فصلنامه انرژی ایران، دوره ۲۵، شماره۱، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۴۶-۶۰

لزوم تدوین دستورالعمل انتخاب بهینه مواد، فرایند ساخت و حدود بهینه خواص فیزیکی، الکتریکی و مکانیکی اتصالات شبکه توزیع

محمدرضا جهانگیری
استادیار، هیات علمی پژوهشگاه نیرو
mjahangiri@nri.ac.ir

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۹/۱۱

کلمات کلیدی:
اتصالات شبکه توزیع
تدوین استاندارد ملی
استاندارد بین المللی
بهینه سازی اتصالات

چکیده

اتصالات یا رابط ها،که قطعاتی برای اتصال انواع مختلف هادیها به یکدیگر و به سایر تجهیزات در شبکه برق می باشند، به تعداد زیادی در شبکه توزیع فشار متوسط و ضعیف نصب شده اند. استفاده از استانداردهای عمومی و بین المللی در تدوین استانداردهای ملی مرتبط با این قطعات، بدون تکمیل و تدوین دستورالعملهای تخصصی برای ویژگیهایی از این قطعات که در استانداردهای عمومی به آنها کمتر پرداخته شده است، منجر به بروز مشکلات متعدد شامل صرف وقت و هزینه فراوان برای بازرسی، تعمیر و تعویض این قطعات، بروز قطعی ها و خاموشی های ناخواسته و نیز ایجاد تلفات بالای توان شده است. مقاله حاضر نشان می دهد که چنین رویکردی در تدوین استانداردهای ملی، ضمن ایجاد عیب در بیش از ۱۰۰ هزار عدد از این قطعات در هر سال، منجر به ایجاد تلفات نسبتا زیاد توان ناشی از حضور این قطعات در شبکه فشار متوسط توزیع شده است. با تدوین استانداردهای بهینه بر اساس شرایط فنی/اقتصادی کشور، می توان مشکلات مرتبط با این قطعات را تا حد زیادی کاهش داد. پیشنهاد می شود که کمیته فنی برای تحلیل مشکلات، ارائه راهکارها و تدوین استانداردهای بهینه در کمیسیون های ملی مرتبط با موضوع تشکیل شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

۱. مقدمه

اتصال[۱] یا کلمپ اتصال یا رابط، قطعه یا وسیله ای است که جهت برقراری اتصال الکتریکی بین دو یا چند هادی (کابل) یا سیم زمین و ... مورد استفاده قرار می گیرد [۱-۳]. این رابط می تواند یک اتصال کششی یا غیر کششی باشد، بدین معنا که در حین استفاده و بهره برداری از آن در شبکه (یا پست)، تحت نیروهای مکانیکی کششی کم یا زیاد قرار گیرد.

اتصالات انواع و اقسام مختلفی دارند و معمولا آنها را بر حسب پارامترهای مختلف، بصورت های گوناگونی تقسیم بندی می نمایند. جدول (۱) نمونه ای از تقسیم بندی های متداول این قطعات را بر حسب نحوه اتصال، جنس و ... نشان می دهد. شکل (۱) نیز نمونه هایی از این قطعات را در حالت کلی نمایش می دهد.

رابط ها یا اتصالات پرمصرف ترین یراق آلات در شبکه و پستهای توزیع می باشند، چرا که وظیفه اتصال انواع مختلف هادیها را به منظورهای مختلف (انشعاب گیری، زمین کردن، اتصال هادیها به همدیگر، انواع اتصالات هادیها به تجهیزات دیگر و ...) بر عهده دارند. در حال حاضر آمار دقیقی از تعداد رابطهای مورد استفاده و نصب شده در شبکه توزیع برق کشور موجود نیست، اما برای تخمین تعداد فراوان این قطعات در شبکه های توزیع فشار متوسط و ضعیف کافیست که همین امروز مسیر خطوط شبکه برق موجود در خیابان یا کوچه محل زندگی خود را رصد نمایید. با طی مسافتی بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر پی خواهید برد که چه تعداد زیادی از انواع مختلف این قطعات در شبکه نصب شده اند. برای مثال، شکل (۲) تعدادی از اتصالات مختلف مورد استفاده در طول ۵۰۰ متر از شبکه توزیع فشار متوسط هوایی موجود در محله شاهین جنوبی (غرب تهران) را نشان می دهد. خط توزیع مربوطه، یک خط توزیع ۲۰ کیلوولت متداول بوده و در این طول از خط مورد نظر، در حدود ۲۵ رابط وجود داشت. لازم به ذکر است که در شکل (۲)، تصویر سمت راست ردیف پایین مربوط به رابطهای روکش دار مورد استفاده در شبکه فشار ضعیف است که جهت مقایسه با رابطهای بدون روکش مورد استفاده در شبکه فشار متوسط ارائه شده است.

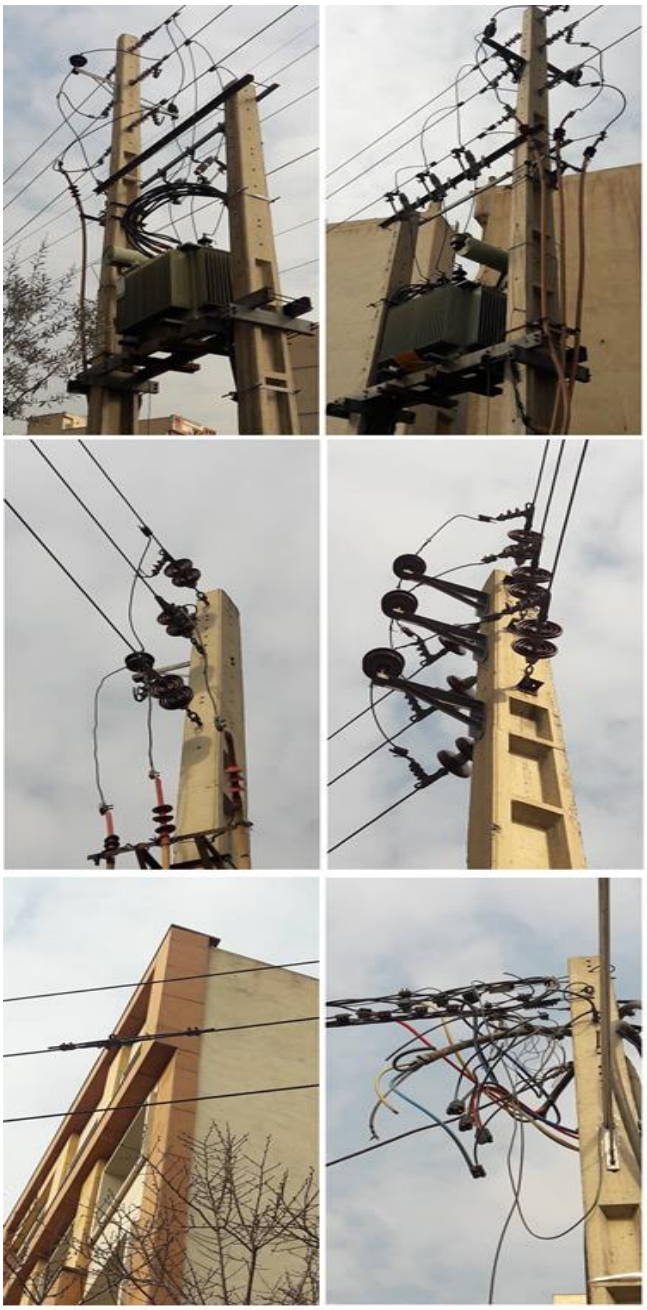
جدول ۱. دسته بندی اتصالات و رابط های شبکه توزیع/انتقال برق بر مبنای پارامترهای مختلف

بر حسب نحوه اتصال	بر حسب جنس	بر حسب طراحی و شکل	بر حسب رفتار مکانیکی
پیچی	آلومینیوم و آلیاژهای آن	تک سایز و چند سایز	آماده نصب
پرسی	مس و آلیاژهای آن	کششی کامل، نیمه کششی و ...	نیمه آماده
جوشی	بی متال	زاویه، صلیبی و ...	
		L شکل، Y شکل و ...	

۱. Connector

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

شکل ۱. اتصالات در شبکه برق و برخی از انواع آنها



شکل ۲. تصاویری از برخی از انواع رابط های مورد استفاده در شبکه توزیع فشار متوسط هوایی ۲۰ کیلوولت در محله شاهین جنوبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می شود انواع مختلفی از اتصالات کششی و غیر کششی در شبکه توزیع مربوطه نصب شده اند که البته تعداد اتصالات غیرکششی یا نیمه کششی در مقایسه با رابط های کششی بمراتب بیشتر است. همچنین در این بخش از شبکه مورد بررسی، اتصالات پیچی به مقدار زیادی در شبکه بکار رفته اند و حجم استفاده از رابط های پرسی و گوه ای یا جوشی بسیار کم است. تعداد اتصالات مورد استفاده در شبکه توزیع برق فشار متوسط در این محله بیش از ۵۰ عدد در هر کیلومتر برآورد شد که به نظر می رسد از متوسط تعداد استفاده از آنها در شبکه کلی توزیع کشور به مراتب بیشتر است.

میزان استفاده از این قطعات در شبکه توزیع به عوامل متعددی نظیر تعداد انشعابهای اخذ شده از شبکه، فواصل پایه های توزیع، روستایی بودن یا شهری بودن شبکه و ... بستگی دارد و بنابراین به هیچ عنوان نمی توان آمار دقیقی از تعداد اتصالات نصب شده در شبکه برق کشور را ارائه داد. در برخی مدارک و مراجع مربوط به مطالعه شبکه توزیع برق کشور و همچنین برخی گزارشهای منتشر شده در خصوص شبکه توزیع در برخی کشورهای دیگر، تعداد استفاده از این رابط ها را در حدود ۱۵-۵ عدد در هر کیلومتر از هر فاز موجود در شبکه توزیع فشار متوسط ذکر کرده اند [۴-۶] و به نظر می رسد که حد وسط این تخمین، یعنی ۳۰ رابط در هر کیلومتر از خط توزیع فشار متوسط (تقریبا ۱۰ رابط به ازای هر فاز)، به واقعیت نزدیکتر باشد. بنابراین احتمالا می توان عدد ۳۰ را به عنوان یک برآورد اولیه برای تعداد اتصالات نصب شده در هر کیلومتر از شبکه توزیع فشار متوسط برق کشور در نظر داشت.

مهم ترین ویژگی ها و خواص مورد انتظار از رابط ها را می توان بصورت ذیل خلاصه نمود [۲ و ۷-۸]:

۱. برقراری یک اتصال دائمی
۲. تحمل حداکثر ولتاژ کاری
۳. استقامت مکانیکی/حرارتی کافی در حین عبور جریانهای نامی و اتصال کوتاه
۴. تحمل گشتاور سفت کردن (در خصوص اتصالات پیچی)
۵. حداقل کرونا
۶. مقاومت به خوردگی و طول عمر مطلوب
۷. هزینه های کم
۸. دارا بودن تلفات بهینه

اگرچه ویژگی های اول تا ششم تا حد زیادی برای بهره برداران شبکه توزیع شناخته شده و ویژگی هفتم نیز همواره بعنوان یک معیار و ویژگی کلیدی موردنظر سازندگان و خریداران این قطعات مطرح بوده است، اما تجربه های موجود و بررسی قطعات ساخته شده و مستندات مربوطه در کشورهای عقب مانده و توسعه نیافته نشان می دهد که در این کشورها به ویژگی هشتم توجه کمی شده است و این عامل منجر به بروز مشکلات فراوان در شبکه های توزیع این کشورها گردیده است که یکی از مهمترین این مشکلات، تلفات نسبتا بالای ایجاد شده توسط این قطعات در شبکه است.

در خصوص یراق آلات شبکه های توزیع و انتقال نیرو، استانداردهای داخلی نیز تدوین شده اند که در زمان های گذشته، این استانداردها از طریق شرکت توانیر و وزارت نیرو به شرکتهای زیرمجموعه توزیع برق ابلاغ می شد و اکنون با توجه به خصوصی سازی شرکتهای توزیع، این شرکتها بر مبنای استانداردهای گذشته و اصلاحات مد نظر معاونتها و دفاتر فنی و مهندسی خود، معیارهای انتخاب، خرید و آزمون قطعات مختلف و از جمله اتصالات شبکه را تعیین می نمایند.

در حال حاضر، معتبرترین استاندارد تدوین شده در زمینه یراق آلات شبکه توزیع، نشریه شماره ۳۷۴ سازمان برنامه و بودجه کشور (ناشر: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی این سازمان) است [۹] که در حقیقت همان استاندارد تدوین شده و ابلاغی دفتر بازرسی، کنترل کیفیت و استانداردهای سازمان توانیر (سابق) است. این استاندارد (و دیگر استانداردهای مشابه و مورد استفاده در شرکتهای توزیع برق کشور نظیر استاندارد هادی ها و کابلهای روکشدار و خودنگهدار) از طریق ترجمه متون استانداردهای عمومی و بین المللی شامل IEC-۶۰۱۲۰، IEEE-C۱۳۵ و BS-۳۲۸۸ تدوین شده اند [۱۰-۱۲].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

مهم ترین استانداردهای داخلی مرتبط با یراق آلات و اتصالات مورد استفاده در خطوط و پستهای فوق توزیع و انتقال نیز نشریه ۴۶۵ سازمان برنامه و بودجه کشور (دفتر نظام فنی و اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری) است [۱۳] که این استاندارد شامل همان استانداردهای ابلاغی گذشته از سوی توانیر به شرکتهای مرتبط است. این استاندارد نیز بر اساس ترجمه صرف استانداردهای عمومی IEC-٦١٢٨٤ و IEEE-C١١٩ مدون شده است [۸ و ۱۴].

در این استانداردها پس از معرفی شرایط عمومی آزمونهای یراق آلات، شامل دمای محیط، نحوه آماده سازی هادیها و رابط ها و ...، انواع آزمونهای لازم برای آزمایش و بررسی کیفیت قطعات مورد نظر به سه دسته اصلی آزمونهای نوعی[۲]، آزمونهای نمونه[۳] و آزمونهای معمول [۴] تقسیم بندی شده اند. در نهایت نحوه انجام و حدود مجاز نتایج انواع آزمایشها شامل آزمایشهای ابعادی و غیرمخرب، مکانیکی، کرونا، اتصال کوتاه، گالوانیزه و تستهای الکتریکی/حرارتی و یا سیکل جریان/گرما ارائه شده اند.

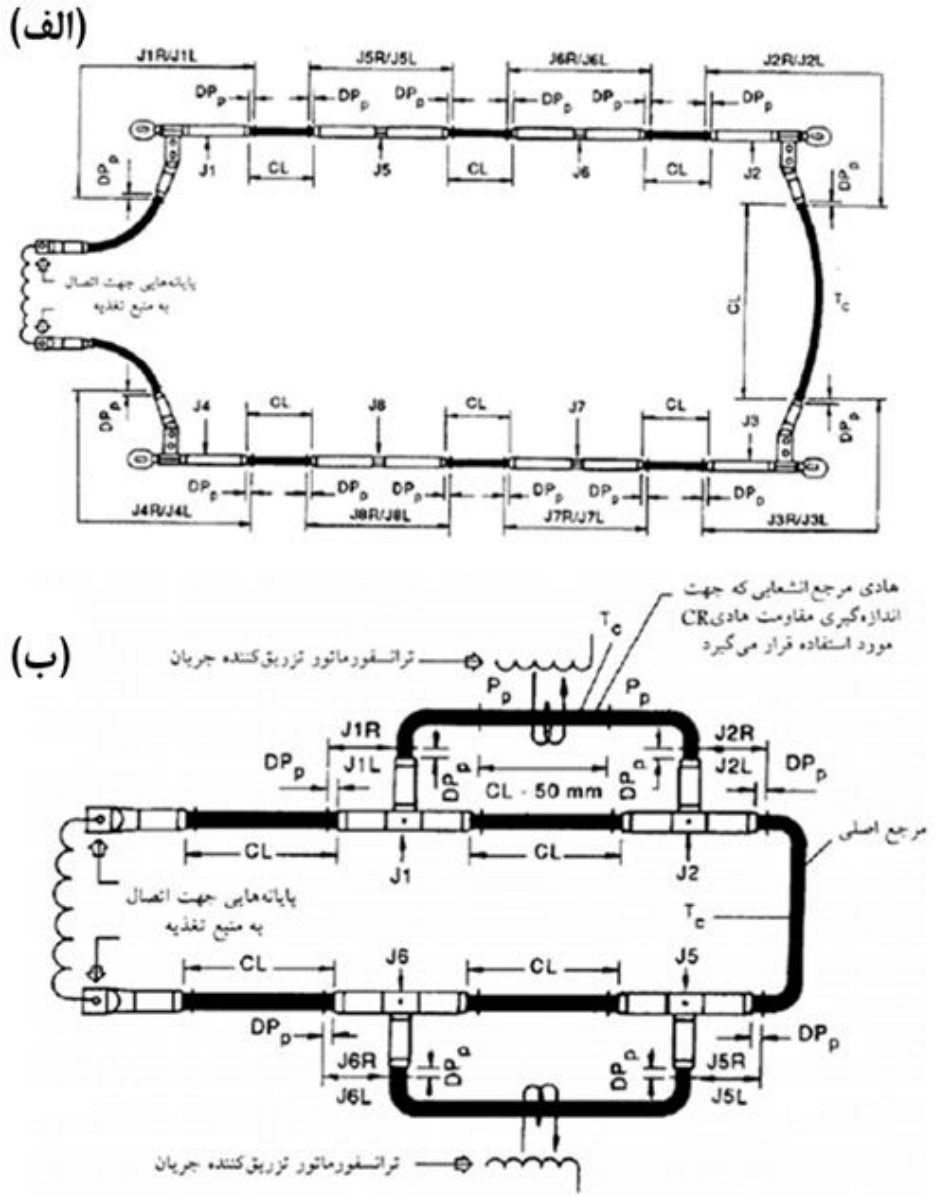
مهم ترین آزمونی که در این استانداردها می توان آنرا بصورت غیرمستقیم به موضوع مقاله حاضر یعنی تلفات اتصالات ربط داد، آزمون الکتریکی/حرارتی سیکلی اعمالی روی این قطعات است که اگرچه در استانداردهای شبکه توزیع به آن چندان توجهی نشده است، اما در استانداردهای مربوط به قطعات مورد استفاده در شبکه فوق توزیع و انتقال، تاکید فراوانی بر آن شده است. مطابق با این استانداردها، برای "اطمینان از عملکرد الکتریکی طولانی مدت اتصالات"، برخی از انواع اتصالات باید تحت آزمون های اندازه گیری تغییرات مقاومت الکتریکی و دمای قطعه در حین گرم و سرد شدن های متوالی قرار گیرند که این گرم شدن های سیکلی قطعات از طریق عبور جریان های الکتریکی متناوب از آنها صورت می گیرد. اگرچه در این استانداردها اندازه گیری مقاومت الکتریکی رابط های کششی قبل از شروع آزمایش ها نیز بعنوان پارامتری مهم در کیفیت این قطعات قلمداد شده است، اما، برای اتصالات غیرکششی یا نیمه کششی (بخش عمده اتصالات شبکه)، مقاومت الکتریکی اولیه قطعات به هیچ عنوان مطرح نشده و تنها تغییرات مقاومت الکتریکی در حین آزمون در نظر گرفته شده است (لازم به ذکر است که در نسخه جدید استاندارد BS-۳۲۸۸، معیاری برای حداکثر مجاز مقاومت اولیه اتصالات نیز پیشنهاد شده است، لیکن در استانداردهای داخلی که بر اساس نسخه های قدیمی این استاندارد تدوین شده اند، به آن پرداخته نشده است). بر این اساس مدار آزمون سیکل گرمایی/جریان اتصالات کششی یا غیر کششی (و نیمه کششی) در استانداردهای مورد نظر بصورت شکل (۳) پیشنهاد شده است که اتصالات کششی را در کلاس A و اتصالات نیمه کششی یا غیرکششی را در کلاس B تقسیم بندی نموده اند. این آزمون های سیکل جریان/گرما که در برخی موارد به آن آزمونهای پیرسازی الکتریکی نیز می گویند، به عنوان یک آزمون نوعی در هنگام طراحی و ساخت نمونه های اتصالات جدید و برای ارزیابی کیفیت آنها انجام می شوند.

بر اساس استانداردهای ملی موجود، پس از طراحی و ساخت مدار الکتریکی، تعداد لازم (عموما ۳ یا ۴ عدد) از رابط های مورد نظر تحت آزمایش سیکل جریان/حرارتی با تعداد سیکل مشخص (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سیکل بر مبنای پیشنهاد استاندارد، جریان اعمالی و شرایط کاری قطعه) قرار می گیرند که نحوه اعمال سیکل های مورد نظر در استاندارد مربوطه مطابق با شکل (۴) می باشد. در این شرایط، در بازه های زمانی مشخص، مقاومت الکتریکی و دمای قطعات اندازه گیری می شود و با مقاومت الکتریکی و دمای یک هادی مرجع مقایسه می گردد. نکته بسیار مهم در خصوص اندازه گیری مقاومت الکتریکی یا تغییرات مقاومت الکتریکی (یا دمای) اتصالات در حین اینگونه آزمون ها، توجه فراوان به فلسفه انجام این اندازه گیری ها است. همان گونه که در خود استانداردهای عمومی و بین المللی نظیر استانداردهای IEC یا IEEE ذکر شده است، اندازه گیری و گزارش مقاومت الکتریکی اتصالات و الزام به تطابق این اندازه گیری ها با محدوده های پیشنهادی برای این پارامترها، صرفا برای آن است که نسبت به عملکرد الکتریکی طولانی مدت اینگونه قطعات اطمینان کافی حاصل گردد. بنابراین اینگونه استانداردهای جامع و عمومی، هیچگونه بهینه سازی یا الزامی را برای کاهش تلفات این قطعات در حین سرویس مدنظر قرار نداده و آنرا به عهده سازنده یا خریدار قطعات واگذار نموده اند، مشابه همان شرایطی که در مورد بسیاری دیگر از تجهیزات الکتریکی نظیر

۱. Type test
۲. Sample test
۳. Routine test

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

ترانسفورماتورهای توزیع وجود دارد. علاوه بر این، در این استانداردهای عمومی، حتی برای اتصالات کلاس B (رابط های غیرکششی یا نیمه کششی که بخش عمده اتصالات شبکه را تشکیل می دهند)، گزارش و تطبیق مقاومت الکتریکی اولیه با محدوده های مجاز مطرح نمی شود و تنها معیارهایی برای حدود مجاز "تغییرات مقاومت الکتریکی" آنها در حین آزمون در نظر گرفته شده است.

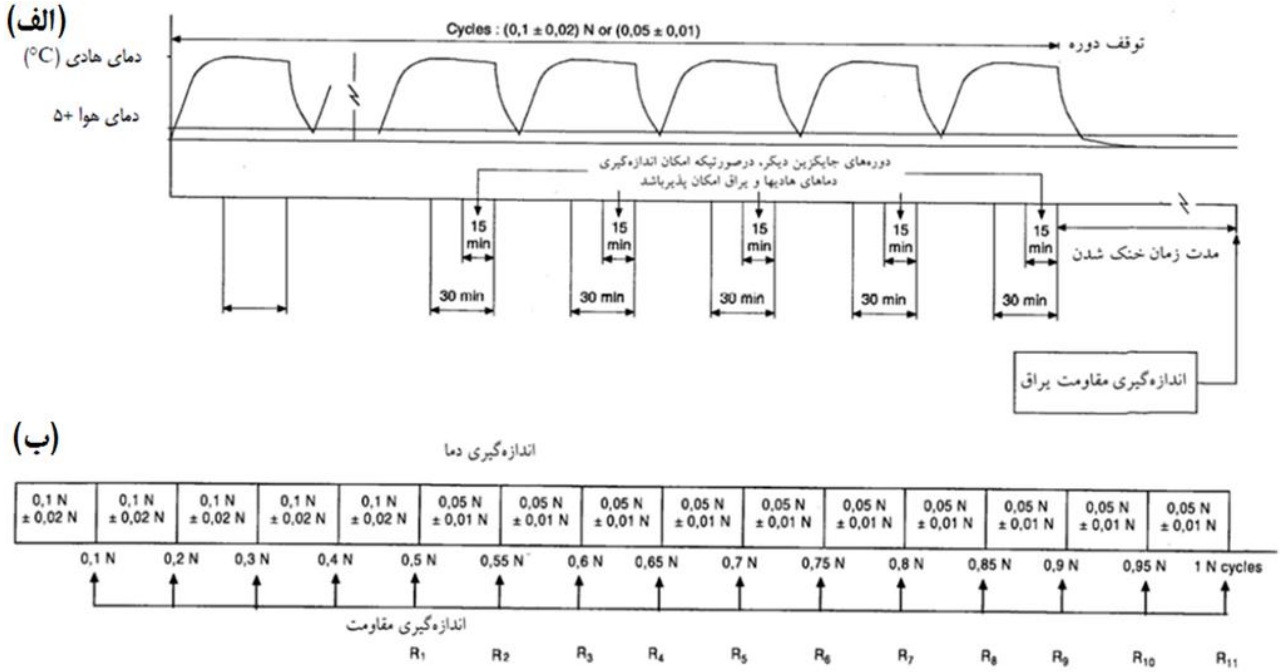


شکل ۳. مدار الکتریکی آزمون سیکل جریان/حرارتی برای بررسی تغییرات مقاومت الکتریکی/دمای اتصالات (الف) کششی (کلاس A) و (ب) غیر کششی (کلاس B) [۱۳]

ذکر یک نکته در اینجا ضروری به نظر می رسد و آن اینست که هر چندکه مقاومت الکتریکی یک اتصال نمی تواند به تنهایی نماینده میزان تلفات این قطعه در حین سرویس در شبکه باشد، اما با توجه به آنکه بخش عمده ای از تلفات انرژی ایجاد شده در این قطعات ناشی از تلفات اهمی آنهاست که رابطه مستقیمی با مقاومت الکتریکی آنها دارد، اندازه گیری و کنترل این پارامتر می تواند تا حدودی منجر به تعدیل میزان تلفات اینگونه قطعات در شبکه گردد. بدیهی است که با توجه به استفاده از قطعات فولادی در ساخت برخی از انواع این اتصالات (بعنوان پیچ و مهره های سفت کننده هادیها و واشرها و ...)، بخشی از تلفات ایجاد شده در این قطعات در حین سرویس در شبکه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

بدلیل تلفات مغناطیسی ایجاد شده در این قطعات فولادی است که با بهبود فرایند ساخت و کیفیت اینگونه قطعات، می توان نسبت به کاهش تلفات آنها نیز اقدام نمود.



شکل ۴. (الف) سیکلهای جریان/گرمای اعمالی روی اتصالات در حین آزمون پیرسازی الکتریکی و (ب) بازه های زمانی اندازه گیری دما و مقاومت الکتریکی رابط ها و هادی های مرجع [۱۳]

در کل، با بررسی منابع مختلف اطلاعاتی می توان دریافت که امروزه اکثر کشورهای دنیا و حتی سریلانکا، کنیا، رواندا و تانزانیا هم استانداردهایی برای مشخصات یراق آلات خطوط انتقال و توزیع خود تدوین نموده اند. ارزیابی اولیه این استانداردها نشان می دهد که مشخصات تدوین شده در کشورهای توسعه نیافته معمولا بر اساس ترجمه صرف استانداردهای بین المللی (عمدتا IEC) می باشد. بررسی و تحلیل استانداردهای بین المللی نیز ثابت می نماید که محدوده های بهینه تلفات انرژی و توان در اتصالات بطور کامل به عهده استفاده کننده از این قطعات واگذار شده است و استانداردهای عمومی و بین المللی، بیشتر به تامین شرایط لازم برای کارکرد طولانی مدت و ایمن این قطعات توجه نموده اند. این موضوع مخصوصا برای شبکه های توزیع عمومیت بیشتری داشته و این روند باعث شده که چنین کشورهای توسعه نیافته ای با مشکلات متعددی در این زمینه روبرو شوند. هدف از ارائه تحقیق حاضر آن است که با بررسی اصلی ترین مشکلات اتصالات در شبکه توزیع برق کشور، مهمترین روشهای کاهش چنین مشکلاتی را پیشنهاد نموده و به قابلیت بالای موجود در کشور برای بهبود کیفیت این قطعات و اصلاح/تکمیل استانداردهای ملی مرتبط با آنها بپردازد.

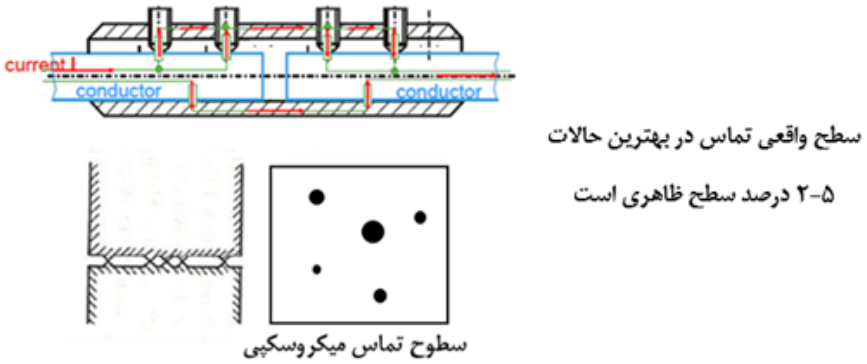
۲. مشکلات اتصالات در کشور و لزوم اصلاح استانداردها در این زمینه

رابط ها یا اتصالات، پرمصرف ترین یراق آلات مورد استفاده در شبکه توزیع برق کشور می باشند و با در نظر گرفتن گستردگی فراوان شبکه های توزیع فشار متوسط و ضعیف در کشور (در حدود ۸۵۰ هزار کیلومتر [۱۵])، می توان برآورد نمود که در حدود ۲۰ میلیون عدد از این قطعات در شبکه توزیع نصب شده باشد. با توجه به آنکه در خوشبینانه ترین حالت، مشخصات و ویژگی های این قطعات بطور کامل مطابق با استانداردهای داخلی باشد، مشخص می شود که توجه کافی به بحث تلفات توان و انرژی در آنها صورت نپذیرفته است و این امر مخصوصا در مورد انواع نیمه کششی یا غیرکششی این قطعات صادق است. در خصوص انواع کششی این قطعات نیز که حجم استفاده از

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

آنها در شبکه نسبتا کمتر است، می توان در بهترین حالت به معیاری اشاره نمود که بیان می کند مقاومت الکتریکی اولیه اینگونه اتصالات بایستی ۷۵ ٪ مقاومت الکتریکی هادی معادل آنها در نظر گرفته شود [۱۳].

یکی از دلایل احتمالی عدم اهمیت دهی کافی به بحث تلفات انرژی در رابط ها، در نظر داشتن سطح مقطع نسبتا بالای "ظاهری" آنها به هنگام اتصال به هادیهای شبکه است. بنابراین ممکن است این تصور ایجاد گردد که با توجه به سطح تماس ظاهری زیاد این قطعات، به لحاظ نظری نباید انتظار تلفات بالایی از این قطعات وجود داشته باشد. لیکن بررسی ها و تحقیقات گسترده علمی نشان داده است که حتی با اعمال فشارهای زیاد در حد چندین تن در محل اتصال دو سطح فلزی مورد نظر، در بهترین شرایط نیز حداکثر ۵-۲ درصد از دو سطح بطور واقعی در تماس و اتصال با یکدیگر قرار می گیرند [۱۶-۱۷]. این سطوح کوچک تماس (شکل (۵)) به هنگام عبور جریان الکتریکی، دارای گرما و مقاومت الکتریکی فراوان شده و شرایط را برای اکسید شدن سطح تماس، افزایش مقاومت الکتریکی و در نهایت کاهش و یا حتی حذف تماس واقعی سطوح درگیر مهیا می سازند. چنین شرایطی منجر به سستی و یا قطع اتصال خواهد شد، و بنابراین چنین اتصالاتی نیازمند بازرسی های دوره ای و انجام فرایندهای تعمیر، آچارکشی و یا تعویض مداوم قطعات می باشند.



شکل ۵. مقایسه سطوح واقعی و ظاهری تماس بین هادیها و رابط های پیچی

با توجه به اینکه در کشور ما نیز همانند سایر کشورهای توسعه نیافته، طراحی و ساخت اتصالات بر مبنای استانداردهای عمومی و بین المللی (عمدتا IEC) انجام می پذیرد، شرکتهای بهره بردار و توزیع نیروی برق با مشکلات متعددی در این خصوص مواجه شده اند. اولین مشکل مشهود چنین رویکردی، آمار بسیار بالای عیوب ایجاد شده در این قطعات در حین سرویس در شبکه است. در گذشته چنین عیوبی بیشتر با اعزام اکیپهای تکنسینی و کارشناسی به نواحی و خطوط مختلف شبکه توزیع و با مشاهده و ثبت چنین عیوبی همراه بود که ضمن آنکه از دقت بالایی برخوردار نبود، هزینه های زیادی را به شـــرکتهای بهره بردار شـــبکه تحمیل می نمود. امروزه با کاربرد دوربین های ترموویژن و از طریق ترموگرافی شبکه توزیع، سعی می شود تا این عیوب با سرعت و دقت بیشتری تشخیص داده شوند تا پیش از بروز قطعی در شبکه، نسبت به تعمیر/تعویض آنها اقدام گردد. جدول (۲) بخشی از اطلاعات گردآوری شده توسط یکی از شرکتهای توزیع برق را در خصوص تعداد عیوب مشاهده و ثبت شده به روش ترموگرافی از اتصالات آلومینیومی دوپیچه نصب شده در طول ۸۰۰۰ کیلومتر از شبکه توزیع فشار متوسط این شرکت برای کل سال ۱۳۹۶ و نیمه اول سال ۱۳۹۷ نشان می دهد. این عیوب بصورت نواحی با افزایش دمای موضعی در محل اتصالات مذکور در تصاویر ترموگرافی دیده می شوند (شکل (۶)). همانگونه که مشاهده می شود در ۸۰۰۰ کیلومتر از شبکه مورد بررسی، سالانه در حدود ۱۰۰۰ مورد عیب و خرابی، تنها برای رابط های آلومینیومی دوپیچه گزارش شده است که اگرچه برخی از آنها به موقع تعمیر/تعویض شده اند، اما تعدادی از آنها نیز بدلایل مختلف منجر به ایجاد قطعی در شبکه مذکور و عدم توزیع انرژی الکتریکی به مصرف کنندگان نهایی و یا عدم تقارن و تعادل بار شبکه توزیع گردیده اند. با توجه به گستردگی فراوان شبکه برق کشور، آمارعیوب این قطعات در کل شبکه توزیع برق کشور حداقل ۱۰۰ هزار مورد در هر سال پیش بینی می شود که نتیجه نهایی آن، صرف

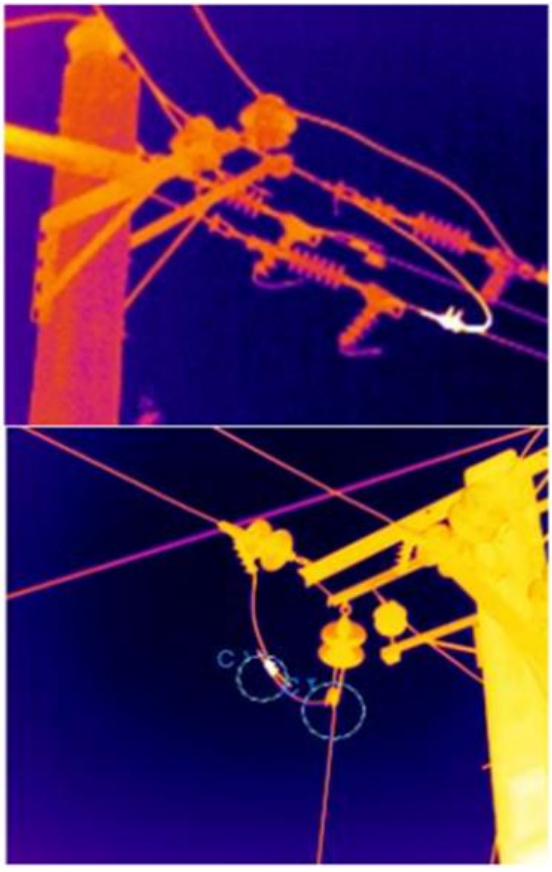
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

وقت و هزینه فراوان برای تشخیص و برطرف سازی این عیوب می باشد، ضمن آنکه قطعی های مکرر برق و آثار زیانبار آن قابل چشم پوشی نیست.

جدول ۲. گزارش ترموگرافی از مشاهده و ثبت عیوب اتصالات آلومینیومی (فقط دو پیچه) در شبکه توزیع برق یکی از شرکتهای توزیع کشور (کل شبکه مورد بررسی ۸۰۰۰ کیلومتر بوده است) [۱۸]

سال گزارش گیری	تعداد عیب دیده شده در نیمه اول سال	تعداد عیب دیده شده در نیمه دوم سال	مجموع عیوب مشاهده شده در سال
۱۳۹۶	۲۱۰	۷۶۱	۹۷۱
۱۳۹۷	۵۷۷	---	---

مشکل مهم دیگری که این نوع رویکرد نسبت به طراحی و ساخت اتصالات در شبکه توزیع برق ایجاد کرده است، مشکل تلفات نسبتا بالای ایجاد شده توسط آنها است. با توجه به اینکه اطلاعات دقیقی از تعداد و تلفات هر یک از این قطعات در کشور موجود نیست، در ادامه مقاله سعی می شود تا با در نظر گرفتن فرضیاتی بر مبنای منابع در دسترس و تجربیات موجود، تخمینی از تلفات توان الکتریکی هدر رفته ناشی از حضور این قطعات در شبکه فشار متوسط توزیع کشور ارائه گردد. همچنین جهت درک بهتر اهمیت موضوع، مقایسه ای از میزان تلفات این قطعات با تلفات هادیهای خطوط توزیع فشار متوسط نصب شده در کشور بعمل می آید. در این محاسبات برای ساده سازی، ضریب قدرت شبکه در حدود ۱ در نظر گرفته شده است و همچنین از تلفات غیراهمی ناشی از وجود بارهای راکتیو یا استفاده از آهن و فولاد در مغز هادیها یا پیچهای اتصالات صرف نظر شده است.



شکل ۶. تصاویر ترموگرافی از سست شدن و گرم شدن بیش از حد اتصالات آلومینیومی دوپیچه در شبکه توزیع کشور [۱۸]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

همانطور که پیشتر ذکر شد، در حال حاضر طول شبکه توزیع برق فشار متوسط کشور در حدود ۴۵۰ هزار کیلومتر می باشد [۱۵]. در این شبکه از انواع هادیهای آلومینیومی (با یا بدون مغز فولادی) با ویژگیهای مختلف استفاده شده است و بنابراین، مقاومت الکتریکی این هادیها در محدوده و سیعی متغیر می باشد. با توجه به اینکه در میان انواع مختلف هادیهای مورد استفاده در شبکه توزیع فشار متوسط، هادیهای ACSR از نوع هاینا بیشترین کاربرد و مصرف را داشته اند، در ادامه مقاله جهت انجام محاسبات تلفات توان الکتریکی، این نوع هادیها به عنوان نماینده کل هادیهای خطوط توزیع فشار متوسط لحاظ شده اند.

مقاومت الکتریکی این نوع هادیها در دمای محیط در حدود ۰/۲۷ اهم به ازای هر کیلومتر از هادی گزارش شده است [۹ و ۱۹-۲۰]. همچنین گزارشهای آماری منتشر شده در خصوص وضعیت شبکه توزیع برق کشور در سال ۱۴۰۰ نشان می دهد که تعداد فیدرهای فشار متوسط توزیع در حال حاضر در حدود ۱۵۰۰۰ عدد می باشد [۱۵]. با توجه به آنکه پیک بار شبکه برق کشور در سال ۱۴۰۰ به رقم بالای ۶۶ هزار مگاوات و پیک بار شبکه توزیع برق در همین سال در حدود ۶۰-۵۸ هزار مگاوات بوده است، می توان برآورد کرد که در کشور ما، توان و جریان فیدرهای فشار متوسط در شرایط پیک شبکه توزیع، بطور میانگین، به ترتیب در حدود ۴-۳/۸ مگاوات و ۲۲۰-۲۰۰ آمپر بوده است. این اعداد با نتایج گزارش شده در مراجع موجود مربوط به بار فیدرهای توزیع در نواحی مختلف کشور همخوانی قابل قبولی دارد [۲۱-۲۴]. بنابراین اگر فرض شود که در شرایط پرباری شبکه، جریاتی با شدت ۷۵ آمپر بطور متوسط از هر فاز شبکه توزیع فشار متوسط عبور نماید، میزان تلفات اهمی به ازای هر هادی فاز موجود در کل شبکه فشار متوسط توزیع برق کشور در حدود ۱۰۰۰۰۰۰/(۴۵۰۰۰۰ × ۷۵ × ۷۵ × ۰/۲۷) یعنی ۶۸۳ مگاوات بدست می آید. این بدان معنا است که تلفات کل هادیهای (سه فاز) موجود در خطوط توزیع فشار متوسط کشور در حدود ۲۰۵۰ مگاوات خواهد بود. لذا، سهم تلفات توان هادیهای فشار متوسط توزیع در حدود ۳/۴-۳/۱ در صد از پیک بار شبکه است.

در خصوص اتصالات، وضعیت مقداری پیچیده تر است. علاوه بر اینکه تعداد دقیق این قطعات در شبکه توزیع فشار متوسط مشخص نیست، میزان جریان عبوری از انواع آنها نیز می تواند تا حدی متفاوت باشد. علاوه بر این، نکته مهم دیگری که توجه به آن در حین محاسبه و تخمین تلفات اتصالات ضروری است، افزایش قابل ملاحظه مقاومت الکتریکی رابط ها به مرور زمان در حین سرویس در شبکه است که آنرا پیرشدگی الکتریکی می نامند. محققین مختلف نشان داده اند که اگرچه مقاومت الکتریکی اولیه این قطعات می تواند در حدود ۱۰۰ میکرواهم باشد، اما مقاومت آنها پس از نصب روی خط و در حین سرویس می تواند با نرخ بالای ۱۰۰۰-۱۰۰ میکرواهم در سال افزایش یابد [۲۶-۲۵]. دلیل این پیرشدگی الکتریکی قطعات، بالارفتن دمای آنها در حین سرویس، اکسید شدن و خوردگی سطح آنها، سست شدن پیچهای کلمپ کننده، افزایش ضخامت لایه واسط غیرفلزی در رابط های بی متال، تاثیر آلودگی و گرد و غبار هوا و ... گزارش شده است [۲۶-۲۷].

نکته بسیار مهم قابل درک از این شرایط آن است که اگرچه استانداردهای عمومی نظیر IEC ادعا می نمایند که در صورت تطابق کامل اتصالات با معیارها و محدوده های پیشنهادی در این استانداردها، می توان از عملکرد طولانی مدت این قطعات در حین سرویس در شبکه برای زمانهای بسیار طولانی اطمینان داشت، اما تجربه استفاده واقعی از این قطعات در شبکه کشورهای مختلف، چنین وضعیتی را اثبات نمی نماید[۲۵ و ۲۷]. یکی از دلایل مهم تخریب خواص و کیفیت اتصالات به مرور زمان، می تواند ناشی از بارگیری های بسیار زیاد و طولانی مدت از برخی از این قطعات باشد که در حین آزمون بر مبنای استانداردهای عمومی، چنین شرایط بارگیری ناخواسته ای، تنها با اعمال چند سیکل محدود جریان اتصال کوتاه شبیه سازی می شود که در زمانهای بسیار کم (در حدود ۱ ثانیه) به قطعات در حین آزمون وارد می شود و از شرایط سرویس واقعی این قطعات در شبکه تا حد زیادی به دور است.

انتخاب و تعیین یک مقدار دقیق و قابل اعتماد برای میزان مقاومت الکتریکی اتصالات در حین سرویس در شبکه تقریبا ناممکن است. با اینحال، بر اساس مراجع مختلف و نتایج آزمایشات موجود [۲۵ و ۲۷-۲۸]، می توان عدد متوسطی در حدود ۲-۱ میلی اهم را به منظور

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

تخمین تلفات ایجاد شده توسط آنها در شبکه فشار متوسط توزیع در نظر داشت. با در نظر گرفتن عدد ۳۰ برای تعداد میانگین رابط های نصب شده در هر کیلومتر از خطوط توزیع فشار متوسط، تلفات آنها در زمانهای پرباری و پیک شبکه برق کشور در حدود ۱۰۰۰۰۰۰/(۴۵۰۰۰۰ × ۳۰ × ۷۵ × ۷۵ × ۰/۰۰۱۵) یعنی ۱۱۴ مگاوات تخمین زده می شود که معادل با ۵/۵ درصد از تلفات هادیهای نصب شده در شبکه توزیع فشار متوسط کشور است. در این محاسبات، متوسط تلفات توان برای هر اتصال معادل ۸/۴۴ وات (۷۵ × ۷۵ × ۰/۰۰۱۵) بدست می آید که این میزان تلفات بر اساس معادله ($P = m.Cp.\Delta T$) باعث گرم شدن ۳۸ درجه ای اتصالات نسبت به دمای محیط می شود. در معادله اخیر، P تلفات توان اتصال بر حسب وات، m جرم رابط بر حسب کیلوگرم (در این مثال برابر با ۰/۲۵)، Cp ظرفیت گرمایی ویژه ماده رابط بر حسب J/kg. C (در این مثال برابر با ۰/۸۸) و ΔT میزان افزایش دمای اتصال می باشد.

مطالب و محاسبات فوق نشان می دهد که عدم دقت کافی در تدوین استانداردهای اتصالات شبکه توزیع برق باعث گردیده است که دو مشکل عمده در حین استفاده از این قطعات برای شرکتهای توزیع ایجاد گردد. مشکل اول که همان نیاز به بازرسی ها و تعمیر و تعویض دوره ای و فراوان آنهاست که علاوه بر تحمیل هزینه های بالا و نیاز به صرف وقت فراوان، در بسیاری از موارد منجر به قطعی برق و بروز خاموشی های بی برنامه گردیده است. مشکل دوم نیز ایجاد تلفات نسبتا بالای توان و انرژی در شبکه است که کاهش آن، بخصوص در زمانهای پیک بار شبکه سراسری بسیار حیاتی است.

با توجه به اهمیت این موضوع، کشورهای پیشرفته در حین تدوین استانداردهای اتصالات مورد استفاده در شبکه برق، علاوه بر توجه به موارد عمومی ذکر شده در استانداردهای بین المللی، به مسئله تلفات این قطعات نیز دقت فراوان نموده اند، بگونه ای که در برخی از کشورها، استانداردهای مجزایی صرفا برای مشخصات فنی رابط های شبکه و بر اساس شرایط فنی/اقتصادی آن کشورها تدوین گردیده است. از جمله می توان به استانداردهای تدوین شده در این خصوص در کشور سوئد اشاره نمود [۲۹-۳۰]. در این رویکرد، بجای آنکه مقاومت الکتریکی اولیه کلیه اتصالات (و نه صرفا اتصالات کلاس A) به اندازه ۷۵٪ مقاومت هادی معادل در نظر گرفته شود، متناسب با سطح تکنولوژیهای موجود در زمینه ساخت اتصالات و همچنین میزان توجه و اهمیت به مساله تلفات توان در شبکه توزیع، حد مجاز آن در کشورهای گوناگون به ۵۵-۴۵٪ مقاومت هادی معادل کاهش یافته است (کاهش ۲۶ تا ۴۰ درصدی مقاومت الکتریکی اتصالات). این شرایط باعث می شود که با فرض عدم تغییر در نحوه توزیع بار در شبکه توزیع، ضمن کاهش فراوان مشکلات در حین استفاده از این قطعات، تلفات آنها نیز در حدود ۴۰-۲۶٪ کاهش یابد.

۳. روشهای کاهش مشکلات و تلفات اتصالات

اگرچه مشکلات فوق الذکر در خصوص اتصالات شبکه توزیع را می توان با بازرسی های دوره ای به روش ترموگرافی و انجام تعمیر و تعویض آنها تا حدودی کاهش داد، اما روش مناسب تر در این زمینه آن است که با تهیه دستورالعملهایی، نسبت به اندازه گیری مقاومت الکتریکی این اتصالات در زمانهای نصب اولیه آنها در خط و همچنین در فواصل زمانی مشخص در حین سرویس آنها در شبکه و مقایسه نتایج حاصله با معیارهای دقیق تدوین شده اقدام نمود. بدیهی است که معیارهای حدود مجاز مقاومت الکتریکی برای اتصالات و هادیهای قدیمی و نو و همچنین نواحی با حساسیت بالاتر یا کمتر شبکه، با یکدیگر متفاوت خواهد بود.

برای تعیین حدود و معیارهای بهینه تلفات (مقاومت الکتریکی) اتصالات شبکه، مناسب ترین روش آن است که بررسی فنی-اقتصادی دقیق و جامعی در زمینه انتخاب بهترین طراحی/مواد اولیه/فرایند ساخت این اتصالات جهت دسترسی به مقرون به صرفه ترین قطعات با توجه به ارزش تلفات آنها در طول عمر سرویس آنها در شبکه صورت پذیرد. با شناسایی و تعیین قطعات (طراحی، مواد و روش ساخت) بهینه، حدود بهینه مقاومت الکتریکی آنها نیز جهت تدوین دستورالعملهای مربوطه مشخص خواهد شد. بدیهی است که سایر خواص و ویژگیهای لازم برای اتصالات نیز در حین چنین بررسیهای فنی/اقتصادی جامعی لحاظ خواهند شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

برای درک بهتر موضوع، جدول (۳) خواص مکانیکی و الکتریکی تعدادی از مهم ترین آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده در ساخت بدنه انواع مختلف اتصالات را نشان می دهد. همانطور که این اطلاعات نشان می دهند، فلز آلومینیوم خالص، اگرچه مقاومت الکتریکی کم و مطلوبی دارد، اما به دلیل خواص استحکامی پایین، گزینه مناسبی برای ساخت رابط ها نیست. بنابراین بایستی از آلیاژهای آلومینیوم در ساخت اتصالات آلومینیومی استفاده نمود. آلیاژهای آلومینیوم نیز بر حسب نوع عناصر آلیاژی و روش ساخت و عملیات حرارتی مورد استفاده، محدوده وسیعی از خواص الکتریکی و مکانیکی را ارائه می دهند. آلیاژهایی برای ساخت اتصالات مناسب ترند که ضمن دارا بودن مقاومت الکتریکی کم، خواص استحکامی بالایی را نیز بطور همزمان دارا باشند. دستیابی به این دو خاصت بطور همزمان، نیازمند شناخت و کنترل دقیق آلیاژهای آلومینیوم و روشهای ساخت و عملیات حرارتی آنهاست. داده های جدول (۳) نشان می دهد که با استفاده از دو آلیاژ مختلف و روش ساخت گوناگون، اگرچه ممکن است استحکام برای یکی افزایش مناسبی نشان دهد (و در نتیجه وزن مواد مصرفی کاهش یافته و هزینه ساخت و فروش اتصال کمتر گردد)، اما امکان افزایش تلفات (تا بیش از ۲ برابر) وجود دارد (مقایسه ردیفهای ۲ و ۱۳). همچنین، بررسی اطلاعات ارائه شده در این جدول نشان می دهد که با استفاده از یک آلیاژ واحد، در صورت عدم کنترل عملیات حرارتی مورد استفاده، امکان افزایش تلفات توان و انرژی الکتریکی به میزان ۳۰ درصد وجود دارد (مقایسه ردیفهای ۱۰ و ۱۱).

دو ردیف آخر جدول ۳، محدوده هایی را ارائه می دهد که در استاندارد جدید برخی از کشورهای پیشرفته نظیر سوئد [۲۹]، از آن بعنوان خواص بهینه اتصالات مورد استفاده در شبکه توزیع برق یاد شده است. با تدوین چنین حدود بهینه ای متناسب با شرایط فنی و اقتصادی موجود در کشور، می توان نسبت به حداقل شدن مشکلات و تلفات ناشی از استفاده از اتصالات غیربهینه در کشور امیدوار بود.

جدول ۳. مقایسه خواص الکتریکی (مقاومت ویژه) و مکانیکی آلومینیوم و آلیاژهای مهم آن مورد استفاده در ساخت بدنه اتصالات

ردیف	نوع آلومینیم	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام نهایی کششی (MPa)	درصد ازدیاد طول	سختی برینل	مقاومت الکتریکی ویژه (n-ohm-m)
۱	Al-۱۱۰۰ (O)خالص تجاری	۲۹	۸۸	۳۲	۲۳	۲۶/۹
۲	Al-۶۰۶۱ (O)	۵۵	۱۲۴	۲۵	۳۰	۳۶/۶
۳	Al-۶۰۶۱ (T۴/T۴۵۱)	۱۴۵	۲۴۱	۲۲	۶۵	۴۳/۲
۴	Al-۶۰۶۱ (T۶/T۶۵۱)	۲۷۶	۳۱۰	۱۲	۹۵	۳۹/۹
۵	Al-۶۰۶۳ (O)	۴۸	۸۹	۲۸	۲۵	۲۹/۹
۶	Al-۶۰۶۳ (T۶)	۲۱۴	۲۴۱	۱۸	۷۳	۳۳/۲
۷	Al-۶۰۸۲ (O)	۶۰	۱۳۰	۲۷	۳۵	۳۷
۸	Al-۶۰۸۲ (T۴)	۱۱۰	۲۰۵	۱۲	۷۰	۳۹/۱
۹	Al-۶۰۸۲ (T۶)	۲۵۰	۲۹۵	۶	۹۵	۳۸
۱۰	Al-۲۰۲۴ (T۳)	۳۳۰	۴۸۰	۱۰	۱۲۰	۵۸/۲
۱۱	Al-۲۰۲۴ (T۶)	۳۱۵	۴۱۵	۵	۱۲۵	۴۴/۹
۱۲	Al-A۳۵۶-T۶, Sand Cast	۱۶۵	۲۳۴	۳/۵	۷۵	۴۴
۱۳	Al-A۳۸۰-F, Die Cast	۱۵۹	۳۲۴	۳/۵	۸۰	۶۴
	حدود بهینه یا استاندارد [۲۹]					
۱۴	cast	۱۸۰	۲۰۰	۱	۷۵	۵۰
۱۵	Forged	۲۴۰	۲۹۰	۵	۸۵	۴۰

علاوه بر بدنه اتصالات، جنس و خواص مکانیکی، الکتریکی و مغناطیسی پیچ و مهره ها و اشرهای مورد استفاده در ساخت رابط های پیچی نیز نقش مهمی در بهبود کیفیت آنها دارند. جدول (۴) خواص الکتریکی و مکانیکی برخی از مهمترین آلیاژهای مورد استفاده در ساخت پیچ و مهره های اتصالات پیچی را نشان می دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

جدول ۴. انواع آلیاژهای مهم در ساخت پیچ و مهره های اتصالات شبکه توزیع و خواص آنها

آلیاژ پیچ و مهره	مقاومت الکتریکی ویژه (اهم-سانتیمتر $\times 10^{-6}$)	استحکام تسلیم (MPa)
سیلیکون برنز ۶۵۱	۱۴/۳	۳۱۰
برنز آلومینیوم ۶۱۳	۱۴/۴	۲۴۰
فولاد زنگ نزن ۳۰۴	۷۲	۲۱۵
فولاد زنگ نزن ۳۱۶	۷۴	۲۴۰
آلومینیوم ۶۰۶۱ و ۶۰۶۳	۳/۵ -۴/۳	۲۱۰-۲۷۰
آلومینیوم ۲۰۲۴	۵/۸۲	۳۰۰

اطلاعات ارائه شـده در جدول (۴) نشـان می دهد که از انواع آلیاژهای آلومینیوم، فولادهای معمولی یا زنگ نزن، سـیلیکون برنز و ... برای ساخت پیچ و مهره های رابط ها استفاده می شود. معمولا از آلیاژهای آلومینیم نظیر سری ۶۰۶۱ برای ساخت پیچ و مهره های اتصالات با بدنه آلومینیمی و از آلیاژهای مس نظیر سیلیکون برنز برای ساخت پیچ و مهره های رابط های با بدنه مسی استفاده می شود. فولادها نیز برای ساخت پیچ و مهره های انواع اتصالات بکار می روند و در مواردی که فولاد مورد استفاده زنگ نزن نبا شد، اعمال پو شش گالوانیزه روی آن اجباری است.

در انتخاب مواد مورد استفاده در ساخت پیچ و مهره های اتصالات، توجه به شرایط کاری پیچ و مهره ها نظیر امکان خوردگی، مغناطیس نبودن، تفاوت در ضریب انبساط حرارتی آنها با هادی و رابط، خواص استحکامی و ... به همراه هزینه آنها بسیار ضروری است. داده های جدول (۴) نشان می دهد که پیچ و مهره های فولادی و بدنبال آن برنج و برنزی از تلفات بالایی برخوردارند و این شرایط منجر شده است تا برخی از کشورهای توسعه یافته، در استانداردهای تدوین شده در زمینه اتصالات توزیع، استفاده از پیچ و مهره های فولاد معمولی را محدود نمایند.

٤. نتیجه گیری و پیشنهادات

در مقاله حاضر به مشکلات تدوین استانداردهای ملی صنعت برق کشور صرفا بر مبنای استانداردهای عمومی و بین المللی و بدون در نظر داشتن شرایط فنی/اقتصادی کشورمان پرداخته شده است. در این رابطه، مشکلات مهم اتصالات شبکه توزیع برق (فشار متوسط) بررسی شد و راهکارهای فنی برای حل این مشکلات پیشنهاد گردید. مهم ترین نتایج این تحقیق بصورت ذیل ارائه می شود:

۱- مهم ترین استاندارد مرتبط با اتصالات مورد استفاده در شبکه توزیع برق کشور برگرفته از استاندارد BS-۳۲۸۸ (نسخه ۱۹۹۷) و مهم ترین استاندارد مرتبط با اتصالات مورد استفاده در شبکه انتقال برق کشور استاندارد IEC-٦١٢٨٤ می باشند. با توجه به این شرایط، تاکنون موضوع مقاومت الکتریکی اولیه و تلفات رابط های توزیع در کشور چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- برآورد می شود که در حال حاضر بیش از ۱۰ میلیون رابط در شبکه توزیع برق فشار متوسط کشور نصب شده باشد. تقریبا به همین تعداد کلمپ اتصال نیز در شبکه توزیع برق فشار ضعیف وجود دارد.

۳- عدم توجه به کیفیت و روش ساخت اتصالات نصب شده در شبکه توزیع برق کشور باعث شده است که هر سال بیش از ۱۰۰ هزار عدد از این قطعات نیاز به سرویس/تعمیر و تعویض داشته باشند که این موضوع باعث تحمیل هزینه های فراوان و صرف وقت زیادی شده است. همچنین بروز عیوب در آنها منجر به قطعی های برق ناخواسته گردیده است.

۴- در حال حاضر، میزان تلفات توان اتصالات توزیع فشار متوسط، در شرایط پیک شبکه، سالانه در حدود ۱۱۴ مگاوات تخمین زده می شود. این تلفات معادل با ۵/۵ درصد از تلفات هادی های موجود در شبکه توزیع فشار متوسط است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

۵- در استانداردهای مرتبط با موضوع اتصالات در کشورهای پیشرفته، حدود بسیار مطلوبی از تلفات برای این قطعات پیشنهاد شده است که باعث کاهش ۴۰-۲۶ درصدی تلفات آنها نسبت به معیارهای استانداردهای بین المللی خواهد شد.

۶- انتخاب آلیاژهای مناسب جهت ساخت اتصالات همراه با روش ساخت و عملیات حرارتی بهینه، قادر است تا مشکلات این قطعات مورد استفاده در کشور را تا حد مطلوبی کاهش دهد. تدوین استاندارد ملی بر اساس شرایط تکنولوژیکی و اقتصادی موجود در کشور ضروری است.

۷- با توجه به اهمیت فراوان این قطعات، پیشنهاد می شود که کمیته فنی مختص این قطعات در صنعت برق تشکیل شده و بحث های فنی/اقتصادی مرتبط با موضوع به طرق مهندسی بررسی و تحلیل گردد.

۸- پیشنهاد می شود که علاوه بر روش ترموگرافی، از روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی رابط ها و اتصالات روی خط نیز بهره گرفته شود. با تدوین حدود مجاز مقاومت الکتریکی اتصالات قدیمی و نو، در زمان مناسب می توان نسبت به تعمیر (اقدام جهت کاهش تلفات و جلوگیری از ادامه تخریب قطعه) و تعویض (اقدام جهت جلوگیری از بروز قطعی) آنها اقدام نمود.

منابع

[۱] William Thue (۲۰۱۷), Electrical Power Cable Engineering, Third Edition, CRC Press. Florida, USA.

[۲] Milenko Braunovic, Nikolai K. Myshkin, Valery V. Konchits (۲۰۰۶), Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology, ۱st edition, CRC Press; USA.

[۳] M. Runde; H. Jensvold; M. Jochim (۲۰۰٤) Compression connectors for Stranded Aluminum power conductors", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: ۱۹, Issue: ۳, July ۲۰۰٤, Pages: ۹۳۳-۹٤۲.

[۴] مرتضی ناصریان، اصغر محمدی و مسعود داود پور (۱۳۹۷)، "تغییر ساختار کلی کلمپ دو پیچه آلومینیوم در اتصالات جمپر"، بیست و سومین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تهران، ایران

[۵] محمدا سماعیل هنرمند، محمدر ضا حقی فام، هادی دو ستی (۱۳۸۹)، "کاهش تلفات اتصالات سست در شبکه های توزیع با نگاه مدیریت دارایی"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، ایران.

[٦] L. Bily, C. Hildmann, G. Moustafa, S. Grossmann, R. Kleveborn, L. Charlshem (۲۰۱۰), Experimental investigations to the joint resistance of bolted substation and transmission line connectors and its conformity to test standards, e & i Elektrotechnik und Informationstechnik Volume ۱۲۷, Pages: ۳۵۸–۳٦۱.

[۷] IEC Int. Sd. ٦۱۲۳۸-۱ (۲۰۰۳), Compression and Mechanical Connectors for Power Cables with Copper or Aluminium Conductors.

[۸] IEEE-ANSI Std. C۱۱۹,٤ (۲۰۱٦), American National Standard for Electric Connectors—Connectors for Use Between Aluminum-to-Aluminum and Aluminum-to-Copper Conductors Designed for Normal Operation at or Below ۹۳°C and Copper-to-Copper.

[۹] مشخصات فنی، عمومی و اجرایی خطوط توزیع هوایی و کابلی فشار متوسط و ضعیف (۱۳۸۶)، نشریه ۳۷۴، نظام فنی و اجرایی کشور، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

[۱۰]BS ۳۲۸۸ (۱۹۹۷), Insulator and Conductor Fittings for Overhead Power Lines.

[۱۱]IEEE C۱۳۵,۱ (۱۹۹۹), IEEE Standard for Zinc-Coated Steel Bolts and Nuts for Overhead Line Construction.

[۱۲]IEC ٦۰۱۲۰ (۲۰۲۰), Ball and socket couplings of string insulator units: Dimensions.

[۱۳]مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – یراق آلات خطوط هوایی انتقال نیرو (۱۳۸۷)، نشریه ۴۶۵، نظام فنی و اجرایی کشور، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

[۱٤]IEC ٦۱۲۸٤ (۱۹۹۷), Overhead lines - Requirements and tests for fittings.

[۱۵]۵۳ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار (۱۳۹۹)، شرکت مادر تخصصی توانیر.

[۱٦]J.A. Greenwood, J.B.P. Williamson (۱۹٦٦), "Contact of Nominally Flat Surfaces," Proc. Roy. Soc. Lond., Series A۲۹۵, Pages ۳۰۰–۳۱۹.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

[۱۷]Ivan Argatov, Igor Sevostianov (۲۰۱۰), Health monitoring of bolted joints via electrical conductivity measurements, International Journal of Engineering Science, Volume ٤٨, Issue ١٠, Pages ٨٧٤-٨٨٧.

[۱۸]ابوالفضل باقری، محمدعلی ملک حسینی (۱۳۹۷)، بررسی معضلات استفاده از بست های آلومینیومی دو پیچه در اتصالات شبکه ۲۰ کیلوولت و ارائه راهکار رفع معضل مربوطه، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی شبکه های توزیع نیروی برق، خرم آباد، ایران.

[۱۹]IEC ٦١٠٨٩ (١٩٩١), Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors.

[۲۰]ASTM B٢٣٢ (٢٠١٧), Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminum Conductors, Coated-Steel Reinforced (ACSR).

[۲۱]نگار کریمی پور، صالح عسگری (۱۳۹۵)،" ارائه یک روش جدید برای جداسازی مولفه های بار از داده های اندازه گیری شده در پستهای فوق توزیع" ۳۱امین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران.

[۲۲]اسدالله سلمانی، محمد صادق سپاسیان، مسعود سیوانی (۱۳۸۶)، "ارزیابی و مطالعه خازنگذاری در خطوط فشارمتوسط و فشارضعیف با هدف کاهش تلفات در شرکت توزیع نیروی برق جنوبغرب تهران"، ششمین همایش ملی انرژی، تهران، ایران.

[۲۳]کاظم زارع، افشین روشن میلانی، صیاد نوجوان (۱۳۹۳)، " بررسی مولفه های تلفات در فیدرهای نمونه شبکه توزیع برق تبریز"، دهمین همایش بین المللی، تهران، ایران.

[۲۴]ن صراله هدایت نژاد، پیمان طباخ نژاد (۱۳۹۸)،" ارائه رو شی جدید جهت تخمین واقعی بار تراز سهای توزیع هوایی پس از بارگیری در تابستان اهواز"، ششمین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور، تهران، ایران.

[۲۵]R.S. Timsit; J.D. Sprechel (١٩٩٨), “Energy losses in power tap-connectors”, IEEE ٨th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings, USA.

[۲٦]B.W. Callen; B. Johnson; P. King; R.S. Timsit; W.H. Abbott (٢٠٠٠), “Environmental degradation of utility power connectors in a harsh environment”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol.: ٢٣, Issue: ٢, Pages: ٢٦١-٢٧٠.

[۲۷]Mohammadreza Jahangiri, Azam Bajgholi, Aliakbar Fallah, Alireza Khodabandeh (٢٠٢٠), “Effect of annealing method and applied stress on aging behavior of copper-aluminum bimetals”, Journal of Alloys and Compounds, Volume ٨١٦, ١٥٢٦٧٦.

[۲۸]باجقلی، اعظم و میرزایی، مهدی (۱۳۹۰)،"بررسی تأثیر روش ساخت بر کیفیت کانکتور شیاردار دوفلزی"، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران.

[۲۹]SWED١SH NATIONAL GR١D (٢٠٢٠), Overhead transmisson lines :Parallel groove clamps, TECHNICAL GUIDELINE TR٠٥-١٥E rev ٣.

[۳۰]SWED١SH NATIONAL GR١D (٢٠٢٠), Overhead transmission lines :Resistance measurement ofjoints, compressed tension clamp and bolted connectors, TECHNICAL GUIDELINE TR٠٥-١٦E rev ٢.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]