار می‌کند.

ماهانه

اطمینان حاصل کنید که میزان سوخت در منبع ژنراتور کافی است.

۲-۱۹-۷: نگهداری روتین

الف) ژنراتور

۱. اطمینان حاصل کنید ژنراتور به وسیله فردی که آموزش‌های لازم را فرا گرفته پشتیبانی می‌شود. این آموزش‌ها بایستی شامل نحوه روشن و خاموش کردن ژنراتور در مواقع اضطراری باشد.
۲. اطمینان حاصل کنید ابزارهای احتیاطی مقابله با آتش‌سوزی چک شده است ابزار و دستگاه‌های مقابله با آتش‌سوزی بایستی در کنار ژنراتور استقرار یابد.

۳. ژنراتور و ابزارهای جانبی آن بایستی به صورت دوره‌ای چک و بازرسی شوند، این اقدامات بایستی به وسیله افراد با تجربه و آموزش دیده انجام گیرد.
۴. بازدید چشمی از شرایط عمومی و وسایل جانبی آن قبل از شروع هر فعالیت به انضمام سیستم‌های مکانیکی، الکتریکی، سوخت و ایمنی آن به عمل آید. در صورت مشاهده هر نوع شرایط غیرعادی ژنراتور نباید روشن شود.
۵. اطمینان حاصل شود که منبع ذخیره سوخت (تانک یا بشکه) از جنس مناسب انتخاب شده و هر تغییری در شرایط کیفی خطری را متوجه فضای فعالیت ژنراتور نخواهد کرد.
۶. سوخت مورد نیاز ژنراتور برای جلوگیری از هر گونه خسارت، آتش سوزی و همچنین ایجاد خطر برای کاربر با ایمنی کامل به محل فعالیت ژنراتور انتقال یا تخلیه در آن انجام گیرد. کاربر یا پشتیبانی کننده از ژنراتور در طول فعالیت بایستی از لباس ایمنی مناسب استفاده کند.
۷. در نزدیکی یا مجاورت ژنراتور و بخصوص در محل ذخیره سوخت از استعمال دخانیات پرهیز شود.
۸. محل استقرار ژنراتور بایستی در یک محل ایمن و دور از دسترس افراد عادی انتخاب شود. در اطراف محل استقرار ژنراتور بایستی فنس یا حصار ایمن نصب شود.
۹. در صورتی که ژنراتور از نوع قابل حمل است، تمهیدات لازم برای جلوگیری از انتقال آن به وسیله افراد غیرمسئول در نظر گرفته شود.
۱۰. کلیه اتصالات برقی به ژنراتور بایستی سالم و بدون نقص باشند و اتصال آنها با دقت و اطمینان انجام گیرد. کلیه فعالیت اتصالات بایستی به وسیله یک فرد یا نیروهای با تجربه و مورد تأیید انجام شود.
۱۱. از اتصال بار اضافی به ژنراتور که منجر به گرم شدن آن و در نتیجه منجر به بروز خطر خواهد شد جداً خودداری گردد.
۱۲. زمانی که ژنراتور در شرایط خاموش شدن است کلیه بارهای روی آن بایستی تخلیه شود.



۱۳. اطمینان حاصل کنید که ژنراتور در طول فعالیت از گردش هوای کافی برخوردار است.
۱۴. اطمینان حاصل کنید که لوله آگزوز ژنراتور به سمت مردم یا نیروهای فعال در آن محیط تنظیم نشده است.
۱۵. اطمینان حاصل کنید که حصار مناسب و ایمن برای لوله آگزوز در جهت جلوگیری از مزاحمت‌های جانبی به کار گرفته شده است.
۱۶. اطمینان حاصل کنید کلیه بخش‌های متحرک و لغزنده ژنراتور از طریق یک حصار مناسب، ایمن‌سازی شده است.
۱۷. چنانچه نیاز به جابجایی ژنراتور از یک محل به محل دیگر است از خاموش بودن آن اطمینان حاصل کنید. در زمان انتقال برای جلوگیری از صدماتی که منجر به فعالیت نامطمئن دستگاه خواهد شد، تمهیدات ویژه در نظر گرفته شود. پس از هر بار انتقال و قبل از استفاده شرایط عمومی دستگاه به وسیله یک فرد با تجربه چک شود.
۱۸. اطمینان حاصل کنید که دستورالعمل بازرسی و فعالیت ژنراتور در دسترس است و کلیه مراحل ذکر شده در آن به وسیله فرد تعیین شده در زمان استفاده و نگهداری دستگاه به دقت رعایت می‌شود.
۱۹. اطمینان حاصل کنید که ژنراتور از اتصال زمین مناسبی برخوردار است و میزان مقاومت زمین و نحوه اتصال آن به صورت دوره‌ای و از طریق یک نیروی باتجربه و مورد تأیید چک می‌شود.
۲۰. اطمینان حاصل کنید که اجزای مؤثر در ژنراتور به صورت یک چک لیست استاندارد و به وسیله یک فرد باتجربه و مورد تأیید به صورت دوره‌ای چک می‌شود.

۲-۲۰. محافظ برق

این نوع دستگاه هم اکنون در انواع ابعاد و توان‌های مختلف در دسترس است و از آن برای کنترل نوسان جریان برق استفاده می‌شود. قطع جریان برق و اتصال مجدد به دستگاه‌ها به عنوان یکی از خطرناک‌ترین لحظات برای سوختن و صدمه وارد شدن به انواع ابزار و دستگاه‌ها می‌باشد. زیرا که در این لحظه یا در ثانیه‌های اولیه پس از اتصال مجدد جریان برق

با ورود به شبکه و سپس به ابزار و تجهیزات پرمصرف یا با بارسلفی باعث ایجاد تغییر یا نوسان در آن جریان با افزایش و کاهش میزان ولتاژ می‌گردد که این امر می‌تواند موجب صدمه وارد شدن به ابزار و دستگاه‌های متصل به شبکه گردد که با استفاده از یک دستگاه محافظ برق مناسب می‌توان از این صدمات جلوگیری کرد.

۲-۲۱. رگولاتور، تثبیت‌کننده ولتاژ یا استابلایزر

رگولاتور دستگاهی است که تغذیه یک دستگاه از جریان الکتریسیته بدون نوسان را تضمین می‌کند. به عبارت دیگر افزایش، کاهش و تغییرات ناگهانی ولتاژ به وسیله استابلایزر فیلتر شده و از این طریق دستگاه فعال در یک بخش را از آسیب مصون خواهد داشت. عملکرد این نوع دستگاه‌ها به عنوان استابلایزر بدین صورت است که جریان‌های کمتر از حد مشخص شده را تقویت (Boost) و جریان‌های بیش از حد تعیین شده را تعدیل (Buck) می‌کنند. این دو عمل هم به صورت دستی و هم به صورت اتوماتیک انجام‌پذیر است.

طبق شواهد و اطلاعات موجود، در بعضی مراکز درمانی منابع اصلی تولید یا تأمین جریان برق شهری دارای نوسان در جریان برق منبع ورودی هستند. این امر علاوه بر تاثیرگذاری بر عملکرد ابزار و دستگاه‌ها آن مرکز، می‌تواند منجر به اختلال در فعالیت بخش‌های آن مرکز گردد. این افزایش نوسان در منابع اصلی ضمن اینکه زمینه ایجاد صدمات به تجهیزات الکتریکی نظیر کمپرسورها و موتورهای یخچال‌ها و غیره را به وجود می‌آورد می‌تواند موجب بروز انواع خطرات پیش‌بینی نشده برای مصرف‌کنندگان این نوع تجهیزات گردد. به همین دلیل لازم است با استفاده از تجهیزاتی مطابق شکل ۲-۱۰ که توان تنظیم جریان برق را دارا هستند از این مشکل جلوگیری شود.



شکل ۲-۱۰. یک نمونه تنظیم‌کننده هوشمند ولتاژ

این نوع دستگاه‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در صورت بروز نوسان در مقدار ولتاژ ورودی ابزار و دستگاه‌های فعال در زمینه‌های مختلف، زمینه تولید ولتاژ مشخص با توان مطلوب در خروجی را فراهم می‌کنند. این دستگاه‌ها با مکانیزم خاص، نوعی جبران‌کننده هستند که می‌توانند روند کاهش و یا افزایش ولتاژ در مسیرهای مختلف را بدون هیچگونه پرش و نوسان لحظه‌ای جبران کنند. این دستگاه‌ها دارای خروجی با تোলرانس معین و به صورت ثابت هستند و در سیستم‌های تک‌فاز دارای ولتاژ خروجی ۲۲۰ ولت و در انواع سه فاز دارای ولتاژ خروجی ۳۸۰ ولت بین هر دو فاز می‌باشند. طبق گزارشات موجود، نوسانات شدید ولتاژ در سیستم شبکه برق بعضی از شهرها امری طبیعی است، اما اگر میزان این تغییرات به بیش از ۱۵٪ میزان برق مشخص شده برای دستگاه‌ها برسد می‌تواند بر اجزای الکترونیکی دستگاه‌های فعال در زنجیره سرد صدمه جدی وارد کند. لذا در چنین شرایطی لازم است، از ابزار و سیستم‌های تثبیت‌کننده ولتاژ استفاده شود تا در خروجی توان تنظیم ولتاژ، تعدیل ولتاژ و افزایش سطح ولتاژ در دو نوع تک‌فاز برای ولتاژ ۲۲۰ ولت و برای سه فاز برای ولتاژ ۲۳۰ ولت بین هر دو فاز را داشته باشند. از این نوع سیستم‌ها همچنین می‌توان برای حفاظت دستگاه‌ها در برابر تغییر فازها، تولید نویزها، جریان‌های برگشتی، انواع خرابی‌های متأثر از تغییرات الکتریکی، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و در نتیجه استهلاک زودرس آنها استفاده کرد.

۲-۲۲. استابلایزهای پزشکی، دندان پزشکی و آزمایشگاهی

دستگاه‌ها و تجهیزات پزشکی از قبیل تجهیزات سونوگرافی و اکوکاردیوگرافی، تجهیزات تنفسی نظیر ونتیلاتورها، تجهیزات آزمایشگاهی مانند دستگاه سل کانتر و اتوانالایزر، تجهیزات تصویربرداری مانند رادیوگرافی، رادیولوژی، سی تی اسکن و ام آر آی و غیره که با استفاده از جریان برق شبکه شهری فعال می‌شوند بسیار حساس و گران قیمت هستند و هرگونه نوسان در ولتاژ برق شبکه شهری حتی به میزان بسیار اندک می‌تواند آنها را در دراز مدت دچار آسیب کند.

به منظور پیشگیری یا جلوگیری از هرگونه آسیب ناشی از نوسانات برق شهری به این تجهیزات لازم است از استابلایزر در ورودی برق این دستگاه‌ها استفاده شود. استفاده از استابلایزر پزشکی آزمایشگاهی موجب می‌شود تا با حفاظت دستگاه‌ها در برابر نوسانات جریان برق، طول عمر و راندمان فعالیت آنها افزایش یابد. مضاف بر این چنانچه به دلایل مختلف در مدارات الکتریکی آنها اتصالی الکتریکی رخ دهد، از طریق میکروکنترلر تعبیه شده در استابلایزر جریان برق قطع شده و از بروز هرگونه صدمه و آسیب به آن جلوگیری می‌کند.

از دیگر پیامدهای افت ولتاژ برق شبکه شهری، بروز اختلال در عملکرد دستگاه‌ها و کاهش قدرت اسمی و راندمان موتور تعبیه شده در آنها است که این امر موجب می‌شود تا دور موتور به اندازه قابل توجهی کاهش یافته و در نتیجه موتور بیش از حد گرم یا به آن آسیب وارد شود. بنابراین استفاده از استابلایزر علاوه بر حفظ سلامت تجهیزات پزشکی، موجب کاهش قابل توجه هزینه‌های برق مصرفی نیز خواهد شد.

۲-۲۲-۱. استابلایزرها از نظر ساختاری

استابلایزرها از نظر ساختاری به استابلایزر رله‌ای، استابلایزر سروو و استابلایزر سوئیچینگ تقسیم می‌شوند:

- استابلایزر پزشکی رله‌ای: این نوع استابلایزرها معمولاً برای کاربردهای کوچک و مصارف خانگی استفاده می‌شوند. قیمت ارزان، دقت نسبتاً خوب و وزن کم از جمله ویژگی‌هایی است که سبب محبوبیت آنها شده است. دقت این نوع استابلایزرها حدود

۵ درصد است که در کنار این مزایا، دارای معایبی از قبیل سرعت پایین اصلاح و دقت کمتر نسبت به سایر استابلایزرها می‌باشد.

- استابلایزرهای سروو (Servo) برای مصارف پزشکی: ساختار این نوع استابلایزرها به صورت سروو مکانیزم یا اصطلاحاً فیدبک منفی است. از این استابلایزر زمانی استفاده می‌شود که نیاز به جریان ورودی بالا باشد. دقت آنها بین ۱ الی ۵۰ درصد و اجزای اصلی آنها شامل موتور سروو و ترانس خودکار، ترانس افزایشنده و کاهنده، سیستم کنترلی و موتور انتقالی می‌باشد. عیب بزرگ این نوع استابلایزر (به خصوص در مصارف پزشکی آزمایشگاهی) عمر کوتاه و خوردگی بسیار بالای آن است و نیازمند تعویض و تعمیر دوره‌ای مداوم است.

- استابلایزر استاتیکی (Static) در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی: ساختار استابلایزرهای استاتیکی یا سوئیچینگ کاملاً با دو نوع قبلی متفاوت است. دقت مدیریت ولتاژ در این نوع استابلایزرها به دلیل سیستم پیشرفته آن بسیار بالا است. یک استابلایزر استاتیکی از هیچ قطعه متحرک و مکانیکی استفاده نمی‌کند و در عوض از یک مبدل الکترونیکی جهت مدیریت جریان استفاده می‌کند. دقت این استابلایزرها در حد یک ولت است و کاربرد آن‌ها در استفاده از دستگاه‌هایی است که ارزش بالایی دارند. به همین دلیل به عنوان استابلایزر پزشکی و ترانس آزمایشگاهی استفاده می‌شوند. از استابلایزر سوئیچینگ جهت ایجاد ولتاژهای ورودی بدون نوسان یا بدون تغییر در جریان ورودی تجهیزات برقی استفاده می‌شود. بدین ترتیب با استفاده از این استابلایزر است که امکان تضمین فعالیت مستمر و بدون آسیب کلیه تجهیزات پزشکی و دندان‌پزشکی مراکز درمانی فراهم می‌گردد.

تجهیزات پزشکی، آزمایشگاهی، تصویربرداری علاوه بر قیمت زیادی که دارند، دارای حساسیت کاری بسیار بالایی هستند زیرا در ارتباط با سلامت انسان و جان او می‌باشند، بنابراین سلامت عملکرد این تجهیزات از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است.

کارکرد این تجهیزات پزشکی به اندازه‌ای حساس و دقیق است که تنها استفاده از استابلایزرهای معمولی در ورودی برق دستگاه کافی نبوده و بایستی رگولاتورهای سوئیچینگ

نیز در کنار استابلایزر به کار برده شوند. به همین دلیل با خرید استابلایزر پزشکی سوئیچینگ (که در این صفحه معرفی شده است) با یک تیر چند نشان زده خواهد شد.

تجهیزاتی مانند دستگاه لیزر درمانی برای کارکرد صحیح نیازمند جریان برقی به اندازه ۲۰ هزار ولت هستند. نوسانات برقی هرچند کوچک سبب آسیب به مدار این دستگاه شده و ممکن است خسارات جبران ناپذیری را به بار بیاورد. جدا از این مسائل، تمام تجهیزات پزشکی، آزمایشگاهی و بیمارستانی، نیازمند استابلایزر، ترانس و رگولاتور سوئیچینگ می‌باشند که در کمترین زمان ممکن با بالاترین دقت، از این وسایل ارزشمند در برابر نوسان ولتاژ برق حراست کنند.

۲-۲۲-۲. مزایای استفاده از استابلایزر در مراکز پزشکی

استابلایزرها به‌عنوان ابزاری مؤثر در جهت جلوگیری از وارد شدن صدمات پر هزینه بر عمده ابزار و دستگاه‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف مراکز درمانی و غیره در برابر تغییرات و نوسانات غیر پیش‌بینی‌شده در جریان برق شبکه شهری می‌باشند. این ابزارها معمولاً برای تجهیزات مورد استفاده در بخش‌های مختلف درمانی، انتقال خون و غیره نظیر تجهیزات حرارتی، کمپرسورها و موتورهای الکتریکی فاقد کنترل دور و سیستم‌های روشنایی فاقد بردهای الکترونیکی به کار می‌روند. استابلایزرها همچنین برای کلیه تجهیزاتی که از جریان برق اضطراری یا ژنراتور استفاده می‌کنند دارای اهمیت ویژه هستند.

این ابزارها بخصوص برای مراکز درمانی و غیره که در مناطق شهری یا دور از دسترس هستند و غیر از تجهیزات ساده حرارتی از کمپرسورها و موتورهای الکتریکی و غیره در زنجیره سرد استفاده می‌کنند، در صورت عدم پایداری در منابع تغذیه ولتاژ ورودی می‌تواند منجر به تغییر نوسان در میزان ولتاژ مورد نیاز آنها گردد. در صورتی که حتی کمپرسوری برای نوسانات خاص ولتاژی طراحی شده باشد، با این وجود نیاز به حفاظت مستمر آن از طریق نصب تثبیت‌کننده‌های ولتاژ در خط تغذیه دستگاه می‌باشد. در این رابطه می‌توان یک سیستم تثبیت‌کننده ولتاژ را بین منبع ولتاژ ورودی و دستگاه مورد نظر در جهت تضمین ورود یک ولتاژ پایدار به‌خصوص به کمپرسور آن قرارداد. لذا استفاده از یک رگولاتور برای حفاظت از

بخش‌های الکتریکی و الکترونیکی دستگاه‌ها نظیر کمپرسور ضروری است. برخی از مزایای استفاده از این دستگاه‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

- حفاظت از تجهیزات پزشکی و درمانگاهی برقی در برابر نوسانات ولتاژ و جریان
- افزایش عمر مفید تجهیزات پزشکی با استابلایزر
- تامین یک منبع تغذیه پایدار و تثبیت شده
- کاهش نویز، تداخل و صاعقه‌های ولتاژ
- کاهش میزان مصرف برق و بهبود راندمان تجهیزات پزشکی و آزمایشگاهی

۲-۲۲-۳. کاربرد استابلایزرهای مخصوص تجهیزات پزشکی

- استابلایزرهای پزشکی را میتوان در درمانگاه‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز درمانی، دندان‌پزشکی، آزمایشگاه‌ها و غیره استفاده کرد.
 - در مراکز درمانی با توجه به حساسیت تجهیزات پزشکی و قیمت بالای آنها، باید حتماً از استابلایزر سوئیچینگ استاتیک استفاده شود تا با بالاترین دقت و در کمترین زمان، تثبیت ولتاژ انجام پذیرد.
- توجه: ابزار یا دستگاهی به UPS متصل است، نیازی به استفاده از استابلایزر نمی‌باشد.

۲-۲۳. ضرورت منبع تغذیه بدون وقفه (UPS) در تجهیزات پزشکی بیمارستان‌ها و آزمایشگاه‌ها

اکثر تجهیزات پزشکی به‌ویژه در زمینه‌های مختلف تشخیصی، درمانی، مراقبتی و آزمایشگاه‌های پاتولوژی به منبع برق نیاز دارند. این تجهیزات در زمینه تشخیصی شامل رادیولوژی، سی‌تی اسکن، ام آر آی، سونوگرافی، ماموگرافی و ... در زمینه‌های درمانی نظیر دستگاه‌های لیزر، دستگاه‌های آنژیوگرافی، دستگاه‌های شتاب‌دهنده و ... و در زمینه‌های مراقبت از قبیل دستگاه‌های مانیتورینگ علائم حیاتی، ونتیلاتور، سیستم‌های هماتولوژی، آنالایزر گاز، تجهیزات احیاء، دستگاه‌های تهویه و ... می‌باشند که برای ارزیابی شرایط بیماری و درمان و مراقبت از بیماران به کار می‌روند. قطع برق به‌عنوان مثال در آزمایشگاه‌های پاتولوژی ممکن است باعث شود نمونه بیمار یا بیماران از بین برود. این موضوع ممکن است موجب درخواست

مجدد پزشک پاتولوژیست برای نمونه برداری (بیوپسی) از آنها شود که برای بیمار ناخوشایند است و هزینه مضاعف را به وی تحمیل می کند. در نتیجه استفاده از یوپی اس برای تجهیزات آزمایشگاهی حساس به نوسان برق در این مراکز نیز ضروری است. لذا قطع برق در این فرآیندها به ویژه در مراکز تشخیصی و درمانی می تواند خسارت و صدمات جبران ناپذیری را به دستگاهها و در نتیجه سلامت بیماران وارد کند.

به همین دلیل تجهیزات پزشکی نیازمند جریان برق متناوب و با کیفیت هستند و این جریان بایستی از حداقل نوسان برخوردار باشد. از این رو تغییرات فرکانس و افت ولتاژ در حین فعالیت دستگاههای پزشکی بایستی بسیار اندک و کمتر از ۳ درصد باشد. برای مثال در سی تی اسکن و ام آر آی، تأمین برق با کیفیت در ارائه عملکرد مطلوب آنها تأثیرگذار است. این موضوع به کمک فیلترهای خاصی فراهم می شود که در UPS وجود دارد. از UPS ها همچنین می توان به عنوان ابزاری برای تأمین برق مناسب در امر فعالیت بدون وقفه تجهیزات پزشکی در زمان قطعی برق استفاده کرد. مضاف بر این با توجه به حساسیت بسیاری از تجهیزات پزشکی به نوسانات برق، UPS می تواند کیفیت مناسبی از برق را فراهم کند و از نوسانات برق و انتقال آن به دستگاه جلوگیری کند. از این رو تأمین برق اضطراری، حذف نویز و نوسان برق، افزایش کیفیت برق، تأمین برق در شرایط پیک مصرف و جلوگیری از ایجاد جریان اضافی در سیمها به عنوان مهم ترین اهداف در استفاده از یو پی اس برای تجهیزات بیمارستانی می باشد.

کاربرد دیگر UPS ها در مراکز درمانی استفاده از آنها در آسانسورها برای حمل بیمار است. زیرا که عملکرد صحیح و بدون وقفه آسانسور حمل بیمار در مراکز درمانی و بیمارستانها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در صورتی که عملکرد آسانسور در حین حمل بیمار دچار وقفه یا اختلال شود، امکان ارائه خدمات مهم و حیاتی به موقع به بیمار غیر ممکن می گردد و این امر می تواند جان بیمار را با خطر روبرو سازد. UPS های مورد استفاده برای تجهیزات پزشکی مراکز درمانی و غیره بایستی متناسب با حساسیت آنها انتخاب شود و از شرایط ویژه نسبت به یوپی اس های معمولی برخوردار باشند.

۲-۲۳-۱. مشخصات عمومی UPS

این منبع یک نوع منبع تغذیه الکترونیکی است که وظیفه تأمین بدون وقفه توان مورد نیاز بار مصرفی دستگاه‌ها را بعهده دارد. این گونه سیستم‌ها معمولاً بین برق شبکه شهری و دستگاه مصرف‌کننده جریان برق قرار می‌گیرند و علاوه بر تثبیت و تنظیم برق شبکه شهری، مانع از نفوذ نویز و اختلالات در تجهیزات حساس مصرف‌کننده برق می‌شوند. این دستگاه همچنین به‌عنوان منبع توان بدون وقفه با استفاده از انرژی ذخیره شده در باتری موجود در دستگاه، انرژی مورد نیاز تجهیزات مصرف‌کننده را نیز تأمین می‌کند. منابع تغذیه بدون وقفه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که همواره دارای دو منبع انرژی می‌باشند. یک منبع به‌عنوان منبع انرژی اولیه (برق شبکه شهری) و دیگری منبعی که در صورت قطع منبع اول به منبع ثانویه (باتری) وصل می‌شود. این نوع دستگاه‌ها در انواع مختلف و اندازه‌های متفاوت ساخته می‌شوند و واحد اندازه‌گیری آنها برحسب توان یا VA (حاصلضرب ولتاژ در جریان خروجی) می‌باشد. یکی از این دستگاه‌ها که دارای بیشترین استفاده در بخش خدمات درمانی است دارای مشخصات زیر است:

۲-۲۳-۲. منابع تغذیه بدون وقفه تبدیل دوگانه یک طرفه

یکی از مرسوم‌ترین تکنولوژی در این نوع دستگاه‌ها تبدیل دوگانه است. بدین ترتیب که در آنها می‌توان برق متناوب شبکه شهری را که ممکن است دارای اشکالات و اختلالات زیاد باشد از طریق یک رکتیفایر یا یکسوساز، از حالت AC به DC و سپس با استفاده از یک اینورتر این جریان DC را به AC تبدیل کرد. این عمل تبدیل به‌عنوان تبدیل دوگانه شناخته می‌شود و برق تولیدشده برای استفاده در دستگاه‌ها عاری از هرگونه اشکال و دربرگیرنده دامنه ثابت ۲۲۰ ولت یا ۲۳۰ ولت می‌باشد. در این سیستم با چنین عملکردی هیچ نوع اغتشاشی که ممکن است در شبکه شهری به وجود آمده باشد به سمت بار یا مصرف‌کننده منتقل نخواهد شد و در هنگام قطع برق نیز برق مصرفی به‌وسیله اینورتر و از طریق باتری‌ها تأمین می‌شود. این نوع دستگاه یکی از بهترین و پیشرفته‌ترین دستگاه‌ها در امر پشتیبانی از برق مورد نیاز دستگاه‌های بخش درمانی و خدمات درمانی می‌باشد. زیرا که انرژی برق شبکه شهری در این نوع سیستم‌ها فقط برای ایجاد سطح DC و شارژ باتری‌ها استفاده می‌شود. به این ترتیب مشکلاتی از قبیل قطع و

وصل برق، نوسانات برق و سایر تغییرات در برق شهر اصلاً ربطی به خروجی ندارد و خروجی تقریباً تمیز، یکنواخت و سینوسی است. در واقع در این تکنولوژی تأخیری بابت سوئیچینگ (Transfer Time) وجود نخواهد داشت و مصرف‌کننده به هیچ‌وجه متوجه قطع برق، کاهش یا افزایش فرکانس یا ولتاژ برق شهر و شوک‌های الکتریکی بر روی شبکه برق نخواهد شد.

۲-۲۴. ترانس ایزوله

ترانس ایزوله وسیله‌ای است که برای جلوگیری از انتقال ولتاژ بالای AC، کاهش خطرات ناشی از صاعقه، حفاظت از اتصال غیر عمد افراد با یکی از سیم‌ها و غیره استفاده می‌شود. این وسیله از طریق یک میدان مغناطیسی، دو مدار الکتریکی را از هم جدا یا ایزوله می‌کند. بدین معنی که ما بین دو مسیر انرژی، هیچ اتصال اهمی وجود ندارد و در نتیجه در خروجی ترانس شرایط الکتریکی ورودی بر قرار نمی‌گردد (ارتباط نول با زمین وجود ندارد). این عمل ترانس ایزوله موجب می‌شود که در خروجی دستگاه، ولتاژ تعیین شده موجود باشد اما به دلیل عدم اتصال به زمین، اختلاف پتانسیل با زمین صفر و جریانی از اتصال عبور نکند و در نتیجه هیچ برق‌گرفتگی اتفاق نیفتد. ترانس ایزوله غالباً در مکانهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به علت وجود انرژی الکتریکی و رطوبت زیاد امکان اتصال اتفاقی بین کاربر و زمین وجود دارد.

۲-۲۴-۱. کاربرد ترانس ایزوله

ترانس ایزوله سیستمی است که علاوه بر تأمین ولتاژ دلخواه می‌تواند از برق‌گرفتگی‌های احتمالی نیز پیشگیری کند. این مسئله برای بسیاری از سازمان‌ها، ارگان‌ها و به‌ویژه بیمارستان‌ها اهمیت زیادی دارد. بنابراین از مهم‌ترین کاربردهای ترانس ایزوله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده در بیمارستان‌ها جهت ایزولاسیون بخش‌هایی همچون ICU, CCU, NICU
- اتاق‌های عمل و بخش‌های کلینیک‌های تخصصی
- استفاده در برخی از صنایع بدون افزایش یا کاهش جریان الکتریکی



- ترانس ایزوله به دو شکل خارجی و مستقل داخل تابلو برق استفاده می‌شود که در محیط‌های صنعتی که از ماشین‌های CNC مثل واتر جت، تراش، فرز، پانچ و... نیز استفاده می‌کنند کاربرد دارد.
- ترانس ایزوله، جدایی افراد از منبع را برای تأمین امنیت تضمین می‌کنند.
- ترانسفورماتورهای ایزوله توانایی کاهش نویز الکتریکی و هارمونیک‌ها را دارا هستند.
- از ترانس ایزوله در مخابرات و سیستم‌های رادیویی استفاده می‌شود.
- در استخرها و محیط‌های مرطوب همانند سونا استفاده از ترانسفورماتورهای ایزوله موجب جلوگیری از برق‌گرفتگی می‌شود.

۲-۲۵. تابلو فرمان

در مراکز درمانی و غیره بایستی اطمینان حاصل شود که تابلو فرمان به‌وسیله افراد مسئول و مورد تأیید که آموزش‌های لازم را فرا گرفته و برای نصب یا تعمیر و نگهداری آنها واجد شرایط هستند نظارت و مورد پشتیبانی قرار می‌گیرند. آموزش‌های بعمل آمده بایستی در برگرفته‌شده روش‌های اضطراری و جلوگیری کننده از خطرات جریان برق باشد. لذا لازم است:

۱. اطمینان حاصل شود که تابلو فرمان فقط به وسیله فرد آموزش‌دیده و مورد تأیید کنترل، نظارت و مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲. اطمینان حاصل شود که کلیه روش‌های مشخص شده برای اعمال بر تابلوها رعایت می‌شود.
۳. اطمینان حاصل شود که کلیه تست‌ها و اقدامات نگهداری به‌صورت دوره‌ای و به‌وسیله یک فرد آموزش‌دیده و مورد تأیید انجام می‌گیرد.
۴. اطمینان حاصل شود که کلیه اتصالات و نصب ابزار و تجهیزات به‌وسیله یک نیروی برقی قابل تأیید انجام گرفته است.
۵. اطمینان حاصل شود ولتاژ در این سیستم قبل از اتصال به ولتاژ جدید، کاملاً و به سرعت صفر می‌شود. در غیر این صورت نظارت کافی و مراقبت‌های ایمنی بایستی فراهم گردد.

۶. اطمینان حاصل شود کلیه مدارهای مرتبط با داخل مدار فرمان به ابزارهای حفاظتی از قبیل مدار قطع کننده مینیاتوری و ابزار نشت یاب جریان در جهت حفاظت در برابر جریان اضافی و نشتی زمین مجهز باشند.
۷. اطمینان حاصل شود کلیه کابلهای خروجی از تابلو، از حفاظت کامل برخوردار هستند و برای جلوگیری از هر گونه آسیب رسانی یا آسیب دیدگی بدون حفاظ و مراقبت کافی بر روی زمین پخش یا انباشته نشده اند.
۸. اطمینان حاصل شود کلیه اتصالات از قبیل کابل ها، دوشاخه ها، رابط ها و غیره از اندازه و مقدار کافی استفاده شده و با برخورداری از ایمنی و نوار چسب کافی همه اتصالات به زمین وصل هستند.
۹. اطمینان حاصل شود که هیچ گونه اتصال یا اصلاح غیرمعمول انجام نگرفته است. درحالی که به صورت موقتی بدون اشکال و درب مدار فرمان قفل شده است.
۱۰. هرگز از ابزار و وسایل جانبی صدمه دیده یا چسب و نوار پیچ شده استفاده نکنید.
۱۱. اطمینان حاصل شود، برای جلوگیری از بروز هرگونه خطرات احتمالی، فعال بودن مدار فرمان به وسیله علائم یا ابزار حفاظت شده است. قفل های نصب شده بر روی درب بایستی به گونه ای باشند که افراد غیرمسئول توان مداخله در آن را نداشته باشند.
۱۲. اطمینان حاصل شود که اتصالات الکتریکی کاملاً نصب و کیفیت آنها چک شده است.
۱۳. آن دسته از اتصالات الکتریکی که دارای مقاومت کافی در برابر شرایط جوی هستند استفاده شود.
۱۴. اطمینان حاصل شود که مدار سیم کشی الکتریکی مدار فرمان تهیه و در دسترس است.

۲-۲۶. سیم کشی و اتصالات

۱. اطمینان حاصل شود که کلیه سیم ها و کابل ها در برابر سائیدگی، خراشیدگی، فشار، قطعی و دیگر خطرات احتمالی در صورت وارد شدن صدمه بر پوشش آنها و امکان بروز شوک الکتریکی محافظت شده اند.



۲. اطمینان حاصل شود که محل دفن کابل‌ها جهت جلوگیری از هر گونه صدمه یا آسیب در زمان خاک‌برداری یا حفاری علامت‌گذاری شده است.
۳. اطمینان حاصل شود سیم‌ها، کابل‌ها و به‌خصوص مجرای لوله‌ها که محل عبور آنها است به‌خوبی نصب شده است.
۴. هرگونه نقص و آسیب بر کابل‌ها، دوشاخه‌ها، سوکت‌ها و چسب و پوشش‌ها به‌صورت دوره‌ای چک می‌شود.
۵. از قرار گرفتن کابل‌های اضافی بر روی زمین یا در مسیر تردد افراد پرهیز شود.

فصل سوم:

اثرات جریان برق بر بدن انسان

۳-۱. ساختار الکتریکی بدن انسان

کاربرد جریان برق با توسعه تکنولوژی‌ها در زمینه‌های مختلف به‌ویژه علم پزشکی زمینه‌ای را فراهم آورد تا کاربران این نوع دستگاه‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر اثرات این جریان قرار داشته باشند. بدین ترتیب که به‌عنوان مثال سلول‌های بدن انسان با هدف واکنش به ادامه حیات به یک اختلاف پتانسیل الکتریکی مشخصی نیاز دارند که مقدار آن در سطح سلول حدود ۹۰ میلی ولت است. برخی از مجموعه‌های سلولی نظیر مراکز عصبی یا سیستم‌های مغز، عضله و قلب که از نظر فعالیت حیاتی دارای اهمیت هستند، اندازه‌گیری تغییرات الکتریکی آنها با روش‌های تعریف شده زیر می‌تواند مبنایی برای تشخیص‌های پزشکی در تغییرات یا اختلالات فعالیت آنها باشد:

الف- ثبت تغییرات در فعالیت الکتریکی مغز یا الکتروانسفالوگرافی (E.E.G)

ب- ثبت تغییرات در فعالیت الکتریکی قلب یا الکتروکاردیوگرافی (E.C.G)

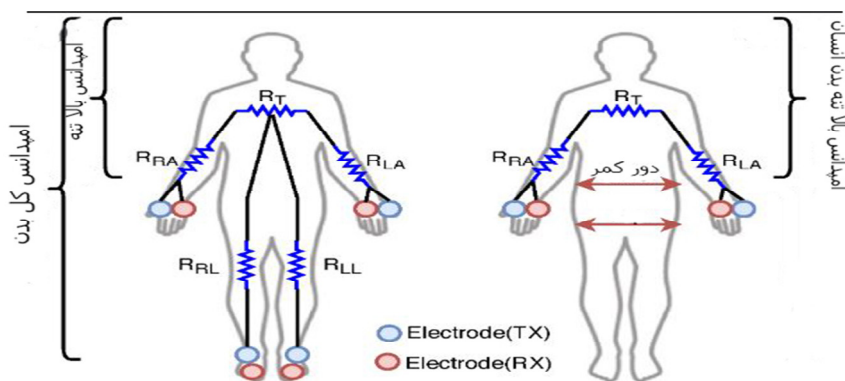
ج- ثبت تغییرات در فعالیت الکتریکی عضله یا الکترومیوگرافی (E.M.G)

در روش به‌عنوان مثال، ثبت تغییرات در فعالیت عصبی، ارتباط بین سلول‌های عصبی از طریق جریان الکتریکی انجام می‌گیرد. این سلول‌ها برای برقراری ارتباط از سیگنال‌های الکتریکی با جریان و ولتاژ بسیار پایین استفاده می‌کنند. به‌وسیله این سیگنال‌ها دستورات از سیستم عصبی به قسمت‌های مختلف بدن مانند عضلات یا غدد درون ریز می‌رسد که اگر جریان برق در بدن یک فرد زنده به اندازه کافی زیاد باشد، سیگنال‌های الکتریکی فرستاده شده به وسیله مغز را خنثی خواهد کرد. به عبارت دیگر در صورتی که سلول‌های هریک از این مراکز در مسیر عبور جریان الکتریکی قرار گیرند، روند ثبت و نمایش علائم حیاتی مختل می‌شود. به‌طوری که ممکن است به‌عنوان مثال قلب به جای ضربان عادی دچار لرزش و

اختلال ریتم گردد که نتیجه آن خطر مرگ است. جریان برق متناوب همچنین می‌تواند منجر به انقباض شدید عضلات گردد. انقباضات شدید عضلات می‌تواند موجب شکستگی استخوان یا پرت شدن فرد و شکستگی ثانویه و یا مانع رها شدن فرد از مدار فعالیت گردد.

۳-۲. امپدانس بدن انسان

کلیه سلول‌ها و اندام‌های بدن انسان در برابر عبور جریان برق دارای امپدانس الکتریکی مطابق شکل ۳-۱ هستند. امپدانس پوست، امپدانس داخل بدن و امپدانس کل بدن انسان به میزان ولتاژ تماس، مسیر عبور جریان، فرکانس، وسعت سطح تماس با قسمت‌های برقدار، رطوبت پوست و غیره وابسته است



شکل ۳-۱. نمونه یک سیستم TT

۳-۳. الکتروفیزیولوژی

الکتروفیزیولوژی فرآیندی است که تأثیرات جریان الکتریکی بر بدن انسان را تشریح می‌کند. بدین ترتیب که ورود جریان الکتریکی به بدن می‌تواند موجب انقباضات ماهیچه‌ای، سوختگی الکتریکی و سوختگی شیمیایی شود. هر یک از این موارد در سطح آستانه متفاوتی رخ می‌دهد و گیرنده‌های شوک به صورت پوست سالم، خیس یا مجروح دسته‌بندی می‌شوند. مقاومت



پوست (اندازه‌گیری شده) از یک دست تا دست دیگر تقریباً ۱۰۰ کیلو اهم است. وجود مقدار بالای مقاومت موجب محدود کردن عبور جریان از ۱۲۰ ولت و جریان ۲-۱ میلی آمپر می‌شود. هرچند زمانی که پوست خیس یا سطح آن خراش و آسیب دیده باشد، مقاومت پوست تا حدود ۱۰۰۰ اهم کاهش می‌یابد و جریان برق به ارگان‌های داخلی بدن به‌خصوص قلب دسترسی مستقیم پیدا می‌کند. هنگامی که پوست بدن سالم است، جریانی در حدود ۱ میلی آمپر لازم است تا به‌وسیله بدن حس شود. این مقدار جریان به‌عنوان جریان آستانه احساس به‌وسیله بدن نامیده می‌شود.

جریان بیش از ۱۰ میلی آمپر، موجب فلج و رعشه ماهیچه‌ها و در نتیجه باعث می‌شود تا کاربر نتواند شیء الکتریکی مورد نظر را رها کند. این امر باعث ایجاد شوک الکتریکی یا برق‌گرفتگی می‌شود. بدین ترتیب که هر چه سطح جریان بیشتر شود، فلج و رعشه (Paralysis) به شش‌ها و قلب کشیده می‌شود و باعث ایجاد تداخل در تنفس و آریتمی‌های قلبی می‌گردد و حتی می‌تواند منجر به از کار افتادن قلب شود.

در جریان‌های الکتریکی بیش از ۱۰۰ میلی آمپر، می‌تواند موجب سوختگی شدید بافت‌ها شود. البته عبور جریان در سطوح پایین‌تر با مدت زمان زیاد می‌تواند دارای اثرات مشابه با سطوح جریان بالا باشد. در این رابطه بایستی توجه داشت که پوست بدن بیمار به دلیل وارد کردن سوزن یا کاتتر دارای خراش است و در این حالت جریان الکتریکی به راحتی می‌تواند به قلب راه یافته و حتی یک مقدار خیلی کم جریان بر روی ریتم قلبی تأثیر گذار باشد. جریان‌های به کوچکی ۱۸۰ میکروآمپر می‌تواند سبب فیبریلاسیون قلبی در بیماران آسیب‌پذیر شود. تفاوت مهم بین میکروشوک و ماکروشوک در تفاوت‌های وسیع آستانه جریان است (یک میلی آمپر برای ماکروشوک و ۱۰ میکروآمپر برای میکروشوک) بیمارانی که در سطوح پایین جریان دچار آسیب می‌شوند، بیماران حساس به جریان الکتریکی هستند. تفاوت دیگر میکروشوک و ماکروشوک در تغییرات بزرگ مقاومت الکتریکی بدن است. افراد با پوست سالم (آنها که در معرض ماکروشوک هستند) دارای مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم هستند و با پوست زخمی یا خیس (بخش‌هایی که در معرض خطر میکروشوک هستند) دارای مقاومت ۱۰۰۰ اهم می‌باشند.

۳-۴. شرایط محیطی جریان‌ها و ولتاژهای مجاز برای بدن انسان

مقدار جریانی که ممکن است بدون هیچ گونه خطری از بدن انسان عبور کند به ویژگی‌های جسمی شخص، دامنه جریان، نوع جریان، مسیر و طول مدت جریان بستگی دارد.

شرایط محیطی از جمله عواملی است که می‌تواند در تأثیر جریان برق بر بدن انسان مؤثر باشد و موجب شود که مقاومت بدن در شرایط مختلف محیطی تغییر کند، مثلاً در جایی که رطوبت زیاد است یا زمین زیر پای فرد مرطوب است بدین دلیل که رطوبت خود انتقال دهنده جریان برق است و ذرات آب می‌توانند جریان برق را هدایت کنند که با کاهش مقاومت بدن، اثرات ولتاژ و جریان مجاز به بدن نیز به حداقل کاهش می‌یابد و در مناطق خشک مقاومت بدن حداکثر است. بنابراین در محیط‌های مرطوب خطر برق‌گرفتگی و تأثیر جریان و ولتاژ برق برای بدن بیش‌تر از مناطق با آب و هوای خشک است. خراش، زخم و سوختگی می‌تواند باعث پایین آمدن مقاومت بدن شود و فرد در مقابل جریان یک میلی‌آمپر (1mA) واکنش نشان می‌دهد حتی جریان کم در حد ۱۲ میلی‌آمپر نیز باعث خواهد شد که عضلات دست منقبض شود.

به طور کلی جریان ۵۰ میلی‌آمپر به بالا کشنده است و جریان‌های کم‌تر نیز در صورت عبور از مسیر قلب خطرناک هستند.

جریان مستقیم به مراتب دارای خطر کمتری نسبت به جریان متناوب با مقدار مساوی است. مثلاً در جریان ۵ تا ۷ میلی‌آمپر در جریان مستقیم در بدن درد با خارش و احساس گرما وجود دارد و در جریان متناوب تشنج دست‌ها وجود دارد در جریان‌های بالاتر از این مقدار هم جریان مستقیم تأثیر کم‌تری دارد.

جریان ۹۰ تا ۱۰۰ میلی‌آمپر در هر دو جریان مستقیم و متناوب بسیار خطرناک است. به‌طوری‌که در جریان مستقیم موجب بند آمدن تنفس و نهایتاً باعث خفگی می‌شود و در جریان متناوب قطع تنفس که اگر بیش از ۳ ثانیه طول بکشد قلب فلج شده و حرکات بطن‌های قلب قطع می‌شود و در نهایت باعث مرگ فرد می‌شود.

۳-۵. برق گرفتگی

برق گرفتگی شامل اثرات سوء جریان برق بر روی سیستم بدن انسان است. بدین ترتیب که برای کنترل حرکات عضلات بدن، مغز فرمان‌های عصبی به وسیله جریان‌های الکتریکی بسیار ضعیف به عضلات مخابره می‌کند که هرگاه یک جریان الکتریکی قوی از خارج بر روی اعصاب اثر بگذارد موجب حرکات ناگهانی و بسیار شدید در عضلات می‌شود که به آن اصطلاحاً برق گرفتگی می‌گویند.

البته این جریان الکتریکی نیز ممکن است فعالیت آن قسمت‌ها را به طور موقت یا دائم متوقف کند یا در بعضی مواقع اندام‌های حیاتی مانند مغز، قلب یا ریه‌ها را دچار اختلال و موجب مرگ فرد شود. به عنوان مثال، ضربان قلب انسان با توجه به سن افراد فرق می‌کند. این ضربان بین ۷۰ تا ۱۰۵ بار در دقیقه است. ضربان، یا به بیان دیگر فرکانس برق شهر در هر ثانیه ۵۰ بار و در هر دقیقه ۳۰۰۰ بار است.

وقتی شخصی با برق تماس پیدا می‌کند یا در اصطلاح برق او را می‌گیرد، بدن شخص می‌خواهد تعداد ضربان قلب خود را با فرکانس برق شهر یکسان کند و قلب شروع به افزایش ضربان می‌کند. اما در این حالت چون قلب قادر نیست در هر ثانیه ۵۰ بار پمپاژ داشته باشد، در همان لحظات نخستین، با افزایش ضربان، شدت جریان خون را زیاد و با افزایش آن، قلب و شریان‌ها پاره می‌شود و دریچه‌های قلب به سبب پارگی از کار می‌افتد و با متوقف شدن خونرسانی شخص فوت می‌کند.

۳-۵-۱. آثار برق گرفتگی با جریان متناوب و مستقیم بر بدن

برق گرفتگی یا شوک الکتریکی زمانی اتفاق می‌افتد که جریان الکتریکی از بدن یک شخص عبور کند. در این رابطه متناوب یا مستقیم بودن نوع جریان الکتریکی بر شدت برق گرفتگی مؤثر است. به طوری که جریان متناوب حدود ۴-۶ برابر خطرناک‌تر و کشنده‌تر از جریان مستقیم است. زیرا که اولاً با ایجاد انقباض عضلانی باعث می‌شود تا فرد مدت بیشتری با منبع جریان الکتریکی در تماس باشد و ثانیاً با تأثیر بر سیستم قلب احتمال آریتمی را افزایش می‌دهد. معمولاً جریان‌های متناوب با فرکانس ۴۰ تا ۱۵۰ هرتز جزء خطرناک‌ترین جریان‌ها هستند.

۳-۵-۲. شدت جریان ایمن در برابر برق گرفتگی

شدت جریان ایمن برای بدن انسان حداکثر ۳۰ میلی آمپر و مقاومت ۱۰۰۰۰-۵۰۰ اهم توصیه شده است. عبور جریان بیش از این مقدار موجب فیبرلاسیون بطنی (انقباض سریع، تند و نامنظم تارهای عضلانی قلب) می شود. این انرژی دارای برخی اثرات زودرس و دیررسی به ترتیب زیر برای انسان برق گرفته است:

۱. اثرات زودرس: در این شرایط منجر به پرت شدن فرد برق گرفته، انقباض عضلانی، لرزش و شوک الکتریکی او می شود که برحسب میزان شدت جریان، این علائم خفیف یا شدید خواهند بود.

۲. اثرات دیررس: در این شرایط منجر به اختلالات قلبی و عروقی، آریتمی ضربان قلب، کاهش یا افزایش فشار خون، لخته شدن خون، کاهش حافظه، اختلالات حسی و عصبی، عفونت عنبیه، کاهش بینایی، عوارض کلیوی و در نهایت منجر به مرگ شخص می شود.

توجه: کلیه این عوامل بستگی به میزان عبور جریان از بدن، شدت جریان عبوری، مسیر عبور جریان، بافت بدن، چاقی و لاغری و رطوبت بدن دارد.

۳-۵-۳. عوامل مؤثر در برق گرفتگی

مهم ترین عوامل مؤثر در ایجاد برق گرفتگی شامل موارد زیر است:

۱. نوع جریان الکتریکی (متناوب یا مستقیم)
 ۲. ولتاژ الکتریکی یا اختلاف پتانسیل
 ۳. شدت جریان
 ۴. فرکانس جریان
 ۵. مسیر عبور جریان
 ۶. مقاومت الکتریکی بدن و نقاط تماس با سیم برق
 ۷. مدت زمان عبور جریان
 ۸. وجود جرقه به همراه برق گرفتگی
- مهم ترین عواملی که در ایجاد برق گرفتگی نقش دارند، به قرار زیر است:

۳-۵-۴: 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؛ به طوری که می‌تواند عبور تا ۸۰ میلی‌آمپر جریان مستقیم را از بدن تحمل کند.

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

۳-۶: حداکثر شدت جریان مجاز برای بدن انسان

استانداردهای متفاوت برای اثرجریانهای متناوب و مستقیم مطابق جدول ۳-۱ در انواع فرکانس‌های مختلف به عنوان حد مجاز تعریف شده است. به عنوان مثال بر اساس استاندارد کمیسیون بین المللی برق (IEC)، حد شدت جریان بی خطر برای انسان ۱۰ میلی‌آمپر و حد آستانه مرگ ۲۵ میلی‌آمپر برای جریان متناوب و حد آستانه مرگ برای جریان مستقیم ۵۰ میلی‌آمپر می‌باشد.

جدول ۳-۱. اثرات جریان‌های AC و DC بر بدن

شدت جریان (میلی آمپر)	جریان متناوب ۶۰-۵۰ هرتز	جریان ثابت (مستقیم)
۰/۶ تا ۱/۵	احساس عبور جریان، لرزش کم انگشتان	محسوس نیست
۲ تا ۳	لرزش شدید انگشتان دست	محسوس نیست
۸ تا ۱۰	دست‌ها به سختی تکان می‌خورد، اما می‌توان از الکتروود جدا کرد.	درد با خارش، احساس گرما
۱۱ تا ۱۲	تشنج عضلات تا شانه‌ها ادامه یافته و درد شدید یا حساس می‌شود و تماس با الکتروودها را تا ۱۵ ثانیه می‌توان تحمل کرد.	احساس گرمای شدید
۱۳ تا ۱۴	رها کردن الکتروودها و تماس با آنها تا ۱۵ ثانیه تحمل‌پذیر است	احساس گرمای شدید
۱۵	رها کردن الکتروودها غیرممکن بوده و تعرق دست‌ها.	احساس گرمای شدید
۲۰ تا ۲۵	فلج ناگهانی دست‌ها و تنگی نفس	احساس گرما، انقباض کم عضلات
۵۰ تا ۸۰	بند آمدن تنفس، لرزش در بطن‌های قلب	احساس ازدیاد گرما، انقباض عضلات، تشنج
۹۰ تا ۱۰۰	قطع تنفس که اگر بیش از ۳ ثانیه طول بکشد قلب فلج می‌شود.	بند آمدن تنفس (خفگی)

در ادامه برحسب آزمایشات انجام گرفته، مقدار جریان عبوری از بدن انسان تا رها کردن سیم برق و قطع جریان درسه بخش تشریح شده است:

- ۱- کمتر از ۰/۵ میلی آمپر: بدن انسان در این قسمت احساس عبور جریان برق نمی‌کند.
- ۲- جریان برق بین ۰/۵ تا ۲۰۰ میلی آمپر به مدت کمتر از ۲ میلی ثانیه و بین ۰/۵ تا ۱۰ میلی آمپر در زمان بیش از ۲ میلی ثانیه دارای خطر و جراحات برق‌گرفتگی نمی‌باشد ولی دردهای زیاد در ماهیچه‌ها و انگشتان و یا مفصل‌ها احساس خواهد شد.
- ۳- جریان برق با بیش از ۲۰۰ میلی آمپر باعث بروز خطرات قلبی و لرزش‌های مفصلی خواهد شد. به‌طوری‌که در یک زمان کوتاه و در چند ثانیه دردهای شدیدی در بازوان، پاها و

ماهیه‌های شانه مشاهده شده و پس از آن همراه با اضافه شدن فشار خون، تنگی نفس، تغییر ضربان قلب با احساس بی‌هوشی توأم خواهد بود.

از آنجایی که کم‌ترین مقاومت بدن مربوط به عضلات و ماهیچه‌ها و حساس‌ترین نقطه مربوط به دریچه‌های قلب، کبد، ریه، غده تیروئید و غیره است، با ورود جریان برق به بدن بروز خطر در قلب امری جدی است. به همین دلیل سوزش در داخل قلب، گرفتگی ماهیچه‌ها و دردهای بسیار شدید همراه با بروز جراحات قلبی، از کار افتادن آن و مرگ فرد قطعی خواهد بود. بنابراین میزان آسیب‌دیدگی افراد از شوک الکتریکی به دو عامل اساسی مقدار جریان الکتریکی و طول زمانی عبور جریان از بدن بستگی دارد. به عنوان مثال: تنها عبور جریان الکتریکی به میزان 0.1 آمپر در مدت 2 ثانیه از بدن فرد کافی است تا به مرگ فرد منجر شود و فقط جریانی که یک فرد می‌تواند آن را تحمل کرده و در آن جریان فرد توان کنترل عضلات دست و بازو داشته باشد، مقداری کمتر از 10 میلی‌آمپر است و جریان‌های بیش از 10 میلی‌آمپر می‌تواند منجر به فلج شدن فعالیت عضلات یا «فریز» شدن آنها گردد. به عبارت دیگر زمانی این فریز شدن اتفاق می‌افتد که شخص از آن به بعد توان رها کردن اشیاء نظیر سیم در دست خود را نداشته باشد. جدول $3-2$ نشان می‌دهد که در بازه‌های مختلف جریان‌ها (به مدت 1 ثانیه) در ولتاژهای خانگی معمول، چه اتفاقاتی رخ می‌دهد. زمان بیشتر در معرض جریان قرار گرفتن، خطر شوک به بیمار را افزایش می‌دهد. برای مثال، جریان 100 میلی‌آمپر که برای مدت 3 ثانیه اعمال شود همان خطر جریان 900 میلی‌آمپر را دارد که برای کسری از ثانیه ($0.3/0$ ثانیه) اعمال شود. ساختار عضلانی شخص نیز می‌تواند تفاوت ایجاد کند. افراد با بافت عضلانی کمتر معمولاً در جریان‌های پایین‌تر تأثیر می‌گیرند. حتی ولتاژهای کم می‌توانند بسیار خطرناک باشند، چرا که درجه آسیب فقط به مقدار جریان بستگی ندارد و به مدت زمانی که بدن در معرض آن قرار می‌گیرد نیز وابسته است.

جدول ۳-۲. واکنش بدن انسان به عبور جریان‌های مختلف

مقدار جریان	تأثیر بر بدن
زیر ۱ میلی آمپر	به طور کلی قابل درک نیست
۱ میلی آمپر	سوزش (خارش) جزئی
۵ میلی آمپر	شوک ضعیفی حس می شود؛ دردآور نیست ولی آزاردهنده است. فرد معمولی می تواند رها کند. واکنش های غیراختیاری شدید می تواند منجر به آسیب های دیگر شود.
۲۵-۶ میلی آمپر (زنان)	شوک دردآور، از دست رفتن کنترل عضلات
۳۰-۹ میلی آمپر (مردان)	
۵۰-۱۵۰ میلی آمپر	درد شدید، ایست تنفسی (نفس کشیدن متوقف می شود)، واکنش عضلانی شدید، امکان فوت
۴۳۰۰-۱۰۰۰ میلی آمپر	ریتم پمپاژ قلب متوقف می شود، انقباض عضلانی، مرگ محتمل است.
۱۰۰۰۰ میلی آمپر یا ۱۰ آمپر	ایست قلبی، سوختگی شدید، مرگ

گاهی اوقات ولتاژهای زیاد باعث آسیب های اضافی می شود. به طوری که وجود ولتاژهای زیاد می تواند موجب انقباضات شدید عضلات شود. ولتاژهای زیاد همچنین ممکن است منجر به سوختگی های شدید شود. به عنوان مثال جریان عبوری از بدن در ولتاژ ۶۰۰ ولت، ممکن است در حد ۴ آمپر باشد که این میزان جریان می تواند باعث وارد آمدن آسیب به ارگان های داخلی نظیر قلب یا موجب بروز سوختگی به علاوه ایجاد لختگی خون در عروق داخلی گردد. در چنین شرایطی اعصاب حول محل تماس نیز ممکن است دچار آسیب گردیده و به همراه اختلال در انقباض عضلات باعث شکستگی استخوان، در اثر این انقباض یا افتادن گردد.

۳-۷. حداقل ولتاژ برق گرفتگی

به طور کلی ولتاژ الکتریکی کمتر از یک حد معین بی خطر است و مقدار ولتاژی که بدن یک فرد بدون هیچ عارضه ای توان تحمل آن را خواهد داشت، به نوع جریان و زمان آن بستگی دارد. البته حد آستانه تحمل افراد نسبت به جریان های متناوب کمتر از جریان مستقیم است. به همین دلیل استاندارد کشور انگلستان، حداکثر ولتاژ مجاز تماس با جریان متناوب برای



فرکانس ۵۰ هرتز را ۵۰ ولت و استاندارد آلمان این مقدار را ۶۵ ولت مشخص کرده‌اند. در حالیکه این دو نوع استاندارد برای جریان مستقیم مقدار ۱۲۰ ولت را اعلام کرده‌اند. به همین ترتیب ولتاژ مجاز درفرانسه برای جریان متناوب (AC) ۲۴ ولت و برای جریان مستقیم (DC) ۵۰ ولت، در لهستان و سوئیس این ولتاژ مجاز ۵۰ ولت، در هلند و سوئد ۲۴ ولت و در کشور روسیه نسبت به شرایط محیط ۳۶ و ۶۵ ولت می‌باشند. به‌طور کلی آستانه تقریبی ولتاژ که منجر به بروز شوک الکتریکی در افراد می‌گردد را می‌توان به ترتیب در جدول ۳-۳ تشریح کرد.

جدول ۳-۳. واکنش بدن انسان به عبور جریان‌های مختلف

ردیف	شرایط آستانه	میزان ولتاژ مؤثر برحسب ولت
۱	حداقل آستانه احساس	۱۰-۱۲
۲	حداقل آستانه درد	۱۵
۳	حداقل آستانه درد شدید	۲۰
۳	حداقل ولتاژ نگه‌دارنده	۲۰-۲۵
۴	حداقل ولتاژ کشنده	۴۰-۵۰
۵	شروع ولتاژ برای فیبریلاسیون	۵۰ یا ۶۰ تا ۲۰۰ ولت

۳-۸. اثرات فرکانس

تغییر مستمر جهت جریان متناوب منجر به وارد شدن ضربات شدیدتر بر سلسله اعصاب می‌گردد. این امر باعث کاهش مقاومت بدن انسان خواهد شد. برهمین اساس، عبور جریان حدود ۲۵ میلی‌آمپر با فرکانس ۵۰ هرتز می‌تواند موجب از کار افتادگی دستگاه تنفس و مرگ انسان گردد. در حالی که با جریان مستقیم، جریان بیش از ۸۰ میلی‌آمپر باعث مرگ خواهد شد. بنابراین در شرایط عادی، حداکثر ولتاژ بی‌خطر برای انسان با فرکانس ۵۰ هرتز حدود ۵۰ ولت و برای جریان مستقیم حداکثر ولتاژ بی‌خطر ۱۲۰ ولت می‌باشد.

بایستی توجه داشت که با ازدیاد فرکانس، مقاومت الکتریکی بدن انسان که دارای ظرفیت خازنی است، کم می‌شود و اگر فرکانس جریان خیلی زیاد باشد، انرژی برق بیشتر صرف گرمایش بدن می‌شود که در این حالت احتمال ایجاد شوک الکتریکی بسیار کم است. بنابراین

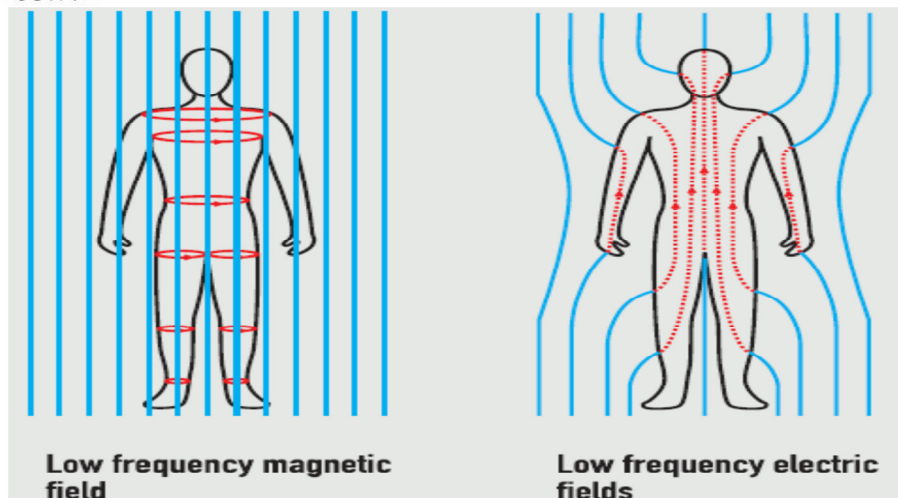
نقطه اوج خطر برق گرفتگی در فرکانس‌های ۵۰ تا ۶۰ هرتز می‌باشد. جدول ۳-۴ نتیجه آزمایشاتی است که بر روی سگ‌ها با فرکانس‌های مختلف انجام گرفته است.

جدول ۳-۴. اثر فرکانس‌های مختلف نسبت به ولتاژ

فرکانس بر حسب هرتز	ولتاژ	تعداد سگ‌های مورد آزمایش	درصد مرگ
۵۰	۱۱۰-۱۲۰	۱۰	۱۰۰
۱۰۰	۱۱۰-۱۲۰	۲۱	۴۵
۱۲۵	۱۰۰-۱۲۰	۱۰	۲۰
۱۵۰	۱۲۰-۱۲۵	۱۰	۰

۳-۹. اثرات امواج الکترو مغناطیس بر بدن

یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد خطر در برابر امواج الکترومغناطیس^(۸)، مدت زمان قرارگیری کاربر مطابق شکل ۳-۲ در برابر این امواج می‌باشد. به همین دلیل کاربر بایستی در یک مدت زمان کوتاه آزمایش‌های مورد نیاز با فرکانس‌های بالا را به عمل آورد. در این رابطه چشم از جمله مهم‌ترین قسمت‌های بدن است که در برابر تشعشع امواج الکترومغناطیسی می‌تواند دچار آسیب شود. به همین دلیل بایستی کاربر از نگاه مستقیم با چشم به داخل موج بر و سایر ادوات فرکانس بالا اجتناب کند.

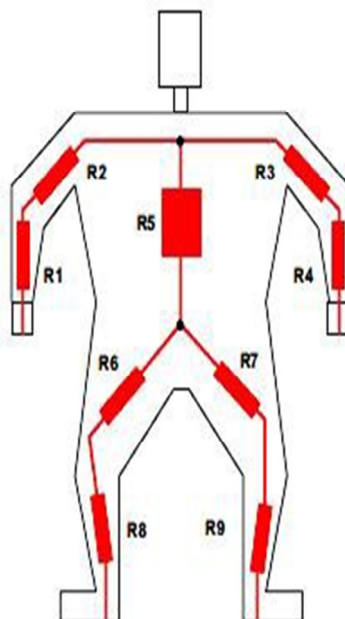


شکل ۳-۲. اثرات امواج الکترو مغناطیس بر بدن

یکی از مهم ترین عوامل با فرکانس بالا، لامپ های مایکروویوی است که به دلیل داغ شدن شدید در طول زمان فعالیت، کاربر باید از تماس مستقیم با این عامل خودداری کند. قرار دادن سر انسان در مقابل امواج الکترومغناطیسی نیز موجب بروز سردرد در کاربر می شود. بر همین اساس کاربر بایستی از قرار دادن سر در برابر آنتن در آزمایشگاه هایی که از آنتن و مایکروویو استفاده می شود اجتناب کند.

۳-۱۰. مقاومت های الکتریکی بدن انسان

بدن انسان دارای یک ساختمان فیزیولوژیکی خاص است و می تواند به صورت یک هادی جریان برق عمل کند. در این رابطه قسمت های مختلف بدن انسان مطابق شکل ۳-۳ از مقاومت های مختلف برخوردار است و این مقاومت در بدن همه افراد یکسان نیست. ضمن اینکه مقاومت اعضاء مختلف بدن هر انسان در برابر جریان برق متفاوت می باشد. بدین ترتیب هرچه قدر مقاومت در مسیر جریان الکتریسیته پایین تر باشد شدت اثر جریان بر آن بیشتر می باشد. به طور ساده می توان گفت که، مقاومت کل بدن انسان معادل مجموعه مقاومت های اجزای بدن است.



شکل ۳-۳. ساختار مقاومت‌های بدن

مجموع مقاومت‌ها شامل:

$$R = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8 + R9$$

مقاومت بافت‌های بدن در مقابل جریان الکتریکی به نسبت میزان آب موجود در آنها،

متفاوت است. مقاومت پوست بدن در نقاط مختلف شامل:

- غشای محیطی ۱۰۰ اهم
- پوست نازک ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ اهم
- پوست سایر نقاط بدن ۱۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ اهم
- پوست کف پا ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ اهم
- پوست کف دست پینه‌دار ۱۰۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰ اهم

با توجه به میزان مقاومت قسمت‌های مختلف بدن و عناصر تشکیل‌دهنده بافت‌ها، در اثر عبور جریان برق از آنها موجب تولید حرارت‌های مختلف و از این طریق منجر به بروز ضایعات و صدمات متفاوت می‌گردد.

بافت‌های بدن نظیر:

- استخوان، چربی، تاندون، پوست، عضله، عصب و عروق خونی از مقاومت‌های مختلف تشکیل یافته است که به‌عنوان مثال استخوان، چربی و پوست نسبت به ماهیچه‌ها و مایعات داخل رگ‌ها مقاومت بیشتری در برابر جریان الکتریکی نشان می‌دهند.
- پوست بدن نیز مقاومت‌های مختلفی نسبت به جریان برق دارد. بیشترین مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی را لایه شاخی پوست دارد، زیرا که فاقد عصب و رگ‌های خونی می‌باشد. ضخامت این لایه حدود 0.2 تا 0.5 میلی‌متر است و یک لایه عایق در برابر جریان الکتریکی محسوب می‌شود و مقاومت کلی بدن انسان تا زمانی که این لایه سالم است، تضمین می‌گردد. بدین ترتیب که هر چه پوست ضخیم‌تر و جثه فرد بزرگتر باشد، مقاومت بدن نیز بیشتر خواهد بود و هر چه پوست مرطوب‌تر باشد، مقاومت آن کمتر می‌شود.
- کمترین مقاومت‌ها مربوط به عضلات و ماهیچه‌ها و حساس‌ترین و ظریف‌ترین آنها دریچه‌های قلبی، کبد، ریه و غده تیروئید است.

بنابراین بیشترین مقاومت‌ها از پوست بدن شروع و به سلسله مویرگ‌ها می‌رسد که در مقابل جریان برق دچار سوختگی ناگواری می‌شوند. این نوع سوختگی‌ها عمیق و مداوم آنها چنانچه زیاد باشند بسیار دشوار و در بعضی موارد علاج‌ناپذیر است. به ویژه 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. از این رو طبق تجربه، پوست خشک و سالم دارای مقاومت 500 تا 10000 اهم و بیشتر است و در صورتی که لایه شاخی پوست حذف شود این مقاومت به 7000 تا 8000 اهم کاهش می‌یابد. افزون بر این، مقاومت بدن انسان به محل تماس و سطح تماس بستگی دارد و به‌طور کلی پوست بدن، عایق غیر کاملی محسوب می‌شود که با مرطوب شدن و عرق کردن، مقاومت الکتریکی آن کاهش می‌یابد.

اختلاف پتانسیل وارده به پوست اثر زیادی در میزان مقاومت پوست دارد، به‌طوری‌که تماس لایه شاخی پوست با اختلاف پتانسیل، سبب سوراخ شدن این لایه شده و مقاومت پوست کاهش می‌یابد. این مسئله در اختلاف پتانسیل‌های 10 تا 40 ولت مشاهده می‌شود و در اختلاف پتانسیل‌های 250 ولت و بیشتر مقاومت پوست بدون لایه شاخی می‌باشد. از این رو

میزان اثر جریان بر بدن با توجه به عواملی از قبیل ضخامت پوست، میزان رطوبت پوست، درجه حرارت بدن و مقدار نمک پوست و همچنین سطح تماس پوست با قسمت برقدار هر جسم یا شیئی را می‌توان به ترتیب زیر تشریح کرد:

۱. مقاومت الکتریکی بدن انسان، مقاومت اهمی خالص نمی‌باشد.
۲. مقاومت الکتریکی بدن انسان شامل دو قسمت (مقاومت جلدی و مقاومت داخلی) است:
۳. مقاومت جلدی: عبارت است از مقاومتی که پوست در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهد.
۴. مقاومت داخلی: عبارت است از مقاومتی که اعضای داخل بدن در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهد.
۵. مقاومت داخلی (اعضای زیر پوست دارای مقاومت در حدود ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم با توجه به عوامل مختلف) و مقاومت خارجی (مقاومت پوست بدن) می‌باشد.
۶. اثر میزان جریان برق بر روی این مقاومت‌ها (داخلی و خارجی) متغیر است.
۷. مقاومت بدن انسان در مقابل عبور جریان الکتریسته در قسمت‌های مختلف بدن متفاوت است. به‌طوری که استخوان، پوست، چربی و غضروف نسبت به عضلات و خون مقاومت بیشتری را نشان می‌دهند.
۸. بیشترین مقاومت بدن در قسمت شاخی پوست است. پوست خشک و سالم دارای مقاومت ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ اهم است. در صورتی که قشر شاخی پوست برداشته شود، این مقاومت به ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ اهم تنزل خواهد یافت.
۹. در صورت از بین رفتن بصره پوست، مقاومت پوست تا ۶۰۰ اهم کاهش می‌یابد.
۱۰. مقاومت بدن در محل‌هایی نظیر کف پاها بیشتر و در لاله گوش کمتر می‌باشد.
۱۱. با افزایش میزان رطوبت بدن از قبیل عرق مقاومت بدن نسبت به جریان الکتریکی کاهش یافته و با برقراری ارتباط مستقیم با آب مانند شنا در استخر با کاهش بیشتر مقاومت اثر جریان بر بدن نیز بیشتر خواهد شد.
۱۲. میزان مقاومت بدن انسان بستگی به محل تماس و سطح تماس و محل ورود و خروج جریان الکتریکی دارد.



۱۳. سطوح مج دست و ساعد نسبت به نقاط دیگر بدن در عبور جریان مساعدتر هستند.
۱۴. میزان اثر جریان برق نسبت به سطح تماس پوست با سیم برق (تماس نوک انگشت با سیم برق یا کف دست) متفاوت است.
- بنابراین برحسب گزارشات موجود مقاومت الکتریکی بدن انسان ثابت نیست و بر اثر عوامل فردی و شرایط محیط کار ممکن است به نسبت ۱ تا ۱۰۰٪ تغییر کند. لذا عوامل مختلفی در تغییر این مقاومت مؤثر هستند.

۳-۱۰-۱. عوامل مؤثر در تغییر مقاومت الکتریکی بدن

از آنجایی که بخش اعظم بدن انسان را آب و مایعات الکترولیت تشکیل می‌دهند، در حالت کلی بدن انسان به صورت یک جزء تقریباً رسانا است. بدن انسان به دلیل مقاومتی که دارد بخشی از انرژی وارد شده را به حرارت تبدیل می‌کند. بدین ترتیب که هرچه مقاومت بدن انسان بیشتر باشد، بخش بیشتری از انرژی به صورت گرما به هدر می‌رود. این حرارت عامل اصلی تجزیه مایعات در داخل بدن است. به طور کلی، عوامل مؤثر در مقدار مقاومت بدن انسان در برابر جریان الکتریکی شامل:

۳-۱۰-۲. عوامل تغییر در مقاومت پوست

۱. وضع پوست
۲. سطح پوست
۳. استحکام اتصال
۴. مقدار شدت جریان و مدت عبور آن
۵. ولتاژ یا فشار الکتریکی

۳-۱۰-۳. عوامل تغییر در مقاومت بدن انسان

۱. ضخامت پوست
۲. وضع رطوبت پوست، درجه حرارت، مقدار نمک و میزان تعرق
۳. فشار تماس پوست به قسمت برق دار

۴. فشار الکتریکی اعمال شده به بدن
۵. شدت جریان الکتریکی
۶. مسیر عبور جریان
۷. مدت عبور جریان
۸. نوع جریان الکتریکی و فرکانس
۹. سن
۱۰. وضع روحی و جسمانی

۳-۱۰-۴. عوامل تغییر در مقاومت بدن انسان

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

- **حالت 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.
- **سطح تماس و فشار تماس:** هرچه سطح و فشار تماس بیشتر باشد، مقاومت بدن کمتر می‌گردد. عوامل دیگری نیز می‌تواند باعث کاهش مقاومت بدن شود؛ 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 صد هزار اهم نیز می‌رسد. چون جریان برق برای عبور از بدن باید از مسیر پوست داخل و خارج شود، استفاده از دستکش و کفش برای افزایش مقاومت بدن در برابر عبور جریان مؤثر است.
- **ضخامت پوست:** ضخامت پوست دارای نقشی مهم است، به گونه ای که مقاومت پوست دست یک کارگر در حالت خشک با مقاومت پوست دست یک کودک قابل مقایسه نیست. مایعات و جنس آنها، درجه حرارتشان در مقاومت پوست در برابر

جریان الکتریکی مؤثر است. اسید، باز، نمک و عرق پوست باعث کاهش مقاومت پوست می‌شوند. برای پوست سالم و خشک مقاومت در محل ورود و خروج جریان در پوست تا اختلاف پتانسیل ۵۰ ولت به سطح تماس، میزان فشار تماس، رطوبت پوست، میزان نمک سطح پوست و درجه حرارت پوست بستگی دارد. همچنین، مقاومت الکتریکی در محل ورود و خروج جریان به مسیر جریان در بدن بستگی دارد. معمولاً در اختلاف پتانسیل‌های پایین در محل خشک مقاومت ۵۰۰۰ اهم و در محل مرطوب ۲۰۰۰ اهم است. اگر تماس بین دست و پا باشد مقاومت کفش نیز دخالت خواهد داشت و مقاومت جریان عبوری را زیادتر می‌کند که در این حالت خشک یا مرطوب بودن کفش نیز مؤثر است. افزون بر این سطح تماس و مسیر عبور جریان در میزان مقاومت بدن در برابر جریان الکتریکی مؤثر است. به‌طور مثال، در صورت عبور جریان از دو دست و دو پا، مقاومت کمتری وجود دارد. و اگر سطح محل تماس بیشتر باشد، مقاومت بدن کاهش می‌یابد. مقاومت سینه برای پوست زخم شده، در محل زخم ۱۵۰ اهم می‌باشد. مقاومت بین دو گوش ۱۰۰ اهم و مقاومت بین دو دست ۳۰۰ تا ۵۰۰ اهم است.

- **تعرق:** میزان تعرق یا رطوبت پوست، درجه حرارت، مقدار نمک در عرق انسان در هنگام تعرق موجب کاهش مقاومت الکتریکی بدن شده لذا در این زمان خطر برق‌گرفتگی نیز بیشتر خواهد بود.
- **سن و جنس:** پوست یک کودک با برخورداری از لطافت بیشتر از مقاومت کمتری نسبت به بزرگسالان برخوردار می‌باشد یا پوست بدن خانم‌ها با توجه به شرایط فیزیولوژی آنها نسبت به مردان نازکتر و در نتیجه از مقاومت کمتری برخوردار است.
- **میزان وزن (چاقی یا لاغری):** وزن افراد ارتباط مستقیم با میزان چربی انباشته شده در قسمت‌های بدن آنها دارد و هرچه میزان چربی بیشتر باشد مقاومت بدن در برابر عبور جریان بیشتر خواهد بود و بالعکس
- **گرسنگی یا سیری:** مقاومت بدن در حالت گرسنگی یا سیری تغییر خواهد کرد به همین دلیل میزان تأثیر جریان در این دو حالت نیز متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال

میزان تأثیر جریان در حالت سیری بدلیل برخورداری بدن از مقاومت بیشتر، کمتر خواهد بود.

- **خستگی:** بدن در شرایط فیزیولوژیکی مختلف دارای مقاومت متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال یک فرد خسته از مقاومت الکتریکی کمتری برخوردار است و در مقابل عبور جریان برق از بدنش زودتر از پای در خواهد آمد.
- **سلامت کامل یا بیماری:** در این دو حالت نیز میزان مقاومت بدن برحسب شرایط جسمی متفاوت خواهد بود و بدین ترتیب میزان تأثیر جریان در حالت بیماری نسبت به سلامت کامل بیشتر است.
- **مصرف دارو، الکل و غیره:** گزارشات نشان می‌دهد که مقاومت بدن شخص در زمانی که الکل یا داروهای شیمیایی و غیره مختلف مصرف کرده است نسبت به شرایط عادی کمتر می‌باشد و به همین نسبت اثر جریان برق در این حالت نیز بیشتر است.
- **سطح تماس:** هرچه سطح تماس بدن با سیم‌های هادی بیشتر باشد مقاومت الکتریکی بدن نیز کمتر خواهد شد.

حال با توجه موارد اشاره شده چنانچه مقاومت پوست خشک دارای مقاومتی بیش از ۱۰۰۰۰۰ اهم باشد و ولتاژی معادل ۲۲۰ ولت به‌طور اتفاقی بین ۲ دست عبور کند، جریانی برابر ۲/۲ میلی‌آمپر برقرار خواهد شد که اگر همین حالت را در یک محیط خیس یا در یک روز گرم و مرطوب برای همین جریان در نظر بگیریم مقاومت آن کمتر از ۱۰۰۰ اهم گردیده که باعث عبور جریان ۲۲۰ میلی‌آمپری مطابق جدول ۳-۵ خواهد شد. هرچند که اندام‌های دیگر نظیر شبکه چشم و زبان بیشترین تأثیر در برابر شدت جریان را دارند.

جدول ۳-۵. مقاومت اجزای مختلف بدن

میزان عبور جریان	مقاومت بر حسب اهم	اجزای بدن
$220/1000000=2/2mA$	۶۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰	پوست خشک
$220/1000=220mA$	۱۰۰۰	پوست خیس
$220/500=440mA$	۵۰۰	سر تا پاها
$220/1200=183mA$	۱۲۰۰	شانه تا پا
$220/1600=137mA$	۱۶۰۰	کف دست تا پاها
$220/800=275mA$	۸۰۰	کف دست تا شانه
$220/100=2/2A$	۱۰۰	گوش تا گوش
$220/1500=147mA$	۱۵۰۰	کف دست راست تا کف دست چپ
$220/600=377mA$	۴۰۰۰ تا ۶۰۰	قسمت‌های داخلی بدن

۳-۱۱. مدت زمان تماس یا تأثیر عبور جریان

هرچه زمان عبور جریان الکتریکی در بدن بیشتر باشد، مقاومت بدن نیز کاهش یافته و عوارض بیشتری را در پی خواهد داشت. به همین دلیل قطع سریعتر جریان برق می‌تواند در ادامه حیات شخص تأثیر گذار باشد. البته بایستی توجه داشت که در لحظات اولیه عبور جریان برق از بدن مقاومت بدن زیاد است که با ادامه این روند حرارت موجب تعریق بدن در هنگام عبور جریان خواهد شد، که با کاهش مقاومت بدن و ازدیاد جریان، گرمای بیشتری در بافت‌ها به وجود آمده و موجب سوختگی یا سوراخ شدن پوست می‌گردد.

جریان عبوری از بدن انسان تا رها کردن سیم برق و قطع جریان را میتوان به چهار گروه تقسیم کرد:

۱. جریان‌های کمتر از نیم میلی‌آمپر: در این حالت بدن انسان عبور جریان برق را احساس نمی‌کند.
۲. 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.

۳. جریان‌های بین نیم میلی‌آمپر تا ۱۰ میلی‌آمپر برای مدت بیشتر از ۲ میلی‌ثانیه: در این حالت نیز مشابه حالت قبل خطرها و جراحات جدید بر اثر برق‌گرفتگی به وجود نمی‌آید ولی با درد زیاد در ماهیچه‌ها و انگشتان - یا مفصل‌ها احساس می‌شود.

۴. 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 واسطهٔ سوختگی‌های داخلی بسیار حتمی است.

۳-۱۱-۱. میزان شدت جریان برق

میزان شدت جریان تابعی از میزان ولتاژ تماس است. بدین ترتیب که هرچه مقاومت بدن کمتر باشد، اثر شدت جریان بیشتر خواهد بود. با عبور جریان از بدن ممکن است بافت‌ها و اندام‌های موجود در مسیر عبور جریان تحت تأثیر جدی عواملی به ترتیب زیر قرار گیرند:

۱. **آستانه احساسی و آستانه انقباضی:** بافت شبکیه چشم در مقابل عبور جریان برق از آستانه احساسی پایین‌تری نسبت به سایر بافت‌ها برخوردار می‌باشد و چنانچه یک جریان ۰/۰۲ میلی‌آمپر از کره چشم عبور کند، چشم در حال بسته به دلیل انقباض بافت‌ها دچار برق‌زدگی می‌شوند. به همین ترتیب آستانه احساس زبان بالاتر از چشم و تقریباً در حدود ۰/۰۵ میلی‌آمپر و آستانه احساس پوست بدن در حدود یک میلی‌آمپر است.

۲. **آستانه انقباض ماهیچه‌ای:** عبور جریان الکتریکی زیاد از بافت باعث ایجاد انقباض ماهیچه‌ای خواهد شد. بدین ترتیب که اگر ماهیچه‌های ساعد در معرض جریان الکتریکی حدود ۹/۷ تا ۲۱/۶ میلی‌آمپر قرار گیرند، ممکن است فرد توان رها کردن سیم حامل جریان الکتریکی را نداشته باشد.

۳. **آستانه فیبریلاسیون قلبی:** با برق گرفتگی شدید منجر به فیبریلاسیون بطنی می گردد. به طوری که در این حالت بطن قلب ضربان بیشتری را به عمل آورده و باعث خروج خون از بطن و از کار افتادن قلب پس از مدتی می گردد. عبور جریان از سینه فرد ممکن است بر روی قلب آن شخص اثر گذاشته و باعث فیبریلاسیون بطنی او گردد. هرچند که بروز فیبریلاسیون بطنی تابع وزن فرد و مسیر جریان نیز می باشد. طبق گزارشات موجود میزان جریان برای ایجاد فیبریلاسیون بطنی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلی آمپر می باشد.

۴. **آستانه توقف دستگاه تنفسی:** طبق آزمایشات به عمل آمده بر روی سگ ها عبور جریان در حدود ۵۰ میلی آمپر از بخش جلو ریه به بخش پشت منجر به توقف تنفس گردیده است و این حد آستانه برای توقف تنفس در انسان در حدود ۲۰ تا ۵۰ میلی آمپر است.

۵. **سوختگی:** در زمان برق گرفتگی، سوختگی پوست ممکن است به ندرت اتفاق افتد اما از آنجایی که آسیب های سطحی، غالباً با آسیب وسیع بافت های عمقی همراه می گردد از اهمیت ویژه ای نیز برخوردار می باشد. سوختگی های ناشی از برق گرفتگی را به طور کلی می توان به ۳ دسته سوختگی ناشی از عبور جریان الکتریکی، سوختگی ناشی از ایجاد قوس الکتریکی و سوختگی ناشی از آتش گرفتن لباس فرد تقسیم کرد.

۳-۱۲. مسیر عبور جریان

یکی از عوامل بسیار مهم در ارتباط با بروز حوادث و انواع صدمات به بیماران یا افراد فعال در بخش های درمانی و خدمات درمانی مسیر عبور جریان و همچنین مدت زمان وارد شدن جریان الکتریکی به بدن آنها است که با عبور جریان از مسیری خاص ممکن است در بدترین حالت منجر به از کار افتادن دستگاه تنفس و با عبور جریان الکتریکی از بافت قلب باعث فیبریلاسیون یا هر دو گردد. میزان اثر عبور جریان از بخش های عضلانی و خون با مقاومت کمتر نسبت به قسمت های استخوانی و غضروفی، بیشتر است. لذا در این راستا بایستی توجه داشت که مسیر عبور جریان از هر مسیری که باشد، مقداری از آن بر قلب اثر خواهد گذاشت. بنابراین مسیر عبور جریان و سطحی از بدن که جریان از آن می گذرد می تواند نقش به سزایی

در پیامدهای حادثه داشته باشد. به عنوان مثال در صورتی که مسیر جریان دست به دست باشد شدت پیامدها بسیار وخیم تر خواهد بود، در صورتی که برق گرفتگی در سر باشد علت اصلی مرگ خفگی است. به عبارت دیگر مسیر عبور جریان از بدن و میزان سطح عبور آن می تواند نقش به سزایی در تعیین حوادث و میزان صدمات به قلب داشته باشد. در ادامه به چند الگو از حالت های مختلف عبور جریان برق به قلب در مسیرهای مختلف که به عنوان مهم ترین حالت های موجود ثبت فعالیت ها شناخته می شود به ترتیب زیر اشاره خواهد شد:

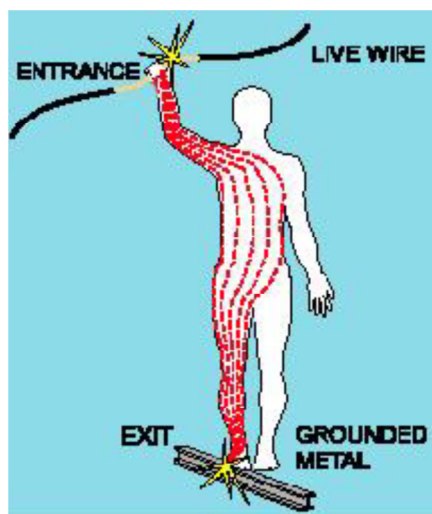
۱. از دست راست به پاها

۲. از دست چپ به پاها

۳. از پا به پا

۴. از دست به دست

اما مسیر عبور جریان از هر طرف که باشد، درصدی از آن از قلب عبور می کند. شکل ۳-۴ مسیر عبور جریان از دست راست به پای راست را نشان می دهد.



شکل ۳-۴. مسیر عبور جریان

در جدول ۳-۶ میزان عبور جریان از قلب برحسب درصد نشان داده شده است:

جدول ۳-۶. مسیر عبور جریان از قلب

ردیف	مسیر عبور جریان	در صد جریان عبوری از قلب
۱	پا به پا	۰,۴٪
۲	دست به دست	۳,۳٪
۳	دست راست به پاها	۶,۵٪
۴	دست چپ به پاها	۶,۷٪

با توجه به موارد اشاره شده در فوق، خطرناک‌ترین حالت زمانی است که جریان برق از یک دست وارد و از دست دیگر خارج شود. زیرا در چنین حالتی عبور جریان برق از قلب و ریه می‌تواند موجب از کار افتادن آنها و در نتیجه مرگ فرد گردد.

در شرایط عمومی هرگاه جریان برق وارد بدن شود مسیری را انتخاب می‌کند که دارای کمترین مقاومت است و از نقطه ای نزدیک اتصال به زمین خارج می‌شود. در نتیجه این ورود و خروج باعث از بین رفتن بافت ها و ضایعات شدید مانند از بین رفتن عضو یا حتی مرگ شخص می‌شود. جدول ۳-۷ میزان و احتمال خطر مرگ برای مسیرهای عبور جریان برق در بدن را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۷. شرایط میزان خطرات جریان برق برحسب مسیر عبور آنها

عبور جریان از اندام‌های حساس و حیاتی از قبیل قلب، مغز، ریه و ...			
ردیف	مسیر عبور جریان	میزان خطر مرگ	احتمال وقوع
۱	سر به سایر اندامها	زیاد و مرگبار	خیلی کم
۲	از یک دست به دست دیگر	زیاد	متوسط
۳	از دست به کف پا	خیلی زیاد	زیاد
۴	از یک پا به پای دیگر	کم	کم

۳-۱۳. شدت عبور برق

شدت عبور برق یا برق‌گرفتگی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. مقاومت پوست بدن: این مقاومت به صورت عمومی در مردها ۳ کیلو اهم و در زن ها کمتر است.

۲. رطوبت پوست بدن: مقاومت پوست بدن با افزایش رطوب پوست، کاهش می یابد.

۳. مسیر عبور جریان برق از بدن: عبور جریان برق در صورتی که از بین دو دست و یا از بین یکی از دست ها و پای چپ بگذرد باشد، به علت قرار گرفتن قلب در مسیر جریان برق بیمار آسیب بیشتری خواهد دید.

۴. ولتاژ برق: ولتاژهای کمتر از ۳۲ ولت از لحاظ ایمنی بی خطر و بیش از ۵۰ ولت خطرناک است.

لذا شدت آسیب دیدگی بدن انسان در اثر برق گرفتگی به عواملی از قبیل: شدت و نوع جریان (متناوب و مستقیم بودن)، مقدار ولتاژ، به طوری که بیش از ۵۰ ولت خطرناک تلقی می گردد - سطح تماس بدن با زمین - مدت زمان تماس بستگی دارد.
چند توصیه برای ایمنی بیشتر:

۱. هرگز با دستان خیس سیم های 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 برق گرفتگی عضلات بدن منقبض و انگشتان دست مشت می شوند و به اتصال شدت می بخشد.

۲. در سیم کشی 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 داشته باشد. این گونه وسایل برقی در صورت داشتن اتصال داخلی و یا هر مشکل الکتریکی دیگر کاملاً ایمن هستند؛ چون برق بدنه فلزی آنها از طریق همان سیم ارت به زمین اتصال کوتاه می شود و اگر این اتصال کوتاه کامل باشد، فیوز عمل کرده و جریان برق را قطع می کند. برای داشتن یک ارت مناسب، وجود یک چاه ارت الزامی است.

جریان الکتریکی به طور کلی ممکن است به ۳ روش مختلف به انسان آسیب وارد کند:

۱. در اثر قوس الکتریکی و سوزاندن سطحی و عمقی پوست یا بافت های داخلی بدن

۲. در اثر عبور جریان الکتریکی و تأثیر روی قلب

۳. در اثر عبور جریان الکتریکی و اثر بر روی دستگاه عصبی

۳-۱۴. قوس الکتریکی

طبق آمار حوادث در گزارش‌ها، یکی از عوامل مهم در صنعت برق ایجاد خسارت‌های مالی و جانی است که در اثر پدیده‌ای به نام قوس الکتریکی به وجود می‌آید. قوس الکتریکی باعث می‌شود تا یک نوع سوختگی خاص و جدا از انواع دیگر سوختگی‌ها شبیه جراحی در اثر اشعه ماورای بنفش آفتاب سوختگی به وجود آید. در این رابطه ذرات فلز مذاب ناشی از قوس می‌تواند نفوذ کند، بسوزاند و حتی به داخل گوشت بدن فرو رود، که این اثرات علاوه بر خسارت حرارتی اشعه ناشی از قوس می‌تواند باعث حساسیت پوستی و به خصوص حساسیت چشم‌ها شود. (به‌عنوان مثال: در صورتی که در موقع جوش کاری با قوس الکتریکی از لوازم ایمنی مانند ماسک استفاده نشود معمولاً چشم‌ها قوس زده خواهند شد)

در پدیده قوس الکتریکی بدلیل پایین بودن مقاومت و کم شدن مسافت، علاوه بر پوست محل ورود جریان، پوست مجاور و مفصل عضو درگیر نیز دچار صدمه و سوختگی خواهد شد. سوختگی یکی از عوارض ناشی از برق‌گرفتگی است که معمولاً در بیش از ۸۰٪ از حوادث برق‌گرفتگی فشار قوی مشاهده می‌شود.

این سوختگی‌ها که به‌عنوان الکتروترمیک نام برده می‌شود به‌صورت عمقی بوده و در تمام مسیر عبور جریان به‌ویژه در توده ماهیچه مشاهده می‌گردد. این نوع سوختگی‌ها به دلیل آزاد شدن میوگلوبین موجب آسیب رسیدن به کلیه‌ها نیز می‌گردد.

۳-۱۵. آثار عبور جریان برق بر اعضای بدن

به‌طور کلی عبور جریان برق از بدن را برق‌گرفتگی یا شوک الکتریکی می‌گویند. برای به وجود آمدن شوک الکتریکی بایستی مقدار جریان برق و شرایط فرد مهیا باشد. اثرات برق‌گرفتگی از احساس شوک شروع تا حالت سنکوپ یعنی بیهوشی کامل شخص یا مرگ ادامه می‌یابد. لذا برای برق‌گرفتگی دو مرحله را می‌توان تعریف کرد:

- آستانه احساس
- آستانه انقباض

عبور جریان کم از بدن را آستانه احساس و گذشتن از حد معین با عکس‌العمل عضلانی آستانه انقباض گفته می‌شود. آستانه احساس برای قسمت‌های مختلف بدن متفاوت است. به‌عنوان مثال آستانه احساس برای زبان ۰/۴۵ میلی‌آمپر، برای پوست بدن در حدود ۱ میلی‌آمپر که مقدار آن در اعضای بدن متفاوت است، در شدت جریان حدود ۹ میلی‌آمپر دست‌ها به سختی تکان می‌خورند، اما ۹۹/۵ درصد افراد سالم توان رها کردن سیم برق دار را دارند.

عبور جریان الکتریکی از رشته‌های عصبی موجب به وجود آمدن حرکات غیرارادی در بدن فرد می‌شود، به‌طوری‌که فرد در مدت برق‌گرفتگی نمی‌تواند هیچ اقدامی انجام دهد (فلج عصبی). به‌عنوان مثال هرگاه فردی یک هادی برق‌دار را با دست خود بگیرد، می‌تواند خیلی خطرناک‌تر باشد. زیرا که ماهیچه‌های بر روی ساعد که مسئولیت خم کردن انگشتان را به‌عهده دارند، از ماهیچه‌های مسئول صاف کردن انگشت‌ها قوی‌ترند. در این حالت هر دو نوع ماهیچه تلاش می‌کنند تا منقبض شوند، اما به دلیل قوی‌تر بودن ماهیچه‌های خم‌کننده، باز کردن آنها به‌وسیله ماهیچه‌های صاف‌کننده امکان ندارد و این امر باعث می‌شود که دست با تمام قوا مَشَّت شود.

اثرات عبور جریان الکتریکی در بدن تنها به ماهیچه‌های حرکتی بدن محدود نمی‌شود. قلب و شش‌ها دارای دیافراگم‌ها یا دریچه‌هایی هستند که عملکرد آن‌ها را کنترل می‌کند که با عبور جریان از بدن، سیگنال‌های الکتریکی مغز برای این ماهیچه‌ها خنثی شده و بدین ترتیب این ماهیچه‌ها دچار عارضه "fibrillation" یا انقباض بی‌نظم عضلانی می‌شوند (جریان AC بیش از ۳۰ میلی‌آمپر می‌تواند باعث فیبریلاسیون بطنی قلب شود). در این حالت قلب با سرعت بیشتر و فشار کمتر می‌تپد به‌طوری‌که نمی‌تواند عمل رساندن خون به قسمت‌های حساس بدن را انجام دهد و در نتیجه بعد از لحظاتی از کار می‌افتد.

۳-۱۶. خطرات و عوارض برق‌گرفتگی

برق‌گرفتگی معمولاً از دو طریق صورت می‌گیرد:

۱. تماس مستقیم
۲. تماس غیر مستقیم

الف) تماس مستقیم

هنگامی که سیستم یا دستگاهی کاملاً سالم است و کاربر سهواً یا بر اثر بی‌توجهی با سیم برق‌دار در یک نقطه تماس برقرار کند. به چنین برق‌گرفتگی تماس مستقیم گفته می‌شود.

ب) تماس غیرمستقیم

این نوع تماس در اثر خراب شدن عایق‌بندی یا هر علت دیگر است که یک سیم برقرار به سطوح فلزی بدنه دستگاه، بدنه موتور، تابلوی برق و غیره متصل می‌شود و چنانچه در همان زمان یک کاربر با همان سطح فلزی تماس برقرار کند منجر به برق‌گرفتگی او می‌شود. چنین تماسی به‌عنوان تماس غیرمستقیم نامیده می‌شود. برق‌گرفتگی‌ها ممکن است در شکل‌های زیر اتفاق بیفتد:

۱. تماس بدن با هر دو سیم فاز و نول.
۲. تماس یک فاز و یک نقطه از دستگاه با بدن.
۳. تماس بدن با دستگاهی که جریان فاز به آن متصل است.

۳-۱۶-۱. عوارض اولیه برق‌گرفتگی

عوارض اولیه ناشی از شوک الکتریکی، علائمی است که مصدوم به ترتیب زیر از خود بروز می‌دهد:

- سوختگی
- ضربان نامنظم قلب
- تشنج
- سوزن سوزن شدن
- کاهش سطح هوشیاری
- سردرد
- ایست قلبی
- ایست تنفسی
- کما



۳-۱۶-۲. عوارض بلندمدت برق گرفتگی

پس از درمان عوارض اولیه، شخص ممکن است در دراز مدت دچار عوارض شود. این عوارضی به سه دسته روانی، جسمی و عصبی تقسیم می‌شود.

۳-۱۷-۳. عوارض روانی در بلندمدت

عوارض بلندمدت ناشی از شوک الکتریکی که در دسته عوارض روانی قرار می‌گیرند شامل موارد زیر است:

- افسردگی
- اضطراب
- بی‌خوابی
- فراموشی یا از دست دادن حافظه

۳-۱۶-۴. عوارض جسمی در بلندمدت

عوارض جسمی بلندمدت ناشی از شوک الکتریکی شامل موارد زیر است:

- خستگی
- سردرد
- کاهش توانایی حرکتی
- تعریق شبانه
- سفتی مفاصل
- گرفتگی عضلات

۳-۱۶-۵. عوارض عصبی در بلندمدت

عوارض عصبی بلندمدت ناشی از شوک الکتریکی شامل موارد زیر است:

- کاهش تمرکز

- ناتوانی در حفظ تعادل
- درد سیاتیک
- فراموشی یا از دست دادن حافظه
- ناهماهنگی در حرکات
- درمان برق گرفتگی

بر اساس اینکه به چه عضوی آسیب وارد شده و شدت آسیب چقدر است، درمان برق گرفتگی تغییر می کند. توجه داشته باشید که تشخیص و درمان حتما باید با نظر پزشک انجام شود.

۳-۱۷. سوختگی

در اثر تبدیل انرژی الکتریکی به گرمایی به ویژه در بافت های با مقاومت بالا ممکن است سوختگی های عمیق و وسیع ایجاد شود که گاهی به عنوان خطرناکترین عوارض برق گرفتگی شناخته می شود. سوختگی ناشی از برق گرفتگی، به میزان و فشار الکتریکی بستگی دارد. سوختگی در اثر برق با سایر سوختگی ها متفاوت است. بدین ترتیب که گاهی سوختگی به قدری عمیق است که از عضلات گذشته و به استخوان و مفاصل می رسد و در بعضی موارد دیگر هم سوختگی در اثر جرقه و حرارت ناشی از برق است و گاهی سوختگی بدون تماس پوست با منبع برق به وجود می آید که سطح وسیع تری را دربرمی گیرد.

طبق بررسی های آماری در اکثر جوامع، حدود ۱ تا ۵ درصد از موارد بستری سوختگی را سوختگی الکتریکی تشکیل می دهد. در این نوع سوختگی بر خلاف سایر سوختگی ها، نواحی آشکار آسیب دیده تنها درصد کمی از نواحی واقعی آسیب دیده را نشان می دهد و بیشتر نواحی نکرور در زیر پوست سالم قرار دارند. جریان الکتریکی از طریق قسمتی از بدن مانند انگشتان یا دست وارد بدن شده و از طریق بافت های دارای حداقل مقاومت نسبت به جریان شامل اعصاب، عروق خونی و عضله عبور می کند.

پوست، مقاومت نسبتاً زیادی در برابر جریان دارد به همین دلیل به مقدار زیاد در برابر آسیب مصون می ماند و در نهایت جریان الکتریکی از طریق قسمتی از بدن که با زمین در ارتباط است، خارج می شود. گرمای تولید شده به وسیله انتقال جریال الکتریکی و عبور جریان،

به بافت‌ها آسیب می‌رساند. عضلات، بیشترین مسیر عبور جریان هستند و بنابراین بیشترین آسیب را می‌بینند.

عروق خونی، بخش زیادی از جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند، اما در مراحل اولیه آسیب، مجرای آنها باز باقی می‌ماند و وظیفه انتقال خون را انجام می‌دهند و یا در ادامه روند، ممکن است به دلیل مرگ سلول‌های اندوتلیال دچار ترومبوز پیش‌رونده شده یا بهبودی یابند. در صورت بروز ترومبوز، وسعت ایسکمی و میزان بافت نکروز شده افزایش می‌یابد. آسیب‌های الکتریکی به دو گروه ولتاژ بالا و ولتاژ پایین تقسیم می‌شوند.

- ولتاژ بالا: بیشتر از ۱۰۰۰ ولت

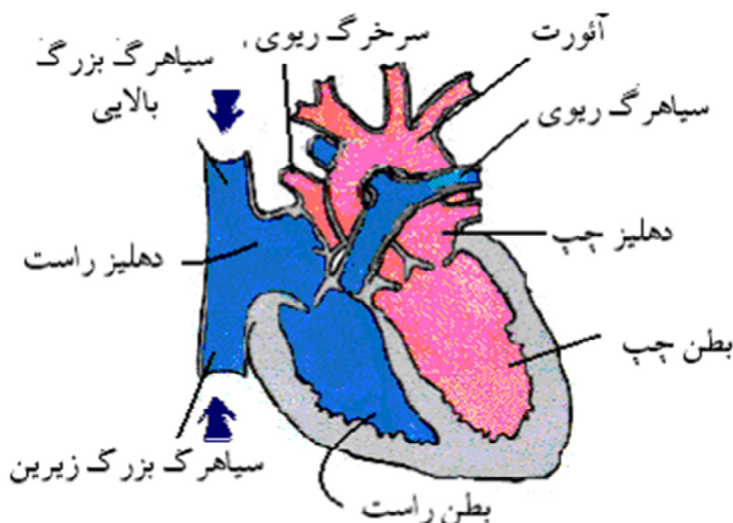
- ولتاژ پایین: ولتاژ کمتر از ۱۰۰۰ ولت

آسیب ولتاژ بالا شامل درجاتی از آسیب‌های پوستی در محل ورود و خروج همراه با تخریب مخفی نسوج عمقی می‌باشد.

آسیب ولتاژ پایین شبیه سوختگی‌های حرارتی است و نسوج عمقی آسیب چندانی نمی‌بینند. بیشتر برق‌های خانگی (۱۱۰ تا ۲۲۰ ولت) چنین آسیبی ایجاد می‌کنند که معمولاً به صورت آسیب موضعی می‌باشد.

۳-۱۸. فیبر یلاسیون بطنی

کار اصلی قلب که از دو دهلیز و دو بطن تشکیل یافته است به گردش در آوردن خون در مدار بسته رگ‌ها مطابق شکل ۳-۵ می‌باشد. دهلیز چپ به بطن چپ و دهلیز راست به بطن راست راه دارد. خون سیاهرگ‌ها به دهلیز راست و از آنجا به بطن راست می‌ریزد و سپس از راه سرخرگ شش به دهلیز چپ و از این راه به بطن چپ می‌ریزد. بطن چپ خون غنی شده را از راه سرخرگ‌ها به تمام بدن می‌رساند.



شکل ۳-۵. مسیر عبور جریان خون از اجزای مختلف قلب

تپش قلب به عنوان محرکه گردش خون در بدن انسان است. هر دوره تپش از سه مرحله انقباض دهلیزها، انقباض بطنها و مرحله استراحت تشکیل می شود. معمولاً چهار حفره قلب تا ۷۰ بار در دقیقه می تپند. در هر تپش از هر بطن ۷۰ سانتی متر مکعب (۷۰ میلی لیتر) خون پمپ می شود (هر دو دهلیز همزمان منقبض می شوند).

زمانی کوتاه پس از آن بطنها منقبض می شوند. به انقباض اصطلاحاً سیستول و به انقباض دیاستول گفته می شود. تقریباً طول زمان دیاستول، خون آزادانه از دهلیزها به بطنها می ریزد تا اینکه ۷۰ درصد حجم بطنها از خون پر شود آن وقت دهلیزها منقبض می شوند و ۳۰ درصد بقیه خون را با فشار داخل بطنها می کنند.

قلب برای تحریک خود دارای مرکز تحریک یا تپش ساز است. در قلب سالم گره سینوسی دهلیزی یا تپش ساز پیش آهنگ هر ۰/۷۵ ثانیه یک موج تحریک الکتریکی به سوی ماهیچه های قلب می فرستد. در صورت ایجاد اختلال در این مرکز، مراکز دیگر به طور اضطراری نقش تپش سازی را به عهده می گیرند.

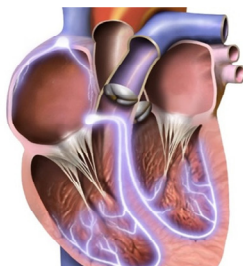
به هنگام تپش قلب، در بدن انسان پتانسیل الکتریکی تولید می شود. حداکثر مقدار این پتانسیل بین دست و پا تقریباً ۱ mv است. با قراردادن دو الکترود مثلاً بر روی پوست دست

چپ و پای چپ و اتصال آن از طریق یک تقویت کننده به اسیلوسکوپ، منحنی ای دیده می شود که «الکتروکاردیوگرام» نامیده می شود.

۳-۱۸-۱. زمان آسیب پذیری قلب

ضربان قلب با حساسیت بدن در برابر جریان برق رابطه مستقیم دارد. بدین ترتیب که هرچه ضربان قلب بیشتر باشد، خطر برق گرفتگی بیشتر است.

در زمان برق گرفتگی، ابتدا ضربان های غیرعادی و ناهماهنگ در قلب شخص مطابق شکل ۳-۶ پدید می آید و سپس ریتم های مضاعف یا ۴ برابر تولید می شود و گاهی اوقات این ضربان ها تا ۸ برابر ضربان های طبیعی نیز می رسد. پس از آن قلب به رعشه یا لرزش بطن می افتد که هرگاه لرزش بطن به وجود آید خطرات برق گرفتگی بسیار زیاد بوده و ممکن است منجر به از کار افتادن قلب، تنفس، نفروز و مرگ گردد. نفروز ناراحتی کلیوی است که سبب ازدیاد اوره در خون شده و موجب عوارض زیادی می گردد.



شکل ۳-۶. ناهماهنگی در ضربان قلب شخص دچار برق گرفتگی

زمان آسیب پذیری قلب در قسمت اول موج T الکتروکاردیوگرام است و ۱۰ تا ۲۰ درصد دوره قلب را تشکیل می دهد. اگر در طی زمان آسیب پذیری قلب، جریان الکتریکی با مقدار کم از قلب عبور کند تنها آن قسمت از تارهای ماهیچه ای که به حالت انقباض در آمده بودند تحریک شده و به حالت انقباض در می آیند، در نتیجه بطن ها ناهماهنگ منقبض می شوند و قلب منظم و طبیعی نمی تپد و گردش خون از حرکت باز می ایستد.

۳-۱۸-۲. آستانه رعشه بطنی

رعشه حالتی است که در اثر عبور موج الکتریکی تحریک، در قلب ایجاد می‌شود. آستانه رعشه بطنی کمترین مقدار جریانی است که رعشه بطنی را ایجاد می‌کند. عوامل مؤثر بر آستانه رعشه بطنی عبارتند از:

الف) عوامل فیزیولوژیکی: مانند آناتومی بدن

ب) عوامل الکتریکی: مانند مدت زمان عبور جریان، شدت عبور جریان، مسیر عبور جریان، مسیر عبور جریان برق در بدن، نوع جریان و غیره.

اگر عبور جریان متناوب با فرکانس ۵۰ Hz پس از پایان دوره قلب ادامه یابد، آستانه رعشه، کاهش زیادی می‌یابد. این کاهش بدین علت است که سیستول فوق‌العاده‌ای که عبور جریان ایجاد می‌کند باعث افزایش تحریک‌پذیری ناهمگن تارهای ماهیچه‌های قلب می‌شود. رعشه بطنی علت اصلی مرگ در برق‌گرفتگی‌ها است ولی شواهدی برای مرگ در اثر کمبود اکسیژن و فراوانی دی‌اکسید کربن در خون و سکت قلبی هم وجود دارد.

۳-۱۸-۳. آستانه انقباض عضلات و حمله قلبی (فیبریلاسیون بطنی) در عبور

جریان متناوب در بدن

علت اصلی مرگ در اثر برق‌گرفتگی (عبور جریان متناوب در بدن) فیبریلاسیون بطنی به حساب می‌آیند. شدت جریان آستانه فیبریلاسیون بطنی به چند عامل بستگی دارد:

۱. کالبد انسان

۲. سلامت و وضعیت کار قلب

۳. مسیر عبور جریان متناوب در بدن

۴. نوع جریان متناوب و فرکانس و تموج آن

به طور مثال، برای شکل موج‌های کمتر از ۰/۱ ثانیه، انقباض عضلات برای مقدار جریان بیشتر از ۵۰۰ میلی‌آمپر رخ می‌دهد و برعکس اگر مدت زمان عبور جریان از بدن انسان بیشتر باشد با چند میلی‌آمپر، همان آسیب به بدن انسان می‌رسد. از این رو اگر مدت زمان عبور جریان و دامنه آن زیاد باشد امکان ایست قلبی وجود دارد.

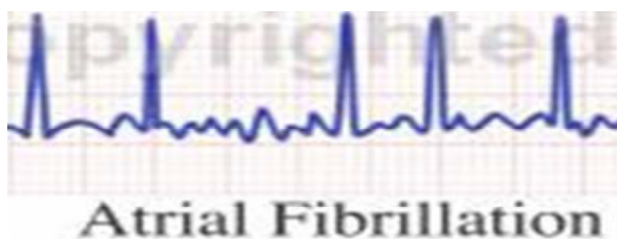
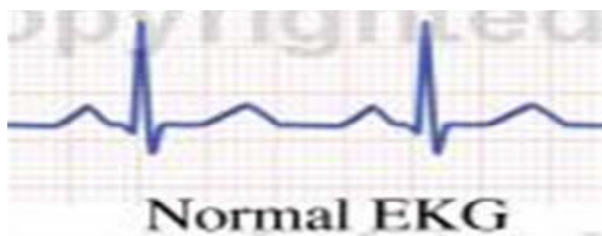
تجربه بسیاری از کشورهایی که در تهیه گزارش مربوط به برق گرفتگی IEC شرکت داشته‌اند نشان می‌دهد که در شرایط عادی (غیر از تأسیسات استخر و معدن) ولتاژ ۵۰ ولت صدمه‌ای به انسان نمی‌زند.

۳-۱۹. اختلالات قلبی عروقی

با مراجعه به تحقیقات کلینیکی بر روی کسانی که شوک الکتریکی دیده‌اند مشاهده شد که تخلیه بارهای الکتریکی بر بدن افراد منجر به ایجاد اختلالات عروقی خاص می‌شود که در بعضی مواقع کم اهمیت و موقتی و در بعضی اوقات شدید و طولانی مدت و در بعضی موارد حاد و منجر به مرگ شده است. به‌طوری‌که در مرحله اول باعث کاهش فشار خون می‌شود که این پدیده موقتی و فقط چند ثانیه طول می‌کشد. در مرحله دوم فشار خون بالا می‌رود که این عمل بلا فاصله پس از مرحله اول شروع می‌شود و به‌طور کلی کمتر از یک دقیقه پس از اتمام شارژ الکتریکی به طول می‌انجامد. در مرحله سوم فشار خون به مدت زیادی پایین می‌آید. ضمناً فشار وریدی بالا رفته و پس از پایان برق گرفتگی به سرعت به حال عادی بر می‌گردد. در معاینات بالینی در مدتی بیش از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه بعد از وقوع حادثه نتایج زیر بدست آمده است:

- اختلال ریتم: ۳ مورد ریتم اضافی ضربان قلب، احساس پایین ریختن دل و فیبریلاسیون دهلیزی قلب ثبت شده است.
- اختلال هدایت عصبی: ۹ مورد قطع جریان خون بوده است.
- اختلال قلب: ۱۵ مورد تاکی کاردی (ازدیاد ضربان قلب) طپش قلب و درد جلوی سینه دیده شده است.
- اختلال در گردش خون: ۴ مورد ایسکمی (کم‌خونی)، ۴ مورد انفاکتوس میوکارد و ۲ مورد کم‌خونی توام با ضایعه LESION - ISCEMIC دیده شده است. بعضی اختلالات قلبی عروقی پس از برق گرفتگی به وجود می‌آید مانند پاره شدن دریچه های قلب مانند دریچه میترال انبساط حاد قلب، لخته شدن خون در عروق، باید توجه داشت که حالات ذکر شده در فوق و اختلالات قلبی بلافاصله پس از شوک الکتریکی ایجاد نشده است بلکه پس از مدت کم و بیش طولانی (پس از چند هفته تا چند ماه حتی

چند سال بعد از بروز حادثه) به وجود می آید. شوک الکتریکی ممکن است ضایعاتی را که قبلاً در بدن وجود داشته را تشدید کند. به عنوان مثال شخصی که مبتلا به ضایعه درپچه میترا بوده این امر باعث فیبریلاسیون دهلیزی می شود. فیبریلاسیون قلب در جریان ۷۵ تا ۱۰۰ میلی آمپر و در فرکانس ۶۰ هرتز به وجود می آید. بدین ترتیب که در فیبریلاسیون قلبی مطابق شکل ۳-۷ یک اختلال در ریتم ضربان قلب پدیدار می شود و در این حالت قلب نمی تواند بدرستی خون را به اعضای بدن برساند. این اختلال گاهی باعث می شود تا تعداد ضربان قلب به هشت برابر تعداد ضربان های طبیعی برسد که با ایجاد رعشه یا لرزش بطنی منجر به از کار افتادن قلب، تنفس و نفروز (ناراحتی کلیوی) و مرگ می گردد.



شکل ۳-۷. شرایط نرمال و فیبریلاسیون قلبی

۳-۲۰. اختلالات سیستم عصبی

جریان برق روی سیستم اعصاب شخص برق گرفته، تأثیر گذاشته و حرکات غیرعادی در بدن شخص مثل لرزش و سپس پرتاب غیر عادی دیده می شود که معمولاً چنانچه اگر برق گرفتگی در ارتفاعات به وجود آید مثلاً روی تیرهای برق یا پشت بامها، باعث سقوط شخص برق گرفته و شکستگی اعضا یا ضربه مغزی وی می شود.

۳-۲۱. انقباض عضلانی

عبور جریان برق از بدن باعث انقباض عضلات مختلف بدن از جمله ماهیچه‌های دست و پا، ریه و قلب می‌شود. بعضی از تعمیرکاران برق نا آگاهانه از این خاصیت استفاده کرده و با پشت دست وجود برق در یک سیم را آزمایش می‌کنند که انجام این کار خطرناک بوده و در صورت مناسب بودن شرایط محیط مانند مرطوب بودن زیر پای کارگران باعث ایجاد حوادث جبران‌ناپذیر می‌گردد.

۳-۲۲. تجزیه خون

با توجه به اینکه حجم زیادی از بدن انسان را خون تشکیل می‌دهد، موقع عبور جریان برق از بدن، خون با داشتن املاح و مواد معدنی و مواد آلی مختلف، همانند یک نوع الکترولیت عمل کرده و یونیزه می‌شود که این عمل باعث بی‌نظمی در ضربان قلب و در نتیجه ایجاد اختلال در سیستم تنفسی می‌شود و چنانچه جریان برق زیاد بوده و به مدت طولانی ادامه یابد باعث مرگ فرد برق‌گرفته می‌شود.

۳-۲۳. اختلالات و ضایعات عصبی

اختلالات عصبی ممکن است بلافاصله پس از برق‌گرفتگی یا مدتی پس از آن بروز کند. همچنین ممکن است به‌طور کامل معالجه‌پذیر و عواقب بعدی نداشته باشد یا ممکن است اختلالات به‌طور دائم باقی بماند. یکی از اختلالات عصبی که به‌طور حاد پیش می‌آید از دست دادن شناسایی است که مدت عارضه آن بنا به وضع حادثه متفاوت است و به دنبال آن اختلال مشاعر، هذیان‌گویی، سر درد عصبی، از دست دادن حافظه، گزگز کردن بدن و انقباض غیرارادی و شدید عضلات به وجود می‌آید.

۳-۲۴. استخوان

میزان مقاومت بافت‌های بدن در برابر جریان الکتریکی بسیار متفاوت است. بدین ترتیب که مقاومت استخوان در برابر جریان الکتریکی بیش از سایر بافت‌ها است. به همین دلیل ضایعات



الکتریکی در آنها نیز بیش از سایر بافت‌ها می‌باشد. البته چنین مشکلاتی بیشتر در جریان‌های الکتریکی با ولتاژ بالا قابل انتظار است. درحالی‌که در ولتاژهای پایین نظیر برق شبکه شهری بدلیل مقاومت بالای استخوان‌ها، اثر جریان الکتریکی تقریباً کم بوده و حرارت تولید شده برای تخریب بافت‌های استخوان چندان شدید نیست ولی این میزان جریان می‌تواند به بافت‌های حساس نظیر عضلات و عروق آسیب جدی وارد کند تا جایی که در بافت‌های عمقی، خصوصاً عروق و عضلات به دلیل تولید گرمای بیش از حد، نکرورز به وجود آید، این پدیده معمولاً در اندام به دلیل قطر کم نسبت به تنه در اثر افزایش مقاومت و تولید گرمای زیاد اتفاق می‌افتد.

۳-۲۵. پوست

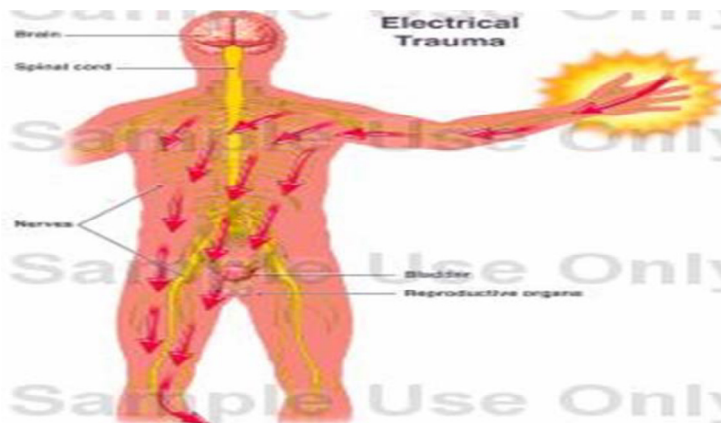
در ناحیه ورود جریان الکتریکی به پوست ممکن است علائم درجات متفاوتی از سوختگی (درجه ۱ تا ۳) ظاهر شود و ناحیه خروج جریان نیز همراه با ضایعه و سوختگی باشد؛ لذا در زمان بروز چنین حوادثی تمامی بدن بیمار بایستی مورد بررسی و معاینه قرار گیرد.

۳-۲۶. تأثیر بر روی سلسله اعصاب و تنفس

جریان متناوب با ولتاژ کم اختلال مهمی در اعصاب تولید نمی‌کند. حتی اگر شدت جریان باعث ضایعات قلب شود. اما جریان با ولتاژ زیاد مرکز تنفس واقع در پیاز نخاع را مطابق شکل ۳-۸ از بین می‌برد، بدون آنکه قلب متوقف شود و مرگ در اثر تورم ریوی روی دهد. جریان مستقیم به اندازه جریان متناوب ایجاد تشنج می‌نماید و اگر جریان مستقیم بیش از ۲/۵ آمپر از بدن عبور کند روی سلسله اعصاب اثر گذاشته و امکان شوک و فلج زیادی وجود دارد.

اعصاب محیطی در اثر جریان الکتریکی قابلیت تحریک و هدایت اصلی خود را از دست می‌دهند. بدین ترتیب که اگر سیستم عضلانی تحت تأثیر جریان الکتریکی قرار گیرد، در این حالت درگیر انقباضات متوالی شده و با قطع جریان این انقباض از بین می‌رود. البته حالت آستانه انقباض در هر عضله در این شرایط متفاوت است. بدین ترتیب که اگر ولتاژ زیاد باشد، قدرت انقباض و انبساط عضلانی نیز از بین می‌رود. عبور جریان برق بر روی عضله، در بعضی

اوقات ممکن است موجب استفراغهای متوالی در فرد برق گرفته شده و منجر به خفگی احتمالی آن شخص گردد.



شکل ۳-۸. اثرات جریان برق بر اجزای نخاعی

مهم‌ترین عارضه ریوی حاصل از جریان الکتریکی، ایست تنفسی به‌دنبال انقباض شدید تتانیک عضلات تنفسی می‌باشد. در این رابطه ممکن است عوارض زیر نیز رخ دهد:

۱. آتلتک تازی (Atelectasis): جمع شدن یا روی هم خوابیدن یک قسمت یا تمام ریه است که موجب عدم جذب اکسیژن از ریه به مقدار کافی می‌شود.
۲. پنومونی (Pneumonie): یک نوع التهاب ریه است که کیسه‌های میکروسکوپی هوا موسوم به آلوئول‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
۳. هموپنوموتوراکس (Hemopenomotorax): وارد شدن هر گونه آسیب فیزیکی به قفسه سینه، شامل دنده‌ها، قلب و شش‌ها است. به‌طور معمول آسیب‌های قفسه سینه به‌وسیله مکانیزم‌های غیرنافذ مانند تصادف رانندگی، اصابت چاقو، برق گرفتگی و غیره به وجود می‌آید.

۳-۲۷. سیستم گوارشی

اثرات برق گرفتگی سیستم گوارشی در اثر عبور جریان برق از سینه و شکم می‌تواند موجب موارد زیر گردد:

۱. خونریزی‌های گوارشی

۲. ضایعات کبدی

۳. پارگی روده‌ها

۴. زخم معده (Stress Ulcer)

۵. اثنی عشر (Curling Ulcer)

۳-۲۸. سیستم عضلانی - اسکلتی

اثرات برق‌گرفتگی سیستم عضلانی - اسکلتی در اثر انقباض شدید عضلات ممکن است منجر به موارد زیر گردد:

۱. در رفتگی و شکستگی استخوان‌ها

۲. نکروز بافت استخوانی

۳. نکروز عضلانی و استئومیلیت

۳-۲۹. سیستم کلیوی

ضایعات کلیوی مثل سندرم له‌شدگی (Crash injury) در اثر برق‌گرفتگی سیستم کلیوی، عارضه‌ای شایع است.

۳-۳۰. اختلالات حسی (شنوایی و بینایی)

اختلالات بینایی که بیشتر و بلافاصله اتفاق می‌افتد عبارت است از التهاب در محفظه قدامی و ته چشم، ورم ملتحمه ورم شبکیه، ورم عنبیه که تماماً در اثر نور شدید و حرارت قوس الکتریکی است. ورم ملتحمه در نزد کارگرانی که روی شبکه‌های توزیع نیرو کار می‌کنند دیده شده است. ضایعه ته چشم عبارت است از متورم شدن ته چشم شخص که عارضه آن به زودی مرتفع می‌شود. عبور مستقیم جریان از چشم باعث به وجود آمدن آب مروارید، ناراحتی اعصاب چشم و تورم عصب پای چشم می‌شود و یا عوارضی مانند کم شدن قدرت بینایی و تورم عصب چشم را به وجود می‌آورد.

اختلالات شنوایی عبارت است از کم شدن شنوایی که ممکن است منجر به ناشنوایی کلی و شکستن استخوان‌ها شود. در مورد افراد برق گرفته ممکن است اختلالات عصبی و اختلالات بینایی و شنوایی توأمأً به وجود آید.

به‌طور کلی یک مصدوم که دچار برق‌گرفتگی شده است ممکن است یک یا همه علائم زیر را داشته باشد:

۱. سوختگی محل ورود و خروج جریان برق از بدن
۲. قطع راه‌های عصبی به صورت فلج اندام
۳. درد شدید ماهیچه‌ها
۴. افزایش یا کاهش فشار خون همراه با علایم و شکایات ناشی از شوک
۵. اختلال در تنفس یا ایست تنفسی که ممکن است زبان ورم کند و راه هوا مسدود شود.
۶. بی‌نظمی در ضربات قلب یا ایست قلبی.
۷. بی‌قراری و تحریک‌پذیری، در صورتی که مصدوم هوشیار باشد.
۸. بیهوش شدن مصدوم
۹. اختلالات بینایی
۱۰. شکستگی استخوان‌ها نظیر ستون مهره‌ها و دررفتگی مفاصل به دلیل پرت شدن یا انقباضات شدید عضلات
۱۱. تشنج شدید

۳-۳۱. اقدامات امدادی در اثر برق‌گرفتگی

ورود جریان برق به بدن انسان باعث می‌شود تا در اثر انقباض‌های الکتریکی و سفت شدن عضلات تنفسی یا آسیب رسیدن به مراکز آن، ایست تنفسی به وجود آید و در مدتی کوتاه حرکت قلب متوقف شود. البته در صورتی که جریان برق مستقیماً از قلب عبور کند می‌تواند منجر به ایجاد فیبریلاسیون بطنی گردد که در این حالت ابتدا موجب ایست قلبی می‌شود که اگر در مدت ۴ تا ۶ دقیقه عملیات احیاء قلب شروع نشود باعث مرگ قطعی خواهد شد. در زمان برق‌گرفتگی که باعث عدم حرکت قلب و در نتیجه فیبریلاسیون بطنی می‌گردد، لازم



است هرچه سریع‌تر از توقف یا کاهش فعالیت قلب که باعث توقف جریان خون در بدن نیز خواهد شد جلوگیری شود زیرا چنانچه سریعاً این توقف برطرف نگردد، مرگ در اثر فقدان اکسیژن در اعصاب مرکزی، قطعی خواهد بود. حداکثر زمان مورد نیاز برای شروع فعالیت مجدد مغز در حدود ۳ تا ۵ دقیقه پس از توقف عمل تنفس است. به همین دلیل در هنگام توقف تنفس بایستی از طریق تنفس مصنوعی، تنفس فرد آسیب دیده را احیا کرد. ساده‌ترین روش‌ها برای ایجاد تنفس مصنوعی، تنفس دهان به دهان یا تنفس دهان به بینی است.

۳-۳۲. ایمنی الکتریکی در فضاهای بیمارستان

یکی از اهداف مهم در بیمارستان‌ها حفظ ایمنی و حفاظت الکتریکی از بیماران و پرسنل می‌باشد. زیرا بیماری که تحت یک پروسه درمانی در بیمارستان قرار گرفته است مقاومت بدنش شدیداً کاهش یافته و حتی ممکن است باعث بیهوشی او شود تا جائیکه قادر نباشد به طور طبیعی نسبت به شوک جریان الکتریکی عکس العمل نشان دهد. از طرفی محلول‌های رسانای الکتریکی، نظیر محلول نمک در اطراف بیمار قرار دارد که ممکن است بدلائل مختلف بر روی تجهیزات الکتریکی ریخته شده و برای بیمار خطرساز شود.

از این رو چنانچه یک دستگاه سیم زمین (ارتینگ) داشته باشد با تماس بیمار به آن، یک جریان ناخواسته از طریق مقاومت کمتر از یک اهم سیم زمین مهار خواهد شد، اما اگر دستگاه فاقد ارتینگ باشد، جریان از بدن بیمار عبور کرده و باعث آسیب او می‌گردد. به عنوان مثال اگر بیمار دارای کاتتر فشار خون یا برای گرفتن ECG به یک دستگاه متصل و روی یک تخت فلزی خوابیده باشد، نشت جریان الکتریکی به بدن او منجر به فیبریلاسیون قلبی خواهد شد.

برای سوختگی‌های سطحی از درمان‌های موضعی مثل پماد یا پانسمان‌های آنتی‌بیوتیک استفاده می‌شود. اگر میزان سوختگی بیشتر بود ممکن است پزشک از عمل جراحی برای تمیز کردن زخم و سوختگی استفاده کند. در برخی موارد پیوند پوست به عنوان روش درمان انتخاب می‌شود.

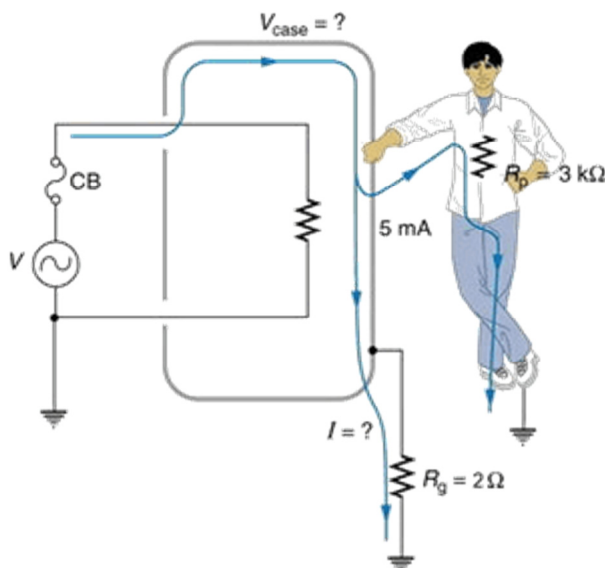
چنانچه سوختگی شوک الکتریکی شدید باشد، نیاز به عمل جراحی جدی است. مثلاً در مورد دست، پا یا بازوها، با عمل جراحی ماهیچه‌های آسیب‌دیده را جدا می‌کنند. متأسفانه موارد حاد سوختگی منجر به قطع عضو می‌شود.

فصل چهارم: سیستم ارتینگ

تقریباً در حدود ۲۰۰ سال پیش مفهومی به نام سیستم ارتینگ در شبکه برق‌رسانی وجود نداشت و هیچ نقطه‌ای از تجهیزات الکتریکی به ارت متصل نمی‌شد. به همین دلیل مشکلات و برق‌گرفتگی افراد در منازل، اماکن عمومی، مراکز صنعتی و بهداشتی بسیار زیاد بود. تا اینکه برای اولین بار در سال ۱۹۲۴ میلادی استفاده از «سیستم ارت» به وسیله مهندسان برق در انگلستان اجباری شد و از سال ۱۹۳۵ استانداردهای جامع برای حفاظت اشخاص و تجهیزات تدوین و از آن سال به بعد سیستم ارتینگ به صورت همگانی اجرای جهانی یافت.

۴-۱. ارت یا زمین الکتریکی

ارت یا زمین الکتریکی شامل یک اتصال مصنوعی برق به زمین است که دارای مقاومت بسیار کمی برای عبور جریان می‌باشد. لذا کلمه «زمین» در فعالیت‌های برقی به زمین با پتانسیل صفر اطلاق می‌شود. بنابراین ارتینگ یا زمین کردن یک سیستم الکتریکی، فرآیندی است که با اتصال همه قطعات فلزی یا بدنه فلزی دستگاه‌های الکتریکی (به غیر از هادی‌های اصلی مدار برق) به زمین از عبور هر نوع جریان نشتی الکتریکی بدنه دستگاه به بدن کاربر مطابق شکل ۴-۱ جلوگیری کرده و از این طریق حفاظت دستگاه و ایمنی کاربران تضمین می‌کند.



شکل ۴-۱. نشت الکتریکی به بدن کاربر

امروزه بر اساس قوانین و مقررات مختلفی که وجود دارد یکی از بهترین روش‌ها در تأمین ایمنی و حفاظت دستگاه‌ها در واحدهای صنعتی، خدماتی، بیمارستانی، شبکه برق‌رسانی و واحد مسکونی استفاده از اتصال زمین است که با روش‌های مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در میان این روش‌ها، استفاده از چاه ارت با قراردادن الکترودهای متناسب در خاک عمق زمین گسترده‌تر است. در این میان مقاومت خاک در انتخاب نوع زمین کردن بسیار تأثیرگذار است. از عوامل مؤثر در مقاومت خاک می‌توان به مواردی نظیر نوع خاک، آب و هوا، شرایط فصلی منطقه و غیره اشاره کرد.

۴-۲. عملکرد ارتینگ

وظیفه اصلی سیستم ارتینگ بدین گونه است که هر گاه جریان الکتریکی ناخواسته وارد این سیستم شد، آن را به طور کامل به زمین منتقل کند یا چنانچه اگر هریک از سیم‌های فاز و یا سیم نول به هر طریقی به بدنه دستگاه اتصال پیدا کرد و مدار الکتریکی مورد نظر دچار نشتی

جریان شد، این ناشتی جریان به وسیله سیم ارت به زمین انتقال یافته و کاربران را از برق گرفتگی ایمن نگه دارد.

یادآوری: سیم ارت و سیم نول به ظاهر از نظر اینکه بی برق هستند بسیار به یکدیگر شبیه هستند. اما در عمل این دو سیم مستقل از هم و دارای عملکردی متفاوت از یکدیگر هستند و هیچ گاه نمی توان از یکی به جای دیگری استفاده کرد.

۴-۳. کاربرد سیستم ارتینگ

به طور خلاصه اهداف به کارگیری سیستم ارتینگ عبارتند از:

- در شبکه برق بیمارستان برای حفاظت از دستگاه های الکتریکی و الکترونیکی
- فراهم آوردن شرایط ایده آل و درست عمل کردن دستگاه های برقگیر
- جلوگیری از ولتاژ تماسی
- جلوگیری از ولتاژهای ناخواسته و صاعقه
- فراهم شدن سرعت کافی جهت کشف اتصالات و اشکالات توسط رله ها و برطرف شدن فوری عیب سیستم
- ممانعت از افزایش ولتاژ سیستم در اثر بروز اتصالی و افت ولتاژ بر اثر عدم تعادل بار
- تأمین ایمنی و محافظت از جان بیماران و کاربران اعم از پرستاران، پزشکان، دانشجویان، اپراتورها، تعمیرکاران و غیره در مقابل برق گرفتگی
- جلوگیری از خراب شدن وسایل الکتریکی
- حذف کردن ولتاژهای اضافی و جلوگیری از افزایش ناگهانی آنها
- حذف نویز و عملکرد بهتر تجهیزات

در همین راستا در شبکه های انتقال و توزیع برق به سیستم های ارتینگ بسیار حساس و دقیق نیاز است. زیرا اگر جریانی از طریق هر یک از سیم های فاز یا سیم نول به بدنه دستگاه وصل شود، ناشتی جریان می تواند به وسیله یک رشته سیم که به سیم متصل به زمین وصل است به زمین منتقل شده و از برق گرفتگی کاربر یا بروز اتصالی در دستگاه جلوگیری کند. هرچند که طبق گزارشات موجود، در بعضی از موارد بدنه دستگاه های خانگی را به لوله های

آهنی آب، گاز یا اسکلت ساختمان وصل می کنند که عملی بسیار خطرناک و می تواند منجر به برق گرفتگی های کشنده شود.

در شبکه برق رسانی سیم ارت و سیم نول از لحاظ بی برقی ظاهراً عملکردی مشابه دارند اما در عمل این دو سیم کاملاً مستقل و دارای عملکرد متفاوت می باشند. لذا از این دو سیستم هیچ گاه نمی توان از یکی به جای دیگری استفاده کرد. این دو رشته سیم در هیچ نقطه نباید به یکدیگر متصل شوند.

۴-۴. مقاومت ویژه خاک

یکی از اساسی ترین پارامترها در طراحی سیستم زمین، مقاومت ویژه خاک است و طبق تعریف مقاومت یک متر مکعب از خاک به ابعاد $1 \times 1 \times 1$ متر می باشد که بین دو الکتروند اندازه گیری می شود و واحد آن اهم-متر ($\Omega.m$) است.

ضریب هدایت الکتریکی مواد تشکیل دهنده سطح زمین در مقایسه با ضریب هدایت الکتریکی به عهده نمک ها و رطوبت بین آنها است. به همین دلیل اطلاعات کافی از مقاومت ویژه خاک و چگونگی تغییرات آن در اثر رطوبت، دما و عمق خاک، کمک شایانی در طراحی و به دست آوردن مقاومت مناسب و نگهداری آن در طول عمر آن خواهد داشت. در این رابطه عوامل مختلفی از قبیل: دما، رطوبت خاک، ترکیبات شیمیایی، نمک های محلول در خاک، اندازه و نزدیکی آنها به یکدیگر می تواند در تغییرات مقاومت ویژه خاک نقش داشته باشد. بدین ترتیب که تغییرات مقاومت ویژه خاک با رطوبت بالای ۲۰ درصد بسیار کم ولی برای رطوبت پایین تر از ۲۰ درصد بسیار شدید است. در مورد اثر دما بر روی مقاومت ویژه خاک، در دمای پایین تر از صفر درجه رطوبت موجود در خاک، یخ می زند و موجب افزایش شدید ضریب حرارتی مقاومت ویژه خاک می شود. زیرا این ضریب منفی است و با کاهش دمای خاک مقاومت ویژه آن بالا می رود و موجب افزایش مقاومت الکتروند و اتصال زمین می شود. به همین علت در پایان نصب سیستم زمین، سطح زمین را باید با خرده سنگ به ضخامت ۱۰ سانتی متر پوشاند تا از سرعت تبخیر رطوبت در مواقع گرمی هوا بکاهد. ترکیب هایی نظیر نمک ها، اسیدها و بازهای موجود در خاک مطابق جدول ۴-۱ بر روی مقاومت ویژه آن مؤثر است.

جدول ۴-۱. مقاومت ویژه بعضی از انواع زمین

ردیف	مقاومت مخصوص انواع زمین‌ها	مقدار مقاومت (اهم-متر)
۱	مقاومت مخصوص مرداب و زمین باطلاقی	۲۰
۲	مقاومت مخصوص خاک رس و زمین زراعی	۱۰۰
۳	مقاومت مخصوص ماسه نرم مرطوب	۲۰۰
۴	مقاومت مخصوص شن یا سنگریزه مرطوب	۵۰۰
۵	مقاومت مخصوص سنگریزه یا ماسه یا شن خشک	۱۰۰۰
۶	مقاومت مخصوص زمین سنگلاخ	۳۰۰۰
۷	مقاومت مخصوص صخره	۱۰۰۰۰

لذا در زمان اجرای ارتینگ و سیستم حفاظتی از دو روش اصلی زمین کردن سطحی و زمین کردن عمقی برحسب میزان مقاومت ویژه خاک استفاده می‌شود. بدین ترتیب که در اجرای ارت‌های سطحی، انتخاب محلی که دارای مقاومت ویژه کمتری است از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و در اجرای ارت‌های عمقی بهتر است جانمایی چاه ارت به گونه ای انجام گیرد که در نقطه با کمترین مقاومت ویژه خاک باشد. داشتن اطلاعات کافی از مقاومت ویژه خاک و همچنین تغییرات آن در اثر رطوبت و دما کمک شایانی به طراحی این نوع ارتینگ خواهد کرد. مقاومت ویژه بعضی از انواع خاکها در شرایط آب‌وهوایی مختلف برحسب اهم - متر در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲. مقاومت ویژه انواع خاک‌ها برحسب اهم - متر

نوع خاک	بارش باران (بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال)		شرایط صحرائی (بارش در حد کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال)
	مقادیر واقعی	مقادیر احتمالی	مقادیر واقعی
خاک رس آبرفتی	۵	وابسته به آب محل	وابسته به آب محل
خاک رس	۱۰	۵ تا ۲۰	۱۰ تا ۱۰۰
خاک‌های آهک‌دار	۲۰	۱۰ تا ۳۰	۵۰ تا ۳۰۰

نوع خاک	بارش باران (بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال)		شرایط صحرائی (بارش در حد کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال)
	مقادیر احتمالی	مقادیر واقعی	مقادیر واقعی
سنگ‌های آهک خلل و فرج‌دار	۵۰	۱۰۰-۳۰	-
سنگ سیاه خلل و فرج‌دار	۱۰۰	۳۰ تا ۱۰۰	-
کوارتز، سنگ آهک متراکم و بلوری	۳۰۰	۱۰۰ تا ۱۰۰۰	-
تخته سنگ‌های رس و سنگ‌های رستی	۱۰۰۰	۳۰۰ تا ۳۰۰۰	بیش از ۱۰۰۰
گرانیت	۱۰۰۰	-	-
سنگ آذرین	۲۰۰۰	بیش از ۳۰۰۰	-

۴-۵. عوامل مؤثر در مقاومت ویژه خاک و کارایی سیستم ارتینگ و چاه ارت

عوامل مختلفی در تغییر مقاومت ویژه خاک و کارایی سیستم ارتینگ نقش اساسی دارند. این عوامل شامل:

۱. **شرایط خاک:** بدون شک خاک نقش اساسی در تعیین کارایی چاه ارت دارد. بدین ترتیب که مقاومت زمین، نمک و سطح رطوبت خاک چگونگی ایجاد چاه ارت را مشخص می‌کند. به‌عنوان مثال، چاه ارت در خاک سنگی با خاک مرطوب متفاوت است.
۲. **مقاومت خاک:** مقاومت خاک یکی دیگر از عوامل اساسی است که بر سیستم اتصال به زمین و ارتینگ تأثیرگذار است. زیرا شرایط مختلف خاک، زمینه انواع مختلف مقاومت در برابر خاک را فراهم می‌کند. بدین ترتیب که هر چه مقاومت خاک بالاتر باشد به تجهیزات بیشتری برای فراهم آوردن شرایط، نیاز است و خاک با مقاومت کم نیز بسیار خورنده است.

۳. دما: اثر دما روی مقاومت ویژه خاک ارتباط مستقیم با رطوبت دارد. بدین ترتیب که رطوبت موجود در خاک در دمای پایین تر از صفر درجه یخ می زند و موجب افزایش شدید ضریب حرارتی مقاومت ویژه خاک می شود. از آنجایی که این ضریب منفی است با کاهش دمای خاک مقاومت ویژه آن بالا می رود و موجب افزایش مقاومت الکتروود و اتصال زمین می شود.

۴. رطوبت: تغییرات مقاومت ویژه خاک با رطوبت بالای ۲۰ درصد بسیار کم ولی برای رطوبت پایین تر از ۲۰ درصد بسیار شدید است. رطوبت موجود در خاک با در نظر گرفتن مقدار آب موجود در خاک و مقاومت در برابر آب آن آزمایش می شود. از این رو وجود آب در چاه ارت و اطراف آن برای حفظ رطوبت در آب و هوای خشک بسیار مهم است.

۵. نمک های محلول: ترکیب هایی از قبیل نمک ها، اسیدها و بازهای موجود در خاک می توانند بر روی مقاومت ویژه سیستم زمین اطراف الکتروودها در جهت کاهش آن مؤثر باشند. مقاومت خاک به مقاومت در برابر آب بستگی دارد که این امر به مقدار و همچنین ماهیت نمک های محلول در آن بستگی دارد.

۶. شرایط آب و هوایی: شرایط آب و هوایی نیز بر روند سیستم ارتینگ و کارایی چاه ارت تأثیرگذار است. بدین ترتیب که با تغییر در رطوبت خاک، مقاومت خاک نیز به همان ترتیب کم یا زیاد می شود. بنابراین در آب و هوای خشک، مقاومت بالا است و در مناطق مرطوب، مقاومت کم می شود.

در زمان پایان نصب سیستم زمین، سطح زمین را از خرده سنگ به ضخامت ۱۰ سانتی متر می پوشانند تا از سرعت تبخیر رطوبت در مواقع گرمای هوا بکاهد.

۴-۶. اندازه گیری مقاومت زمین

مقاومت زمین به دو بخش مقاومت ویژه خاک و مقاومت الکتروود زمین تقسیم می شود. اندازه گیری مقاومت ویژه خاک قبل از شروع احداث الکتروود و به منظور تصمیم گیری درباره مشخصات آن و محل احداث الکتروود انجام می گیرد. مقاومت الکتروود برای تأمین ایمنی افراد و صحت عملکرد دستگاه ها اندازه گیری می شود.

۴-۶-۱. اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

اندازه مقاومت ویژه خاک می‌تواند از یک اهم-متر (آب دریا) تا چند میلیون اهم-متر (ماسه سنگ) تغییر یابد.

مقاومت ویژه خاک به عوامل متعددی همچون دما، رطوبت، مواد شیمیایی موجود در خاک و فشردگی آن وابسته است. مقادیر مقاومت ویژه عبارتند از:

مقادیر معمول: بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم-متر

مقادیر خاص: ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ اهم-متر

در واحد SI مقدار مقاومت ویژه خاک برحسب اهم-متر و در ایالات متحده برحسب اهم-سانتی متر بیان می‌شود. هر یک اهم-متر برابر ۱۰۰ اهم-سانتی متر می‌باشد.

۴-۶-۲. دستورالعمل اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک، قبل از احداث الکتروود زمین با اهداف زیر انجام می‌شود:

انتخاب بهترین محل جهت احداث الکتروود

انتخاب بهترین و مناسب‌ترین نوع الکتروود و ویژگی‌هایی از آن مانند عمق نصب الکتروود

قائم مقاومت ویژه خاک (Soil resistivity) را می‌توان به روش‌های مختلف زیر اندازه‌گیری کرد:

۱. روش تک راد

۲. روش چهار نقطه

۳. روش ونر (Wenner)

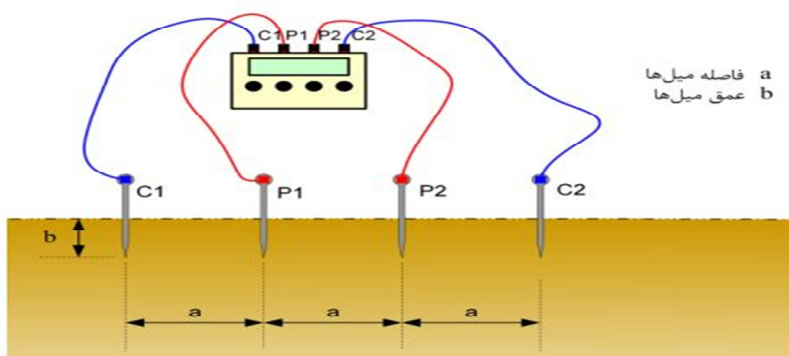
۴. روش اسلومبرگر (Schlumberger)

از میان روش‌های فوق دو روش ونر و اسلومبرگر از دقت بیشتری برخوردار و رایج‌تر می‌باشند که با دستگاه‌های ویژه انجام می‌پذیرد.

روش ونر (Wenner): مناسب برای اندازه‌گیری در یک عمق واحد

روش اسلومبرگر (SCHLUMBERGER): مناسب برای اندازه‌گیری در اعماق مختلف.

۳-۶-۴. نحوه اندازه‌گیری به روش وئر (متداول‌ترین روش)



شکل ۴-۲. اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک با ارت سنج چهار سیمه

اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک با ارت سنج چهار سیمه به روش وئر مطابق شکل ۴-۲ به صورت زیر انجام می‌شود:

۱. از چهار عدد میل تست (الکتروود کمکی) در یک راستا استفاده می‌شود. الکتروودها به طور مساوی به اندازه "a" از یکدیگر فاصله دارند. دو میل جانبی برای برقراری مدار جریان و دو میل میانی برای اندازه‌گیری ولتاژ در نظر گرفته می‌شود.
۲. هر چهار میل در فواصل مساوی در یک خط قرار داده می‌شوند. در هر اندازه‌گیری محل هر چهار میل را باید تغییر داد. در صورت همگن بودن خاک نتیجه اندازه‌گیری مستقل از مقاومت‌های الکتروود است، یعنی عمق نصب آنها در نتیجه‌گیری بی‌تأثیر است زیرا ولتاژ و شدت جریان به شکل V/I ظاهر می‌شود و هرچه مثلاً الکتروودهای جریان عمیق‌تر نصب شوند، مقاومت آنها کمتر می‌شود و در نتیجه جریان عبوری هم بیشتر می‌شود ولی چون ولتاژ نیز به همان نسبت بیشتر شده است در حاصل کسر V/I تغییری پیدا نمی‌شود.
۳. میله‌های تست به فواصل مساوی در یک راستا روی زمین گذاشته شده و با چهار رشته سیم مجزا مطابق شکل ۴-۳ به ترمینال‌های دستگاه تست متصل می‌شوند.



شکل ۴-۳. اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک با چهار رشته سیم مجزا متصل به دستگاه تستر

عمق کوبیدن میل‌ها در زمین در صورتی که از معادله مخصوص آن استفاده نشود نباید از یک بیستم فاصله آنها بیشتر شود.

هادی‌های مربوط به جریان و ولتاژ باید به منظور جلوگیری از القای متقابل، تا جایی که ممکن است از یکدیگر دور نگه داشته شوند.

۴-۳-۶-۱. رابطه مقاومت ویژه خاک

$$P = \frac{\pi(L^2 - \alpha^2)}{4\alpha} * \frac{U}{I}$$

P: مقاومت ویژه خاک

L: فاصله بین الکترودهای جریان (متر)

a: فاصله بین الکترودهای ولتاژ (متر)

I: شدت جریان بین الکترودهای جریان (آمپر)

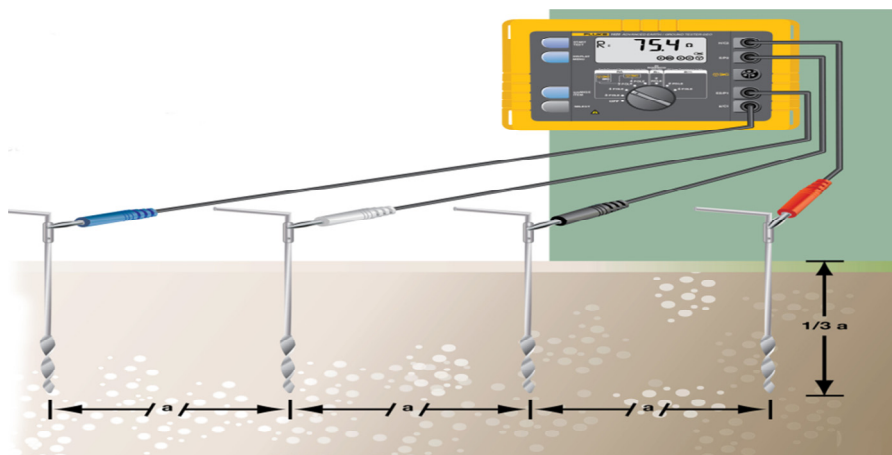
U: ولتاژ بین الکترودهای پتانسیل (ولت)

۴-۳-۶-۲. فرمول مقاومت ویژه خاک در روش وئر

با توجه به انتخاب برابر بودن فاصله الکترودها در این روش مطابق شکل ۴-۴، در فرمول قبل با جایگزینی $L=3a$ ، روابط زیر به دست می‌آید:

$$P = 2\pi\alpha * \frac{U}{I}$$

$$P = \frac{2}{3}\pi L * \frac{U}{I}$$



شکل ۴-۴. اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک در روش ورنر

۴-۶-۴. اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک با روش اشلومبرگر

اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک با دستگاه اندازه‌گیری به روش اشلومبرگر مطابق شکل ۴-۵

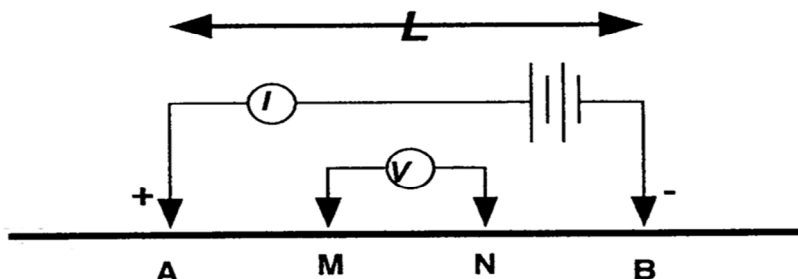
۵ بر همان اساس روش ورنر به صورت زیر انجام می‌شود:

۱. چهار میل در یک خط مستقیم نصب می‌شوند ولی فواصل آنها از یکدیگر برابر نیستند.

۲. فاصله میل‌های جریان نسبت به فاصله‌های ولتاژ خیلی بیشتر است (در این روش $L \gg a$)، میل‌های ولتاژ در وسط و در هر بار اندازه‌گیری فقط میل‌های جریان جابه‌جا می‌شوند.

۳. در این روش ولتاژ با مجذور فاصله بین میل‌های جریان تغییر می‌کند. لذا در هنگام استفاده از آن باید از لوازم اندازه‌گیری حساس استفاده شود.

۴. هادی‌های مربوط به جریان و ولتاژ را باید به منظور جلوگیری از القای متقابل، تا جایی که ممکن است از یکدیگر دور نگه داشت.



شکل ۴-۵. اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک با روش اشلومبرگر

a: فاصله بین دو الکترود ولتاژ در محل M و N

L: فاصله دو الکترود جریان در محل A و B

۴-۶-۱. فرمول مقاومت ویژه خاک در روش اشلومبرگر

در این روش فاصله الکترودهای جریان خیلی بیشتر از فاصله الکترودهای ولتاژ انتخاب می‌شود. (a >> L) بنابراین رابطه مقاومت ویژه خاک به صورت زیر درمی‌آید:

$$P = \frac{\pi}{4\alpha} * L^2 * \frac{U}{I}$$

این روش باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان می‌شود زیرا در هنگام اندازه‌گیری با این روش فقط ۲ الکترود بیرونی نیاز به جابه‌جایی دارند درحالی‌که با روش وئر حداقل ۳ الکترود باید هم‌زمان منتقل شوند. اگرچه روش اشلومبرگر باعث صرفه‌جویی در زمان می‌شود، اما روش وئر شناخته‌شده‌تر است و کاربرد بیشتری دارد. فرمول ریاضی لازم نیز بسیار ساده‌تر است.

۴-۷. اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین

ضرورت اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین در سیستم‌های ارتینگ به دلیل وابستگی ایمنی افراد و تجهیزات به مقدار این مقاومت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های ایمنی مدیریت تاسیسات الکتریکی می‌باشد. اندازه‌گیری دقیق در ابتدای احداث الکترود زمین و

اندازه‌گیری‌های منظم و زمانبندی شده برای پایش سیستم زمین نقش مهمی در ایمنی تاسیسات الکتریکی دارد.

۴-۷-۱. ساختار الکتروود زمین

مقدار مقاومت یک الکتروود زمین در برابر جریان عبوری شامل سه مؤلفه است:

۱. مقاومت خود فلز الکتروود و سیم رابط با نقطه اتصال مربوطه
۲. مقاومت سطح تماس الکتروود با خاک اطراف آن
۳. مقاومت خاک اطراف الکتروود

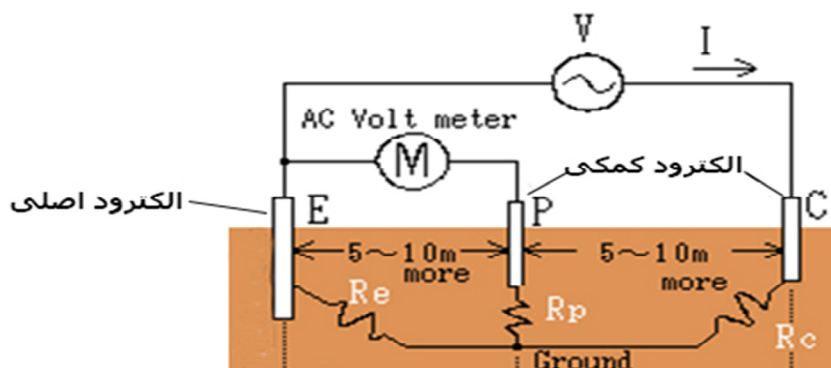
۴-۷-۲. عوامل مؤثر در کاهش مقاومت الکتروود زمین

کاهش مقاومت الکتروود زمین به دو عامل اساسی زیر بستگی دارد:

۱. اندازه و شکل الکتروود زمین
۲. مقاومت خاک منطقه که بستگی به عوامل زیر دارد:
 - الف) املاح خاک (ترکیب شیمیایی نمک‌های فلزی قابل حل در آب)
 - ب) درصد رطوبت خاک
 - ج) دمای خاک
 - د) اندازه دانه‌ها و توزیع دانه در خاک (دانه‌بندی خاک)
 - هـ) تراکم خاک و فشار وارد بر آن

۴-۷-۳. اصول اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین

مبنای اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین، رابطه اصلی بین اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریان عبوری از آن است. به طور خلاصه با بهره‌گیری از یک الکتروود کمکی مطابق شکل ۴-۶ شدت جریانی از الکتروود مورد آزمون عبور داده می‌شود و مقدار آن (I) اندازه‌گیری می‌شود و در عین حال ولتاژ دو سر الکتروود مورد آزمون و یک الکتروود کمکی دیگر اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت از تقسیم این دو بر یکدیگر مقاومت الکتروود مورد نظر به دست می‌آید.



شکل ۴-۶. اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین

برای حصول اطمینان از اجرای درست سیستم زمین و عدم تجاوز مقاومت الکترودها نسبت به جرم کلی زمین، مقاومت الکتریکی تمامی الکترودها باید پس از نصب، با دستگاه‌های اندازه‌گیری مخصوص و به وسیله افراد کار آزموده دقیقاً اندازه‌گیری شود تا به سیستم نیرو آسیبی وارد نشود.

برای اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک و مقاومت الکترود زمین، از دستگاه ارت سنج چهار سیمه استفاده می‌شود. چندین روش برای اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین وجود دارد که در ادامه به توضیح برخی از آنها می‌پردازیم.

روش‌های رایج اندازه‌گیری مقاومت الکترود اتصال زمین:

۱. روش افت پتانسیل
۲. روش زمین مرده یا روش دو الکترودی
۳. روش تزریق جریان

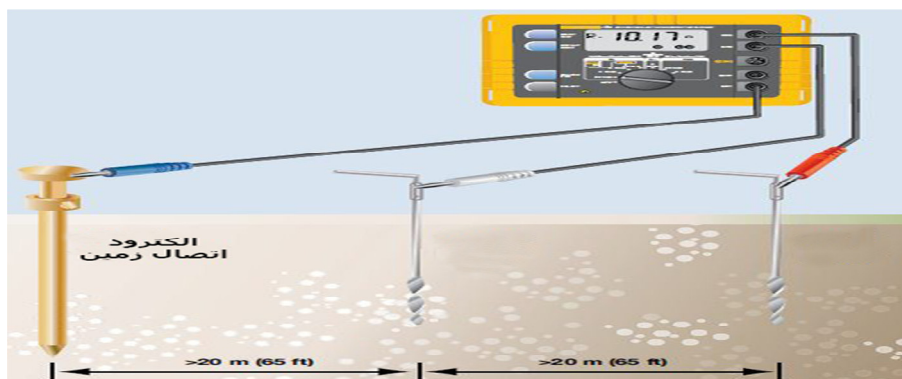
۴-۸. افت پتانسیل و روش سه سیم

روش افت پتانسیل، معتبرترین و متداول‌ترین روش اندازه‌گیری مقاومت اتصال زمین است که در استانداردهای معتبر به آن اشاره شده است و به دو صورت سه سیمه و چهار سیمه قابل اندازه‌گیری است. این روش مبتنی بر ایجاد یک مسیر برای جریان الکتریکی و اندازه‌گیری

ولتاژ قسمتی از این مسیر و سپس تقسیم ولتاژ بر جریان و یافتن مقاومت است. بنابراین منبع جریانی لازم است که جریان را بین الکترودهای اصلی و میله کمکی جریان برقرار نماید.

سپس ولتاژ بین میله کمکی پتانسیل و الکترودها، توسط ولت متر دستگاه ارت سنج و جریان تزریقی توسط آمپر متر آن قرائت می شود. مطابق با قانون اهم، نسبت ولتاژ به جریان مقاومت زمین بر روی صفحه نمایش ارت سنج نشان داده می شود که مقاومت الکترودهای زمین است. برای اندازه گیری مقاومت الکترودها باید آن را از سیستم جدا نمود. اگر ولتاژ ۲۰ ولت و جریان ۱ آمپر باشد، مقاومت برابر $20/1=20$ اهم می شود.

در این روش، حداقل فاصله بین الکترودهای زمین تحت تست تا آخرین میله باید ۵ برابر ماکزیمم بعد الکترودها باشد. در برخی از دستگاه های ارزان قیمت فاصله مشخصی برای آن ذکر شده است (۵-۱۰ متر) که این عدد فقط برای الکترودهای خیلی کوچک خوب است و نمی تواند همیشه دقیق باشد. بسته به نوع اجرا، محل اجرا و غیره، فاصله مورد نیاز متفاوت است. به عنوان مثال در ساختمانی با دو طبقه زیر زمین و ارتفاع هر طبقه ۳ متر اگر تصور شود که الکترودها در چاهی به عمق ۲ متر در کف زیر زمین دوم اجرا شده است. طبق توصیه اخیر باید فاصله میله جریان $(40 = 3+3+2 \times 5)$ ، ۴۰ متر در نظر گرفته شود. بدین ترتیب که در یک سیستم زمین متشکل از چندین الکترودهای موازی، فاصله بین الکترودهای زمین تحت تست تا میله جریان باید ۵ برابر بیشترین فاصله دو الکترودها از یکدیگر در نظر گرفته شود. شکل ۴-۷ یک نمونه از این اتصال را نشان می دهد.



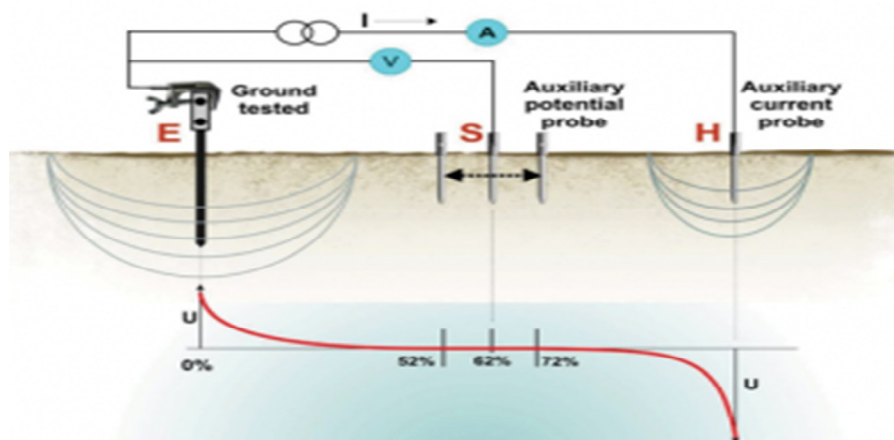
۴-۷: اتصال چند الکترودهای موازی ارت سنج

روش افت پتانسیل خود به دو نوع زیر تقسیم می‌شود:

۱. روش افت پتانسیل عادی
۲. روش قانون ۶۲ درصد همراه با تست خطا

۹-۴. روش افت پتانسیل کلاسیک

جهت اندازه‌گیری مقاومت یک الکتروود و زمین الکتریکی (earth) معمولاً از روش افت پتانسیل «روش ارت‌سنجی سه سیمه» مطابق شکل ۸-۴ استفاده می‌کنند.

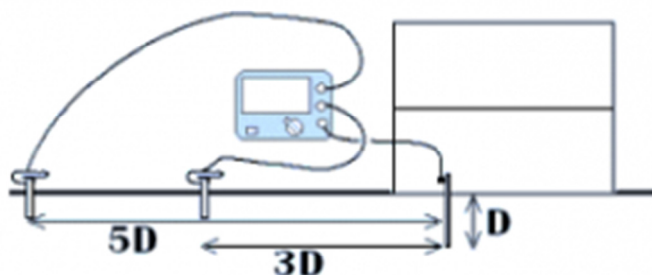


شکل ۸-۴. روش ارت‌سنجی سه سیمه

این روش براساس ایجاد یک مسیر برای جریان الکتریکی و اندازه‌گیری ولتاژ قسمتی از این مسیر و سپس تقسیم ولتاژ بر جریان و یافتن مقاومت است. بنابراین بایستی از منبع جریانی برای برقراری جریان بین الکتروود اصلی (E) و میل جریان (H) استفاده نمود، سپس ولتاژ بین میل پتانسیل (S) و الکتروود توسط ولتمتر دستگاه ارت‌سنج دیجیتال و جریان تزریقی توسط آمپر متر دستگاه ارت‌سنجی خوانده شده و نسبت ولتاژ به جریان (قانون اهم $V=IR$) به‌عنوان مقاومت ارت روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود. روش افت پتانسیل یکی از بهترین روش‌های اندازه‌گیری مقاومت زمین است و از منظر استانداردهای معتبر جهانی به‌عنوان مثال IEEE81 روشی کامل و قابل اطمینان است.

۴-۱۰. ارت سنج سه سیمه

اندازه‌گیری مقاومت زمین earth با ارت‌سنج سه سیمه با استفاده از دو میخ کمکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری مقاومت چاه ارتینگ است. در این روش از یک الکتروود و دو میخ کمکی استفاده می‌شود که در یک راستا و در فواصل معین که در محدوده ۲۰ متر (20m or 65 ft) از یکدیگر قرار داده شده و با استفاده از سیم‌های رابط کابل ارت سنج به دستگاه متصل می‌شود. نحوه محاسبه مقاومت و اتصال الکتروودها به دستگاه به ترتیب شکل ۴-۹ می‌باشد:



شکل ۴-۹. روش اتصال الکتروودها به دستگاه ارت سنج

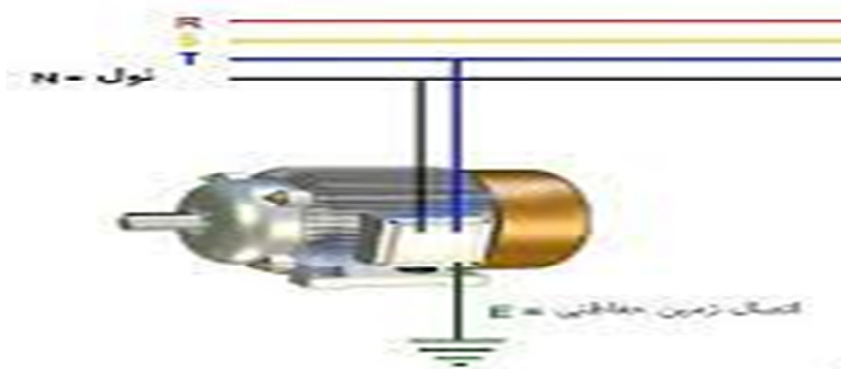
میل جریان بایستی در فاصله‌ای برابر با حداقل $5D$ کوبیده شود. در اینجا D عمق الکتروود (پایین‌ترین نقطه صفحه یا نوک میله) از سطح زمین است. برای مثال وقتی یک صفحه که در عمق ۳ متری دفن شده باشد، میل جریان را باید در ۱۵ متری آن کوبید. میل پتانسیل را در فاصله $3D$ از الکتروود و روی خط واصل، بین الکتروود و میل جریان بایستی کوبیده شود و در ادامه اندازه‌گیری را انجام داد. دستگاه ارت‌تستر افت پتانسیل را در ناحیه بین الکتروود و میل کمکی نزدیک به الکتروود اندازه‌گیری می‌کند و در ادامه دستگاه با ایجاد جریان متناوب ثابت با دورترین میل کمکی به صورت خودکار می‌تواند با استفاده از قانون اهم مقدار مقاومت زمین را محاسبه کند.

۴-۱۱. انواع زمین در سیستم‌های الکتریکی

زمین کردن ابزار و دستگاه‌های الکتریکی به دو علت انجام می‌گیرد، یکی برای رفتار و فعالیت صحیح سیستم‌های الکتریکی، حفاظت از تجهیزات الکتریکی و دیگر تأمین ایمنی افراد و کاربران دستگاه‌ها می‌باشد زیرا نحوه زمین کردن صحیح تاسیسات و سیستم‌های الکتریکی می‌تواند منجر به عملکرد صحیح دستگاه‌ها و تشخیص به موقع عیب‌ها و اتصال کوتاه در شبکه برق‌رسانی شود. برای دستیابی به چنین اهدافی لازم است دو نوع سیستم زمین حفاظتی و زمین الکتریکی مورد بحث قرار گیرد.

۴-۱۱-۱. زمین حفاظتی (Grounding Protective)

بدنه یا اسکلت تجهیزات الکتریکی (برقی) در حالت عادی، برقی نیست اما امکان دارد در زمان بروز نقص در دستگاه و اتصالی داخلی، برق‌دار شود به همین دلیل لازم است کلیه بدنه‌های فلزی دستگاه‌ها که ارتباط مستقیم با مدارهای الکتریکی ندارند به زمین مطابق شکل ۴-۱۰ وصل شوند تا هیچ اختلاف پتانسیلی بین بدنه فلزی دستگاه و زمین ایجاد نشود و در صورت اتصال برق دستگاه با بدنه، حفاظت دستگاه و ایمنی کاربران تضمین شود.



شکل ۴-۱۰. اتصال بدنه دستگاه به زمین

با اتصال یک سیم برقرار به بدنه هادی دستگاه الکتریکی، اختلاف پتانسیلی بین بدنه دستگاه و زمین به وجود می‌آید و اگر شخصی بدنه دستگاه را لمس کند، بین محل تماس بدن او به دستگاه و زمین، ولتاژی به نام ولتاژ تماسی ایجاد می‌شود که در صورت بیشتر بودن آن از

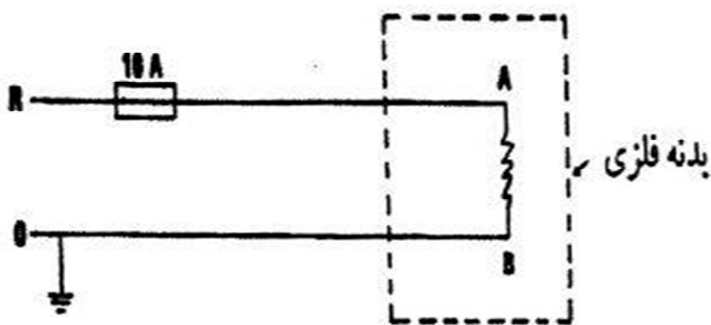
۵۰ ولت خطرناک است. به عنوان مثال چنانچه یک مقره اتکایی که روی دیوار مرطوب نصب شده بشکند و هادی فشار قوی با دیوار تماس برقرار کند و جریان جاری شود، جریان اتصال زمین در این حالت ۲۵ آمپر و مقاومت هر متر دیوار ۱۰ اهم باشد، بین دو نقطه از دیوار که انسان با آن تماس دارد (فاصله دست و پا تقریباً ۲ متر) اختلاف سطح الکتریکی برابر است با:

$$V = IR = 25 \times 2 \times 10 = 500$$

یکی از راه‌های جلوگیری از برق‌گرفتگی در اثر تماس با بدنه برق دار دستگاه‌های الکتریکی استفاده از فیوز محافظ جان است. فیوز محافظ جان جریان نشتی را تشخیص می‌دهد و مدار را قطع می‌کند.

۴-۱۱-۲. کاربرد زمین حفاظتی

هدف از کاربرد زمین حفاظتی، جلوگیری از برقراری ولتاژهای زیاد و خطرناک بر روی بدنه فلزی وسایل و تجهیزات برقی نسبت به زمین می‌باشد. با استفاده از شکل ۴-۱۱ می‌توان به خطرات بالقوه یک وسیله برقی زمین نشده پی برد.

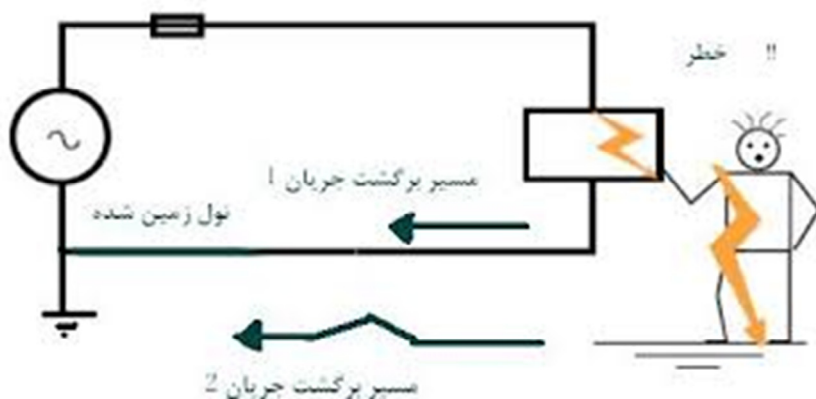


شکل ۴-۱۱. وسیله برقی تک فاز با بدنه زمین نشده

در این شکل نول شبکه در پست توزیع به زمین متصل شده و دارای مقاومت محدودی مثلاً ۲ اهم نسبت به زمین است. حال چنانچه نقطه A وسیله برقی با بدنه دستگاه اتصالی پیدا کند، ولتاژ ۲۲۰ ولت نسبت به زمین بر روی بدنه برقرار می‌شود که بسیار خطرناک است. در زمین حفاظتی، قسمت‌های مورد نظر مستقیماً و بدون هیچ مقاومتی به شبکه زمین وصل هستند. لذا این اتصال بایستی به گونه‌ای در نظر گرفته شود که بخشی از مسیر جریان که

به وسیله اعضای بدن انسان از قبیل دست و پا، دو دست یا دو پا بر قرار می‌گردد از تفاوت پتانسیل زیادی برخوردار نباشد. هر چند که میزان این افت پتانسیل به شدت جریان و مقاومت مسیر جریان بستگی دارد. در این زمینه میزان شدت جریان اتصال زمین غالباً به توان و نوع ارتباط شبکه با زمین وابسته است. لذا برای پائین نگه داشتن افت ولتاژ، حتی امکان مقاومت مسیر جریان بایستی پائین نگه داشته شود. به عنوان مثال در صورتی که یک مقره نصب شده بر روی یک دیوار مرطوب شکست و سیم فشار قوی داخل آن به دیوار متصل شد با فرض اینکه جریان اتصال به زمین در این حالت ۲۰ آمپر و مقاومت هر متر دیوار ۲۰ اهم و فاصله بین دو نقطه از دیوار که انسان با آن تماس دارد (فاصله دست و پا) در حدود ۱ متر باشد، یک اختلاف ولتاژ یا پتانسیلی به میزان $V = R \cdot I = 20 \cdot 20 = 400$ به وجود خواهد آمد که این میزان برای هر انسان خطرناک است بنابراین با اتصال پایه فلزی این مقره به زمین می‌توان از بروز هرگونه خطر جلوگیری کرد.

یکی از الزامات اساسی در شبکه برق رسانی مراکز درمانی، اتصال ارت استاندارد به بدنه تجهیزات است. اتصال ارت یا زمین کردن ابزار و تجهیزات پزشکی عاملی برای جلوگیری از ورود هر نوع جریان برق غیر عادی و کشنده در زمان خرابی دستگاه یا اجزای متصل به آن به بدن کاربر یا بیمار خواهد شد. بدین ترتیب که هرگاه در اثر خرابی دستگاه یا ضربه دیدن و سوختن کابل‌ها یا سیم و غیره جریان برق به بدنه وصل شود، در صورتی که بدنه اصلی دستگاه به اتصال زمین وصل نباشد جریان برق متصل به بدنه از طریق بدن مصرف‌کننده به زمین وارد شده و در این شرایط فرد مصرف‌کننده که به عنوان بخشی از دستگاه مطابق شکل ۴-۱۲ می‌باشد دچار برق‌گرفتگی شده و می‌میرد.



شکل ۴-۱۲. برق گرفتگی به دلیل عدم اتصال دستگاه به زمین

درحالی که اگر بدنه این دستگاه مستقیماً به زمین وصل باشد، جریان الکتریکی متصل به بدنه دستگاه از طریق همین اتصال وارد زمین شده و هیچ اثری بر بدن شخص مصرف کننده دستگاه نخواهد داشت.

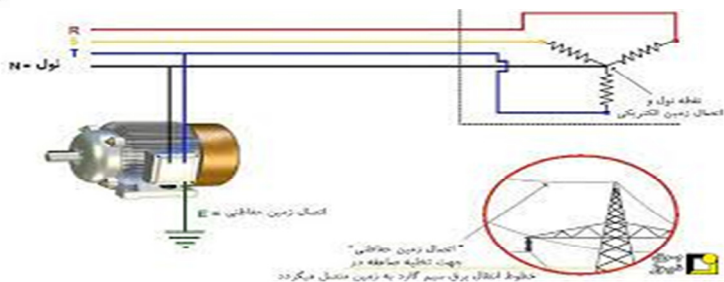
بنابراین تنها وجود یک ارت مناسب و اتصال بدنه تجهیزات به زمین است که می تواند علاوه بر تأمین حفاظت الکتریکی برای پرسنل، بیماران و مراجعین در برابر جریان های ناشی، اثرات پارازیتها و نویزهای تولیدی از شخص بیمار، فرکانس برق شهر، تجهیزات اطراف بیمار، امواج الکترومغناطیسی ناشی از فعالیت موبایل، تلویزیون، پیچینگ و غیره را از بین ببرد. لذا تأمین سیستم ارتینگ در موارد زیر ضروری است:

- کلیه بخش ها در مراکز درمانی، خدمات درمانی، تشخیصی و غیره که دارای تجهیزات پزشکی هستند بایستی به سیستم ارت مجهز باشند.
- تعداد چاه ارت، در هر مرکز درمانی بایستی متناسب با حجم تجهیزات پزشکی فعال در آن مرکز باشد.
- برخی از تجهیزات فعال پر مصرف در مراکز درمانی از قبیل دستگاه ECG یا آنژیوگرافی بایستی از چاه ارت مستقل در نزدیکی تابلوی اصلی توزیع برق برخوردار باشند.
- چاه ارت بایستی در فضاهایی انتخاب شود که احتمال دسترسی به رطوبت بیشتر با حفر عمق کمتر وجود دارد.

- محل چاه ارت اصلی حتی‌المکان بایستی در نزدیکی محل تابلوی اصلی توزیع برق باشد.
- چاه ارت نباید با چاه نول (چاه ویژه نول) در یک مکان باشند و چاه ارت بایستی به صورت مستقل طراحی و ساخته شود. چاه نول برای مراکزی که دارای انشعاب ۲۰ کیلو ولت و پست برق می‌باشند حفر می‌شود.
- در تابلوی برق بیمارستان به هیچ وجه نباید سیم نول و ارت به یکدیگر وصل شوند.
- میزان مقاومت ارت زمین بایستی به صورت دوره اندازه‌گیری شود.
- بدنه فلزی کلیه تجهیزات الکتریکی یا غیر الکتریکی فاقد دو شاخه ارت دار بایستی به سیم ارت وصل شوند. انجام این عمل برای تجهیزات فعال در اتاق‌های عمل و بخش‌های مصرف‌کننده سیستم‌های صوتی و تصویری از قبیل اکو، مانیتور و غیره ضروری است.

۴-۱۱-۳. زمین الکتریکی (Grounding System)

در این روش نقطه‌ای از دستگاه‌های الکتریکی و تجهیزات برقی به زمین وصل می‌شود که منجر به عملکرد صحیح دستگاه و جلوگیری از افزایش فشار الکتریکی بر روی فازها نسبت به زمین می‌گردد. به همین دلیل در این روش در نیروگاه‌های تولید برق، نقطه خنثی ستاره ترانسفورمرها و ژنراتورها را مطابق شکل ۴-۱۳ به زمین وصل می‌کنند. زمین الکتریکی در شرایط عادی یک امر طبیعی است درحالی‌که زمین کردن حفاظتی تنها برای جلوگیری از بروز خطا انجام می‌گیرد. به همین دلیل زمین‌کردن حفاظتی می‌تواند در تمامی تاسیسات وجود داشته باشد، در صورتی که زمین کردن تجهیزات در بعضی مکان‌ها مانند تاسیسات فشار قوی اهمیت زیادی دارد.



شکل ۴-۱۳. اتصال نقطه خنثی ستاره ترانسفورمرها و ژنراتورها به زمین

یادآوری: هادی یا زمین بیگانه: هادی‌هایی که متعلق به تجهیزات برقی نیستند اما قادر هستند پتانسیلی مانند پتانسیل زمین را در دسترس قرار دهند، به عنوان هادی بیگانه شناخته می‌شوند. این هادی‌ها شامل: اسکلت فلزی ساختمان‌ها، لوله‌های فلزی آب، گاز، شوفاژ دیوارها و کف‌هایی که هادی‌اند و غیره می‌باشند.

۴-۱۲. زمین الکتریکی خوب

یک زمین خوب به اندازه کافی بایستی دارای امپدانس (مقاومت) کم باشد تا توان تضمین عبور جریان مورد نیاز و ایمن از ابزار و وسایل را داشته باشد. جریان الکتریکی معیوب بیش از بار الکتریکی معیوب می‌تواند منجر به سوختن فیوز و در نتیجه قطع اتوماتیک دستگاه از جریان منبع تغذیه گردد. بنابراین یک زمین خوب بایستی دارای شرایط زیر باشد:

- دارای مقاومت الکتریکی کم باشد.
- دارای مقاومت خوب در برابر خوردگی‌ها باشد.
- توان از بین بردن مستمر خطای جریان بالا را داشته باشد.

برای اجرای سیستم زمین و سیستم حفاظتی مناسب معمولاً دو روش اصلی وجود دارد: زمین کردن سطحی و زمین کردن عمقی. در هر دو این روش‌ها مقاومت ویژه خاک نقش بسیار مهمی دارد. در اجرای ارت‌های سطحی انتخاب محلی که دارای مقاومت ویژه کمتری است از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و همچنین در اجرای ارت‌های عمقی نیز بهتر است جا نمایی چاه ارت به گونه‌ای باشد که در نقطه‌ای با کمترین مقاومت ویژه خاک پیاده‌سازی شود. داشتن اطلاعات کافی از مقاومت ویژه خاک و چگونگی تغییرات آن در اثر رطوبت، دما و عمق خاک،

کمک شایانی در طراحی و بدست آوردن مقاومت مناسب برای سیستم زمین خواهد کرد. محدوده مقاومت مخصوص چند نوع خاک در جدول ۴-۱ نوشته شده است.

۴-۱۳. جرم کلی زمین (زمین ایده آل)

جرم کلی زمین یا زمین ایده آل به عنوان مرجع سنجش مقاومت الکتریکی سیستم زمین است. به عبارت دیگر زمین ایده آل، زمینی است که مقاومت آن نسبت به خودش صفر است. اما شرایط زمین ایده آل برای الکترودهای مختلف نسبت به وسعت آنها متغیر می باشد. به عنوان مثال در صورتی که حداکثر قطر یک سیستم زمین ۲۰ متر باشد زمین ایده آل آن به طور تقریبی در فاصله حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر وجود دارد.

۴-۱۴. کاهش مقاومت زمین از طریق تعویض یا آماده سازی خاک

برای کم کردن مقاومت اتصال به زمین در بعضی موارد لازم است اقداماتی در جهت آماده سازی یا حتی تعویض خاک انجام گیرد. بدین ترتیب که برای آماده سازی خاک بایستی از مواد شیمیایی استفاده شود. در این شرایط لازم است به گونه ای عمل آماده سازی انجام گیرد که در طول زمان منجر به کاهش و شسته شدن املاح و در نتیجه افزایش مقاومت زمین نشود و منجر به کاهش کارایی اتصال زمین نگردد. البته در انتخاب روش آماده سازی لازم است اثراتی که مواد شیمیایی بر محیط زیست باقی خواهد گذاشت نیز مورد توجه قرار گیرد. در این زمینه برای فراهم آوردن یک اتصال زمین مناسب با عمری طولانی، می توان از خاک یا موادی بنام بنتونیت برای اطراف الکترود استفاده کرد که از مقاومت ویژه کمتری برخوردار است.

۴-۱۵. کاربرد بنتونیت (مواد کاهنده) در چاه ارت

بنتونیت مطابق شکل ۴-۱۴ یکی از ترکیباتی است که در زمین به عنوان یک ترکیب زمینی در مقایسه با روش سنتی کلرید سدیم نمک از آن استفاده می شود. این ترکیب براحتی در آب حل می شود و بر ماندگاری صفحه فلزی الکترود تأثیر می گذارد. در این رابطه چنانچه از

بنتونیت استفاده نشود، ممکن است سبب ناکار آمدی سیستم ارتینگ شود زیرا ذغال سنگ که یکی دیگر از ترکیبات مورد استفاده در ارتینگ است نمی تواند در برابر حرارت زیاد مقاومت کند و به خاکستر تبدیل می شود. به همین دلیل نمی تواند آب را حفظ کند و منجر به نقص در چاه ارت می شود. درحالی که بنتونیت رطوبت را نگه می دارد و به عنوان یک ترکیب مکمل برای کمک به کاهش مقاومت خاک استفاده می شود. بنتونیت همچنین خاصیت جذب و نگهداری آب برای مدت زمان طولانی تری را امکان پذیر می سازد. ضمن اینکه با فراهم آوردن ماندگاری رسانش زمین برای مدت زمان طولانی تر، از هادی قرار گرفته در زمین در برابر خوردگی نیز محافظت می کند.



شکل ۴-۱۴: بنتونیت (مواد کاهنده)

۴-۱۵-۱. مزیت های بنتونیت در چاه ارت

بنتونیت مطابق شکل ۴-۱۴ در گذشته به عنوان خاکی برای شست و شوی سر بوده که به آن گل سرشوی نیز گفته می شد.

خاک بنتونیت امروزه به دلیل چسبندگی، جذب آب بالا، تورم پذیری و نرم بودن دارای کاربردهای زیادی در صنعت بتون سازی، ریخته گری، حفاری چاه های نفت، چاه های ارت، سد سازی و کشاورزی می باشد. مزایای استفاده از بنتونیت در اجرای چاه ارت در مقایسه با ذغال و نمک به ترتیب زیر است:

- بر اثر بارندگی های سالیانه، پس از مدتی نمک شسته شده و به لایه های زیرین زمین می رود و مقاومت زمین را مجدداً افزایش می دهد. اما استفاده از خاک بنتونیت در

اجرای چاه ارت باعث می شود مقاومت درون چاه به طور مداوم کاهش داشته باشد. زیرا این خاک رطوبت درون چاه را حفظ می کند.

- به دلیل خاصیت خوردندگی بسیار زیاد نمک، بعد از مدت کوتاهی الکترودها و اتصالات مربوطه از بین می رود و بایستی با صرف هزینه های اضافی، الکترودها را تعویض کرد. درحالی که خاک بنتونیت برخلاف نمک باعث حفاظت از صفحه مسی درون چاه ارت می گردد.
- اجرای چاه ارت با بنتونیت از نظر اقتصادی مناسب است زیرا قیمت پایین تر و کیفیت مناسبتری نسبت به ذغال و نمک دارد.
- دارای مقاومت کم است.
- هزینه نگهداری آن کم می باشد.
- از خاصیت غیر خوردندگی در هادی های قرار گرفته در زمین برخوردار است.
- برای انواع خاک ها مناسب است.
- در چاه ارت رطوبت را حتی در سطح خشک نیز حفظ می کند.
- استفاده از آن آسان است.
- غیر سمی و غیر قابل اشتعال می باشد.
- خاک بنتونیت فاقد مواد شیمیایی خطرناک بوده و با محیط زیست کاملاً سازگار است.

۴-۱۶. انواع الکترودهای زمین

الکترودها از نظر شکل و طرز قرار گرفتن در زمین به شرح زیر تقسیم می شوند:

- الکترودهای صفحه ای
- الکترودهای قائم
- الکترودهای افقی

در مناطق مرطوب از الکترودهای صفحه ای کم عمق استفاده می شود و حداقل پوشش خاک از لبه بالایی صفحه ۱/۵ متر است.

۴-۱۶-۱. الکترودهای صفحه‌ای

الکترودهای صفحه‌ای مطابق شکل ۴-۱۵ معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) کم‌عمق که در مناطق با خاک مرطوب و نمناک و در عمق حداقل به میزان ۱/۵ متر از لبه بالایی خاک استفاده می‌شود. معمولاً الکترودهای صفحه‌ای کم‌عمق در جایی استفاده می‌شود که رطوبت خاک بالا و مقاومت مخصوص خاک پایین است. علت اصلی دفن صفحه الکترودها در عمق بیشتر دستیابی به نم بیشتر و مقاومت مخصوص کمتر زمین است. مشخصات این نوع الکترودها، به شرح زیر است:

۱. طول و عرض آن، حداقل ۵۰×۵۰ باشد.
۲. قطر آن برای فلز مس حداقل ۲ میلی‌متر و برای آهن گالوانیزه گرم حداقل ۳ میلی‌متر باشد.
۳. خلوص مس مورد استفاده حداقل برابر ۹۹/۹ درصد باشد.



شکل ۴-۱۵. الکترودهای صفحه‌ای

ب) الکترودهای عمیق که برای رسیدن به لایه‌های نمناک با مقاومت ویژه کمتر و در عمق زیاد (بیش از حدود ۳ متر) استفاده می‌شود. لذا در هر دو حالت بهتر است از این الکترودها به صورت عمودی در زمین استفاده شود.



شکل ۴-۱۶. یک نوع اتصال الکترود صفحه‌ای به زمین

همچنانکه مشاهده می‌شود اتصال هادی زمین به الکترود صفحه‌ای بایستی حداقل در دو نقطه مجزا مطابق شکل ۴-۱۶ انجام شود. در صورتی که یک الکترود صفحه‌ای مقاومت لازم را ارائه نداد، می‌توان از چند صفحه به صورت موازی استفاده کرد.

۴-۱۶-۲. روش اجرای ارتینگ با الکترود صفحه‌ای

همچنان که اشاره شد بیشترین مورد استفاده الکترودهای صفحه‌ای در مناطق مرطوب و نمناک است که در این حالت از الکترودهای صفحه‌ای کم عمق استفاده می‌شود.

در این حالت الکترود صفحه‌ای به ابعاد 50×50 سانتیمتر به صورت عمودی در شرایطی در چاه قرار می‌گیرد که حدود ۲۰ سانتی‌متر بنتونیت بالا و پایین الکترود را پوشانده باشد و پس از آن حداقل تا سطح زمین $1/5$ متر از خاک پر شود.

در صورت استفاده از الکترود صفحه‌ای به عنوان الکترود اساسی برای هر دو نوع زمین، شامل حفاظت سیستم و ایمنی و عدم اطمینان از وجود رطوبت و نم طبیعی به دلیل تغییرات آب و هوایی لازم است یک چاهک و دریچه بازدید با ابعاد حداقل $30 \times 30 \times 30$ ایجاد شود. هم چنین برای تزریق آب به الکترود زمین نیز لازم است از یک لوله PVC که در همه جهات سوراخ‌دار است و با سنگریزه پر شده از سطح زمین تا سطح الکترود صفحه‌ای استفاده کرد. البته ارتفاع این لوله از ۱۰ سانتی متری دریچه سطح زمین تا لبه بالایی بنتونیت ته چاه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴-۱۷. اتصال الکتروود صفحه ای

اتصال الکتروود صفحه ای مطابق شکل ۴-۱۷ به هادی مسی اتصال زمین به دو صورت است. یکی استفاده از پیچ و مهره‌های اصلی و قفل شونده مسی و دیگری استفاده از جوش احتراقی است. از مشکلات الکتروودهای صفحه‌ای از بین رفتن اتصالات آن است.

۴-۱۷. الکتروودهای قائم

الکتروودهای قائم در زمانی که فضای افقی کافی در دسترس نباشد و همچنین در جهت تماس بیشتر با لایه‌های خاک استفاده می‌شود. برخی از انواع الکتروودهای قائم که از طریق کوبیدن در زمین و یا به صورت دفنی یا حفر چاه استفاده می‌شوند عبارت از:

۴-۱۷-۱. الکتروود میله‌ای با هسته فولاد و روکش مس

در این روش از یک میله استاندارد از جنس فولاد با روکش مس مطابق شکل ۴-۱۸ استفاده می‌شود. هزینه‌های به کار رفته در این روش، کم اما سادگی نصب آنها به نوع خاک و زمین مورد استفاده وابسته است زیرا این میله‌ها دارای طولی بین ۲ تا ۳ متر و فولاد مورد استفاده در تولید آنها نسبتاً نرم می‌باشد. به همین دلیل، زمانی که به یک میله برای فرورفتن در زمین به خصوص زمینهای صخره‌ای نیرو وارد می‌شود می‌تواند باعث بروز مشکلاتی مانند تغییر شکل سر میله گردد که در این حالت هدایت میله‌ها به درون زمین را دشوار خواهد ساخت. یکی از معایب دیگر مشکلات ایمنی در هنگام هدایت آنها به درون زمین برحسب طول ۲ تا ۳

متری آنها است که معمولاً از نردبانی برای دسترسی به بالای میله استفاده می‌شود که در این زمان می‌تواند یک مشکل ایمنی با سقوط افراد به وجود آید که سعی کرده بودند این میله را از روی یک نردبان به درون زمین هدایت کنند. به طور معمول لازم است قبل از آنکه میله نصب شود یک گودالی به عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر حفر شود.

یکی از معایب دیگر میله‌ها، اندودبودن آنها با مس است که مس و فولاد دو ماده غیرمشابه هستند و در زمانی که یک جریان الکتریکی وارد شود، الکترولیز رخ خواهد داد، علاوه بر این هنگام وارد کردن میله به درون خاک می‌تواند به پوشش مسی آسیب رسانده و موجب کاهش عمر میله گردد.



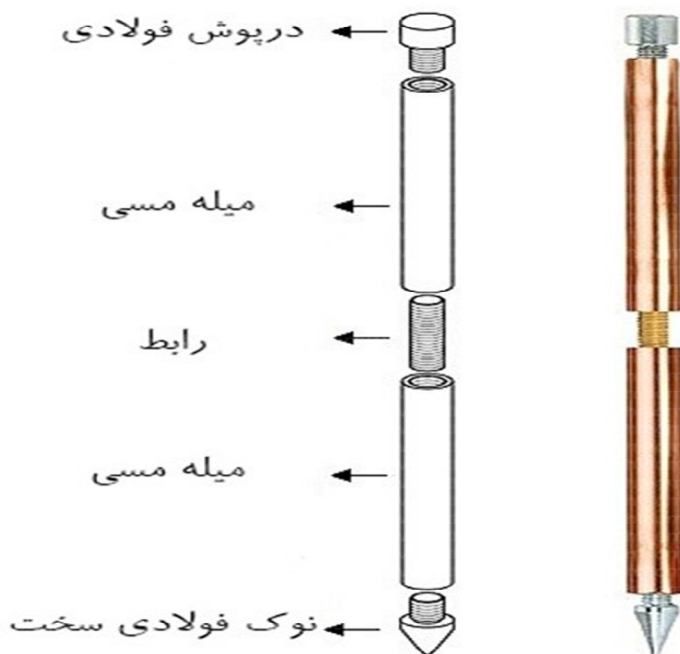
شکل ۴-۱۸. الکتروده میله‌ای با هسته فولاد و روکش مس

۴-۱۷-۲. الکتروده میله‌ای مسی

این الکتروده یکی از انواع لوازم چاه ارت است و در محل‌هایی به‌عنوان سیستم ارتینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد که امکان حفر چاه وجود ندارد. در واقع این میله دارای یک نوک تیز مطابق شکل ۴-۱۹ است که می‌تواند در زمین کوبیده شود و از طرف دیگر به سیم ارت جوش داده شود. بنابراین در این حالت است که برای کاهش خطر برق‌گرفتگی اضافه بارهای الکتریکی از دستگاه‌ها و وسایل دیگر جمع شده و از طریق سیم ارت به زمین منتقل می‌گردد. در ساخت میله‌های ارت از فلز مس با خلوص بالا استفاده می‌شود که دارای قدرت هدایت الکتریکی بالا است و می‌تواند به خوبی جریان برق را منتقل کند. این میله همچنین به دلیل پوشیده شدن با لایه‌ای از مس دوام زیادی دارد و در زیر خاک فرسوده نمی‌شود. البته ساختار این میله به گونه‌ای است که انتهای آن قابلیت تحمل ضربه‌های چکش را دارد و می‌تواند خاک را شکافته و وارد زمین شود همچنین در محل‌هایی که طول میله برای رسیدن به بخش مرطوب زمین کافی نیست می‌توان چند میله را به هم وصل کرد تا الکتروده بلندتری ایجاد شود.

از آنجایی که این میله باید هدایت الکتریکی بالایی داشته باشد بنابراین در ساخت آن از فلز مس با خلوص بالا استفاده می‌شود. این میله دارای مشخصات زیر است:

- طول میله ۱/۵ متر
- ساخته شده از مس با خلوص ۹۹/۹ درصد
- دارای نوک تیز جهت استفاده در زمین به‌عنوان میله ارت
- قابل استفاده به‌عنوان میله ارت در چاه ارت
- آسان بودن اجرا
- هزینه کم
- دارای مقاومت بالا



شکل ۴-۱۹. الکتروود میله‌ای مسی

۳-۱۷-۴. الکترو د میله‌ای پیشرفته

میله‌های پیشرفته مطابق شکل ۴-۲۰ به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به سرعت می‌توان آنها را در محیط‌های مناسب نصب کرد. بدین ترتیب که این نوع میله از یک سوراخ کن ضربه‌ای استاندارد مشابه یک مته سنگ‌بری استفاده می‌کند که به راحتی با عبور از درون صخره می‌تواند میله را در فاصله‌ای به طول حدود ۱/۵ متر درون زمین قرار دهد.



شکل ۴-۲۰. الکترو د میله‌ای پیشرفته

۴-۱۷-۴. الکترو د میله‌ای گالوانیزه

در واقع گالوانیزه کردن، یک فرآیند است که برای جلوگیری از زنگ‌زدگی روی فولاد و آهن انجام می‌شود. فولادهای گالوانیزه شده از استحکام و طول عمر بالایی برخوردار هستند، برای محافظت از فولاد از یک روکش روی یا همان Zn استفاده می‌شود. الکترو د میله‌ای گالوانیزه در حال حاضر به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند و در عین حال بسیار مقرون به صرفه هم هستند.

این الکترو دها با برخورداری از پوشش گالوانیزه گرم به میزان تقریباً ۵۰ میکرون، در برابر خوردگی و رطوبت دارای مقاومت بسیار بالا و نسبت به میله‌های استیل از قیمت کمتری

برخوردار هستند. این نوع میله ها دارای سائز با قطرهای متفاوت می باشد به همین دلیل استفاده از آنها بسیار رایج است.

یکی دیگر از خصوصیات این میله ها تیز بودن نوک آنها است که به راحتی قابلیت فرو رفتن در زمین را دارد. مغزی آنها از St 37 با روکش گالوانیزه گرم است که امکان یک زمین مناسب به عنوان یک الکتروود زمین را فراهم می آورد.

برای مثال در سائز ۱۴ با طول ۱/۵ متر یا همان ارتفاع ۱/۵ متر هستند. در واقع در سائزهای ۱۴ و ۱۶ و ۲۰ دارای طول ۲ متر هستند که روکش روی آن ها دارای ضخامت حدود ۱۰۴ میکرون است. البته از این نوع میله زمانی استفاده می شود که به ارتینگ موقت یا کوتاه مدت احتیاج است.

۴-۱۷-۵. اجرای چاه ارت میله ای

در این روش بر خلاف روش اجرای چاه ارت با صفحه مسی یا همان اجرای چاه ارت صفحه ای، از میله استفاده می شود. میله مسی مغز فولادی را در وسط چاه قرار داده و درون چاه می کوبند. سپس در ادامه احداث چاه ارت، میله ها را به کمک سیم مسی و کلمپ انگشتی به یکدیگر متصل می کنند. گام بعدی استفاده از دوغاب بنتونیت است. برای اجرای چاه ارت میله ای، دوغاب بنتونیت را در دور تا دور میله تخلیه کرده و تقریباً هر ۲۰ سانت دوغاب سفت شده را فشرده می کنند. این عمل در اجرای چاه ارت با میله، موجب چسبیدن کامل بنتونیت به میله و از بین رفتن فضاهای خالی می شود. چاه را با مواد کاهنده پر می کنند.

۴-۱۸. الکتروودهای افقی

این نوع الکتروودها در شکل های کمربندی یا نواری، مستقیم، مستطیل، شبکه پنجره ای و غیره است و در زمانی که یک محوطه با وسعت کافی در دسترس باشد از آنها برای نصب در عمق ۵۰ تا ۸۰ سانتی متری از سطح زمین استفاده می شود. انواع این الکتروودها به ترتیب زیر می باشند:

- الکتروود تسمه ای (مسی یا آهن گالوانیزه)
- الکتروود صفحه ای مشبک (مسی یا آهن گالوانیزه)

- الكترود مش (سيم مسی)

۴-۱۸-۱. ساختمان و جنس الكترود تسمه‌ای یا سیمی

- الكترودهای تسمه‌ای از مس
- الكترودهای تسمه‌ای از آهن گالوانیزه گرم
- الكترودهای سیم مسی

۴-۱۸-۲. مشخصات الكترود تسمه‌ای

۱. حداقل ضخامت تسمه مسی ۲ میلی‌متر و حداقل سطح مقطع آن ۵۰ میلی‌متر مربع می‌باشد.
 ۲. سطح مقطع سیم مسی چند مفتولی ۲۵ میلی‌متر مربع و حداقل قطر هر مفتول ۱/۷ میلی‌متر باشد.
 ۳. حداقل خلوص مس مورد استفاده برابر ۹۹/۹ درصد باشد (مس کاتد).
 ۴. ضخامت تسمه‌های دفن شده در زمین برای فولاد گالوانیزه نباید از ۳ میلی‌متر کمتر و حداقل سطح مقطع آن ۹۰ میلی‌متر مربع باشد.
 ۵. ضخامت الكترود تسمه‌ای نباید بیش از یک هشتم پهنای آن باشد.
- در این الكترود، طول عامل اصلی در تعیین مقاومت الكترود است و عمق دفن تأثیر نسبتاً کمی دارد. لذا توصیه می‌شود الكترودهای افقی در آرایش‌های مختلف در عمقی که پایین‌تر از عمق یخ‌زدگی منطقه است (عمق ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متری از سطح زمین) نصب شوند.
- ابتدا کانالی به عمق و طول مناسب تقریباً به عمق ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و به قطر ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر حفر گردد. سپس کمی پودر بنتونیت کف کانال ریخته می‌شود به‌طوری‌که فقط سطح خاک را پوشش دهد. ۵ سانتی‌متر الكترولیت ریخته و الكترود تسمه‌ای در آن قرار می‌گیرد و مجدداً ۵ سانتی‌متر الكترولیت ریخته می‌شود و بقیه چاه با خاک سرند شده پر می‌شود.
- به طور خلاصه الكترودهای افقی به صورت‌های تسمه‌ای مسی، تسمه‌ای آهن گالوانیزه گرم و سیم مسی مطابق شکل ۴-۲۱ هستند.

- حداقل سطح مقطع تسمه مسی ۵۰ میلی‌متر مربع و ضخامت ۲ میلی‌متر
- حداقل سطح مقطع تسمه فولادی گالوانیزه گرم ۹۰ میلی‌متر مربع و ضخامت ۳ میلی‌متر



شکل ۴-۲۱. الکترو تسمه‌ای یا سیمی

حداقل سطح مقطع مجاز سم مسی چند مفتولی ۲۵ میلی‌متر مربع و حداقل قطر هریک از مفتول‌های تشکیل‌دهنده ۱/۷ میلی‌متر.

۴-۱۹. ساختمان و جنس الکترو صفحه‌ای مشبک (مسی یا آهن گالوانیزه)

روش‌های مختلفی از اجرای ارت مانند سیم یا نوار ارت، روش ارت به وسیله راد، اجرای ارت به وسیله لوله، ارت به وسیله صفحات مسی و یا ارت از طریق لقاح صفحه یا زمین‌گیری از طریق شبکه‌های آب وجود دارد. متداول‌ترین روش‌های اجرای ارت به وسیله لوله و ارت به وسیله صفحه مسی می‌باشد.

۴-۱۹-۱. مش ارت

مش ارت روشی است که از طریق اتصال تعدادی میله‌های مسی به صورت یک شبکه پنجره‌ای مطابق شکل ۴-۲۲ به دست می‌آید این روش می‌تواند با محدود کردن پتانسیل زمین، مقاومت زمین را کاهش دهد. مش ارت اکثراً در مکانی استفاده می‌شود که امکان تولید جریان بزرگ خطا بین سطح زمین و زمین وجود دارد. در چنین شرایطی طراحی مش ارت می‌تواند از بروز

خطر برای شخصی که یک سطح رسانا در سیستم الکتریکی (مانند بدنه تجهیزات که نباید برقرار باشند) را لمس کرده جلوگیری کند و هیچ جریان الکتریکی از بدن شخص عبور نکند.



شکل ۴-۲۲. شبکه پنجره‌ای مش ارت

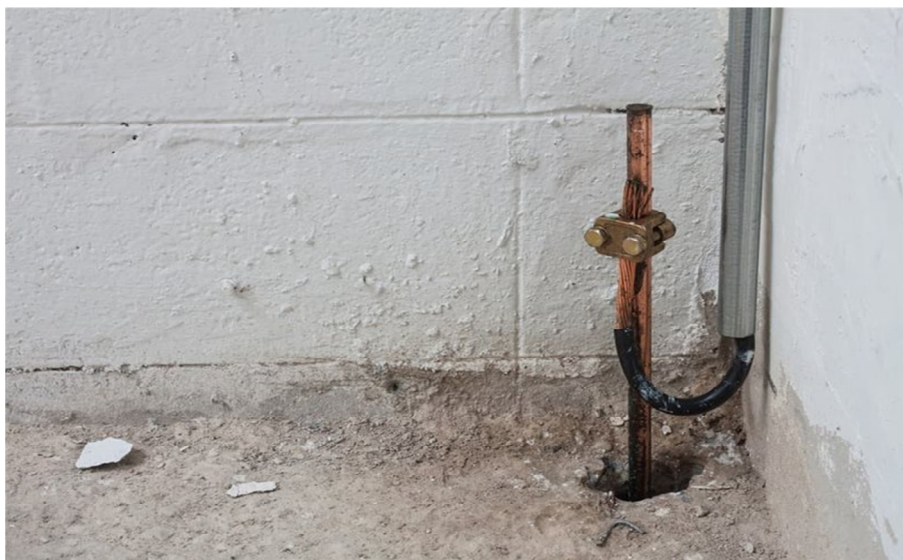
۴-۱۹-۲. الکتروود سطحی به زمین

در سیستم توزیع برق فشار ضعیف، در مواردی که تعداد مشترکان زیاد است لازم است با احداث تعدادی الکتروود ساده‌تر، مقاومت زمین مطلوب به دست آید. یکی از اصلی‌ترین کاربردهای این روش، اتصال مکرر هادی PEN به زمین در سیستم TN است که در نزدیکی هر دکل یا نقاط دیگر انجام می‌گیرد. در این روش انتهای بالایی الکتروود میله‌ای تقریباً هم سطح زمین است و یا فاصله آن با سطح زمین در مقایسه با انواع دیگر اتصال به زمین بسیار کم است. از این رو به آن ارت سطحی نیز گفته می‌شود. از این روش در مکان‌هایی با شرایط زیر استفاده می‌شود:

- فضای لازم و امکان حفاری گسترده در اطراف محل وجود نداشته باشد.
- ارتفاع از سطح دریا پائین باشد، مانند شهرهای شمالی و جنوبی کشور.
- پستی و بلندی محل کم باشد.

۴-۱۹-۳. نحوه اجرا

در این روش از یک الکتروود زمین ساده به صورت یک میله یا یک لوله مسی به صورت قائم در زمین کوبیده یا دفن می شود. در چنین شرایطی برای دفن لوله یا میله، چاهی به عمق حداقل ۲ متر حفر می شود و پس از قرار دادن میله یا لوله در وسط چاه، فضای اطراف الکتروود با مواد کاهنده مقاومت پر می گردد. در محل خروج میله یا لوله از زمین یک چاهک بتنی یا آجری با ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی متر ایجاد می گردد. طول الکتروود و عمق چاه حفر شده باید به گونه ای انتخاب شود که سر لوله یا میله حداقل ۲۰ سانتی متر بالاتر از کف چاهک مطابق شکل ۴-۲۳ قرار گیرد. چاهک با یک دریچه فلزی متصل به چارچوب بسته می شود و سر الکتروود با بست مخصوص و یا به وسیله جوش به هادی زمین متصل می گردد.



شکل ۴-۲۳. نوع قرارگیری الکتروود در سطح زمین

۴-۲۰. سایر روش های اجرای ارت میله ای

روش های دیگر در مناطق کوهستانی و سنگلاخی و مکان های خاص کاربرد دارد که بنا به مورد با بازدید از محل و اندازه گیری های لازم می تواند طرح مناسب تهیه گردد.

اجرای ارت در ارتفاعات

ارتفاعات کشور را با توجه به نوع زمین و خاک می توان به سه دسته تقسیم کرد:

- ۱- ارتفاعات خاکی که امکان حفاری و کوبیدن میله فولادی در آنها وجود ندارد.
- ۲- ارتفاعات سنگلاخی که امکان حفاری عمیق در آنها وجود ندارد ولی می توان شیار ایجاد کرد.

۳- ارتفاعات صخره‌ای

برای حالت اول: با کوبیدن ROD می توان سیستم ارت را اجرا کرد.

۴-۲۰-۱. روش اجرایی ارت به روش ROD کوبی

مصلح مورد نیاز همانند روش عمقی می باشد با این تفاوت که به جای صفحه مسی از میله‌های مغز فولادی ۱/۵ متری و با قطر ۱۴ میلی‌متر و با روکش مس استفاده می‌نماییم.

در اجرا کانالی به عمق ۸۰ سانتی‌متر و عرض ۴۵ سانتی‌متر و طول X حفر می‌نماییم طول کانال را به دو روش می‌توان تعیین نمود:

الف) اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک و انجام محاسبات لازم

ب) چنانچه سایت دارای دکل خود ایستا می‌باشد، برای حفر کانال از فاصله بین اتاق تجهیزات و دکل و همچنین اطراف دکل استفاده شود.

ج) چنانچه دکل روی ساختمان قرار داشته حفاری با در نظر گرفتن اتاق دستگاه و دکل در مسیری که زمین رطوبت بیشتری دارد انجام گیرد.

د) پس از آماده شدن کانال ۲ میله به فاصله ۳ متر از یکدیگر در زمین می‌کوبیم به گونه‌ای که حدود ۱۵ سانتی‌متر از میله‌ها بیرون بمانند. سپس ۲ میله را با کابل مسی یا کابل برق به هم وصل نموده و با دستگاه ارت سنج مقاومت زمین ایجاد شده را اندازه می‌گیریم، چنانچه مقاومت نشان داده شده با دستگاه بالای ۴ اهم بود میله دیگری به فاصله ۳ متر از میله دوم می‌کوبیم و با اتصال ۳ میله به هم مقاومت زمین ایجاد شده را اندازه‌گیری می‌نماییم. این کار را تا زمانی که مقاومت اندازه‌گیری شده به زیر ۴ اهم برسد ادامه می‌دهیم بعد از آنکه به تعداد کافی میله کوبیده شد سیمی را که به شینه مسی نصب شده در اتاق دستگاه متصل است به تک تک میله‌ها جوش داده و به سمت دکل می‌بریم.

ه) برای پرنمودن کانال ابتدا با بنتونیت روی سیم مسی را پوشانده (در زمین‌هایی که رطوبت کافی ندارند) و سپس با خاک سرند شده کشاورزی یا خاک نرم کانال را پر می‌نماییم. (و) مقاومت زمین اجرا شده را اندازه‌گیری نموده و ثبت می‌نمائیم (بعد از پر کردن کانال مقاومت زمین اندازه‌گیری شده کاهش خواهد داشت و باید کمتر از ۳ اهم باشد). یادآوری: در مناطق سردسیر عمق کانال حفاری شده و به‌طور کلی مسیر عبور کابل مسی خیلی مهم می‌باشد و نباید در معرض یخبندان قرار گیرد.

برای حالت دوم: شیارهایی به‌صورت ستاره و پنجره ای ایجاد کرده و تسمه مسی را در داخل شیارها خوابانده و برای کاهش مقاومت بر روی تسمه را با مخلوط خاک و بنتونیت می‌پوشانیم. کلیه اتصالات در زیر خاک بایستی به یکدیگر جوش داده شود. برای حالت سوم: در زمین‌های صخره‌ای که امکان حفاری وجود ندارد با مصالح ساختمانی کانال ساخته، تسمه مسی را در کف کانال خوابانده و کانال را با بنتونیت پر می‌کنیم. طول کانال‌ها بایستی به اندازه‌ای باشد که مقاومت اندازه‌گیری شده زیر ۳ اهم گردد.

۴-۲۱. الکتروود اساسی زمین

یکی از متداول‌ترین روش‌های احداث سیستم زمین اساسی، حفر چاه اتصال زمین می‌باشد. عمق چاه زمین از منطقه‌ای شروع می‌شود که نم طبیعی به طور دائم وجود داشته باشد. در این روش برای انتخاب الکتروودی که داخل چاه قرار می‌گیرد، می‌توان از سیم لخت چند مفتولی مسی مطابق شکل ۴-۲۴ و یا از الکتروود صفحه‌ای مسی که در ته چاه قرار می‌گیرد و به‌وسیله سیم لخت چند مفتولی مسی متصل به صفحه به ترمینال اصلی زمین وصل می‌شود، استفاده نمود. انتخاب سیم چند مفتولی مسی به‌عنوان الکتروود هم از نظر اقتصادی و هم از نظر یکپارچه بودن الکتروود و هادی اتصال زمین تا ترمینال اصلی زمین، نسبت به الکتروود صفحه‌ای مسی که ایجاد نقاط اتصال سیم به صفحه با جوش یا بست و پیچ و مهره مخصوص در آن اجتناب‌ناپذیر است، برتری محسوسی دارد. برای این منظور می‌توان در انتهای چاه سیم لخت چند مفتولی مسی را به‌صورت ۵ حلقه مارپیچ به قطر هر حلقه حدود ۵۰ سانتی‌متر پیچیده و در زمین قرار داد و بقیه سیم را به‌صورت یک پارچه تا سطح زمین و از آنجا تا محل

ترمینال اصلی اتصال زمین هدایت کرد. به منظور اثر بخشی بیشتر بهتر است که حلقه ها نسبت به هم فاصله ۱۰ سانتی متری داشته باشند.



شکل ۴-۲۴. الکتروود چند مفتولی مسی

۴-۲۲. چاه ارت

سیستم اتصال به زمین یا ارتینگ اولین قدم در جهت تأمین ایمنی الکتریکی است. یک سیستم ارتینگ استاندارد باعث می شود تا ایمنی همه کاربران در اثر برخورد آذرخش یا برق گرفتگی به وسیله اتصال کوتاه یا اتصال الکتریسیته به بدنه فلزی انواع دستگاه های برقی در منزل، کارگاهها، ادارات، مراکز درمانی، غذایی، دارویی، کشاورزی و غیره تضمین شود. چاه ارت مطابق شکل ۴-۲۵ بخشی از سیستم ارتینگ است که به منظور تخلیه فوری جریان الکتریکی ناخواسته به زمین ایجاد می شود. چاه ارت در واقع محلی است که بدنه تجهیزات الکتریکی، لوازم جانبی و غیره برای تخلیه ایمن جریان الکتریکی در صورت بروز هرگونه مشکل، جریان اضافه به آن منتقل می شود زیرا یک زمین مناسب و مطمئن برای تأمین ایمنی تجهیزات الکتریکی و جان کاربران در برابر شوک الکتریکی به دلیل مقاومت کم ضروری است.



شکل ۴-۲۵. چاه ارت به عنوان بخشی از سیستم ارتینگ

۴-۲۲-۱. ضرورت چاه ارت

هدف از بکارگیری اتصال زمین یا چاه ارت:

۱. حفاظت و ایمنی جان انسان
۲. حفاظت و ایمنی وسایل و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
۳. فراهم آوردن شرایط ایده‌آل جهت کار
۴. جلوگیری از ولتاژ تماسی
۵. حذف ولتاژ اضافی
۶. جلوگیری از ولتاژهای ناخواسته و صاعقه
۷. اطمینان از قابلیت کار الکتریکی
۸. کاهش افت ولتاژ و افت توان بر اثر عدم تعادل بار در سیستم

۴-۲۲-۲. انواع چاه ارت

به‌طور کلی دو روش اساسی برای اجرای ارت حفاظتی تعریف شده است که در ذیل با تشریح آنها به موارد استفاده و همچنین تجهیزات مورد نیاز هر روش و نحوه اجرای آنها اشاره خواهد شد:

۱. چاه ارت عمقی

این مدل یک روش متداول است. با این روش ابتدا یک چاه با عمق بالا حفر می‌شود و سپس با قرار دادن صفحه مسی در داخل آن با مواد مخصوص پر می‌شود. از این روش به‌طور معمول به‌عنوان چاه ارت برای اجرای ارت ابزار و دستگاه‌های برقی در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود.

۲. چاه ارت سطحی

این روش زمانی انجام یا پیشنهاد می‌گردد که امکان حفر چاه عمیق وجود ندارد.

- ارتفاع از سطح دریا نظیر شهرهای شمالی و جنوبی کشور پائین باشد.
- پستی و بلندی محوطه سایت کم باشد.
- فاصله بین دکل و سایت زیاد باشد.

۴-۲۲-۳. وسایل چاه ارت عمقی

۱. **صفحه مسی:** صفحه مسی چاه ارت در ابعاد مختلف و به قطر ۳ و ۵ میلی‌متر تولید می‌شود. ابعاد این صفحه برای مناطق مرطوب ۴۰*۴۰، نیمه مرطوب ۵۰*۵۰ و خشک ۷۰*۷۰ مناسب است. هر چه ابعاد صفحه بزرگتر و قطر آن بیشتر باشد رسانایی بهتری خواهیم داشت و طول عمر چاه نیز بالاتر می‌رود. در حالت عادی و برای اتاق سرور صفحه مسی ۶۰*۶۰ با درجه خلوص بالا مناسب است.
۲. **سیم مسی بدون روکش:** سیم مسی بدون روکش با قطر ۵۰ تا ۹۵ برای اتصال صفحه به شینه ارت انتخاب می‌شود.
۳. **مواد کاهنده:** این مواد برای کاهش مقاومت خاک است که دور صفحه مسی ریخته می‌شود. در قدیم از مخلوط ذغال و نمک به‌عنوان کاهنده استفاده می‌شد. اما اکنون از بنتونیت یا سایر مواد تولید شده دارای تاییدیه استفاده می‌شود.
۴. **ژل کاهنده:** این ژل به‌عنوان ترکیب با مواد کاهنده سبب کاهش بیشتر مقاومت خاک و بالاتر رفتن عمر چاه می‌گردد.
۵. **خاک رس یا خاک سرند شده:** برای پر کردن بقیه فضای چاه استفاده می‌شود.

۶. لوله پولیکا: یک لوله پلیکا سوراخ سوراخ شده که برای آبیاری و مرطوب سازی چاه ارت استفاده می شود.
۷. جعبه ارت: بر روی دیوار یا در محلی نصب شده و سیم ارت چاه و سایر سیم های ارت در آن سرپندی می شود.
۸. کابلشو: برای اتصال سر کابل مسی چاه به شینه ارت متناسب با سایز کابل.
۹. اتصال سیم به صفحه مسی: اتصال سیم به صفحه مسی مطابق شکل ۴-۲۶ بسیار مهم است و هرگز نباید از اتصالات سست برای اتصال هادی به صفحه مسی استفاده کرد. برای اتصال صفحه به هادی می توان از یک کابلشوی مسی پرسی مناسب که به کمک دو عدد پیچ مجهز به مهره های اصلی و قفل شونده از جنس مس به صفحه محکم شده است استفاده نمود. همچنین می توان اتصال هادی به صفحه را با جوش مناسب انجام داد. برای جوش دادن قطعات مسی به یکدیگر، جوش برنج یا نقره مناسب تر است و در صورت عدم دسترسی به این نوع جوش از جوش کدولد (Cadweld) استفاده گردد. مقطع سیم مسی مورد استفاده به عنوان هادی اتصال زمین باید ۵۰ میلی متر باشد.



شکل ۴-۲۶. اتصال سیم به صفحه مسی مطابق

۴-۲۳. انواع چاه ارت الکتریکی

چاه ارت الکتریکی را به طور کلی می توان به سه نوع زیر تقسیم کرد:

۱) چاه ارت مستقیم به عنوان مثال اتصال مستقیم نقطه صفر ترانسفورماتور و نقطه ای از سیم رابط بین دو ژنراتور جریان دایم به ارت.

۲) چاه ارت غیرمستقیم: به عنوان مثال اتصال نقطه صفر ژنراتور به وسیله یک مقاومت بزرگ به ارت یا اتصال نقطه صفر ستاره ترانسفورماتور از طریق یک سلف بزرگ به ارت.

۳) چاه ارت بار: در این نوع چاه ارت نقطه صفر یا هر نقطه از شبکه که دارای پتانسیل نسبت به ارت باشد از طریق یک فیوز فشارقوی (الکتروود جرقه) به ارت وصل می شود. برخی از اصطلاحاتی که در چاه ارت به کار می روند شامل موارد زیر می باشند.

- ارت: ارت در این مبحث به معنی نوع و جنس خاک است. مانند خاک رس، ماسه، شن، سنگلاخ، باتلاق، مرداب و غیره.
- میل ارت: میل ارت عبارت است از یک هادی یا فلز در هر شکل مانند فلز صفحه ای، لوله ای، طنابی، (پروفیل) که بایستی در زمین چال شده و با زمین ارتباط برقرار کند که اصطلاحاً در این بحث به عنوان میل نام برده می شود.

صفحه مسی در مناطق مختلف با ابعاد متفاوت بکار برده می شود به عنوان مثال ابعاد

۴۰/۵*۴۰*۴۰ سانتی متر

برای مناطق شمالی کشور و ۵۰/۵*۵۰*۵۰ سانتی متر برای مناطق نیمه خشک مانند تهران

و ۷۰/۵*۷۰*۷۰ سانتی متر برای مناطق کویری و ابعاد ۹۰/۵*۱۵*۹۰ برای مناطق کوهستانی استفاده شده است.

اتصال سیم به صفحه: اتصال سیم به صفحه مسی بسیار مهم است و در هیچ شرایطی نباید از طریق بست به صفحه انجام گیرد. بلکه این اتصال بایستی از طریق جوش دادن سیم به صفحه انجام شود و برای استحکام بیشتر لازم است سیم به صفحه از طریق ۲ عدد بست محکم کرد. برای جوش دادن قطعات مسی به یکدیگر بایستی از جوش برنج یا نقره استفاده شود.

- ارت همسطح: عبارت است از سطح زمینی که در اثر عبور جریان از آن اختلاف پتانسیل محسوسی در بین نقاط مختلف آن به وجود نخواهد آمد. ارت هم سطح تقریباً ۲۰ متر از میل (فلز چال شده) فاصله دارد.

- ارت لوله‌ای: ارت لوله ای یکی از بهترین روش‌ها در اتصال به زمین به دلیل ارزان بودن است. در این حالت یک لوله با قطر ۳۸ میلیمتر و با طول ۲ متر به صورت عمودی در عمق زمین قرار داده می‌شود، هرچند که عمق زمین و طول لوله به نوع خاک وابسته است و هیچ قانون سختی در این رابطه وجود ندارد. شرایط لوله گذاری در زمین به ترتیب زیر است:

- نوع سیمی که برای اتصال بین سطح زمین و لوله انتخاب می‌شود بایستی متناسب با خاک مربوطه باشد و این سیم از طریق پیچ و مهره به لوله وصل شود
- فضای اطراف لوله بایستی با مخلوطی از ذغال و نمک برای افزایش شرایط خاک و مؤثر بودن سیستم زمین پر شود.
- یک سر سیم متصل به این لوله بایستی در سطح زمین برای تست دوره‌ای استمرار میزان زمین قرار گیرد.
- در این سیستم لازم است در تابستان به‌طور دوره‌ای ۳ تا ۴ سطل آب در چاهک بالای این لوله در سطح زمین برای استمرار میزان مؤثر زمین ریخته شود.

- میل فرمان: عبارت است از سیم یا مفتول یا صفحه فلزی که متصل به فلز هادی می‌شود و برای تنظیم افت پتانسیل و کوچک کردن ولتاژ تماسی خطرناک به کار می‌رود.

این الکترود معمولاً یک میله فولادی نوک‌تیز است که بدنه آن گالوانیزه شده و یا آن را با لایه‌ای از مس پوشانده‌اند تا دوام آن در زیر خاک افزایش یافته و از پوسیدن سریع آن جلوگیری شود. برای نصب این الکترود نیازی به حفر چاه نیست و آن را در یک زمین بکر به طور عمودی می‌کوبند. ساختار آن به دلیل فولادی بودن مغز آن برای کوبیدن سخت و محکم بوده و با وارد شدن ضربه به آن در خاک فرو می‌رود. انتهای این میله به میزانی سخت و محکم است که قادر به تحمل ضربه‌های چکش نیز می‌باشد. البته در بعضی مواقع برای اینکه انتهای این میله در اثر ضربه‌های چکش تغییر شکل ندهد یک قطعه فولادی بسیار سخت اضافی را به انتهای آن متصل می‌کنند و برای فرو روفتن سریع‌تر آن در خاک، نوک میله را نیز تیز کرده یا یک قطعه فولادی نوک‌تیز و سخت را به سر آن متصل می‌کنند. در این سیستم ارتینگ، یک میله مسی با قطر ۱۲/۵ میلی‌متر یا استیلی با قطر ۱۶ میلی‌متر که طول آنها کمتر از ۳ متر

نباشد را به صورت قائم در زمین فرو می کنند. طول این میله ها که گاهاً حدود ۳ تا ۵ متر می باشد و برای اینکه در هنگام کوبیدن میله در زمین های سخت کج نشود، در بعضی مواقع این میله ها به گونه ای طراحی می شود که پس از کوبیدن میله در زمین بتوان به کمک یک واسط، میله دومی را به انتهای آن وصل و آن در زمین کوبید. این عمل را با میله سوم و اضافه تر نیز برای بدست آوردن یک الکتروود بلندتر در عمق زمین می توان ادامه داد.

مهمترین مزیت این نوع الکتروود، اجرای آسان و ارزان آن می باشد. بدین ترتیب که نیاز به هزینه های اضافی در حفر چاه، خرید الکتروولیت و غیره نیست و مقاومت زمینی که از این طریق به دست می آید بیش از الکتروود صفحه ای است.

- سیم ارت: شامل سیم رابط بین ارت کننده (میل) و هادی در کف زمین است و آن قسمت از این سیم که در زمین قرار گرفته، جزئی از میل محسوب می شود.
- مقاومت چاه ارت: واحد اندازه گیری چاه ارت به صورت مقاومت چاه و با واحد اهم است. میزان این مقاومت برای ساختمانهای مسکونی زیر ۵ اهم و برای اتاق سرور، اماکن حساس و مراکز درمانی زیر ۲ اهم می باشد.

۴-۲۴. روش اجرای ارت به روش عمقی

برای اجرای ارت به روش عمقی مراحل مختلفی بایستی دنبال شود که عمده ترین آن مراحل به ترتیب زیر می باشد:

۱- انتخاب محل چاه

برای احداث این نوع چاه بایستی محل هایی را انتخاب کرد که دارای پایین ترین سطح نسبت به سطح زمین باشد و در کمترین عمق دسترسی به رطوبت امکان پذیر باشد. این چاه را می توان در نقاطی حفر کرد که در معرض بیشترین رطوبت و آبخیز از قبیل زمینهای چمنزار، فضاهاى سبز، باغچه ها و غیره باشد.

۲- عمق چاه

باتوجه به مقاومت ویژه زمین، عمق چاه از حداقل ۳ متر تا ۲۵ متر و قطر آن با توجه به ابعاد الکتروود دفن شده می‌تواند از حدود ۸۰ سانتی‌متر به بالا باشد. بدین ترتیب که زمین‌های با خاک برخوردار از مقاومت ویژه کمتر نظیر خاک‌های کشاورزی و رسی به عمق حفاری کمتر نیاز دارند و زمین‌های شنی و سنگلاخی با مقاومت ویژه بیشتر نیازمند حفر چاه با عمق بیشتر می‌باشند. در کشور ما به دلیل پایین بودن سطح رطوبت زمین از الکتروود صفحه‌ای در عمق بیش از ۳ متر (حدود ۱۵ تا ۲۵ متر) استفاده می‌شود. در این رابطه برای اندازه مقاومت ویژه خاک معمولاً از دستگاه‌های مشخص استفاده می‌شود.

۳- حفر چاه ارت

با توجه به شرایط محیط، هر چاه با عمق مناسب و در مکان مناسب حفر می‌گردد. در صورتیکه تا عمق مشخصی بسته به شرایط جغرافیایی منطقه به رطوبت نرسد و احتمال داده شود که در عمق بیشتر نیز به رطوبت نخواهد رسید نیازی به حفر چاه عمیق‌تر نیست و به صورت مصنوعی به مرطوب‌سازی چاه اقدام می‌گردد. البته یک شیاری به عمق ۶۰ سانتی‌متر نیز از چاه تا محل استقرار تجهیزات که نیاز اتصال به زمین دارند به‌عنوان مسیر دفن سیم چاه ارت به سمت برقگیرها و همچنین ارت داخل ساختمان حفر می‌گردد. در صورتی که هر دو مسیر ۲ هادی برقگیر و ارت ساختمان مشترک باشد بهتر است مسیر دو سیم ایزوله گردد. در این رابطه مسیر سیم‌ها بایستی دارای کوتاه‌ترین مسیر و سیم میله برقگیر و ارت حتی الامکان مستقیم و بدون پیچ و خم باشد و نبایستی خمهای تند داشته باشد و در صورت نیاز به خم زدن سیم در طول بیش از ۵۰ سانتی‌متر انجام گیرد.

۴- پر کردن چاه ارت

برای پر کردن چاه ارت لازم است مراحل زیر رعایت شود:

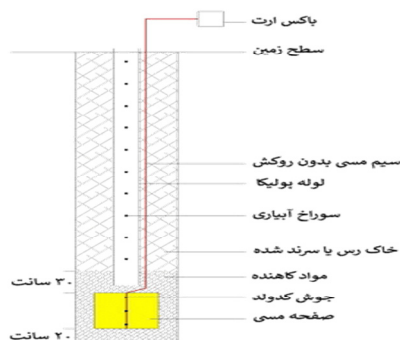
- ابتدا چاه با انتخاب عمق محاسبه شده ای بر اساس اندازه‌گیری قبلی حفر می‌شود، تا به نم (رطوبت) برسد. توجه شود که نمی‌توان برای ابعاد الکتروود و ارتفاع چاه زمین عدد خاصی را مشخص نمود زیرا نیاز به محاسبات دقیق دارد.

- یک محلول آب و نمک به میزان حدود ۲۰ لیتر را تهیه کرده و به گونه‌ای در کف چاه می‌ریزیم که تمام کف چاه را در برگیرد. سپس به مدت ۲۴ ساعت صبر کرده و بعد مراحل زیر را انجام می‌دهیم.
- به طول ۲۰ سانتی‌متر از ته چاه، خاک رس یا خاک نرم می‌ریزیم.
- به مقدار لازم (حدود ۴۵۰ کیلوگرم معادل ۱۵ کیسه ۳۰ کیلوگرمی) خاک بنتونیت را با آب مخلوط کرده و به صورت دوغاب در می‌آوریم و مخلوط حاصل را به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از کف چاه می‌ریزیم هر چه مخلوط حاصل غلیظ‌تر باشد کیفیت کار بهتر خواهد بود. مدت زمانی باید تأمل کرد تا دوغاب بنتونیت در اصطلاح، خودش را بگیرد به نحوی که هنگام قرار دادن صفحه داخل چاه، در دوغاب بنتونیت فرو نرود.
- **یادآوری:** اجرای چاه ارت با بنتونیت از نظر اقتصادی مناسب است، زیرا قیمت پایین‌تر و کیفیت مناسب‌تری نسبت به ذغال و نمک دارد.
- یک صفحه مسی با ابعاد حدودی 50cm*50cm و ضخامت ۲ میلی‌متر (ابعاد و ضخامت مذکور به میزان حداقل مقدار مجاز بوده و بسته به شرایط می‌تواند افزایش داشته باشد) که هادی اتصال زمین به آن متصل شده است، در وسط چاه به صورت عمودی و روی لایه بنتونیت در مرکز چاه قرار داده می‌شود. بهترین روش اتصال صفحه به هادی مسی، جوش احتراقی است. به دلیل اینکه هر اتصال با پیچ و مهره و کابلشو همواره باید قابل بازرسی باشد، اتصال صفحه دفن شده در چاه با هادی زمین با این روش توصیه نمی‌شود.
- صفحه مسی را به ۲ سیم مسی نمره ۵۰ جوش داده و این سیم‌ها را یکی به میله برق‌گیر روی دکل و دیگری به شینه داخل ساختمان می‌بریم. طول سیم‌ها بایستی متناسب با طول مسیر انتخاب شده باشد.
- دوغاب بنتونیت را درون چاه اطراف صفحه مسی ریخته می‌شود تا کاملاً آن را بپوشاند و تا بالای صفحه پر شود. پس از آن باید مدت زمانی سپری شود تا دوغاب بنتونیت کاملاً خود را بگیرد. توجه داشته باشید که معمولاً برای چاهی به قطر حدود ۸۰ سانتی‌متر و صفحه‌ای به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر، حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بنتونیت و ۳ برابر آن آب لازم است.

- برای شارژ رطوبت چاه در مناطقی که بیم خشک شدن و ترک خوردن بتنویت می-رود، یک لوله پلیکای سوراخ شده را به طور مورب در مرکز چاه و در بالای صفحه مسی قرار می دهند و داخل لوله پلیکا را به میزانی شن می ریزند که تا ۵۰ سانتی متر از انتهای لوله پر شود این لوله برای تامین رطوبت ته چاه می باشد و در فصول گرم سال تزریق آب از این لوله انجام می گردد.

یادآوری: در مواردی که چاه ارت در باغچه حفر شده است و یا ته چاه رطوبت کافی وجود دارد نیازی به گذاشتن این لوله نیست.

پس از قرار دادن لوله پلیکا به ارتفاع ۳۰ سانتی متر از بالای صفحه مسی آن را با دوغاب آماده شده پر می کنیم.



شکل ۴-۲۷. مراحل مختلف یک پاه ارت

پس از آن که بتنویت ریخته شده بر روی صفحه مسی خود را گرفت، مقداری بتنویت خشک (در حد یک لایه نازک) روی لایه قبلی ریخته می شود و الباقی چاه تا ۱۰ سانتی متر مانده به لبه چاه، با خاک معمولی همراه با ماسه یا خاک سرنده شده کشاورزی پر کرده و ۱۰ سانتی متر باقیمانده از لبه چاه (سطح زمین) مطابق شکل ۴-۲۷ را برای نفوذ آب باران و آب های سطحی به داخل چاه با شن و سنگریزه پر می کنیم.

پس از اجرا، جهت سهولت در امر نگهداری و بازرسی سیستم اتصال زمین، باید در بالای هر الکتروود دریچه بازدید با درپوش مناسب مطابق شکل ۴-۲۸ ساخته و نصب شود. لازم است برای الکتروود اساسی یک چاهک



شکل ۴-۲۸. دریچه بالای چاه

و دریچه بازدید با حداقل ابعاد ۳۰*۳۰*۳۰ سانتی متر ایجاد کرد و برای تزریق آب به الکترود زمین از یک لوله PVC که در تمام جهات سوراخ دار است و داخل آن با سنگریزه پر شده، از ۱۰ سانتی متری دریچه سطح زمین تا لبه مواد کاهنده ته چاه استفاده می شود.

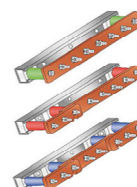
۴-۲۵. همبندسازی سیستم ارتینگ

به منظور کاهش اثرات الکترومغناطیسی و طبق استاندارد IEC61000-5-2 و همپتانسیل کردن آنها سیستم های ارتینگ با هم همبند می شوند. در این صورت بین اتصالات از ادوات حفاظتی مطابق شکل ۴-۲۹ استفاده می کنیم تا در صورت بروز حادثه از انتقال جریان شدید بین آنها جلوگیری به عمل آید.

شینه ارت

EARTHING BUS BAR				
Code	Size (mm)	Qty. of Holes	Material	Description
GS-EBB01	300x40x5	6	Tinned Copper & Copper & Stainless Steel	With Or Without Disconnecting Link
GS-EBB02	400x40x5	10		
GS-EBB03	500x40x5	10		
GS-EBB04	500x40x5	7		
GS-EBB05	250x50x5	4		
GS-EBB06	200x50x5	2		
GS-EBB11	300x50x5	6		
GS-EBB12	400x50x5	7		
GS-EBB13	500x50x5	10		
GS-EBB14	850x50x5	10		
GS-EBB15	500x50x5	10		
GS-EBB16	300x50x5	6		
GS-EBB21	500x50x10	10		
GS-EBB22	620x60x10	6		
GS-EBB23	300x60x10	6		

A wide range can be offered according to your requirements



شکل ۴-۲۹. ادوات حفاظتی در همبندسازی چاه ارت

فصل پنجم:

ایمنی و حفاظت از سیستم شبکه برق رسانی

۵-۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل اساسی در فرآیند فعالیت ابزار و تجهیزات الکتریکی، الکترونیکی و دیجیتالی فعال در مراکز درمانی و غیره جریان برق است و از آنجایی که تجهیزات پزشکی این مراکز دارای ویژگیها و حساسیت منحصر بفرد هستند انرژی مورد استفاده بایستی سالم، مطمئن، مستمر، پیوسته، پایدار و دارای توان کافی باشد تا امکان تضمین سلامت و کیفیت فعالیت عناصری از قبیل: سیستم‌های حرارتی و برودتی، روشنایی عمومی، الکتریکی و الکترونیکی فعال در بخش‌های خدمات عمومی، تخصصی و غیره، آسانسورها، بالابرها، موتورخانه، تأسیسات اصلی و فرعی، هواسازها، فن کویل ها، سردخانه ها، سیستم‌های فعال در بخش اتوکلاو، فاضلات، زباله سوز، دفع زباله، آتش سوزی و اطفاء حریق، سیستم برق اضطراری و غیره را فراهم آورند. در غیر اینصورت بروز هر نوع مشکل در سیستم های برق رسانی علاوه بر ایجاد تأثیرات نامطلوب در عملکرد، دقت، کارایی و عمر مفید ابزار، تجهیزات و سیستم‌ها می‌تواند زمینه هزینه های گزاف نظیر هزینه تعمیرات اتفاقی، هزینه‌های مربوط به زمان خواب تجهیزات، خسارات ناشی از لغو گارانتی، عدم ایمنی کافی برای کاربران و جایگزینی تجهیزات را به وجود آورد. لذا استقرار سیستم نگهداری پیشگیرانه به‌عنوان بهترین روش در این رابطه است که می‌تواند آن دسته از برنامه ها، فرآیندها و روش‌های اجرایی که بمنظور کسب اطمینان از عملکرد صحیح و دقت نتایج خروجی و ایمنی کاربران و تجهیزات طی دوره‌های مشخص شده^(۱۲) ضروری است به‌وسیله افراد با تجربه و آموزش دیده فراهم آورد.

نگهداری پیشگیرانه معمولاً به بازدیدهایی اطلاق می‌شود تا در یک دوره زمانی به‌صورت هفتگی، ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه^(۱۳)، وضعیت عملکرد و شرایط فیزیکی هر بخش الکتریکی، الکترونیکی، مکانیکی، پنوماتیکی، برودتی، کنترلی، حفاظتی، ایمنی و همچنین تمیزکاری،

روغن کاری کلیه ابزار، تجهیزات پزشکی و سیستم‌های فعال در بخش‌های یک بیمارستان یا مرکز خدمات درمانی نظیر انتقال خون براساس چک لیست‌ها، فرم‌ها، توصیه‌های شرکت سازنده یا سازمان‌های تدوین‌کننده استاندارد داخلی نظیر سازمان ملی استاندارد یا خارجی از قبیل Who, Ecri, IEC60601-1, ISO17025 و غیره مورد ارزیابی قرار گیرند. به عبارت دیگر نگهداری دوره ای شامل هر نوع اقدام ضروری به جز عمل تعمیر در یک دوره زمانی مشخص با هدف دسترسی به عملکرد صحیح، دقیق، منظم و ایمن دستگاه‌ها و سیستم‌ها است تا از این طریق کلیه فعالیت‌ها از قبیل کنترل، بازرسی و بازبینی دوره‌ای کمی و کیفی همه عوامل تأثیرگذار در نتایج خروجی ابزار و دستگاه‌ها بررسی شوند.

سیستم مدیریت نگهداری تجهیزات چنانچه به‌طور مستمر در اجرای بازدیدهای برنامه ریزی شده اعمال شود، به‌طور قطع در نوع عملکرد، میزان دقت و صحت نتایج ابزار و دستگاه‌ها، اطمینان در ایمنی و حفاظت کاربران و دستگاه‌ها، افزایش طول عمر و کاهش هزینه‌های تعمیر و جایگزینی آنها^(۱۴-۱۶) نیز می‌تواند نقش تعیین‌کننده داشته باشد.

۵-۲. الزامات اساسی در ایمنی و حفاظت از سیستم برق‌رسانی

سیستم‌های تأسیسات برقی یک بیمارستان معمولاً شامل: سیستم‌های تأمین نیروی برق اصلی و اضطراری، تابلوهای اصلی فشار ضعیف و فشار متوسط برق، تابلوهای توزیع فرعی و نیمه اصلی برق، سیستم‌های برق‌رسانی به آسانسورها، تجهیزات موتورخانه‌ها، پمپ‌های آب، هواسازها، هواکش‌ها، لوازم و وسایل آشپزخانه، آبدارخانه، دستگاه‌های ضدعفونی و گندزدایی، دستگاه تصفیه فاضلاب، دستگاه زباله سوز، سردخانه‌ها، سیستم کابل کشی توزیع برق و روشنایی محوطه، سیستم روشنایی ساختمان، پریزهای مصارف عمومی و اختصاصی برق، سیستم پریزهای فن‌کویل‌ها، ابزار و تجهیزات پزشکی، تابلوهای برق ایزوله برای بخش‌های مختلف، سیستم اتصال زمین، سیستم حفاظت در برابر آذرخش (سیستم‌های حفاظت خارجی و داخلی ساختمان) و غیره هستند که برای تضمین ایمنی و استمرار فعالیت آنها نیاز به یک سیستم ایمنی و حفاظت الکتریکی مؤثر و مطمئن می‌باشد. زیرا حفاظت الکتریکی اقداماتی است که در تأسیسات الکتریکی یا فرآیند شبکه برق‌رسانی به‌منظور جلوگیری از خطرات ناشی از جریان برق در امر آسیب و صدمه وارد کردن به کاربران و



دستگاه‌ها^(۱۷ و ۱۸) به کار می‌رود. به همین دلیل رعایت الزامات حفاظت الکتریکی در فرآیند فعالیت یکایک ابزار و تجهیزات بیمارستانی امری ضروری است. بدین دلیل که هرگاه بیماری تحت یک پروسه درمانی یا بیهوشی قرار می‌گیرد، احتمال کاهش مقاومت بدن او جدی است و به طور نرمال پاسخگوی اثرات جریان الکتریکی بر بدن نخواهد بود. هرچند که در مراکز درمانی یا آزمایشگاه‌های تشخیص طبی و غیره ممکن است عوامل مختلفی نظیر نوسانات جریان برق، نظافت، تعمیر و جابه‌جایی تجهیزات منجر به اتصال اجزای الکتریکی دستگاه‌ها به بدنه و در نتیجه باعث برق‌گرفتگی کاربران گردد. در این رابطه یکی از مؤثرترین روش‌ها در ایمن‌سازی ابزار و دستگاه‌های الکتریکی مورد استفاده در زمینه‌های مختلف پزشکی جلوگیری از چنین خطاها همراه با افزایش آگاهی و تجربه کاربران می‌باشد. ضمن اینکه نظارت کافی و مستمر بر سیستم‌های حفاظتی بخش‌های مختلف شبکه برق‌رسانی از قبیل سیم زمین یا هادی حفاظتی (ارت)، هادی اتصال زمین، الکتروود زمین، ترمینال اصلی اتصال زمین، تابلوهای توزیع، هادی‌های همبندی اصلی و اضافی، تجهیزات و کلیدهای حفاظتی و غیره نیز می‌تواند اثرات چشمگیری بر کاهش خطرات برق‌گرفتگی داشته باشد. در این فصل با معرفی انواع ابزار و سیستم‌های حفاظت الکتریکی، مهم‌ترین تجهیزات حفاظتی تضمین‌کننده سلامت کاربران و دستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۳. اتصال زمین

در تمام تأسیسات الکتریکی، چاه ارت همچنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها در تأمین ایمنی و حفاظت کاربران و انواع ابزار و دستگاه‌ها است. کاربرد زمین در تأسیسات الکتریکی بسیار گسترده است، به‌طوری‌که هر نقطه از فرآیند سیستم تولید تا مصرف در انواع فعالیت‌ها را شامل می‌شود. در تأسیسات الکتریکی به‌طور کلی دو نوع زمین الکتریکی و حفاظتی تعریف کرد.

۵-۳-۱. سیستم حفاظت از طریق سیم زمین

این سیستم عاملی در جهت حفظ جان کلیه افراد، نیروها و بیمارانی است که در بخش‌های مختلف بیمارستان به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم با ابزار، وسایل و دستگاه‌هایی کار می‌کنند

که از طریق جریان برق شبکه شهری فعال می‌شوند و لازم است همه این افراد و نیروها در برابر برق‌گرفتگی ایمن باشند. برخی از اقدامات مورد نیاز به ترتیب زیر است:

در بیمارستان‌ها، بدنه یا محفظه فلزی کلیه ابزار، دستگاه‌ها، ماشین آلات، تابلوهای برق و همچنین اسکلت و اجزای فلزی داخلی هر یک آنها که به هر دلیل حامل جریان برق نمی‌باشند لازم است به سیستم اتصال زمین ساختمان یا بدنه آن دستگاه نیز وصل شوند. این نوع اتصال به‌عنوان سیستم اتصال زمین دستگاه‌ها نامیده می‌شود.

۵-۳-۲. حفاظت با عایق کاری

در این نوع حفاظت لازم است بدنه یا تمام قسمت‌های ابزار و دستگاه‌هایی که به‌صورت ساکن در مکانی وصل شده‌اند و امکان تماس با آنها وجود دارد عایق‌کاری شوند. برای این نوع دستگاه‌ها که ساکن هستند می‌توان کف زمین یا دیوارها را نیز عایق‌کاری کرد.

۵-۳-۳. حفاظت به‌وسیله ولتاژ کم

در روش حفاظت از طریق ولتاژ کم لازم است از ترانسفورماتور کاهنده با دو سیم پیچ مجزا استفاده شود. البته ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور بایستی از ۴۲ ولت کمتر باشد و استفاده از اتوترانسفورماتور در این نوع حفاظت مجاز نخواهد بود.

۵-۳-۴. حفاظت به‌وسیله ترانسفورماتور جداکننده

در این سیستم حفاظتی از ترانسفورماتور کاهنده یا با دو سیم پیچ مجزا استفاده می‌شود که ولتاژ خروجی آن بیش از ۴۲ ولت باشد.

۵-۴. مقاومت زمین

مقاومت زمین بستگی به مقاومت ویژه خاک دارد. نمک، ذغال و رطوبت در هدایت الکتریکی زمین تأثیر به‌سزایی دارد. براساس استاندارد IEEE، مقاومت بین زمین و هادی اتصال زمین نباید از ۲ اهم بیشتر باشد. به عبارت ساده، مقاومت سیم زمین هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد ایده‌آل‌تر است.

۵-۵. سیستم اتصال زمین

برای حفاظت جان انسان و همچنین تأمین شرایط فعالیت صحیح تأسیسات برقی و محافظت از سیستم‌های آن و غیره استقرار سیستم‌های زیر ضروری است:

- سیستم اتصال زمین ایمنی
- سیستم اتصال زمین حفاظت سیستم
- سیستم اتصال زمین عملیاتی
- سیستم اتصال زمین صاعقه‌گیر

اتصالات حفاظتی با هدف تأمین ایمنی و حفاظت در شبکه برق رسانی را می‌توان به سه دسته اتصالات نول، زمین حفاظتی و زمین الکتریکی تقسیم کرد. در شبکه برق رسانی هدف از ایجاد اتصال زمین به حداقل رساندن خطر برق‌گرفتگی بیماران و نیروهای مصرف‌کننده برق و جلوگیری از هر نوع آتش‌سوزی می‌باشد. در این رابطه هر گاه یک بخش فلزی ابزار و دستگاه‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف مراکز درمانی به یک سیم برق دار در اثر خرابی کابل متصل شود، فلز بدنه سرعت برق دار شده و چنانچه فردی با قسمت برق دار تماس برقرار کند، دچار شوک شدید خواهد شد که برای جلوگیری از چنین حادثه، لازم است دستگاه‌های مصرف‌کننده برق به سیستم اتصال زمین وصل شوند. در مراکز درمانی با اتصال ابزار و دستگاه‌ها به سیستم برق شبکه شهری یا بیمارستانی انواع زمین نیز تعریف می‌شود که تفاوت بین نول، زمین الکتریکی و زمین حفاظتی برحسب نوع اتصالات آن مشخص می‌شود.

۵-۶. روش‌های تأمین حفاظت الکتریکی

بخش وسیعی از ابزار و تجهیزات مورد استفاده در زمینه‌های مختلف پزشکی و خدمات درمانی از طریق جریان الکتریکی برق فعال و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این تجهیزات حتی در زمانی که دارای فعالیت عادی یا غیرعادی نیز هستند، به‌طور طبیعی نباید هیچ نوع خطری را برای بیمار یا کاربر، افراد فعال در فضاهای مورد استفاده، محیط استقرار و دیگر ابزار و دستگاه‌ها فراهم آورند. بدین ترتیب که این نوع تجهیزات به گونه‌ای طراحی شده‌اند که چنانچه بخشی از سیستم‌های الکتریکی یا الکترونیکی آنها دچار صدمه، خرابی یا درگیر با

اتصال کوتاه شود، سیستم های حفاظتی آنها بسرعت فعال شده و دستگاه و کاربران را در برابر هر نوع خطر ایمن نگه می دارند. به همین دلیل اعمال مراقبت و حفاظت ویژه از ابزار و وسایل متصل به برق شبکه شهری به صورت مستقیم یا غیر مستقیم امری ضروری است. به همین دلیل کنترل فیزیکی کلیه ابزار و قطعات درگیر با جریان الکتریکی برق شبکه شهری یا ابزار و دستگاه ها بایستی به طور مستمر یا به صورت دوره ای برحسب یک جدول زمانبندی شده مطابق با استانداردهای تعیین شده چک شوند. این امر به خصوص برای تجهیزات پزشکی پرمصرف بسیار با اهمیت تر است و عملکرد و اتصال سیستم های حفاظتی بایستی با استاندارد ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی (IEC/UL 60601-1) مطابقت داشته باشد.

در این رابطه هرچند که برای فعال کردن تجهیزات پزشکی می توان آنها را مستقیماً یا از طریق یک سیم یا سوکت به پریز منبع تغذیه اصلی برق شبکه شهری وصل کرد. اما این اتصالات بایستی با الزامات استاندارد IEC 60320 همخوانی داشته باشند.

لذا حوزه مدیریت نگهداشت که متولی نگهداری و پشتیبانی از انواع تجهیزات فعال در یکایک بخش های درمانی و خدمات درمانی است بایستی علاوه بر تأمین حفاظت و ایمنی دستگاه ها، ایمنی کاربران و دیگر موارد را نیز مورد توجه قرار دهد. زیرا هر ابزار یا دستگاه الکترومکانیکال که برای تعیین کمیت ها، تشخیص اختلالات، بیماری ها، درمان و غیره در بخش های مختلف یک بیمارستان یا مرکز درمانی و خدمات درمانی به طور مستقیم یا غیرمستقیم در جهت استفاده بیماران یا کاربران به کار می رود لازم است، تمهیدات مورد نیاز برای ایمن سازی آن با توجه به نوع کاربرد تعریف شده را نیز به کار گیرد. زیرا که چنین ابزار و دستگاهی در حین فعالیت می تواند تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، فیزیکی، الکتریکی، الکترونیکی، مکانیکی، شیمیایی و غیره قرارگیرد و کاربران را دچار حادثه سازد. این نوع حوادث و عوارض ممکن است در شرایط جوی و محیطی مختلف متفاوت باشد. اما برای پرهیز و جلوگیری از تأثیر عوامل ناخواسته نظیر شوک های الکتریکی، تشعشعات، جریان های ناشی، ضربات، آتش سوزی و غیره لازم است روش های استاندارد و توصیه شده از سوی سازندگان و مؤسسات تدوین کننده استاندارد ملی و بین المللی اقدامات ایمنی به ترتیبی که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد به صورت دوره ای مورد توجه قرار گیرد. در این رابطه همچنان که اشاره شد،



یکی از الزامات اساسی به عنوان ایمنی الکتریکی شامل حفاظت دستگاه، بیماران و کاربران در برابر خطرات میکروشوک و ماکروشوک با رعایت موارد زیر می باشد:

- تأمین الزامات ایمنی الکتریکی کلیه ابزار و دستگاه ها و غیره براساس استاندارد IEC60601-1
- استفاده از یک سیستم زمین الکتریکی استاندارد
- اتصال صحیح کلیه ابزار و تجهیزات الکتریکی پزشکی به سیستم زمین
- استفاده مؤثر از سیستم یا مدار محافظ جریان زمین
- عدم استفاده از هر نوع رابط، سیم یا کابل فاقد محافظ سیم زمین در هریک از ابزار و دستگاه ها
- استفاده از یک ترانس ایزوله الکتریکی در فضاها و بخش های حساس بیمارستان یا مراکز خدمات درمانی نظیر فضاهای مرطوب، اتاقهای عمل و غیره.
- استفاده از سیستم کنترل جریان نشتی یا ترانس های ایزوله از طریق مانیتورینگ جریان نشتی
- اعمال تست های منظم ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی و متعلقات آنها قبل از بهره برداری، بعد از هر بار تعمیر، بعد از هر بار انتقال و در مراحل بازرسی دوره ای
- استفاده از اتصال حداقل دستگاه ها به بیمار به طور همزمان در بیمارستان ها و مراکز خدمات درمانی
- عدم استفاده از هر نوع ابزار و تجهیزات پزشکی به وسیله کاربران فاقد تجربه کافی و آموزش
- استفاده از اتصالات استاندارد به بیمار نظیر کابل ها، پروب ها، لیدها و غیره
- نصب نکات مهم و ضروری ایمنی توصیه شده در دستورالعمل های سازندگان یا مؤسسات ملی و بین المللی بر روی دستگاه ها یا نزدیک ترین محل به آنها
- قطع سریع منابع تغذیه جریان برق متصل به هر نوع ابزار و تجهیزات پزشکی با مشاهده جرقه، سوختن فیوز یا حتی احساس کمترین نشتی جریان یا برق گرفتگی از طریق بدنه یا سایر بخش ها

- تهیه و تدوین روش های اجرایی اعلام سریع مشکل ایمنی پدیدآمده در ابزار و دستگاه ها به نیروهای فنی و مسئولین مرتبط یا حتی نماینده یا مسئول فنی شرکت تولیدکننده ابزار یا دستگاه برای رفع آنها
- تهیه، تدوین، نگهداری و در دسترس گذاشتن همه روش های مقابله با انواع نواقص و مشکلات ایمنی در حداقل زمان
- تدوین توصیه های ضروری در نحوه برخورد با مشکلات ایمنی اضطراری ابزار یا تجهیزات، روش های استفاده یا عدم استفاده از آنها و همچنین روش های اعلام سریع به بخش مهندسی پزشکی یا سایر مسئولین ذیربط
- عدم استفاده از انواع مولدهای امواج الکترومغناطیس نظیر تلفن همراه، بیسیم، پیجر و غیره. (حداقل در یک و نیم متری ابزار و تجهیزات پزشکی مستقر در محیط تشخیصی و درمانی بیمارستان ها و مراکز خدمات درمانی).

۵-۷. الزامات عمومی در تأمین ایمنی الکتریکی

- ابزار و تجهیزات الکتریکی هیچگاه نباید با آب شستشو داده شوند.
- هنگام تمیز کردن وسایل برقی بایستی از مدار برق جدا شوند.
- هنگام کوبیدن میخ به دیوار برای ایجاد سوراخ در دیوار حتماً بایستی مسیر مدار برق قبل از انجام کار بررسی شود.
- کلیدهای برق بادیست مرطوب قطع و وصل نشوند.
- وسایل برقی خود (مانند یخچال، سانتریفیوژ و غیره) را در محلی قرار دهید که پیرامون آن فضای کافی برای گردش هوا وجود داشته باشد تا بیش از حد گرم نشوند. همچنین به توصیه های ذکر شده در دستورالعمل و دفترچه این وسایل عمل شود
- در صورت عدم استفاده از وسایل برقی، دو شاخه آنها را از پریز بکشید.
- اگر دو شاخه مرطوب یا خیس شده است، قبل از وصل مجدد به پریز یا روشن کردن وسیله برقی، خوب آن را خشک کنید.
- در هنگام جدا کردن دو شاخه از پریز برق، بدنه دو شاخه را بگیرید، نه سیم آنرا.
- اگر وسیله برقی خیس شده یا درست کار نمی کند آنرا به تعمیرگاه ببرید.



هنگام طوفان و رعد و برق، وسایل برقی خود را از برق بکشید، زیرا این وسیله‌ها می‌توانند صاعقه را انتقال دهند.

هرگاه می‌خواهید از وسیله برقی استفاده کنید، حتماً باید دست‌هایتان خشک باشد و جایی هم که ایستاده‌اید، خیس نباشد.

سیم‌های برق نباید داخل آب یا روی محل خیس قرار داشته باشد.

مطمئن باشید که سیم زمین (ارت) وسایل برقی وصل است.

قبل از استفاده از هر وسیله برقی، آن را از نظر علائم فرسودگی یا خرابی بررسی کنید.

مطمئن شوید همیشه کلیدهای قطع برق، انرژی فاز را در مدار الکتریکی قطع می‌کنند.

هرگز سیم برق را زیر موکت یا قالی یا در محل تردد افراد عبور ندهید.

هرگز از سیم برق طولانی برای دستگاه‌ها استفاده نشود.

هرگز برای یک وسیله برقی پرقدرت (پرووات) یا گرمازا از سیم رابط استفاده نکنید.

در صورت استفاده از یک سیم رابط، هرگز به‌طور هم‌زمان چند دستگاه به آن وصل نکنید.

سیم رابط مورد استفاده بایستی قادر به تحمل و انتقال حداکثر جریان مورد نظر باشد.

تمامی پریزهای مورد استفاده در فضای باز بایستی با در پوش باشند.

۵-۸. پریزها

در فضاهای مختلف بیمارستان و به منظور تسهیل و امکان استفاده از ابزار، وسایل برقی و تجهیزات پزشکی عمومی و تخصصی در تمام سطح بیمارستان لازم است از پریزهای برق یک فاز و نول با اتصال زمین ۲۵۰ ولت، ۱۶ آمپر پیش‌بینی شود. کلیه پریزهای متصل به برق اضطراری بایستی از طریق نوعی علامت‌گذاری مشخص شود که جنبه دائمی داشته باشد. نوع پریزهای مورد استفاده بایستی به‌صورت توکار، ثابت و غالباً بر روی دیوار محل مورد نیاز نصب شوند. تعداد پریزها و محل نصب آنها برحسب محل استفاده متفاوت است. به‌عنوان مثال:

۱. راهروها، سالن‌های اجتماعات، آمفی تئاتر و تراس‌ها

۲. هر ۶ تا ۸ متر، یک پریز روی دیوار، متصل به برق عادی

۳. اتاق‌های معاینه و کار پزشکان، و پرستاران

۴. یک پریز جنب تخت معاینه و حداقل یک پریز روی هر دیوار، متصل به برق عادی

۵. سالن‌های سوانح و نگهداری موارد اورژانس، تزریقات، نگهداری قبل و بعد از عمل و زایمان، اتاق‌های درد و زایمان، و اتاق‌های آماده کردن بیمار برای عمل

۶. یک پریز جنب هر تخت و حداقل یک پریز روی هر دیوار در اطراف اتاق متصل به برق اضطراری

۷. کلینیک‌های دندان پزشکی، چشم پزشکی، پزشکی گوش و حلق و بینی و غیره

۸. حداقل هر دو متر، یک پریز روی دیوار در اطراف اتاق، متصل به برق عادی

۹. آزمایشگاه، داروخانه و داروسازی

۱۰. حداقل هر دو متر، یک پریز روی قرنیز بالای میز کار و حداقل هر سه متر یک پریز روی دیوارهای اطراف.

۱۱. پنجاه درصد پریزهای مزبور باید به برق عادی متصل بوده و پنجاه درصد دیگر باید به برق اضطراری متصل باشد.

۱۲. سالن‌های فیزیوتراپی، هیدروتراپی و غیره، آشپزخانه، آبدارخانه، رختشویخانه و مراکز ضد عفونی و گندزدایی هر سه تا چهار متر، یک پریز روی دیوارها، متصل به برق عادی.

۱۳. موتورخانه و پست و مراکز اصلی و فرعی برق، هر چهار تا پنج متر یک پریز روی دیوارها و متصل به برق عادی.

۱۴. اتاق‌های کنفرانس و کلاس‌های درس، هر سه متر، یک پریز روی دیوارها، متصل به برق عادی.

به منظور تأمین نیروی برق برای تجهیزات و وسایل مخصوص از قبیل: دستگاه‌های استریل فرعی، یخچال‌های مختلف، آب سردکن‌ها، فن‌کوئل‌ها و غیره در کلیه قسمت‌های بیمارستان بایستی پریزهای برق یک فاز و نول با اتصال زمین ۲۵۰ ولت، ۱۶ آمپر به شرح زیر نیز پیش‌بینی شود:

۱. برای هر دستگاه یخچال دارو، یخچال لابراتوار، یخچال شیر، یخچال بانک خون و آب سردکن.

۲. یک پریز، در مجاورت محل نصب دستگاه مربوط و حداکثر هر دو عدد از این نوع پریزها به وسیله یک مدار حفاظت شده با یک کلید خودکار از نوع مینیاتوری، ۱۶ آمپر، و متصل به برق اضطراری.



۳. برای هر دستگاه فنکویل (زمینی یا سقفی) یک عدد پریز روی دیوار، در پشت دستگاه، طبق نقشه اجرایی کارخانه سازنده فنکویل و حداکثر هر هشت عدد پریز از یک مدار حفاظت شده با کلید خودکار مینیاتوری ۱۶ آمپر با توجه به نیاز، به برق عادی و یا اضطراری.

۵-۹. شرایط عمومی پریز برق ساختمان

جریان نامی پریزهای تکفاز و سه فاز بایستی حداقل ۱۶ آمپر باشد.

سیم مورد استفاده برای پریزهای برق باید حداقل نمره ۲/۵ باشد.

فیوز مورد استفاده برای پریزهای برق باید ۱۶ آمپر نوع C باشد.

استفاده از سه راهی های برق در هر جای ساختمان غیر مجاز است.

کلیه پریزهای مورد استفاده در فضاهای مسکونی، اداری، بهداشتی، درمانی و غیره بایستی از نوع ارت دار باشند.

اگر از قوطی کلیدهای فلزی (گالوانیزه) در پشت پریزها استفاده شده است، خود قوطی کلید هم باید به سیم ارت متصل شود.

جهت اتصال سیم های برق به پریز، از سرسیم استفاده شود یا سر سیم ها قلع اندود (لحیم کاری یکپارچه) شود.

استفاده از سیم های تکه تکه و چسب خورده در مدار پریزهای برق ممنوع است و تمامی سیم ها بایستی به صورت یکپارچه باشند.

لوله گذاری برای پریزها بایستی مجزا از لوله گذاری برای روشنایی ها باشد و استفاده از یک لوله مشترک برای هر دو ممنوع است.

رنگ سیم مورد استفاده برای سیم فاز در پریزهای برق، باید قرمز، زرد یا سیاه باشد. رنگ سیم نول بایستی آبی کم رنگ و رنگ سیم ارت هم ترکیبی از زرد/ سبز باشد.

پیچیدن سیم ها به دور یکدیگر و عایق بندی محل اتصال با استفاده از چسب برق (نوار چسب) ممنوع است و کلیه اتصالات و انشعابات بایستی با استفاده از ترمینال پیچی یا ترمینال فشاری صورت گیرد.

انجام هرگونه سیم کشی روکار با استفاده از سیم های تک لا یا سفید دولا و استفاده از میخ دوبا یا میخ معمولی اکیداً ممنوع است.

۵-۱۰. نوع و ارتفاع نصب پریزها

نوع و ارتفاع نصب پریزها در بخش‌ها، قسمت‌ها، و اتاق‌های مختلف بیمارستان متفاوت و به شرح زیر است:

۱. در بخش عمل و زایمان که شامل اتاق‌های عمل، زایمان، شکسته‌بندی، بیهوشی، نگهداری قبل و بعد از عمل و راهروها برای استفاده از گاز بیهوشی است.
۲. محل‌های استفاده از گاز بیهوشی پریزها از نوع ضد انفجار یا ضد جرقه و میزان ارتفاع نصب ۱۱۰ سانتی‌متر و غیره پریزهای عادی در ارتفاع ۱۵۵ سانتی‌متر از کف تمام شده
۳. در اتاق‌های استراحت بیمار، اتاق‌های نگهداری نوزادان و اتاق‌های معاینه و تزریقات پریزهای در مجاورت تخت‌های بیماران و معاینه از نوع توکار و در ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر و سایر پریزهای اتاق‌ها از نوع توکار و در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کف تمام شده
۴. در آزمایشگاه، داروخانه و داروسازی
۵. پریزهای مورد نیاز باید از نوع توکار و در روی میزهای کار یا روی دیوارها در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر از کف تمام شده
۶. آشپزخانه، آبدارخانه، رختشویخانه، مراکز ضد عفونی و گندزدایی، موتورخانه، مراکز فرعی تأسیسات، پست برق و مراکز فرعی برق
۷. پریز نوع توکار یا روکار و ضد رطوبت و در روی دیوارها در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر از کف تمام شده
۸. پریزهای مورد مصرف در انبارهای مختلف از نوع توکار و در ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر از کف تمام شده
۹. در سایر قسمت‌های بیمارستان و ساختمانهای جنبی و مانند آن
۱۰. پریزهای مورد استفاده از نوع توکار و در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کف تمام شده

۵-۱۱. ایمنی ابزار برقی در شبکه برق‌رسانی

در شبکه برق‌رسانی سیم ارت یا اتصال به زمین یکی از موارد بسیار مهم برای ابزار و وسایل مورد استفاده می‌باشد. برای تضمین ایمنی کاربران و دستگاه‌های برقی معمولاً از دوشاخه‌هایی



استفاده می‌شود که دارای سه سیم فاز، نول و ارت باشند. در صورتی که این گونه وسایل برقی دارای اتصال داخلی یا هرگونه مشکل الکتریکی دیگر شوند از ایجاد آسیب یا صدمات به افراد مصرف‌کننده و مدارات الکتریکی دستگاه جلوگیری کنند. بدین ترتیب که برق متصل به بدنه آنها از طریق همان سیم ارت متصل شده به زمین با عمل کردن فیوز، جریان برق قطع می‌شود.

۵-۱۲. اتصالی کلیدها و پریزها

یکی از خطرناک‌ترین مشکلات در سیم‌کشی برق ساختمان‌ها ایجاد اتصالی در کلید یا پریز برق است که منجر به عدم ایمنی و در نتیجه باعث بروز احتمال آتش‌سوزی، آسیب‌های جانی و سوختن ابزار و تجهیزات برقی موجود در فضاهای مورد استفاده می‌گردد. علت اصلی چنین اتفاقات ممکن است به دلیل:

۵-۱۲-۱. استفاده از کلید و پریزهای قدیمی با سیم‌کشی‌های نامناسب و فرسوده

قدیمی بودن یا کارکرد طولانی مدت کلید و پریزها معمولاً باعث استهلاک و کاهش کارایی آنها می‌گردد. وجود این امر زمانی که ولتاژ برق دچار نوسان و بار آن افزایش یابد، کلید و پریزهای قدیمی مطابق شکل ۵-۱ به شدت گرم شده و گرمای بیش از حد می‌تواند موجب ایجاد جرقه و دستگاه‌های برقی را دچار اتصالی و آسیب نماید.

در این رابطه پریزها در اثر استفاده طولانی مدت جرم گرفته و محل تجمع چربی و گرد و غبار می‌شوند. به این ترتیب دوشاخه وسایل برقی به سختی وارد پریزهای قدیمی می‌شود. در اثر فشار کاربر به هنگام زدن دوشاخه به داخل پریز یا خارج کردن دوشاخ از داخل پریز این تجهیزات شل شده و ممکن است از دیوار جدا شوند. این مشکل علاوه بر آسیب وارد آوردن به وسایل برقی می‌تواند موجب آتش‌سوزی نیز گردد.



شکل ۵-۱. نمونه کلید و پریز قدیمی

۵-۱۲-۲. کیفیت پریز

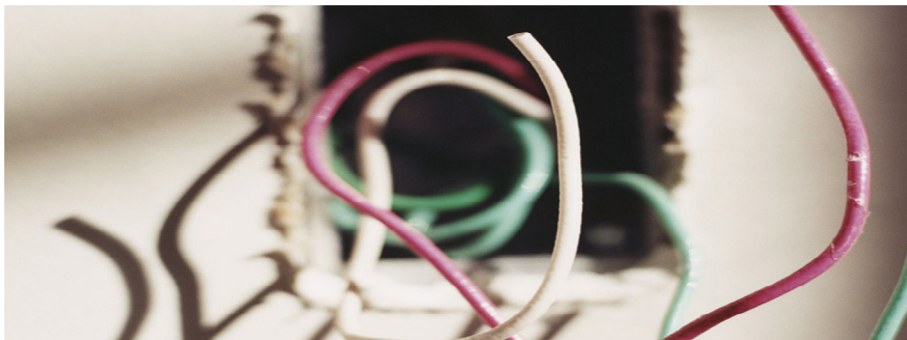
داغ زدگی، تغییر شکل یا خرابی سرپیچ‌های کلید و پریز مطابق شکل ۵-۲ می‌تواند در اثر نامرغوب یا نامناسب بودن جنس آنها پدید آید.



شکل ۵-۲. وضعیت کیفیت یا عدم مرغوبیت جنس پریز

۵-۱۲-۳. وضعیت اتصالات سیم‌کشی کلید و پریز

اتصال می‌تواند در اثر پیچ‌خوردگی در درون هم ۲ الی ۳ رشته سیم (فاز، نول و ارت) در داخل کلید و پریز برقم طابق شکل ۵-۳ به وجود آید.



شکل ۵-۳. وضعیت سیم کشی برای کلید و پریز

۵-۱۲-۴. جرقه و ذوب شدن پریز در اثر شل بودن اتصال بین سیم ها و سرپیچ داخل کلید و پریز برق

غالب آتش سوزی های برقی در اثر استفاده از پریز برق و تجهیزات قدیمی و منسوخ مطابق شکل ۵-۴ است. بقیه حریق ها نیز در اثر وجود نقص در عایق اتصالات الکتریکی وسایل، کابل های تغذیه، کلیدها و غیره به وجود می آید.



شکل ۵-۴. آتش سوزی در پریز نامرغوب و قدیمی

به همین دلیل هرگز نباید از تجهیزاتی با کابل و سیم کشی فرسوده استفاده شود، در این حالت گرمای کابل بر روی اجزا و سطوح قابل احتراق اثر گذاشته و منجر به آتش گرفتن آن مطابق شکل ۵-۶ می گردد. عدم اجرای سیم ارت (PE) در پریزها و کابل تغذیه سیم ها نیز

یکی دیگر از دلایل حریق و آتش گرفتن تجهیزات است. البته بایستی توجه داشت که به پریز برق بیش از ظرفیت جریان دهی آن ابزار یا تجهیزات وصل نشود (پریزها معمولاً ظرفیت تحمل عبور ۱۶ آمپر جریان برق را دارند. اما بهتر است بیش از ۱۰ آمپر به طور دائم از آنها عبور داده نشود).



شکل ۵-۶. آتش سوزی در اثر سیم کشی فرسوده

۵-۱۲-۵. بروز شوک برقی در اثر نشتی آب به داخل کلید و پریز برق

وسایل کنترل کننده نظیر کلیدها، فیوزها، قطع کننده های مدار و پریزها و دیگر اتصالات نباید در محلهایی که مایعات قابل اشتعال و مواد قابل انفجار یا گازهای قابل اشتعال مطابق شکل وجود دارد نظیر بخش اتوکلاو، شست و شوی ابزار و وسایل مصرفی و غیره نصب شوند. مگر اینکه برای چنین اهدافی طراحی و با الزامات تعریف شده استفاده شوند.



شکل ۵-۷. بروز خطر الکتریکی در اثر نشتی مایعات

۵-۱۲-۶. سیم‌کشی قدیمی یا استفاده از سیم و کابل غیر استاندارد و معیوب

سیم‌کشی‌های قدیمی و نادرست اغلب باعث آتش‌سوزی در اتصالات برق می‌شود زیرا اگر بخش یا یک فضای بیمارستانی دارای عمر بیش از ۲۰ سال باشد، تأسیسات و امکانات برقی اجرا شده در آن توان تغذیه مقادیر زیاد انواع ابزار و تجهیزات الکتریکی در آن بخش را نداشته و این امر موجب تأثیر فشار الکتریکی مضاعف بر اتصالات الکتریکی و در نتیجه ایجاد اتصالی و آتش‌سوزی مطابق شکل ۵-۸ گردد.



شکل ۵-۸. آتش‌سوزی در اثر بکارگیری سیم یا کابل نامرغوب و قدیمی

۵-۱۲-۷. استفاده از سه‌راهی‌ها در فرآیند استفاده از تجهیزات الکتریکی

در زمان به‌کارگیری تجهیزات الکتریکی، استفاده از سه‌راهی به دلیل عدم رعایت مقدار توان ظرفیت جریان‌دهی پریز مربوطه، اتصال چندین دستگاه با توانهای مختلف به آن، عدم بکارگیری اجزای الکتریکی استاندارد و تعریف شده و اتصالات سست می‌تواند باعث ایجاد حریق در سه‌راهی مطابق شکل ۵-۹ گردد. لذا در زمان ساخت فضاهای مختلف بیمارستانی یا قبل از چینش تجهیزات الکتریکی لازم است طراحی و انتخاب نوع پریز و اتصالات از نوع استاندارد و متناسب با نوع و نیاز تجهیزات انجام گیرد. زیرا که توصیه اکید در عدم بکارگیری سه‌راهی برق در فرآیند فعالیت تجهیزات بیمارستانی در بخش‌های مختلف است.



شکل ۵-۹. آتش‌سوزی در اثر استفاده از سه راهی

۵-۱۲-۸. فرسودگی پریز یا عایق کابل دوشاخه

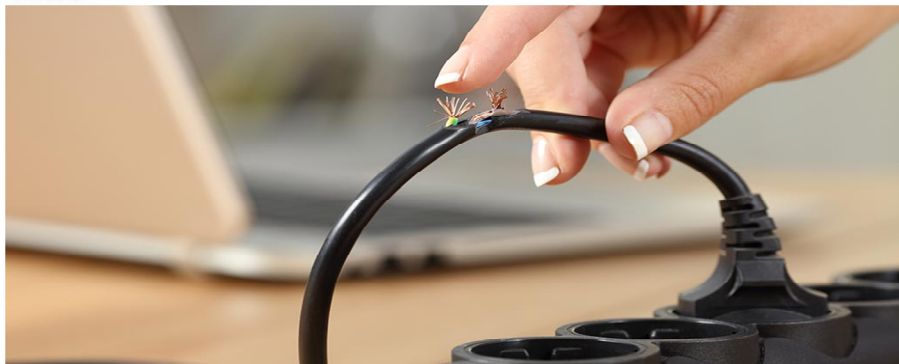
هر نوع فرسودگی در پریز یا عایق سیم داخل دو شاخه و پریز مطابق شکل ۵-۱۰ به اتصالی سیم‌ها به یکدیگر و در نتیجه تولید آتش‌سوزی منجر خواهد شد.



شکل ۵-۱۰: آتش‌سوزی در اثر فرسودگی پریز یا دوشاخه

۵-۱۲-۹. فرسودگی، صدمه یا ضربه به کابل برق

صدمه، فرسودگی یا آسیب دیدگی کابل و سیم پریز، کلیدهای برق و دوشاخه می‌تواند منجر به برق‌گرفتگی کاربران مطابق شکل ۵-۱۱ گردد.



شکل ۵-۱۱. برق گرفتگی در اثر آسیب دیدگی سیم یا کابل برق

۵-۱۳. اتصال کوتاه

وسایل و تجهیزات الکتریکی با توجه به توان آن ها دارای مقاومت خاصی در برابر عبور جریان هستند. ایجاد اتصال کوتاه یا اتصال مستقیم سیم فاز به سیم زمین باعث عبور جریان شدیدی از مدار می شود. این جریان اگر به سرعت شناسایی و قطع نشود می تواند باعث بالا رفتن شدید دما و آتش سوزی در سیم ها شود. در حالت دیگر چنانچه مقاومت مسیر عبور جریان بسیار کم و یا صفر شود، میزان جریان بسیار بالا رفته و می تواند اثرات حرارتی و مکانیکی شدیدی ایجاد کند. در صورتی که این حالت به سرعت شناسایی نشده و از شبکه برق جدا نشود می تواند حوادث ناگواری مانند آتش سوزی، سوختگی الکتریکی، برق گرفتگی و غیره مطابق شکل ۵-۱۲ در بر داشته باشد. طبق تعریف، از اتصال هادی های حامل جریان به یکدیگر به صورت مستقیم و یا به وسیله مقاومت های کم اتصال کوتاه نامبرده می شود. این نوع خطا از طریق انواع فیوزها و بریکرها قابل شناسایی بوده و امکان حفاظت اجزای الکتریکی امکان پذیر است.



شکل ۵-۱۲. بروز اتصال کوتاه و آتش‌سوزی در اثر استفاده از سه راهی نامرغوب

۵-۱۴. بار اضافه به پریزها

پریزها هرگز نباید از طریق آداپتور یا سیم‌های رابط به تعداد زیادی دستگاه وصل شوند. درحالی‌که هر دستگاه نسبت به میزان بار و توان آن به تنهایی بایستی به یک پریز وصل شود. در غیر اینصورت افزایش بار جریان بر پریز موجب گرم شدن سیم‌های داخل پریز و کابل‌های متصل به آن مطابق شکل ۵-۱۳ گردیده و موجب آتش گرفتن پریز و آسیب رساندن به دستگاه‌ها می‌گردد.



شکل ۵-۱۳: دریافت بار اضافی از پریز

۵-۱. اتصال دوشاخه ارت دار

لوازم برقی استاندارد که نیاز به سیستم اتصال زمین دارند، معمولاً دارای دوشاخه‌های خاصی هستند که علاوه بر اتصال سیم فاز و نول، محلی برای اتصال سیم زمین مطابق شکل ۵-۱۴ نیز دارند. با این کار اگر از پریز و سیم زمین استفاده شود، با اتصال دو شاخه تجهیزات مجهز به اتصال زمین، از ایمنی کامل برخوردار خواهند بود.



شکل ۵-۱۴. پریز و دو شاخه ارت دار

۵-۱۶. فیوز

فیوز در مدارهای الکتریکی به گونه‌ای طراحی شده است که از عبور هرگونه جریان غیر مجاز یا اضافی در مدارها جلوگیری می‌کند. لذا در همه تأسیسات الکتریکی برای جلوگیری از صدمه دیدن و معیوب شدن وسایل و نیز برای قطع کردن دستگاه معیوب از شبکه برق، از فیوز استفاده می‌شود. این وسیله باید طوری انتخاب شود که در اثر اتصال کوتاه، در کوتاهترین زمان ممکن و قبل از اینکه صدمه‌ای به سیم‌ها، دستگاه‌ها و تأسیسات الکتریکی وارد شود، مدار را قطع کند. فیوزها دارای انواع مختلف فشنگی، مینیاتوری، اتوماتیک و غیره هستند و از نظر زمان قطع به دو نوع کندکار و تندکار تقسیم می‌شوند.

۵-۱۶-۱. ساختار فیوزها

فیوزها را از نظر تکنولوژی ساخت و کاربرد می‌توان به انواع مختلف زیر تقسیم کرد:

۵-۱۶-۲. فیوزهای ساختمانی و سیستم‌های روشنایی

فیوزهای ساختمانی معمولاً از نظر ولتاژ با ولتاژ برق شهری یکسان بوده و از آنها برای محافظت از تجهیزات ساختمانی و روشنایی استفاده می‌شود. نمونه ساده این فیوزها موسوم به فیوز فشنگی در پایین کنتور برق نصب می‌شود.

۵-۱۶-۳. فیوزهای صنعتی و نیروگاهی

با توجه به تنوع فعالیت‌های صنعتی این فیوزها دارای تنوع بسیاری هستند یک نمونه از این فیوز که معمولاً به شکل مکعب مستطیل با دو قسمت فلزی کارد مانند که از دو سر آن خارج شده می‌باشد که به آن فیوز کاردی می‌گویند ولتاژ این فیوزها بسته به تجهیزاتی که از آنها حفاظت می‌کنند بین ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ ولت و با شدت جریان‌های مختلف می‌باشد. البته نوعی خاص از فیوز وجود دارد که مخصوص حفاظت از تجهیزات پستهای برق و نیروگاهی می‌باشد که به آنها فیوزهای HV یا های ولتاژ می‌گویند. این فیوزها قابلیت کار با ولتاژهای بسیار بالا گاهی تا ۳۶۰۰۰ ولت را نیز دارا می‌باشند.

۵-۱۶-۴. فیوزهای الکترونیک صنعتی

درواقع این فیوزها محافظت از وسایلی نظیر کنترل درایوهای برق مستقیم، یوپی‌اس‌ها و اینورترها و سایر تجهیزات مصرف کننده عناصر نیمه هادی را بعهدہ دارند و از آنجا که این عناصر دارای ظرفیت حرارتی پایین هستند، فوق العاده نسبت به افزایش جریان حساس می‌باشند بنابراین بایستی با فیوزهای خاص نظیر فیوزهای تند سوز حفاظت شوند. این فیوزها را از لحاظ عملکرد می‌توان به دو دسته زیر تقسیم کرد:

فیوزهای محدودکننده جریان: با وجود این فیوز، در اثر وقوع خطا در مدار، جریان بزرگی از فیوز و مدار می‌گذرد. زیرا به دلیل وجود فیوز محدودکننده در مدار، جریان قبل از رسیدن به پیک خود به وسیله فیوز قطع می‌شود.

فیوزهایی که جریان را محدود نمی‌کنند: فیوزهای غیر محدود کننده دارای چنین قابلیتی نیستند و جریان‌های اتصال کوتاه بزرگ بدون اینکه قبل از رسیدن به پیک قطع شوند، از فیوز و در نتیجه تجهیزات تحت حفاظت عبور می‌کنند.

۵-۱۷. اجزای تشکیل دهنده فیوز

فیوزها معمولاً از یک سیم حرارتی تشکیل شده اند که با قرار گرفتن در مدار (در مسیر فاز و ابتدای مدار)، به ازای یک جریان خاص در زمان معین ذوب شده یا می سوزد. عملکرد مؤثر فیوزها به دو عامل اساسی دقت ساخت و استفاده صحیح از آنها پس از نصب بستگی دارد. در این رابطه چنانچه از یک فیوز مناسب استفاده نشود امکان وارد آمدن هر نوع خسارت جدی به ابزار و دستگاه وجود دارد. برخی از اجزای فیوزها شامل موارد زیر می باشد:

پایانه: بخشی از فیوز است که برای اتصال به مدار خارجی از آن استفاده می شود.

پایه فیوز: قسمت ثابت فیوز است که مجهز به ترمینال هایی برای اتصال به مدار می باشد.

این قسمت در بعضی از انواع فیوزها دارای یک روکش محافظ است.

کنتاکت های پایه فیوز: بخش های هادی پایه فیوز، به عنوان محل کنتاکت های پایه فیوز

شناخته می شود که با کنتاکت های کلاhek در ارتباط است.

کلاhek فیوز: بخشی جدا نشدنی از فیوز است که حامل رابط فیوز برای سهولت در خارج

کردن یا تعویض می باشد.

کنتاکت های کلاhek فیوز: این بخش برای اتصال به کنتاکت های پایه فیوز در نظر گرفته

شده است.

نگهدارنده فیوز: به مجموع پایه فیوز و کلاhek فیوز اطلاق می شود.

رابط یا فشنگ فیوز: به قسمتی از فیوز شامل المان فیوز است که پس از سوختن مجدداً

بایستی تعویض شود.

المان فیوز: قسمتی از فیوز (سیم فیوز) است که ذوب می شود.

۵-۱۸. انواع فیوز

۵-۱۸-۱. فیوز تندکار

این فیوزها دارای زمان عملکرد کوچک و آنی هستند. از فیوزهای تند کار در مصارف روشنایی استفاده می شود و با حرف B مشخص می شوند. این نوع فیوز از آنجایی که در کوتاه ترین زمان، برق مصرف کننده را قطع می کند، مطابق شکل ۵-۱۵ در مصارف روشنایی استفاده می شود.



شکل ۵-۱۵. فیوز تندکار

۵-۱۸-۲. فیوز کندکار

فیوزهای کندکار یا تأخیری مطابق شکل ۵-۱۶ دارای زمان عملکرد بالاتری هستند و از آنها در مدارهایی استفاده می‌شود که عمل قطع مدار بایستی با تأخیر بیشتر انجام گیرد. به عنوان مثال برای موتورها، ترانسفورمرها و خازن‌ها استفاده می‌شوند و با حرف C نشان داده می‌شوند. زیرا موتورها در ابتدای راه‌اندازی جریان زیادی می‌کشند و پس از آن جریان به حالت عادی خود برمی‌گردد. فیوزها را از لحاظ کاربرد می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:



شکل ۵-۱۶. فیوز کندکار

۱. فیوز ذوب شو (ساده)

۲. فیوز گروهی

۳. فیوز پیچی یا فشنگی

۴. فیوزهای تیغه‌ای

۵. فیوزهای مخصوص

استفاده فیوزها برحسب میزان ولتاژ به ترتیب زیر است:

فیوزهای فشار ضعیف : این فیوزها در مسیر شبکه های برق رسانی با ولتاژ متناوب کمتر از ۱۰۰۰ ولت متناوب و ۱۵۰۰ ولت مستقیم استفاده می شوند.

فیوزهای فشار قوی : این فیوزها در مسیر شبکه های برق رسانی با ولتاژ بیش از ۱۰۰۰ ولت متناوب استفاده می شوند.

۵-۱۸-۳. فیوزهای اتوماتیک یا آلفا

در این نوع فیوز از دو عنصر مغناطیسی و حرارتی استفاده شده است. قسمت مغناطیسی فیوز آلفا، مدار را در برابر جریان اتصال کوتاه یا اضافه بار شدید محافظت می کند و قسمت حرارتی، مدار را در برابر جریان اضافی یا بار اضافی محافظت می کند به قسمت حرارتی فیوز آلفا بی مثال هم می گویند. زیرا از دو فلز غیرهمجنس تشکیل شده است که با افزایش تدریجی جریان گرم شده و تغییر شکل می دهد و باعث قطع جریان مدار می گردد. از ویژگی های خوب فیوز

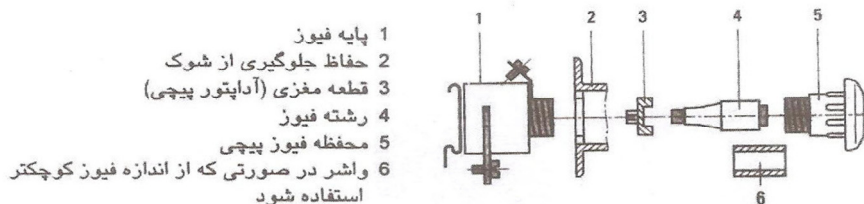
آلفا این است که این قابلیت را دارد که توسط شستی که روی آن است دوباره وصل شوند. یعنی این فیوزها یک بار مصرف نیستند. شکل ۵-۱۷ یک نوع از این فیوزها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۷. فیوز اتوماتیک یا الفا

۵-۱۸-۴. فیوزهای حرارتی یا فشنگی

این فیوز از چهار بخش پایه فیوز، فشنگی، ته فشنگی و کلاhek تشکیل شده است. که فشنگی از یک محفظه چینی و یک سیم حرارتی تشکیل شده و داخل این محفظه از پودر کوارتز پر شده تا جرقه حاصل حرارتی را خنک کند. وقتی جریانی بیش از حد مجاز فیوز از سیم حرارتی فشنگی عبور کند در اثر گرمای زیاد ایجاد شده، سیم حرارتی قطع می‌شود و مدار را در برابر جریان زیاد محافظت می‌کند. این نوع فیوز که با عنوان فیوز فشنگی و فیوز بکس نیز شناخته می‌شود در برگیرنده اجزای مختلف نشان داده شده در شکل ۵-۱۸ می‌باشد.



شکل ۵-۱۸. اجزای یک فیوز فشنگی

این نوع فیوزها می‌توانند از دو نوع تندکار و کندکار باشند. نوع تندکار این فیوز معمولاً برای مدارهای روشنایی و نوع کندکار برای الکتروموتورها بکار می‌رود که به‌عنوان فشنگ موتوری نیز نام برده می‌شود. در داخل این نوع فیوز یک سیم حرارتی ذوب شونده قرار دارد و اطراف آن خاک نرم کوارتز و ماسه احاطه شده تا در اثر سوختن سیم حرارتی، حرارت و جرقه حاصل از سوختن را به خود جذب کند. فشنگ‌ها در انتهای خود یک پولک رنگی مطابق شکل ۵-۱۹ دارند که در پشت شیشه کلاهک فیوز قرار گرفته است. این پولک با یک سیم نازک به سر فشنگ وصل است که آمپر نامی آن را مشخص خواهد کرد و پس از سوختن فیوز این پولک به داخل آن می‌افتد. به عبارت دیگر برحسب هر جریان نامی رشته فیوز، یک رنگ مطابق جدول ۵-۱ در نظر گرفته می‌شود و از طریق یک پولک با همین رنگ از طریق یک فنر بر روی فشنگ فیوز وصل می‌شود، تا در صورتی که رشته فیوز قطع شد، پولک که تحت کشش فنر قرار دارد آزاد گردیده و به بیرون پرت شود. پولک در نظر گرفته شده جهت تشخیص سالم بودن فیوز و رنگ آن در راستای شناسایی سریع جریان نامی آن می‌باشد.



شکل ۵-۱۹. فیوز فشنگی با پولک رنگی

جدول ۵-۱. رنگ نسبت به جریان نامی فیوزهای فشنگی

رنگ	شدت جریان نامی	رنگ	شدت جریان نامی	رنگ	شدت جریان نامی
صورتی	۲	قهوه ای روشن	۴	سبز	۶
قرمز روشن	۱۰	خاکستری	۱۶	آبی روشن	۲۰
زرد روشن	۲۵	مشکی	۳۵	سفید	۵۰
مسی روشن	۶۳	نقره ای	۸۰	قرمز تند	۱۰۰
زرد تند	۱۲۵	مسی تند	۱۶۰	آبی تند	۲۰۰

طبق مقررات بین‌المللی، ترمیم فیوز فشنگی ممنوع است و با خراب شدن یا عمل نکردن فیوز، لازم است فشنگ آن را تعویض کرد. رنگ پولک فشنگ در این فیوزها به‌عنوان شدت جریان نامی فیوز است.

۵-۱۸-۵. فیوز مینیاتوری

فیوز مینیاتوری نوعی فیوز اتوماتیک است که از ساختمان شبیه فیوز آلفا برخوردار است. فیوز مینیاتوری از سه قسمت رله مغناطیسی برای قطع مدار در شرایط اتصال کوتاه، رله حرارتی یا بی‌متال برای قطع در شرایط اضافه بار و کلید که به منظور قطع و وصل فیوز استفاده می‌شود. چون در فیوز مینیاتوری دکمه قطع و وصل است به آن کلید مینیاتوری نیز گفته می‌شود. فیوز مینیاتوری از رنج ۲ تا ۶۳ آمپر در بازار موجود است. شکل ۵-۲۰ فیوزهای مینیاتور تک فاز، دوفاز و سه فاز را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۰. فیوزهای مینیاتور تک فاز، دوفاز و سه فاز

یکی از عمده ترین مزیت این نوع فیوزها اشغال فضای کم و در کنار هم قرار گرفتن می باشد بدین ترتیب به سادگی می توان آنها را در یک ردیف در کنار هم قرار داد. این نوع فیوزها از لحاظ سرعت عملکرد در دو حالت تندکار و کندکار نیز وجود دارند.

۵-۱۸-۶. فیوز شیشه ای

ظرفیت نامی این نوع فیوزها تا ۳۰ است. این فیوزها در یک ظرف شیشه ای یا سرامیکی کوچک قرار می گیرند و سپس در سوکت مخصوص پیچ می شوند. برخی از آنها پنجره ای دارند که از آن می توان سالم یا سوخته بودن فیوز مشاهده کرد. این فیوزها چون اغلب برای جریان های خیلی کم استفاده می شوند، دارای یک سیم نازکی بوده که داخل شیشه قرار می گیرد و در اطراف آن هیچ پودر چینی یا سرامیکی وجود ندارد. شکل ۵-۲۱ یک نوع فیوز شیشه ای را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۱. فیوز شیشه ای

۵-۱۹. رله های حفاظتی

در سیستم برق رسانی رله همان کلید است با این تفاوت که کلید را نمی توان از راه دور کنترل یا از آن به عنوان یک کنترل کننده هوشمند استفاده کرد، درحالی که از رله می توان به عنوان یک کلید هوشمند استفاده کرد.

در شبکه ها و مدارها، حفاظت از انواع تجهیزات و دستگاه ها به وسیله رله ها انجام می گیرد. به عبارت دیگر رله ها در سیستم ها به عنوان ابزاری هستند که در اثر بروز هر نوع تغییر در

کمیت‌های الکتریکی از قبیل ولتاژ، جریان یا کمیت‌های فیزیکی دیگر نظیر حرارت و جریان روغن از خود عکس‌العمل نشان داده و با تحریک دستگاه‌های دیگر، نهایتاً موجب قطع مدار از طریق کلید قدرت (در سیستم تولید و انتقال و توزیع) یا دژنکتور می‌گردد. این ابزار همچنین می‌توان محل وقوع خطا یا قسمت‌های معیوب در سیستم‌های قدرت و خطوط انتقال از سایر قسمت‌های شبکه را جدا کرده و از این طریق به سایر قسمت‌های سالم شبکه اجازه دهد تا همچنان با ادامه فعالیت، پایداری و ثبات شبکه در همان حالت قبلی باقی بماند. لذا با استفاده از این ابزارها است که انواع تجهیزات و دستگاه‌ها را در برابر انواع عیوب احتمالی و اتصالات می‌توان حفظ و میزان خسارات را به حداقل رساند.

۵-۲۰. عوامل بروز اتصالات در شبکه‌ها

بروز انواع اتصالات در مدارها یا شبکه‌های برق‌رسانی را می‌تواند به دو دسته زیر دسته‌بندی کرد:

۱. عوامل داخلی: عوامل متعددی که می‌تواند موجب خراب شدن و از بین رفتن آنها یا خطوط انتقال و توزیع گردد شامل فرسودگی قسمت‌های مختلف عایق در یک مولد، ترانسفورماتور، خطوط، کابل و غیره در اثر افزایش عمر عایق، عدم تنظیم صحیح، عدم ساخت صحیح و یا عدم نصب صحیح آنها باشد.

۲. عوامل خارجی: عوامل خارجی شامل موارد مختلفی از قبیل وقوع رعد و برق، تحمیل اضافه بار، پدیده‌های طبیعی نظیر برف و باران، باد و طوفان، برخورد شاخه درختان، حیوانات و پرندگان، سقوط انواع اشیاء در عملیات ساختمانی و غیره است که هریک از آنها می‌تواند منجر به بروز اتصالاتی در مدار گردیده و از این طریق موجب افزایش جریان و ولتاژ (اختلاف پتانسیل) در مدار گردد که نتیجه آن افزایش حرارت زیاد در اتصالات شبکه و عاقبت آتش‌سوزی یا انفجار خواهد بود.

۵-۲۱. عملکرد رله‌ها

یکی از عمده‌ترین کاربرد رله‌ها در شبکه‌ها، رله جریان است که در راستای حفاظت از شبکه‌های الکتریکی در برابر عیوب ناشی از خطاهای جریان استفاده می‌شود. بخش از عیوبی که به وسیله این رله در شبکه‌ها تشخیص داده می‌شود به ترتیب زیر است:

- اتصال کوتاه در مدارها و شبکه‌ها
- افزایش جریان
- افزایش بار
- جریان‌های ناشی (ارت فالت)
- عدم تقارن جریان سه فاز
- کاهش بار (در موتورها)
- افزایش مدت زمان راه‌اندازی (در موتورها)
- قفل بودن روتور (در موتورها)

۵-۲۱-۱. مشخصات رله‌ها

رله‌های حفاظتی به طور کلی در برگیرنده مشخصات زیر می‌باشند:

۱. **سرعت عملکرد:** این پارامتر در رله‌های حفاظتی بسیار حائز اهمیت است. زیرا رله‌های حفاظتی در زمان بروز خطا بایستی با سرعت لازم بخش معیوب شده را از قسمت‌های سالم جدا کنند.

۲. **حساسیت:** این پارامتر وابسته به حداقل جریانی است که منجر به قطع رله می‌گردد.

۳. **تشخیص بروز خطا:** این پارامتر یکی از مهم‌ترین پارامترها در بین دیگران است. بدین علت که در آن دسته از شبکه‌ها که دارای چند رله حفاظتی می‌باشند در هنگام وقوع خطا، قسمت معیوب بایستی به درستی تشخیص داده شده و با جدا شدن از شبکه، قسمت‌های سالم به کار خود ادامه دهند.

۴. **پایداری:** این پارامتر وابسته به یک رله حفاظتی است که توان عکس العمل مناسب به همه خطاها در محدوده حفاظتی تعریف شده را دارا می‌باشد. به عبارت دیگر در برابر خطاهای این محدوده هیچ عکس‌عملی نشان نخواهد داد.

۵-۲۱-۲. دسته‌بندی رله‌ها

رله‌ها بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری به ترتیب زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱. **رله‌های جریانی:** این نوع رله‌ها بر اساس میزان جریانی عمل می‌کنند که در ورودی به آنها وارد می‌شود. این جریان شامل جریان فازها، جریان سیم نول، جمع جبری جریان‌های فازها و غیره می‌باشد. جریان ورودی به رله می‌واند تفاضل دو یا چند جریان نیز باشد.
۲. **رله‌های ولتاژی:** این نوع رله‌ها بر اساس میزان ولتاژی عمل می‌کنند که در ورودی به آنها وارد می‌شود. این ولتاژ می‌تواند ولتاژ فازها یا جمع جبری چند ولتاژ باشد.
۳. **رله‌های فرکانسی:** این نوع رله‌ها بر اساس فرکانس ولتاژ در ورودی عمل می‌کند.
۴. **رله‌های توانی:** این نوع رله‌ها بر اساس توان عمل می‌کنند. این رله‌ها شامل رله‌هایی برای اندازه‌گیری توان یا اندازه‌گیری توان اکتیو و راکتیو می‌باشند.
۵. **رله‌های جهتی:** این نوع رله‌ها از جنس رله‌های توانی می‌باشند و عملکرد آنها بر اساس زاویه بین بردارهای ولتاژ و جریان از قبیل رله‌هایی که برای توان در پرهیز از موتوری شدن ژنراتور هنگام قطع کوپلینگ آن و غیره می‌باشند.
۶. **رله‌های امپیدانسی:** این نوع رله‌ها شامل رله‌های دیستانس هستند که در مسیر خطوط انتقال دارای کاربردهایی نظیر حفاظت از خطوط انتقال و خطوط توزیع در برابر ولتاژ بالای AC، حفاظت از ولتاژ AC در برابر انواع خطاهای سه فاز، فاز به فاز و فاز به زمین خطوط توزیع و انتقال می‌باشند.
۷. **رله‌های کمیت‌های فیزیکی:** این نوع رله‌های شامل رله‌هایی هستند که در اندازه‌گیری عواملی از قبیل حرارت، فشار، سطح مایعات و غیره نظیر رله بوخهولتز (Buchholz Relay) ترانسفورمرها کاربرد دارند.
۸. **رله‌های خاص:** این نوع رله‌ها در موارد خاص از قبیل تشخیص خطای بریکر، مونیتورینگ مدار تریپ بریکر و غیره کاربرد دارند.

۵-۲۲. بازرسی های روتین (PM) الکتریکی تجهیزات الکتریکی

هدف اصلی در بررسی دوره‌ای تأسیسات الکتریکی تشخیص معایب و خرابی‌های به وجود آمده و رفع آنها می‌باشد. بدین ترتیب که با بررسی منظم می‌توان آن دسته از ابزار و وسایلی که بیش از اندازه گرم می‌شوند از قبیل هادی‌ها و کنتاکت‌های مختلف ماشین‌های الکتریکی، خرابی عایق‌ها و عیوبی که از طریق فعالیت مکانیکی یا شیمیایی در این وسایل به وجود می‌آید یا فعالیت کنتاکت‌های متحرک و عدم ضربه به تجهیزاتی از قبیل دسته‌های کلید فیوزها، پایه فیوزها، اتصال هادی‌های لخت از طریق تجمع چربی و گرد و غبار بر روی آنها، سیم اتصال زمین و غیره اطمینان حاصل کرد.

تأسیسات الکتریکی در مراکز درمانی و بیمارستانی به عنوان یکی از حساسترین بخش‌ها است و جهت جلوگیری از هر نوع حادثه لازم است عایق بندی کلیه اتصالات همیشه سالم و بدون عیب و نقص باشد و با بروز هر نوع معایب در عایق کاری آنها سریعاً ترمیم شود. با هدف تأمین ایمنی و حفاظت کاربران و انواع وسایل لازم است وضعیت اتصال زمین کلیه ابزار و وسایل برقی حداقل سالی یکبار از طریق افراد آموزش دیده و با تجربه بررسی و نتیجه آن ثبت شود. در صورت نیاز بایستی محل اتصال سیم به زمین هر چند وقت یکبار مرطوب شود. برای چنین منظوری می‌توان هادی بودن محل را از طریق آب پاشی با محلول بیکربنات دو سود با حل کردن به میزان ۱۰۰ گرم در ۵ لیتر آب بهبود بخشید.

هرچند که امروزه بررسی اتصال زمین از طریق وسایل اندازه‌گیری خاص انجام می‌گیرد یا این عمل را می‌توان از طریق شرکت توزیع برق منطقه‌ای با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری به عمل آورد.

۵-۲۳. شرایط ایمن سازی شبکه برق رسانی و خطوط

هر نوع تعمیر و راه اندازی ابزار و وسایل بایستی از طریق افراد کار آزموده و آموزش دیده انجام گیرد.

کلیه ابزار و وسایل الکتریکی بایستی به علائم هشدار دهنده مجهز باشد تا از طریق آن از خاموش یا روشن بودن ابزار یا دستگاه مطلع شد.

کلیه ابزار و وسایل الکتریکی بایستی به فیوز یا ابزار قطع کننده مجهز باشد و عملکرد آنها هر چند وقت یک بار مورد ارزیابی قرار گیرد.

محل عبور خطوط برق به ویژه فشارقوی بایستی دارای حفاظ مطمئن باشند. با فعال شدن ابزار و سیستم حفاظتی از قبیل فیوز یا قطع کننده لازم است قبل از راه اندازی مجدد، علت فعال شدن آن بررسی و اشکالات ناشی از فعال شدن آن برطرف گردد، در غیر اینصورت از راه اندازی مجدد آن پرهیز شود.

در فضاهای محل نگهداری گازهای قابل اشتعال لازم است کلیه وسایل الکتریکی و به ویژه کلیدها و پریزهای برق از نوع ضد جرقه باشد. مخازن و تانکرهای حاوی مواد قابل اشتعال بایستی دارای سیم اتصال زمین باشند

با وقوع آتش سوزی وسایل الکتریکی به هیچوجه نباید از آب استفاده کرد و قبل از شروع اطفاء حریق لازم است ابتدا جریان برق قطع گردد.

هنگام کار با وسایل برقی لازم است از تجهیزات حفاظتی از قبیل دستکش لاستیکی، زیر پایی عایق، انبرهای حفاظتی فیوز گیر و غیره استفاده شود.

فیوزهای سوخته بایستی با فیوز های جدید با مشخصات مشابه تعویض شوند و به هیچوجه از فیوزهای سوخته با سیم یا فلزات دیگر استفاده نشود.

مرجع

1. IEC Webstore, International Electrotechnical Commission(ITC), Cosolidated version, Edition-4, 2016: p. 11-61.
۲. استاندارد بین‌المللی ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی (IEC 60601-1) ، ویرایش سوم، ۲۰۰۵، ص ۷۰-۹
۳. استاندارد IEC 60601، پایگاه آموزشی و اطلاع رسانی مهندسی پزشکی: www.bme711.ir
۴. TS EN 60601-1 تجهیزات پزشکی الکتریکی - قسمت ۱: قوانین عمومی برای ایمنی اساسی و عملکرد مورد نیاز، info@laboratuvar.com، Eurolab
۵. لیست استانداردهای مرتبط با سیستم های الکتریکی، وبسایت الیکا الکتریک <https://elicaelectric.com>
۶. فاطمه منتجبی، ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی، ماهنامه مهندسی پزشکی و تجهیزات آزمایشگاهی، ۱۳۹۹، ص ۱۹-۱۳
۷. آثار برق‌گرفتگی با جریان متناوب و مستقیم، وبسایت الیکا الکتریک <https://elicaelectric.com>
۸. علیپور زیاد، خطرات انرژی الکتریکی و حفاظت در برابر آنها، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز خرداد ۹۶، ص ۲۹-۲۷
9. enel A, Temple-Bird C, Kawohl W, Kaur M. How to organize a system of [1] healthcare technology management. Geneva: World Health Organization. 2005: p. 52-59.
10. David Y, Jahnke EG. Planning hospital medical technology management. IEEE [2]Eng Med Biol Mag. 2004;23(3): p.73-79.
11. David Y, Judd TM. Management and Assessment of Medical Technology, [3]Clinical Engineering (Principles and Applications in Engineering). CRC,2007: p.1-15.

۱۲. محمد فلاح تفتی، دستورالعمل و روش‌های کاربردی در مدیریت نگهداری تجهیزات پزشکی، مرکز تحقیقات انتقال خون و موسسه عالی آموزشی پژوهشی طب انتقال خون، ۱۳۹۰، ص ۵۴۶-۲۷.

۱۳. محمد فلاح تفتی، الزامات اساسی در مدیریت نگهداری تجهیزات پزشکی زنجیره سرد، مرکز تحقیقات انتقال خون و موسسه عالی آموزشی پژوهشی طب انتقال خون، ۱۳۹۵، ص ۲۳۹-۲۳۴.

14. Mohammad Fallah Tafti, Kamran Mousavi Hosseini, Reza Golestani Shisvan, maintenance process of medical equipment of blood transfusion centers in Iran, Blood Research Journal, Vol. 19, 2022, p.1-16.

15. Gill Ginsburg, "Human factors engineering: A tool for medical device evaluation in hospital procurement decision-making." Journal of biomedical Informatics; 2004. p. 213-219

16. Andreas Lenel, Caroline Temple-Bird, Willi Kawohl, Manjit Kaur , "How to Organize a System of Healthcare Technology Management", World Health Organization; 2009, p.33

۱۷. محمد فلاح تفتی، غریب کریمی، عبدالناصر آزادبخت، ارزیابی کیفی سیستم مدیریت نگهداری تأسیسات و شبکه برق‌رسانی مراکز انتقال خون ایران (IBTO)، فصلنامه پژوهشی خون، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۴۳-۳۴

18. Aldik Moussian, design and implementation of electrical installations of buildings, 2004, p. 22-39.