Risk assessment of electrical equipment in healthcare centers: a systematic review

***Mohammad Fallah Tafti*[1], *Mehdi Akbari Dehbalaei*[2], *Mahnoosh Mehran*[3], *Ehsan Fallah Tafti*[4]**

[1] *Assistant Professor, PhD in Medical Engineering, Blood Transfusion Research Center, Higher Educational and Research Institute of Blood Transfusion Medicine, Tehran, Iran*

[2] *PhD in Medical Bacteriology, Blood Transfusion Research Center, Higher Educational and Research Institute of Blood Transfusion Medicine, Tehran, Iran*

[3] *General Physician, Blood Transfusion Research Center, Higher Educational and Research Institute of Blood Transfusion Medicine, Tehran, Iran*

[4] *PhD Student, Islamic Azad University, South Tehran, Tehran, Iran*

Abstract

Background: Electrical leakage from medical equipment in healthcare facilities is a serious threat. Establishing a periodic inspection system is essential to prevent risks to users, the environment, property, and facilities. This review study aimed to examine the results of relevant methods, recommendations, and standards that have been used to reduce electrical hazards from medical electrical equipment.

Materials and methods: In this systematic review, relevant information was retrieved from electronic databases PubMed, Google Scholar, Scopus, Google and the Electrical Safety Handbook. Then, the results were evaluated based on safety standards and requirements such as ISO17025, ISO13485 and IEC 60601.

Results: The results of 151 studies showed that electric current has adverse effects on the human body. These effects are directly related to the duration and intensity of the current, the path of the current, the health status of the user, the insulation of the equipment and its grounding.

Conclusion: Factors such as the establishment of periodic inspections, planned technical measures, individual supervision and the use of safety and warning equipment are very effective in reducing or eliminating the effects of electric current.

Keywords: *Medical equipment, Electric current, Electric shock, Health risks, Exposure and assessment.*

Cited as: Tafti MF, Akbari Dehbalaei M, Mehran M, Fallah Tafti E. Risk assessment of electrical equipment in healthcare centers: a systematic review article. Medical Science Journal of Islamic Azad University, Tehran Medical Branch 2026; 36(2): **138-153.**

Correspondence to: Mohammad Fallah Tafti
Tel: *+98 9121777966*
E-mail: moft150@ gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8348-3834
Received: 17 Aug 2025; **Accepted:** 3 Dec 2025

مجله علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی
دوره ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۱۳۸ تا ۱۵۳

Systematic Review

خطر ابزارآلات الکتریکی در مراکز درمانی: یک مرور سیستماتیک

محمد فلاح تفتی[۱]، مهدی اکبری دهبالایی[۲]، مهنوش مهران[۳]، احسان فلاح تفتی[۴]

[۱] استادیار، دکترای مهندسی پزشکی، مرکز تحقیقات انتقال خون، مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، تهران، ایران
[۲] دکترای باکتری شناسی پزشکی، مرکز تحقیقات انتقال خون، مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، تهران، ایران
[۳] پزشک عمومی، مرکز تحقیقات انتقال خون، مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، تهران، ایران
[۴] دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: *نشت جریان الکتریکی از تجهیزات پزشکی مراکز درمانی تهدیدی جدی است. استقرار سیستم بازدیدهای دوره‌ای در جلوگیری از بروز خطرات برای کاربران، محیط زیست، اموال و تاسیسات الزامی است. این مطالعه مروری با هدف بررسی نتایج روش‌ها، توصیه‌ها و استانداردهای مربوطه انجام گرفت که در جهت کاهش خطرات الکتریکی ابزارآلات الکتریکی-پزشکی به کار رفته است.*

روش بررسی: *در این مرور نظام مند، اطلاعات مربوطه ازپایگاه های داده الکترونیکی PubMed, Google Scholar, Scopus,Google و کتاب Electrical safety handbook استخراج شد. سپس نتایج حاصل شده براساس استانداردها و الزامات ایمنی نظیر ISO17025, ISO13485, IEC 60601 ارزیابی شد.*

یافته‌ها: *نتایج ۱۵۱ مطالعه نشان داد، جریان الکتریکی دارای اثرات نامطلوب بر بدن انسان است. این اثرات رابطه مستقیم به میزان زمان و شدت جریان، مسیرعبور جریان، وضعیت سلامتی کاربر، عایق بندی ابزارآلات و اتصال به زمین دارد.*

نتیجه‌گیری: *استقرار بازدیدهای دوره‌ای، اقدامات فنی برنامه ریزی شده، نظارت های فردی، استفاده از تجهیزات ایمنی و هشدار دهنده عواملی هستند که در کاهش یا حذف آثار جریان الکتریکی بسیار موثر هستند.*

واژگان کلیدی: *تجهیزات پزشکی، جریان الکتریکی، برق گرفتگی، خطرات سلامتی، قرار گرفتن در معرض و ارزیابی.*

مقدمه

توسعه حیرت آور فن‌آوری‌های جدید در سال‌های اخیر، زمینه‌ای برای ایجاد تحولات شگرف در صنعت تجهیزات پزشکی شد (۱). ادغام هم‌زمان فن‌آوری‌ها با پیدایش هوش مصنوعی باعث شد تا کاربرد بیوسنسورها، ربات‌ها، چاپ‌گرهای ۳ بعدی، ابزارهای دیجیتالی و داده‌های پزشکی در تجهیزات پزشکی از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار گردد. به کارگیری این فن‌آوری‌ها در تجهیزات پزشکی موجب شد تا پیشرفت‌های خیره کننده‌ای در انواع سیستم‌های تصویربرداری، جراحی و خدمات درمانی، ایمپلنت‌ها، پردازشگرها و تحلیل داده‌های پزشکی، تله مدسین، سیستم های هوشمند مراقبت در منزل و غیره فراهم آید (۴-۲). این پیشرفت‌ها علاوه بر افزایش سرعت و دقت در روند تشخیص بیماری‌ها، بهبود چشمگیر در روند درمان، کاهش خطاها و هزینه‌های درمان، منجر به بهبود کیفیت خدمات درمانی، ارتقاء سلامت عمومی و افزایش امید به زندگی گردد (۵، ۶). در این رابطه هم‌زمان با توسعه ابزار و تجهیزات پزشکی، زمینه ارتقاء استانداردهای ایمنی از سوی سازمان‌های ملی و بین المللی جهت مقابله با انواع خطرات و آسیب‌ها به کاربران نیز فراهم آمد (۷، ۸). هر مرکز درمانی با توجه به نوع فعالیت و موقعیت مکانی به انبوهی از ابزار و

آدرس نویسنده مسئول: تهران، مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون، مرکز تحقیقات انتقال خون، محمد فلاح تفتی (**email**: moft150@ gmail.com)
ORCID ID: 0000-0001-8348-3834
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۵/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۹/۱۲

دستگاه‌ها با عملکرد متفاوت در جهت درمان، تشخیص و نظارت بر بیماران مجهز است (۹). به عنوان مثال، تجهیزات فعال در بخش رادیولوژی شامل اشعه X، توموگرافی کامپیوتری و تصویربرداری رزونانس مغناطیسی و غیره است (۱۰، ۱۱). کارکردن در نزدیکی یا با دستگاه ها الکتریکی-پزشکی می‌تواند در بعضی مواقع کشنده و خطرناک باشد. بدین ترتیب که، تماس بدن انسان با جریان الکتریکی نشریافته از تجهیزات الکتریکی می‌تواند در برگیرنده اثرات منفی نظیر نقص عضو، آسیب ارگان‌ها و نارسایی اندام‌ها باشد (۱۲). لذا برای حفظ و تامین ایمنی کاربران در برابر جریان الکتریکی ، نیاز جدی به استقرار سیستم نگهداری همراه با تعمیر و آموزش کاربران است (۱۳). بدین دلیل که عوامل مختلفی نظیر استفاده طولانی مدت از تجهیزات، خرابی و استهلاک آنها، عدم اتصال به زمین، وجود نوسات جریان یا ولتاژ الکتریکی، عدم رعایت دستورالعمل های ایمنی و غیره می‌تواند منجر به برق گرفتگی کاربران شود (۱۴، ۱۵). از این رو شناسایی حوادث و خطراتی که تهدید کننده سلامتی کاربران و عدم ایمنی بیماران است، الزامی است (۱۸-۱۶). در این راستا، طیف وسیعی از اثرات برق گرفتگی، سوختگی، شکستگی استخوان از دستگاه‌هایی نظیر ساکشن، پمپ تزریق، پالس اکسیمتر، ECG، رادیولوژی، اندوسکوپی و لیزرگزارش شده است (۱۹، ۲۰). این عوامل در اثر نبود نظارت‌ها، سواد ایمنی، روش‌های استاندارد (۲۱-۲۳)، حفاظت مناسب از ابزار و تأسیسات الکتریکی (۲۴، ۲۵) و توجه به استقرار سیستم مدیریت پیشگیرانه است (۲۸-۲۶). البته حوادث دیگری نظیر شوک و تاکی آریتمی‌های مرگبار (۲۹)، دفع میوگلوبین از ادرار، نارسایی کلیه، آب مروارید (۳۰)، قطع اندام‌ها، مشکلات جسمی و روانی نیز قابل انتظار است (۳۱، ۳۲). هرچند که حوادث ناشی از جریان الکتریکی در مراکز درمانی نسبت به دیگر خطرات به مراتب کمتر است. اما آسیب‌ها در مواجهه با جریان الکتریکی سهم زیادی در تلفات انسانی و پیامدهای اقتصادی دارند (۳۳-۳۵). براین اساس، تأمین ایمنی الکتریکی در مراکز درمانی در اثر استفاده از ابزارآلات بی کیفیت، معیوب و فرسوده از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (۴۲-۳۶). البته تجهیزات مجهز به هوش مصنوعی فاقد نظارت و کنترل-های دقیق دوره ای بر منابع تولید انرژی الکتریکی نیز در برگیرنده آسیب های بالقوه بر کاربران است و بهره گیری از استانداردهای نظارتی در ارزیابی اثربخشی و تائید الگوریتم‌های آنها الزامی است (۴۵-۴۳)، تا علاوه بر تامین ایمنی بیماران، میزان دقت نتایج دستگاه ها نیز تضمین گردد (۴۹-۴۶). البته این امر فقط زمانی قابل دسترس است که شرایط فعالیت آنها به صورت دوره‌ای و از طریق دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوطه (IEC/UL 60601-1) بررسی شود (۵۴-۵۰). مهم‌ترین حوادث و خطرات برق گرفتگی در اثر ایجاد تغییر در عوامل الکتریکی ابزار و دستگاههای فعال در مراکز درمانی، به ترتیب زیر قابل انتظار است:

الف- اثرات تغییردر شدت جریان الکتریکی

جریان الکتریکی در هنگام تماس با بدن انسان می‌تواند در برگیرنده خطرات و صدمات مختلف باشد (جدول‌های ۱ و ۲). بدین ترتیب که هرچه شدت تماس بیشتر باشد، میزان صدمات و خطرات نیز بیشتر خواهد بود. از نظر فیزیولوژی اثرات جریان های الکتریکی متناوب (AC) نسبت به جریان مستقیم (DC) بر بدن انسان بیشتر است (۵۵). در مقابل جریان مستقیم بدلیل ثابت بودن اندازه و جهت آن در زمان-های مختلف، بدن مقاومت بیشتری نسبت به جریان متناوب از خود نشان می‌دهد و دستگاه تنفسی یا قلب تحمل عبور جریان مستقیم تا حدود ۸۰ میلی آمپر را دارد. در صورتی که با جریان متناوب به دلیل تغییرات در بین هرسیکل، مقاومت بدن کاهش یافته و بر خلاف اثرات جریان مستقیم، در جریان ۲۵ میلی آمپر بدن درگیر عارضه برق گرفتگی و با اندکی افزایش جریان، بیشترین اثرات برروی قلب و حتی مرگ در پی خواهد داشت (۵۶). البته برق گرفتگی با جریان متناوب به راحتی زمینه ساز بی نظم شدن ضربان قلب و با جریان مستقیم ممکن است منجر به ایست قلبی گردد. در این رابطه طبق گزارشات موجود هرگونه تغییر در شدت و مدت جریان الکتریکی، آثار متفاوتی از قبیل تغییر در هوشیاری، از دست رفتن کنترل عضلات اندام ها، مشکلات تنفسی، شکستگی استخوان، حمله قلبی (درد در قفسه سینه، گردن، فک یا کمر)، سردرد، مشکلات در بلع، بینایی یا شنوایی، ضربان قلب، درد عضلات، بی حسی، تشنج، سوختگی پوست و حتی مرگ در پی خواهد داشت (۵۷، ۵۸).

ب- اثرات تغییر میزان ولتاژ بر بدن کاربران

در مدارهای الکتریکی از دو نوع ولتاژ (AC و DC) استفاده می‌شود که اثرات آنها بر بدن انسان متفاوت است. ولتاژهای مستقیم کمتر از ۱۲۰ولت و متناوب کمتر از ۵۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز بی خطر هستند (۵۹). در صورتی که جریان الکتریکی با ولتاژ بالا منجر به درد، کبودی و سوختگی بدن می‌شود. هرگاه شدت ولتاژ بیش از حد باشد، این امر باعث سوختگی، ایست قلبی و مرگ می‌گردد (۶۰).

جدول ۱. اثرات و آسیب های جریان‌های الکتریکی مختلف مستقیم و متناوب بر بدن انسان
Ittehad Mehrabad H 2012(56), Saukko P, Knight B 2004(57), NIOSH 2009 (58)

جریان متناوب (میلی آمپر)	جریان مستقیم (میلی آمپر)	اثرات
۱	۰/۴	احساس خفیف، مورمور
۲	۱	استانه احساس، گرمی محل عبور جریان
۵	۹	شوک بدون درد، گرمی بدن، تعرق
۹	۶۲	شوک دردناک، سرگیجه، سر درد، بدن درد
۱۶	۷۵	انقباض عضلانی، از دست دادن کنترل عضلات اندام ها، اختلال در ضربان قلب و تنفسی
۳۰	۱۷۰	ایست تنفسی
۷۵	۳۷۵	فیبریلاسیون بطنی در اثر بیش از ۵۰ ثانیه، بی هوشی
۴۰۰۰	.....	ایست قلبی
۵۰۰۰	.....	سوختگی پوست، پارگی رگ و مویرگ ، شکستگی استخوان

جدول ۲. اثر تغییرات جریان الکتریکی بر اعضا و ارگانهای بدن انسان

موضوع	اثرات/حوادث	نویسنده
اثر تغییرات جریان های الکتریکی متناوب(AC) و(DC) بر بدن	نامنظم شدن ضربان قلب، ایست قلبی، تغییر در هوشیاری، مشکلات تنفسی، شکستگی استخوان، درد در قفسه سینه، گردن، فک یا کمر، سردرد، مشکلات در بلع، بینایی یا شنوایی، ضربان قلب، درد عضلات، بی حسی، تشنج، سوختگی پوست، الکترولیز یا تجزیه سریع خون و مرگ بیمار	EPF. Difference Between Alternating Current (AC) and Direct Current (DC) 2016(55), Ittehad Mehrabad , 2012(56) and Saukko, 2004(57)
اثرات تغییرات ولتاژ بر بدن کاربران	درد، کبودی، سوختگی پوست، ایست قلبی و مرگ	Geddes, 2016(60)
اثرات مسیر و مدت عبور جریان الکتریکی بر سلامت کاربران	آسیب مغزی، تشنج، آریتمی قلبی، ایست تنفسی و فلج	Fineschi, 2006(101) Abolghasemi, 2017(65)
مسیر جریان الکتریکی از دست راست، سر، قفسه سینه...	آسیب مغزی یا تشنج، آریتمی قلبی، ایست تنفسی و فلج	MacG Palmer JH, 2019(63)
نشت جریان از ECG، اندوسکوپی،.....	برق گرفتگی، سوختگی،....	Cappell MS., 2010(19)
عدم اتصال سیم ارت به تجهیزات	برق گرفتگی، آتش سوزی و مرگ	Tabriz University of Medical Sciences, 2018(73)

ج- اثر تغییرات مقاومت بدن بر میزان برق گرفتگی

میزان مقاومت الکتریکی بدن انسان‌ها ثابت نیست و در اثر عوامل مختلف فردی، محیطی، جسمی و غیره تا ۱۰۰ برابر قابل تغییر است. لذا در طول زمان تماس بدن کاربران با ابزارآلات الکتریکی-پزشکی، هر چه مقاومت عضو بدن درگیر با جریان الکتریکی بیشتر باشد، عوارض آن کمتر خواهد بود. البته بیشترین مقاومت در بدن نسبت به دیگر اعضای سطحی بدن در برابر جریان الکتریکی مربوط به پوست است. تا جایی که این مقاومت در قسمت‌های ضخیم پوست بدن ممکن است تا یک میلیون اهم هم برسد (۶۱).

د- اثرات مسیر و مدت عبور جریان الکتریکی بر سلامت کاربران

برحسب بررسی‌های به عمل آمده، مسیر ورود جریان الکتریکی می‌تواند نقش اساسی در میزان حوادث بر بدن داشته باشد. بدین ترتیب که اگر جریان از دست راست وارد بدن شود، باعث بروز اختلال در جریان الکتریکی قلب و خطرات مختلف دیگر می‌گردد (۶۲). البته چنان چه جریان از سر و قفسه سینه عبور کند، ممکن است باعث آسیب مغزی یا تشنج، آریتمی قلبی، ایست تنفسی و فلج گردد (۶۳). هرچند که طولانی شدن مدت عبور جریان آثار مخرب‌تری بر بافت‌ها خواهد گذاشت. به همین دلیل

آگاهی کاربران از آثار مسیرهای عبور جریان الکتریکی بر بدن، در برگیرنده کمک بزرگی به مراکز درمانی در جهت کاهش آسیب‌ها و خطرات برق گرفتگی در حین جراحی و مداوای بیماران است (۶۴، ۶۵).

ه-مقرات کاربرد تجهیزات پزشکی

ابزار و تجهیزات الکتریکی-پزشکی باید مطابق استانداردهای جهانی WHO, ECRI, FDA و غیره طراحی و ساخته شوند. سازمان‌های ملی و بین المللی با هدف تامین ایمنی محصولات برای بیماران، کاربران و سرویس کاران، مقررات و استانداردهای مشخصی را برای دستگاه‌ها و ابزارآلات الکتریکی پزشکی تدوین کرده‌اند تا محدوده حداکثر جریان‌های نشتی مجاز برای سلامتی کاربران و ایمنی دستگاه الکتریکی مشخص باشد. لذا رعایت توصیه های عملکردی، مدیریت کیفیت، ایمنی، مدیریت ریسک و زیست سازگاری، الزام کارکنان به رعایت موارد امنیتی، ضدعفونی محیط استقرار از طریق استانداردهای ISO17025, ISO13485, IEC 60601, ISO14971, ISO10993 و غیره در طول بهره برداری از تجهیزات پزشکی الزامی است (۶۹-۶۶).

و-ایمنی الکتریکی و اقدامات پیشگیرانه

مجهز شدن ابزارآلات پزشکی به هوش مصنوعی طی سالیان اخیر، زمینه ساز توسعه استانداردها، نظارت بر انطباق ها، پیش بینی مشکلات، هشدار برای آسیب‌ها و خطرات احتمالی و روشی برای اعلام عدم هماهنگی عملکرد دستگاه‌ها گردید (۷۰). پیشگیری خطرات الکتریکی ابزارآلات پزشکی، ضروری-ترین اقدام در جهت بررسی عملکرد بخش‌های الکتریکی، الکترونیکی، مکانیکی، پنوماتیکی، برودتی، کنترلی، حفاظتی، ایمنی سیستمهای برودتی، حرارتی، تابلوهای اصلی برق و پریزهای برق است تا بدین وسیله، از عدم انطباق‌ها، برق گرفتگی بیماران، بروز نواقص، صدمات، خسارات به اموال، محیط زیست، کاربران و دستگاه‌ها جلوگیری شود. در این رابطه، ارتقاء روش‌ها و به کارگیری استانداردها، استقرار بازدیدهای دوره‌ای، اقدامات فنی برنامه ریزی شده، نظارت‌های فردی در شناسایی و پیش بینی خطرات و ریسک‌ها و استفاده موثر از تجهیزات ایمنی و هشدار دهنده بسیار موثر خواهد بود (۷۱). البته بهره برداری از ابزار و تجهیزات معیوب پزشکی نظیر دستگاه ضربان ساز قلب، ایمپلنت‌ها و غیره می‌تواند زمینه ساز افزایش سطح ریسک و خطرات مختلف حتی مرگ برای کاربران بویژه بیماران شود (۷۲). به همین دلیل برای پیشگیری از بروز آسیب های جدی به ابزارآلات الکتریکی و برق گرفتگی کاربران، اتصال تجهیزات الکتریکی –پزشکی به سیم ارت الزامی است (۷۳). در این رابطه به عنوان مثال، پس از برخورد صاعقه، گزارش‌هایی مبنی بر از کار افتادن هر دو عامل فوری و تأخیری ضربان‌ساز قلب منتشر شده است که احتمالاً مربوط به آسیب مستقیم به تجهیزات و آسیب اندوکارد در محل اتصال ضربان‌ساز-الکترود است (۷۴، ۷۵).

مواد و روشها

این مطالعه شامل بررسی عوارض، اثرات و خطرات جریان الکتریکی بر بدن بیماران، پرستاران، کارکنان، پرسنل خدمات فنی و عمومی مراکز درمانی بود. معیارهای ورود به مطالعه، شامل مقالات منتشر شده در نشریات معتبر علمی-پژوهشی و بین المللی از طریق جستجو با استفاده از کلمات کلیدی "تجهیزات پزشکی"، "جریان الکتریکی"، "برق گرفتگی"، "خطرات سلامتی"، "قرار گرفتن در معرض و ارزیابی" در پایگاه‌های داده الکترونیکی PubMed، Scopus ,Google Scholar،Google بود. در این بررسی، تنها اثرات و خطرات جریان الکتریکی بر بدن کاربران و دستگاه های مراکز درمانی مورد مطالعه قرار گرفت. لذا آن دسته از مقالات که خارج از حوزه تجهیزات الکتریکی-پزشکی و همچنین سایر زبان‌ها غیر از انگلیسی و فارسی نگارش شده بودند، از بررسی و مطالعه خارج شدند. در ادامه جهت انتخاب مستندات مورد استفاده، ابتدا عناوین یافت شده توسط موتور جستجوگر از نظر ارتباط موضوعی مورد بررسی قرار گرفت. مقالات بعد از بررسی عنوان، از نظر ارتباط چکیده با هدف مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مقالات مرتبط با مطالعه، دسته بندی و تحلیل محتوا شد. در جستجوی اولیه پس از غربالگری ۳۵۷ مطالعه، ۲۰۶ مقاله تکراری حذف شد و در نهایت براساس اصول استاندارد و عنوان مقالات مورد نظر در پژوهش حاضر ۱۵۱ مقاله باقی مانده، مورد بررسی کامل قرار گرفتند. این مطالعات طیف وسیعی از تجهیزات پزشکی از قبیل دستگاه‌های الکتروسرجری، دفیبریلاتور، الکترو کاردیوگراف، الکتروشوک، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی و غیره را مطابق انواع مکانیزم-ها، روش‌ها، استانداردها و دستورالعمل‌ها ارزیابی کردند.

یافته‌ها

نتایج این بررسی سیستماتیک با مرور نتایج ۱۵۱ گزارش نشان داد، تماس بدن انسان با جریان الکتریکی طیف وسیعی از اثرات نامطلوب تولید می‌کند. این امر بدین دلیل است که عبور جریان الکتریکی (AC-AD) از بدن و تولید گرما منجر به سوختن و از بین رفتن بافت‌ها می‌گردد. البته

توجه به این نکته ضروری است، علیرغم اینکه علامت اصلی آسیب الکتریکی معمولا سوختگی پوست است، اما همه آسیب‌های الکتریکی باعث آسیب خارجی نمی‌شوند. به همین دلیل، شوک الکتریکی علاوه بر سوختگی پوست همراه با تولید درد و انقباضات خفیف عضلانی و اختلال در بافت های داخلی بدن، بعنوان مثال می‌تواند باعث توقف اعصاب انتقال تکانه‌ها یا ریتم غیر طبیعی قلب شود (۷۶). در این رابطه اثرات شوک الکتریکی و شدت آسیب‌ها از جزئی تا کشنده رابطه مستقیم به میزان مدت و شدت جریان، نوع جریان، مسیر عبور جریان از بدن، مقاومت الکتریکی بافت های بدن در برابر جریان، وضعیت سلامت فرد، عایق بندی ابزارآلات و کیفیت اتصال دستگاه به زمین دارد. برخی اثرات گزارش شده در اثر عبور جریان الکتریکی بر بدن شامل بروز سرگیجه، تعرق، گرمی بدن، اختلال در تنفس، از دست دادن هوشیاری است که با رعایت پروتکل های ایمنی، میزان خطرات و آسیب‌ها کاهش می‌یابد. برخی از مهم‌ترین آثار جریان الکتریکی بر بدن کاربران مطابق جدول۳، به ترتیب زیر است:

الف- آثار سوختگی ناشی از برق گرفتگی

در آسیب‌های با ولتاژ بالا ممکن است علائم سوختکی جزئی باشد. در حالی که بافت‌های داخلی عمیقا دچار آسیب می‌شوند (۷۷). تا جایی که صدمات و عوارض پزشکی در اثر برق گرفتکی با ولتاژ بالاتر بسیار جدی‌تر است. البته طبق برخی گزارشات، در اثر شوک الکتریکی به عنوان مثال کاربر دستگاه به عوارضی از قبیل سوختگی، از دست دادن هوشیاری، آسیب بافت‌های سیستم عضلانی، اسکلتی، گوارشی، مغزی، عروقی درگیر شود (۸۰-۷۸). در مطالعات مشابه، تولید آریتمی قلبی و عفونت‌ها، آسیب‌های سیستم عصبی، مشکلات روانی و اختلالات قلبی، اختلال در حس شنوایی و بینایی همراه با نارسایی حاد کلیه و کبد نیز گزارش شده است (۸۳-۸۱).

ب- انقباض و شکستگی‌های ناشی از برق گرفتگی

یک تماس جزئی کاربر با سیم یا ابزارآلات الکتریکی متصل به جریان الکتریکی بسرعت منجر به نابودی فرد کاربر می‌شود. البته عبور جریان الکتریکی کمتر از ۱ میلی آمپر، خطر خاصی برای کاربر ندارد. اما جریان بیش از ۵ میلی آمپر می‌تواند عوارض مختلفی از قبیل درد و انقباض عضلات، اسپاسم ماهیچه‌ها، فلج پاها یا نیمی از بدن، شکستگی استخوان‌ها نظیر استخوان‌های کتف، بازو، مهره‌های کمر و غیره برای بیمار به وجود آورد. در این رابطه عوارض مختلف نظیر شکستگی استخوان‌ها در اثر درمان با شوک الکتریکی، انقباض ماهیچه‌ها متعاقب برق گرفتگی همراه با نارسایی کلیوی قابل انتظار است (۸۴، ۸۵).

ج- مشکلات در سیستم ضربان قلب، هوشیاری، تنفسی، بویایی و شنوایی

عبور مستقیم جریان الکتریکی زیاد از ریه‌ها باعث بروز صدمه‌های احشایی همراه با فلج شدن سیستم تنفسی، تپش سریع و ضربان بسیار نامنظم قلب یا به طور کلی باعث توقف ضربان می‌شود (۸۹-۸۶). به عبارت دیگر برق گرفتگی علاوه بر ایجاد مرگ فوری در اثر توقف فعالیت سیستم تنفسی موجب ایجاد سوختگی‌های شدید یا بسیار شدید با از دست رفتن حس بویایی، شنوایی یا تکلم نیز می‌شود (۹۲-۹۰).

د- آسیب‌های سیستم عصبی

سیستم اعصاب برخلاف سیستم اسکلتی و پوست از مقاومت الکتریکی پایین‌تری برخوردار است و چنانچه بافت‌ها تحت تأثیر جریان الکتریکی قرار گیرند، ابتدا احساس گرمی، مورمور، گزگز، بی حسی بوجود می‌آورد که با افزایش میزان جریان موجب ایجاد تپش در قلب، اختلال در سیستم تنفسی و هوشیاری و غیره می‌گردد (۹۳، ۹۴). در چنین شرایطی معمولا با بروز اختلال در ضربان قلب و میزان خونرسانی به مغز ، زمینه بروز اختلال در میزان هوشیاری و سپس در زمان کوتاه یا دراز مدت زمینه بروز اختلال در حافظه را فراهم می‌آورد (۹۵).

ه- آسیب‌های قلبی

ضربان قلب با تکانه‌های الکتریکی از طریق سلول‌های ضربان‌ساز تولید و کنترل می‌شود و هیچگونه تداخلی با جریان الکتریکی بیرونی ندارد (۹۶ و ۹۷). در این حالت چنانچه قفسه سینه بیمار در معرض یک جریان الکتریکی ضعیف قرار گیرد، منجر به فیبریلاسیون بطنی و از دست رفتن هوشیاری فرد می‌شود. با افزایش جریان الکتریکی و تداخل با ریتم پالس‌های الکتریکی قلب موجب آریتمی یا ایست قلبی و در نتیجه باعث مرگ فرد می‌شود (۹۸، ۹۹). طبق نتایج یک گزارش، ناهنجاری‌های رایج الکتروکاردیوگرام (ECG) در اثر قرار گرفتن بیمار در معرض جریان الکتریکی شامل انسداد دهلیزی-بطنی، فیبریلاسیون دهلیزی، طولانی شدن فاصله QT و آریتمی‌های بطنی است (۱۰۰). در حالت دیگر، بیماران

جدول ۳. حوادث ناشی از اثرات جریان الکتریکی نشت یافته ار تجهیزات بر بدن

موضوع	اثرات/حوادث	نویسنده
اثر جریان الکتریکی بر بافت ها	سوختگی، درد، انقباض خفیف عضلانی و اختلال در بافت های داخلی بدن	Shih JG, etl ,2017 (77) and Waldmann, V, etl, 1017(76)
اثرات جریان الکتریکی بیش از ۵ میلی آمپر بر بدن	درد و انقباض شدیدعضلات، اسپاسم ماهیچه ها، فلج پاها ، شکستگی استخوان ها، انقباض ماهیچه ها و نارسایی کلیوی	Margarita S., 2017(84) and Karamanli, 2017(85)
اثرات نشت جریان الکتریکی از دستگاه ها بر کاربران	برق گرفتگی، اسپاسم عضلانی، آسیب های سیستم عصبی، مشکلات روانی، ناراحتی دریچه های قلب، انبساط قلب، اختلال در حس شنوایی و بینایی، نارسایی حاد کلیه و کبد	Clark AT, 2017(78)m Devale MM, 2017(79), Alivandi, 2007(80), Chauhan, 2004(81) and Ho, G.,2020(82)
اثرات نشت جریان الکتریکی بر ارگانهای اصلی کاربران	فلج یا توقف سیستم تنفسی، نامنظم شدن ضربان قلب، توقف ضربان قلب و مرگ فوری و از دست رفتن حس بویایی، شنوایی یا تکلم	Nizhu, 2020(86), Chen, 2021(87) and Schaefer 2015(90)
آسیب های سیستم عصبی در اثر عبور جریان الکتریکی از بدن	گرمی، مورمور، گزگز، بی حسی، تپش در قلب، اختلال در سیستم تنفسی و هوشیاری، اختلال در ضربان قلب، خونرسانی به مغز و اختلال در میزان هوشیاری.	Priori, 2005(93), Farwell, 2007(94) and Chen 2016(95)
اثرات تغییرات جریان الکتریکی بر قلب	فیبریلاسیون بطنی، تغییر در فشار و سرعت جریان خون ، از دست رفتن هوشیاری، آریتمی یا ایست قلبی و مرگ	Kong,1871(97), Tse, 2016(98), Phan, 2012(99) and Waldmann, 2018(100)
نشت جریان از تجهیزات ICU,CCUو دفیبریلاتور قلبی و ...	برق گرفتگی، سوختگی، آتش سوزی، آریتمی یا ایست قلبی و مرگ	Shannon Teoh. JB, 2016(127) and Vindigni SM, 2017(129) and Fineschi V, 2006(101)
عوامل تولید خطرات و آسیب ها بوسیله ابزارآلات الکتریکی- پزشکی	خطاهای انسانی، عمر فعالیت تجهیزات، عدم رعایت دستورالعمل های ایمنی، عدم بازدیدهای دوره ای، عدم پشتیبانی منظم و مستمر، عدم وجود سیستم آموزش های فنی و کاربردی	Arunraj NS, 2013(104), Samaila B, 2023(113), Noorzad N, 2022(115), Tredget EE, 1999(119), Aghakhani K, 2013(122), Rezaei E, 2009(129), Vindigni S.M, 2020(129) and Dempsey M.F., 2020(130)
عناصر موثر در بروز حوادث و خطرات برای کاربران	فرسودگی و خرابی سیم ها، کابل ها، پریزها، دوشاخه ها، مستهلک بودن دستگاه ها، عدم اتصال شبکه برق رسانی و دستگاه ها به سیم ارت	Parise G., 2005(150), El-Sallamy R.M., 202(151)

ممکن است دچار آسیب حرارتی و الکتریکی میوکارد شوند که این عامل منجر به انفارکتوس میوکارد با بالا رفتن قطعه ST، آسیب پریکارد و نارسایی قلبی می‌گردد (۱۰۱). یک مطالعه دیگر در این رابطه اشاره دارد که در اثر عبور جریان الکتریکی بر سیستم قلبی- عروقی، عملکرد طبیعی قلب و عروق خونی دچار اختلال شده و زمینه ایجاد تغییر در فشار و سرعت جریان خون در قلب را فراهم می‌آورد (۱۰۲، ۱۰۳).

یافته‌های این مطالعه همچنین نشان داد خطاهای انسانی، عمر فعالیت تجهیزات، عدم رعایت دستورالعمل‌های ایمنی و عدم بازدیدهای دوره‌ای تجهیزات، منشاء بسیاری از خطرات هستند. هرچند که ضعف در مدیریت و پشتیبانی، عدم اتصال دستگاه‌ها به سیم ارت یا نواقص در کلیدها، پریزها، تابلوهای اصلی و فرعی، خرابی کابل‌ها، سیم‌ها و غیره نیز در تولید آسیب‌ها موثر هستند. در بررسی حوادث مراکز درمانی مشخص شد، تماس کاربر با تجهیزات برق دار ثابت و سیار ۱۱/۳٪ ، تماس مستقیم بدن با سیم‌ها، کابل‌ها و الکترودهای فرسوده معادل ۲۳/۷٪ در بین ۵۳۸۱۱ فعالیت بوده است. البته در ارزیابی کلی از نتایج مربوط به وضعیت کلیدها، پریزها، اتصالات تابلوهای فرعی و اصلی و شرایط تجهیزات الکتریکی-پزشکی تقریبا ۹۶/۹٪ کلیدها، ۹۲٪/۱ پریزها، ۸۸/۷٪ تابلوهای برق و ۹۸/۲٪ از تجهیزات در شرایط سالم قرار داشتند. در حالی که از تعداد باقیمانده شامل ۳۵/۳٪ کلیدها، ۷۴/۶٪ پریزها، ۳۹/۵٪ تابلوها به

ترتیب در اثر خرابی، فرسودگی و عدم اتصال به سیم ارت خطرآفرینی آنها قطعی بود. البته ۶۸/۲٪ از تجهیزات به دلیل خرابی کابل، دوشاخه بدون ارت، عدم اتصال بدنه به سیم ارت، عدم پشتیبانی‌های دوره‌ای و غیره زمینه ساز حوادث مختلف برای کاربران، محیط فعالیت و دیگر دستگاه‌های فعال بودند. در همین رابطه به عنوان مثال، با مطالعه اجزای الکتریکی بیمارستان نجمیه تهران، اکثر پریزها ۹۸٪/۷ ، کلیدها ۹۸/۸٪ و تابلوهای فرعی برق ۱۶۷ عدد از لحاظ ظاهری سالم بودند. در حالی که ۴۸٪ پریزهای متصل به دستگاه‌ها، ۳۸/۲٪ تابلوها و از مجموع ۴۳۳ ابزارآلات الکتریکی بیش از نیمی از آنها معادل ۵۷/۷٪ فاقد اتصال سیم ارت بودند. نتایج به دست آمده از آموزش اقدامات ایمنی به کاربران شامل پزشکان، پرستاران، کارمندان، مدیران، نیروهای خدمات فنی-مهندسی و نیروهای خدمات عمومی نیز نشان داد، تنها ۵۸/۹٪ از آنها، یک یا تعدادی از آموزش‌های مرتبط با اقدامات ایمنی از قبیل واکنش، پیشگیری، ایمنی، اطفاء، حفاظت فردی و حفاظت تجهیزات در برابر حوادث و آسیب‌های جریان الکتریکی را فرا گرفته‌اند. در حالی که کمتر از نیمی از آنها همچنان فاقد آموزش کیفی و تجربی در کنترل خطرات و عملکرد صحیح سیستم‌ها در جلوگیری از بروز انواع حوادث هستند. با این وجود و برحسب یافته‌های این مطالعه، مهم‌ترین علل بروز حوادث الکتریکی در مراکز درمانی در اندازه‌های مختلف به ترتیب شامل عدم آموزش و اطلاعات کافی، نداشتن تجربه و توانایی در پی گیری نواقص، عدم توان عیب یابی صحیح، نامرتبط بودن صلاحیت فرد فنی در انجام کارها، ضعف در به کارگیری روش‌ها و استانداردها و عدم کنترل و تست‌های دوره‌ای و قبل از بهره برداری است. توجه خاص به اقدامات مدیریتی در رعایت عوامل ایمنی با هدف کاهش خرابی‌ها، حوادث و هزینه‌ها الزامی است.

بحث

در مطالعه حاضر، اثرات جریان الکتریکی به عنوان مهم‌ترین عامل بروز حوادث الکتریکی در بخش‌های مختلف مراکز درمان ارزیابی شد. طبق این بررسی، یکی از تاثیرگذارترین عوامل برق گرفتگی در بروز حوادث، آسیب‌ها، خرابی‌ها و هزینه‌ها، عدم استقرار سیستم پشتیبانی منظم و مستمر در جهت شناسایی و رفع عیوب عوامل الکتریکی بود (۱۰۴). در این بررسی همچنین مشخص شد، وضعیت حدود ۹۰٪ از عوامل مرتبط با سیستم تاسیسات مرکزی بیمارستان شهید بهشتی کاشان در شرایط مطلوب نیست (۱۰۵). در همین رابطه، طبق گزارش بنیاد بین المللی ایمنی برق در آمریکا، تلفات ناشی از برق گرفتگی در اثر نشت جریان الکتریکی به دلیل خرابی و نواقص در اجزای الکتریکی نظیر کلید، پریز و یا متصل نبودن اجزء و دستگاه‌ها به سیم ارت معادل ۳۶ نفر یا ۲/۵٪ بود. این آمار در اثر برق گرفتگی در ایران معادل ۹۳۶ مورد بود (۱۰۶، ۱۰۷). البته معیوب بودن تجهیزات پزشکی، عدم اتصال سیستم زمین به تجهیزات و سیم کشی نامناسب در شبکه برق رسانی، عامل اصلی بروز انواع آسیب‌ها و خطرات برای کاربران و دستگاه‌ها است (۱۱۰-۱۰۸). به طوری که طبق نتایج گزارش حادثه آتش سوزی در بیمارستان شهر کلکته هندوستان، عدم رعایت بازدیدهای دوره‌ای و معیوب بودن سیم‌کشی دستگاه در بخش مراقبت‌های ویژه، عامل اصلی کشته شدن ۸۹ نفر (۸۵ بیمار و ۴ نفر از پرسنل) بود. ضمن اینکه در حادثه دیگر در بیمارستان جوهور باهرو کشور مالزی در اثر خرابی و آتش سوزی دستگاه، منجر به کشته شدن ۶ بیمار گردیده است (۱۱۱،۱۱۲). گزارش‌های دیگر دلالت بر برق گرفتگی کاربران در اثر تماس بدن به ابزارآلات الکتریکی معیوب متصل به جریان الکتریکی (ولتاژ بالا یا پائین) در مراکز درمانی دارد (۱۱۳، ۱۱۴). طبق یک گزارش در این رابطه، اثرات جریان‌های نسبتا کم، می‌تواند منجر به انقباضات عضلانی و مانع رها شدن کاربر از محل تماس گردد. میزان این اثرات رابطه مستقیم با نوع جریان، شدت جریان، سطح تماس و مقاومت نقطه تماس دارد. طبق نتایج این گزارش، تقریبا همه مردان، زنان و کودکان در جریان‌های تا ۶ میلی آمپر می-توانند رها شوند. در جریان ۱۰ میلی آمپر، ۹۸/۵٪ مردان، ۶۰٪ زنان و ۵/۷٪ کودکان قادر به رها شدن بودند. در جریان ۲۰ میلی آمپر، فقط ۵/۷٪ از مردان توانستند رها شوند و در جریان ۳۰ میلی آمپر و بیشتر هیچ کدام شانس رها شدن نداشتند (۱۱۵). توجه به این نکته ضروری است که ولتاژهای حتی پائین‌تر می‌توانند باعث سوختگی‌های سطحی شود. در حالی که با ولتاژهای بالا علاوه بر اینکه منجر به سوختگی داخلی می‌شود که التیام آن دشوار است، می‌تواند باعث نکروز گسترده در عضلات، رگ‌ها، اعصاب و یا حتی موجب نارسایی یک عضو، نظیر کلیه و یا مرگ بیمار شود (۱۱۶، ۱۱۷). در این رابطه، وقوع حدود ۵۴ ٪ از حوادث سوختگی‌های الکتریکی در ایران، تحت تاثیر ولتاژ های بالا (بیش از ۱۰۰۰ ولت) بوده است. البته این آمار در کشورهای دیگر متفاوت است و برخی از آنها با ولتاژ پائین و برخی دیگر با ولتاژهای بالا

اتفاق افتاده است (۱۲۳-۱۱۸). این تفاوت‌ها غالبا در اثر رعایت دستورالعمل‌ها و استفاده صحیح از دستگاه‌ها با هدف جلوگیری از آسیب ها و خسارت‌ها گزارش شده است (۱۲۶-۱۲۴). البته طبق یک مطالعه جامع، از ۶۲ هزار گزارش تخلف مربوط به استفاده از تجهیزات معیوب پزشکی، حدود یک سوم از کاربران دچار آسیب های جدی و ۱۰۰۴ نفر فوت شده هستند (۱۲۷، ۱۲۸). یک گزارش در رابطه با آسیب الکتریکی در حین دفیبریلاسیون بیمار قلبی نشان داد، بیمار پس از دچار شوک الکتریکی، به مدت ۳۰ دقیقه بهبود نیافت یا در حادثه دیگر، بیمار در حین دفیبریلاسیون با پرت شدن از تخت، دچار درد کمر و گردن شده است (۱۲۹). مطالعه دیگر در انگلیس، با تحلیل قرار دادن اطلاعات ثانویه از حوادث چندین دستگاه، اطلاعات میزان آسیب حرارتی بیماران در حین تصویربرداری با MRI را به مرکز دستگاه‌ها و سلامت سازمان غذا و دارو امریکا گزارش داده است (۱۳۳). این مطالعه همچنین با بررسی حوادث و ارتباط سوختگی بیماران با سیستم ECG و پالس اکسیمتر، به نتیجه هشتاد و شش مورد سوختگی در ناحیه زیر الکترود ECG اشاره دارد که از این میان، ۲۳٪ سوختگی‌ها درجه سه و ۱۲٪ درجه دو بودند. علت این سوختگی‌ها در اثر خرابی الکترودها، نوع الکترودها، تاب داشتن سیم‌ها، تماس کابل به MRI و نوسان در میزان توان آنها بوده است. در رابطه با حوادث مربوط به پالس اکسیمتر، ۳۶ مورد سوختگی در انگشتان دست گزارش شد که از این میان ۱۳٪ سوختگی درجه سه و ۵۶٪ سوختگی درجه دو بودند.

در همین رابطه، سازمان غذا و دارو در آمریکا، با ارائه تعداد ۵/۴ میلیون گزارش تخلف بهره برداری از تجهیزات پزشکی معیوب طی یک دهه، بخشی از حوادث را نتیجه تخلف تولیدکنندگان دستگاه‌ها در دیگر کشورهای جهان گزارش داده است (۱۳۱).

در این راستا و طبق یافته‌های این مطالعه، عمده ترین صدمات و خسارات قابل انتظار از بکارگیری تجهیزات پزشکی به چند عامل اصلی، نظیر وجود خرابی و عدم به کارگیری مناسب (خطای کاربر) (۱۳۲)، عدم رعایت سیستم نگهداری پیشگیرانه برحسب دوره‌های زمانی هفتگی، ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه (۱۳۳-۱۳۵) است. زیرا که اعمال استانداردها و دستورالعمل-های ایمنی الکتریکی تجهیزات پزشکی (IEC/UL 60601-1) (۱۳۶-۱۳۸)، عامل اساسی در جلوگیری از بروز هر نوع آسیب و صدمه به کاربران و دستگاه‌ها خواهد بود (۱۴۴-۱۳۹). در این رابطه یک حادثه برق گرفتگی در بخش رادیولوژی بیمارستان علوم پزشکی گیلان نشان داد این حادثه در اثر خرابی و عدم ایمنی دستگاه بوده است. در مطالعه دیگر با بررسی وضعیت ایمنی بیمارستان‌های کردستان، ایمنی تأسیسات الکتریکی به میزان۱۰٪ خوب،۸۰٪ متوسط و ۱۰ ٪ ضعیف گزارش شده است (۱۴۵، ۱۴۶). لذا بخشی از یافته‌های این مطالعه دلالت بر فعالیت ناایمن ابزارآلات و دستگاه‌ها در اثر خرابی یا عدم بازدیدهای دوره‌ای به عنوان تاثیرگذارترین عامل در حوادث برق گرفتگی دارد. عامل دیگر در بیش از نیمی از حوادث و خطرات برق گرفتگی، کمبود دانش و آگاهی کاربران و نیروهای خدمات فنی و عمومی نسبت به انواع خطرات و شرایط عملکرد تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی است (۱۴۷، ۱۴۸). به طوری که طبق نتایج یک مطالعه، مهم-ترین عامل تاثیرگذار در ۶۶/۸٪ حوادث برق گرفتگی، ۵۰/۹٪ ناشی از خطای مهارتی و ۲۱/۸٪ خطای تصمیم‌گیری گزارش شد (۱۴۹). یافته‌های همین مطالعه یادآوری می‌کنند که آموزش‌ها دارای بیشترین اثر در تامین ایمنی تابلو های برق و پست اصلی مراکز درمانی، چاه ارت و عدم اتصال سیم ارت به تجهیزات متصل به بیمار و غیره هستند (۱۵۰). یک مطالعه در همین رابطه از بیمارستان طنطا در مصر نشان داد، تنها نیمی از ۴۰۱ کاربر دستگاه‌ها شامل پزشکان، پرستاران، نیروهای خدمات فنی و عمومی از وضعیت عملکرد دستگاه‌ها، کیفیت کابل‌ها، سیم‌ها، دوشاخه‌ها، پریزها، اتصال سیم ارت به دستگاه‌ها و غیره رضایت دارند، در حالی که حدود ۶۶٪ کاربران هیچ آموزشی از نوع خطرات و نحوه مبارزه با آنها کسب نکرده بودند (۱۵۱).

نتیجه گیری

یافته‌های این مطالعه شامل عمده‌ترین اثرات و خطرات جریان الکتریکی بر بدن برحسب انتخاب گزارش‌ها طی دو دهه اخیر (به دلیل کمبود اطلاعات برخی حوادث در سال‌های نزدیک‌تر) از پایگاه داده‌ها است. در این مطالعه با بررسی نتایج گزارش‌ها مشاهده شد، بروز حوادث، آسیب‌ها و خطرات الکتریکی در مراکز درمانی مجهز به سیستم پیشگیرانه و مدیریت ایمنی به شکل معنی‌داری نسبت به مراکز درمانی فاقد ایمنی کمتر است. لذا براساس نتایج این مطالعه مروری، پیشنهاد می‌شود: ۱- استقرار سیستم نگهداری پیشگیرانه (PM)، اجرای سیستم‌های ایمنی شامل کلیدهای حفاظ جان و تجهیزات و چاه ارت و اتصال شبکه برق رسانی از قبیل تابلوهای اصلی و فرعی، کلیدها، پریزها و بدنه تجهیزات به زمین، ۲- نظارت مستمر و برنامه ریزی شده بر بازدیدهای دوره‌ای تجهیزات و تاسیسات و ۳- ارائه آموزش‌های دوره‌ای جهت ارتقاء و به روز

رسانی آگاهی و تجارب همه کاربران شامل پزشکان، پرستاران، نیروهای فنی-مهندسی و نیروهای خدمات عمومی به مدیران و مسئولان مرتبط با تجهیزات و تاسیسات در همه مراکز درمانی مورد تاکید نویسندگان این مقاله است.

REFERENCES

1. Akhdeer ZM, Ahmed HM, Adnan GT, Abdalrhman JB. Modern technologies in biomedical engineering and their role in improving healthcare quality. Eur J Appl Sci Eng Technol 2025;3:90-96.
2. Thacharodi T, Singh P, Meenatchi R, Tawfeeq Ahmed ZH, Kumar RS, Neha V, et al. Revolutionizing healthcare and medicine: the impact of modern technologies for a healthier future: a comprehensive review. Health Care Sci 2024;3:329-349.
3. Akkaoui A, Zahidi Y, Moufid M, Dachry W, Gziri H, Medromi H. Developing medical devices with emerging technologies: trends, challenges, and future directions. F1000Res 2026;13:1007.
4. Neelima S, Govindaraj M, Subramani K, Alkhayyat A, Mohan C. Factors influencing data utilization and performance of health management information systems: a case study. Indian J Inf Sources Serv 2024;14:146-152.
5. Sinha R. The role and impact of new technologies on healthcare systems: a review. Discov Health Syst 2024;3:31-42.
6. Haleem A, Faijue DD, Magsi SK, Bangash SA. Next-generation medical interventions: the role of AI, IoT, and nanotechnology in enhancing healthcare outcomes. J Neonatal Surg 2025;14:S8712-22.
7. Ministry of Health and Medical Education. General Directorate of Medical Equipment, Guidelines for Safe Electricity in Medical Institutions. Tehran, Iran: Ministry of Health and Medical Education; 2008. [In Persian]
8. Patterson WB. Occupational hazards to hospital personnel. Ann Intern Med 1985;102:658-80.
9. Stephen KVK, Mathivangallalan V, Manalang AR, Udinookkaran P, De Vera RPN, Shaikh MT, et al. IOT-based generic health monitoring with cardiac classification using edge computing. J Internet Serv Inf Secur 2023;13:14-19.
10. Okeji MC, Onwuzu SW, Eze JC, Ayogu E. An assessment of equipment procurement and management policies in radiology centres in Nigeria. J Assoc Radiogr Niger 2012;26:28-34.
11. Hannani S, Ramzanpour E, Amiri F, Rasoli M. Evaluation the safety standards in the operating room of the medical education hospital of Iran University of Medical Sciences in the year is 2018. J Adv Pharm Edu Res 2019;9:168-73.
12. Fish RM, Geddes LA. Conduction of electrical current to and through the human body: a review. Eplasty 2009;9:e44.
13. Ghasemi M, Mazaheri E, Hadian M, Karimi S. Evaluation of medical equipment management in educational hospitals in Isfahan. J Educ Health Promot 2022; 11:105.
14. Kiani, M, Bazmi S. Electricity and its complications. Iranian Journal of Forensic Medicine 2007;13: 38-44. [In Persian]
15. Gershon RR, Karkashian CD, Grosch JW, Murphy LR, Escamilla-Cejudo A, Flanagan PA, et al. Hospital safety climate and its relationship with safe work practices and workplace exposure incidents. Am J Infect Control 2000;28:211-21.
16. Vincoli JW, ed. Basic guide to system safety. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: Wiley Online Library; 2014.
17. Khalooei A, Mehdipour Rabclori M, Nakhaee N. Safety condition in hospitals affiliated to Kerman University of Medical Sciences in 2010. Health and Development Journal 2013;2:192-202. [In Persian]
18. Mahfoozpour S, Ainy E, Mobasheri F, Faramarzi A. Patients' safety culture status among educational hospitals of Shahid Beheshti University of Medical Sciences. Pajoohandeh Journal 2012;17:134-41. [In Persian]
19. Cappell MS. Injury to endoscopic personnel from tripping over exposed cords, wires,and tubing in the endoscopy suite: a preventable cause of potentially severe workplaceinjury. Dig Dis Sci 2010; 55:947–51.
20. Thermal injuries and patient monitoring during MRI studies. Health Devices 1991;20:362-63.
21. Zamanian Z, Mehrifar Y. Study health and safety workplace in small and medium size enterprises (HSW-SMEs) in Iran 2015. J Occup Health Epidemiol 2016;5:112-20.
22. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Moghim BA, Akbarzadeh M. Studying disabling occupational accidents in the construction industry during two years. J Occup Hyg Eng 2014;1:57-66. [In Persian]

23. Golmohammadi R, Aliabadi M, Motlagh MS, Goodarzi R. efficiency assessment of acoustic cabin for providing acoustic comfort in turbine unit of a thermal power plant. J Occup Hyg Eng 2019;6:1-7.
24. Cappell MS. Injury to endoscopic personnel from tripping over exposed cords. wires, and tubing in the endoscopy suite: a preventable cause of potentially severe workplace injury. Dig Dis Sci 2009; 55:947-51.
25. Mutia D, Kihiu J, Maranga S. Maintenance Management of Medical Equipment in Hospitals. Industrial Engineering Letters 2012:2: 9-20.
26. Fallah Tafti M, Haji Beigi B, Mousavi Hosseini K, Karimi Gh. Evaluation of the physical structure and safety conditions of the blood transfusion center's electrification network using the energy tracking and Barrier analysis (ETBA) method. Sci J Iran Blood Transfus Organ 2023;20:1-18. [In Persian]
27. Lin Z, Kang J, Wei Y, Zou B. Maintenance management strategies for medical equipment in healthcare institutions: a review. BME Horiz. 2024;2:2024135.
28. Cadick J, ed. Electrical safety handbook. 4th ed. New York: McGraw- Hill Professional 2012. P.36-78.
29. Chang JK. Assertive devices in the rehabilition on patients with electrical burns:three case reports. J Burn Care Rehabil 2001; 22: 90-96.
30. Kunwar A, Shrestha P, Shrestha S, Thapa S, Shrestha S. Detection of Biofilm Formation among Pseudomonas aeruginosa Isolated from Burn Patients. Burns Open 2021; 5: 125-29.
31. Chi CF, Yang CC, Chen ZL. In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. Int J Indust Ergon. 2009;39:635-44.
32. Koumbourlis AC. Electrical injuries. Crit Care Med 2002; 30: 424-30.
33. Ozturk H, Babacan E. The occupational safety of health professionals working at community and family health centers. Iran Red Crescent Med J 2014;16:e16319.
34. Andrews CJ, Panescu D. Protocols for documentation of electrical injuries for electrical safety inspectors and emergency medical practitioners. J Trauma Acute Care Surg 2019;87: 483-90.
35. Kidd S, Kim S, Robert M. Assessment and Management of Electrical Injuries in Adults in the Emergency Department Ireland Smith. Cureus 2026;18: e107162.
36. Hossain MA, Ahmad M, Islam MR, David Y. Evaluation of Medical Equipment Technology Management Performance Outcomes Related with Patient Safety: Skilled Clinical Engineer's Approach. Global Clinical Engineering Journal 2019; 1:4-16.
37. Jain S, Bandi V. Electrical and lightning injuries. Crit Care Clin 1999; 15:319-31.
38. Fallah Tafti M, ed. General requirements and applied methods in electrical safety management of medical equipment. 1st ed. Tehran: Higher Educational and Research Institute of Blood Transfusion Medicine; 2024. P.15-221.
39. Tadesse Desta Y. Electrical Safety Symbols Used in Medical Equipment and Their Implication. International Journal of Anesthetics and Anesthesiology 2022;30:312-22.
40. Ichikawa N. Statistical accident analysis and electrical fatality rate in Japan 2002–2011- Causes and preventive measures of fatal electrical accidents. USA: IEEE IAS Electrical Safety Workshop; 2015. P.1-5.
41. Kalte HO, Hosseini AH, Arabzadeh S, Najafi H, Dehghan N, Akbarzadeh A, et al. Analysis of electrical accidents and the related causes involving citizens who are served by the Western of Tehran. Electronic Physician 2014; 6: 820.
42. Walter C. The patient and electrical safety of the modern hospital, Guthrie Clin Bull 1970;40:76-83.
43. Kim JS, Seo D. Foresight and strategic decision-making framework from artificial intelligence technology development to utilization activities in small-and-mediumsized enterprises. Foresight 2023;25:769-87.
44. Tavakoli N, Jahanbakhsh M, Yadegarfard Gh, Ranjbar N. Acceptance and use of hospital information system: a study on medical records users based on unified theory of acceptance and use of technology. Journal of Health and Biomedical Informatics 2017; 3: 242-50. [In Persian]
45. Trasca DM , Dorin PI, Carmen S, Varut RM, Singer CE, Radivojevic K, Stoica GA. Artificial Intelligence in Biomedicine: A Systematic Review from Nanomedicine to Neurology and Hepatology. Pharmaceutics 2025;17:1564.
46. Fallah Tafti M, Mousavi Hosseini K, Golestani Shisvan R. maintenance process of medical equipment of blood transfusion centers in Iran. Blood Research Journal 2022; 19:1-16. [In Persian]

47. Occupational health and safety risk in the healthcare sector. Guidance to prevention and good practice 2009; 48-52. Available from: https://eurogip.fr/wp-content/uploads/2019/11/Commission_europeenne_guide_secteur_sante_2009_EN.pdf

48. ETKHO Hospital Engineering. five electrical hazards in a hospital definition and protocol. 2023. Available from: https://www.etkho.com/en/five-electrical-hazards-in-a-hospital-definition-and-protocol/

49. NSH health technical memorandum 06-02; electrical safety handbook. 2023; 8-25. Available from: https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/PRN00620-htm-06-02-electrical-safety-handbook-vf5.pdf

50. Steven Geigle MA, ed. Electrical Safety Basics. 1st ed. Beaverton: Geigle safety Group Inc; 2012. P.101-12.

51. Ortiz-Posadas MR, Vernet-Saavedra EA. Electrical safety priority index for medical equipment. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2006;S6614-7.

52. Walter HO. Electrical Safety. In: Webster JG, Nimunkar AJ, eds. Medical instrumentation application and design. 4th ed. Hoboken, New Jersey, United States: John Wiley & Sons; 2008. p.39-51.

53. Salvaraji L, Jeffree MS, Lukman KhA, Saupin S, Avoi R. Electrical safety in a hospital setting: A narrative review. Ann Med Surg (Lond) 2022;4:2-12.

54. Ducker M, Faber M, Cruijsberg J, Grol R, Schoonhoven L, Wensing M. Safety and Risk Management in Hospitals. 1st ed. London: The Health Foundation Publishing Service; 2009. P.12-31.

55. Yordanova M. Requirements for the Power Supply of Medical Equipment and the Application of Technical Protective Measures. 13th Electrical Engineer Faculty Conferences, IEEE, 2021; e286.

56. Abd Elhady S. Electric and Magnetic Energies in the Human Body. International Journal of Applied Energy Systems 2020; 2: 44-52.

57. Saukko P, Knight B, eds. Knight's Forensic Pathology. 3rd ed. London, England: Hodder Education Publishers; 2004. P.326-339.

58. Czuczman AD, Zane RD, Cooper MA, Daley J. Electrical Injuries: A Review for The Emergency Clinician. Emergency Medicine Practice 2009; 11: 1-17.

59. Kianiki K, Bazmi S. Electric shock and its complications. Scientific Journal of Forensic Medicine 2007; 1: 38-44. [In Persian]

60. Lin S. The Principle of Human Electric Shock and Several Main Types of Electric Shock, Highlights in Science. Engineering and Technology ISET 2023; 68: 50-156.

61. Agaa K, Tarao H, Urushiharaa S. Calculation of Human Body Resistance at Power Frequency Using Anatomic Numerical Human Model. Energy Procedia 2016;89: 401-407.

62. Zarre M. Principles of Protection Against the Danger of Electric Shock (Weak Pressure). Industrial Education and Research Center Iran 2008; 57:7-83. [In Persian]

63. MacG Palmer JH. Surgical diathermy and electrical hazards: causes and prevention. Anaesth Intensive Care Med. 2019; 20: 609–14.

64. Mazloumzadeh Tabrizi J, Amirkhani L, Derakhshanfard F. Identification and Evaluation of Risks in the Electrical Industry Using the Job Safety Analysis (JSA) Method. Islamic Azad University, Ahar 2023; 17-23. [In Persian]

65. Abolghasemi MR, Aghabiklooei A, Memarian A, Taftachi F, Kholoosy L, Ameri M. Evaluation of the relationship between score results of APACHE-IV scoring system and mortality rate of patients admitted to the Intensive Care Unit (ICU) of the burn section. Biomed Res 2017;28:2624-30.

66. Gonawan SA, Othman SA. Workplace Safety based on the Hierarchy of Control: A Short Review. Enhanced Knowledge in Sciences and Technology 2022; 2:79-83.

67. Vercauteren G, ed. Maintenance Manual for laboratory equipment. 2nd ed. Geneva, Switzerland: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data; 2008. P.25-67.

68. Stevens J. Standards for humidification and filtration devices. Respir Care Clin N Am. 2006 Jun;12(2):203-32.

69. Noori R. Khastar H. Yeganehfard K, Razeghi A. Identifying the Applications of Artificial Intelligence in the Health and Safety of Employees. Intelligent Management of Human Capital 2024;1:1-28. [In Persian]

70. Lukic M. Standization in the field of artificial intelligence. Kvalitet IMS 2026;2:205-10.

71. Altayyar SS. The Essential Principles of Safety and Effectiveness for Medical Devices and the Role of Standards. Medical Devices: Evidence and Research 2020;13: 49–55.[http://doi.org/10.2147/MDER.S235467]
72. Khalil Salehi M, Rezaei N. Criminology of injuries caused by medical equipment. Quarterly Journal of Medical Law 2013; 27: 93-161. [In Persian]
73. Astudillo-Baza Y, Torres-Sabino M, Lázaro-Gonzaga M. Grounding system for a hospital. The International Journal of Engineering and Science (IJES) 2024; 13:68-74.
74. Obszański B, Tułecki L, Kutarski A, Kleinrok A. Lightning-induced pacing system malfunction: a case report. Eur Heart J Case Rep 2019;3:ytz092.
75. Torres GG, de Oliveira WS, de Oliveira Neto NR. Complete pacemaker failure following lightning strike injury: A case report, Pacing Clin Electrophysiol 2024; 47:1503-506.
76. Jonathan Tan M. Electrical Injuries: Cardiovascular implication and management. International Journal of Scientific Advances 2023; 4:76-81.
77. Shih JG, Shahrokhi S, Jeschke MG. Review of adult electrical burn injury outcomes worldwide: an analysis of low-voltage vs high-voltage electrical injury. J Burn Care Res 2017;38: 293-8.
78. Clark AT, Wolf S. Electrical Injury. JAMA 2017;318:1198-203.
79. Devale MM, Kadakia GJ, Jain VG, Munot RP. Direct electrical injury to brachial plexus. Indian J Plast Surg 2017;50:217-19.
80. Alivandi S, Ebadi AG. Histological Studies of the Low Frequency Electromagnetic Fields Effect on Liver. Testes and Kidney in Guinea pig. World Appl Sci J 2007;2:509–11.
81. Chauhan DC, Chari PS, Khuller GK, Singh D. Correlation of Renal Complications with Extent and Progression of Tissue Damage in Electrical Burns. Indian J Plastic Surg 2004;37:99-104.
82. Ho G, Rogers AD, Cartotto R. Early Acute Kidney Injury (AKI) Following Major Burns. J. Burn Care Res 2020;41:S5–6.
83. Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Molecular Biology of the Cell. 4th ed. New York: Garland Science; 2002. P.44-72.
84. Elloso MS, Cruz JJV. A reiew of electrical burns admitted in a Philippine tertiary hospital burn center. Burns Open 2017;20-24.
85. Chen CW, Lin YKYS, Chen CW, Tzu-Yin L, Chang SH. Low-Voltage Electricity-Associated Burn Damage of Lung Parenchyma: Case Report and Literature Review. Emerg Med 2021;60:e33-37.
86. Nizhu LN, Hasan J, Rabbani R. High-voltage Electrocution-induced Pulmonary Injury and Cerebellar Hemorrhage with Fractures in Atlas. Trauma Case Rep 2020; 25: 100267-76.
87. Urschel JD, Nakai SS, Gelfand ET, Hamilton SM. Pulmonary resection for lung trauma, Ann Thorac Surg 1997;63:1587-88.
88. Bruner JMR. Hazards of electrical apparatus. Anaesthesiology 1967; 28: 396-425.
89. Ferris LP, King BG, Spence PW, Williams HB. Effect of Electric Shock on the Heart. Bell Labs Technical Journal 1936;15: 455-68.
90. Schaefer NR, Yaxley JP, O'Donohue P, Lisec C, Jeyarajan E. Electrical burn causing a unique pattern of neurological injury. Plast Reconstr Surg Glob Open 2015;3:e378.
91. Kole MH, Letzkus JJ, Stuart GJ. Axon Initial Segment Kv1 Ehannels Control Axonal Action Potential Waveform and Synaptic Efficacy. Neuron 2007; 55: 633–47.
92. Kress GJ, Mennerick S. Action Potential Initiation and Propagation: Upstream Influences on Neurotransmission. Neuroscience 2009;158:211-22.
93. Priori SG, Napolitano C. Intracellular Calcium Handling Dysfunction and Arrhythmogenesis: A New Challenge for the Electro-physiologist. Circ. Res 2005; 97: 1077–79.
94. Farwell D, Gollob MH. Electrical Heart Disease: Genetic and Molecular Basis of Cardiac Arrhythmias in Normal Structural Hearts. Can J Cardiol 2007;23:16A–22A.
95. Chen S, Liu L, Guo X, Yao S, Li Y, Chen S. Effects of Colonic Electrical Stimulation Using Different Individual Parameter Patterns and Stimulation Sites on Gastrointestinal Transit Time. Defecation and Food Intake. Int J Colorectal Dis 2016;31:429–37.

96. Waldmann V, Narayanan K, Combes N, Jost D, Jouven X, Marijon E. Electrical Cardiac Injuries: Current Concepts and Management. Euro Heart J 2018;39:1459-65.

97. Mulpuru SK, Madhavan M, McLeod CJ, Cha YM, Friedman PA. Cardiac Pacemakers: Function, Troubleshooting and Management Part 1 of a 2-Part Series. J Am Coll Cardiol 2017;69:189-210.

98. Tse G, Lai ETH, Yeo JM, Tse V, Wong SH. Mechanisms of Electrical Activation and Conduction in the Gastrointestinal System: Lessons from Cardiac Electrophysiology. Front Physiol 2016;7:182-90.

99. García-Fernández L, Muñoz-Gualan AP, Romero-Ferreiro V, Padilla S, de Los Santos D, Cardona-Bejarano S, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) for cognitive impairment in schizophrenia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry 2025;142:111526.

100. Gursul E, Bayata S, Aksit E, Ugurlu B. Development of ST Elevation Myocardial Infarction and Atrial Fibrillation after an Electrical Injury. Case Rep Emerg Med 2015;2015:953102.

101. Fineschi V, Di Donato S, Mondillo S, Turillazzi E. Electric shock: Cardiac effects relative to non fatal injuries and post-mortem findings in fatal cases. Int J Cardiol 2006;111:6-11.

102. Waldmann, V, Narayanan, K, Combes N, Jost D, Jouven X, Marijon E. Electrical Cardiac Injuries: Current Concepts and Management. Euro Heart J 2018; 39: 1459-65.

103. Samaila B, Jumare AI, Umar AB. Effects of Electric Current Produced by Medical Equipment's on Human Body: Review on Health Hazards Assessment. PriMera Scientific Surgical Research and Practice 2023; 1: 33-41.

104. Arunraj NS, Mandel S, Maiti J. Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. Accident Analysis and Prevention 2013;55:242–55.

105. Zaroushani V. Risk assessment in a foundry unit by energy trace and barrier analysis method (ETBA). Iran Occupational Health 2010; 6:7-14. [In Persian]

106. Sarvestani K, Salem M. Risk Assessment of Najmiyeh Hospital Electrical System Using Energy Tracking and Barrier Analysis (ETBA) Method. Occupational Health and Health Promotion 2019;1:70-80.

107. Cawley JC, Brenner BC. Occupational electrical injuries in the US. 2012 EEE IAS Electrical Safety Workshop. 2012; p.32-51.

108. Sarsangi V. Detection of hazards and risk assessment by ETBA method in central heating system in Kashan Shahid Beheshti Hospital in 2013. Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences 2015;2:12-20. [In Persian]

109. Thye KW. Negative effect of defective medical devices. The Moore Law Firm 2026;1-5. Avalable from: https://www.moorelaw.com/resources/a-look-at-the-negative-effects-of-defective-medical-devices/

110. Mostafazadeh B, Farzaneh E, Moshfegh M, Mohtarami SA. Electric shock in patients administered to hospital: a descriptive study. Med J Islam Repub Iran 2014;28:133.

111. Sabaa MA, Hassan AM, Abd-Alla AK, Hegazy EE, Amer WH. Needle-stick and sharps injuries: awareness, prevalence and risk factors of a global problem in healthcare workers at Tanta University Hospitals, Egypt. Int J Occup Saf Ergon 2022;28:1419-429.

112. Araneo R, Dehghanian P, Mitolo M. Electrical safety of academic laboratories. IEEE Transact Ind Appl 2019;55:5613-20.

113. Yasir Khaleel A, Maha Raad Hashim A, Mukaram ShD. The Effect of An Electric Current on Human Body: A Review. Al-Esraa University College Journal for Medical Sciences 2023; 4(5):38-47.[DOI: 10.70080/2790-7937.1016]

114. David Y, Jahnke EG. Planning hospital medical technology management. IEEE Eng Med Biol Mag. 2004; 23: 73-79.

115. Noorzad N, Gürleyük SS. Effects of Electrical Current Passing Through the Human Body and Safety Requirements. 6th International Students Science Congress Proceedings. Izmir, Turkey, 2022. P.2-7.

116. Markiewicz-Gospodarek A, Kozioł M, Tobiasz M, Baj J, Radzikowska-Büchner E, Przekora A. Burn Wound Healing: Clinical Complications, Medical Care, Treatment, and Dressing Types: The Current State of Knowledge for Clinical Practice. Int J Environ Res Public Health 2022;19:1338-44.

117. Zhu X. Systematic Analysis on Conduction and Effects of Electric Current to and Through the Human Body. Theoretical and Natural Science 2025;8:94-100.

118. El-Gallal ARS, Yousef SM, Toweir AA. Burn injuries in Benghazi: eight years' study. Ann Burns Fire Dis 1998;11:198- 202.

119. Tredget EE, Shankowsky HA, Tilley WA. Electrical injuries in Canadian burn care. Identification of unsolved problems. Ann N Y Acad Sci 1999;888:75-87.

120. Acosta AS, Azarcon-Lim J, Ramirez A.T. Survey of electrical burns in Philippine General Hospital. Ann N Y Acad Sci 1999;888:12-8.

121. Arnoldo BD, Purdue GF, Kowalske K, Helm PA, Burris A, Hunt JL. Electrical injuries: a 20-year review. J Burn Care Rehabil 2004;25:479-84.

122. Aghakhani K, Mohammadi S, Molanaei A, Memarian A, Ameri M. Epidemiologic study of scald burns in victims in Tehran Burn Hospital. Tehran Uniy Med J 2013;71:452-57. [In Persian]

123. Aghakhani K, Abdolkarimi L, Memarian A, Hosseini R, Mehrpisheh S, Abdolkarimi F. Epidemiology of occupational burn injuries and its effect on patients referred to Motahari Hospital in Tehran during 2010 to 2012. Razi J Med Sci 2015;21:66-71. [In Persian]

124. Kym D, Seo DK, Hur GY, Lee JW. Epidemiology of electrical injury: Differences between low- and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea. Scand J Surg 2015;104:108-14.

125. Edlich RF, Farinholt HM, Winters KL, Britt LD. Long WB 3rd. Modern concepts of treatment and prevention of electrical burns. J Long Term Eff Med Implants 2005;15:511-32.

126. Rezaei E, al-Shariati SMM, Safari H. Study on electrical burn patients. Med J Mashhad Univ Med Sci 2009;52:107-12. [In Persian]

127. Teoh Sh. fire blamed on faulty wiring in JB Hospital, Malaysia. 2016. Available from: https://www.straitstimes.com/asia/seasia/jb-hospital-fire-blamed-on-faulty-wiring

128. Nagral S. 40-dead in fire at Kolkata AMRI Hospital. Indian J Med Ethics 2011;4:12-19.

129. Vindigni SM, Lessing JN, Carlbom DJ. Hospital resuscitation teams: a review of the risks to the healthcare worker. J Intensive Care 2017;5:59.

130. Dempsey M.F, Condon B. Thermal injuries associated with MRI. Clin Radiol 2020;56:457–65.

131. Elahi B, ed. Safety risk management to medical devices. New York: Elsevier; 2022. P.57-62.

132. WHO. Maintenance and Repair of laboratory. diagnostic, imaging and hospital equipment. 2nd ed. Geneva Switzerland: World Health Organization; 1994. P.22-41.

133. Falah Tafti M, ed. Basic requirements in the maintenance management of cold chain medical equipment. Tehran, Iran: Blood Transfusion Research Center and Higher Educational Research Institute of Blood Transfusion Medicine; 2015. P.239-34. [In Persian]

134. Fallah Tafti M, Karimi G, Azadbakht A. Qualitative evaluation of the facility system management and electrification network of Iran's blood transfusion centers (IBTO). bloodj 2023;20:34-43. [In Persian]

135. Nasiri P, Golbabaee F, Shahtaheri SJ. Identification and assessment of existing or potential hazard in a company using job safety analysis. J.Env Sci Techn 2008; 8:77-88. [In Persian]

136. Taktak A, McCarthy J. Electrical safety of medical equipment and systems. In: Taktak A, Ganney PS, Long D, Axell RG, eds. Clinical Engineering. 2nd ed. Cambridge, Massachusetts Academic Press; 2020. P.217-25.

137. Kothwala MD, Jatashankar Sharma R, Maheshbhai Pate S. Review Proactive Integration of IEC 60601 Standards in Medical Device Development: A Safety-Driven Approach to Compliance and Innovation. International Journal of Allied Medical Sciences and Clinical Research (IJAMSCR) 2025; 13: 194-201.

138. Amaral C, Paiva M, Rodrigues AR, Veiga F, Bell V. applied sciences Review Global Regulatory Challenges for Medical Devices: Impact on Innovation and Market Access. Appl Sci 2024; 14: 9304.

139. Ginsburg G. Human factors engineering: A tool for medical device evaluation in hospital procurement decision-making. J Biomed Inform 2005;38:213-19.

140. Tettey F, Parupelli SK, Desai S. A Review of Biomedical Devices: Classifcation, Regulatory Guidelines, Human Factors, Software as a Medical Device, and Cybersecurity. Biomedical Materials & Devices 2023; 8: 325-37.

141. Biradar V, Khemraj IA. Electrical Safety in Public Healthcare Facilities and Medical Devices Management. South Eastern European Journal of Public Health 2024;2:206-10.

142. Interntional Standard for Electrical Safety of Medical Equipment (IEC 60601-1: 2005). Available from: https://webstore.iec.ch/en/publication/2606

143. Jozi SA, Jafarzadeh Hagighifard N, Afzali Behbahani N. Identification and risk assessment of hazards arising from high voltage power transmission lines in residential areas using the failure mode and effects analysis (FMEA). Iran J Heal Environ 2014; 7:55 –64. [In Persian]

144. Djalel DIB, Mourad M. Study of the influence high-voltage power lines on environment and human health: case study. Journal of Electrical and Electronic Engineering 2014; 2: 1-8.

145. Pourreza A, Akbarihaghighi F, Khodabakhshnejad V. Maintenance and Safety Management at Diagnostic Units of Gilan University of Medical Sciences' Hospitals. Health Info Manag 2008;3:93-102. [In Persian]

146. Fathi M. Investigation of Safety Management at Hospitals of Kordistan Medical University in 2002. Sci J Kurdistan Univ Med Sci 2002; 7: 37-41. [In Persian]

147. Amoore JN. A Structured Approach for Investigating the Causes of Medical Device Adverse Event. J Med Eng 2014; 12: 52-61.

148. Kwaku Kutor J, Agede P, Haruna Ali R. Maintenance Practice, Causes of Failure and Risk Assessment of Diagnostic Medical Equipment. J Biomed Eng Med Devic 2017; 2:1-3.

149. Hosseini S M, Soltanzadeh A, Ghiyasi S. Modeling Parameters Affecting Electrocution Accidents: An 8-Year Study in Tehran Province. TB 2021; 20 :39-52. [In Persian]

150. Parise G, Sutherland PE, Moylan WJ. Electrical safety for employee workplaces in Europe and in the USA. IEEE Transact Indust Appl 2005;41:1091-98.

151. El-Sallamy RM, Kabbash IA, El-Fatah SA, El-Feky A. Physical hazard safety awareness among healthcare workers in Tanta university hospitals, Egypt. Environ Sci Pollut Res 2018;25:30826-38.