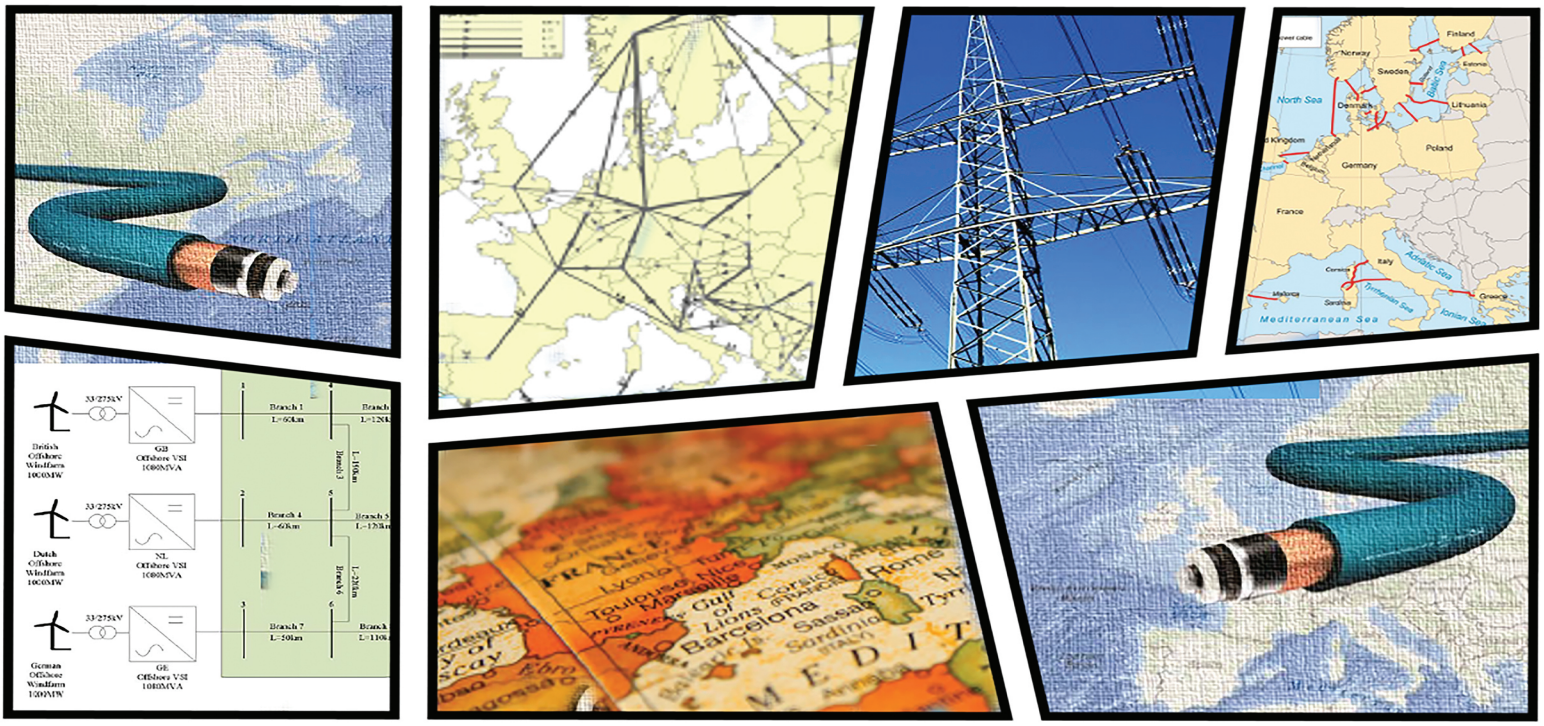


مقاله علمی-ترویجی

مروری بر استانداردهای بین‌المللی در حوزه تولید، انتقال و توزیع در شبکه برق

میلاد یدالهی، عضو هیات علمی گروه پژوهشی مهندسی برق، پژوهشکده فناوری و مهندسی پژوهشگاه استاندارد، m.yadollahi@standard.ac.ir

محمد مهدی شرع پسند*، عضو هیات علمی گروه پژوهشی مهندسی برق، پژوهشکده فناوری و مهندسی پژوهشگاه استاندارد، sharepasand@standard.ac.ir

(* نویسنده مسئول)

چکیده

با توجه به مزیت‌های مهم انرژی الکتریکی بر سایر انرژی‌ها، به دلیل سادگی و راحتی توزیع و قابلیت انتقال برای مسافت‌های طولانی، امروزه پیش‌بینی می‌گردد که بیش‌ترین مصرف انرژی در قرن آینده کماکان به صورت انرژی الکتریکی باشد. مدیریت و توسعه صحیح سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع برق، به لحاظ افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، کیفیت توان و تقویت زیرساخت‌های توسعه کشور، حائز اهمیت اساسی است. موضوع استانداردسازی مورد توجه علوم و فنون مختلف می‌باشد. وجود رقابت شدید بین صنایع و جهانی شدن اقتصاد نیز سبب تقویت اراده مسئولین واحدهای تولیدی سراسر جهان در جهت تولید محصولات استاندارد شده است. یک واحد تولیدی نه تنها نمی‌تواند بدون استانداردسازی خطوط تولیدی خود، به موفقیت‌های ارزنده‌ای دست یابد، بلکه با وجود برداشته شدن مرزهای اقتصادی و شرایط موجود در جهان، در صورتی که فعالیت‌های تحقیقاتی خود خصوصا در زمینه استانداردسازی را به موقع شروع نکند، ممکن است حتی نتواند شرایط موجود خود را نیز حفظ کند و با کاهش روزافزون درآمد، قدرت رقابت در صحنه بین المللی را از دست داده و به سمت ورشکستگی پیش برود. استانداردسازی سیستم‌ها در صنعت برق در سه حوزه تولید، انتقال و توزیع برق شامل طراحی و ساخت تجهیزات، تست تجهیزات،تامین تجهیزات، اجرا، نصب و راه اندازی تجهیزات علاوه بر افزایش عملکرد، راهکاری کلیدی در زمینه خصوصی سازی اصولی در راستای نگهداشت و بهبود مستمر شبکه برق به‌عنوان زیرساخت اساسی توسعه کشور، به شمار می‌آید. بنابراین مرور و احصا استانداردهای بین‌المللی در این حوزه و مقایسه استانداردها و ضوابط کشورمان با آنها مفید خواهد بود. در این مقاله علاوه بر دسته‌بندی حوزه‌های استانداردسازی در زمینه تولید، انتقال و توزیع شبکه برق، استانداردهای مهم بین‌المللی احصا شده‌اند.

کلمات کلیدی: سیستم توزیع و انتقال برق، استانداردهای بین‌المللی، صنعت برق

A Review on International Standards in the Field of Power Generation and Transmission

Milad Yadollahi,PhD electrical engineering, Tehran University, Assistant professor, Electrical engineering research group, technology and engineering research center, standard research institute, m.yadollahi@standard.ac.ir

Mohammad Mahdi Share Pasand*,PhD electrical engineering, Shahid Beheshti University,Assistant professor, Electrical engineering research group,technology and engineering research center, standard research institute, sharepasand@standard.ac.ir

*Corresponding Author

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

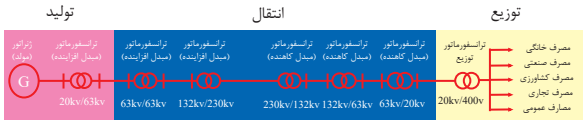
Abstract

Due to its important advantages over other forms of energy, the electrical energy is nowadays expected to keep on being the most frequently used form of consumed energy. Proper management and development of the generation, transmission and distribution systems carries significant value with respect to efficiency improvement, loss reduction, power quality and enhancement of the country infrastructure. Standardization is a focus of interest in many scientific and engineering fields. The severe competition among industries and globalization of the economy encouraged many producers around the world to approach quality production conforming to the standards. Without production line standardization, any producer will fail to achieve valuable success. It may even fail in maintaining its present statute causing income declines on a daily basis, losing competition capabilities and eventually becoming bankrupt if it does not initiate research on standardization in the current situation of the borderless world of business. Standardization in the field of electrical systems for generation, transmission and distribution in the fields of design, manufacturing, test, provision, construction, installation and commissioning of electrical equipment improves performance and is a key to proper privatization with the purpose of maintaining and continually improving the power grid as an important national infrastructure. Therefore, to review the relevant international standards, and to compare them with national standards and regulations, will be useful in this regard. In this article besides categorization of standards in generation, transmission and distribution in the power grid, important international standards are surveyed.

Keywords: Electrical transmission and distribution system, international standards, electrical industry

۱- مقدمه

به‌طور کلی می‌توان ساختار شبکه‌های الکتریکی را مطابق شکل (۱) به سه حوزه تولید[۱]، انتقال[۲] و توزیع[۳] دسته‌بندی کرد.



شکل ۱: ساختار کلی شبکه برق

سیستم تولید، انتقال و توزیع برق در کشورمان با توجه به سابقه نصب و عدم نوسازی بهنگام، به نسبت فرسوده است. تلفات انتقال برق در شبکه برق ایران بالاتر از میزان جهانی تخمین زده شده است[۱]. دوام و کیفیت سرویس نیز موضوع دیگری است که به نظر می‌رسد شایسته است بهبود و ارتقا داده شود. تعریف و احصا استانداردهای بین‌المللی و نیز استانداردهای ملی و منطقه‌ای کشورهای توسعه یافته، علاوه بر ارتقای سطح ایمنی به لحاظ سازگاری عملکردی، دوام و کیفیت اجزا و سیستم‌ها[۲] فواید زیادی به لحاظ اقتصادی نیز دارد[۶-۳]. به‌طور خاص، با توجه به انجام بخش مهمی از سرویس تولید، انتقال و توزیع توسط پیمانکاران متعدد که در مناطق جغرافیای پراکنده شده و در هر سال ممکن است تغییر کنند، دو فایده مهم دارد[۳]: اولا شناسایی و تعیین استانداردها، عاملی مهم برای تسهیل خصوصی‌سازی آن بخش از فعالیت که هنوز تحت تصدی دولتی است خواهد شد. این موضوع به نوبه خود باعث جذب سرمایه‌گذاری غیر دولتی و در نهایت بهبود خدمات خواهد بود. در صورت عدم شناسایی و تعیین استانداردهای لازم برای شبکه تولید، انتقال و توزیع خصوصی‌سازی به‌صورت غیراصولی صورت گرفته و نظارت بر عملکرد پیمانکاران نیز مقدور نخواهد بود. در واقع استانداردها زبان فنی مشترکی میان کارفرمای شبکه (وزارت نیرو، توانیر یا برق‌های منطقه‌ای و شرکت‌های توزیع) و پیمانکار ارائه دهنده سرویس (طراحی و ساخت تجهیزات، نصب و راه‌اندازی، نوسازی، تعمیر و تست تجهیزات، سرویس‌های دوره‌ای و ...) ارائه می‌کنند. این زبان مشترک زیر بنای قراردادها را تشکیل داده و اختلافات اجرایی را به حداقل می‌رساند. دوم شناسایی و تعیین استانداردهای بین‌المللی حتی در صورتی‌که خصوصی‌سازی انجام نشده باشد، از اعمال سلیقه محلی و فردی در تعریف فعالیت‌ها جلوگیری کرده و باعث ارتقای یکنواخت کیفیت خدمات و تجهیزات خواهد شد. در این مقاله مروری بر استانداردهای بین‌المللی و ملی کشورهای توسعه یافته در خصوص شبکه تولید، انتقال و توزیع برق شامل طراحی، تجهیزات، پست‌ها و برخی موارد مرتبط دیگر، بر اساس منابع متعدد از جمله [۷] و[۸] ارائه شده است. استانداردهای کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)، انستیتوی مهندسان برق و الکترونیک (IEEE)، انجمن سازندگان تجهیزات برقی امریکا (NEMA)، جامعه تست و مواد (ASTM)، استانداردهای ملی آمریکا (ANSI) و انجمن مهندسان عمران امریکا (ASCE) مرور شده‌اند.

۲- استانداردهای حوزه تولید در صنعت برق

تولید الکتریسیته فرایندی است که طی آن از یک منبع انرژی استفاده می‌شود تا انرژی الکتریکی تولید شود. برخی از تجهیزات مانند ترانسفورماتورها و یا ماشین‌های الکتریکی گردان و غیره هم در حوزه تولید و هم در حوزه انتقال و توزیع استفاده می‌شوند که در این دسته‌بندی در بخش تولید به بررسی منابع و استانداردهای بین‌المللی آنها پرداخته می‌شود.

۲-۱- ترانسفورماتورها

ترانسفورماتور یکی از پرکاربردترین تجهیزات در سیستم قدرت و گران قیمت‌ترین تجهیز در پست‌های فشارقوی می‌باشد، از این رو طراحی، ساخت و نصب و راه‌اندازی و بهره‌برداری آن نیز حایز اهمیت خواهد بود. ترانسفورماتورهای نیروگاهی برخلاف ترانسفورماتورهای قدرت دیگر به دلیل حرارت بالای تولیدی در

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

سـمت فشـارضعیف دارای سیسـتم خنک‌کنندگی و نوع سـیم‌پیچی متفاوتـی نسـبت بـه ترانسـفورماتورهای معمولـی می‌باشـند. از نظـر تعـداد سـیم پیـچ نیـز بـا توجـه بـه تغذیـه داخلـی نیروگاه‌هـا دارای سـه سـیم‌پیچ می‌باشـند. جـدول (۱) اسـتانداردهای مربـوط بـه ترانسـفورماتورها و تسـت‌های الکتریکـی و متعلقـات ترانسـفورماتور را ارایـه می‌دهـد.

جدول ۱: استانداردهای بین المللی ترانسفورماتور

موضوع	استاندارد
ترانسفورماتورهای قدرت	
عمومی	IEC 60076-1
الزامات استاندارد IEEE برای ترانسفورماتورهای قدرت غوطه ور در مایع	IEEE C57
افزایش دما برای ترانسفورماتورهای غوطه ور در مایع	IEC 60076-2
سطوح عایقی، تست دی‌الکتریک و فواصل ایمنی هوایی	IEC 60076-3
تست صاعقه و سوئیچینگ ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-4
توانایی ایستادگی در برابر خطای اتصال کوتاه	IEC 60076-5
راهنمای بارگیری از ترانسفورماتورهای روغنی	IEC 60076-7
تعیین سطح صدا	IEC 60076-10
بارگیری از ترانسفورماتورهای خشک	IEC 60076-12
ترانسفورماتورهای مورد استفاده در توربین‌های بادی	IEC 60076-16
بازده انرژی	IEC 60076-20
وسایل حفاظتی ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-1
رادیاتورهای قابل جابجایی برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-2
مبدل حرارتی هوا برای عایق مایع برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-3
مبدل حرارتی آبی برای عایق مایع برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-4
پمپ های برقی برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-5
پنکه برقی برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-6
متعلقات و پرکننده‌ها برای ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-1
مشخصات تنظیم ولتاژ ترانسفورماتورهای توزیع	IEC 60076-24
الزامات روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور	IEC 60076-26
بوشینگ‌های عایقی	IEC 60137
الزامات حفاظت دیستانس	IEC 60255-121
روغن اسکارل برای ترانسفورماتور و خازن	IEC 60588
علامت‌گذاری ترمینال و تب چنجر برای ترانسفورماتورهای قدرت	IEC 60616
متعلقات	
ورق هسته	IEC 60404
تپ چنجر	IEC 60214
سیم لاکی تخت	IEC 60851-5
رنگ	ASTM B 117 ASTM D 3359
اقلام لاستیکی	ISO 1183-1 ISO 48-4
مواد فلزی	ISO 6506-1 ISO 6507-1 BS EN ISO6892-1
فلزات غیر مغناطیس مس و برنج	ASTM E 1004
کاغذ عایق	IEC 60554-2 IEC 60243 ISO 534 ISO 287 ISO 2144

۲-۲- ماشین های الکتریکی گردان

ماشـین‌های الکتریکـی گـردان ماشـین‌هایی هسـتند کـه دارای حرکـت دورانـی هسـتند و قادرند انرژی الکتریکـی را تبدیل به انرژی مکانیکـی کـرده و یـا بر عکس انـرژی مکانیکی را به انـرژی الکتریکی تبدیـل نماینـد، یـا موجـب تغییـرات انـرژی الکتریکـی از صورتی به صـورت دیگر شـوند. ماننـد: ژنراتورهـا و موتورهای جریان مسـتقیم، جریـان متنـاوب سـه فـاز و جریان متنـاوب تک فـاز. اسـتانداردهای ماشـین‌های الکتریکـی گـردان در جدول (۲) آورده شـده اسـت.

جدول۲: استانداردهای بین المللی ماشین‌های الکتریکی گردان

موضوع	استاندارد
ماشین‌های الکتریکی گردان	
رتبه بندی و عملکرد	IEC 60034-1
روش‌های استاندارد و ویژه برای تعیین تلفات و بازده از آزمایش‌ها	IEC 60034-2
الزامات ویژه برای ژنراتورهای سنکرون و جبران‌کننده‌های سنکرون که توسط توربین‌های بخار یا توربین‌های گاز احتراق هدایت می‌شوند.	IEC 60034-3
روش‌های تعیین مقادیر تحریک الکتریکی ماشین سنکرون از آزمایش‌ها	IEC 60034-4
درجه حفاظت ارائه شده توسط طراحی یکپارچه ماشین‌های الکتریکی دوار (کد PI) - طبقه بندی	IEC 60034-5
روش‌های خنک کنندگی	IEC 60034-6
طبقه‌بندی انواع ساختار، ترتیبات نصب و موقعیت جعبه ترمینال	IEC 60034-7
محدودیت سطح صدا	IEC 60034-9
حفاظت حرارتی	IEC 60034-11
عملکرد راه‌اندازی موتورهای القایی قفس سنجابی سه فاز تک سرعته	IEC 60034-12

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

موضوع	استاندارد
ارتعاش مکانیکی ماشین‌های خاص با ارتفاع شفت ۶۵ میلی‌متر و بالاتر - اندازه‌گیری، ارزیابی و محدودیت‌های شدت ارتعاش	IEC 60034-14
سطح ایستادگی در برابر ولتاژ ضربه سیم‌پیچ‌های استاتور ماشین های گردان AC	IEC 60034-15
سیستم‌های تحریک برای ماشین‌های سنکرون	IEC 60034-16
ارزیابی عملکردی سیستم های عایقی	IEC 60034-18

۳- استانداردهای حوزه سیستم انتقال در صنعت برق

سیستم‌های انتقال برق به معنای جابه‌جایی انرژی الکتریکی از نقطه تولید تا ایستگاه‌های فرعی توزیع برای توزیع برق به صورت محلی است. برای انجام اقتصادی این کار، ولتاژ برق تولید شده در ایستگاه فرعی به سطوح ولتاژ لازم برای انتقال افزایش می‌یابد. یک نگرانی مهم در خصوص انتقال انرژی برق به کمینه رساندن هدررفت انرژی ناشی از امپدانس خطوط قدرت برق است. سطوح ولتاژ انتقال می‌توانند به‌طور معمول بالای صد کیلوولت بوده و در سطوح ولتاژ بسیار بالا[۴] تا سطوح ولتاژ کمتر از هزار کیلوولت هستند.

دستورالعمل‌ها، استانداردها و آیین‌کارهای توصیه شده بسیاری وجود دارند که در طراحی و ساخت سیستم‌های انتقال برق قابل استفاده هستند. نخستین حوزه‌هایی که باید مورد توجه قرار بگیرد خطوط هوایی و زیرزمینی مربوط به این سیستم‌ها هستند. در کشورمان عمده انتقال برق از طریق خطوط هوایی صورت می‌پذیرد. جدول (۳) برخی از استانداردهای مربوط به خطوط انتقال و توزیع را نشان می‌دهد. شرکت‌های توزیع و انتقال برق و شهرداری‌ها در کشورهای مختلف، استانداردهای مهندسی و طراحی خود را برای سیستم‌های توزیع و انتقال برق دارند. هرچند سیستم‌های توزیع ولتاژ بالای مستقیم (HVDC) در حال حاضر در کشورمان رایج نیستند، به جهت کاربرد احتمالی در برخی تاسیسات صنعتی موجود یا آتی، در این جدول استانداردهای مربوط به این سیستم نیز آورده شده است.

جدول ۳: استانداردهای خطوط انتقال

موضوع	استاندارد
ولتاژهای استاندارد	IEC 60038
کد ایمنی الکتریکی	IEEE C 2
تاسیسات ولتاژ متناوب یک کیلو ولت و بالاتر	IEC 61936 (ser.)
محاسبات اتصال کوتاه	IEC 60909 (ser.)
تله موج برای سیستم‌های انتقال ولتاژ متناوب	IEC 60353
خازن کوپلینگ و تقسیم ولتاژ	IEC 60358
طراحی و اجزای خطوط انتقال هوایی	
خطوط انتقال هوایی	IEC 60826
آزمون بارگذاری سازه‌های خطوط انتقال هوایی	IEC 60652
تاسیسات ولتاژ متناوب یک کیلوولت و بالاتر	IEC 61936 (ser.)
اتصال زمین در طول نصب خطوط هوایی انتقال نیرو	IEEE 524
اندازه‌گیری نویز صوتی خطوط انتقال هوایی	IEEE 656
اندازه‌گیری جریان/ دما خطوط انتقال هوایی	IEEE 736
بهبود عملکرد خطوط انتقال هوایی در برابر آذرخش	IEEE 1410
زمین حفاظتی خطوط انتقال	IEEE 1048
بازرسی خطوط انتقال هوایی	IEEE 1441
جورافزارهای خطوط انتقال هوایی	IEC 61284
آزمون خزش جریان برای خطوط انتقال هوایی	IEC 61395
فونداسیون سازه خطوط انتقال هوایی	IEC 61773
جداکننده (اسپیسر) رساناهای خطوط انتقال هوایی	IEC 61854
محاسبات فاصله ایمن در اطراف خطوط انتقال هوایی	IEC 61865
نوسان‌گیرهای مورد استفاده در خطوط انتقال هوایی	IEC 61897
سیستم‌های توزیع ولتاژ بالای مستقیم	
سیستم توزیع ولتاژ بالای مستقیم (CDVH)	IEC 60633 (ser.)
تاسیسات سیستم توزیع HVDC	IEC 61975
مدار کلیدزنی تریستوری برای سیستم توزیع CDVH	IEC 60700 (ser.) IEC 61954 IEC 62823
مبدل‌های ولتاژ متناوب/ مستقیم برای سیستم توزیع CDVH	IEC 62751 (ser.) IEC 62747 IEC 62927 IEC TR 62543 IEC 62501
مدار کموتاسیون خط برای سیستم توزیع HVDC	IEC TR 60919(ser.)
فیلترهای ولتاژ متناوب برای سیستم توزیع CDVH	IEC TR 62001(ser.)
فیلترهای فعال برای سیستم توزیع CDVH	IEC TR 62544
آنالیز خرابی	
تعیین محل رخداد خرابی در خطوط انتقال	IEEE C 37.114
آنالیز داده‌های خرابی عایقی	IEC 62539

۳-۱- استانداردهای تجهیزات خطوط انتقال

رساناهای انتقال و توزیع هوایی نیازمند سخت‌افزارهای اساسی برای نگهدای و اتصال به تیرها، حفظ الزامات فاصله سیم‌ها و جلوگیری از ایجاد مسیرهای تخلیه الکتریکی بین سیم‌های برق‌دار و زمین هستند. سخت‌افزارهای اضافی هم برای حفاظت از خطوط هوایی دربرابر رعد و برق و اضافه ولتاژ لازم هستند. تجهیزات و سوئیچ‌های حفاظتی سیستم توزیع و انتقال، امکان اجتناب از اتصالی و اضافه جریان را نیز فراهم می‌کنند.

عایق‌های خطوط یا مقره‌ها، حفاظت و نگهداری حیاتی رساناها را فراهم می‌کنند. الزامات طراحی مقره بر اساس ولتاژ عملیاتی سیستم‌های توزیع و انتقال تعیین می‌شود. ابعاد و شکل هندسی مقره نقش اساسی در ایجاد و حفظ فاصله لازم برای جلوگیری

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

از ایجاد جریان نشتی یا قوس الکتریکی ایفا می‌کند. شکل هندسی مقره به گونه‌ای طراحی می‌شود تا با خطوط شار میدان الکتریکی ناشی از خطوط انتقال قدرت مطابقت داشته باشد. ضخامت جنس عایق مقره نیز باید قادر به جلوگیری از سوراخ شدن عایق به واسطه ولتاژهای بالا (اعم از ولتاژ عادی و اضافه ولتاژ گذرا) باشد. تعدادی از استانداردهای مربوط به مقره‌ها و اجزای سیستم توزیع و انتقال قدرت در جدول (۴) آورده شده‌اند.

جدول۴: استانداردهای تجهیزات سیستم انتقال و توزیع

موضوع	استاندارد
مقره	
مقره	IEC 60383 (ser.) NEMA C 29.1
شیشه و پرسلان برای مقره	NEMA C 29.2
مقره پرسلان قرقره‌ای	NEMA C 29.3
مقره پرسلان بشقابی	IEC 60305
مقره پرسلان جداکننده	NEMA C 29.4
مقره کامپوزیتی جداکننده	IEC 61109
مقره یکپارچه پرسلان	IEC 60433
مقره پرسلان سوزنی (فشار ضعیف، متوسط و قوی)	NEMA C 29.5 NEMA C 29.6 NEMA C 29.8
مقره پرسلان اتکایی	IEC 60168 IEC 60273 IEC 60720 NEMA C 29.6 NEMA C 29.9
مقره کامپوزیتی اتکایی	IEC 60720 IEC 61952 NEMA C 29.17
مقره پرسلان برای استفاده داخل ساختمان	NEMA C 29.10
مقره اتکایی برای استفاده داخل ساختمان	IEC 60660 IEC 60720
مقره کامپوزیتی آویز	IEC 61109 NEMA C 29.11 NEMA C 29.12
مقره کامپوزیتی زنجیره‌ای	IEC 61466 (ser.) IEC 61467
مقره پلیمری	IEC 62217 IEC TR 62039
مقره پست کامپوزیتی	IEC 62231
مقره توخالی	IEC 62155 IEC 61462
مقره برای سیستم انتقال قدرت ولتاژ مستقیم	IEC 61325
آزمون اغتشاش مقره فشار قوی	IEC 60437
آزمون آلودگی مصنوعی مقره	IEC 60507
آزمون ولتاژ ضربه مقره شیشه‌ای و پرسلان	IEC 61211
آزمون میزان خیس شدن سطح مقره	IEC 62073
بهره‌برداری از مقره سرامیکی آویز	NEMA HV 2
نظافت مقره	IEEE 957
قطعات	
اثرات دمای بالا روی قطعات، اتصال‌دهنده‌ها و رساناها	IEEE 1283
پیچ و مهره برای خطوط انتقال هوایی	IEEE C 135.1
انکور بولت[۵] برای خطوط انتقال هوایی	IEEE C 135.2
پیچ خودکار[۶] برای خطوط انتقال هوایی	IEEE C 135.3
پنجه مفصلی[۷] برای خطوط انتقال هوایی	IEC 60471 IEEE C 135.20
میخ عایقی برای روی تیر برق	IEEE C 135.22
میله مسی اتصال زمین	IEEE C 135.30
پیچ برای مقره‌های آویز	IEEE C 135.31
رک فلزی کابل	IEEE C 135.35
پیچ واشردار و مهره واشردار	IEEE C 135.38
قفل[۸] (شکل) ریخته‌گری شده	IEEE C 135.62
پیچ U شکل و مهره[۹]	IEEE C 135.64
بازوی آویز تیر برق	IEEE C 135.63
آزمون و تعمیرات	
کاور لاستیکی عایقی	ASTM D 1049
مواد سرامیکی برای کاربردهای الکتریکی	ASTM D 116
زمین حفاظتی موقت برای تعمیرات	ASTM F 855
آزمون دوره‌ای تجهیزات سیستم توزیع و انتقال	IEEE C 135.61

دستگاه‌های حفاظتی مورد استفاده در سیستم‌های توزیع و انتقال نیز در جدول (۵) فهرست شده‌اند.

جدول ۵: استانداردهای تجهیزات قطع و وصل سیستم انتقال

موضوع	استاندارد
کلید ابزار و فرمان ابزار فشار قوی	IEC 62271 (ser.) IEEE C 37.100
کلید ابزار و فرمان ابزار با بدنه فلزی	IEC 62271-200 IEEE C 37.20 IEEE C 37.21 IEEE C 37.24 IEEE C 37.55 IEEE C 37.81
کلید ابزار و فرمان ابزار با بدنه عایقی	IEC 62271-201
کلید ابزار و فرمان ابزار پیش ساخته	IEC 62271-202
کلید ابزار و فرمان ابزار با عایق گازی	IEC 62271-203

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

موضوع	استاندارد
کلیدهای فشار قوی و متوسط	IEC 62271-102 IEC 62271-103 IEC 62271-104 IEEE C 37.30 IEEE C 37.32 IEEE C 37.34 IEEE C 37.35 IEEE C 37.41 IEEE C 37.45 IEEE C 37.48 IEEE C 37.58
کلیدهای فیوزدار	IEC 62271-105 IEC 62271-107 IEEE C 37.46
فیوزهای فشار قوی برای سیستم توزیع	IEEE C 37.40 IEEE C 37.42 IEEE C 37.48
قطع‌کننده‌های مدار	IEC 62271-100 IEC 62271-101 IEC 62271-108 IEEE C 37.04 IEEE C 37.06 IEEE C 37.09 IEEE C 37.11 IEEE C 37.12 IEEE C 37.54 IEEE C 37.83
گزارش خرابی قطع‌کننده‌های مدار فشار قوی	IEEE 1325 IEEE C 37.10
قطع‌کننده‌های مدار فشار ضعیف	IEEE C 37.13 IEEE C 37.14 IEEE C 37.16 IEEE C 37.17 IEEE C 37.27 IEEE C 37.50 IEEE C 37.51
کنتاکتور و راه‌اندازهای کنتاکتوری موتور ولتاژ متناوب	IEC 62271-106
کلیدزنی بار القایی	IEC 62271-110 IEEE C 37.15
کلید ابزارهای چندکاره	IEC 62271-108
کلید کنارگذر خازن سری	IEC 62271-109
کلید خازن	IEEE C 37.66
کلید قطع	IEC 62271-102 IEEE C 37.37 IEEE C 37.42 IEEE C 37.43 IEEE P 1247
کلید محدودکننده جریان	IEEE C 37.47

موضوع	استاندارد
نصب، تعمیر و بهره‌برداری کلیدها و فیوزها	IEEE C 37.35 IEEE C 37.48 IEEE C 37.40 IEEE C 37.40a
کلیدهای بازبست[10]	IEC 62271-111 IEEE C 37.60 IEEE C 37.104
سکشانالایزر	IEEE C 37.63
کلیدهای قطع سریع از طریق انحراف جریان به زمین	IEC 62271-112
کلید ابزار فیوزدار جهت نصب روی پایه	IEEE C 37.73 IEEE C 37.74
اندازه‌گیری تخلیه جزئی بار الکتریکی در کلیدابزار فشار قوی	IEEE 1291
مواد مورد استفاده در کلید ابزار و فرمان ابزار	
روغن معدنی برای استفاده در کلید ابزار و ترانسفورماتور	IEC 60296
هگزا فلورید گوگرد (SF_6) برای استفاده در کلیدابزار و فرمان ابزار	IEC 60480

۲-۳- استانداردهای پست‌های برق و حفاظت زمین

استاندارد IEEE 80 الزامات حفاظت زمین ایستگاه‌های فرعی را ارائه می‌کند. طراحی سیستم حفاظت زمین ایستگاه فرعی باید از طریق ایجاد یک سطح هم‌پتانسیل[11]، خطر بروز برق‌گرفتگی در اثر ولتاژ گام یا ولتاژ تماس را به حداقل برساند. سیستم ارت متشکل از یک صفحه یا تسمه مسی دفن‌شده و چندین الکترود زمین در اطراف آن است که همه نقاطی که احتمال برق‌دار شدن ناخواسته آنها وجود دارد، با مقاومت پایین به این سیستم وصل باشند. به طوری که در اثر ایجاد اتصال، جریان عبوری بیش از آستانه قطع کلیدهای حفاظت اضافه جریان باشد و در نتیجه کلیدها برق را قطع کنند. کارآیی صحیح سیستم زمین مستلزم اتصال تمامی نقاط لازم با استفاده گسترده از جامپرهای اتصال، نگهدارنده‌های فلزی سازه و رسانای زمین است. همچنین ضروری است که اتصال الکتریکی هرگونه میلگرد در سیمان یا حصار فلزی به سیستم زمین وجود داشته باشد. جامپرهای اتصال بین تیرهای ثابت حصار و دروازه‌ها لازم هستند.

جدول۶: استانداردهای کابل و هادی خطوط انتقال

موضوع	استاندارد
رتبه‌بندی و عملکرد	IEC 60034-1
هادی‌های مربوط به کابل‌های عایقدار	IEC 60228
راهنمای انتخاب کابل‌های فشار قوی	IEC 60183
کابل‌های برق- محاسبه نرخ جریان	IEC 60287
کابل‌های برق با عایق اکسترود شده	IEC 60502
آزمایشات روی کابل‌های الکتریکی و فیبر نوری تحت شرایط آتش سوزی	IEC 60332

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

رنگ‌های مربوط به مغزی کابل‌ها و سیم‌های انعطاف‌پذیر	IEC 60173
کابل‌ها و سیم‌های فرکانس پایین با عایق و غلاف P	IEC 60189
کابل‌های با عایق PVC با ولتاژ نامی کوچک‌تر یا مساوی ۴۵۰/۷۵۰ ولت	IEC 60227
آزمون‌های ضربه بر روی کابل‌ها و متعلقات آنها	IEC 60230
رنگهای استاندارد برای عایق‌های کابل‌ها و سیم‌های فرکانس پایین	IEC 60304
مشخصه‌های مقاومت کابل‌های الکتریکی در برابر آتش	IEC 60331
آزمون‌های مربوط به کابل‌های الکتریکی و نوری تحت شرایط آتش	IEC 60332
محاسبه حداکثر قطر خارجی کابل‌ها برای نصب داخل ساختمان	IEC 60649
محاسبه محدوده های بالا و پایین جهت میانگین ابعاد خارجی کابل با هادی مسی	IEC 60719
راهنمای محدوده‌های حرارتی اتصال کوتاه کابل‌های الکتریکی	IEC 60724
روش‌های رایج آزمون برای مواد به‌کار رفته در عایق و غلاف کابل‌های الکتریکی و نوری	IEC 60811
محاسبه جریان نامی دورهای و اضطراری کابل‌ها	IEC 60853
روش‌های آزمون الکتریکی کابل‌ها	IEC 60885
مشخصات ساخت غلاف‌های سربی و آلیاژهای سربی در کابل‌های الکتریکی	BS 801
آزمون‌های کابل‌های الکتریکی تحت شرایط آتش	BS 4066
مشخصات آزمون جرقه بر روی کابل‌های الکتریکی	BS 5099
کابل با عایق ترموستینگ	BS 5467
کابل‌های با عایق PVC تک مغزی برای سیمکشی تجهیزات کلیدزنی و کنترل	BS 6231
مشخصات عایق و غلاف پلی اتیلن در کابل‌های الکتریکی	BS 6234
مشخصات هادی‌ها در کابل‌ها و سیم‌های عایق شده	BS 6360
مشخصات کابل‌ها و سیم‌های عایق‌شده انعطاف‌پذیر	BS 6500
کابل‌های زره دار با عایق ترموست	BS 6622
کابل‌های قدرت	IEC 60840
راهنمای IEEE برای نصب هادی‌های خطوط انتقال هوایی	IEEE 524
رساناهای رشته‌ای الکتریکی هم مرکز با سیم گرد برای خطوط انتقال هوایی	IEC 61089
سیم آلومینیومی سخت کشیده برای هادی‌های خطوط هوایی	IEC 60889
سیم‌های فولادی با روکش روی برای هادی‌های رشته‌ای	IEC 60888
سیم آلیاژ آلومینیوم- منیزیم- سیلیکون برای رساناهای خطوط هوایی	IEC 60104
تست کشش مواد فلزی در دمای محیط	ISO 6892
مواد فلزی- سیم- آزمایش بسته‌بندی	ISO 7802
روش اندازه‌گیری مقاومت مواد فلزی	IEC 60468
بارگیری و استحکام خطوط انتقال هوایی	IEC 60826
خطوط هوایی- الزامات و آزمایشات برای ارتعاش بادی مستهلک کننده‌ها	IEC 61897

جدول‌های (۷) و (۸) استانداردهای پست و حفاظت زمین را خلاصه کرده‌اند.

جدول۷: استانداردهای پست‌های برق

موضوع	استاندارد
نصب تاسیسات فشار قوی	IEC 61936 (ser.)
تجهیزات قطع و وصل از راه دور	IEC 60870 (ser.)
اتوماسیون پست	IEC 61850 (ser.)
تجهیزات پست‌های برق فشار قوی	IEC Guide 111
ولتاژهای استاندارد	IEC 60038
جریان‌های اسمی استاندارد	IEC 60059
هماهنگی عایقی	IEC 60071 (ser.) IEC 60664 (ser.)
اتصالات الکتریکی در پست‌ها	NEMA CC 1
شارژر باتری برای پست	NEMA PE 5
راکتورها	IEC 60076-6
تجهیزات الکتریکی	IEC60050-442
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری	IEC 61869-1
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری جریان	IEC 61869-2
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری ولتاژ القایی	IEC 61869-3
ترانسفورماتورهای اندازه گیری ولتاژ خازنی	IEC 61869-5
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری در شبکه‌قدرت	IEC 61869-103
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری برای نوسانات فرورزونانس در پست‌های برق دارای ترانس ولتاژ	IEC 61869-102
تابلو های فشار قوی	IEC 60694
جریان اتصال کوتاه در شبکه سه فاز	IEC 60909
اتصال کابل به تابلوهای GIS با ولتاژ بالاتر از 72.5KV	IEC 60859
تخلیه جزیی در تست تجهیزات فشار قوی	IEC 60270
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- الزامات عمومی	IEC 60255-1

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

موضوع	استاندارد
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- رله‌های جهتی	IEC 60255-12
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- رله دیفرانسیلی	IEC 60255-13
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- تست	IEC 60255-21
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- سازگاری‌الکترومغناطیسی	IEC 60255-26
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- سنکرونایزینگ	IEEE/IEC 60255-118-1
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- رله دیستنس	IEC 60255-121
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- حفاظت اضافه/ کمبود ولتاژ	IEC 60255-127
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- رله حرارتی	IEC 60255-149
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- حفاظت اضافه/ کمبود جریان	IEC 60255-151
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- حفاظت فرکانسی	IEC 60255-181
خازن‌های موازی برای سیستم‌های متناوب دارای ولتاژ نامی بالاتر از ۱۰۰۰ ولت- حفاظت	IEC 60871-3
خازن‌های موازی برای سیستم‌های متناوب دارای ولتاژ نامی بالاتر از ۱۰۰۰ ولت- فیوزهای داخلی	IEC 60871-4

جدول ۸: استانداردهای حفاظت زمین

موضوع	استاندارد
ایمنی در زمین‌کردن پست برق	IEEE 80
اندازه‌گیری مقاومت و پتانسیل زمین	IEEE 81
بیشینه افزایش پتانسیل زمین	IEEE 367
زمین‌کردن تاسیسات صنعتی و تجاری	IEEE 142
تایید اتصالات زمین تاسیسات پست	IEEE 837
اتصالات موقت زمین در تاسیسات پست	IEEE 1246
زمین کردن نول در تاسیسات و تجهیزات برقی	IEEE C 62.91 IEEE C 62.92 (ser.)
میله الکترود زمین	NEMA GR 1

۴- استانداردهای حوزه توزیع در صنعت برق

انرژی برق از طریق یک شبکه توزیع برق شرکت برق بین مشتریان توزیع می‌شود. این شبکه شامل ایستگاه‌های فرعی توزیع برق می‌شود که سطح ولتاژ خط انتقال که بین شصت و سه کیلوولت و هفتصد و شصت و پنج کیلوولت است را به سطوح ولتاژ توزیع که به‌طور معمول بیست کیلوولت هستند کاهش می‌دهد. شبکه‌های توزیع متشکل از خطوط برق هوایی و همچنین کابل‌های زیرزمینی هستند. ولتاژ نقاط تحویل برق به مشتریان شرکت‌های برق باید بیشتر کاهش یابد.

۴-۱- استانداردهای سازه‌های نگهدارنده خطوط هوایی

چهار ابزار از رایج‌ترین ابزارهای خطوط انتقال و توزیع هوایی برق شامل تیرهای چوبی، سازه‌ها و تیرهای فلزی، تیرهای سیمانی و تیرهای کامپوزیتی/ فایبرگلاس می‌شوند. هر نوع از انواع سازه‌های نگهدارنده در ادامه به‌طور خلاصه در کنار استانداردهای قابل اعمال برای آنها بررسی می‌شوند.

استانداردهای مربوط به تیرهای چوبی در جدول (۹) آورده شده‌اند. مشخصات، طبقه‌بندی و خصوصیات تیرهای برق چوبی در استاندارد ANSI O5.1 تعیین شده‌اند. طبقه‌بندی کلاس تیرها مبتنی بر مقادیر ابعاد فیزیکی برای حداقل محیط به اینچ در بالای تیر و همچنین حداقل محیط به اینچ در شش فوت از پایین است. کلاس تیرهای توزیع چوبی استاندارد فوق از کلاس ۱۰ تا ۱ و کلاس‌های انتقال از H1 تا H5 هستند. کلاس توزیع ۱۰ کوچک‌ترین محیط بالای تیر و پایین ترین مقدار فشار فیبر را داشته درحالی که کلاس ۱ بزرگ‌ترین محیط بالای تیر و بیش‌ترین مقدار فشار فیبر را دارد. تیرهای برق سیمانی، پلیمر تقویت شده و فلزی هم در خطوط هوایی انتقال و توزیع برق مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تیرها نسبت به خرابی‌های ناشی از پوسیدگی، حشرات، هوا و آتش ایمن بوده و عمر بیش‌تری نسبت به تیر چوبی دارند. تیرهای کامپوزیت فایبرگلاس قابلیت جذب ضربه دارند که می‌توانند از منظر آسیب‌های ناشی از وسایل نقلیه مطلوب باشند. در کشور ما برای ولتاژهای متوسط و پایین در گذشته بیشتر از تیرهای چوبی استفاده شده و امروزه نیز تیرهای سیمانی بیش‌ترین رواج را دارند. اما ممکن است در آینده بتوان از تیرهای کامپوزیتی و پلیمری نیز استفاده کرد. در ولتاژهای بالاتر مشابه سایر کشورها، البته از دکل‌های فلزی استفاده می‌شود.

فهرستی از استانداردهای تیرهای برق سیمانی، پلیمر و چوبی در جدول (۹) ارائه شده‌اند.

جدول ۹: استانداردهای تیرها و دکل‌های برق چوبی و سیمانی

موضوع	استاندارد
تیرهای برق چوبی	
ابعاد و ساختار تیرهای چوبی	ANSI O 5.1
تیر چوبی لمینیت و رنگ شده	ANSI O 5.2
بازو و اتصالات تیر چوبی	ANSI O 5.3
آزمون ایستای تیر چوبی	ASTM D 1036
تیرهای سیمانی و کامپوزیتی	
تیر و دکل فولادی	ASCE 10 ASCE 48
تیر پلیمری	ANSI C 136.20 ASCE 104
تیر سیمانی	ANSI C 136.36B ASCE 596
نصب تیر سیمانی	IEEE 1025

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

۴-۲- طراحی سیستم‌های توزیع

استاندارد IEEE C2 الزامات طراحی و استفاده از سیستم‌های انتقال و توزیع ولتاژ پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا را بیان کرده است. این استاندارد برای سیستم‌های توزیع و ایستگاه‌های فرعی در تاسیسات صنعتی قابل استفاده می‌باشد. این استاندارد الزامات ایمنی حداقلی برای رساناهای برق‌دار، جاده‌ها، سازه‌ها، بیلبوردها، همچنین الزامات جداسازی ایمن بین رساناهای خطوط انتقال هوایی و فاصله مجاز از بخش‌های برق‌دار در ایستگاه‌های فرعی توزیع را ارائه می‌کند. بخش دوم این استاندارد، معیارهای بار برای بار مکانیکی ناشی از باد و یخ روی رساناها و سازه‌های هوایی نگهدارنده آنها شامل بازوهای روی تیرها، فنداسیون‌ها و لنگرها، سازه‌های بتنی، سیمان تقویت شده و چوب را تعیین می‌کنند. این بخش از استاندارد همچنین کم‌ترین الزامات برای عایق‌ها را تعیین کرده است. بخش سوم استاندارد به خطوط زیرزمینی برق و مخابرات می‌پردازد. راهنماهای مسیردهی کابل‌ها، از جمله توصیه‌های جداسازی خطوط مخابراتی از خطوط برق دفن شده زیرزمین، لوله‌کشی، خطوط فاضلاب، فنداسیون‌ها، کم‌ترین عمق دفن و ملاحظات ایمنی کارکنان مانند کم‌ترین فاصله نزدیک شدن برای کار روی جریان متناوب برق‌دار در این بخش آورده شده‌اند. استانداردهای IEEE C 2 و NFPA 70 طراحی ایمن سیستم‌های انتقال و توزیع با ولتاژ تا هشتصد و چهارده کیلوولت ارائه می‌دهند. استاندارد بیان شده همچنین فاصله مجاز زمین، سازه و جاده را که برای تضمین ایمنی عمومی درون و اطراف سیستم‌های توزیع و انتقال برق می‌کند. جدول (۱۰) برخی از استانداردهای موجود در زمینه طراحی سیستم توزیع برق را فهرست کرده است. این استانداردها حوزه‌هایی چون خطوط انتقال هوایی، صرفه‌جویی در انرژی و محاسبات را در مرحله طراحی در بر می‌گیرند. استاندارد IEEE 902 به دلیل در بر داشتن نکات مهمی در خصوص ایمنی، در مرحله طراحی نیز مفید بوده از این‌رو در این جدول آورده شده است.

جدول ۱۰: استانداردهای طراحی سیستم توزیع برق

موضوع	استاندارد
تابلوهای فشار ضعیف	IEC 60947
مونتاژ تابلوهای فشار ضعیف	IEC 61439
توزیع برق برای کارخانجات صنعتی	IEEE 141
اتصال زمین برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 142
سیستم برق قدرت برای ساختمان‌های تجاری	IEEE 241
حفاظت و هماهنگی عایقی برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 242
آنالیز تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 399
برق اضطراری تاسیسات صنعتی و تجاری	IEEE 446
طراحی تاسیسات برق صنعتی و تجاری با قابلیت اطمینان	IEEE 493
محاسبات اتصال کوتاه برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 551
صرفه‌جویی در انرژی و برنامه‌ریزی مقرون به صرفه در تاسیسات برق صنعتی	IEEE 739
تعمیر، بهره‌برداری و ایمنی تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 902
استفاده از قطع‌کننده‌های مدار در تاسیسات برق صنعتی و تجاری	IEEE 1015
تغذیه و اتصال زمین تجهیزات الکترونیکی	IEEE 1100
خطوط انتقال هوایی	IEC 60826 IEC 61936

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری بر مهم‌ترین استانداردهای بین‌المللی و ملی برای سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع برق ارائه شد. موضوع استانداردهای شبکه توزیع، از اهمیت ایمنی، اقتصادی و محیط زیستی برخوردار بوده و به‌منظور تسهیل کاهش تصدی دولت، کاهش دعاوی و اختلاف نظرها با پیمانکاران ارائه دهنده سرویس و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و تلفات انرژی حائز اهمیت است. موضوعاتی چون قابلیت اطمینان، کیفیت توان، شبکه هوشمند، برهم کنش خودروهای برقی با شبکه و منابع انرژی تجدیدپذیر از موضوع‌های پژوهشی آینده در همین راستا می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1Generation
2 Transmission
3 Distribution
4 Extra-high voltage
5 Anchor bolt
6 Lag screw
7 Clevis
8 Anchor shackle
9 Bolted clamp
10 Recloser
11 Equipotential

مراجع

[۱] منجذب ، محمدرضا و بیتا رضایی موحد .۱۳۹۸. طراحی مدل پیش‌بینی تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع برق: مقایسه رویکردهای پویایی سیستمی و اقتصادسنجی. پژوهش‌های سیاست گزاری و برنامه‌ریزی انرژی،جلد(۵) شماره (۳) صفحات ۱۸۲-۱۵۱. دانشگاه خوارزمی، البرز.

[۲] شرع پسند محمد مهدی، فخری نعیمی و مریم شیرازی. ۱۳۹۴. روند تغییر و توسعه محورهای استانداردسازی. اولین همایش ملی استاندارد با رویکرد استانداردها، ضوابط و مقررات، دانشگاه یزد، یزد.

[3] Ter-Martirosyan ,Anna ,and John Kwoka" .Incentive regulation ,service quality ,and standards in US electricity distribution ".Journal of Regulatory Economics 38.3 (2010): 258-273.

[4] Chau, Vinh Sum. "Benchmarking service quality in UK electricity distribution networks." Benchmarking: An International Journal (2009).

[5] Ajodhia, Virendra, Luca Lo Schiavo, and Roberto Malaman. "Quality regulation of electricity distribution in Italy: an evaluation study." Energy Policy 34.13 (2006): 1478-1486.

[6] Brown, Stephen, David Pyke, and Paul Steenhof. "Electric vehicles: The role and importance of standards in an emerging market." Energy Policy 38.7 (2010): 3797-3806.

[7] Alonzo. Robert. J. 2010. Electrical Codes, Standards, Recommended Practices and Regulations: An Examination of Relevant Safety Considerations. William-Andrew. London. 2010.

[8] https://www.iec.ch

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]