

کابل های فشار قوی

اصغر قادری ۱، محمد هیتیان ۲ و میلاد دژدار ۲

۱ استاد یار گروه برق، دانشگاه آزاد واحد ابرانشهر

۲ دانشجوی کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه آزاد واحد ابرانشهر

چکیده

در این مقاله، کابل ZR-YJV223-15kV به عنوان نمونه آزمایشی انتخاب شده است و تمرکز بر تغییر دو کمیت مشخصه عایق، ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون است. مقادیر مشخصه عایق کابل ها با انواع مختلف عیوب در طول فرآیند فرسودگی ترکیبی الکتریکی و گرمایشی آزمایش و تجزیه و تحلیل می شود. برای به دست آوردن تفاوت در تکامل کمیت های مشخصه تحت تأثیر انواع مختلف عیوب، از روش های علمی تجزیه و تحلیل آماری و نرم افزار OriginPro8 برای تجزیه و تحلیل سیستماتیک و پردازش داده های تجربی استفاده می شود، در همان زمان همبستگی بین هر کمیت مشخصه مشخص می شود. این ثابت می کند که ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون را می توان برای غربال کردن انواع عیوب کابل در مرحله فرسودگی استفاده کرد. نتایج تحقیق پشتیبانی فنی را برای اطمینان از عملکرد ایمن و قابل اعتماد سیستم قدرت فراهم می کند.

واژگان کلیدی: کابل برق، ولتاژ قوی،

مقدمه

کابل های برق به عنوان یک تجهیزات مهم برای انتقال نیرو، کاربرد و تقاضای زیادی دارند، به ویژه کابل های پلی اتیلن متقاطع (XLPE). ساختار مولکولی ویژه و ساختار متقاطع باعث می شود که خواص الکتریکی خوبی داشته باشد. ویژگی ها، خواص عایق، مقاومت در برابر حرارت و خواص مکانیکی [۱] به طور گسترده در خطوط فشار قوی و فوق ولتاژ بالا استفاده می شود. در فرآیند نصب و کابل کشی، نقص عایق لوازم جانبی کابل ناشی از تکنولوژی نصب نامناسب یا آسیب نیروی خارجی خواهد بود. توزیع متمرکز میدان های الکتریکی در عیوب متمرکز منجر به تجمع بارهای فضایی و جریان های ناشی می شود. افزایش منجر به تعمیق بیشتر عیوب می شود و در نتیجه عمر کاری کابل را کوتاه می کند [۲-۴]. برای جلوگیری از این مشکلات، لازم است از روش هایی مانند پایش داده ها یا تجزیه و تحلیل تجربی استفاده شود تا اطمینان حاصل شود که کابل قبل از پایان عمر تعمیر و تعویض می شود تا از بروز آن جلوگیری شود. کهنه شدن عایق منجر به مشکلاتی مانند خرابی کابل می شود. که بر انتقال و بهره برداری ایمن و مؤثر انرژی الکتریکی تأثیر می گذارد.

شناخت کابل

می دانیم که جهت انتقال انرژی از نقاط تولید تا محل مصرف از هادی های مسی و آلومینیومی استفاده می گردد. بر حسب آنکه این هادی ها در روی پایه ها و یا داخل کانال و زیر زمین نصب گردد آنها را به دو دسته تقسیم بندی می کنند. سیم های هوایی و کابل های زمینی (در واقع کابل های زیر زمینی همان سیم های هوایی هستند که از نظر الکتریکی عایق شده اند). نوع کابل و مقدار عایق بستگی به ولتاژ و جریانی که از آن عبور می کند دارد و بر حسب این ولتاژ و جریان طبقه بندی می شود.

- کابل های فشار ضعیف : قدرت عایق نمودن تا ۱۰۰۰ ولت

- کابل های فشار متوسط : قدرت عایق نمودن از ۳۳۰۰ تا ۴۵۰۰۰ ولت

- کابل های فشار قوی : قدرت عایق نمودن از ۶۰ تا ۹۰ کیلو ولت

- کابل های فشار خیلی قوی : قدرت عایق نمودن از ۱۱۰ تا ۳۸۰ کیلو ولت

جهت عایق نمودن یک کابل از مواد مختلفی در ولتاژهای مختلف استفاده می نمایند این مواد عبارتند از : مواد کائوچویی مخلوط جهت ولتاژ تا ۷۵۰ ولت مواد ترموپلاستیک و لاستیک مانند کلرورپلی ونیل - پلی اتیلن - سوپر پلی امید نئوپرین و پلی ونیل کرومید ماده اخیر که با نام اختصاری PVC در صنعت و تجارت معروف است و از همه مهمتر بوده و دارای خواص بهتری است. البته از نقطه نظر جنس سیم های هادی به دو دسته مسی و آلومینیومی تقسیم می شوند بعلاوه از لحاظ نوع سطح مقطع و شکل آن و همچنین یک لایه یا چند لایه بودن هادی نیز به دو دسته های مختلفی تقسیم می شوند سطح مقطع هادی ها ممکن است به شکل گرد باشند که آنرا با حروف R مشخص می نمایند و یا بصورت سکتور یا مثلثی شکل بوده که آنرا با حرف S مشخص می کنند یک لایه یا چند لایه بودن هادی ها را به ترتیب با حرف e و M مشخص می نمایند بناجستن اگر مشخصات یک کابل ذکر گردد که از نوع Re استمی توان استنباط کرد که هادی کابلها با مقطع گرد و یک لایه استو در صورتیکه اگر با علامت SM مشخص شود می توان فهمید کابل مقطع سکتور و چند لایه است.

در صنعت کابل سازی جهت استحکام و کم نمودن خاصیت خازنی کابلها آنها را به صورت مارپیچ می سازند. یعنی اگر سیم یک هادی چند لایه باشد این رشته ها بهم تاب خورده اند و در ارتباط با کابل های چند رشته نیز رشته های یک کابل مارپیچ ساخته می شود.

کابلها از نقطه نظر کاربرد به دو صورت مختلف ساخته می شوند.

1 - کابل های مسلح

2 - کابل های غیر مسلح

بررسی مشکل فرسودگی عایق کابل XLPE در حین کار، تجزیه و تحلیل روند تغییر کمیت مشخصه و ویژگی های داده ای انواع عیوب عایق کابل ها از مکانیزم و تعیین موقعیت به موقع محل عیب طبق نتایج آزمایش کمک شایانی به حفظ و نگهداری کابل می کند.

Table. 1 Significance of ZR-YJV223×95mm8.7/15kV model cable code

Symbol	Representation
ZR	Flame retardant cable
YJ	XLPE insulation
V	Polyethylene sheath
22	Steel tape armor
3×95mm	Three conductors, each conductor has a cross-sectional area of 95 square millimeters
8.7/15 kV	Rated working voltage 8.7/15kV (available voltage range 0.6/1kV~26/35kV)

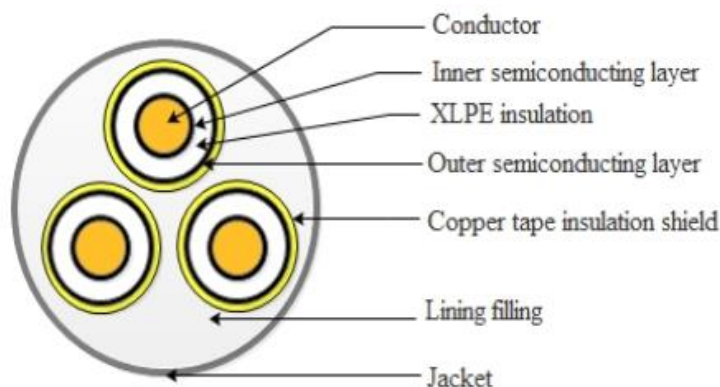


Figure 1 Photo of cable structure.

۲. آماده سازی نمونه و آزمایش

هدف این تحقیق کابل ZR-YJV223 95 mm8.7/15kV می باشد. ضخامت عایق اصلی XLPE 3.4 میلی متر، ضخامت غلاف ۲٫۸ میلی متر و قطر خارجی تقریبی کابل است.

۲-۱- آماده سازی نمونه

چهار روش پردازش نمونه آزمایشی در شکل ۲ تا شکل ۵ نشان داده شده است. دلیل خرابی اتصالات کابل بیشتر به دلیل فرآیند نصب نامناسب در فرآیند کابل گذاری، آسیب نیروی خارجی و سپس نقص اتصال است. در حال حاضر انواع مختلفی از ایرادات کابل وجود دارد و دلایل آن نیز متفاوت است، اما محققان داخلی این مشکل را بررسی خواهند کرد. سه نوع اصلی از نقص اتصال کابل وجود دارد که همچنین عیوب با بالاترین میزان خرابی هستند که عبارتند از عیوب شکاف هوا، عیوب سنبله و نقص خراش [۷-۵]. این مقاله همچنین بر روی این سه نقص معمولی به منظور دستیابی به هدف محبوبیت بیشتر نتایج تحقیق تمرکز می کند.

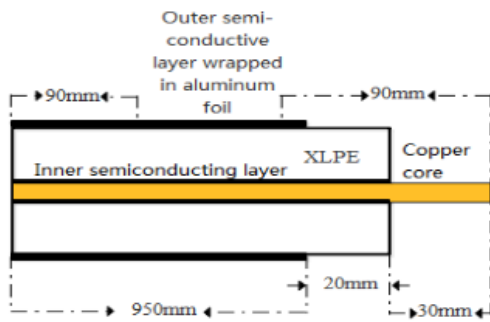


Figure 2 Cable sample(A)

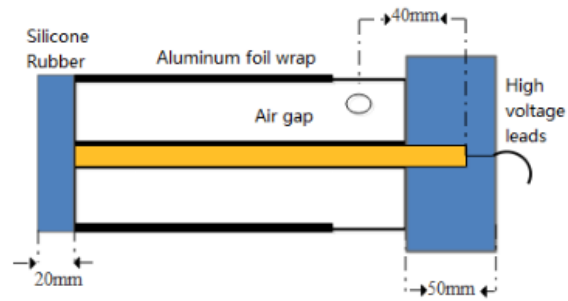


Figure 3 Type B cable sample model

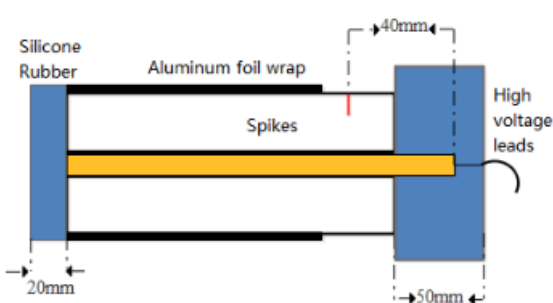


Figure 4 Type C cable sample model

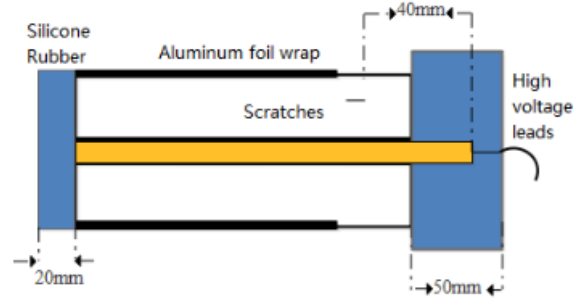


Figure 5 Type D cable sample model

۲.۲. رویه آزمایش

مدل تجهیزات تست فرسودگی حرارتی M/TC300 (شانگهای Muuni Test Equipment Co., Ltd) می باشد. برای دستیابی به اثر فرسودگی هم افزایی تنش الکتریکی و تنش حرارتی، جعبه فرسودگی حرارتی باید اصلاح شود. نمودار فرسودگی نمونه اصلاح شده در شکل ۶ نشان داده شده است. این بار تجهیزات تست ضریب تلفات دی الکتریک از ابزار اندازه گیری تلفات دی الکتریک ضد تداخل HTJSY استفاده می کند.

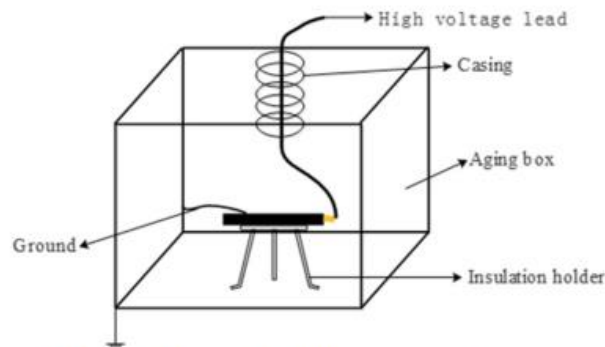


Figure 6 Photo of cable ageing and wiring

آزمایش شاخص پلاریزاسیون سیستم تست سیگنال ضعیف را به طور مستقل توسط تیم منبع تغذیه ویژه دانشگاه صنعتی دالیان توسعه داده است که می تواند جریان نشتی نمونه را به نانوآمپر اندازه گیری کند.

به استاندارد GB-T12972 مراجعه کنید. این بار ولتاژ فرسودگی ۲۱ کیلو ولت و دمای فرسودگی ۱۳۵ درجه سانتیگراد است. ۳ نمونه از کابل های A, B, C و D را بردارید و آنها را در سیستم گرمایش الکتریکی ترکیبی برای کهنگی قرار دهید، و نمونه های

کابل های هم رده را در یک سیستم قدیمی قرار دهید تا از تاثیر ۳ نمونه بر روی یکدیگر در طول فرسودگی جلوگیری شود. روند. یک اتصال کوتاه ایجاد شد و ۳ نمونه ۱۵ سانتی متر از هم جدا شدند و با مقوای عایق از هم جدا شدند. چرخه فرسودگی ۵ روز بود و در مجموع ۱۰ چرخه پردازش شد و زمان فرسودگی ۱۲۰۰ ساعت بود.

در پایان هر چرخه فرسودگی، نمونه های کابل A1، B، C و D را از سیستم فرسودگی بردارید، تا دمای اتاق خنک کنید، کثیفی های سطحی را پاک کنید و هر دو سر کابل را به مدت ۲۴ ساعت اتصال کوتاه کنید تا شارژ باقیمانده داخلی آزاد شود. ۱ کیلو ولت را برای تست فشار دهید. ولتاژ آزمایشی ۱ کیلو ولت کمتر از ولتاژ نامی کابل است که تأثیری روی کابل نخواهد داشت. میانگین چند اندازه گیری را بگیرید.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

۳.۱. تجزیه و تحلیل نتایج آزمون شاخص قطبش

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، شاخص پلاریزاسیون نمونه های کابل C پس از ۱۲۰۰ ساعت فرسودگی به ۱۲,۹۹۲ رسید که بیشترین تأثیر را بر عملکرد عایق کابل دارد، عمدتاً به این دلیل که فلز پیشرفته در XLPE به شدت توزیع میدان الکتریکی را در و مولکول های کوچک قطبی تولید شده پس از واکنش شیمیایی و بار اصلی درون XLPE تحت عمل میدان الکتریکی متمرکز، حرکت برخورد نامنظم تشدید می شود که باعث می شود چگالی تله افزایش یابد، سطح انرژی تله عمیق تر شود و شاخص قطبی شدن آشکار می شود.

شاخص پلاریزاسیون نمونه های کابل کلاس D پس از ۱۲۰۰ ساعت فرسودگی به ۱۰,۷۷۳ رسید که ۳۵,۹۷ درصد نسبت به نمونه های کابل غیر معیوب افزایش یافت که عمدتاً به دلیل خراش در XLPE بود. خراش ها به هوا نفوذ می کنند و در همان زمان خراش ها را تغییر می دهند. توزیع شدت میدان در اطراف علامت باعث می شود که قطبش مولکول ها در هوا شرکت کنند و جهت حرکت بار، الکترون ها و مولکول های قطبی قطبش جهت تغییر می کند که باعث تسریع اثر فرسودگی و افزایش شاخص پلاریزاسیون می شود. شاخص پلاریزاسیون نمونه های کابل نوع B پس از فرسودگی به مدت ۱۲۰۰ ساعت به ۹,۲۴۵ رسید.

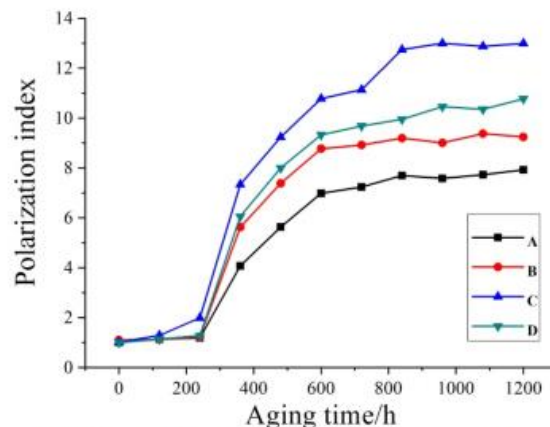


Figure 7 Polarization index test results

در مقایسه با دو نوع کابل معیوب فوق، وجود عیب شکاف هوا تأثیر نسبتاً کمی بر شاخص پلاریزاسیون دارد و رطوبت و ناخالصی های موجود در شکاف هوا در فرسودگی شرکت می کنند. واکنش شیمیایی منجر به تولید یون های ناخالصی می شود که فرسودگی کابل را تسریع می کند، عملکرد عایق آن را کاهش می دهد و باعث افزایش شاخص پلاریزاسیون می شود. نتیجه آزمون شاخص پلاریزاسیون آخرین چرخه فرسودگی را به عنوان نمونه داده در نظر بگیرید و آزمون فرضیه را تنظیم کنید: فرضیه اصلی این است که "داده های نمونه گیری به طور معمول توزیع شده اند" و فرضیه جایگزین "داده های نمونه گیری به

طور معمول توزیع نشده اند". در نظر گرفتن هر گروه از داده ها به عنوان یک زیر مجموعه داده، از نرم افزار OriginPro8 برای انجام تست توزیع نرمال استفاده کنید تا مقدار P هر گروه از داده ها را بدست آورید. نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۲. نتیجه آزمون توزیع نرمال شاخص پلاریزاسیون

Group	1	2	3	4	5	6	Average value	P value	Standard deviation
A	8.140	7.471	7.916	8.257	7.806	7.948	7.923	0.8225	0.2747
B	9.694	9.379	8.474	9.479	8.728	9.716	9.245	0.1781	0.5211
C	12.268	14.461	13.916	11.755	13.870	11.682	12.992	0.1594	1.2291
D	11.419	10.229	11.544	11.065	10.037	10.338	10.772	0.2693	0.6518

نتایج نشان می دهد که مقادیر P چهار مجموعه داده نمونه همگی بزرگتر از ۰/۰۵ است، بنابراین می توان در نظر گرفت که چهار مجموعه زیر مجموعه داده نمونه همگی از توزیع نرمال تبعیت می کنند. تجزیه و تحلیل واریانس می تواند تعیین کند که آیا تفاوت معنی داری بین زیر مجموعه داده ها وجود دارد یا خیر. نرم افزار OriginPro8 نیز برای انجام ANOVA یک طرفه بر روی نتایج تجربی انواع مختلف نمونه های کابل استفاده می شود. نتایج تجزیه و تحلیل در جدول ۳ نشان داده شده است.

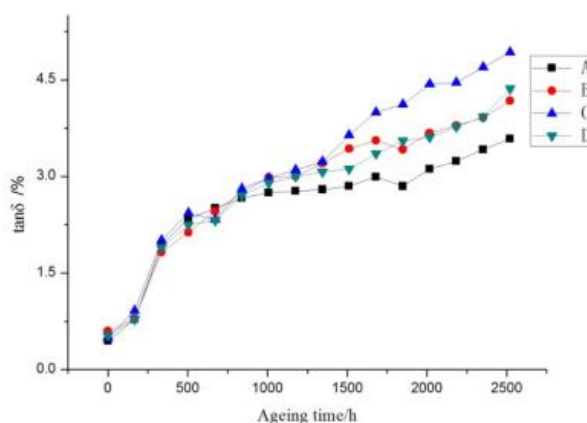
جدول ۳. نتایج تجزیه و تحلیل ANOVA از شاخص قطبش

Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square error	F value	P value
Factor level	3	85.2891	28.4297	49.82362	1.83197×10^{-9}
Random error	20	11.4121	0.5706		
Total deviation	23	96.7012			

از جدول می توان دریافت که میانگین مربعات خطای بین گروه ها ۸۵،۲۸۹۱، میانگین مربعات خطا در گروه ۱۱،۴۱۲۱ و میانگین مربعات خطای بین گروه ها بسیار بزرگتر از میانگین مربعات خطا در گروه است که نشان می دهد میانگین مربعات خطا در گروه مقادیر هر گروه از زیر مجموعه های داده اساساً بعید است که برابر باشند. مقدار F محاسبه شده ۴۹،۸۲۳۶۲ است، با فرض اینکه سطح معنی داری $\alpha=0.05$ در نظر گرفته شود، یعنی سطح اطمینان ۰/۹۵، سپس $F_{0.05}(3,20)=3.10$ ، $F > F_{0.05}$ (۳،۲۰) . بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مقدار متوسط هر گروه از زیر مجموعه های داده کابل پس از ۱۲۰۰ ساعت فرسودگی متفاوت است و بین داده های شاخص پلاریزاسیون هر کابل معیوب معمولی تفاوت معنی داری وجود دارد [۸].

۳،۲. تجزیه و تحلیل نتایج آزمون ضریب تلفات دی الکتریک

شکل ۸ رابطه بین ضریب تلفات دی الکتریک و زمان فرسودگی چهار نوع نمونه کابل را نشان می دهد.



شکل ۸ نتایج آزمایش فاکتور تلفات دی الکتریک

نتیجه آزمون عامل تلفات دی الکتریک آخرین چرخه فرسودگی را به عنوان نمونه داده در نظر بگیرید و آزمایش فرضیه را تنظیم کنید: فرضیه اصلی "داده های نمونه توزیع نرمال است" و فرضیه جایگزین "داده های نمونه توزیع نرمال نیست" است. در نظر گرفتن هر گروه از داده ها به عنوان یک زیر مجموعه داده، از نرم افزار OriginPro برای انجام تست توزیع نرمال استفاده کنید تا مقدار P هر گروه از داده ها را بدست آورید.

جدول ۴. نتیجه آزمایش توزیع نرمال ضریب تلفات دی الکتریک

Group	1/%	2/%	3/%	4/%	5/%	6/%	Average value/%	P value/%	standard deviation/%
A	3.153	3.755	3.247	3.661	3.001	3.541	3.393	0.6061	0.3024
B	4.325	4.000	4.431	4.264	3.818	4.074	4.152	0.8636	0.2285
C	4.661	5.209	4.861	5.175	4.695	5.375	4.996	0.3789	0.2974
D	4.426	4.635	4.602	4.347	4.660	4.672	4.557	0.1006	0.1365

بر اساس تئوری آماری، اگر مقدار P بیشتر از ۰,۰۰۵ باشد، فرضیه صفر را نمی توان رد کرد، یعنی چهار مجموعه زیر مجموعه داده های نمونه به طور معمول توزیع شده اند. تجزیه و تحلیل واریانس می تواند تعیین کند که آیا تفاوت معنی داری بین زیر مجموعه داده ها وجود دارد یا خیر. نرم افزار OriginPro8 نیز برای انجام ANOVA یک طرفه بر روی نتایج تجربی انواع مختلف نمونه های کابل استفاده می شود. نتایج تجزیه و تحلیل در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. نتایج آنالیز ANOVA ضریب تلفات دی الکتریک

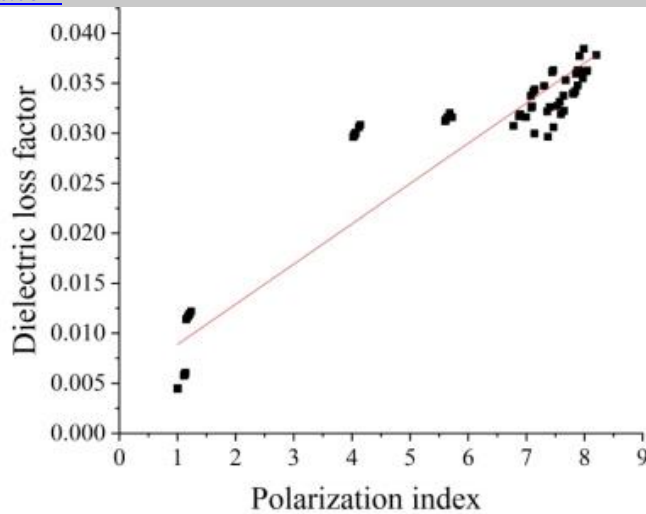
Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square error	F value	P value
Factor level	3	8.3545×10^{-4}	2.78483×10^{-4}	44.42528	4.9700×10^{-9}
Random error	20	1.25372×10^{-4}	6.26858×10^{-6}		
Total deviation	23	9.60822×10^{-4}			

از جدول می توان دریافت که میانگین مربعات خطای بین گروه ها $10^{-4} 42,78483$ و میانگین مربعات خطا در گروه $10^{-6} 6,26858$ است. میانگین مربعات خطا بین گروه ها می باشد.

بسیار بزرگتر از میانگین مربعات خطا در گروه، نشان می دهد که مقدار متوسط هر زیرمجموعه داده اساساً نیست و به احتمال زیاد برابر است. مقدار F محاسبه شده $44,42528$ است، با فرض اینکه سطح معنی داری $\alpha=0,05$ در نظر گرفته شود، یعنی سطح اطمینان ۹۵٪، سپس $F_{0.05}(3,20)=3.10$ ، بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مقدار متوسط هر گروه از زیر مجموعه های داده کابل پس از ۱۲۰۰ ساعت فرسودگی متفاوت است و بین داده های ضریب تلفات دی الکتریک هر کابل معیوب معمولی تفاوت معنی داری وجود دارد.

۳,۳. همبستگی بین ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون

از نتایج تجربی مشاهده می شود که وجود عیوب معمولی بر پیشرفت فرسودگی کابل به درجات مختلف تأثیر می گذارد و ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون را بزرگتر می کند. در مقایسه با کابل غیر معیوب، با تغییر زمان فرسودگی، روند تغییر منحنی یکسان نیست. هیچ تغییر آشکاری وجود ندارد، بنابراین نتایج تجربی کابل های غیر معیوب (گروه A) به عنوان داده های مرجع برای بررسی همبستگی بین ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون کابل استفاده می شود. شکل ۹ نمودار برازش رگرسیون ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون، جدول ۷ نتایج پارامتر برازش و جدول ۸ تجزیه و تحلیل تک عاملی نتایج واریانس آزمون معنی داری رگرسیون خطی را نشان می دهد.



شکل ۹ خط رگرسیون خطی ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون

مشاهده می شود که میانگین مربعات خطا بین گروه ها 0.00823 ، میانگین مربعات خطا در گروه $51.44401-10$ است و میانگین مربعات خطا بین گروه ها بسیار بزرگتر از

میانگین مربعات خطا در گروه، نشان می دهد که مقادیر میانگین داده ها در هر گروه اساساً مساوی نیستند. مقدار F محاسبه شده 570.13318 است، با فرض اینکه سطح معنی داری $\alpha=0.05$ در نظر گرفته شود، یعنی سطح اطمینان 95% ، سپس $F > F_{0.05}(1,64) = 3.99$ ، بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مقدار متوسط بین هر مجموعه داده متفاوت است، شیب خط رگرسیون 10 نیست و ضریب تلفات دی الکتریک فرکانس توان کابل XLPE با شاخص پلاریزاسیون همبستگی مثبت دارد. منطقی است همانطور که درجه فرسودگی XLPE عمیق تر می شود، توانایی عایق آن کاهش می یابد و کمیت مشخصه ای که توانایی عایق را مشخص می کند، یعنی ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون به طور همزمان کاهش می یابد.

جدول ۶. برازش نتایج پارامتر

Slope		Intercept		Statistics
Value	Error	Value	Error	R-Sq(adj)
0.00487	0.00101	0.00402	1.68314×10^{-4}	87.95%

جدول ۷. تحلیل واریانس یک طرفه برای آزمون معناداری رگرسیون خطی

Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square error	F value	P value
Regression	1	0.00823	0.00823	570.13318	0.00
Residual	64	9.24165×10^{-4}	1.44401×10^{-5}		
Sum	65	0.00916			

۴. نتیجه گیری

پارامترهای الکتریکی نمونه های به دست آمده از آزمایش ترکیبی فرسودگی الکتریکی و حرارتی مورد تجزیه و تحلیل و پردازش قرار گرفته و قانون تغییر ضریب تلفات دی الکتریک و شاخص پلاریزاسیون انواع کابل ها با زمان فرسودگی به دست می آید. در این میان کابل با عیوب میخ دار سریع ترین کاهش عملکرد عایق را با افزایش زمان کهنگی دارد. با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و نرم

افزار OriginPro8 می توان تفاوت های قابل توجه در تغییر کمیت های مشخصه ناشی از عیوب مختلف را شناسایی کرد و با استفاده از درجه تغییر ضریب تلفات دی الکتریک یا شاخص پلاریزاسیون، نوع عیوب کابل تخریب شده را شناسایی کرد.

منابع

- [۱] Xiaohui Zhu. تأثیر فرآیند اتصال عرضی بر خواص عایق پلی اتیلن [D] پیوند متقابل. دانشگاه تیانجین، ۲۰۱۰.
- [۲] Zeli Ju, Lu Pu, Xuefeng Zhao, و همکاران. اندازه گیری و تجزیه و تحلیل تخلیه جزئی XLPE لوازم جانبی کابل برق 94-101: Journal of Electrical Machinery and Control, 2016, 20(6):94-101. [J]. [۳] لیو رونگ. تحقیق در مورد فناوری تشخیص و تشخیص عیب عایق کابل برق XLPE بر اساس روش اولتراسونیک [D]. دانشگاه پلی تکنیک نورث وسترن، ۲۰۱۵.
- [۴] A.R.Mor, L.C.C.Heredia, J.Wu, و همکاران. تخلیه جزئی در عیوب مصنوعی در لوازم جانبی کابل XLPE تحت گذراهای روی هم قرار گرفته [C]. کنفرانس بین المللی IEEE 2018 در زمینه مهندسی و کاربرد ولتاژ بالا (ICHVE). آتن، یونان، ۲۰۱۸: ۱-۴.
- [۵] J.S.Arya, Vikas. بررسی تجربی ویژگی های مختلف کابل های PVC و XLPE [J]. انجمن مدیریت آسیای جنوبی، ۲۰۱۸، ۲(۶).
- [۶] ونژی چانگ. تحقیق در مورد فرآیند توسعه تخلیه جزئی با عیوب معمولی در اتصالات میانی کابل های برق [D]. دانشگاه برق شمال چین، ۲۰۱۳.
- [۷] Shaohua Wang, Junping Cao, Xiangxian Zhou, و همکاران. تحلیل شبیه سازی سه بعدی میدان الکتریکی عیوب معمولی در اتصال میانی کابل ۱۱۰ کیلوولت [J]. عایق مواد، ۲۰۱۸، ۵۱(۰۷): ۴۹-۵۳.
- [۸] چینگ جوون هو. راهنمای یادگیری نظریه احتمال و آمار ریاضی [M]. پکن: انتشارات دانشگاه Tsinghua، ۲۰۱۳.