



مقاله علمی-ترویجی

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

■ میلاد یدالاهی، 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 بیش‌بینی 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 خصوصاً 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 بین‌المللی 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 kiaece.ir on 2026-07-03]

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

نصب و راه اندازی، نوسازی، تعمیر و تست تجهیزات، سرویس های دوره ای و ... ارائه می کنند. این زبان مشترک زیر بنای قراردادهای را تشکیل داده و اختلافات اجرایی را به حداقل می رساند. دوم شناسایی و تعیین استانداردهای بین المللی حتی در صورتی که خصوصی سازی 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 بین المللی 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 بین المللی الکتروتکنیک (IEC)، انستیتیوی مهندسان برق و الکترونیک (IEEE)، انجمن سازندگان تجهیزات برقی آمریکا (NEMA)، جامعه تست و مواد (ASTM)، استانداردهای ملی آمریکا (ANSI) و انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE) مرور شده اند.

۲- استانداردهای حوزه تولید در صنعت برق

تولید الکتریسیته فرایندی است که طی آن از یک منبع انرژی استفاده می شود تا انرژی الکتریکی تولید شود. برخی از تجهیزات مانند ترانسفورماتورها و یا ماشین های الکتریکی گردان و غیره هم در حوزه تولید و هم در حوزه انتقال و توزیع استفاده می شوند که در این دسته بندی در بخش تولید به بررسی منابع و استانداردهای بین المللی آنها پرداخته می شود.

۲-۱- ترانسفورماتورها

ترانسفورماتور یکی از پرکاربردترین تجهیزات در سیستم قدرت و گران قیمت ترین تجهیز در پست های فشارقوی می باشد، از این رو طراحی، ساخت و نصب و راه اندازی و بهره برداری آن نیز حایز اهمیت خواهد بود. ترانسفورماتورهای نیروگاهی برخلاف ترانسفورماتورهای قدرت دیگر به دلیل حرارت بالای تولیدی در

۱- مقدمه

به طور کلی می توان ساختار شبکه های الکتریکی را مطابق شکل (۱) به سه حوزه تولید^۱، انتقال^۲ و توزیع^۳ دسته بندی 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 می رسد شایسته است بهبود و ارتقا داده شود. تعریف و احصا استانداردهای بین المللی و نیز استانداردهای ملی و منطقه ای 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 [۳-۶]. به طور 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]: اولاً شناسایی و تعیین استانداردها، عاملی مهم برای تسهیل خصوصی سازی آن بخش از فعالیت که هنوز تحت تصدی دولتی است خواهد شد. این موضوع به نوبه خود باعث جذب سرمایه گذاری غیر دولتی و در نهایت بهبود خدمات خواهد بود. در صورت عدم شناسایی و تعیین استانداردهای لازم برای شبکه تولید، انتقال و توزیع خصوصی سازی به صورت 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 برق های منطقه ای و شرکت های توزیع) و پیمانکار ارائه دهنده سرویس (طراحی و ساخت تجهیزات،

موضوع	استاندارد
سیم لاکي تخت	IEC 60851-5
رنگ	ASTM B 117 ASTM D 3359
اقلام لاستيكي	ISO 1183-1 ISO 48-4
مواد فلزي	ISO 6506-1 ISO 6507-1 BS EN ISO6892-1
فلزات غير مغناطيس مس و برنج	ASTM E 1004
كاغذ عايق	IEC 60554-2 IEC 60243 ISO 534 ISO 287 ISO 2144

۲-۲- ماشین های الکتریکی گردان

ماشین های الکتریکی گردان ماشین هایی هستند که دارای حرکت دورانی هستند و قادرند انرژی الکتریکی را تبدیل به انرژی مکانیکی کرده و یا بر عکس انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل نمایند، یا موجب تغییرات انرژی الکتریکی از صورتی به صورت دیگر شوند. مانند: ژنراتورها و موتورهای جریان مستقیم، جریان متناوب سه فاز و جریان متناوب تک فاز. استانداردهای ماشین های الکتریکی گردان در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: استانداردهای بین المللی ماشین های الکتریکی گردان

موضوع	استاندارد
ماشین های الکتریکی گردان	
رتبه بندی و عملکرد	IEC 60034-1
روش های استاندارد و ویژه برای تعیین تلفات و بازده از آزمایش ها	IEC 60034-2
الزامات ویژه برای ژنراتورهای سنکرون و جبران کننده های سنکرون که توسط توربین های بخار یا توربین های گاز احتراق هدایت می شوند.	IEC 60034-3
روش های تعیین مقادیر تحریک الکتریکی ماشین سنکرون از آزمایش ها	IEC 60034-4
درجه حفاظت ارائه شده توسط طراحی یکپارچه ماشین های الکتریکی دوار (کد PI) - طبقه بندی	IEC 60034-5
روش های خنک کنندگی	IEC 60034-6
طبقه بندی انواع ساختار، ترتیبات نصب و موقعیت جعبه ترمینال	IEC 60034-7
محدودیت سطح صدا	IEC 60034-9
حفاظت حرارتی	IEC 60034-11
عملکرد راه اندازی موتورهای القایی قفس سنجابی سه فاز تک سرعته	IEC 60034-12

سمت فشارضعیف دارای سیستم خنک کنندگی و نوع سیم پیچی متفاوتی نسبت به ترانسفورماتورهای معمولی می باشند. از نظر تعداد سیم پیچ نیز با توجه به تغذیه داخلی نیروگاه ها دارای سه سیم پیچ می باشند. جدول (۱) استانداردهای مربوط به ترانسفورماتورها و تست های الکتریکی و متعلقات ترانسفورماتور را ارائه می دهد.

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 دی الکتریک 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 توربین های بادی	IEC 60076-16
بازده انرژی	IEC 60076-20
وسایل حفاظتی ترانسفورماتور و راکتور	IEC 60076-22-1
رادبایتهای 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 پرکننده ها 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
بوشینگ های عایقی	IEC 60137
الزامات حفاظت دیستانس	IEC 60255-121
روغن اسکارل برای ترانسفورماتور و خازن	IEC 60588
علامت گذاری ترمینال و تب چنجر برای ترانسفورماتورهای قدرت	IEC 60616
متعلقات	
ورق هسته	IEC 60404
تب چنجر	IEC 60214

موضوع	استاندارد
اتصال زمین در طول نصب خطوط هوایی انتقال نیرو	IEEE 524
اندازه‌گیری نوبز 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
جداکنده (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 نگهداری 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 در برابر رعد و برق و اضافه ولتاژ لازم هستند. تجهیزات و سونچ‌های 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

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 ماشین‌های گردان AC	IEC 60034-15
سیستم‌های تحریک برای ماشین‌های سنکرون	IEC 60034-16
ارزیابی عملکردی سیستم‌های عایقی	IEC 60034-18

۳-۲- 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 کاپلینگ 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.)

موضوع	استاندارد
آزمون ولتاژ ضربه مفره شیشه‌ای و پرسیان	IEC 61211
آزمون میزان خیس شدن سطح مفره	IEC 62073
بهره‌برداری از مفره سرامیکی آویز	NEMA HV 2
نظافت مفره	IEEE 957
قطعات	
اثرات دمای بالا روی قطعات، اتصال دهنده‌ها 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 مفره‌های 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 LA 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

از ایجاد جریان ناشی با قوس الکتریکی ایفا می‌کند. شکل هندسی مفره به گونه‌ای طراحی می‌شود تا با خطوط شار میدان الکتریکی ناشی از خطوط انتقال قدرت مطابقت داشته باشد. ضخامت جنس عایق مفره 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 مفره‌ها و اجزای سیستم توزیع و انتقال قدرت در جدول (۴) آورده شده‌اند.

جدول ۴: استانداردهای تجهیزات سیستم انتقال و توزیع

موضوع	استاندارد
مفره	
مفره	IEC 60383 (ser.) NEMA C 29.1
شیشه و پرسیان برای مفره	NEMA C 29.2
مفره پرسیان قرقره‌ای	NEMA C 29.3
مفره پرسیان بشقابی	IEC 60305
مفره پرسیان جداکننده	NEMA C 29.4
مفره کامپوزیتی جداکننده	IEC 61109
مفره یکپارچه پرسیان	IEC 60433
مفره پرسیان سوزنی (فشار ضعیف، متوسط و قوی)	NEMA C 29.5 NEMA C 29.6 NEMA C 29.8
مفره پرسیان اتکایی	IEC 60168 IEC 60273 IEC 60720 NEMA C 29.6 NEMA C 29.9
مفره کامپوزیتی اتکایی	IEC 60720 IEC 61952 NEMA C 29.17
مفره پرسیان برای استفاده داخل ساختمان	NEMA C 29.10
مفره اتکایی برای استفاده داخل ساختمان	IEC 60660 IEC 60720
مفره کامپوزیتی آویز	IEC 61109 NEMA C 29.11 NEMA C 29.12
مفره کامپوزیتی زنجیره‌ای	IEC 61466 (ser.) IEC 61467
مفره پلیمری	IEC 62217 IEC TR 62039
مفره پست کامپوزیتی	IEC 62231
مفره توخالی	IEC 62155 IEC 61462
مفره برای سیستم انتقال قدرت ولتاژ مستقیم	IEC 61325
آزمون اغتشاش مفره فشار قوی	IEC 60437
آزمون آلودگی مصنوعی مفره	IEC 60507

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 ^{۱۰}	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
	IEEE C 37.73
کلید ابزار فیوزدار جهت نصب روی پایه	IEEE C 37.74
	IEEE 1291
اندازه‌گیری تخلیه جزئی بار الکتریکی در کلیدابزار فشار قوی	
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 کلید ابزار و فرمان ابزار	IEC 60480

۳-۲- 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^{۱۱}، 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. کارایی 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.

جدول ۶: 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 اکستروود شده	IEC 60502
آزمایشات روی کابل‌های الکتریکی و فیبر نوری تحت شرایط آتش سوزی	IEC 60332

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

IEC 60888	سیم‌های فولادی با روکش روی برای هادی‌های رشته‌ای
IEC 60104	سیم آلیاژ آلومینیوم- منیزیم- سیلیکون برای رساناهای خطوط هوایی
ISO 6892	تست کشش مواد فلزی در دمای محیط
ISO 7802	مواد فلزی- سیم- آزمایش بسته‌بندی
IEC 60468	روش اندازه‌گیری مقاومت مواد فلزی
IEC 60826	بارگیری و استحکام خطوط انتقال هوایی
IEC 61897	خطوط هوایی- الزامات و آزمایشات برای ارتعاش بادی مستهلک کننده‌ها

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

جدول ۷: 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 اندازه‌گیری ولتاژ خازنی	IEC 61869-5
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری در شبکه قدرت	IEC 61869-103
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری برای نوسانات فرورزونانس در پست‌های برق دارای ترانس ولتاژ	IEC 61869-102
تابلوهای 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 جزئی در تست تجهیزات فشار قوی	IEC 60270
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- الزامات عمومی	IEC 60255-1

IEC 60173	رنگ‌های مربوط به مغزی کابل‌ها و سیم‌های انعطاف‌پذیر
IEC 60189	کابل‌ها و سیم‌های فرکانس پایین با عایق و غلاف P
IEC 60227	کابل‌های با عایق PVC با ولتاژ نامی کوچک‌تر یا مساوی ۴۵۰/۷۵۰ ولت
IEC 60230	آزمون‌های ضربه بر روی کابل‌ها و متعلقات آنها
IEC 60304	رنگهای استاندارد برای عایق‌های کابل‌ها و سیم‌های فرکانس پایین
IEC 60331	مشخصه‌های مقاومت کابل‌های الکتریکی در برابر آتش
IEC 60332	آزمون‌های مربوط به کابل‌های الکتریکی و نوری تحت شرایط آتش
IEC 60649	محاسبه حداکثر قطر خارجی کابل‌ها برای نصب داخل ساختمان
IEC 60719	محاسبه محدوده‌های بالا و پایین جهت میانگین ابعاد خارجی کابل با هادی مسی
IEC 60724	راهنمای محدوده‌های حرارتی اتصال کوتاه کابل‌های الکتریکی
IEC 60811	روش‌های رایج آزمون برای مواد به کار رفته در عایق و غلاف کابل‌های الکتریکی و نوری
IEC 60853	محاسبه جریان نامی دوره‌های و اضطراری کابل‌ها
IEC 60885	روش‌های آزمون الکتریکی کابل‌ها
BS 801	مشخصات ساخت غلاف‌های سربی و آلیاژهای سربی در کابل‌های الکتریکی
BS 4066	آزمون‌های کابل‌های الکتریکی تحت شرایط آتش
BS 5099	مشخصات آزمون جرقه بر روی کابل‌های الکتریکی
BS 5467	کابل با عایق ترموستینگ
BS 6231	کابل‌های با عایق PVC تک مغزی برای سیمکشی تجهیزات کلیدزنی و کنترل
BS 6234	مشخصات عایق و غلاف پلی اتیلن در کابل‌های الکتریکی
BS 6360	مشخصات هادی‌ها در کابل‌ها و سیم‌های عایق شده
BS 6500	مشخصات کابل‌ها و سیم‌های عایق شده انعطاف‌پذیر
BS 6622	کابل‌های زره دار با عایق ترموست
IEC 60840	کابل‌های قدرت
IEEE 524	راهنمای IEEE برای نصب هادی‌های خطوط انتقال هوایی
IEC 61089	رساناهای رشته‌ای الکتریکی هم مرکز با سیم گرد برای خطوط انتقال هوایی
IEC 60889	سیم آلومینیومی سخت کشیده برای هادی‌های خطوط هوایی

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 پایین‌ترین مقدار فشار فیبر را داشته در حالی 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 می‌تواند 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

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

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- سازگاری الکترومغناطیسی	IEC 60255-26
تجهیزات و رله‌های حفاظتی و اندازه‌گیری- سنکروناپزینگ	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 زمین کردن پست برق	IEEE 80
اندازه‌گیری مقاومت و پتانسیل زمین	IEEE 81
بیشینه افزایش پتانسیل زمین	IEEE 367
زمین کردن 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 الکتروود زمین	NEMA GR 1

۴-۲- استانداردهای حوزه توزیع در صنعت برق

انرژی برق از طریق یک شبکه توزیع برق شرکت 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

استاندارد	موضوع
IEEE 902	تعمیر، بهره‌برداری و ایمنی تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 1015	استفاده از قطع‌کننده‌های مدار در تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 1100	تغذیه و اتصال زمین تجهیزات الکترونیکی
IEC 60826	خطوط انتقال هوایی
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 تصدیی 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

- 1 Generation
- 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] منجدب، محمدرضا و بیتا رضایی موحد. ۱۳۹۸. طراحی مدل پیش‌بینی تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع برق: مقایسه رویکردهای پویایی سیستمی و اقتصادسنجی. پژوهش‌های سیاست‌گذاری 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 استانداردهای 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>

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، بیلپوردها، 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 مسیریابی 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 هشت صد و چهارده کیلوولت ارائه می‌دهند. استاندارد بیان شده همچنین فاصله مجاز زمین، سازه و جاده را که برای تضمین ایمنی عمومی درون 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

استاندارد	موضوع
IEC 60947	تابلوهای فشار ضعیف
IEC 61439	مونتاژ تابلوهای فشار ضعیف
IEEE 141	توزیع برق برای کارخانجات صنعتی
IEEE 142	اتصال زمین برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 241	سیستم برق قدرت برای ساختمان‌های تجاری
IEEE 242	حفاظت و هماهنگی عایقی برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 399	آنالیز تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 446	برق اضطراری تاسیسات صنعتی و تجاری
IEEE 493	طراحی تاسیسات برق صنعتی و تجاری با قابلیت اطمینان
IEEE 551	محاسبات اتصال کوتاه برای تاسیسات برق صنعتی و تجاری
IEEE 739	صرفه‌جویی در انرژی و برنامه‌ریزی مقرون به صرفه در تاسیسات برق صنعتی