



بیستمین کنفرانس توزیع برق اردیبهشت ۱۳۹۴-زاهدان

بهینه‌سازی ساختار کلمپ‌های کابل خودنگهدار فشارضعیف جهت کاهش تلفات

مریم ناروئی- حبیب الله حسین زهی- شهرام شاهبیک

شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان^۱- شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان^۲- شرکت توزیع برق سیستان و بلوچستان^۳
(^۱ Gpstozi@gmail-shahramb2000@gmail.com ^۲ hhosseinzehi@yahoo.com ^۳ com)

چکیده

بیشترین تلفات در سیستم‌های توزیع ناشی از تلفات خطوط شبکه است. این معضل باعث شده اقدامات بسیاری به منظور کاستن تلفات و اصلاح و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع انجام شود. یکی از این متد که امروزه در کشور ما بسیار متداول شده، استفاده از کابل خودنگهدار در دو سطح فشار متوسط و فشار ضعیف به طور موقت و یا دائم است. علی‌رغم این که استفاده از این نوع کابل دارای مزایای بسیاری است، اما تاثیر روش‌های غیراستاندارد و نامناسب اتصالات باعث به وجود آمدن نقاط ضعف در شبکه گردیده که این امر منجر به افزایش تلفات، کاهش قابلیت اطمینان سیستم، نوسانات ولتاژ و وقوع خاموشی‌های ناخواسته و نارضایتی مشترکین می‌شود. شبکه‌های فشار ضعیف، اتصالات زیادی دارند که مقاومت‌هایی را ایجاد می‌کنند و عبور جریان از این مقاومت‌ها، باعث تولید تلفات در محل اتصال می‌گردد. در بسیاری از موارد به علت ساختار غیراستاندارد و نامناسب اتصالات با روند افزایش مقاومت مواجه می‌شویم که این افزایش می‌تواند به علت تغییرات حرارتی، شیمیایی، مکانیکی و فیزیکی در محل اتصال حاصل گردد. بنابراین برای حل قسمتی از این معضل به بررسی ساختار کلمپ رابط (انشعابی) که یکی از انواع کلمپ‌های کابل خودنگهدار شبکه فشار ضعیف است، می‌پردازیم. این مقاله معایب ساختاری کلمپ‌های رابط کابل خودنگهدار فشار ضعیف را بررسی می‌کند. هدف این مقاله بهینه‌سازی ساختار کلمپ‌های انشعابی کابل خودنگهدار فشار ضعیف جهت ارائه راه‌کارهایی ارزنده برای به حداقل رساندن تلفات است.

کلید واژه

کلمپ-کابل خودنگهدار-تلفات-شبکه فشارضعیف

۱- مقدمه

فنی، تلفات غیر فنی و تلفات فنی بهره‌برداری را شامل می‌شوند. تلفات فنی همان تلفات تجهیزات مصرفی مانند تجهیزات پست، کنتور، ترانس و تلفات اهمی می‌باشد. تلفات غیر فنی نیز شامل: انشعابات غیرمجاز، نشتی جریان، سرقت سیم‌های شبکه و عدم قرائت صحیح کنتور است. در نهایت تلفات ناشی از عوامل فنی بهره‌برداری نیز شامل: افت ولتاژ شبکه، ضریب قدرت پایین در شبکه، عدم تعادل خطوط و اتصالات نامناسب است. از آنجائی که تلفات در

توسعه جوامع همواره منجر به افزایش مصرف انرژی می‌گردد. این در حالی است که ذخیره سوخت‌های فسیلی زمین محدود است. که همواره منجر به سوالاتی می‌شود که چگونه تلفات انرژی و تغییر بیش از حد منابع تجدیدپذیر را کاهش دهیم [۱]. اگر در صنعت برق به طور خلاصه عوامل موثر بر تلفات را بیان کنیم، این عوامل تلفات

شبکه‌های توزیع باعث به هدر رفتن انرژی و سرمایه می‌شود بنابراین تمام شرکت‌های توزیع در تلاش برای به حداقل رساندن مقدار تلفات موجود در سیستم برق‌رسانی هستند و منطقی است که به دنبال راه‌کارهایی جهت رساندن تلفات به حداقل مقدار موجود باشند. یکی از راه‌های کاهش تلفات انرژی در دنیای امروز استفاده از کابل‌های خودنگهدار در صنعت برق می‌باشد.

از جمله روش‌های بازسازی شبکه‌های فرسوده، برطرف کردن انشعاب‌های غیرمجاز، سرقت سیم و کاهش مشکلات بهره‌برداری از سطح شبکه‌های فشار ضعیف، استفاده از کابل‌های خودنگهدار فشار ضعیف است.

البته فواید و مزایای کابل خودنگهدار فشار ضعیف به جای شبکه فشار ضعیف مسی بر کسی پوشیده نیست. شبکه فشار ضعیف مسی در اکثر نقاط جای خود را به کابل خودنگهدار داده است، کابل‌هایی که اگر به خوبی نصب گردند برخلاف نظر شهرداری‌ها، هم منظره زیبایی به شهر خواهند داد و هم از نظر بهره‌برداری بسیاری از مشکلات شبکه‌های توزیع برق را مرتفع می‌نمایند [۲]. از جمله مزایای این کابل: وجود جریان اتصال کوتاه بالا (که موجب عمل کرد سریع حفاظت شبکه می‌شود)، کاهش خوردگی هادی ناشی از شرایط جوی، هزینه نصب پایین‌تر، هزینه نگهداری خطوط (به دلیل کاهش نرخ خرابی) کم‌تر است.

حال علاوه بر مزایای بسیاری که این نوع کابل دارد پس از استفاده و مشاهده عمل کرد آن در شبکه متوجه برخی معایب در ساختار پراق‌آلات به کار رفته در این نوع کابل می‌شویم که باعث به وجود آمدن نقاط ضعف در سیستم توزیع شده که نتیجه آن بوجود آمدن تلفات بیشتر در شبکه است که برای رفع این مشکل در این مقاله به ساختار کلمپ‌های انشعابی به کار رفته در فواصل ارتباطی کابل خودنگهدار فشار ضعیف پرداخته می‌شود. پس از بررسی ساختار و معایب آن، به ارائه راهکارهایی جهت رفع ایرادات و در نهایت به حداقل رساندن تلفات ایجاد شده در این پراق پرداخته می‌شود.

۱-۱- ساختار کابل‌های خودنگهدار

شبکه‌های توزیع مدرن از سطح پست‌های فوق توزیع آغاز شده و انتهای آن مانند سرویس ثانویه وارد سوکت دستگاه اندازه‌گیری مشترکین می‌شود.

معمولاً ولتاژ تحویلی با استفاده از ظرفیت ترانسفورماتور و یا اختلاف ولتاژ بین فاز و خنثی و یا اختلاف ولتاژ فاز به فاز تولید می‌شود [۳].

کابل‌های خودنگهدار در دو سطح فشار متوسط و فشار ضعیف تولید می‌شوند. کابل‌های خودنگهدار در سطح فشار ضعیف به دو صورت ساخته می‌شوند:

- کابل‌های خودنگهدار ۵ رشته‌ای، سیستم مسنجر به‌عنوان کابل نول در نظر گرفته می‌شود.
- کابل‌های خودنگهدار ۶ رشته‌ای کابل نول از کابل مسنجر جدا می‌باشد.

در استان سیستان و بلوچستان با توجه به گرم و خشک بودن منطقه و بالا رفتن مقاومت سیستم زمین (قطع سیستم زمین) باید، سطح مقطع و نوع سیم نول را با سطح مقطع و نوع سیم سایر فازها یکسان در نظر گرفت. هم‌چنین در صورتی که از سیم نول با سطح مقطع مساوی با سیم فاز استفاده شود، تلفات برای مقاومت زمین کاهش چشمگیری می‌یابد.

۱-۲- کانکتور انشعاب

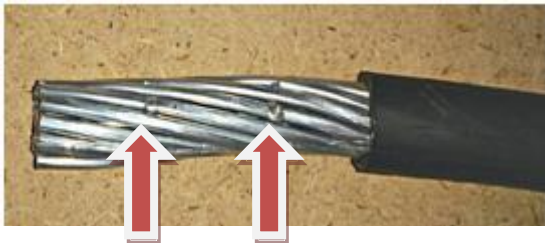
هر سیستم الکتریکی از اجزای کوچک‌تری تشکیل شده که انرژی عبوری از محل اتصال یا تماس دو یا چند قطعه عبور می‌کند، نقطه تماس الکتریکی نامیده می‌شود. وجود اتصالات در مسیر عبور جریان الکتریکی در حالت کلی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و به دو نوع اتصال تقسیم‌بندی می‌گردد:

- اتصالات ایستا یا ثابت (Stationary Contact) شامل: جمپرها، ترمینال‌ها و انواع اتصالات ثابت (قفل و بست‌ها) کلیدها، کنتاکتورها و کانکتورها نام برد.

• اتصال لغزشی (Sliding Contact)

کانکتور انشعابی در واقع وسیله فلزی که برای اتصال سر هادی انشعاب فرعی به هادی اصلی (بدون قطع آن) به کار برده می‌شود. این کانکتور دارای دندان‌های فرو رونده در روکش بوده و دارای محفظه عایق شده و گیرس اتصال است. این کانکتورها به صورت کلمپ دو شیاره موازی در سه گونه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. اتصالات ناصحیح باعث ایجاد تلفات در محل ارتباط می‌گردد. حال با توجه به وجود تعداد زیاد اتصالات در شبکه فشار ضعیف، اتلاف انرژی به صورت‌های مختلف رخ می‌دهد.

- عدم ارائه تست جریان تیغه‌های کلمپ انشعابی در مشخصات فنی توسط سازندگان،
 - باز کردن و یا جابه‌جایی بست‌های مربوط به هر کلمپ پس از اتصال کلمپ به کابل خودنگهدار:
- بارها مشاهده شده که یک کلمپ چندین بار بر روی شبکه متصل و یا جابه‌جا می‌گردد، این کار باعث ایجاد شکاف در کابل و عبور رطوبت و نفوذ آب به داخل و در نهایت خوردگی هادی کابل می‌شود. از طرفی با ایجاد حفره‌های برجای مانده از دندان‌های کلمپ انشعابی بر هادی کابل، تلفات حرارتی در محل حفره تولید می‌شود که پس از گذر زمان منجر به گسیختگی هادی کابل درون عایق می‌گردد.



شکل ۱: محل ایجاد حفره‌های ناشی از اتصال کلمپ انشعابی

با توجه به عدم رعایت استاندارد در ساخت تیغه‌های کلمپ انشعابی، با یک‌بار بستن کلمپ انشعابی و باز نمودن آن شکل تیغه و پیچ مربوطه به ترتیب شامل شکل (۲) و شکل (۳) می‌باشد.



شکل ۲: تصویر له‌شدگی در تیغه کلمپ انشعابی



شکل ۳: عدم رعایت استاندارد در ساخت پیچ کلمپ انشعابی

- بنابراین اتصالات مرغوب باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:
- موجب له‌شدگی هادی در محل اتصال نگردند،
 - در برابر خوردگی مقاوم باشند،
 - دارای تاییدیه‌های کیفی (آزمایش نوعی و آزمایش عمل‌کردی) مطابق با استاندارد باشند،
 - از نفوذ آب جلوگیری کنند،
 - تحمل نیروهای کششی تعریف شده آن را داشته باشند،
 - در برابر نور خورشید و شرایط جوی مقاوم باشند،
 - هیچ صدمه‌ای به روکش کابل وارد نسازند،
 - پس از نصب و مونتاژ تضمین کافی و دوام لازم در مقابل انواع لرزش‌ها و تکان‌ها را داشته باشند،
 - نحوه قفل و بسته شدن آن‌ها باید به نحوی باشد که اطمینان از محکم شدن کلمپ‌ها مستقل از نحوه عمل‌کرد صحیح اپراتور و یا نصاب وجود داشته باشد [۴].

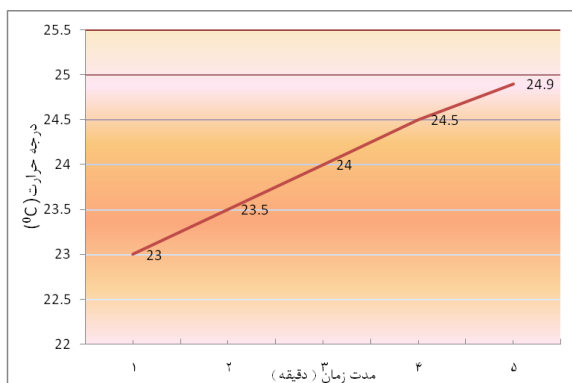
بنابراین علاوه بر استفاده از کابل خودنگهدار، استفاده از اتصالات مناسب نیز می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش تلفات، پیش‌گیری از خاموشی‌های ناخواسته، افزایش ایمنی و بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه توزیع از طریق بهبود ضرایب SAIDI, SAIFI, CAIDI و CAIFI، داشته باشد.

۱-۳- معایب موجود کابل خودنگهدار و یراق‌آلات آن

امروزه در کشور ما به‌علت عدم هماهنگی بین سازندگان کابل خودنگهدار و سازندگان یراق‌آلات کابل خودنگهدار مسائل و مشکلات عدیده‌ای در استفاده از این تکنولوژی به چشم می‌خورد:

- سازندگان کابل خودنگهدار، روکش عایق کابل را با ضخامت عایق یکسان تولید نمی‌کنند. از طرفی سازندگان یراق کانکتور انشعابی، قسمت هادی اتصال به کابل را به عمق ثابتی تولید می‌کنند که این امر باعث عدم اتصال مناسب هادی کانکتور به هادی کابل می‌شود.
- سطح مقطع اتصال دندان‌های کلمپ انشعابی از سطح مقطع واقعی کابل کم‌تر بوده و هنگام عبور بار نامی از کابل، محل انشعابات باعث ایجاد گرما (تلفات حرارتی) می‌گردد.

تیغه‌ها اندازه‌گیری شد که نتایج آن بر حسب شکل (۵) می‌باشد.



شکل ۵: نمودار منحنی زمان - درجه حرارت تیغه کلمپ انشعابی با شدت جریان ۱۰۰A به مدت ۵ دقیقه

هدف این تست، محاسبه حرارت تولید شده توسط دو تیغه کلمپ انشعابی با توجه به عبور جریان ثابت در مدت زمان محدود و تعمیم آن برای کل تیغه‌های کلمپ به مدت زمان ماهیانه و سالیانه است. این تست نمایان‌گر تلفات حرارتی تولید شده توسط دو تیغه کلمپ می‌باشد.

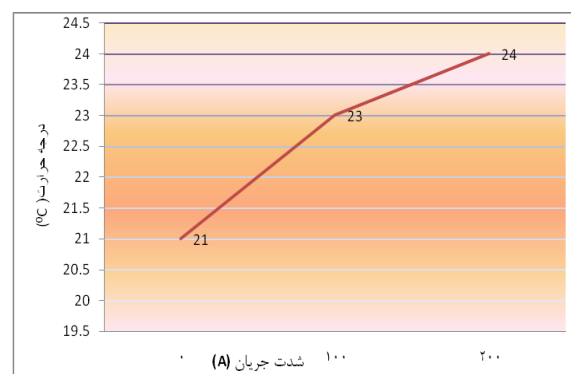
به منظور اطمینان از اتصال هادی‌ها به یک‌دیگر، در نظر گرفتن جریان عبوری از سیم و استفاده از گشتاور مناسب، جز موارد مهم است که باید به آن توجه شود.

با توجه به معضلات کلمپ‌های موجود (محل اتصالات هادی کلمپ به هادی کابل خودنگهدار تلفات حرارتی به وجود می‌آید که جزئی از تلفات شبکه محسوب می‌شود)، طرحی از کلمپ انشعابی پیشنهاد شد که در این طرح به جای تیغه‌های مجزا از یک صفحه که بر روی آن دندان‌ها مونتاژ شده‌اند استفاده شده است. در نمونه پیشنهادی یک صفحه کامل به کار رفته، که این صفحه در معرض هوا قرار دارد و همواره در هنگام عبور جریان بالا از آن نسبت به نمونه تیغه‌ای، خنک‌تر مانده و باعث کاهش تلفات حرارتی می‌شود. در شکل (۶)، تصویری از یک نمونه کلمپ پیشنهادی مشاهده می‌شود.

عدم دقت در استفاده از یراق آلات کابل خودنگهدار، همواره باید مدنظر داشت که کیفیت پایین یراق آلات و استفاده نامناسب از آن‌ها، نه تنها باعث بی اثر شدن به کارگیری کابل خودنگهدار در شبکه توزیع می‌شود بلکه باعث خسارات متعدد و خاموشی‌های بسیار و افزایش تلفات شبکه می‌گردد.

۴-۱- شرح اقدامات جهت پیشنهاد طرح کلمپ انشعابی با ساختار جدید

یکی از اثرات عبور جریان الکتریکی در اتصالات ثابت، اثر حرارتی است. بیشتر فلزات دارای ضریب حرارتی مثبت می‌باشند، یعنی با افزایش جریان، مقاومت نقطه اتصال افزایش می‌یابد. با توجه به عدم ارائه تست الکتریکی جریان تیغه‌های کلمپ انشعابی در مشخصات فنی توسط سازندگان و همچنین کمبود امکانات تست و اندازه‌گیری دقیق، در آزمایشگاه دو تیغه یک نمونه از کلمپ انشعابی موجود شبکه مورد تست جریان قرار گرفت، که منحنی جریان - دمای آن مطابق با شکل (۴) به دست آمد.



شکل ۴: نمودار منحنی جریان - دما در کلمپ انشعابی موجود

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود بدون عبور جریان از دو تیغه کلمپ دمای آن 21°C که هم‌درجه با دمای محیط است. با افزایش جریان، درجه حرارت به طور صعودی شروع به افزایش می‌کند. در این تست جریان ثابت در نظر گرفته نشده و اثرات افزایش آن بر افزایش درجه حرارت تیغه‌های کلمپ انشعابی موجود بررسی گردیده است.

حال با عبور جریان ثابت ۱۰۰A، از دو تیغه کلمپ انشعابی موجود در مدت زمان ۵ دقیقه، حرارت تولید شده توسط



شکل ۷: اندازه‌گیری دندان‌های کلمپ انشعابی صفحه‌ای موجود



شکل ۶: تصویر کلمپ انشعابی صفحه‌ای موجود



شکل ۸: اندازه‌گیری دندان‌های کلمپ انشعابی صفحه‌ای موجود

تعداد دندان‌های کلمپ انشعابی بستگی به مقدار جریانی است که از کلمپ مربوطه عبور می‌نماید. در کلمپ‌های انشعابی تیغه‌ای موجود تعداد دندان‌ها ۱۶ یا ۳۲ دندان می‌باشد. اما در کلمپ‌های انشعابی صفحه‌ای موجود تعداد دندان‌ها ۳۲ یا ۶۴ دندان می‌باشد. با افزایش تعداد دندان‌ها می‌توان سطح تماس مفید هادی کلمپ به هادی کابل خودنگهدار را افزایش داد.



شکل ۹: اندازه‌گیری قطر عایق کابل خودنگهدار

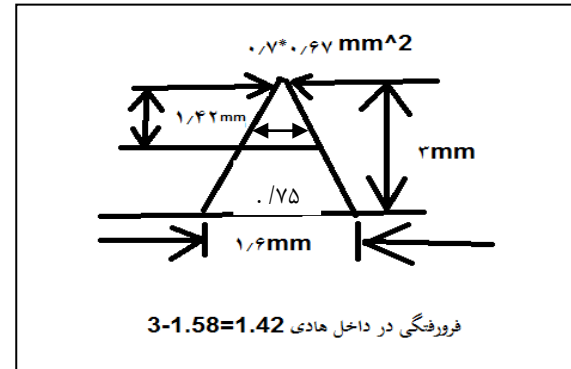
همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود کلمپ انشعابی صفحه‌ای موجود در شبکه‌های توزیع دارای معایبی است. این معایب عبارتند از: آب‌کاری نامرغوب دندان‌ها، جنس نامرغوب تیغه‌ها، عدم کیفیت مناسب روکش حفاظتی، رطوبتی، نامناسب بودن طول تیغه و دندان‌ها، عدم استاندارد بودن پیچ سربر.

شکل (۷) و شکل (۸)، نمایان‌گر اندازه‌گیری ابعاد دندان‌ها در کلمپ انشعابی صفحه‌ای، شکل (۹) نیز نشان‌دهنده اندازه‌گیری قطر عایق کابل خودنگهدار است.

جدول ۱: سطح مقطع و قطر سیم‌های آلومینیوم کابل‌های خودنگهدار [۵].

سطح مقطع A	۱۲۰	۹۵	۷۰	۵۰	۳۵	۲۵	۱۶
قطر D	۱۳	۱۲	۱۰,۲	۸,۴	۷,۳	۶,۱	۴,۸

با استفاده از جدول (۱) و محاسبات انجام شده، مقدار فرورفتگی دندان کلمپ داخل هادی کابل مطابق شکل (۱۰) محاسبه می‌گردد.



شکل ۱۰: اندازه گیری سطح مقطع هر دندان در هنگام اتصال به هادی آلومینیوم کابل خود نگهدار

اندازه گیری دندان موشی: $0.67 \times 0.75 \cong 0.5 \text{ mm}^2$
 سطح مقطع هر دندان در هنگام اتصال به هادی آلومینیوم کابل خود نگهدار معادل 0.5 mm^2 است. با توجه به محاسبات، فرورفتگی کلمپ در داخل هادی مقدار 1.42 mm است، که این مقدار باعث زخمی نمودن کابل خودنگهدار و ایجاد حفره، افزایش تلفات شبکه خواهد شد. هنگام گالوانیزه نمودن دندانها، باید از آب کاری با نقره به جای آب کاری با قلع استفاده شود. ضمن این که هزینه آب کاری با نقره معادل هزینه آب کاری با قلع می‌باشد. در نهایت باید به هدایت خوب نقره در مقابل قلع و مقاوم تر نمودن فلز توسط نقره نیز اشاره نمود.

نتیجه گیری

با توجه به این که یکی از عوامل موثر در افزایش تلفات شبکه های توزیع اتصالات ثابت می‌باشد، باید نسبت به برقراری اتصالات مناسب اقدام نمود. علاوه بر آن در بسیاری از موارد به علت ساختار غیراستاندارد و نامناسب یراق آلات با روند افزایش مقاومت و تلفات مواجه می‌شویم. برای حل این معضل به بررسی ساختار کلمپ انشعابی کابل خودنگهدار فشار ضعیف پرداخته شد و پیشنهادات جهت بهینه سازی ساختار کلمپ های انشعابی کابل خودنگهدار فشار ضعیف برای به حداقل رساندن تلفات به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- جنس اتصالات مرغوب انتخاب شود،
- ۲- تدبیری جهت افزایش دندانها متناسب با جریان نامی کابل و ارتفاع دندانها جهت برقراری اتصال مناسب، متناسب با سطح مقطع کابل انتخابی، اتخاذ گردد.
- ۳- نقره اندود نمودن محل اتصال کلمپ انشعابی صفحه ای با هادی کابل خودنگهدار،
- ۴- استاندارد سازی پیچ سربر جهت اعمال گشتاور مناسب و اتخاذ تدبیری جهت عایق الکتریکی نمودن قسمت خارجی آن،
- ۵- ایزولاسیون عایق کلمپ انشعابی صفحه ای نسبت به نفوذ رطوبت.

مراجع

- [۱] Yury, I., Hirofumi, W. Makoto, H, Toshio, K, Jian, S. Satarou, Y. (۲۰۱۲). "Design study of LN₂ circulation in a long SC power transmission lines." Superconductivity Centennial Conference, ۴۶, pp ۱۳۷۲-۱۳۷۷.
- [۲] Gilles, P. (۲۰۰۶). "EUROPEANWORK ON LV ABC ACCESSORIES STANDARD." tyco Electronics SIMEL-France,
- [۳] Kumar, S.A.S. Vasudaven, V. Antony, J. Raju, M.S. (۲۰۱۱). "Minimization of Power Losses in Distribution System Th rough HVDS Concepts." Department of Electrical and Electronics Engineering, ۲۰-۲۲, p. ۸۶-۹۰.
- [۴] (۹۰). "پیش نویس استاندارد صنعت برق ایران مجموعه استانداردهای شبکه های هوایی توزیع برق روکشدار و عایق شده." بخش ۳-۲، نصب، اجرا و بهره برداری کابل خودنگهدار فشار ضعیف.
- [۵] (۹۰). "استاندارد صنعت برق ایران مجموعه استانداردهای شبکه های هوایی توزیع برق روکشدار و عایق شده." بخش ۱-۲، کابل خودنگهدار فشار ضعیف. چاپ اول.