

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی شیمی و مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد مرکب

عنوان:

ساخت مقره کامپوزیتی باروکش سیلیکون HTV

تقویت شده با نانوذرات تری هیدرات آلومینیوم و نانو اکسید تیتانیوم

نگارنده: عبدالله گفتی

استاد راهنما: دکتر رضا طاهریان

شهریور ۹۶

شماره: ۹۴، ۱۴۵
تاریخ: ۹۴، ۸، ۲

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای عبدالله گفتمی با شماره دانشجویی: ۹۴۱۵۲۴۴ رشته: مهندسی مواد گرایش: مواد مرکب تحت عنوان: ساخت مفره کامپوزیتی باروکش سلیکون HTV تقویتشده با نانوذرات نری هیدرات آلومینیوم و نانو اکسید نیتروژن که در تاریخ ۹۶/۶/۲۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خوب) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	اعضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر رضا طاهریان	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مجتبی قطعی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محسن کریمی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر سید میثم سید برزگر	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد جعفری

تاریخ و اعطاء مهر دانشکده:

۹۴/۸/۳



تقدیم

تقدیم به

پدر، مادر و همسر عزیزم

و به تمام آزاد مردانی که نیک می‌اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز رضای الهی و

پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

تشکر و قدردانی... .

استاد ارجمند جناب آقای دکتر رضا طاهریان به پاس نعمت توفیق و ادای وظیفه بر خود لازم می‌دانم که صمیمانه‌ترین قدردانی‌های خویش را نثار شما بنمایم که دلسوزانه مجموعه علم و دانش خویش را در اختیار من گذاشتید و در تهیه این پایان‌نامه اگر موفقیتی حاصل گشت قسمت اعظم آن مدیون راهنمایی‌های بی‌شائبه شما بزرگوار گران‌قدر بوده است.

همچنین از اساتید داور، آقای دکتر محسن کریمی و آقای دکتر سید میثم سید برزگر که داوری جلسه دفاع را تقبل نموده و نماینده تحصیلات تکمیلی آقای دکتر مجتبی قطعی که با دیده اغماض به نقایص کار نگریسته‌اند سپاس‌گزاری می‌نمایم. از تمامی اساتید محترم گروه مهندسی مواد که طی تحصیل دوساله، افتخار شاگردی‌شان را داشته‌ام، نهایت تشکر را دارم. از آقایان دکتر باقر نظری مسئول محترم آزمایشگاه تعیین خواص مکانیکی و مهندس محمد ایرجی مسئول محترم آزمایشگاه فشارقوی برق، دانشگاه صنعتی شاهرود که نهایت همکاری و لطف را با این‌جانب داشتند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

عبدالله گفتی

شهریور ۹۶

تعهد نامه

اینجانب عبدالله گفتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد-مرکب دانشکده مهندسی شیمی و مواد دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ساخت مقره کامپوزیتی باروکش سیلیکون HTV تقویت شده با نانوذرات تری

هیدرات آلومینیوم و نانو اکسید تیتانیوم تحت راهنمایی دکتر رضا طاهریان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

خطاهای ایجادشده بر روی خطوط انتقال فشارقوی می‌توانند به خاموشی‌های گسترده منجر شوند و در نتیجه باعث زیان‌های اقتصادی وسیعی می‌گردد. یک شاخص کلیدی قابلیت ملاحظه در خطوط انتقال، انتخاب مقره های فشارقوی مناسب است. چون مقره‌ها، عایق بسیار مناسبی هستند. لذا آن‌ها به عنوان جداکننده سیم حامل جریان از پایه و کنسول استفاده می‌شود و در نتیجه پایه و کنسول عایق باقی می‌مانند. این قطعات از دو قسمت چترک و هسته تشکیل شده است. در این تحقیق تلاش می‌کنیم چترک و هسته را با استفاده از مواد جدید و نانو مواد به صورت کامپوزیتی بسازیم.

به علت عملکرد ممتاز، پوشش‌های سیلیکون رابر HTV در شرایط مرطوب و آلودگی شدید، برای مقره‌های ولتاژ بالای خطوط انتقال از این پوشش‌ها استفاده می‌کنند. برای ایجاد مقاومت سایش و فرسایش و بهبود زاویه ترکنندگی و مقاومت ولتاژ فرکانس قدرت در شرایط مختلف، در این پوشش‌ها از پرکننده‌ها استفاده می‌شود. تری‌هیدرات آلومینیوم (ATH) و نانوذرات اکسید تیتانیوم (TiO_2) در این میان به‌عنوان بهترین پرکننده شناخته شده است. در کار حاضر جهت انجام یک مطالعه مقایسه‌ای روی عملکرد چترک‌ها که در آن‌ها پرکننده به صورت تنها و باهم دیگر به سیلیکون رابر با درصد‌های مختلف اضافه شده که ۹ سری نمونه با درصد‌های متنوع از جهت حجم و نوع پرکننده تهیه شده است. نمونه‌های بیان شده تحت آزمایش الکتریکی شرایط خشک، باران مصنوعی، نمونه خراش دار و آزمون فرسایش مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌ها نشان دادند که استفاده از نانوذرات ATH در آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک در ۶۰ ثانیه بالاتر از حد استاندارد جواب داده و باعث افزایش تقریباً دو برابری استقامت ولتاژ در حالت خیس نسبت به نمونه سیلیکون رابر خالص شده است. TiO_2 در همه آزمون‌ها باعث تأثیر فوق‌العاده شده است، در آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک در ۶۰ ثانیه بالاتر از حد استاندارد جواب داده به‌ویژه باعث افزایش تقریباً ۳ برابر در مقایسه به سیلیکون رابر خالص در آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس شده است. نتایج حاصل از آزمون فرسایش تأثیر بسزای ATH را نشان می‌دهد، همچنین جهت بررسی و مقایسه خاصیت آب‌گریزی پوشش‌ها از آزمون اندازه‌گیری زاویه تماسی

استفاده شد، نتیجه آزمون نشان می‌دهد که ذرات تقویت‌کننده زاویه ترکندگی را ۱۴٪ نسبت به سیلیکون‌رابر خالص افزایش داده است. تحقیقات بروی ساخت هسته به این صورت انجام‌گرفته که ۳ سری هسته از رزین اپوکسی تقویت‌شده با فیبر شیشه با درصدهای ۱۰ و ۱۳ و ۱۵ درصد ساخته‌شده است و تحت آزمون کشش قرارگرفته است.

کلمات کلیدی:

مقره کامپوزیتی، سیلیکون‌رابر HTV، اکسید تیتانیوم، تری هیدرات آلومینیوم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۶	۱-۲- کلیات و تعاریف
۶	۱-۲-۱- زنجیره مقره
۶	۱-۲-۲- قدرت دی‌الکتريک
۶	۱-۲-۳- فاصله خزشی
۶	۱-۲-۴- چترک
۷	فصل دوم: مروری بر منابع مطالعاتی
۸	۱-۲- مقدمه
۸	۲-۲- وظایف مقره
۸	۳-۲- خصوصیات مقره‌ها
۹	۴-۲- تاریخچه
۱۰	۵-۲- جنس مقره‌ها
۱۰	۵-۲-۱- مقره‌های پرسلانی
۱۱	۵-۲-۱-۱- مزایا و معایب مقره‌های پرسلانی

- ۱۱ ۲-۵-۲- مقره های شیشه
- ۱۲ ۲-۵-۲-۱- مزایا و معایب مقره شیشه‌ای
- ۱۲ ۲-۵-۳- مقره‌های رزینی
- ۱۳ ۲-۵-۴- مقره‌های کامپوزیتی
- ۱۴ ۲-۵-۴-۱- اجزای اصلی تشکیل‌دهنده مقره کامپوزیتی
- ۱۵ ۲-۵-۴-۲- هسته
- ۱۶ ۲-۵-۴-۳- فرایندهای ساخت هسته کامپوزیتی
- ۱۷ ۲-۵-۴-۴- چترک (روکش)
- ۱۸ ۲-۵-۴-۵- فرایند مخلوط سازی و ساخت چترک
- ۱۸ ۲-۵-۴-۶- یراق‌آلات
- ۱۹ ۲-۵-۴-۷- مزایا و معایب مقره‌های کامپوزیتی
- ۲۰ ۲-۶-۶- انواع مقره ها بر اساس کاربرد
- ۲۰ ۲-۶-۱- مقره های خطوط هوایی
- ۲۰ ۲-۶-۲- مقره های اتکایی
- ۲۱ ۲-۶-۳- مقره های عبوری یا پوشینگ
- ۲۱ ۲-۷-۷- بررسی حاشیه امنیت مقره های رزینی، پرسیلانی، سیلیکونی
- ۲۳ ۲-۸-۸- پارامترهای تاثیرگذار محیطی بر کارکرد مقره‌ها
- ۲۴ ۲-۸-۱- تأثیر آلودگی
- ۲۴ ۲-۸-۲- پارامترهای مختلف دمایی

۲۵	..... ۳-۸-۲ بارش باران
۲۵	..... ۴-۸-۲ صاعقه و سطوح ایزوکرونیک منطقه
۲۶	..... ۵-۸-۲ باد و اثرات آن بر آلودگی سطوح مفره ها
۲۶	..... ۶-۸-۲ تشعشعات حرارتی و ماوراءبنفش خورشید
۲۷	..... ۹-۲ تعریف آلودگی
۲۹	..... ۱۰-۲ روش تعیین تعداد چترک مفره با توجه به مسئله آلودگی
۲۹	..... ۱۱-۲ پدیده کرونا
۳۱	فصل سوم: مواد و روش آزمایش
۳۲	..... مقدمه
۳۲	..... ۱-۳ مواد مصرفی
۳۲	..... ۲-۳ معرفی سیلیکون رابر HTV
۳۳	..... ۱-۲-۳ خصوصیات سیلیکون رابر HTV
۳۵	..... ۳-۳ معرفی تری هیدرات آلومینیوم ATH
۳۶	..... ۱-۳-۳ خصوصیات تری هیدرات آلومینیوم
۳۶	..... ۴-۳ معرفی اکسید تیتانیوم TiO ₂
۳۷	..... ۱-۴-۳ خصوصیات اکسید تیتانیوم TiO ₂
۳۷	..... ۵-۳ معرفی رزین اپوکسی و هاردنر LY 5052
۳۸	..... ۱-۵-۳ خصوصیات رزین اپوکسی LY 5052

- ۳-۶- معرفی فیبر شیشه..... ۳۹
- ۳-۶-۱ خصوصیات فیبر شیشه..... ۴۰
- ۳-۷- روش آماده‌سازی نمونه ۴۱
- ۳-۸- جدول طراحی ۴۲
- ۳-۹- شرح روش آماده‌سازی چترک‌ها..... ۴۲
- ۳-۹-۱- تعیین درصد ترکیب و تعداد نمونه‌ها..... ۴۲
- ۳-۹-۲- مخلوط سازی..... ۴۴
- ۳-۹-۳- کشیدن رهاساز روی سطح قالب..... ۴۵
- ۳-۹-۴- قرار گرفتن مواد درون قالب..... ۴۵
- ۳-۹-۵- قرار دادن قالب تحت پرس گرم..... ۴۵
- ۳-۹-۶- نصب یراق‌آلات..... ۴۷
- ۳-۱۰-۱- شرح روش آماده‌سازی هسته..... ۴۷
- ۳-۱۰-۱- ساخت هسته..... ۴۷
- ۳-۱۱- روش کار انجام آزمون‌ها ۵۰
- ۳-۱۱-۱- آزمون تعیین حداکثر ولتاژ پایداری ۵۰
- ۳-۱۱-۲- آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک ۵۲
- ۳-۱۱-۳- آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس ۵۲
- ۳-۱۱-۴- آزمون حداکثر ولتاژ پایداری در حالت خشک زمانی که چترک دچار خراش ۵۳

- ۵۴ ۳-۱۱-۵- آزمون مقاومت در برابر فرسایش
- ۵۶ ۳-۱۲- آزمون انرژی سطحی
- ۵۷ ۳-۱۳- آزمون کشش
- ۵۸ ۳-۱۴- آزمایش مفره کامپوزیتی 24 kV باروکش RTV مورد استفاده در خطوط انتقال
- ۵۹ فصل چهارم: نتایج و بحث
- ۶۰ ۴-۱- نتایج آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت
- ۶۱ ۴-۲- نتایج آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک
- ۶۱ ۴-۳- نتایج آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس
- ۶۲ ۴-۴- نتایج آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک (نمونه دچار خراش باشد)
- ۶۳ ۴-۵- نتایج آزمون فرسایش
- ۶۵ ۴-۶- نتایج آزمون انرژی سطحی
- ۶۷ ۴-۷- نتایج آزمون کشش
- ۶۹ ۴-۸- نتایج آنالیز SEM
- ۷۰ ۴-۹- نتایج آزمون های مفره کامپوزیتی ۲۴kV باروکش RTV مورد استفاده در خطوط انتقال
- ۷۰ ۴-۱۰- بحث
- ۷۰ ۴-۱۰-۱- مقدمه
- ۷۱ ۴-۱۰-۲- بررسی ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک

- ۷۱ ۳-۱۰-۴ بررسی ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس
- ۷۱ ۴-۱۰-۴ بررسی آزمون فرسایش
- ۷۲ ۵-۱۰-۴ بررسی آزمون انرژی سطحی
- ۷۳ ۶-۱۰-۴ بررسی نتایج چترکها براساس استراتژی تاگوچی
- ۷۷ ۷-۱۰-۴ بررسی خواص کششی هسته براساس آنالیز SEM
- ۷۸ ۸-۱۰-۴ بررسی تأثیر سایز فیبر بر خواص کششی هسته مفره
- ۷۸ ۹-۱۰-۴ بررسی اثر اندازه ذره تقویت کننده بر خواص
- ۸۰ ۱۰-۱۰-۴ بررسی اثر نانو ذرات بر خواص دی الکتریکها
- ۸۴ ۱۱-۴ نتیجه گیری
- ۸۵ ۱۲-۴ پیشنهادها
- ۸۶ ۱۳-۴ منابع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱- آتش‌سوزی ترانس‌های برق خوزستان بر اثر جریان نشتی مفره‌ها.....
۵	شکل ۲-۱- بازوئی عایقی 20kv ساخت شرکت ایران پارسا.....
۱۰	شکل ۱-۲- طبقه‌بندی مفره‌های خطوط نیرو.....
۱۱	شکل ۲-۲- تصویری از مفره‌های چینی (پرسلانی).....
۱۲	شکل ۲-۳- تصویری از مفره شیشه‌ای.....
۱۳	شکل ۲-۴- نمونه‌هایی از مفره‌های رزینی.....
۱۳	شکل ۲-۵- ترکیب عایق کامپوزیتی.....
۱۴	شکل ۲-۶- نمونه‌ای از مفره‌های کامپوزیتی.....
۱۵	شکل ۲-۷- اجزاء تشکیل‌دهنده مفره کامپوزیتی.....
۱۵	شکل ۲-۸- نمایی از هسته مورد استفاده در مفره‌های کامپوزیتی.....
۱۶	شکل ۲-۹- بخش‌های اصلی فرآیند پالتروزن.....
۱۸	شکل ۲-۱۰- تصویر دستگاه مخلوط کن دو میل.....
۱۸	شکل ۲-۱۱- تصویر دستگاه پرس هیدرولیکی گرم.....
۱۹	شکل ۲-۱۲- نمایی از انواع یراق‌آلات مورد استفاده در مفره‌های کامپوزیتی.....
۲۰	شکل ۲-۱۳- مفره‌های خطوط هوای.....
۲۰	شکل ۲-۱۴- مفره‌های اتکایی.....

- شکل ۲-۱۵- مفره های عبوری یا پوشینگ..... ۲۱
- شکل ۲-۱۶- مفره های ۱۵ کیلوولت خطوط راه آهن (الف - رزین ریخته گری، ب- پرسلان، ج - سیلیکون) ۲۲
- شکل ۲-۱۷- تصویر مفره های بعد از آزمون (الف - مفره رزینی، ب- مفره پرسلان، ج - مفره سیلیکون) ۲۲
- شکل ۲-۱۸- نتایج حاصل از آزمون خمش..... ۲۳
- شکل ۲-۱۹- تصویر از یک مفره سیلیکونی که تحت تاثیر آلودگی قرار گرفته ۲۴
- شکل ۲-۲۰- تصویری از یک مفره کامپوزیتی که دچار فرسایش شده ۲۷
- شکل ۲-۲۱- نمونه از کرونا آشکار شده توسط دوربین کرونا بر روی مفره و اتصالات..... ۳۰
- شکل ۲-۲۲- نمونه از حلقه کرونا نصب شده بروی مفره..... ۳۰
- شکل ۳-۱- تصویری از سیلیکون رابر HTV..... ۳۳
- شکل ۳-۲- تصویری از ذرات تقویت کننده تری هیدرات آلومینیوم..... ۳۵
- شکل ۳-۳- تصویری از ذرات تقویت کننده اکسید تیتانیم..... ۳۶
- شکل ۳-۴- (الف) تصویر رزین اپوکسی LY 5052 (ب) تصویر هاردنر LY 5052..... ۳۸
- شکل ۳-۵- تصویر دوک فیبر شیشه..... ۳۹
- شکل ۳-۶- طبقه بندی روش آماده سازی نمونه ها..... ۴۱
- شکل ۳-۷- مراحل مخلوط سازی سیلیکون با ذرات تقویت کننده..... ۴۴
- شکل ۳-۸- کشیدن رها ساز روی سطح قالب..... ۴۵

- شکل ۳-۹- نحوه قرار گرفتن مواد درون قالب..... ۴۵
- شکل ۳-۱۰- قرار دادن قالب تحت پرس گرم..... ۴۶
- شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای چترک ساخته شده..... ۴۷
- شکل ۳-۱۲- نصب یراق آلات روی چترک..... ۴۷
- شکل ۳-۱۳- نمونه الیاف شیشه برش خرده..... ۴۸
- شکل ۳-۱۴- آغشته سازی فیبر بارزین..... ۴۹
- شکل ۳-۱۵- مرحله تزریق رزین ۴۹
- شکل ۳-۱۶- نمونه هسته ساخته شده..... ۴۹
- شکل ۳-۱۷- تابلو کنترل جهت کنترل و اعمال ولتاژ..... ۵۱
- شکل ۳-۱۸- نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت..... ۵۱
- شکل ۳-۱۹- نمونه تحت آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک..... ۵۲
- شکل ۳-۲۰- نمونه تحت آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس..... ۵۳
- شکل ۳-۲۱- آزمون حداکثر ولتاژ پایداری در حالت خشک زمانی که چترک دچار خراش..... ۵۴
- شکل ۳-۲۲- اندازه نمونه‌ها آزمون فرسایش بر اساس استاندارد..... ۵۵
- شکل ۳-۲۳- مراحل آماده سازی نمونه آزمون فرسایش..... ۵۵
- شکل ۳-۲۴- ترازوی دیجیتال..... ۵۵
- شکل ۳-۲۵- نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون فرسایش..... ۵۶

- شکل ۳-۲۶- دستگاه IFT مورد استفاده قرار گرفته..... ۵۶
- شکل ۳-۲۷- (الف) دستگاه سرو هیدرولیک ۸۸۰۲ INSTRON آزمون کشش (ب) لحظه شکست نمونه.....
- ۵۷
- شکل ۳-۲۸- آزمایش مفره کامپوزیتی 24 kV تحت آزمون ولتاژ پایداری قدرت در حالت خشک و خیس.....
- ۵۸
- نمودار شکل ۴-۱- نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت..... ۶۰
- نمودار شکل ۴-۲- نتایج حاصل از آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک..... ۶۱
- نمودار شکل ۴-۳- نتایج حاصل از آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس..... ۶۲
- نمودار شکل ۴-۴- نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک نمونه دچار خراش
- ۶۳
- نمودار شکل ۴-۵- وزن اولیه نمونه‌های تحت آزمون قرار گرفته..... ۶۴
- نمودار شکل ۴-۶- وزن ثانویه نمونه‌های تحت آزمون قرار گرفته..... ۶۴
- نمودار شکل ۴-۷- میزان کاهش وزن نمونه‌ها بعد آزمون فرسایش..... ۶۵
- شکل ۴-۸- تصویری از زاویه تماسی قطره با سطح جامد..... ۶۶
- شکل ۴-۹- تصاویر ثبت شده از آنالیز آزمون قطره..... ۶۶
- نمودار شکل ۴-۱۰- بررسی زاویه تماسی بر اساس نتایج آزمون قطره..... ۶۷
- نمودار شکل ۴-۱۱- نتایج آزمون کشش برای نمونه H1..... ۶۷
- نمودار شکل ۴-۱۲- نتایج آزمون کشش برای نمونه H2..... ۶۸

- نمودار شکل ۴-۱۳- نتایج آزمون کشش برای نمونه H3 ۶۸
- شکل ۴-۱۴- نتایج آنالیز SEM برای نمونه H1 با ترکیب (R90/E10) ۶۹
- شکل ۴-۱۵- نتایج آنالیز SEM برای نمونه H3 با ترکیب (R85/E15) ۶۹
- نمودار شکل ۴-۱۶- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت ۷۵
- نمودار شکل ۴-۱۷- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس (حالت خشک در ۶۰ ثانیه).... ۷۵
- نمودار شکل ۴-۱۸- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس ۷۶
- نمودار شکل ۴-۱۹- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت نمونه خراش ۷۶
- نمودار شکل ۴-۲۰- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون فرسایش ۷۶
- نمودار شکل ۴-۲۱- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون زاویه انرژی سطحی ۷۷
- شکل ۴-۲۲- ناحیه اثر، الف (میکرو ذره ب) نانوذره ۷۹
- شکل ۴-۲۳- نسبت سطح به حجم نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان یک عامل از بارگذاری نانوذرات ۷۹
- شکل ۴-۲۴- مکانیسم به وجود آمدن پدیده رشد درختی (treeing) ۸۰
- شکل ۴-۲۵- پدیده رشد درختی (treeing) عایق کامپوزیتی از جنس رزین اپوکسی (الف) زمینه بدون ذرات تقویت‌کننده (ب) زمینه همراه با ذرات تقویت‌کننده ۸۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- طبقه‌بندی مناطق برحسب سطح آلودگی	۲۸
جدول ۱-۳- معرفی مواد اولیه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته	۳۲
جدول ۲-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی و الکتریکی سیلیکون رابر HTV	۳۳
جدول ۳-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی تری هیدرات آلومینیوم	۳۶
جدول ۴-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی اکسید تیتانیم	۳۷
جدول ۵-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی رزین اپوکسی LY 5052	۳۸
جدول ۶-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی هاردنر LY 5052	۳۸
جدول ۷-۳- مشخصات فیبر شیشه	۴۰
جدول ۸-۳- پارامترهای طراحی مقرر در سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ (kV)	۴۲
جدول ۹-۳- درصد ترکیب و تعداد نمونه‌ها چترک ساخته شده	۴۳
جدول ۱۰-۳- درصد ترکیب و تعداد نمونه‌ها هسته ساخته شده	۴۳
جدول ۱-۴- نتایج آزمون‌های مقرر کامپوزیتی 24 kV باروکش RTV	۷۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

بخش عمده نقل انتقال نیرو از سایت‌های تولید انرژی تا مراکز مصرف و بارگیری آن توسط خطوط انتقال هوایی انجام می‌شود. فواصل مذکور گاهی ممکن است تا هزاران کیلومتر گسترده شده باشند. مشخص شده که اقتصادی‌ترین روش، انتقال نیرو توسط شبکه‌های خطوط انتقال هوایی است. البته در مناطق شهری به دلیل ازدحام جمعیت و تمایل به زیباسازی محیط شهری گاه تقاضا می‌شود که نیرو توسط کابل‌های زیرزمینی انتقال یابد. اما عموماً انتقال زیرزمینی بسیار پرهزینه‌تر از انتقال هوایی (حدود ده برابر) است، چنین انتظار می‌رود که خطوط هوایی همچنان بهترین روش انتقال باقی بماند.

سیم‌های هادی خطوط ولتاژ بالا (HV)^۱ در حالت انرژی‌دهی نیازمند آن است که به‌صورت فیزیکی به سازه نگه‌دارنده آن متصل گردد. همچنین چون سازه نگه‌دارنده دارای پتانسیل زمین می‌باشد، سیم هادی حاوی جریان باید به لحاظ الکتریکی از این سازه ایزوله شود. وسیله‌ای که برای اجرای هم‌زمان این دو نقش (هم نگه‌دارنده و هم عایق) مورد استفاده قرار می‌گیرد مقره است. بنابراین می‌توان گفت: مقره‌ها تجهیزاتی هستند که برای نگه‌داشتن، جداسازی و یا در برگرفتن هادی‌های تحت ولتاژ بالا به کار می‌روند. بنابراین مقره‌ها باید از استقامت مکانیکی و الکتریکی مناسبی برخوردار باشند تا بتواند نیروهای مکانیکی (کشش و خمش) و نیز فشارهای الکتریکی واردشده را در بدترین شرایط جوی اعم از مه، شبنم، باران، برف و آلودگی تحمل نمایند. علاوه بر استقامت الکتریکی و مکانیکی جریان نشتی مقره‌ها نیز باید تا حد امکان کم باشد.

یک مقره شامل بخش‌هایی است که در معرض محیط بیرونی قرار دارند و قسمت‌هایی که در معرض محیط قرار ندارند که آن‌ها را به ترتیب مقره خطوط انتقال و پست‌های سرپوشیده داخلی می‌نامند. مقره خطوط انتقال، مقره‌ای است که سطح جامد تجهیزات عایقی هم در معرض تنش‌های الکتریکی و هم دیگر شرایط خارجی نظیر آلودگی، رطوبت، حشرات و جانوران و غیره قرار می‌گیرد.

^۱ High Voltage

اجزای تشکیل دهنده مقره‌ها عبارت‌اند از دی‌الکتریک یا عایق (از جنس شیشه، سرامیک و کامپوزیتی) و یراق‌آلات که بدنه عایق را به ساختار مکانیکی متصل می‌نمایند و باید بتوانند اختلاف پتانسیل الکتریکی را برای چند دهه بدون بروز عیب تحمل نمایند.

امروزه اختراعات جدید تولید انواع هادی‌ها و عایق‌ها را ضروری ساخته است. در اوایل قرن نوزدهم توان الکتریکی مصرفی به حدی بوده که به مقره‌های مکانیکی و الکتریکی فشارقوی نیاز نبوده است. جنس مقره‌های تلگراف و یا تلفن و همین‌طور سویچ‌های برق فیوز و محل نصب چراغ و لامپ و غیره می‌تواند از هر نوع ماده عایقی باشد فقط کافی است که قادر به تحمل فشار چند صد ولت باشند. سالیان دراز مواد سرامیکی از سفال تا پرسلان برای این منظور استفاده شده، به دلیل اینکه تهیه آن‌ها ارزان بوده و تولید آن‌ها در انواع شکل‌ها به‌آسانی امکان‌پذیر است. از سال ۱۹۰۰ استفاده از برق متناوب سه فاز متداول گردیده که بدین طریق با استفاده از ترانسفورماتورها امکان استفاده از ولتاژ بالا به وجود آمده. معمولاً به همان نسبت که صنایع ترقی می‌کنند مقدار ولتاژ مصرفی نیز بالا می‌رود و بدون استفاده از مقره‌های مرغوب در ترانسفورماتورها و خطوط هوایی فشارقوی، صنایع به حالت توقف باقی خواهد ماند.

مواد پرسلان و شیشه برای مدت‌های طولانی در مقره‌های خطوط انتقال مورد استفاده قرار است. پرسلان و شیشه به علت ظرفیت بالایی که برای تحمل حرارت جرقه نوار خشک دارند می‌توانند مقدار قابل توجهی از جرقه را بدون تخریب سطحی بگیرند. اما این مواد به علت انرژی سطحی بالایشان بسیار تمایل به مرطوب شدن دارند و به‌مرورزمان در اثر وزش باد و تجمع گردوغبار آلوده می‌شوند. در صورتی که آلودگی حاوی نمک محلول باشد پس از جذب رطوبت توسط شبنم یا باران روی مقره یک‌لایه هادی به وجود می‌آورد که دارای هدایت الکتریکی است که باعث عبور جریان از سطح آلوده می‌شود. عبور جریان باعث خواهد شد که لایه مرطوب کم‌کم خشک شود و بر روی سطح مقره یک نوار خشک ایجاد کند. وجود این مسئله باعث اعمال کل ولتاژ فاز روی این قسمت از نوار خشک می‌شود و در این قسمت جرقه الکتریکی رخ می‌دهد. اگر این جرقه‌ها افزایش یابند ممکن است منجر به نابودی مقره شود. با توجه به اینکه آلودگی مقره‌ها مشکل بزرگی بر سر راه

تغذیه بی‌وقفه برق شده است باید به‌نوعی اثر آلودگی را بر روی سطح مقره کاهش داد. مثلاً مشکلی که در خوزستان پیش‌آمده این است که بر روی سطوح برخی از قطعات عایق و عمدتاً مقره‌ها به علت وجود ریزگردها در هوا، لایه‌ای از گردو خاک نشسته است. در ادامه به علت رطوبت شدید هوا و مه، این گردو خاک به‌صورت لایه‌ای از گل درآمده است. وجود املاحی در آلودگی‌ها که هادی جریان برق هستند باعث ایجاد جریان نشتی و تشکیل قوس شده، لذا دیگر مقره به‌عنوان یک وسیله عایق عمل نخواهد کرد و جریان الکتروسیسته موجود در سیم‌ها به دکل‌های برق و دیگر قطعات فلزی منتقل می‌شوند و حتی منجر به آتش‌سوزی و انفجار ترانس‌های برق خواهد شد، در شکل ۱-۱ آتش‌سوزی رخ داده شده در ترانس‌های برق خوزستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- آتش‌سوزی ترانس‌های برق خوزستان بر اثر جریان نشتی مقره‌ها.

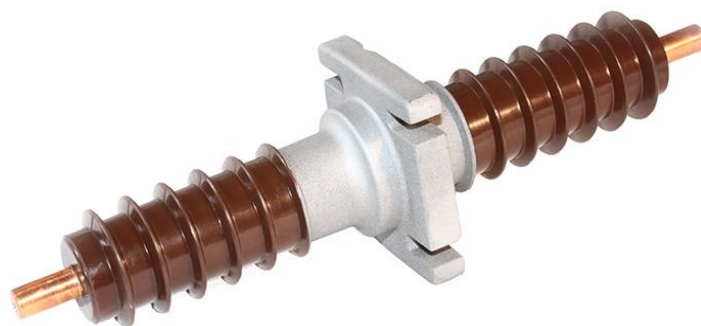
یکی از مهم‌ترین ابزار مقابله با این مشکل، استفاده از مقره‌های کامپوزیتی باروکش HTV سیلیکون رابر هستند که دارای خاصیت آب‌گریزی می‌باشند استفاده از این نوع روکش بر روی مقره در نواحی مختلف آب‌وهوایی به‌خصوص در محیط‌هایی با آلودگی بالا، می‌تواند کمک شایانی به از بین رفتن پدیده تخلیه جزئی که یکی از مهم‌ترین مشکلات مقره‌ها در نواحی آلوده و مرطوب است نماید. اما این پوشش‌ها تحت فشارهای مکرر ناشی از تخلیه الکتریکی آسیب می‌بینند و از بین می‌روند. به‌منظور اصلاح خواص این پوشش‌ها که از عملکرد بهتری برخوردار باشد از پرکننده‌ها^۲ استفاده می‌شود. با افزودن نانوذرات تری هیدرات آلومینیوم^۳ (ATH) میزان

^۲ FILLERS

^۳ Aluminium trihydrate

مقاومت در برابر فرسایش افزوده خواهد شد و نانوذرات اکسید تیتانیوم به دلیل خاصیت فوتوکاتالیستی، علاوه بر خاصیت آب‌گریزی، خاصیت خود پالایندگی می‌تواند ایجاد کند.

در ایران چند کارخانه تولید مقره سازی داریم که هنوز هم به‌طور کامل ساخت مقره کامپوزیتی بومی‌سازی نشده و از خارج از کشور بعضی از اقلام موردنیاز، مثل هسته مقره که نقش خیلی مهمی را در تحمل نیروهای کششی و خمش باید ایفا بکند را وارد می‌کنند و تنها کار تزریق روکش را انجام می‌دهند. در استان سمنان هم کارخانه مقره سازی ایران پارسا در زمینه تولید مقره های وال پوشینگ ترانس مقره های خطوط، انواع مقره های فشار متوسط و ضعیف رزینی، انواع تخته کلمپ الکتروموتور و انواع قطعات تسلیحاتی و مخابراتی-تولید می‌کند. فرآیند تولید آن‌ها با ماده کامپوزیتی که پایه آن رزین سفت شونده در برابر حرارت، فیبر شیشه و ترکیبات بهبوددهنده، ضخیم کننده، افزودنی‌های پروسه و عاملی که به مواد داخل قالب در نشر و یا پیشرفت (روان‌ساز) کمک می‌کند بوده است. فرآیند قالب‌گیری‌شان تکنیک گسترش یافته‌ای است که به‌موجب آن $SMC^{\circ} / BMC^{\circ}$ در قالب گرم شده ($150^{\circ}C$) قرار می‌گیرند. BMC یا SMC در طول تزریق گرم می‌شوند و به‌راحتی از داخل حفره قالب عبور می‌کنند. یکی از فواید اجزاء ترکیب دهنده SMC/BMC این است که دارای آزادی در طراحی و قابلیت یکپارچگی هستند. یک قالب پیچیده می‌تواند بسیاری از قسمت‌ها را یکی کند و این کار زمان سرهم کردن کالا و در نتیجه قیمت را حفظ می‌کند (کاهش می‌دهد)، شکل ۱-۲ نمونه‌ای از عایق‌های تولیدشده این شرکت است.



شکل ۱-۲- بازوئی عایقی 20kV ساخت شرکت ایران پارسا.

⁴ Bulk Molding Compound

⁵ Sheet Molding Compound

۱-۲- کلیات و تعاریف

۱-۲-۱- زنجیره مقره

یک یا چند واحد مقره زنجیری که به یکدیگر متصل شده به نحوی که نگه‌دارنده انعطاف‌پذیری برای هادی خطوط هوایی باشند، تعداد مقره‌ها به سطح ولتاژ بستگی دارد.

۱-۲-۲- قدرت دی‌الکتریک

به‌عنوان حداکثر تنش که ماده دی‌الکتریک می‌تواند مقاومت کند.

۱-۲-۳- فاصله خزشی

حداقل مسیر یا مجموع کوتاه‌ترین فاصله مابین اجزای فلزی مقره است که از روی قسمت‌های عایق عبور می‌نماید.

۱-۲-۴- چترک

اجزایی به‌منظور افزایش فاصله خزشی، به هسته مقره متصل می‌گردند.

در فصل دوم این پایان‌نامه مروری کلی بر آنچه در منابع مطالعاتی موجود درباره انواع مقره‌ها و مزایا و معایب آن‌ها و همچنین پارامترهای تاثیرگذار گذار بر روی فعالیت مقره‌ها و تأثیر آلودگی بیان شده است.

در فصل سوم به بیان مواد مورد استفاده و کارهای انجام‌شده جهت تهیه چترک‌های سیلیکونی HTV تقویت‌شده و هسته کامپوزیتی با درصدهای مختلف از تقویت‌کننده می‌پردازد و در ادامه فصل روش کار انجام آزمون‌ها بیان شده است.

در فصل چهارم نتایج حاصل از آزمایش‌ها بیان شده است و مقایسه عملکرد چترک‌ها با درصدهای مختلفی از تقویت‌کننده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در قسمت پایان فصل بحث و نتیجه‌گیری کلی حاصل از این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادهایی جهت ادامه کار حاضر برای علاقه‌مندان است.

فصل دوم

مروری بر منابع مطالعاتی

۲-۱- مقدمه

برای عملکرد بهتر مقره‌ها در شرایط مختلف کاری در خطوط انتقال و عوامل مؤثر بر این عملکرد عبارتند از شرایط آب و هوایی درجه حرارت، رطوبت، باد، تابش خورشید، بارش باران و برف و حضور آلاینده‌های هوا در محل‌های نصب از منابع دریایی، صنعتی، کشاورزی یا بیابان ناشی می‌شود و منجر به ساخت یک‌لایه رسانا روی سطوح مقره شده و عامل قطع برق خواهد شد. به این ترتیب برای مبارزه با مشکل آلودگی و افزایش توانایی خودتمیزشونده کردن در زیر باد و باران از مواد پلیمری در مقره‌های ولتاژ بالا استفاده می‌شود، طراحی یک خانواده جدید از مقره‌ها به نام مقره‌های کامپوزیتی معرفی شد [۱]. در این فصل ابتدا به معرفی و مقایسه انواع مقره‌ها پرداخته و سپس به دلیل اهمیت ویژه مقره‌های کامپوزیتی در این پروژه به معرفی و بیان ویژگی‌های آن‌ها و پارامترهای تاثیرگذار بر روی فعالیت مقره‌ها و تأثیر آلودگی‌ها بیان شده است.

۲-۲- وظایف مقره

مقره‌ها در فضایی باز دارای دو عملکرد اساسی اصلی هستند:

- ۱- نگهدارنده‌ی قسمت‌هایی از تاسیسات الکتریکی خطوط انتقال (تحمل وزن هادی‌های خطوط در شرایط محیطی مختلف) و اصولاً باید بتوانند بیشترین نیروهای مکانیکی وارد شده بر آن‌ها را تحمل کنند.
- ۲- همچنین ایزوله کردن آنها از طریق پتانسیل زمین، عایق‌بندی بین هادی‌ها با یکدیگر به عهده مقره است. یعنی مقره‌ها باید از استقامت الکتریکی کافی برخوردار باشند [۱].

۲-۳- خصوصیات مقره‌ها

۱- دارای هدایت بسیار کم

۵- تحمل میدان‌های الکتریکی

۶- قطبش در دی‌الکتریک

۷- ثابت دی‌الکتریک

۸- استقامت در برابر تغییرات درجه حرارت و عدم تغییر شکل در اثر دما

۹- مقاومت دی الکتریک و ولتاژ شکست

۱۰- مقاومت به قوس [۲, ۳].

۲-۴- تاریخچه

نیازهای تجاری برای خطوط ولتاژ بالا در دهه ۱۸۸۰ آغاز شده است. مقره نوع سرامیکی از اوایل دهه ۱۹۰۰ تا سالهای اخیر به طور گسترده پذیرفته شده است. در دهه ۱۹۶۰ عایق‌های پلیمری که به عنوان عایق‌های کامپوزیتی یا غیر سرامیکی نیز نامیده می‌شوند، در سال‌های اخیر آن‌ها را برای مصرف بیشتر مورد توجه قرار داد [۴].

مقره‌های کامپوزیتی دارای مزیت‌هایی زیادی نسبت به مقره‌های سرامیکی مثل عملکرد خوب در تخریب سطح و مقاومت در برابر فرسایش، اشعه ماوراءبنفش، رطوبت و حرارت، آب‌گریزی بسیار بالا، خواص عایقی بهتر، حساسیت کمتر نسبت به شرایط آب و هوایی مختلف، و نهایتاً عمر مفید طولانی می‌باشند. این نوع مقره‌ها به دلیل این خواص شهرت یافته و سبب جایگزینی آن به جای مقره‌های سرامیکی شده است [۵].

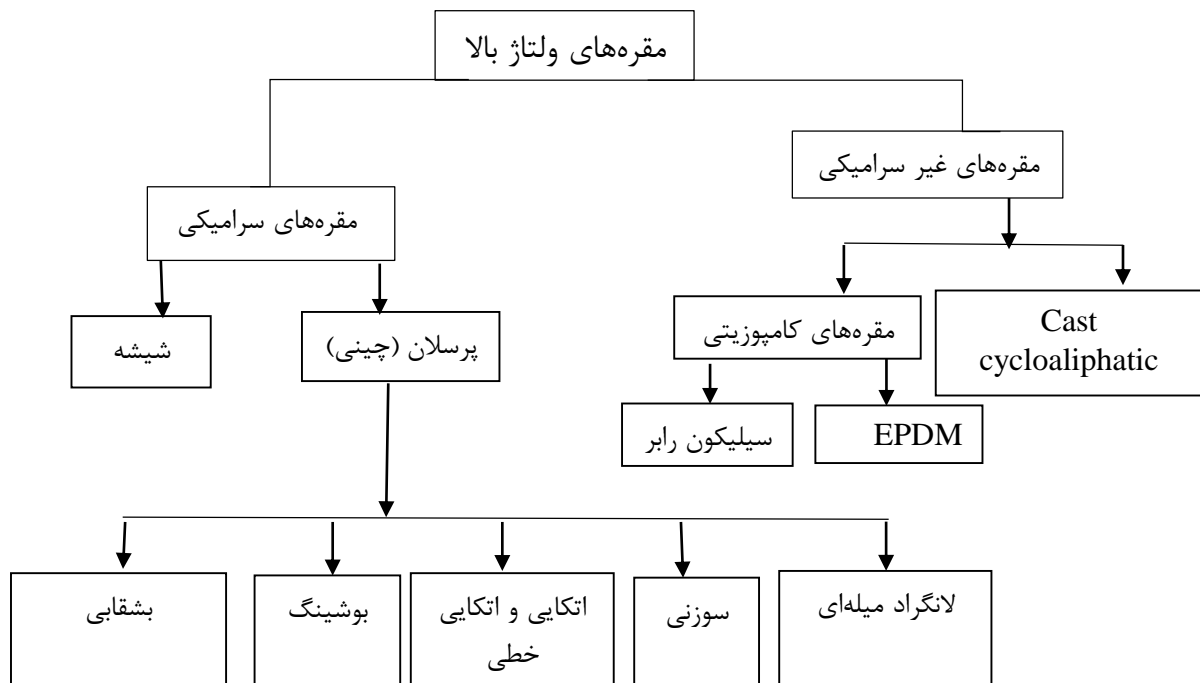
حدود ۵۰ سال پیش اولین پلیمر مورد استفاده به عنوان عایق الکتریکی، رزین اپوکسی بیسفنول و سیکلوالیفاتیک^۱ CEP بوده است. اگرچه اولین عایق‌های CEP مدت کوتاهی بعد از نصب در محیط بیرون تخریب می‌شدند. به دلایل مختلفی مثل عدم کارایی در دمای پایین و کاهش وزن ناکافی مقبولیتی در امریکا به عنوان مقره‌های خطوط انتقال با ولتاژ بالا به دست نیامد. مقره‌های پلیمری برای خطوط انتقال در اوایل ۱۹۶۴ در آلمان توسط سایر تولیدکنندگان در انگلیس، فرانسه، ایتالیا امریکا گسترش یافت. در آلمان واحدهای آزمون میدانی در سال ۱۹۶۷ ایجاد شدند. در اواخر ۱۹۶۰ و اوایل ۱۹۷۰، تولیدکنندگان اولین نسل مقره‌های کامپوزیتی (پلیمری) را معرفی کردند. تعداد زیادی از تجهیزات آزمایش با اولین مقره کامپوزیتی تولیدی در قبل از سال ۱۹۸۰ شروع بکار شدند. بر اساس گزارش‌هایی مبتنی بر تخریب برخی تولیدکنندگان تولید

^۱cast cycloaliphatic epoxy resin

واحدهای ولتاژ بالا را متوقف کرده و سایرین تحقیقات فشرده و موثری را آغاز کردند که سبب تولید نسل دوم مقره‌ها خطوط انتقال کامپوزیتی گردید [۶, ۷].

۲-۵- جنس مقره‌ها

مقره‌های که برای خطوط انتقال ولتاژ بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، جنس مقره‌ها معمولاً سرامیکی و غیر سرامیکی تقسیم‌بندی می‌شوند که شکل ۱-۲ طبقه‌بندی مقره‌های خطوط نیرو را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱-۲- طبقه‌بندی مقره‌های خطوط نیرو [۸].

۲-۵-۱- مقره‌های پرسلانی

مقره‌های پرسلانی برای اولین بار در سال‌های ۱۸۵۰ معرفی شدند و هنوز هم به‌طور گسترده‌ای برای ولتاژ بالا استفاده می‌شود. خواص مقره‌های پرسلانی به اندازه ذرات، و منافذ آن‌ها بستگی دارند. ترکیب مقره‌های ساخته شده از پرسلان عمدتاً شامل خاک رس، کوارتز یا آلومینا و فلداسپات است.

این سه نوع با ترتیب برای بالا بردن استقامت حرارتی، الکتریکی و مکانیکی به کار می‌روند. به عبارت دیگر

خواص الکتریکی، مکانیکی و حرارتی چینی بستگی به درصد فراوانی این سه جزء دارد و در شکل ۲-۲ نمونه از مقره پرسلانی (چینی) را نشان می‌دهد [۷, ۸].



شکل ۲-۲- تصویری از مقره‌های پرسلانی (چینی) [۹].

۲-۵-۱-۱- مزایا و معایب مقره‌های پرسلانی

مزایای مقره‌های پرسلانی، از مواد غیر آلی ساخته شده و پیر نمی‌شوند، ارزان بودن مواد اولیه، فناوری ساخت نسبتاً ساده‌تر است، دارای معایبی نیز می‌باشند که در ذیل به آن اشاره شده است.

- شکننده هستند
- استحکام کششی پایین
- عدم انطباق بین لعاب خارجی و ماده هسته می‌تواند باعث ایجاد عیب کرده که عملکرد مکانیکی و الکتریسیته را کاهش می‌دهد.
- وزن سنگین‌تر [۸, ۱۰].

۲-۵-۲- مقره‌های شیشه

اولین مقره شیشه‌ای برای خطوط تلگراف پیشنهاد شد و برای خطوط انتقال در آغاز قرن بیستم ظاهر شدند معمولاً شیشه را در درجه حرارت‌های بالا ذوب می‌نمایند با مخلوطی از مواد مختلف از جمله سیلیس، آهک و غیره سپس به‌طور ناگهانی آن را سرد نموده و قالب‌ریزی می‌کنند بدین ترتیب مقره شیشه‌ای به دست می‌آید، در شکل ۳-۲ نمونه از مقره شیشه‌ای را نشان می‌دهد [۹].



شکل ۲-۳- تصویری از مقره شیشه‌ای [۱۱].

۲-۵-۲-۱- مزایا و معایب مقره شیشه‌ای

- مقره‌های شیشه‌ای دارای ظرفیت بالایی در برابر حرارت هستند و همچنین قدرت دی‌الکتریک بالای را ارائه می‌دهند.

- در مقره‌های شیشه‌ای، قبل از بروز ترک، کاملاً خرد می‌شوند و لذا از روی زمین به راحتی می‌توان مقره معیوب را تشخیص داد.

اما معایب مقره‌های شیشه‌ای آن است که علی‌رغم ویژگی‌های فوق‌العاده‌شان این مقره‌ها دارای معایبی به شرح ذیل می‌باشند.

- ولی این مقره‌ها دارای معایبی همچون استقامت مکانیکی آنها در برابر نیروهای خمشی اندک و بر اثر ضربات مکانیکی که قدرت شکستن عایق را داشته باشند کل عایق را متلاشی می‌کند و ترک‌های میکروسکوپی می‌توانند به‌طور آزادانه منجر به ضعف مکانیکی شوند.

- در معرض شرایط مرطوب مانند مه، شبنم، و باران زمانی آلودگی نیز وجود دارد، جریان نشت می‌تواند به راحتی منجر شود [۱۲-۱۴].

۲-۵-۳- مقره‌های رزینی

به علت قدرت دی‌الکتریک بالا (۲۵-۴۵ کیلوولت/ میلی‌متر) استفاده از رزین‌ها به‌عنوان مواد عایق ولتاژ بالا مناسب است. اما مواد عایق رزینی در مناطقی با درجه حرارت بالا، رطوبت بالا، وجود آلاینده‌ها و اشعه ماوراءبنفش بسیار حساس هستند. مزایای اصلی مقره‌های رزینی در برابر مواد پیرسلان به‌عنوان مواد عایق این است که بسیار سبک‌تر (به علت تراکم کم)، ترکیب آسان با افزودنی‌ها و داشتن خاصیت آب‌گریزی بالا است. این نوع مقره‌ها به دلیل نداشتن مقاومت در برابر اشعه ماوراءبنفش خورشید، قابل‌استفاده در فضای آزاد

نیستند و فقط در فضاهای داخلی و داخل تابلوها استفاده می‌شوند. در شکل ۲-۴ نمونه از مقره‌های رزینی نشان داده شده است [۱۵، ۱۶].

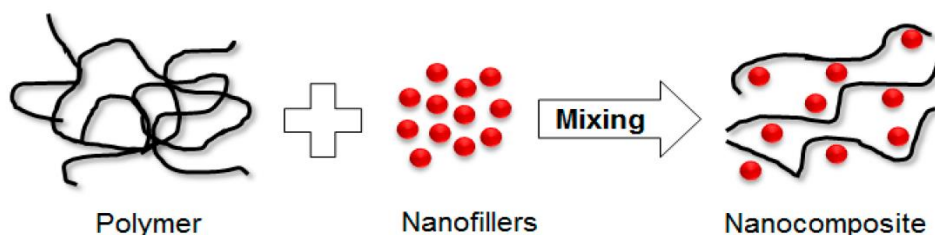


شکل ۲-۴- نمونه‌هایی از مقره‌های رزینی [۱۷].

۲-۵-۴ - مقره‌های کامپوزیتی

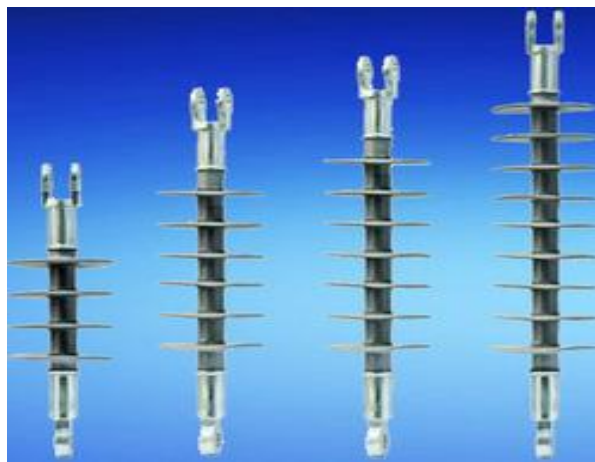
عملکرد قابل اعتماد این عایق‌ها، به‌عنوان یکی از اجزای اصلی سیستم‌های انتقال و توزیع شناخته شده است. عایق‌های سیلیکون‌رابر جایگزین عایق‌های معمولی ساخته شده از شیشه‌ها و چینی در سیستم قدرت شده است. که پس از قریب به ۳۰ سال از عرضه اولین نوع مقره‌های کامپوزیتی و انجام اصلاحات در طراحی و مواد مصرفی آن، به‌عنوان محصولاتی کاملاً شناخته شده و مناسب در خطوط ولتاژ بالا استفاده می‌شوند و آمار موجود بیانگر رشد سریع تولید و مصرف این نوع مقره‌ها می‌باشند [۱۸].

استفاده از فناوری نانو، رویکردهای جدیدی را ارائه می‌دهد که سیستم‌های عایق بهبود یافته در دماهای بالاتر و استرس الکتریکی بالاتری کار کنند. ترکیب مواد کامپوزیتی مورد استفاده در عایق‌ها معمولاً شامل دو یا چند جزء است که به‌طور قابل ملاحظه‌ای خواص فیزیکی و شیمیایی مختلف را شامل می‌شوند، در شکل ۲-۵ نمونه‌ای از این ترکیب کامپوزیت نشان داده شده است. با کنترل ترکیب اجزای سازنده، مواد جدید با خواص متمایز به دست می‌آیند.



شکل ۲-۵- ترکیب عایق کامپوزیتی [۱۹].

عملکرد نانو کامپوزیت‌ها شامل استحکام بالا، چقرمگی، مقاومت در برابر حرارت، نور، استقامت حرارتی و پایداری در حضور مواد شیمیایی، آب‌گریز، مقاومت بالا در برابر خستگی و تخریب خوردگی، خواص عایقی بهتر، حساسیت کمتر نسبت به شرایط آب و هوایی مختلف، عدم احتیاج به سرویس و شستشوی مداوم و نهایتاً عمر مفید طولانی سبب شده است که علی‌رغم قیمت بالاتر، مصرف آن‌ها توجیه اقتصادی داشته باشد، در شکل ۲-۶ نمونه‌هایی از مقره‌های کامپوزیتی نشان داده شده است [۱۹].



شکل ۲-۶- نمونه‌ای از مقره‌های کامپوزیتی [۲۰].

۲-۵-۴-۱- اجزای اصلی تشکیل دهنده مقره کامپوزیتی

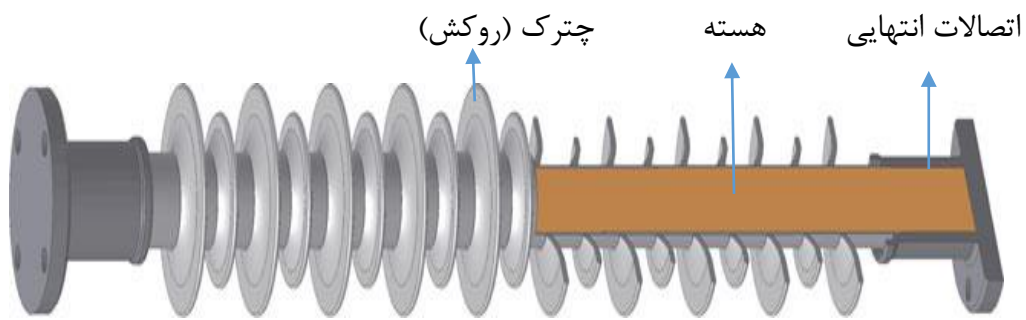
مقره‌های کامپوزیتی حداقل از دو ماده عایقی تشکیل می‌شوند که یکی وظیفه تأمین خواص الکتریکی و دیگری وظیفه تأمین خواص مکانیکی را بر عهده‌دارند، مقره‌های کامپوزیتی همان‌گونه که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، تشکیل شده از اجزای نظیر:

۱- هسته^۷

۲- چترک (روکش)^۸

۳- اتصالات انتهایی^۹ [۲۱].

7 CORE
8 HOUSING
9 END FITTING



شکل ۲-۷- اجزاء تشکیل دهنده مقره کامپوزیتی [۱۱].

۲-۴-۵-۲- هسته

اصول اصلی ساخت مقره‌های کامپوزیتی بر مبنای استفاده از یک هسته کامپوزیتی می‌باشد که وظیفه آن تحمل بار مکانیکی وارد شده از طرف سیم هادی به آن و انتقال این نیروی کششی به برج است. در شکل ۲-۸- نمایی از هسته مورد استفاده در مقره‌های کامپوزیتی ارائه گردیده است.

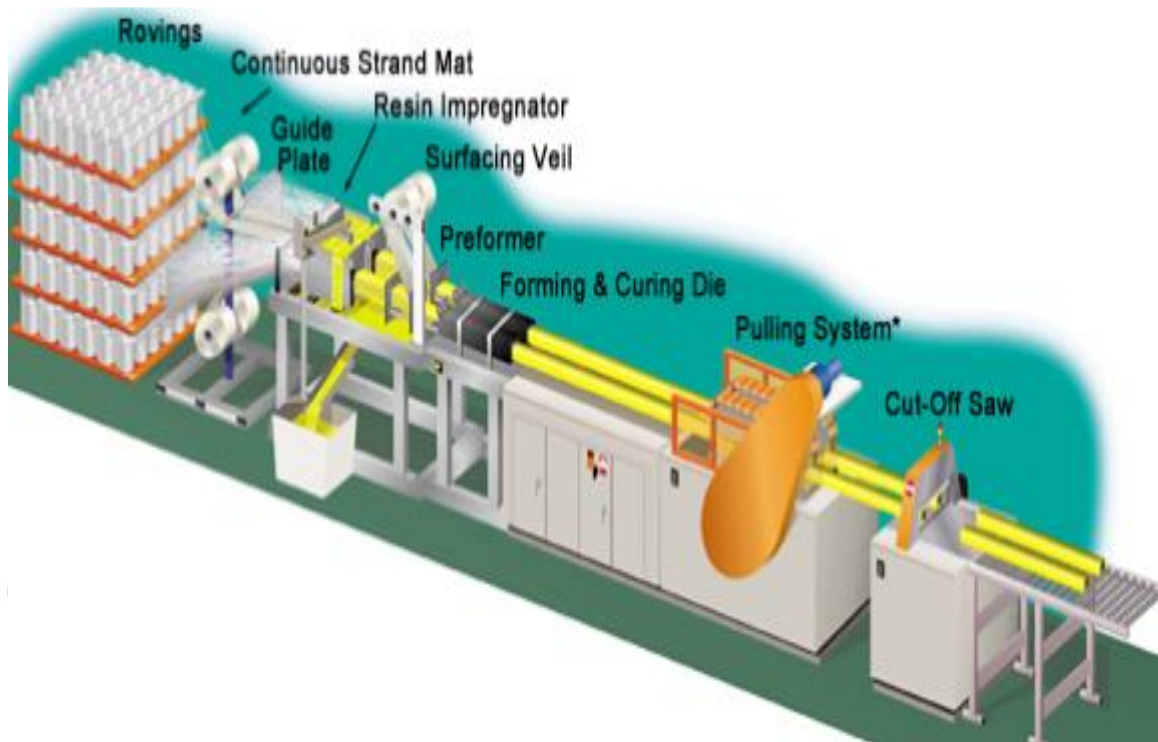


شکل ۲-۸- نمایی از هسته مورد استفاده در مقره‌های کامپوزیتی [۱۰].

۲-۴-۵-۳- فرایندهای ساخت هسته کامپوزیتی

همان‌گونه که در شکل ۲-۷ نشان داده شد، هسته یک مقره کامپوزیتی شامل یک میله کامپوزیتی است که متشکل از دو جزء اصلی ماتریس و الیاف تقویت‌کننده است. ماتریس از جنس رزین اپوکسی و الیاف تقویت‌کننده از نوع شیشه E هست که این الیاف شیشه به صورت موازی و هم جهت در تمام طول میله قرار گرفته‌اند. قطر میله کامپوزیتی هسته بستگی به طراحی مقره و بار کششی که می‌بایست تحمل کند دارد و در قطرهای مختلفی ساخته می‌شود. ولی محدوده آن را با به اعداد ذکر شده توسط سازندگان مختلف می‌توان بین ۷۰-۱۴ میلی‌متر تعیین کرد. الیاف در هسته یک مقره کامپوزیتی دو وظیفه عمده دارند، یکی اینکه به‌عنوان اصلی‌ترین جزء عایق عمل می‌کنند و دیگر اینکه وظیفه تحمل بار مکانیکی نیز بر عهده آن‌هاست.

ساخت هسته کامپوزیتی توسط فرآیند پالتروژن صورت می‌گیرد. به‌طور کلی پالتروژن فرایندی است که برای تولید مقاطع پیوسته کامپوزیتی مانند میله‌ها، لوله‌ها، تیرهای I شکل قوطی‌ها و نبشی‌ها بکار می‌رود. بخش‌های اصلی فرآیند پالتروژن به‌صورت شماتیک در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. در این فرایند الیاف شیشه از بخش تغذیه الیاف به ناحیه آغشته سازی بارزین هدایت می‌شود و پس از عبور از حدیده‌های پیش شکل وارد قالب اصلی می‌گردد. در قالب با استفاده از حرارت، عمل شبکه‌ای شدن و پخت رزین صورت گرفته و پروفیل شکل سطح مقطع قالب را به خود می‌گیرد. مزایای قطعات ساخته شده بدین روش عبارتند از: وزن سبک، مخارج نگهداری کمتر، مقاومت بیشتر در مقابل خوردگی محیط، بهترین مزیت در استحکام ویژه (نسبت استحکام به وزن) نسبتاً بالای آن است که به علت درصد بالای الیاف و پیوستگی آن در ساختار این قطعات است. البته لازم به ذکر است که روش‌هایی دیگری نیز برای تولید هسته‌های کامپوزیتی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به روش‌های رشته پیچی و لایه گذاری دستی اشاره نمود؛ اما از آنجائی که بیشترین استحکام و بالاترین سطح خواص مکانیکی از فرایند پالتروژن به دست می‌آید، روش پالتروژن بر روش‌های دیگر ترجیح داده می‌شود [۲۰].



شکل ۲-۹- بخش‌های اصلی فرآیند پالتروژن [۲۰].

۲-۵-۴-۴- چترک (روکش)

برای محافظت از هوازدگی و اثرات مخرب رطوبت و نیز افزایش ولتاژ و جریان خزشی قابل تحمل، این هسته را توسط روکشی از سیلیکون رابر می پوشانند [۲۱].

از جمله پوشش‌های مورد استفاده در مقره‌های کامپوزیتی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف- اتیلن پروپیلن مونومر

ب- اتیلن پروپیلن دین مونومر

ج - سیلیکون رابر

د- لاستیک اتیلن پروپیلن

در حال حاضر متداول‌ترین پوشش‌های مورد استفاده در مقره‌های کامپوزیتی، سیلیکون رابر می‌باشند. دلیل این امر پایداری بلندمدت در برابر شرایط آب و هوایی مختلف، خاصیت آب‌گریزی و همچنین توانایی انتقال این خاصیت به لایه‌های آلوده است. خاصیت آب‌گریزی از جمله خواص سیلیکون رابر است که آن را از سایر مواد عایقی جدا ساخته است و این خاصیتی است که آب بر روی مقره پخش نمی‌شود، بلکه به صورت قطره آب، متمرکز در یک قسمت می‌ماند [۲۲, ۲۳].

۲-۵-۴-۵- فرایند مخلوط سازی و ساخت چترک

کاشیما در سال ۲۰۱۳ جهت آماده سازی مخلوط سیلیکون رابر در حضور ذرات تقویت کننده به وسیله دستگاه غلطکی دو میل انجام داده است. در شکل ۲-۱۰ تصویر دستگاه مخلوط کن دو میل نشان داده شده است. مخلوط سازی در حدود ۱۵ دقیقه دردمایی اتاق انجام گرفته و در ادامه مخلوط آماده شده زیر پرس گرم در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفته تا اینکه پخت صورت بیگیرد، در شکل ۲-۱۱ تصویر پرس گرم نشان داده شده است [۲۴].



شکل ۲-۱۰- تصویر دستگاه مخلوط‌کن دو میل [۲۴].



شکل ۲-۱۱- تصویر دستگاه پرس هیدرولیکی گرم [۲۴].

۲-۵-۴-۶- یراق‌آلات

یراق‌آلات نیز در مقره‌های کامپوزیتی ارتباط بین مقره را از یک طرف با دکل و از طرف دیگر با خط برقرار می‌کنند. با توجه به این گوناگونی در بخش‌های مختلف مقره کامپوزیتی و روش‌های ساخت آن‌ها به‌وضوح می‌توان دریافت که عملکرد یک مقره کامپوزیتی شدیداً به انتخاب صحیح مواد اولیه و فناوری ساخت مقره بستگی دارد. از آنجاکه یراق‌آلات باید بارهای مکانیکی بالای تحمل کند از فولاد (عمدتاً گالوانیزه) یا چدن ساخته‌شده است. گاهی اوقات در صورت نیاز به کاهش وزن در برنامه‌های کاربردی از آلومینیوم استفاده می‌شود و در بعضی از موارد خاصی که شرایط محیط بسیار خورنده است برنز استفاده می‌شود، در شکل ۲-۱۲ نمایی از انواع یراق‌آلات مورد استفاده در مقره‌های کامپوزیتی ارائه گردیده است [۱۰].



شکل ۲-۱۲- نمایی از انواع یراق آلات مورد استفاده در مقره های کامپوزیتی [۲۵].

۲-۵-۴-۷- مزایا و معایب مقره های کامپوزیتی

مقره های کامپوزیتی دارای مزایای فراوانی نسبت به مقره های پرسیلان بوده است.

- وزن سبک
- نصب آسان
- زمان تولید کوتاه تر
- انعطاف پذیری بیشتر در طراحی محصول
- ، مقره های کامپوزیتی دارای قابلیت دفع آب بوده و برای مناطق مرطوب مناسب می باشند [۲۶].
- عملکرد بسیار عالی در محیط آلوده.
- مقاومت بیشتری به قوس نسبت به مقره سرامیکی نشان می دهد.
- هزینه نگهداری خط را تا حد زیادی کاهش می دهند.
- عملکرد الکتریکی مقره های کامپوزیتی تحت شرایط مشابه یخ زدگی بهتر از مقره های چینی و شیشه ای می باشد [۲۴, ۲۷].
- معایب مقره های کامپوزیتی را می توان به شرح ذیل طبقه بندی نمود:
- قیمت بالای مواد اولیه نسبت به مقره های دیگر بیشتر بوده.
- کمبود نیرو کاری باتجربه [۲۸].

۲-۶- انواع مقره‌ها بر اساس کاربرد

۲-۶-۱- مقره‌های خطوط هوایی

برای عایق کردن هادی‌ها نسبت به پایه دکل نسبت به یکدیگر و نگهداری هادی‌ها بر روی پایه‌ها از این نوع مقره استفاده می‌شود. این مقره‌ها به‌طور افقی از خط رسانا حفاظت می‌کنند، درحالی‌که مقره‌های معلق به‌صورت عمودی از خطوط رسانا حفاظت می‌کنند، شکل ۲-۱۳ هر دو مدل تحت نیروی کششی و پیچشی قرار می‌گیرند نشان می‌دهد [۲۹].



شکل ۲-۱۳- مقره‌های خطوط هوایی [۹].

۲-۶-۲- مقره‌های اتکایی

برای عایق‌کاری در پست‌ها و تابلوها نسبت به زمین و نگهداری آن‌ها از این نوع مقره‌ها استفاده می‌شود. این نوع مقره‌ها هم عمودی، هم افقی از خطوط رسانا حفاظت کرده و در معرض نیروی فشاری و کششی قرار می‌گیرند، شکل ۲-۱۴ نمونه‌ای از این مدل را نشان می‌دهد [۲۹].



شکل ۲-۱۴- مقره‌های اتکایی [۹].

۲-۶-۳- مقره‌های عبوری یا بوشینگ

از این نوع مقره‌ها برای عبور ب‌اس‌بارها^{۱۰} از دیوارها یا ورود به تجهیزات استفاده می‌شود. همچنین برای ایزوله کردن خطوط یا ب‌اس‌بارها نسبت دیوارها یا بدنه تجهیزات هم به کار می‌رود، البته درصد بسیار زیادی از مقره‌های مورد استفاده از نوع مقره‌های خطوط هوایی است. از نوع مقره‌های که سطح بالاتری در عایق بودن، عملکرد بهتر در ماندگاری و فعالیت‌های عادی و محافظت در برابر خوردگی دارد. این عایق هم تحت نیروی کششی و پیچشی قرار می‌گیرد شکل ۲-۱۵ نمونه‌ای از این مدل را نشان می‌دهد [۲۹].



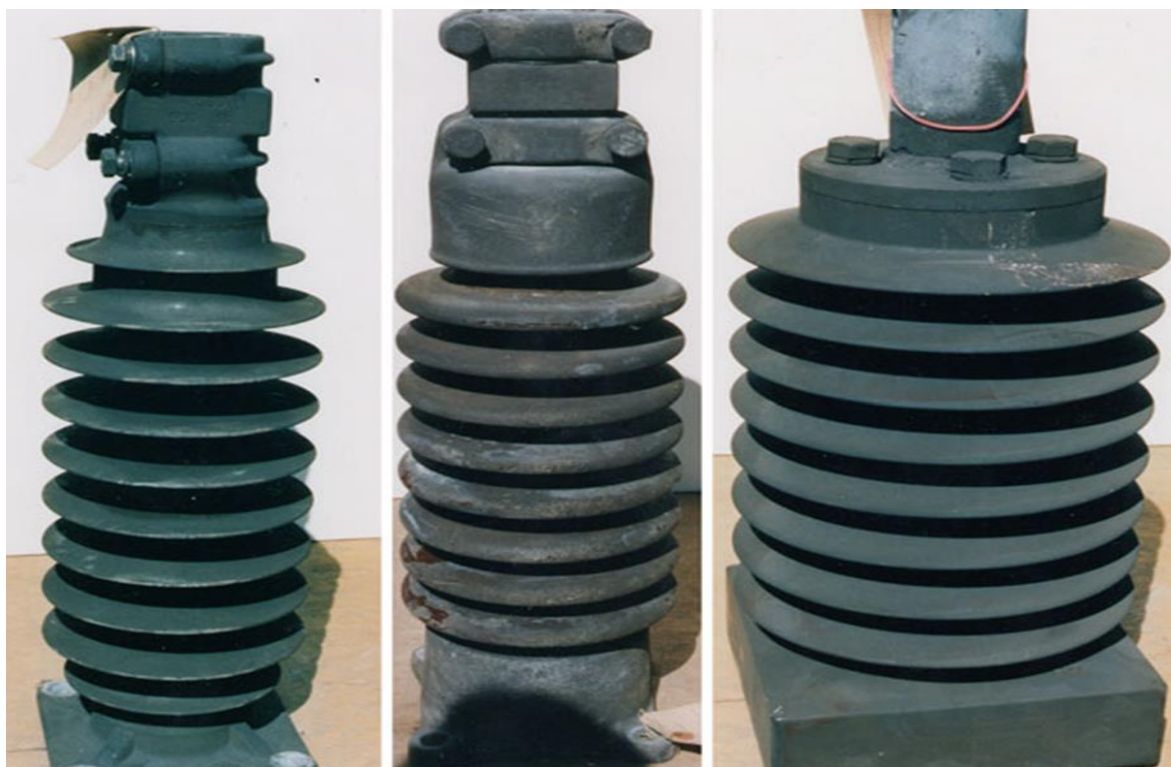
شکل ۲-۱۵- مقره‌های عبوری یا بوشینگ [۳۰].

۲-۷- بررسی حاشیه امنیت مقره‌های رزینی، پرسیلانی، کامپوزیتی

سال ۱۹۹۴ در سوئیس برای بررسی حاشیه امنیت مقره‌ها از آزمون خمش بروی، سه نوع مقره ۱۵ کیلوولت خطوط راه‌آهن فدرال که دارای شرایط ذیل هستند انجام شده.

مقره‌ها از جنس رزین ریخته‌گری، پرسیلان، کامپوزیتی، که نمونه کامپوزیتی بعد از ۱۵ سال کارکرد در داخل تونل با آلودگی و رطوبت شدید و مقره‌های چینی ۱۳ سال کارکرد و مقره‌های از جنس رزین ۲ سال کارکرد است. تصویر شکل ۲-۱۶ هر سه مقره نشان داده شده، مقره‌ها تحت شرایط مشابه، طبق استاندارد IEC 61952 تحت بار خمشی قرار گرفتند تا زمان شکست (این به معنای لزوماً شکستگی نیست) در یک بازه زمانی ۳۰۰ ثانیه بار اعمال شده است. شکل ۲-۱۷ نمونه‌ها را بعد از آزمون نشان می‌دهد و نتایج به دست آمده از این آزمون در شکل نمودار ۲-۱۸ مورد بررسی قرار گرفته، نتایج بیانگر این است که مقره کامپوزیتی حاشیه ایمنی بالاتر را نشان می‌دهد [۱۰].

¹⁰ Bus Bar

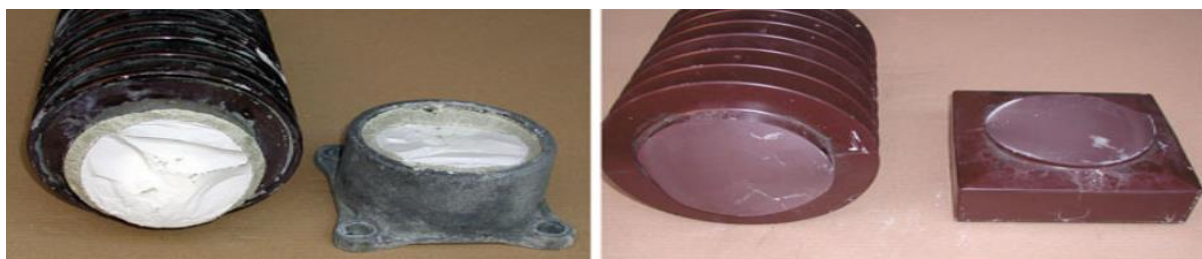


(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۲-۱۶- مفره‌های ۱۵ کیلوولت خطوط راه‌آهن (الف - رزین ریخته‌گری، ب- پرس‌لان، ج - کامپوزیتی) [۱۰].



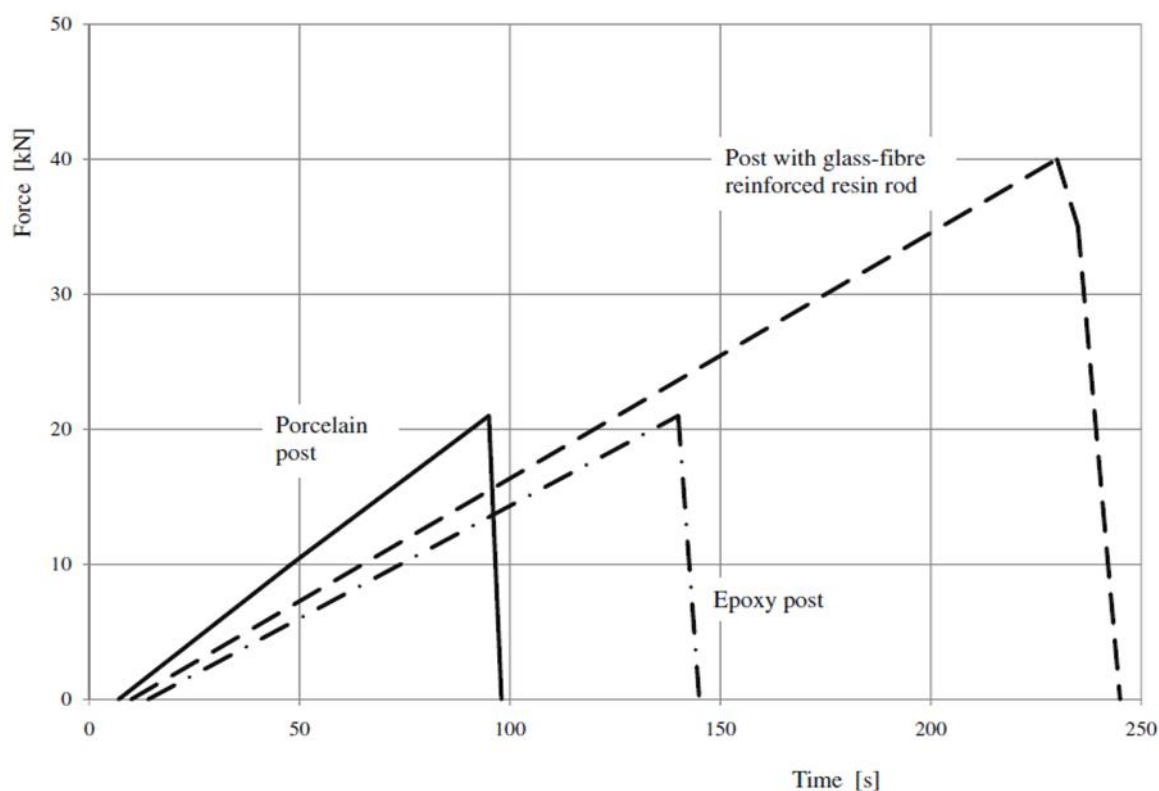
(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۲-۱۷- تصویر مفره‌های بعد از آزمون (الف - مفره رزینی، ب- مفره پرس‌لان، ج - مفره کامپوزیتی) [۱۰].



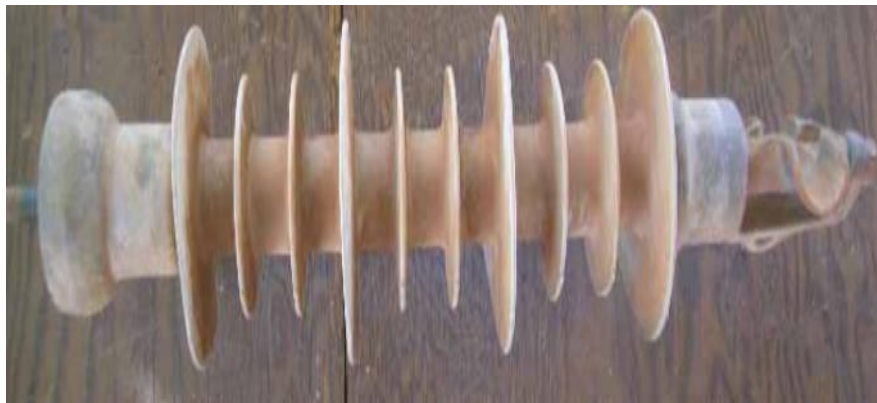
شکل ۲-۱۸- نتایج حاصل از آزمون خمش [۱۰].

۲-۸- پارامترهای تاثیرگذار محیطی بر کارکرد مقره‌ها

- نوع آلودگی منطقه
- رطوبت هوا
- یخزدگی
- پارامترهای مختلف دمایی
- تشعشعات حرارتی و ماوراءبنفش (UV)
- بارش باران
- صاعقه و سطوح ایزوکرونیک منطقه
- باد [۲۳، ۳۱، ۳۲].

۲-۸-۱ تأثیر آلودگی

مقره‌های خطوط انتقال در معرض شرایط مختلف و محیط‌های متفاوت کار می‌کنند. زمانی که آلودگی بر روی سطح مقره‌ها می‌نشیند موجب افزایش سرعت جریان نشتی شده است. در مواردی که باران، مه و یا شبنم وجود داشته باشد، آلودگی‌ها بر روی سطح حل می‌شود و یک لایه هدایت‌کننده روی سطح عایق را ترویج می‌کنند و باعث شروع ولتاژ جریان نشت می‌شود. شکل ۲-۱۹ تصویری از یک مقره که تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته را نشان می‌دهد که تغییر در رنگ طبیعی عایق این مقره به وجود آمده است [۳۲].



شکل ۲-۱۹- تصویر از یک مقره سیلیکونی که تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته [۳۲].

۲-۸-۲ پارامترهای مختلف دمایی

تغییرات ناشی از پیری که موجب نابودی خواص مقره‌ها می‌شود از همان ابتدا یکی از چالش‌های مهم خطوط انتقال بوده و به‌طور کلی می‌توان گفت دما و گذشت زمان بر روی فرآیند پیرشدگی مقره‌های مؤثر می‌باشند. در این مقره‌ها مقاومت در برابر حرارت محیطی معمولاً به‌وسیله تغییرات در پارامترهای کشش مکانیکی، استحکام مکانیکی، طولی و سختی اندازه‌گیری می‌شوند. دمای پایین اثرات سفت و تردکنندگی بر روی مقره‌های غیر سرامیکی دارد. این پدیده در مواد هسته مقره‌ها باعث می‌شوند که آن‌ها راحت‌تر دچار شکنندگی گردند. با تغییر نوع ترکیب مواد، قطر چترک و تعداد چترک می‌توان اثرات این پدیده را کاهش داد [۳۳، ۳۴].

۲-۸-۳- بارش باران

میزان آلودگی بالا همیشه در زمانی که روزهای بارندگی کمتر است و شدت بارش باران کم است ظاهر می‌شود. انباشت آلودگی عمدتاً به دو فرآیند تقسیم می‌شود: آلودگی در طول فصل خشک و در فصل مرطوب است. زمانی بارش باران مؤثر که آلودگی‌های سطحی را از بین می‌برد به نظر می‌رسد که میانگین بارندگی مهم‌ترین پارامترهای تمیز کردن است. میزان ریزش باران و خوردگی از نوع اکسیداسیون یراق‌آلات فلزی مقره‌ها ریزش باران‌های مداوم چون باعث شسته شدن سطح زن زده کراس آرم‌های جناقی و انتقال آن‌ها به یراق‌آلات مقره‌ها می‌گردد مقدار خوردگی را در یراق‌آلات مقره‌ها افزایش می‌دهد. اثر پاک‌کنندگی ریزش باران در زدودن آلودگی‌های از سطوح تجهیزات عایقی به‌ویژه مقره‌ها در کاهش میزان خطاهای حادث‌شده در ایزولاسیون شبکه برق، امری ثابت‌شده است. ولیکن نکته‌ای که در اینجا بایستی موردتوجه قرار گیرد میزان بارش و زمان آن هست. بارش‌های ناچیز و کوتاه‌مدت در طول دوره خشک و یا بارش‌هایی که در ابتدای دوره بارندگی و در انتهای دوره خشک صورت می‌گیرند تعداد خطاهای عایقی را در شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو افزایش می‌دهد. چراکه این مسئله باعث می‌گردد به‌جای پاک شدن سطوح عایقی و یا در حین فرآیند پاک شونده‌گی، سطوح آلودگی موجود بر روی سطح عایقی مرطوب گردیده و با ایجاد مسیر الکترولیت مناسب، میزان جریان نشتی را افزایش داده و با کاهش سطوح عایقی منجر به تخلیه سطحی گردند [۳۵].

۲-۸-۴- صاعقه و سطوح ایزوکرونیک منطقه

نظریه‌های بسیاری درباره وقوع رعدوبرق وجود دارد. رعدوبرق به شکل یک جرقه یا فلش ناشی از یک ابر شناخته‌شده است. عملکرد عایق‌ها در برابر اثرات رعدوبرق یک مسئله مهم برای خطوط توزیع می‌باشد. در هر منطقه در طول سال تعدادی رعدوبرق اتفاق می‌افتد که آمار این روزها می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری در مورد نحوه حفاظت خطوط در مقابل این پدیده طبیعی نماید. عملاً هنگام برآورد درصد تخلیه جوی در منطقه، از منحنی‌های ایزوکرونیک استفاده می‌شود و با استفاده از جداولی با توجه به آن و نوع مقره

مورد استفاده به طراحی عایقی مقره‌ها می‌پردازند. در هر حال تخلیه جوی بارهای الکتریکی در یک نقطه مانند تزریق مقدار زیادی بار الکتریکی در آن نقطه است که باعث افزایش ولتاژ به صورت موضعی می‌شود و این ولتاژ بسیار زیادی می‌تواند باعث شکست مقاومت عایقی مقره در برابر آن می‌شود و باعث اتصال کوتاه و یا از بین رفتن عایق شود. میزان اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه پارامتر تعیین‌کننده فاصله جرقه (فاصله یراق‌آلات بالایی تا یراق‌آلات پایینی) در مقره‌ها است [۳۶، ۳۷].

۲-۸-۵- بادو اثرات آن بر آلودگی سطوح مقره‌ها

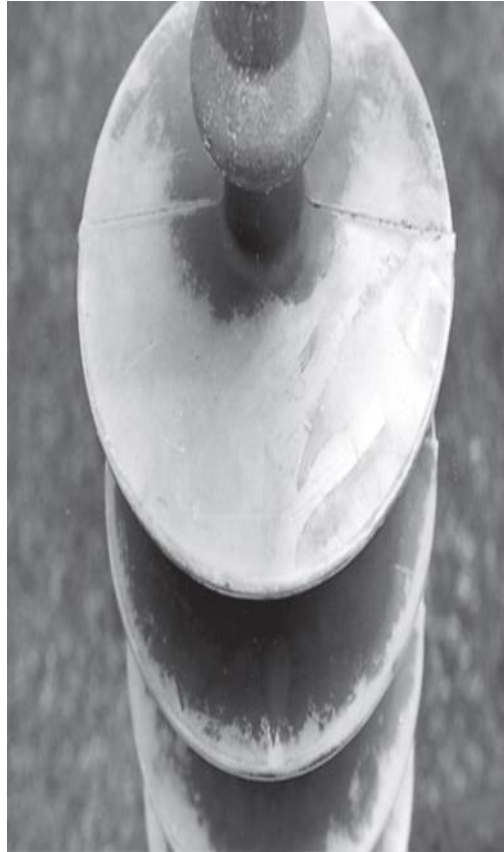
اثر باد در فرآیند جریان نشستی بسیار کم است، و همچنین عامل اصلی تمیز کردن سطح می‌باشد. بسته به سرعت باد، جهت باد و هندسه مقره، ذرات شن و ماسه به مدت طولانی در شرایط آب و هوایی معمول، یا با طوفان شن و ماسه و آلاینده‌ها بروی مقره قرار می‌گیرند. میزان این نشانندن آلودگی بر سطح مقره‌ها به شکل مقره، اندازه و دانسیته ذرات معلق و نیز سرعت جریان هوا بستگی دارد.

نقاطی از مقره که سرعت باد به حالت سکون می‌رسد و به مقادیر کوچک‌تری تبدیل می‌شود و ذرات میل بیشتری به نشستن دارند. به دلیل دانسیته بیشتر ذرات معلق در هوا، آن‌ها میل کمتری دارند که مطابق با تغییر مسیر و سرعت باد عمل کنند، بنابراین در سطح مقره و شیارهای عمیق و چترک‌ها در درازمدت ذرات معلق در هوا در این نقاط جمع می‌شوند و باعث مشکل واقعی می‌شود [۳۸].

۲-۸-۶- تشعشعات حرارتی و ماوراءبنفش خورشید

اشعه ماوراءبنفش (UV) یکی از عوامل محیطی است که باعث تخریب پلیمر می‌شود. مقره‌های که در فضای باز با نور مستقیم خورشید مورد استفاده قرار می‌گیرند، تحت اشعه قرار گرفته و بنابراین پیوند کووالانت را در پلیمرها ایجاد می‌کنند که سبب تغییر رنگ، کاهش وزن، شکنندگی سطح، تضعیف مکانیکی، تسریع پدیده پیری و کاهش خاصیت آب‌گریزی می‌شود. با این حال، تحقیقات با توجه به جنس مختلف مقره‌های پلیمری و پیشرفت مداوم در فناوری ساخت مواد کامپوزیتی هنوز نیز در حال انجام هست از موارد اصلی که به‌عنوان

عامل مهم شروع فرآیند پیری و فساد اولیه این نوع مقره ها می توان ذکر کرد تشعشع UV از خورشید است. در شکل ۲-۲۰ تصویری از یک مقره کامپوزیتی که دچار فرسایش به دلیل تأثیر اشعه ماوراءبنفش شده را نشان می دهد [۳۹].



شکل ۲-۲۰- تصویری از یک مقره کامپوزیتی که دچار فرسایش شده [۳۳].

۲-۹- تعریف آلودگی

تمام عوامل محیطی که باعث کاهش ولتاژ استقامت الکتریکی نسبت به شرایط متعارف می شوند آلودگی می باشند، جدول ۱-۲ طبقه بندی سطح آلودگی مناطق برحسب درجه آلودگی را نشان می دهد [۴۰].

جدول ۱-۲- دسته‌بندی مناطق برحسب سطح آلودگی [۴۱].

مشخصات محیط‌های آلوده	سطح آلودگی
<p>- ناحیه بدون کارخانه با تراکم پایین منازل مسکونی.</p> <p>- مناطق کوهستانی و کشاورزی.</p> <p>- مناطقی که در معرض باد و باران‌های متناوب قرار داشته باشند.</p> <p>- کلیه مناطق فوق باید حداقل ۵۰ کیلومتر از دریا فاصله داشته باشند و تحت هیچ شرایطی نباید در معرض بادهای دریایی قرار گیرند.</p>	سبک
<p>- مناطق صنعتی که دودهای آلوده‌کننده تولید نمی‌کنند و یا تراکم خانه‌های مسکونی در حد متوسط است.</p> <p>- مناطقی که چندین کیلومتر از دریا فاصله دارند.</p> <p>- مناطق مسکونی یا صنعتی با تراکم زیاد که در معرض باد و باران‌های متناوب قرار داشته باشند.</p> <p>- مناطقی که در معرض بادهای دریایی قرار دارند ولی نزدیک ساحل نیستند.</p> <p>حدود یک تا پنج کیلومتر فاصله از منابع آلودگی دارند.</p>	متوسط
<p>- مناطق با تراکم زیاد کارخانه‌ها و شهرهای بزرگ با تراکم زیاد.</p> <p>- مناطق نزدیک دریا و یا مناطقی که در معرض بادهای دریایی نسبتاً شدید قرار دارند.</p>	سنگین
<p>- ناحیه‌های با وسعت محدود توسعه‌یافته‌ای که در معرض ذرات کارخانه‌های صنعتی قرار دارند.</p> <p>- مناطق با وسعت محدود، خیلی نزدیک به دریا و در معرض قطرات آب و در معرض بادهای آلوده خیلی شدید دریایی قرار دارند.</p> <p>- نواحی خشک و تقریباً بارش باران در آن‌ها بسیار طولانی است و در معرض بادهای شدید حامل ماسه و نمک قرار دارند.</p>	خیلی سنگین

۲-۱۰- روش تعیین تعداد چترک مفره با توجه به مسئله آلودگی

سه روش برای تعیین تعداد مفره با توجه به مسئله آلودگی در استاندارد IEC 60815 بیان شده:

۱. استفاده از تجربه‌های گذشته: استفاده از تجربه آزمون گذشته یا خطوط موجود در محل.

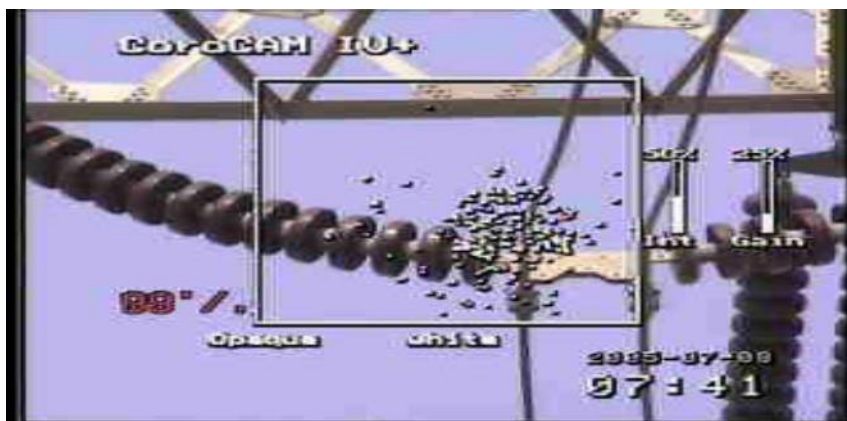
۲. اندازه‌گیری و آزمون: اندازه‌گیری یا تخمین میزان آلودگی

۳- طراحی: انتخاب نوع و اندازه عایق بر مبنای میزان آلودگی [۴۲].

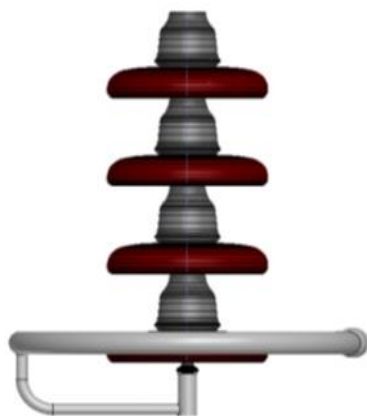
۲-۱۱- پدیده کرونا

تخلیه کرونا در سطح مفره زمانی رخ می‌دهد که شدت میدان الکتریکی بیش از شدت شکست هوا است. شرایط جوی که باعث تولید کرونا می‌شود، تراکم هوا و رطوبت است. رطوبت غیر یکنواخت باعث ایجاد میدان الکتریکی بالا می‌شود. این فعالیت بستگی به نوع و میزان خیس شدن و همچنین شدت میدان الکتریکی سطح دارد. مقدار خیس شدن بستگی به ویژگی‌های سطح (هیدروفوبیک یا هیدروفیلک) و نوع خیس شدن آن است که آیا باران، مه و... تولید می‌شود. مقدار میدان الکتریکی سطح بستگی به ابعاد حلقه درجه‌بندی، موقعیت آن و اتصالات پایان است. سطوح هیدروفوبیک کمتر باعث فعالیت تخلیه الکتریکی می‌شود. بدیهی است که کرونا سبب اتلاف انرژی الکتریکی و کاهش راندمان الکتریکی خطوط انتقال می‌گردد، پدیده کرونا در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است [۴۳، ۴۴].

نصب حلقه کرونا در مفره‌های پلیمری کاهش محسوسی در شدت میدان الکتریکی ایجاد می‌کند، باعث خطی‌تر شدن توزیع پتانسیل در امتداد طول مفره می‌شود و ایجاد پدیده کرونا را کاهش می‌دهد شکل ۲-۲۲ نمونه از حلقه کرونا نصب شده روی مفره را نشان داده می‌دهد. [۴۶].



شکل ۲-۲۱- نمونه از کرونا آشکار شده توسط دوربین کرونا بر روی مقره و اتصالات [۴۳].



شکل ۲-۲۲- نمونه از حلقه کرونا نصب شده بر روی مقره [۴۵].

فصل سوم

مواد و روش آزمایش

مقدمه

در این فصل مواد و تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق معرفی می‌شود و نحوه ساخت نمونه‌ها و آزمایش‌ها باهدف دستیابی به بهترین ترکیب جهت ساخت چترک و هسته مقره‌های کامپوزیتی بیان می‌گردد.

۳-۱- مواد مصرفی

مواد مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۳-۱ معرفی شده تمام این مواد از شرکت فناور صنعت پارس اصفهان تهیه شده است.

جدول ۳-۱- معرفی مواد اولیه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته

نام مواد	مدل	محصول
پلیمر سیلیکون	HTV(SHOR -70)	LTD کره جنوبی
تری هیدرات آلومینیوم	۵۰ میکرون	مرک آلمانی
اکسید تیتانیوم	۱۰ میکرون	مرک آلمانی
رزین اپوکسی	LY 5052	هانتسمن فرانسه
هاردنر	LY 5052	هانتسمن فرانسه
فیبر شیشه	سایزینگ بالا (۱۴۰۰)	LTD کره جنوبی

۳-۲- معرفی سیلیکون HTV

پلیمری که در این تحقیق استفاده شده سیلیکون HTV است. متشکل از یک زنجیره بلند الاستومری دارای گروه‌های وینیل است که پس از میکس با پرکننده‌ها و تحت دمای بالا (به‌طور متوسط ۱۲۰ الی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) ولکانیزه می‌گردند، در شکل ۳-۱ تصویریری از سیلیکون مصرفی جهت ساخت چترک‌ها را نشان می‌دهد، در جدول ۳-۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیلیکون HTV ارائه شده است.



شکل ۳-۱- تصویری از سیلیکون HTV.

جدول ۳-۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی و الکتریکی سیلیکون HTV.

وزن مخصوص	(gr/cm^3)	۱/۵۴
سختی	(shore A)	۷۰
استحکام کششی	(kgf / cm^2)	۴۵
پایداری حرارتی	($^{\circ}\text{C}$)	۲۵۰ تا -۵۰
قدرت دی‌الکتریک	(kV/mm)	۲۳

۳-۲-۱ خصوصیات سیلیکون HTV عبارت‌اند از:

- مقاومت در برابر دما

مقاومت در برابر دما یکی از فوق‌العاده‌ترین خصوصیات سیلیکون رابر است. کاربرد سیلیکون‌ها تا دمای 200°C تقریباً بدون جایگزین است. به‌گونه‌ای که تا ۱۰,۰۰۰ ساعت کار مداوم را می‌توان انتظار داشت و البته در صورتی که دما به‌صورت لحظه‌ای تا 300°C نیز افزایش یابد کارایی منحصر به فرد سیلیکون کماکان برقرار خواهد ماند.

- مقاومت در برابر سرما

مقاومت در برابر سرما نیز از خصوصیات شاخص سیلیکون، به گونه‌ای که سایر پلیمرها از دمای 300°C - الی 250°C - خصوصیات الاستیسیته خود را از دست داده و کارایی ندارد ولی سیلیکون در دمای 70°C - الی 55°C - کماکان خصوصیات الاستیسیته خود را حفظ می‌نماید. برخی از محصولات و گروه سیلیکون‌ها توان تحمل سرما تا 100°C - با حفظ خصوصیات فیزیکی و الاستیسیته را دارند.

- مقاومت محیطی

از مهم‌ترین خصوصیات سیلیکون‌ها به گونه‌ای که با هیچ پلیمر دیگری قابل قیاس نیست، مقاومت محیطی در برابر شرایط آب و هوایی ازون، UV و باد و باران و سایش حاصل از ریز گرد و عدم جذب آلودگی به همراه خود پالایندگی است. این خصوصیات و مقاومت الکتریکی سبب استفاده گسترده در پوشش‌های عایقی نظیر انواع مقره توزیع، فوق توزیع و انتقال و انواع سیم و کابل شده است.

- خواص الکتریکی

خواص الکتریکی بی نظیر سیلیکون سبب استفاده در طیف وسیعی از محصولات نظیر انواع عایق‌ها، سیم و کابل و مقره گردیده است. سیلیکون‌ها با مقاومت حجمی از $10^{14}\text{ Cm}\Omega$ تا $10^{16}\text{ Cm}\Omega$ و با کمترین تغییر با کارایی در محیط‌های مرطوب، سخت و آلوده و نقاطی که استفاده ایمن و پایدار حائز اهمیت است، مورد کاربرد هست. مقاومت در برابر تخلیه کرونا به همراه سایر خصوصیات فوق‌العاده سیلیکون انتخاب برتر در محیط‌های برق فشارقوی است.

- مقاومت در برابر بخار

در سخت‌ترین شرایط و استفاده مداوم و طولانی مدت سیلیکون رابر فقط امکان جذب رطوبت را حداکثر به میزان ۱٪ دارد و بدون تغییر در شرایط عملکردی آن همچنان بازده بسیار مطمئن خواهد داشت. در صورت

نیاز به عملکرد در دمای بیش از 150°C و یا تحت فشار بالا گروه‌های ویژه از سیلیکون‌های بهبود یافته مورد کاربرد است.

- مقاومت در برابر آتش

سیلیکون‌ها در زمان مجاورت با آتش به راحتی آتش نخواهند گرفت. خصوصیات خود خاموش شونده سیلیکون نیز ویژگی بسیار مهم در این زمینه است. سیلیکون‌ها نیز در زمان سوختن نظیر سایر مواد مقادیر ناچیز گازهای سمی تولید می‌کنند که این مقدار قابل اغماض، حاوی مواد هالوژن نیست.

- ضد روغن

سیلیکون‌های RTV مناسب استفاده در گروه ضد روغن نبوده و می‌بایست از گروه سیلیکون‌های HTV استفاده کرد. سیلیکون‌ها در زمان تماس با انواع روغن اتومبیل متورم نشده و تأثیرپذیر نخواهند بود. سیلیکون‌ها از حلال‌های قطبی نظیر بنزین و گازوئیل تأثیر پذیرفته و پس از خروج از محیط آلوده مجدد سعی در بازیافت خصوصیات ذاتی خود رادارند.

۳-۳- معرفی تری هیدرات آلومینیوم ATH

تری هیدرات آلومینیوم که به‌عنوان تقویت‌کننده در این تحقیق استفاده شده در شکل ۳-۲ نشان داده شده و در جدول ۳-۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی ارائه شده است.



شکل ۳-۲- تصویری از ذرات تقویت‌کننده تری‌هیدرات آلومینیوم.

جدول ۳-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی تری‌هیدرات آلومینیوم.

Al(OH) ₃	فرمول شیمیایی
جامد	حالت فیزیکی
پودر	شکل فیزیکی
سفید	رنگ
بدون بو	بو
۲/۴۲ gr/cm ³	وزن مخصوص
به‌طور واقعی در دمای اتاق صفر است.	فشار بخار
در دمای ۳۰۰°C آب خود را از دست می‌دهد.	نقطه ذوب

۳-۳-۱- خصوصیات تری‌هیدرات آلومینیوم

مقاومت در برابر فرسایش و سایش

عملکرد خوب در شرایط آلودگی

مقاومت در برابر شرایط جوی

۳-۳-۴- معرفی اکسید تیتانیوم TiO₂

اکسید تیتانیومی که به‌عنوان تقویت‌کننده در این تحقیق استفاده شده در شکل ۳-۳ نشان داده شده و در

جدول ۳-۴ مشخصات فیزیکی و شیمیایی ارائه شده است.



شکل ۳-۳- تصویری از ذرات تقویت‌کننده اکسید تیتانیوم.

جدول ۳-۴- مشخصات فیزیکی و شیمیایی اکسید تیتانیوم.

TiO ₂	فرمول شیمیایی
جامد	حالت فیزیکی
پودر	شکل فیزیکی
سفید	رنگ
کم بو	بو
۴/۲۳ g/cm ³	وزن مخصوص
۱۸۴۳ °C	دمای ذوب
۲۹۷۲ °C	دمای جوش

۳-۴-۱- خصوصیات اکسید تیتانیوم TiO₂

ضد آب بودن

خودتمیزشوندگی

ضد باکتری بودن

مقاومت در برابر اشعه فرابنفش خورشید

خواص فوتوکاتالیستی

۳-۵- معرفی رزین اپوکسی و هاردنر LY 5052

رزین اپوکسی به عنوان زمینه در این تحقیق برای ساخت هسته مفره استفاده شده، در شکل ۳-۳ تصاویر رزین

و هاردنر نشان داده شده و در جدول ۳-۵ مشخصات فیزیکی و شیمیایی رزین اپوکسی LY 5052 و در جدول

۳-۶ مشخصات فیزیکی و شیمیایی هاردنر LY 5052 ارائه شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۴- (الف) تصویر رزین اپوکسی LY 5052 (ب) تصویر هاردنر LY 5052.

جدول ۳-۵- مشخصات فیزیکی و شیمیایی رزین اپوکسی LY 5052.

رنگ	مابع روشن
بو	بدون بو
ویسکوزیته	۱۰۰۰-۱۵۰۰ cpc
چگالی	۱/۱۷ g/cm ³
نقطه اشتغال	۱۴۰ °C
شرایط مخلوط سازی با هاردنر	برای مخلوط رزین و هاردنر در ۲۵ درجه سانتی گراد

جدول ۳-۶- مشخصات فیزیکی و شیمیایی هاردنر LY 5052.

رنگ	شیری رنگ
بو	بو خیلی کم
ویسکوزیته	۴۰-۶۰ cpc
چگالی	۰/۹۴ g/cm ³
نقطه اشتغال	۱۱۰ °C

۳-۵-۱- خصوصیات رزین اپوکسی LY 5052

۳- قابلیت لایه گذاری با الیاف شیشه، کولار و کربن

- خواص مکانیکی و استحکام بسیار بالا (قابل استفاده در صنعت هوایی)

- گرانروی پایین

- در برابر مواد شیمیایی مقاوم

- چسبندگی بسیار خوبی

- انقباض کم

- قدرت تحمل نیروهای فشاری بالا

- مقاومت خوبی در برابر سایش

- مقاومت خوبی در حرارت‌های بالا

۳-۶- معرفی فیبر شیشه

الیاف شیشه تارهای بسیار باریک از جنس شیشه با سایزینگ ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۱۴۰۰ و طول نامحدود است الیاف شیشه می‌تواند با قطری از ۵ تا ۲۵ میکرون تولید گردد. E-glass با ترکیب آلومینو بوروسیلیکات که در آن درصد قلیایی‌ها حداکثر به ۲٪ می‌رسد. این الیاف در ساخت فرآورده‌های FRP^{۱۱} و ساخت قطعات الکترونیکی که نیاز به مقاومت کششی و الکتریکی بالا دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند، در شکل ۳-۵ تصویر از دوک فیبر شیشه، جدول ۳-۷ مشخصات فیبر E-glass ارائه شده است.



شکل ۳-۵- تصویر دوک فیبر شیشه.

¹¹ Fiber Reinforced Polymer

جدول ۳-۷- مشخصات فیبر شیشه.

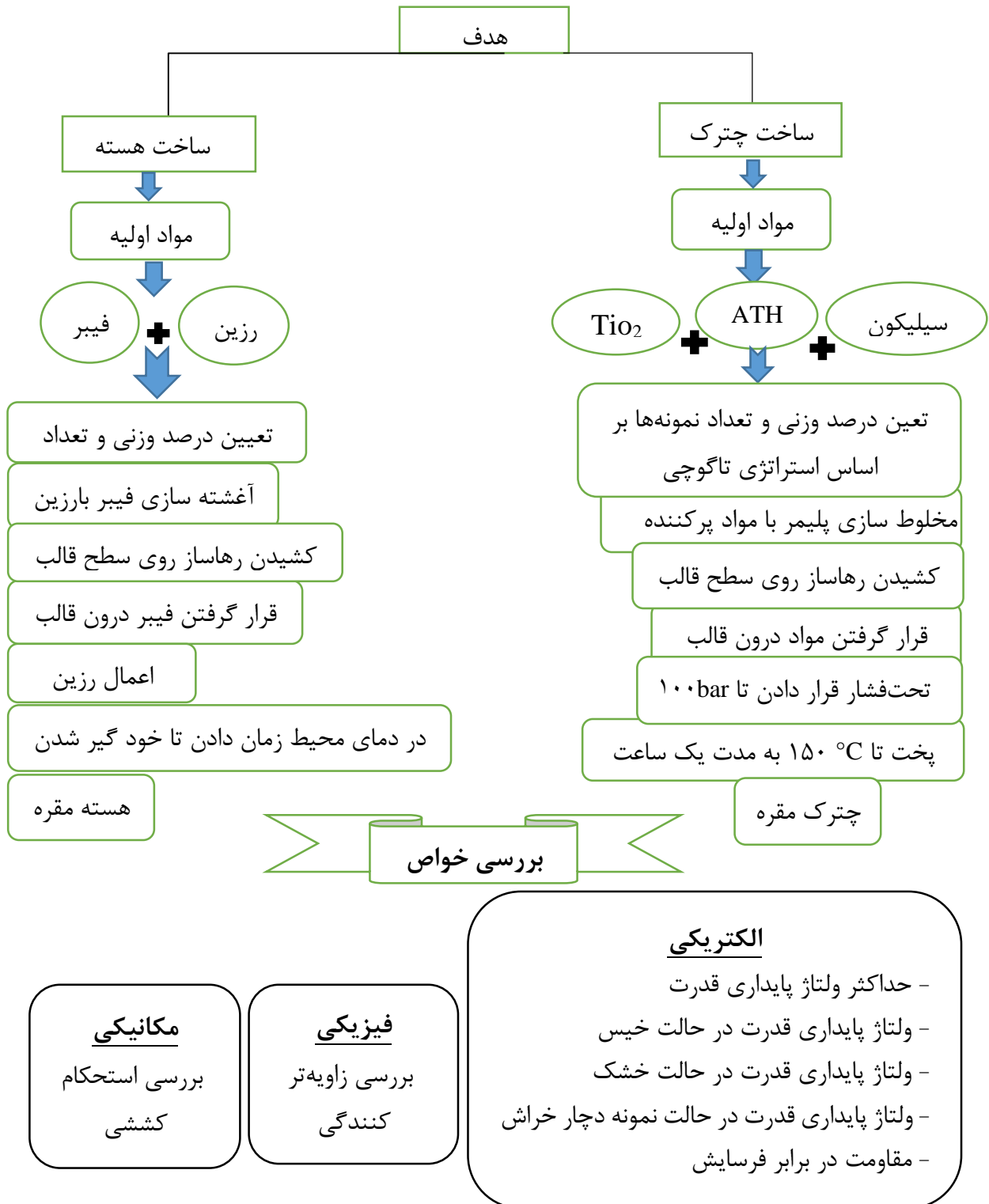
E – Glass	نوع الیاف شیشه
۲/۶	چگالی gr/cm ³
۳۴۴۵	مقاومت کششی MPa
۷۲/۴	ضریب ارتجاعی GPa
۴/۸	افزایش طول. %

۳-۶-۱ خصوصیات فیبر شیشه

- عایق الکتریکی خوبی
- قیمت پایین
- استحکام کششی بالا
- مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی
- مدول الاستیسیته خوب
- در برابر خوردگی مقاوم است

۷-۳- روش آماده‌سازی نمونه:

شکل ۳-۶ طبقه‌بندی روش آماده‌سازی نمونه‌های این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶- طبقه‌بندی روش آماده‌سازی نمونه‌ها.

۳-۸- جدول طراحی

در جدول ۳-۸ مبنای طراحی مقره در سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ کیلوولت ارائه شده است.

جدول ۳-۸- پارامترهای طراحی مقره در سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ (kV).

پارامتر	واحد	پارامتر	پارامتر
ولتاژ کارکرد	kV	۱۷/۵	۲۴
حد ولتاژمتناوب (فرکانس قدرت)	kV	۳۸	۵۰
قطر چترک	mm	۱۲۰	۱۲۰
قطر هسته	mm	۲۲	۲۲
حدود بار وارده در شرایط نرمال	kN	۱۵	۱۷
تعداد چترک	قالب	۳	۴

۳-۹- شرح روش آماده‌سازی چترک‌ها

۳-۹-۱- تعیین درصد ترکیب و تعداد نمونه‌ها

در تحقیق حاضر تعداد نمونه‌ها و درصد ترکیب هریک از نمونه‌ها بر اساس استراتژی تاگوچی تعیین شد که تعداد کامل آزمایش‌ها ممکن N عبارت است از: $N = L^m$ که در آن L تعداد سطوح انتخاب شده در هر فاکتور و m تعداد فاکتورهای تحت بررسی است، جدول شماره ۳-۹ ترکیب و تعداد نمونه‌ها چترک، جدول شماره ۳-۱۰ ترکیب و تعداد نمونه‌های هسته را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۹- درصد ترکیب و تعداد نمونه‌ها چترک ساخته شده.

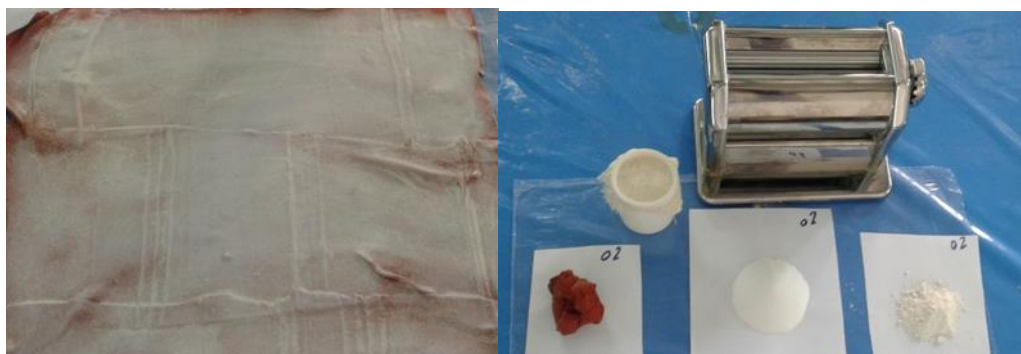
نام نمونه	ترکیب شیمیایی	ATH %	TiO ₂ %
S ₁	HTV 100		
S ₂	HTV75 /ATH25	٪۲۵	-
S ₃	HTV60 / ATH40	٪۴۰	-
S ₄	HTV 95 / TiO ₂ 5	-	٪۵
S ₅	HTV75 / TiO ₂ 25	-	٪۲۵
S ₆	HTV70 / TiO ₂ 5 / ATH25	٪۲۵	۵٪
S ₇	HTV65 / TiO ₂ 5 / ATH40	۴۰٪	۵٪
S ₈	HTV50 / TiO ₂ 25 / ATH25	٪۲۵	٪۲۵
S ₉	HTV35 / TiO ₂ 25 / ATH40	٪۴۰	٪۲۵

جدول ۳-۱۰- درصد ترکیب و تعداد نمونه‌های هسته ساخته شده.

نام نمونه	ترکیب شیمی‌ای	درصد وزنی٪ فیبر شیشه	درصد وزنی٪ هاردنر
H1	R 65/ E10	٪۱۰	٪۲۵
H2	R 62/ E13	٪۱۳	٪۲۵
H3	R 60/ E15	٪۱۵	٪۲۵

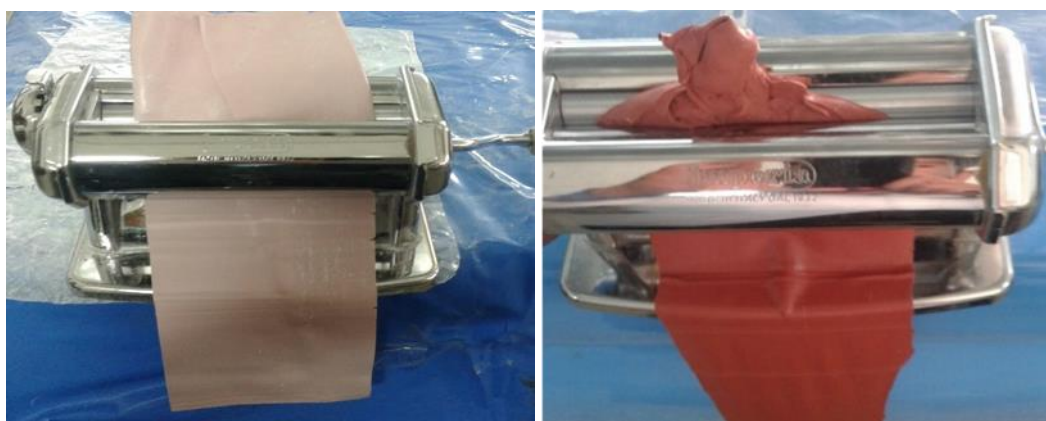
۳-۹-۲- مخلوط سازی

دستگاه مخلوط‌کن غلتکی تشکیل شده از دو استوانه که در خلاف جهت هم می‌چرخند. جنس این رول‌ها معمولاً از چدن‌های مقاوم در برابر خش، سایش و مقاوم در برابر مواد شیمیایی است. رول‌ها متحرک هستند و فاصله دو غلتک با حرکت دادن غلتک جلویی تنظیم می‌گردد، (این کار معمولاً به وسیله پیچ دستی صورت می‌گیرد)، سیلیکون تحت نور قرار داده شده و طی هر مرحله درصد مشخصی از فیلر ATH و TiO_2 روی سطح سیلیکون به نحو یکسان پخش می‌شود. تکرار دفعات نور تا اینکه به طور کامل ترکیب همگن شود انجام می‌گیرد همان طور که در تصاویر شکل ۳-۷ در قسمت الف، ب، ج، مشاهده می‌کنید تمام مراحل مخلوط سازی تا اینکه به یک مخلوط همگن برسیم را نشان می‌دهد.



(ب)- پخش کردن ذرات تقویت کننده

(الف)- تعیین کردن ترکیب

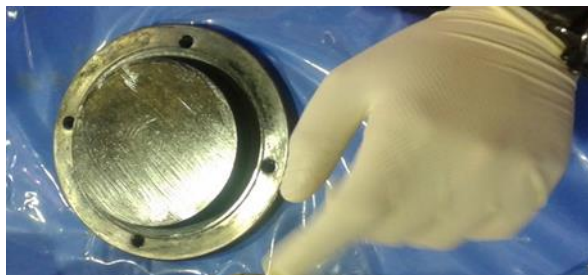


(ج)- تکرار مراحل نور تا همگن شدن

شکل ۳-۷- مراحل مخلوط سازی سیلیکون رابر با ذرات تقویت کننده.

۳-۹-۳ - کشیدن رهاساز روی سطح قالب

ابتدا رهاساز روی سطح قالب کشیده می‌شود تا جدا کردن قطعه ساخته‌شده به سهولت انجام بگیرد که در این تحقیق از گریس نسوز که تحمل دمایی تا ۱۸۰ درجه داشته استفاده شد. نمونه از نحوه کشیدن رهاساز روی سطح قالب، در تصویر شکل ۳-۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۸- کشیدن رهاساز روی سطح قالب.

۳-۹-۴ - قرار گرفتن مواد درون قالب

بعد از اینکه سطح قالب به‌طور کامل رهاساز کشیده شد، صفحه‌های مشخصی از سیلیکون‌رابر که به‌صورت یکنواخت مخلوط سازی شده، در داخل قالب چترک قرار داده می‌شود. در تصویر شکل ۳-۹ نحوه قرار گرفتن مواد درون قالب را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹- نحوه قرار گرفتن مواد درون قالب.

۳-۹-۵ - قرار دادن قالب تحت پرس گرم

بعد از اینکه مواد را درون قالب قرار دادیم، قسمت بالای قالب در محل خود قرار داده می‌شود و به‌طور کامل پیچ‌های قالب سفت شده است. در ادامه دیواره پشت قالب را از هرگونه آلودگی پاک کرده و المنت را دور قالب قرار می‌دهیم.

این المنت عایق الکتریکی از سرامیک هست که به صورت حلقه‌ای دارای روکش گالوانیزه و همچنین یک لایه ورق آزیست به عنوان عایق حرارتی در بین المنت و روکش تعبیه می‌شود تا حرارت تولیدی فقط به دور المان مورد نظر انتقال یابد، با این روش پرت حرارتی کمتر و در نتیجه کارایی المنت بیشتر می‌شود. نوع سرامیک استفاده شده به گونه‌ای است که در حجم معینی توان حرارتی بیشتری تولید می‌گردد. باید توجه شود که در حین کار المنت جابه‌جا نشود و سطح تماس با قالب برقرار باشد در ادامه قالب همانند تصویر شکل ۳-۱۰ زیر پرس قرار می‌گیرد و به طور آهسته تا ۱۰۰ bar فشار اعمال می‌شود و با رسیدن فشار به مقدار مدنظر شیر هیدرولیک بسته شده تا فشار کاهش پیدا نکند. همچنین هم‌زمان با اعمال فشار، المنت روشن شده و از طریق ترموکوپل که به قالب اتصال داده شده دما از طریق تابلو کنترل می‌شود تا به 150°C برسد، در این دما به مدت زمان یک ساعت نگه‌داشته می‌شود تا پخت انجام شود و بعد از اتمام این زمان به قالب اجازه می‌دهیم در دمای محیط سرد شود تا اتمام سرد شدن فشار همچنان ثابت نگه‌داشته می‌شود. در شکل ۳-۱۱ نمونه‌ای چترک ساخته شده با این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰- قرار دادن قالب تحت پرس گرم.



شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای چترک ساخته‌شده.

۳-۹-۶- نصب یراق آلات

یراق آلات مقره‌های کامپوزیتی از آلومینیوم، فولاد و چدن توسط فرآیندهای ریخته‌گری، ماشین‌کاری و فرج ساخته می‌شوند. همانند تصویر شکل ۳-۱۲ اتصالات دقیقاً در مرکز چترک نصب شده است. این اتصالات از جنس فولاد است که هادی جریان الکتریکی می‌باشد، وظیفه این اتصالات برای اعمال ولتاژ به عایق که از یک طرف جریان اعمال و از یک طرف جریان اتصال به زمین وصل می‌شود.



شکل ۳-۱۲- نصب یراق آلات روی چترک.

۳-۱۰- شرح روش آماده‌سازی هسته

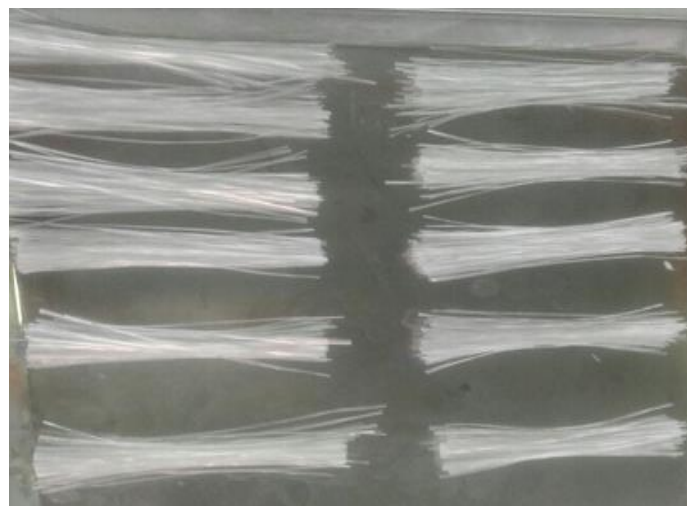
۳-۱۰-۱- ساخت هسته

در این تحقیق هسته کامپوزیتی از طریق روش لایه گذاری دستی ساخته شده است. الیاف شیشه به صورت دوک‌های دسته الیاف است که برای این فرآیند مناسب نیستند، جهت استفاده فیبرها شیشه به اندازه طول قالب با طول‌های یکسان قطع شده، دسته الیاف نتابیده‌ای که در این فرآیند استفاده می‌شود، به صورت تک

جهته در طول قطعه قرار می گیرند که نمونه کار در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. عمل آغشته شدن الیاف بارزین به روش حمام باز انجام می شود. در روش حمام باز رزین به همراه کلیه اجزا موردنظر درون یک ظرف ریخته شده و الیاف با عبور از داخل ظرف با سیستم رزین آغشته می شوند.

جهت کاهش گرانبوی سیستم رزین حمام چند دقیقه در دمای محیط نگه داشته می شود تا آغشته سازی الیاف بهتر انجام شود. عوامل مؤثر در آغشته سازی شامل: تنش الیاف، ویسکوزیته رزین، زمان اقامت الیاف در حمام رزین (تابع سرعت سیستم) و سطح تماس الیاف بارزین است. الیاف شیشه درون رزین قرار میگیرد تا کاملاً به رزین آغشته شود، تک جهته نگه داشتن الیاف داخل رزین بسیار مهم است و در افزایش استحکام کششی قطعه بسیار مؤثر است. آغشته سازی الیاف بارزین به همان اندازه که جهت آرایش الیاف حائز اهمیت مهم است. در شکل ۳-۱۴ فرایند آغشته سازی فیبر بارزین نشان داده شده است.

پس از آغشته سازی، الیاف آغشته شده وارد قالب می شود و بعد از قرار دادن فیبرها داخل قالب فضای خالی باقی مانده با رزین پمپ می شود تا به طور کامل قالب پر شود. شکل ۳-۱۵ مرحله پمپ کردن رزین را نشان می دهد. در ادامه به قالب زمان می دهیم تا به طور کامل خود گیر شود و بعد از ۸ ساعت نمونه از داخل قالب خارج می شود. شکل ۳-۱۶ نمونه های ساخته شده با این روش را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۳- نمونه الیاف شیشه برش خرده.



شکل ۳-۱۴- آغشته سازی فیبر بارزین.



شکل ۳-۱۵- مرحله تزریق کردن رزین.



شکل ۳-۱۶- نمونه هسته ساخته شده.

۳-۱۱- روش کار انجام آزمون‌ها

مبنای مشخصات فنی در این دستورالعمل و رویه‌های انجام آزمایش‌ها برای کنترل شاخص‌های موردنظر، به ترتیب استانداردهای صنعت برق کشور، استانداردهای ملی کشور، استانداردهای بین‌المللی (با تأکید بر IEC) و استانداردهای کشورهای صنعتی پیشرفته است.

۳-۱۱-۱- آزمون تعیین حداکثر ولتاژ پایداری

حداکثر ولتاژی که باعث ایجاد جرقه روی سطح مفره نمی‌شود، توسط استاندارد IEC مشخص شده است. البته این مقدار برای شرایط جوی استاندارد داده می‌شود. شرایط جوی استاندارد برای آزمایش‌های استاندارد دما $T=20^{\circ}\text{C}$ ، فشار $P=760\text{ mmHg}$ و رطوبت 11 gr water/m^3 است. حال برای انجام آزمون نمونه باید عاری از هرگونه آلودگی باشد. لذا اطراف نمونه را پولیش کرده، سطح نمونه را با الکل کاملاً شستشو داده و چترک در محل مشخص شده روی حلقه قرار گرفته، باید دقت کرد سطح چترک کاملاً در یک سطح باشد در ادامه کابل‌های اعمال ولتاژ به دو سر چترک وصل می‌شود و از طریق تابلو کنترل ولتاژ (با افزایش خطی) اعمال می‌گردد. در شکل ۳-۱۷ تابلو کنترل نشان داده شده، با مشاهده اولین جرقه یا قوس در سطح چترک ولتاژ ثبت می‌شود که به‌عنوان حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت مطرح می‌شود. ترتیب قرار گرفتن چترک در آزمون در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است.

در نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش باید ضریب محیط آزمایشگاهی را هم اعمال کرد تا مقدار ولتاژ تخلیه الکتریکی در شرایط استاندارد 20°C و 760 mmHg به دست آید. برای اعمال فشار و دما بر اساس استاندارد IEC 60-1 عمل شده، ضریب k از معادله ۳-۱ محاسبه و عدد ولتاژ بر این ضریب تقسیم می‌شود [۴۶].

$$k = \frac{0.358 \times p}{273+t} \quad (1-3)$$

که در آن P فشار برحسب mmHg و t دما برحسب $^{\circ}\text{C}$ است.

تجهيزات بکار رفته در انجام آزمون:

- منبع تغذیه $220\text{ V}/100\text{ kV}$
- تابلو کنترل جهت کنترل و اعمال ولتاژ
- فشارسنج دیجیتال
- دماسنج دیجیتال
- تایمر جهت اندازه گیری زمان



شکل ۳-۱۷- تابلو کنترل جهت کنترل و اعمال ولتاژ.



شکل ۳-۱۸- نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت.

۳-۱۱-۲- آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک

آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک بر اساس شرایط مطرح شده در استانداردهای مرجع IEC 60-1، IEC383-1 و IEC61109 (بند ۱) انجام شده است [۴۷، ۴۸].

تجهیزات بکار رفته در انجام آزمون و آماده سازی نمونه همانند آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت است. این آزمون مطابق با استاندارد در مدت ۶۰ ثانیه ولتاژ موردنظر به چترک اعمال می شود و طبق استاندارد در این زمان نباید هیچ جرقه یا قوس یا افزایش یا کاهش ولتاژ بر روی مفره رؤیت شود و نتایج به دست آمده از آزمایش باید ضریب محیط آزمایشگاهی را هم اعمال کرد. شکل ۳-۱۹ نمونه تحت آزمون را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۹- نمونه تحت آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک.

۳-۱۱-۳- آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس

آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس بر اساس شرایط مطرح شده در استانداردهای مرجع IEC 60-1، IEC383-1 و IEC61109 بند ۱ انجام شده است. شرایط عمومی آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس بر اساس شرایط مطرح شده در استناد IEC60-1 بند (۲-۹) است که این شرایط به شرح ذیل می باشند.

- نرخ پاشش آب ($0.3 \pm 3 \text{ mm/mm}$)

- زاویه پاشش آب 45° نسبت به قائم

- درجه حرارت آب 15°C

مقره در وضعیت شکل ۳-۲۰ قرار گرفته بر اساس استاندارد IEC 60-1 ابتدا مرحله پیش خیس کردن سطح و رطوبت (باران مصنوعی) با کمک دو آبپاش افقی و عمودی بر روی چترک انجام شده، ولتاژ ایستادگی را به آن اعمال می کنند و در هر ثانیه ۲٪ افزایش می دهند تا به ولتاژ آزمون برسد و برای یک دقیقه ثابت باقی بماند. با مشاهده اولین جرقه یا قوس در سطح چترک ولتاژ ثبت می شود. ضریب تصحیح محیطی نیز اعمال می گردد.



شکل ۳-۲۰- نمونه تحت آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس.

۳-۱۱-۴- آزمون حداکثر ولتاژ پایداری در حالت خشک زمانی که چترک دچار خراش

به وجود آمدن خراش در سطح چترک یکی از مشکلاتی هست که احتمال به وجود آمدنش در مقره های کامپوزیتی وجود دارد. این آزمون به طور تجربی با نظر کارکنان آزمایشگاه فشارقوی انجام شد. شرایط آزمون همانند آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت بوده و فقط با این تفاوت که یکی بریدگی در سطح و لبه همانند شکل ۳-۲۱ ایجاد شده و نتایج با حالت چترک سالم بوده مقایسه شود که چقدر افت ولتاژ ایجاد شده است.

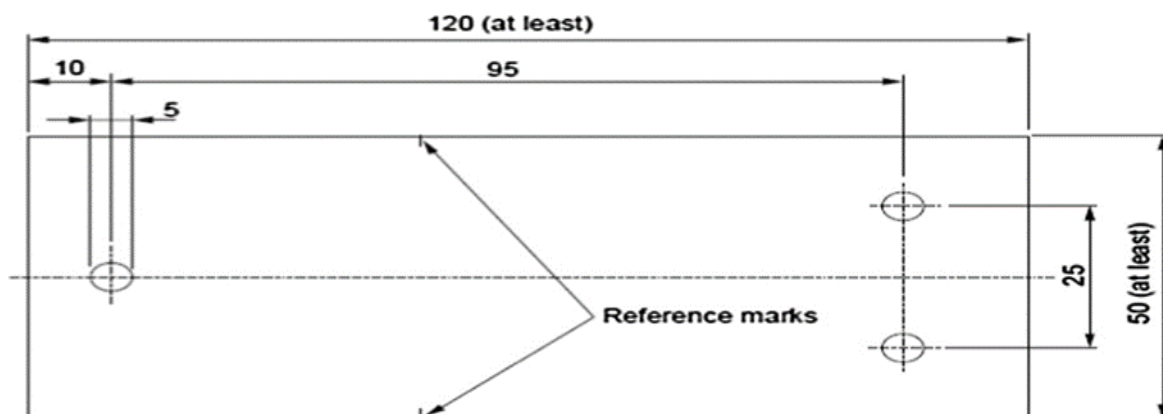


شکل ۳-۲۱-آزمون حداکثر ولتاژ پایداری در حالت خشک زمانی که چترک دچار خراش.

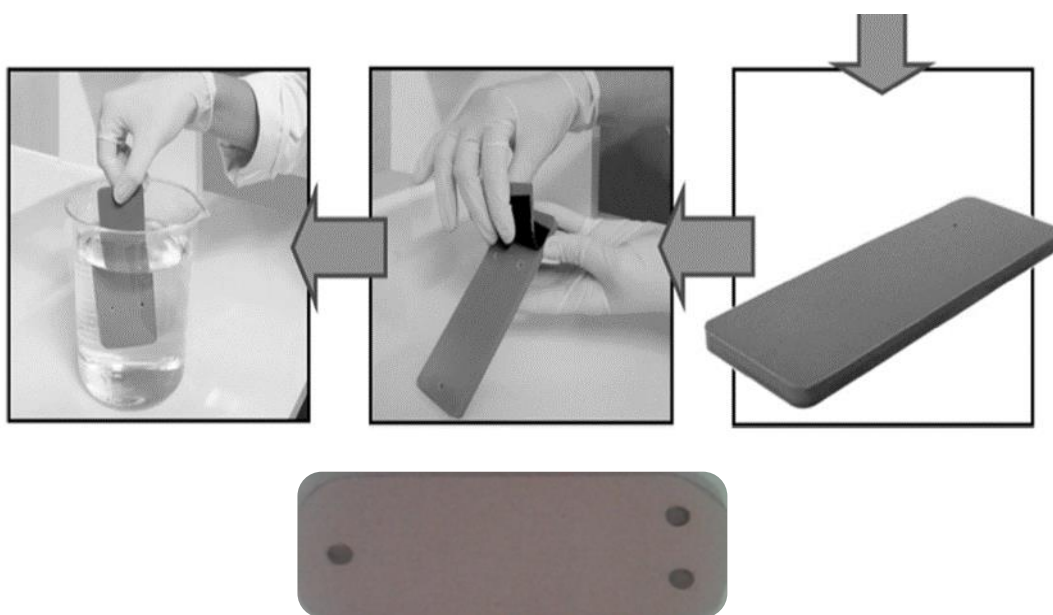
۳-۱۱-۵- آزمون مقاومت در برابر فرسایش

اندازه‌گیری فرسایش چترک‌ها بر اساس استاندارد IEC 60587 انجام شده که نمونه‌ها با اندازه (50mm - 6 mm-120mm) در شکل ۳-۲۲ مطابق استاندارد نشان داده شده است. برای از بین بردن آلودگی ممکن حاصل از فرآیند قالب‌گیری سطح نمونه بعد از قالب‌گیری با سنباده ۱۲۰۰ پرداخت کامل انجام شده. بعد از پرداخت کاری نمونه‌ها با آب غیر یونیزه شده فروبرده شده‌اند و آب‌کشی شده و بعد با الکل پردازش شده و سرانجام نمونه‌ها در درجه حرارت آزمایشگاه (23 ± 2 °C) به مدت ۲۴ ساعت خشک شده است. مراتب کاری در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده در ادامه هر نمونه به وسیله ترازوی دیجیتال چهار رقم اعشار دقیق اندازه گرفته و ضبط شده است که در شکل ۳-۲۴ نشان داده شده است.

نمونه‌ها را همانند شکل ۳-۲۵ در ستاپ طراحی شده قرار داده و به کابل‌های اعمال ولتاژ وصل شده است. یک ولتاژ ۶ kV ثابت در طول شش ساعت به نمونه‌ها اعمال شده و پس از اتمام زمان مدنظر نمونه‌ها دوباره با استفاده از ترازو وزن شده و تفاوت بین اندازه‌گیری، قبل و بعد از آزمون ثبت شده است. درصد کاهش وزن میزان فرسایش برای هر نمونه را نشان می‌دهد [۴۹، ۵۰].



شکل ۳-۲۲- اندازه نمونه‌ها آزمون فرسایش بر اساس استاندارد [۴۹].



شکل ۳-۲۳- مراحل آماده‌سازی نمونه آزمون فرسایش.



شکل ۳-۲۴- ترازوی دیجیتال.



شکل ۳-۲۵- نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون فرسایش.

۳-۱۲- آزمون انرژی سطحی

اگر یک قطره مایع روی سطح جامد قرار بگیرد قطره مایع می‌تواند با زاویه تماس صفر درجه روی سطح پخش شود، یا زاویه قابل اندازه‌گیری θ را ایجاد کند. آنالیز شکل قطره یا قطره چسبیده روی سطح چترک به وسیله دستگاه انرژی کشش سطحی IFT^{۱۲} با آنالیز تصویر قطره موجود بر سطح جامد به منظور تعیین زاویه تماس استفاده شده است. قطره مایع روی سطح قرار می‌گیرد که به آن قطره چسبیده گفته می‌شود. تصویر این قطره توسط یک دوربین ثبت می‌شود و به نرم‌افزار آنالیز شکل قطره منتقل می‌شود و نرم‌افزار زاویه تماسی قطره با سطح چترک را به ما می‌دهد، شکل ۳-۲۶- دستگاه IFT مورد استفاده قرار گرفته در آزمون را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۶- دستگاه IFT مورد استفاده قرار گرفته.

¹² interfacial tension

۳-۱۳- آزمون کشش

هسته مقرر بر اساس جدول طراحی ساخته شده این آزمون بر مبنای آزمون‌های مکانیکی مطرح شده در استاندارد IEC 61109 بند ۱۳,۱ با توجه به خواص خزشی مواد مصرفی در ساخت عایق‌های کامپوزیتی و افت استحکام آن‌ها با زمان که در ارزیابی خواص مکانیکی مقرر باید مورد توجه قرار بگیرد. آزمون کشش با دستگاه سرو هیدرولیک انجام گرفته در شکل ۳-۲۷ نشان داده شده است. دستگاه دارای مدار قدرت هیدرولیکی است و مطابق با ابعاد نمونه لودسل مورد نظر روی دستگاه بسته شده و نیرو توسط دو لودسل اندازه‌گیری می‌شود. دو فک هیدرولیکی با دو گیره باز و بسته می‌شود، بار اعمالی برای نرم‌افزار دستگاه تعریف کرده به دستگاه اجازه شروع کشش می‌دهیم. بار اعمال شده بر حسب زمان روی مانیتور قابل مشاهده است و آزمایش تا لحظه شکست ادامه دارد تا بار نهایی متحمل شده بر حسب زمان توسط نمونه مشخص شود. لحظه شکست در شکل ۳-۲۷ قسمت (ب) نشان داده است [۴۸].



(ب)



(الف)

شکل ۳-۲۷- (الف) دستگاه سرو هیدرولیک INSTRON ۸۸۰۲ آزمون کشش (ب) لحظه شکست نمونه.

۳-۱۴- آزمایش مقره کامپوزیتی ۲۴ kV باروکش RTV مورد استفاده در خطوط انتقال

همان طور که در شکل ۳-۲۸ مشاهده می‌کنید، در قسمت الف یک نمونه مقره کامپوزیتی ۲۴kV مورد استفاده در خطوط انتقال شهرستان جغتای هست که تحت آزمون حداکثر ولتاژ پایداری قدرت در حالت خشک و خیس قرار گرفته، تمام شرایط آزمون طبق همان نمونه چترک های قبل می‌باشد. در شکل ۳-۲۸ قسمت (ج، د) نمونه چترک های جدا شده از همین مقره که تحت آزمون قرار گرفته نشان داده شده است.



ج

ب

الف

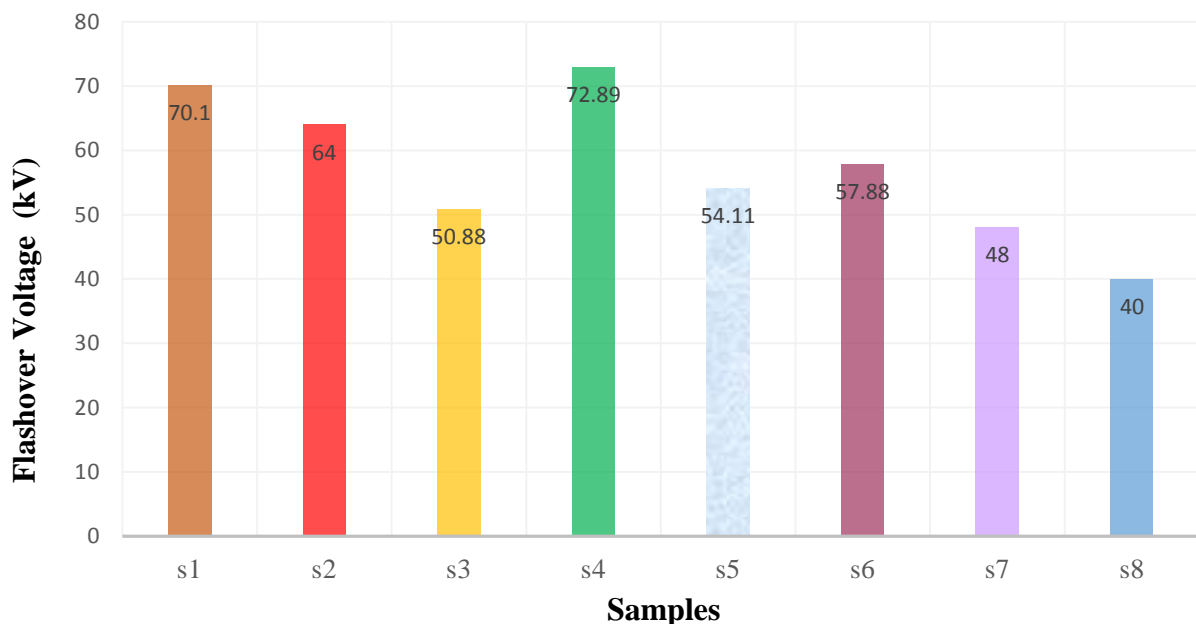
شکل ۳-۲۸- آزمایش مقره کامپوزیتی 24 kV تحت آزمون ولتاژ پایداری قدرت در حالت خشک و خیس.

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- نتایج آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت

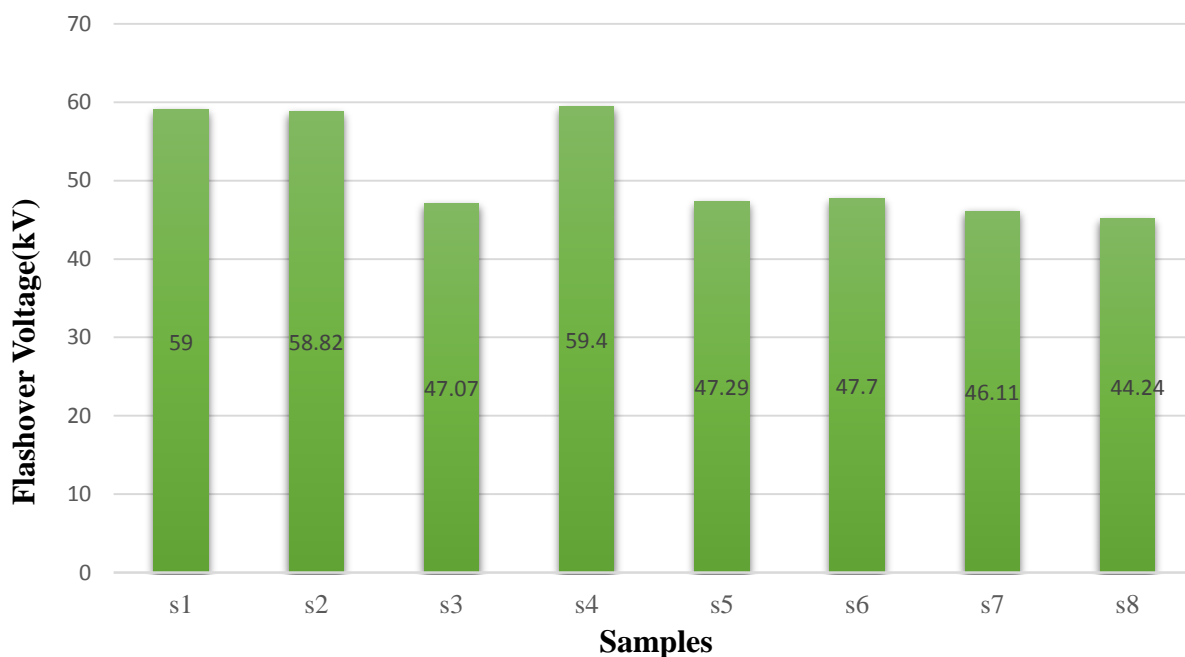
آزمون ولتاژ پایداری فرکانس قدرت بر اساس شرایط مطرح شده در استانداردهای مرجع IEC60-1، IEC383-1، IEC61109-1 انجام شده از جمله آزمون‌های طراحی هستند (به این مفهوم که برای سنجش میزان کیفیت طراحی، مواد و روش تولید انجام می‌گیرد). نتایج به دست آمده از آزمون در نمودار شکل ۴-۱ مورد تحلیل قرار گرفته است. بهترین نتیجه در نمونه s4 که اولین شکست در ولتاژ ۷۲/۸۹ kV مشاهده شده حاصل گردیده که مربوط به ترکیب ۵٪ نانوذرات تیتانیوم و ۹۵٪ سیلیکون HTV است. تحمل این ولتاژ کاری بسیار عالی و قابل کاربرد در عایق‌های ولتاژ بالا است و همچنین در سطح نمونه‌ها بعد از انجام آزمون هیچ‌گونه عیبی به وجود نیامده و تنها شکست الکتریکی رخ داده است. این نشان‌دهنده پخش یکنواخت ذرات تقویت‌کننده در ساختار و تأیید روش تولید است در صورتی که ذرات در ساختار به‌طور یکسان پخش نشده باشند و یا اینکه اگر نمونه دارای تخلخل در ساختار باشد از همان قسمت شکست الکتریکی رخ داده و در حین آزمون نمونه دچار سوراخ در سطح خواهد شد.



نمودار شکل ۴-۱- نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ پایداری فرکانس قدرت.

۲-۴- نتایج آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک

آزمون ولتاژ پایداری فرکانس قدرت در حالت خشک بر اساس شرایط مطرح شده در استانداردهای مرجع IEC 60-1، IEC383-1، IEC61109 انجام شده است. نتایج آزمون در نمودار شکل ۲-۴ گزارش داده شده، نمونه S1، S2، S4 مطابق به شرایط نامبرده در استاندارد، ولتاژ 50kV در مدت ۶۰ ثانیه اعمال شده را تحمل کردند و در این زمان هیچ گونه قوس یا افزایش یا کاهش ولتاژ و همچنین در سطح نمونه‌ها بعد از انجام آزمون هیچ گونه عیبی ایجاد نشد و بهترین نتیجه دوباره در ترکیب نمونه شماره S4 با ۵٪ نانوذرات تیتانیوم و ۹۵٪ سیلیکون HTV در این آزمون هم تکرار شد.

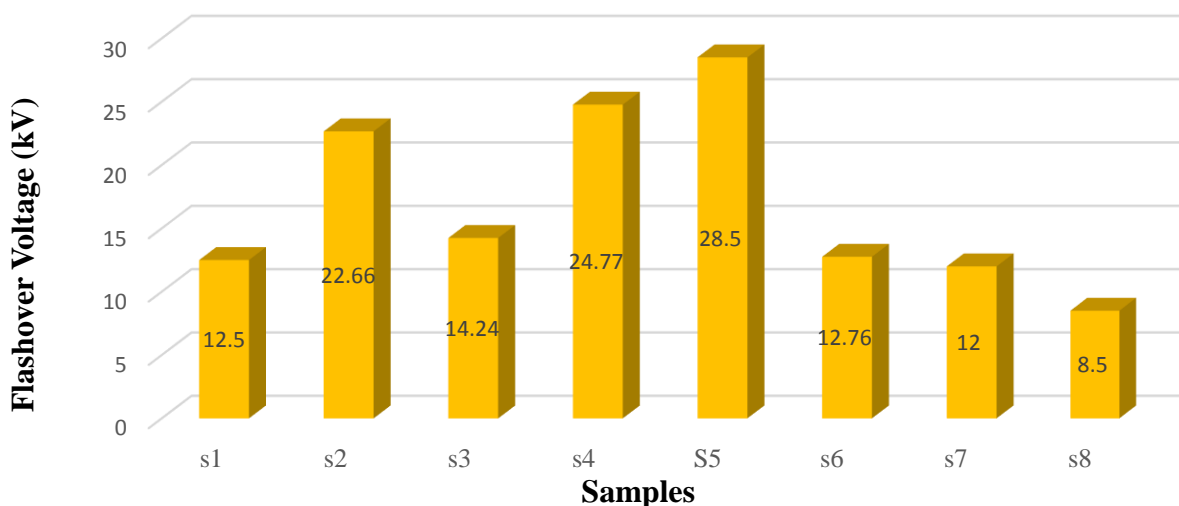


نمودار شکل ۲-۴- نتایج حاصل از آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک.

۳-۴- نتایج آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس

از آنجاکه پدیده تخلیه جزئی یکی از مهم‌ترین مشکلات مقره‌ها در نواحی با آلودگی بالا و مرطوب است. آزمون ولتاژ پایداری فرکانس قدرت در حالت خیس بر اساس شرایط مطرح شده در استانداردهای IEC 60-1، IEC383-1، IEC61109 انجام شد. نتایج به دست آمده از این آزمون در نمودار شکل ۳-۴ ارائه شده، نتایج نشان می‌دهد با افزودن نانوذرات تقویت کننده به سیلیکون HTV تأثیر بسزای برجای گذاشته بیشترین تأثیر با

اضافه شدن درصد نانوذرات تیتانیوم تا سطح ۲۵٪ ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس در نمونه S1 از kV ۱۲/۵ به ولتاژ ۲۸/۵ kV و در نمونه S5 رسیده، و همچنین با اضافه شدن درصد نانوذرات تری هیدرات آلومینیوم تا سطح ۲۵٪ ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس از ۱۲/۵ به ولتاژ ۲۲/۶۶ رسیده است. با توجه به خاصیت خودتمیزشونده ایجادشده، با استفاده از این چترک بر روی مقره‌ها سطوح در مقابل آلودگی‌ها و رطوبت ایمن شده و در نتیجه آلودگی‌های دیگر که در اثر حضور آب تمایل به حضور بر روی سطح خواهند داشت از بین می‌روند. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از این روکش دیگر نیاز به شستشوی مقره‌ها در فصول مختلف سال نیست و عواملی مانند چسبندگی به سطح، کیفیت، طول عمر، مقرون به صرفه بودن و... در این روند بهبود تأثیرگذار بوده‌اند.

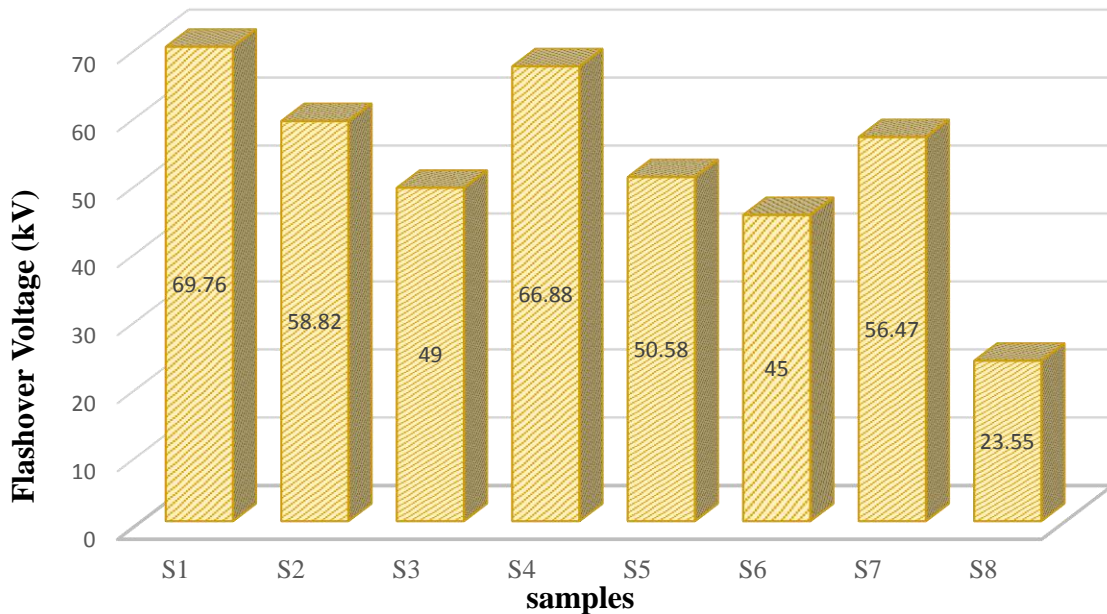


نمودار شکل ۴-۳- نتایج حاصل از آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس.

۴-۴- نتایج آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک (نمونه دچار خراش)

این آزمون با توجه به شرایط کاری مقره‌ها در حین استفاده بنا به دلایل مختلف دچار پارگی و خراش در سطح و لبه آن‌ها رخ دهد به‌طور تجربی انجام شد. نتایج حاصله در نمودار شکل ۴-۴ مورد بررسی قرار گرفته، نمونه S1 کمترین افت ولتاژ و نمونه S8 بیشترین افت ولتاژ را داشته و بین نمونه‌های تقویت‌شده نمونه S4 بیشترین تحمل ولتاژ را داشته است و در کل با به وجود آمدن چنین مشکلی در حین کار برای مقره‌های

کامپوزیتی نسبت به مقره‌های سرامیکی باعث قطع ارتباط شبکه نخواهد شد در صورتی که چنین مشکلی برای مقره‌های سرامیکی به وجود بیاید سریع شکسته و باعث قطع برق شبکه خواهند شد.

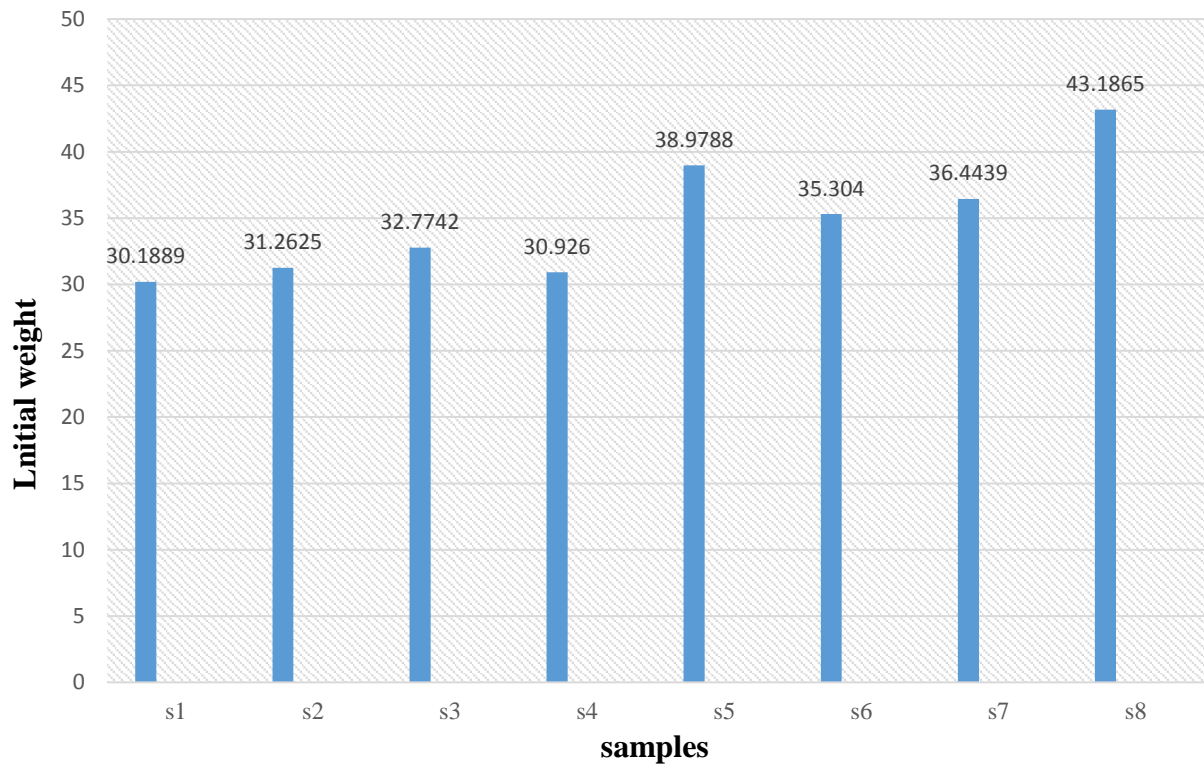


نمودار شکل ۴-۴- نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک (دچار خراش).

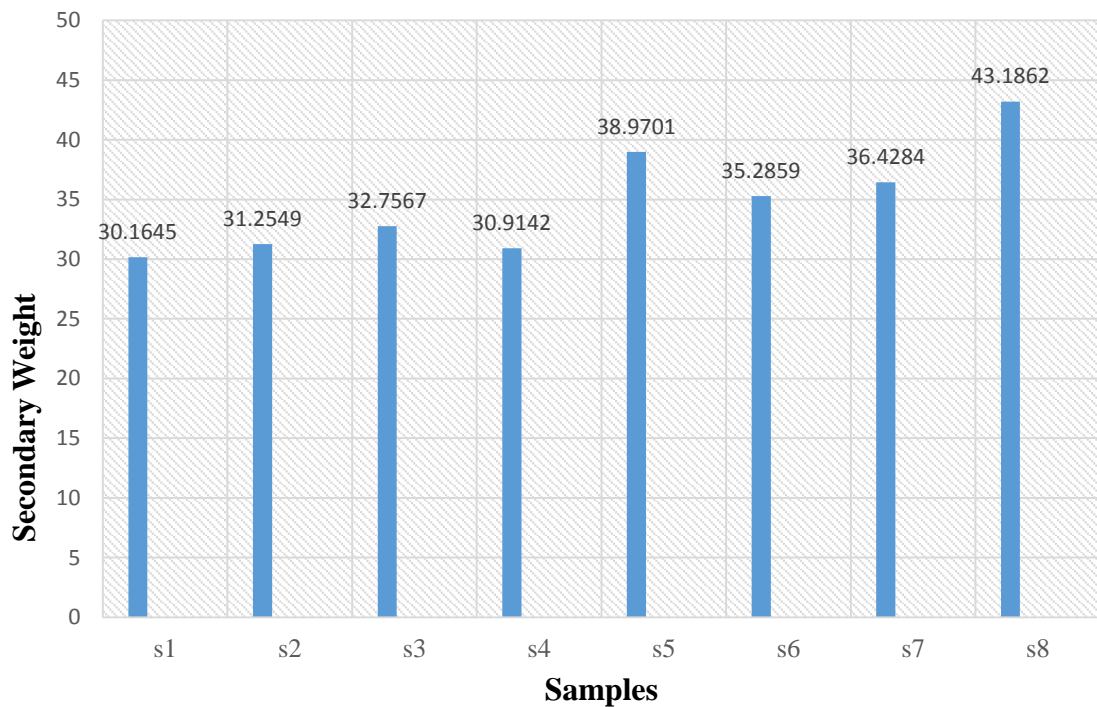
۴-۵- نتایج آزمون فرسایش

تخریب شیمیایی ناشی از عوامل محیطی مانند تابش UV و باران اسیدی و عوامل الکتریکی مانند کرونا یا تخلیه باند خشک و اثرات حرارتی ناشی از آنها هست.

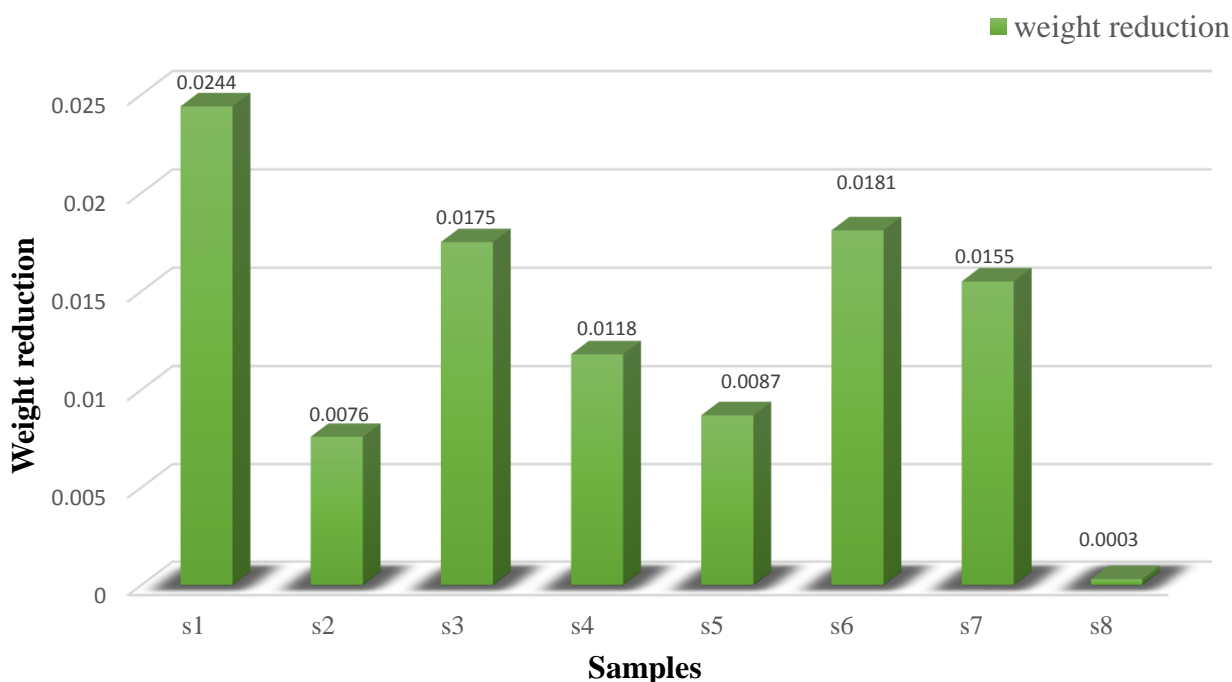
پیگردی تخریب سطح عایق در اثر تخلیه‌های الکتریکی نتیجه انجام فرسایش است. این آزمون بر اساس استاندارد IEC 60-587 که توسط گروه بین‌المللی الکترونیک (IEC) ارائه شده انجام شد. آزمایش قصد داشته فرسایش بر اساس وزن ازدست‌رفته پس از آزمون الکتریکی نشان دهد. نتایج این تحقیق در نمودار شکل ۴-۴-۵- مربوط به وزن اولیه نمونه‌ها و نمودار شکل ۴-۴-۶- وزن ثانویه نمونه‌ها بعد از آزمون و نمودار شکل ۴-۴-۷- میزان کاهش وزن نمونه‌ها نشان داده شده است. بهترین نتیجه حاصل شده مربوط به نمونه S8 با ترکیب HTV 50/ TiO₂ 25/ ATH 25 کمترین کاهش وزن را داشت و ضعیف‌ترین نتیجه حاصل شده مربوط به نمونه S1 با ترکیب (HTV 100%) بیش‌ترین کاهش وزن بین نمونه‌ها داشته است.



نمودار شکل ۴-۵- وزن اولیه نمونه‌های تحت آزمون قرار گرفته.



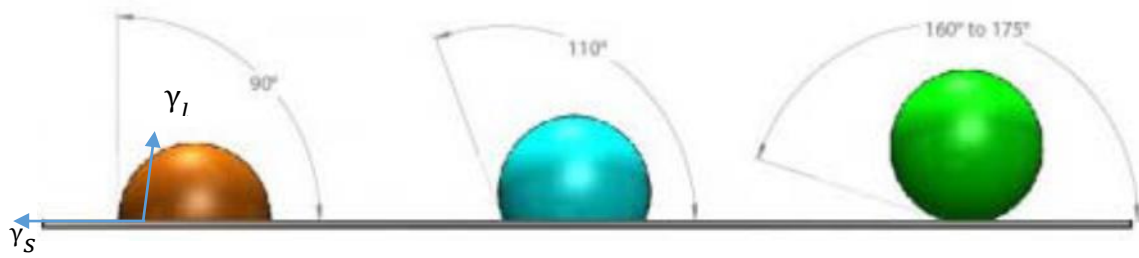
نمودار شکل ۴-۶- وزن ثانویه نمونه‌های تحت آزمون قرار گرفته.



نمودار شکل ۴-۷- میزان کاهش وزن نمونه‌ها بعد از آزمون فرسایش.

۴-۶- نتایج آزمون انرژی سطحی

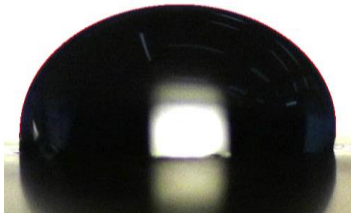
همان‌طور که در فصل ۲ گفته شد وجود لایه رسانا در سطح مفره از دلایل اصلی فروپاشی مفره است. توانایی یک سطح در جذب رطوبت توسط پارامتری به نام آب‌گریزی تعریف می‌شود. متقابلاً آب بر روی سطوح هیدروفوبیک زاویه تماس بسیار بزرگی به خود می‌گیرد و به شکل قطره‌های کروی است. شکل ۴-۸ نمونه از زاویه تماسی قطره با سطح جامد نشان داده شده و زاویه تماس در مبحث آب‌گریزی-آب‌دوست به زاویه‌ای گفته می‌شود که آخرین لبه یک مایع با سطح زیرین خود ایجاد می‌کند. هر چه این زاویه بزرگ‌تر باشد نسبت آب‌گریزی بین دو ماده بیشتر است. که تصاویر ثبت‌شده از آنالیز آزمون قطره این تحقیق در شکل ۴-۹ نشان داده شده است و نتایج به‌دست‌آمده در نمودار شکل ۴-۱۰ مورد تحلیل قرار گرفته. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بهترین نتیجه کسب‌شده مربوط به نمونه S5 با ترکیب $HTV\ 75/TiO_2\ 25$ و ضعیف‌ترین نتیجه کسب‌شده مربوط به نمونه S1 با ترکیب HTV100 است. بر اساس معادله ۴-۱ زاویه ترکندگی محاسبه می‌شود.



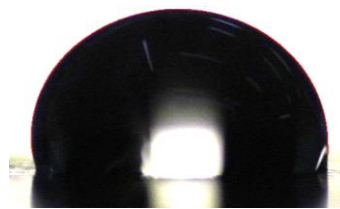
شکل ۴-۸- تصویری از زاویه تماسی قطره با سطح جامد.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_s - \gamma_{ls}}{\gamma_l} \quad (1-4)$$

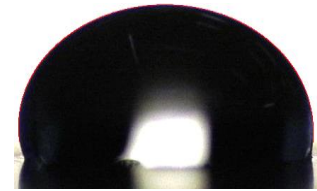
$$\gamma_s = \gamma_l \cos \theta + \gamma_{sl}$$



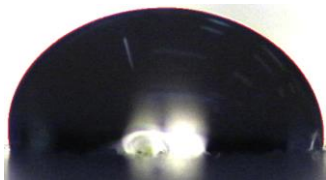
a)S1- average angle=99°



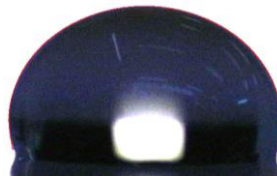
b)S2- average angle=104°



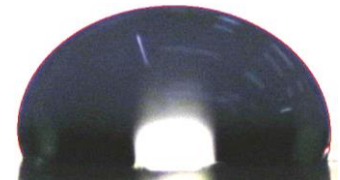
c)S3- average angle=103°



d)S4- average angle=104°



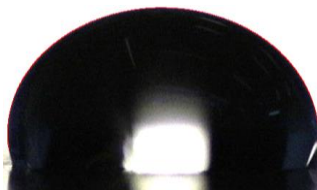
g)S5 average angle =113°



e)S6- average angle=108

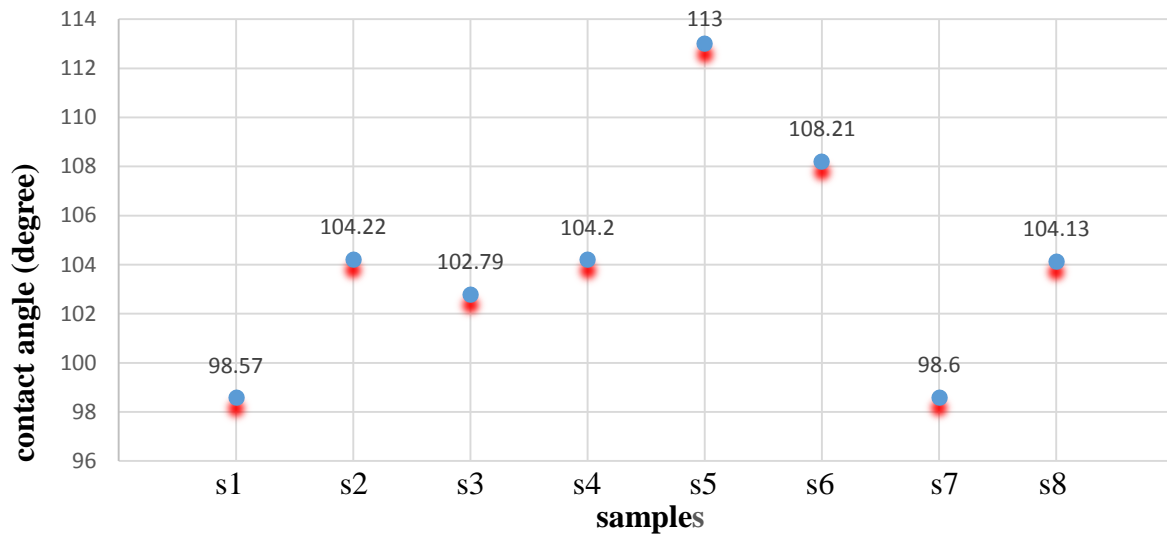


f)S7- average angle=99



H) S8 average angle=105°

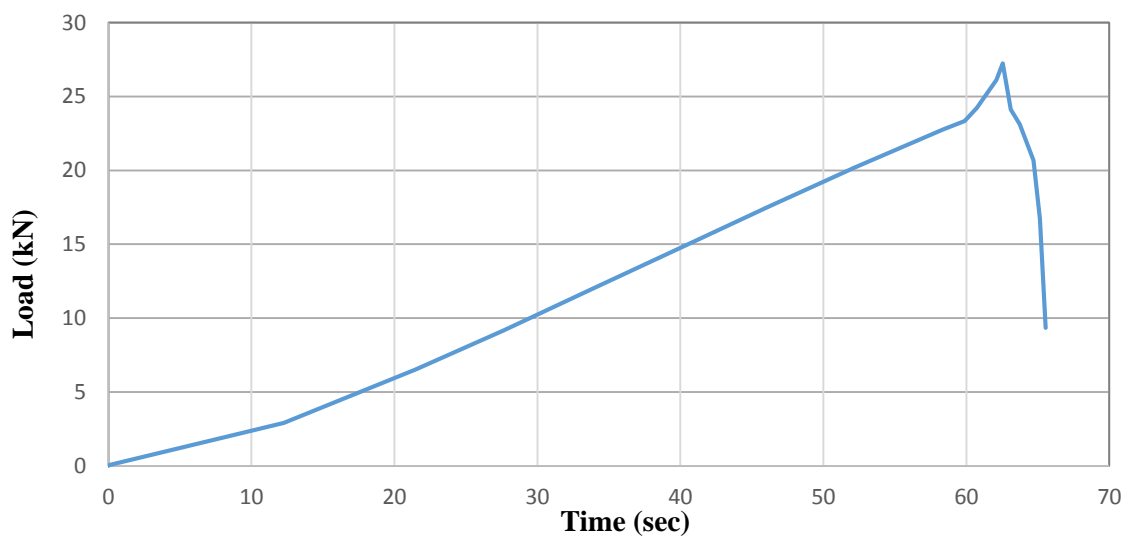
شکل ۴-۹- تصاویر ثبت شده از آنالیز آزمون قطره.



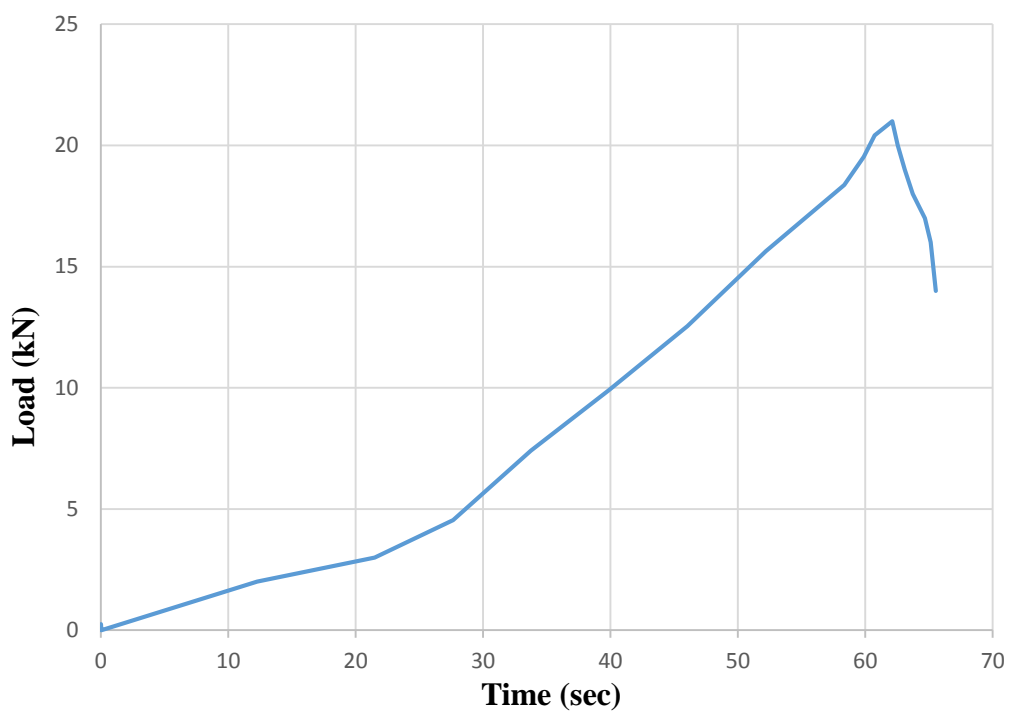
نمودار شکل ۴-۱۰- بررسی زاویه تماسی بر اساس نتایج آزمون قطره.

۴-۷- نتایج آزمون کشش

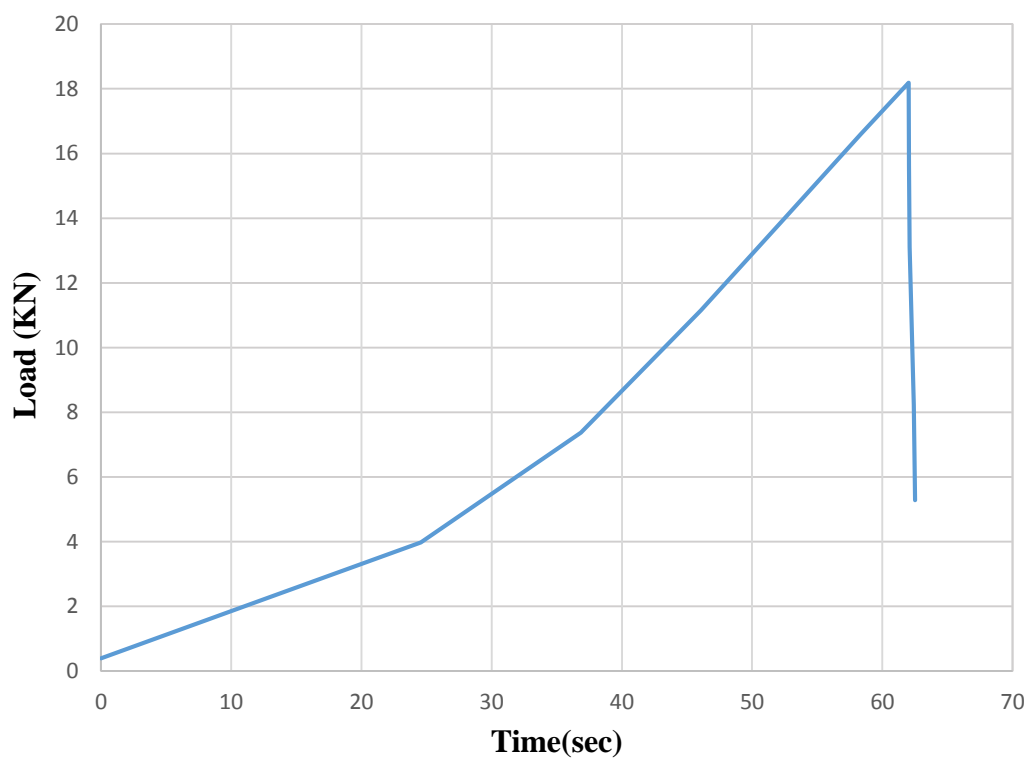
آزمون کشش بر اساس جدول طراحی مقرر شده و استاندارد IEC 61109 بر روی نمونه‌های H1، H2 و H3 ساخته شده انجام شد. نتایج حاصل شده در نمودار شکل ۴-۱۱ برای نمونه H1 با ترکیب (R 90/ E10)، نمودار شکل ۴-۱۲ برای نمونه H2 با ترکیب (R 90/ E13) و نمودار شکل ۴-۱۳ برای نمونه H3 با ترکیب (R 90/ E15) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد، افزایش درصد فیبر نمونه‌ها با کاهش خواص همراه بوده که می‌توان گفت چون روش توزیع فیبر به صورت دستی بوده فیبرها در داخل رزین به خوبی توزیع نشده است.



نمودار شکل ۴-۱۱- نتایج آزمون کشش برای نمونه H1.



نمودار شکل ۴-۱۲- نتایج آزمون کشش برای نمونه H2.

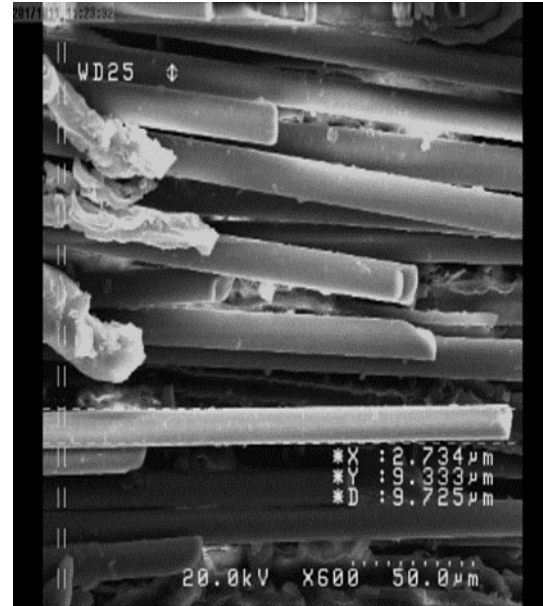
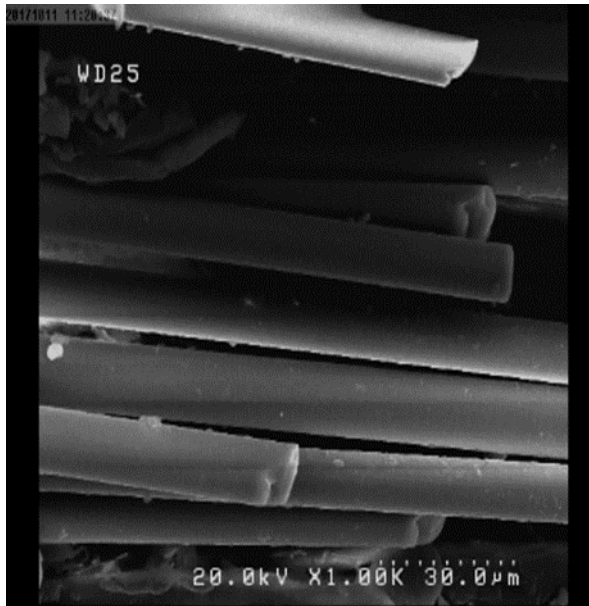


مودار شکل ۴-۱۳- نتایج آزمون کشش برای نمونه H3.

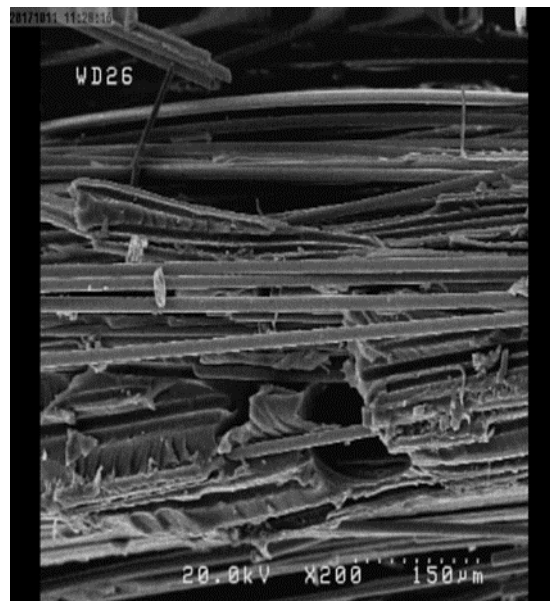
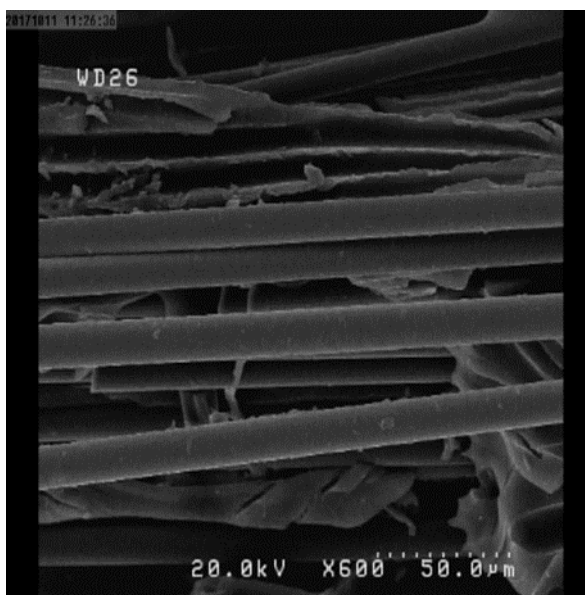
ن

۴-۸- نتایج آنالیز SEM

جهت بررسی نحوه توزیع فیبرها درون هسته‌های ساخته شده در این تحقیق از آنالیز SEM استفاده شده است. تصویر شکل ۴-۱۴- نتایج آنالیز SEM ثبت شده بر روی نمونه H1 با ترکیب (R 90/E10) را نشان می‌دهد و تصویر شکل ۴-۱۵- نتایج آنالیز SEM ثبت شده برای نمونه H3 با ترکیب (R 85/E10) را نشان داده است.



شکل ۴-۱۴- نتایج آنالیز SEM برای نمونه H1 با ترکیب (R 90/E10).



شکل ۴-۱۵- نتایج آنالیز SEM برای نمونه H3 با ترکیب (R 85/E15).

۹-۴- نتایج آزمون‌های مقره 24kV با روکش RTV مورد استفاده در خطوط انتقال

نتایج حاصل شده از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک و خیس، آزمون کشش انجام شده روی چترک و هسته مقره مورد استفاده در خطوط انتقال در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۱- نتایج آزمون‌های مقره کامپوزیتی ۲۴kV با روکش RTV.

نتایج	آزمون‌ها
۳۵kV	حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک
۲۹kV	حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس
۳۳ kN	حداکثر بار کششی متحمل شده

۱۰-۴- بحث

۱۰-۴-۱- مقدمه

با توجه به شرایط کاری مقره‌ها باید به یک ترکیب اپتیمم دست پیدا کنیم که دارای خواص قدرت ترکنندگی و ایجاد قدرت خودتمیزشوندگی، مقاومت به خوردگی و فرسایش، استحکام، سختی، مقاومت به اشعه UV بهبود مقاومت به خراشیدگی و غیره داشته باشد.

در این تحقیق برای اینکه چترک در شرایطی که استفاده می‌شود از عملکرد بهتری برخوردار باشد و برای دستیابی به خواص خاص از مواد پرکننده استفاده شده است. با افزودن تری‌هیدرات آلومینیوم و اکسید تیتانیوم برای تقویت چترک‌ها، برای تقویت هسته از فیبر شیشه استفاده شده، میزان صحیح استفاده از مواد پرکننده و نوع پرکننده نقش بسیار مهمی در بالا بردن عملکرد درست و صحیح مواد دارد.

۴-۱۰-۲- بررسی ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک

می‌خواهیم ببینیم که چترک در یک دقیقه بدون هیچ قوسی و فلاش آوری چه ولتاژی را تحمل می‌کند. کمترین ولتاژ متحمل شده در یک دقیقه چترک S8 برابر با $45/11$ kV و بیشترین ولتاژ متحمل شده در چترک S4 در یک دقیقه برابر با $59/4$ kV در صورتی همین آزمون روی چترک مقرر تولیدشده کارخانه انجام گرفت، نتیجه آن در یک دقیقه $35/5$ kV متحمل شد. بر اساس نتایج به دست آمده کاملاً مشهود است که می‌توانیم برای مقره‌های ولتاژ بالا استفاده بکنیم. در درصدهای بالای ATH افت بخصوصی در ولتاژ کاری به وجود می‌آید، به دلیل اینکه افزایش بیش از حد پرکننده سبب می‌شود تا ذرات پرکننده به خوبی توسط سیلیکون پوشانده نشوند و در نتیجه سطح ایجادشده رفته رفته زبرتر و عملکرد نمونه‌ها افت کند. با توجه به روند صعودی نزولی نمودارهای مربوط به ولتاژ تخلیه الکتریکی بر حسب میزان پرکننده می‌توان گفت که برای یک توزیع اندازه ذرات پرکننده مشخص، همواره یک درصد بهینه وجود دارد.

۴-۱۰-۳- بررسی ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس

با توجه به شرایط کاری گوناگون مقره‌ها، این آزمون زیر باران مصنوعی انجام گرفت. قطرات آب باعث شکست الکتریکی بر روی مقره‌ها هوا می‌شود و ممکن است در داخل مقره جرقه‌ای زده شده و موجب سوراخ شدگی و از بین رفتن خاصیت عایقی مقره شود و یا تخلیه در سطح عایق صورت گیرد و جرقه‌هایی در سطح آن زده شود و به این ترتیب ارتباط الکتریکی در طرفین عایق برقرار شود. که رطوبت و آلودگی در سطح مقره در این نوع تخلیه تأثیرگذارند. بر اساس نتایج به دست آمده اثر تقویت کننده‌ها کاملاً به چشم می‌خورد و ولتاژ شکست از $12/5$ kV برای نمونه سیلیکون خالص به $28/5$ kV در نمونه S7 رسیده و همچنین نسبت به مقره کارخانه نتایج به دست آمده در یک سطح قرار داشت و همچنین در سطح مقره هیچ گونه آثاری از جرقه باقی نمانده بود.

۴-۱۰-۴- بررسی آزمون فرسایش

مقاومت در برابر عوامل جوی و تابش آفتاب و حفظ خواص در برابر سرما و گرما از ویژگی‌های مهم مقره‌ها

محسوب می‌شود. با افزایش ذرات تقویت‌کننده بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ملاحظه شد که میزان فرسایش در نمونه S1 با ترکیب ۱۰۰٪ سیلیکون خالص برابر ۰/۰۲۴۴ بوده که موفق شدیم در نمونه S8 با ترکیب HTV 50/ TiO₂ 25/ ATH 25 به میزان ۰/۰۰۰۳ برسائیم در اینجا اثر ذرات تقویت‌کننده کاملاً مشهود به چشم می‌خورد. این نتیجه به‌دست‌آمده نشان این را می‌دهد که با تقویت سیلیکون پایه با پرکننده‌های TiO₂ و ATH می‌توان بازه کاری مفره‌ها را در محیط‌های ساحلی و مرطوب و با آلودگی‌های صنعتی و افزایش داد. چنانچه میزان ATH بیش‌ازحد لازم باشد موجب شکنندگی و زبری سطح چترک می‌شود که در نمونه‌های با درصد بالای پرکننده دیده شد. (برای مثال زمانی که بخواهد بیش از ۹۰ درجه خم شود) یکی از نشانه‌ها و اثرات استفاده زیاد ATH، سفید شدن خط خمیدگی در طول سطح چترک است.

۴-۱۰-۵- بررسی آزمون انرژی سطحی

روش‌های رایج فعلی برای مقابله با آلودگی عبارتند از: تمیز کردن به‌وسیله دست، پوشش دادن سطح مفره‌ها با گریس یا روغن سیلیکون و یا شست و شوی مفره‌ها نیازمند وقت و هزینه زیادی است و از دوام و اطمینان کافی برخوردار نیست بنابراین مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. امروزه با استفاده از ذرات تقویت‌کننده می‌توان پوشش‌هایی ساخت که معایب گذشته مفره‌ها را کاهش داده و باعث بهبود عملکرد آن‌ها، کاهش هزینه، مدت‌زمان خاموشی و خسارات ناشی از قطع برق، عدم پرداخت هزینه‌های سرویس و نگهداری و رضایت‌مندی مشترکین شود. استفاده از نانوذرات می‌تواند باعث پس زدن آب و روغن از روی سطح و عدم چسبیدن آلودگی و کثیفی و پاک شدن گل‌ولای به‌وسیله آب باران، جلوگیری از جذب عمقی آلودگی‌ها روی سطح، خاصیت آسان تمیز شوندگی و مقاومت در برابر باران‌های اسیدی، افزایش مقاومت در برابر خراش سطحی و دافعه در برابر گردوخاک، عدم رسوب گرفتن، ممانعت از خوردگی و یخ‌زدگی، افزایش استحکام و خاصیت عایقی و هیدروفوبیک کردن سطح مفره و تمیز باقی ماندن تا مدت‌زمانی طولانی گردد. از این رو بحث انرژی سطحی یکی از پارامترهای مهمی هست که در انتخاب مواد پرکننده و درصد مواد مصرفی باید مورد توجه قرار گیرد.

در این تحقیق موفق شدیم که زاویه تماس در نمونه S1 با ترکیب سیلیکون HTV خالص برابر ۹۸/۵۷، با استفاده از ذرات تقویت کننده زاویه تماسی در نمونه S7 را به ۱۱۳ برسانیم. به طور کلی می توان نتیجه گرفت با حضور این چنین چترک ها بروی مقره سطح در مقابل شرایط محیطی ایمن کرده و جلو وقایع مانند قطع برق خوزستان و دیگر نقاط کشورمان را گرفت.

۴-۱۰-۶- بررسی نتایج چترک ها بر اساس استراتژی تاگوچی

اگر بخواهیم تمام حالات ممکن را امتحان بکنیم و آزمایش کلی را در نظر بگیریم یک کار مشکل و زمان بر است. برای حل این مشکل میتوان از DOE به کمک تاگوچی استفاده شود. سیگنال به نویز، نشان دهنده ی حساسیت مشخصه ی مورد بررسی به فاکتورهای ورودی در یک فرآیند کنترل شده می باشد. به طور کلی در هر آزمایش، همواره بالاترین نسبت نشان دهنده (S/N) مطلوب است.

در تحقیق حاضر برای نتایج تمام آزمایش ها تحلیل نسبت سیگنال به نویز (S/N) محاسبه شده است.

نمودار شکل ۴-۱۶ نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت که مورد تحلیل استراتژی تاگوچی قرار گرفته را نشان می دهد. همانطوری که نتایج نمودار نشان می دهد TiO_2 نسبت به ATH سیگنال به نویز بیشتری داشته و همچنین TiO_2 تا Level₂ هیچ گونه کاهش ولتاژی را نشان نمی دهد ولی ATH از همان Level₁ روند کاهشی داشته و به طور کلی با افزایش درصد های بالای پرکننده ها سبب کاهش ولتاژ ماکزیمم شده است. دلیل این افت ولتاژ، زمانی که درصد پرکننده ها از یک حدی بیشتر شود باعث زبری سطح شده و به خوبی توسط سیلیکون پوشش داده نمی شود و باعث کاهش ولتاژ شده است. از آنجاکه TiO_2 دارای هدایت الکتریکی $10^{-10} \frac{S}{cm}$ است [۵۱]. در حالی که سیلیکون دارای هدایت 10^{-14} تا 10^{-16} است و هدایت الکتریکی ATH به خاطر حضور مولکول های آب نسبت به سیلیکون بیشتر بوده لذا افزودن این دو ماده به سیلیکون هدایت را افزایش داده است [۵۲].

نمودار شکل ۴-۱۷ نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در ۶۰ ثانیه که مورد تحلیل استراتژی

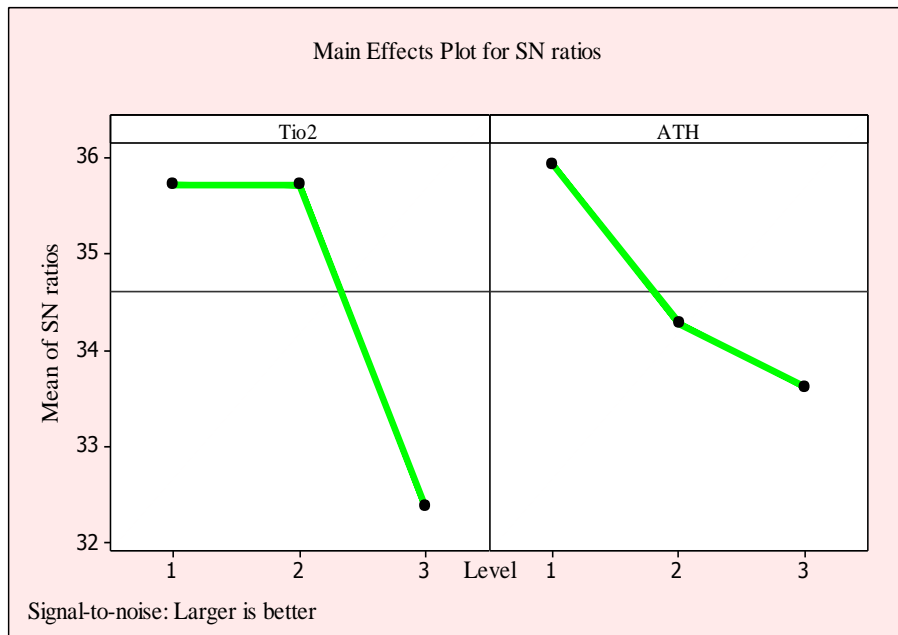
تاگوچی قرار گرفته را نشان می‌دهد. همانطوری که نتایج نمودار نشان می‌دهد TiO_2 نسبت به ATH سیگنال به نویز بیشتری داشته و شیب نمودار (S/N) TiO_2 از $Level_1$ به $Level_2$ دارای شیب کمتر و سطح اثر بیشتر داشته ولی ATH از همان $Level_1$ با شیب زیادی کاهش داشته و دلیل این کاهش ولتاژ همانند دلایل نمودار ۴-۱۶ است.

نمودار شکل ۴-۱۸ نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس که مورد تحلیل استراتژی تاگوچی قرار گرفته را نشان می‌دهد. همانطوری که نتایج نمودار نشان می‌دهد برای پرکننده‌ها سیگنال به نویز (S/N) در هر دو حالت از $Level_1$ تا $Level_2$ روند افزایش مشاهده می‌شود. اما روند افزایش نمودار TiO_2 بالاتر است. دلیل این تغییرات اول اینکه در حالت خیس تخلیه الکتریکی از روی قطرات آب اتفاق افتاده همانطور که نتایج زاویه ترکندگی نشان داده تا $Level_2$ این زاویه افزایش یافته به این معنی است که قطرات بصورت جدا (گلوله‌ی) هستند و تمایل به اینکه به هم دیگر متصل شوند را ندارند و در حالی که با افزایش درصد پرکننده‌ها تا $Level_3$ این قطرات زاویه کمتری پیدا کرده و به هم دیگر متصل میشوند که در حالت فوق باعث تخلیه الکتریکی بیشتری شده است.

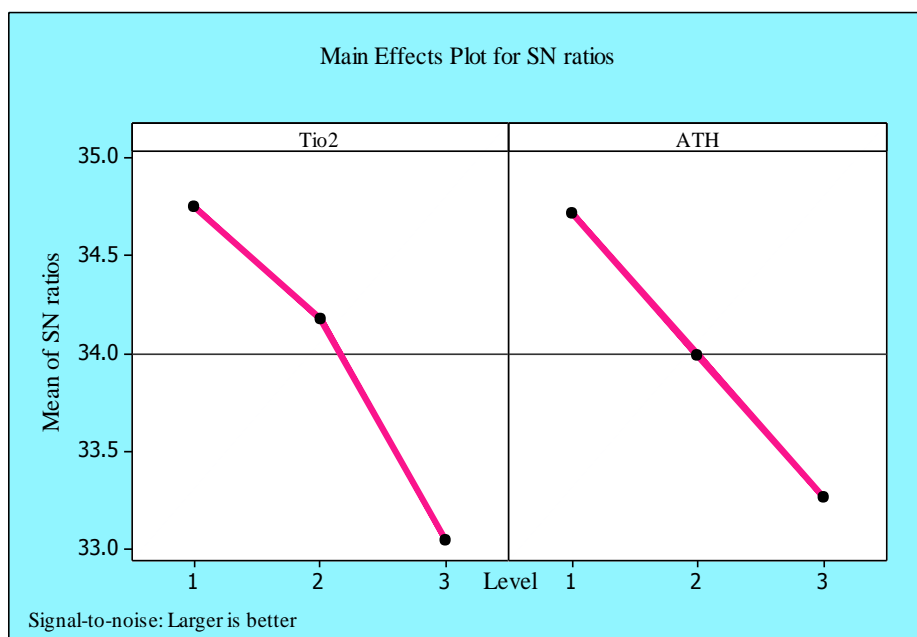
نمودار شکل ۴-۱۹ نتایج حاصل از آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت نمونه دچار خراش که مورد تحلیل استراتژی تاگوچی قرار گرفته را نشان می‌دهد. همانطوری که نتایج نمودار نشان می‌دهد TiO_2 نسبت به ATH سیگنال به نویز بیشتری داشته و تغییرات نمودار TiO_2 از $Level_1$ تا $Level_2$ بصورت آهسته بوده ولی تغییرات نمودار سیگنال به نویز ATH با شیب زیادی است. دلیل این تغییرات همانند نمودار شکل ۴-۱۶ می‌باشد.

نمودار شکل ۴-۲۰ نتایج حاصل از آزمون فرسایش که مورد تحلیل استراتژی تاگوچی قرار گرفته را نشان می‌دهد. پرکننده‌ها اثر عالی بر روند افزایشی نمودار سیگنال به نویز (S/N) داشته است. پرکننده ATH از همان درصدهای پایین اثر خود را نشان داده، از $Level_1$ تا $Level_2$ اثر بیشتری را نسبت به TiO_2 نشان می‌دهد. ولی اثر تیتانیوم در درصدهای بیشتر یعنی از $Level_2$ تا $Level_3$ یک روند افزایش بیشتر را نشان داده است.

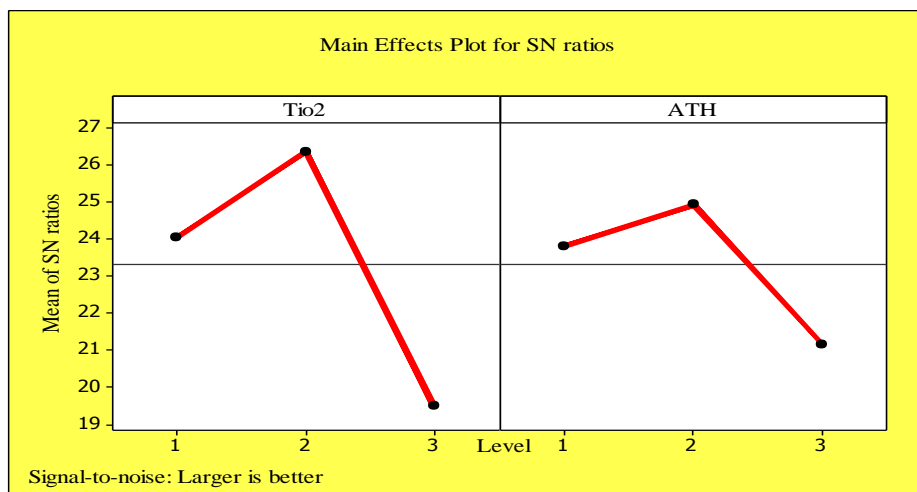
نمودار شکل ۴-۲۱ نتایج حاصل از آزمون انرژی سطحی که مورد تحلیل تاگوچی قرار گرفته را نشان می‌دهد. بیشترین اثر ذرات TiO_2 در Level 2 مشاهده می‌شود که سیگنال به نویز (S/N) بیشتری را نشان می‌دهد که سقف اثر بیشتری را داشته است. همانطور که در نمودار دیده می‌شود برای هر دو پرکننده تا یک حدی افزایش بارگذاری فیلر سبب افزایش زاویه ترکندگی شده ولی از یک حدی بالاتر این اثر کاهش پیدا کرده است.



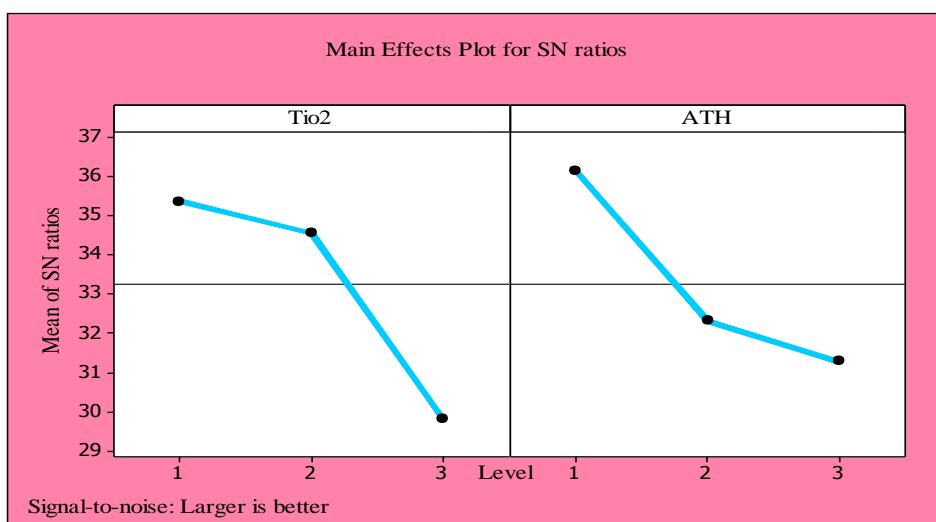
نمودار شکل ۴-۱۶- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت.



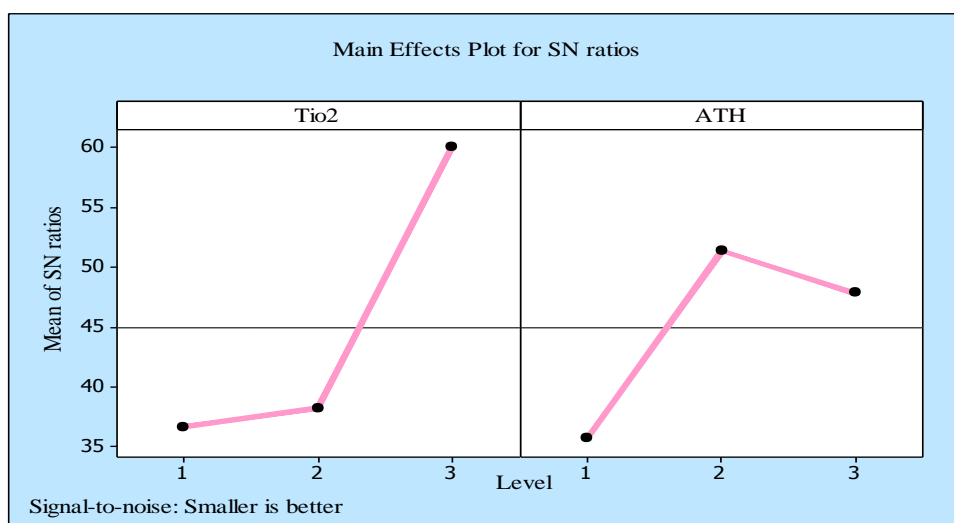
نمودار شکل ۴-۱۷- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس (حالت خشک در ۶۰ ثانیه).



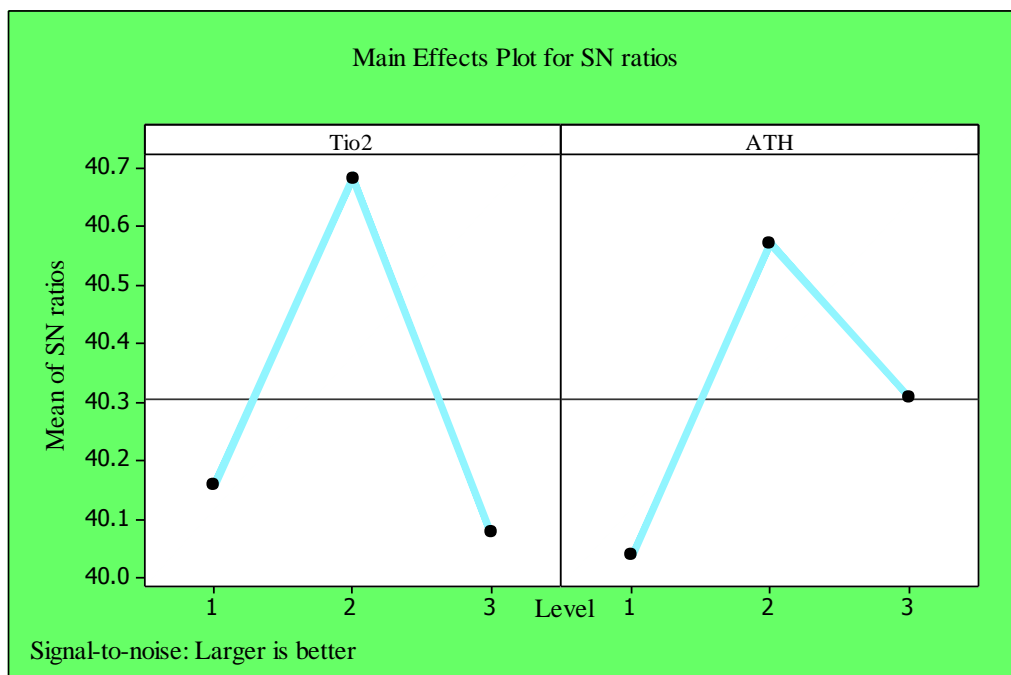
نمودار شکل ۴-۱۸- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خیس.



نمودار شکل ۴-۱۹- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج حداکثر ولتاژ فرکانس قدرت در حالت نمونه خراش.



نمودار شکل ۴-۲۰- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون فرسایش.



نمودار شکل ۴-۲۱- تحلیل استراتژی تاگوچی برای نتایج آزمون زاویه انرژی سطحی.

۴-۱۰-۷- بررسی خواص کششی هسته براساس آنالیز SEM

هسته مفره کامپوزیتی جزء اجزای مهم مفره‌ها می‌باشد که در فصل دوم معرفی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نمونه تقویت‌شده با ۱۰ درصد وزنی فیبر موفق به تحمل $27/5 \text{ kN}$ شده ولی نمونه H2 و H3 تقویت شده با ۱۳٪ و ۱۵٪ فیبر به ترتیب نیروی 21 kN و 18 kN تحمل کردند. نمونه هسته اورجینالی که جهت قیاس با کارمان تهیه شده بود و تحت آزمون قرار گرفت موفق به تحمل 33 kN شد، از تصاویر شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵ ثبت شده از آنالیز SEM پیدا است، زمانی که درصد فیبرها کم بوده فیبرها در داخل رزین به صورت موازی قرار گرفته است. چون روش ساخت به صورت دستی بوده زمانی که درصد فیبرها بالاتر رفته با توجه به ظرفیت محدود قالب، بعضی از فیبرها دچار واپیچش و یا دارای زاویه با فیبرهای دیگر می‌شود. وقتی که نمونه تحت بار قرار گرفته با توجه به زاویه‌دار بودن فیبرها، بار روی همه فیبرها بطور یکسان اعمال نمی‌شود و فیبرهای تحت بار اعمال شده به صورت تک تک درگیر می‌شود و گواه این قضیه این است که در حین کشش صدای شکست تک تک فیبرها به گوش می‌رسید بدین ترتیب مقدار بار ماکزیمم تحمل شده توسط هسته کامپوزیتی با افزایش درصد فیبر از ۱۰٪ به ۱۵٪ کاهش یافته است.

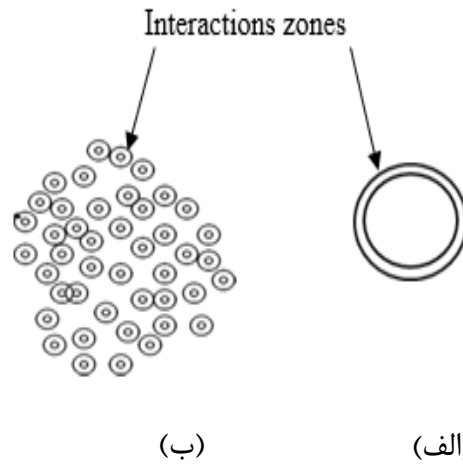
۴-۱۰-۸- بررسی تأثیر سایز فیبر بر خواص کششی هسته مفره

الیاف مورد استفاده هر چه قطرشان بیشتر باشد احتمال وجود عیب سطحی، ذرات گرد غبار جذب شده در سطح و رطوبت سطحی الیاف بیشتر است. آن نقص‌ها مهم‌ترین عامل پیرشدگی و افت استحکام ناشی در الیاف شیشه می‌باشد. در نتیجه استحکام الیاف و به تبع آن استحکام کامپوزیت کاهش می‌یابد. ضمن آنکه هر چه قطر الیاف بیشتر باشد امکان استفاده از درصدهای بالاتر الیاف امکان پذیر نمی‌باشد که این امر سبب افت استحکام می‌شود. الیاف هر قطر کمتر باشد استحکام مکانیکی کامپوزیت افزایش پیدا می‌کند اگر قطر الیاف خیلی کاهش پیدا کند به علت پکینگ بالا در یک استرند الیاف به خوبی بارزین آغشته نمی‌شود و در نتیجه رزین نمی‌توان نقش خود را به عنوان جلوگیری کننده از انتقال ترک بین الیاف و نیز توزیع یکنواخت تنش بین الیاف ایفا کند و مقاومت به شکست چنین هسته‌ای شدیداً با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند.

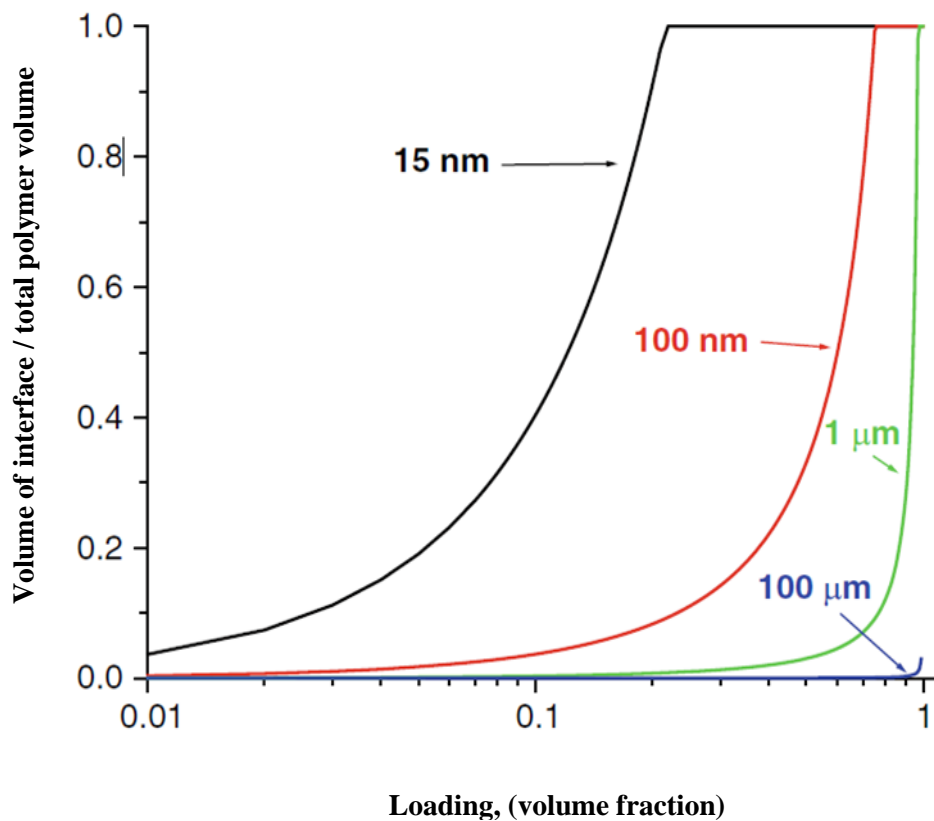
۴-۱۰-۹- بررسی اثر اندازه ذره تقویت کننده بر خواص

به رغم چندین مزیت دی‌الکتریک کامپوزیت‌ها، آن‌ها شامل برخی از معایب مانند آسیب پذیری به فرسایش، ضدآب بودن، مقاومت کم به آلودگی سطحی و اسید، تخریب در برابر تابش گرما و شکست اولیه باید حل شود. نانو کامپوزیت‌ها می‌توانند به عنوان راه حل برای این مشکلات در نظر گرفته شوند. در این کامپوزیت‌ها پلیمر به عنوان ماتریس در نظر گرفته می‌شود و یک یا چند پرکننده نانو در سیستم اضافه می‌شود [۵۳]. که در تحقیق حاضر از ذرات تری‌هیدرات آلومینیوم و اکسید تیتانیوم استفاده شده است. اثر اندازه ذره فیلر بر روی خواص مکانیکی با ریز شدن اندازه ذره فیلر میزان مقاومت کششی و نیز کرنش در نقطه شکست افزایش می‌یابند. از آنجایی که با کاهش اندازه ذرات فیلر سطح مؤثر فیلر افزایش می‌یابد و اتصال قوی‌تر با ماتریس می‌دهد مقاومت کششی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر هر چه اندازه ذره فیلر بزرگ‌تر باشد احتمال جدا شدن ماتریس از فیلر بیشتر است و سبب کاهش مقاومت کششی می‌شود. همچنین با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات سطح زبر شده و باعث افت ولتاژ خواهد شد. شکل ۴-۲۲ ناحیه اثر میکرو ذره و یک نانوذره نشان می‌دهد. شکل ۴-۲۳ نسبت سطح به حجم نانو کامپوزیت‌ها نسبت به یک میکرو کامپوزیت به عنوان یک عامل بارگذاری، نشان

می‌دهد. وقتی شکل ۲۲-۴ و ۲۳-۴ باهم در نظر گرفته شود، در نتیجه روشن می‌شود که برای یک نانو کامپوزیت با کاهش اندازه ذرات فیلر سطح مؤثر افزایش پیدا می‌کند [۵۴].



شکل ۲۲-۴- ناحیه اثر، الف (میکرو ذره ب) نانوذره [۵۴].

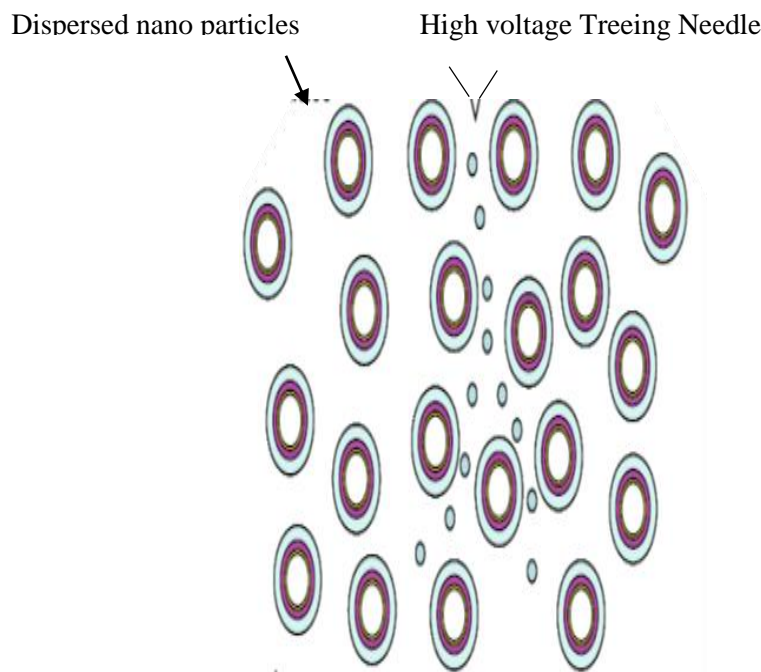


شکل ۲۳-۴- نسبت سطح به حجم نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان یک عامل از بارگذاری نانوذرات [۵۴].

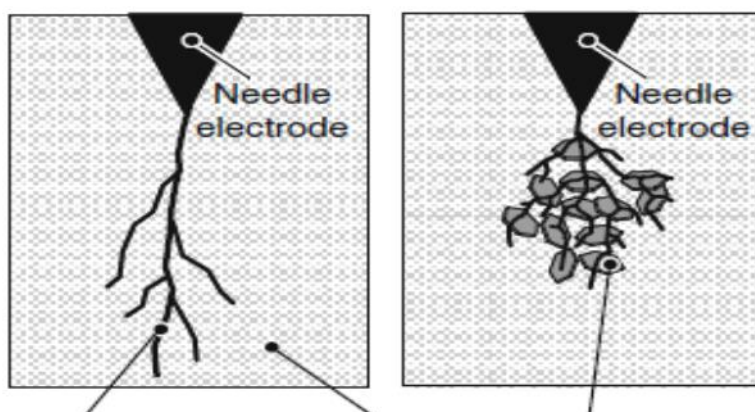
۴-۱۰-۱۰- بررسی اثر نانوذرات بر خواص دی الکتریک ها

رندولف و همکارانش [۵۵] در سال ۱۹۸۴، تولید مقره ولتاژ بالا پوشش داده شده با سیلیکون تقویت شده با هیدروکسید آلومینیوم ایجاد کردند که بر روی سطح مقره پوشش داده می شود. این پوشش داری خصوصیات مقاومت در برابر نشت جریان و جرقه، رطوبت، آلودگی و سایر تنش های هوایی در فضای باز مقاوم است.

Tanaka و همکارانش [۵۴] در سال ۲۰۰۶، اثر نانوذرات تقویت کننده بر روی پدیده رشد درختی^{۱۳} عایق کامپوزیتی از جنس رزین اپوکسی مطالعه کردند. نانو کامپوزیت مبتنی بر اپوکسی دارای ۵ درصد وزنی تقویت کننده بوده. شکل ۴-۲۴ مکانیسم به وجود آمدن پدیده رشد درختی تحت ولتاژ بالا را نشان می دهد. نتایج حاصل شده در شکل ۴-۲۵ نشان می دهد که ذرات تقویت کننده تأثیر به سزایی بر روی پدیده رشد درختی داشته، به نظر می رسد که تفاوت رفتار درختی بر خواص شکست اثر می گذارد در نانو کامپوزیت، رشد درختی به علت اینکه میدان الکتریکی به آرامی حرکت می کنند منجر به زمان شکست بیشتر خواهد شد.



شکل ۴-۲۴- مکانیسم به وجود آمدن پدیده رشد درختی (treeing) [۵۴].



رشد درختی (treeing) رزین اپوکسی ذرات تقویت کننده

شکل ۴-۲۵- پدیده رشد درختی (treeing) عایق کامپوزیتی از جنس رزین اپوکسی (الف) زمینه بدون ذرات تقویت کننده (ب) زمینه همراه با ذرات تقویت کننده [۵۴].

راهول وهمکارانش [۵۶] در سال ۲۰۱۶، به مطالعه عملکرد مقره های سیلیکون HTV تقویت شده با ATH تحت شرایط آلودگی روی سطح عایق پرداختند. پس از ۲۴ ساعت غوطه‌ور کردن مقره ها در مخلوط آلودگی در ادامه تحت استرس الکتروگرما اعمال شده، بررسی عملکرد عایق به وسیله SEM، طیفسنجی مادون قرمز FTIR، خصوصیات رطوبت سطح عایق هم بر اساس استاندارد IEC 62073 مورد بررسی قرار گرفته، نتایج نشان می دهد که کاهش ATH باعث کاهش مقاومت در برابر ردیابی و فرسایش می شود.

ساموئل [۵۷] در سال ۲۰۱۵، به بررسی بهبود لاستیک سیلیکون برای استفاده در ولتاژ بالا با افزودن پرکنندهای ATH-SiO₂-CaCO₃ پرداختند. CaCO₃ باعث افزایش طول انقباض در قدرت شکستن و پارگی و کاهش مقاومت کششی، سختی، قوس خشک، مقاومت فرسایش و افزایش عملکرد دیالکتریک و افزایش مقاومت آبگریزی می شود. تأثیر ATH بر خصوصیات عایق الکتریکی و مقاومت فرسایش لاستیک سیلیکون HTV می شود. این مطالعه نشان داد که مقاومت الکتریکی و قدرت دیالکتریک با افزایش مقدار ATH کاهش می یابد نتیجه کار نشان می دهد که نانو سیلیس و ATH هدایت حرارتی را بهبود می بخشد و در نتیجه مقاومت در برابر فرسایش را افزایش می دهد که حاصل گرما تولید شده در آرشیو باند خشک است.

کاردوسو و همکارانش [۴۹] در سال ۲۰۱۶، به بررسی فرسایش لاستیک سیلیکون HTV تقویت شده با ATH برای عایق قدرت طبق توصیه‌های مبنی بر کمیته بین‌المللی الکترونیک (IEC)، بر اساس استاندارد IEC ۶۰۵۸۷ در دو حالت ولتاژ جریان AC و DC پرداختند و برای عایق سیلیکون HVDC سیستم‌های قدرت بهترین نتیجه را گرفتند.

تورایف و همکارانش [۵۸] در سال ۲۰۱۰، اثر اندازه نانوذرات تیتانیوم در سه اندازه 220 nm, 50 nm, 17nm روی خواص مکانیکی رزین اپوکسی را بررسی کردن و نتایج حاصله نشان‌دهنده این مطلب است که افزایش حداکثر انعطاف‌پذیری در ۱ درصد وزنی و حداکثر استحکام کششی را در ۳ درصد وزنی از نانوذرات ریزتر به دست می‌آید که ناشی از تعداد ذرات بیشتر در واحد وزنی و سطح ویژه فعال‌تر و ایجاد پیوند قوی‌تر با زمینه و بهبود کارایی پوشش می‌شود.

کوبین دیوید و همکارانش [۵۹] در سال ۲۰۱۲، با تحقیق روی نانو کامپوزیت پلیمری با ۵ و ۱۰ درصد وزنی نانو تیتانیوم با استفاده از پراکنده ساز مونومری و پلیمری، نشان دادند هنگامی که از نانوذرات تیتانیوم با مقدار ۵۰-۵۰ روتایل و آنتاز در پوشش نانو کامپوزیت پلیمری حاوی ۵ درصد نانوذرات و همچنین استفاده از پراکنده ساز مونومری استفاده شود، کارایی بیشتر داشته و باعث کاهش میزان آگلومره نانوذرات می‌شود ضمن این که وجود این نانوذرات باعث تقویت بخش سختی پلیمر و همچنین در مقدار یکسان نانوذرات باعث افزایش عملکرد فوتوکاتالیستی نیز می‌شود، به عبارتی دیگر پلیمر تحت شرایط تجزیه فوتوکاتالیستی شدید قرار ندارد.

الکس و همکارانش [۶۰] در سال ۲۰۱۳، نشان دادند که نانوذرات TiO_2 به وسیله پیوندهای کئوردیناسیون، موجب کمک به اتصال زنجیره‌های پلیمری کرده و باعث ایجاد پوششی قوی‌تر می‌شوند. TiO_2 دارای انرژی باند ۳/۰۵ تا ۳/۲۹ eV مربوط به طول 380nm می‌شود. امواج الکترومغناطیس زیر این طول موج‌ها، انرژی کافی برای تحریک الکترون‌ها را ندارند. به بیان ساده، الکترون‌های این ذرات انرژی نور UV را جذب می‌کنند و مانع از رسیدن این امواج به سطح زیرین می‌شوند که به این اثر UV blocking می‌گویند. ضمناً با توجه

به‌سختی نسبتاً بالای آن‌ها، باعث افزایش مقاومت به خراش و سایش نانو کامپوزیت می‌شود. از تیتانیوم می‌توان برای خودتمیزشونده و ایجاد پوشش آب‌گریز به علت خواص شیمیایی و فیزیکی آن استفاده کرد.

Aouabed و همکارانش [۶۱] در سال ۲۰۱۷، به مطالعه اثر لاستیکی سیلیکون بر تخلیه ناشی از قطرات آب بر روی سطح مفره‌های پلیمری پرداختند. هدف اصلی این کار این است که مقدار تأثیر انواع قطره آب، اندازه آن بر روی ولتاژ شکست سطح عایق سیلیکون با سیستم‌های میدان مغناطیسی غیرمستقیم را تعیین کند. قطرات آب با هدایت و حجم‌های مختلف بر روی سطح لاستیکی سیلیکون تحت ولتاژ AC قرار داده شده. یافته‌های این کار نشان می‌دهد که مواد عایق لاستیکی سیلیکون به‌طور گسترده در سیستم‌های عایق الکتریکی با ولتاژ بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا آن‌ها می‌توانند مشکلات پیچیده فلورانس را برطرف کنند.

۴-۱۱- نتیجه‌گیری

در این تحقیق چترک و هسته مقره کامپوزیتی ساخته شد و آزمون‌های مربوطه بر روی آنچه انجام شد و نتایج زیر به دست آمد:

۱- نتایج به دست آمده چترک‌ها نشان داد که پرکننده‌های نانوذرات تری هیدرات آلومینا در درصد‌های بالاتر از ۲۵٪ وزنی سبب می‌شود تا ذرات پرکننده به خوبی توسط سیلیکون تر نشوند و سطح ایجادشده زبرتر شود و عملکرد نمونه‌ها افت خواهد کرد.

۲- نتایج آزمون‌های ولتاژ فرکانس قدرت در حالت خشک، خیس، فرسایش، آزمون انرژی سطحی نشان داد که افزودن نانوذرات تیتانیوم تا ۲۵٪ وزنی به ترکیب سیلیکون باعث افزایش خواص لازم برای چترک‌ها می‌شود.

۳- ترکیب بهینه برای چترک‌ها حاوی تری هیدرات آلومینیوم و اکسید تیتانیوم $\text{HTV70/TiO}_2\text{/ATH25}$ در کلیه آزمایش‌ها تأثیر مثبت داشته است.

۴- هسته تقویت‌شده با ۱۰٪ فیبر شرایط لازم را برای مقره‌های رده‌های ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ کیلوولت طبق جدول طراحی ۳-۸ که مبنای طراحی مقره در سطوح ارائه‌شده بوده کسب کرده و نتایج به دست آمده نزدیک به نمونه هسته مقره کارخانه که تحت آزمون قرار گرفت بوده است. افزایش درصد فیبر از ۱۰٪ به ۱۵٪ با افت استحکام کششی همراه بوده چراکه در روش لایه گذاری دستی زمانی که درصد فیبر از یک حدی بیشتر می‌شود نظم چیدمان فیبر به هم می‌خورد و در درصد‌های بالاتر فیبر احتمال آگلومره شدن فیبرها بیشتر می‌شود و استحکام کاهش پیدا می‌یابد.

۴-۱۲- پیشنهادهای

- ۱- ساخت چترک‌های مقره کامپوزیتی با استفاده از پرکننده‌های $\text{SiO}_2\text{-CaCO}_3$
- ۲- بررسی اثر پرکننده‌های با ابعاد نانو و میکرو روی خواص چترک مقره‌ها
- ۳- بررسی فرایند رشد درختی در مقره‌های کامپوزیتی
- ۴- ساخته هسته مقره‌های کامپوزیتی با استفاده از فرایند پالترورژن

1. GUBANSKI, S.M., Ageing of composite insulators .Woodhead Publishing. Vol. . p. 421-447. 2008.
2. Askeland, D.R., P.P.Fulay, and W.J. Wright, , The Science and Engineering of Materials. Sixth ed. United States of America: Cengage Learning., 2011.
3. Licari, J.J., COATING MATERIALS FOR ELECTRONIC APPLICATIONS Polymers, Processes, Reliability, Testing. William Andrew., 2003.
4. Al-Gheilani, A., Stress control methods on a high voltage insulator: A review. Energy Procedia.,p 95 – 100. 2017.
5. Mu Liang*, K.L.W., Improving the long-term performance of composite insulators use nanocomposite: A review. Energy Procedia,p. 168 – 173. 2017.
6. Noori, N.R., of Materials Design on Properties of Porcelain Insulators. . American Ceramic Society Bulletin., , Vol. 86, No. 3.
7. Gorur, R., Evaluation of Epoxy Nanocomposites for High Voltage Insulation. Arizona State University and Washington State UniversityAll rights reserved. , 2012.
8. Marchi, S., Preparation and characterization of silicone nanocomposites by UV-induced hydrosilation for outdoor polymeric insulators. PhD in Materials Science and Technology, 2014.
9. Ireland, C.L., TE Connectivity Limerick International Science Centre University Of Limerick (N.T.P.). 2016.
10. Schmuck, F., Silicone Composite Insulators .Materials, Design, Applications. p. 1860-4676. 2013.
11. Systems, M.P., Glass Suspension Insulators,ANSI Class. 2014.
12. Lockhart, B., California Glass Insulator Co. Long Beach, California, 2006.
13. Bayliss, C.R.a.B.J.H., Chapter 6 - Insulators, in Transmission and Distribution Electrical Engineering (Fourth Edition. Vol. p. 171-188. 2012.
14. - Global Composite Insulators Market- Saver Group. market. .2017.
15. Thadei, A., The Case Study of Tanzania Field Performance of Polymeric Insulators and Dielectric Characteristics of Silicone Rubber and Epoxy Resin Formulations. (Electrical Power and High Voltage Engineering) Thesis University, 2010.
16. Jaya, A., The Performance of High Voltage Insulator Based on Epoxy-Polysiloxane and Rice Husk Ash Compound in Tropical Climate Area. Electrical and Electronic Engineering, 2(4):p. 208-216. 2012.
17. ABB, NT Cast Resin Post Insulators and Busbar Clamps1996.
18. Ghunem, R., A Study of the Erosion Mechanisms of Silicone Rubber Housing Composites. A thesispresented to the University of Waterloo.2014.
19. Ple,sa, I., Properties of Polymer Composites Used in High-Voltage Applications. Review 2016.
20. Raymond W. Meyer, B.S.C.E. Handbook of Pultrusion Technology. Chapman and Hall New York London 1985.
21. Verma, A.R., Accelerated aging studies of silicon-rubber based polymeric insulators used for HV transmission lines. High Voltage Lab, Department of Electrical Engineering Indian Institute of Science Bangalore, India, 2017.
22. Inc, P.S.A., POLYMER CONDENSER BUSHING WITH COMPOSITE AIR END SILICONE INSULATOR. 2011.
23. Narayanan, V.J., Analysis of Surface Condition of Polymeric Insulators for High Voltage Power Transmission Line Applications Using Partial Discharge Analysis. International Journal of Engineering And Science., P 31-40. 2014.
24. VIJAYALEKSHMI.V, DEVELOPMENT AND CHARACTERISATION OF EPDM/SILICONE RUBBER NANOCOMPOSITES FOR HIGH VOLTAGE INSULATORS. MASTER OF TECHNOLOGY (BY RESEARCH) in POLYMER TECHNOLOGY, 2013.
25. Reliability, E., DEADEND SUSPENSION INSULATORS for 15-69kV Applications.

26. Soares, D.M., Electrical field on non-ceramic insulators and its relation to contact angles for constant volume droplets. *Journal of Electrostatics*, p. 97-105. 2016.
27. Jiang, X., Comparison on ac icing flashover performance of porcelain, glass, and composite insulators. *Cold Regions Science and Technology*, p.1-7. 2014.
28. COSTEA, M., A COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL AND COMPOSITE INSULATORS BEHAVIOR. A comparative analysis of classical and composite insulators behavior, p.148-154. 2012.
29. Kapal Sharma, R.E.T., Technical Article Polymeric Insulators. 2012.
30. Carollo, C., COMBINED INSULATION BUSHING. *International Conference on Electricity Distribution*, p. 10-13 .2013.
31. Mohamed E. Ibrahim*, Flashover improvement of polluted high voltage insulators by nonlinear nanofilled hydrophobic coating. *Electric Power Systems Research*, 2016.
32. Gorur, R.S., Prediction of Flashover Voltage of Insulators Using Low Voltage Surface Resistance Measurement. *Power Systems Engineering Research Center, AZ 85287-5706*. 2006.
33. Gubanski, S.M., 16 - Ageing of composite insulators A2 - Martin, Rod, in *Ageing of Composites*, Woodhead Publishing, p. 421-447. 2008.
34. Chakraborty, R., Performance of Silicone Rubber Insulators under Thermal and Electrical Stress. *Electrostatics Joint Conference*, 2016.
35. Jiang, Z., Investigating the Effect of Rainfall Parameters on the Self-Cleaning of Polluted Suspension Insulators. *Energies*, p.10, 601;. 2017.
36. Schwalm, A., IEEE Chairman, Lightning and Insulator Subcommittee. *IEEE/PES 2010 Transmission and Distribution Conference and Exposition New Orleans, Louisiana 2010*.
37. Qinghao, W., Lightning on transmission lines hazards and Prevention Measures. p. 2023-2027. 2012.
38. Zedan, F.M., PERFORMANCE OF IV TRANSMISSION LINE INSULATORS IN DESERT CONDITIONS. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 1983. EI-18 No.20,.
39. Mahzan1, S., UV radiation effect towards mechanical properties of Natural Fibre Reinforced Composite material: A Review. *Materials Science and Engineering*, 2017.
40. Bo, L., Modeling Flashover of AC Outdoor Insulators under Contaminated Conditions with Dry Band Formation and Arcing. *Arizona State University and Washington State University All rights reserved.*, 2012.
41. I, P., Guide for the selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted conditions. IEC 60815, 2001. IEC TC36 – WG11 – 60815 Ed2 3.
42. Taskforce, c., polluted insulators A review of current knowledge , clgre brochure N .p. 158-2000.
43. Gorur, R.S., Condition Assessment of Polymer Insulators Department of Electrical Engineering Arizona State University, USA, 2003.
44. TALI, M.H.B., ELECTRIC FIELD MODELING OF OUTDOOR INSULATOR FOR OPTIMIZED PERFORMANCE. Faculty of Electrical and Electronic Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia, 2014.
45. Akbari, E., INVESTIGATING THE EFFECTS OF DISC INSULATOR TYPE AND CORONA RING ON VOLTAGE DISTRIBUTION OVER 230- KV INSULATOR STRING USING 3-D FEM. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, p: 1-8. 2012.
46. 60060-1, I., High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements. , Geneve, Switzerland. 2008.
47. 60383, I., Ceramic or glass insulator units for A.C. systems definitions ,test methods and acceptance criteria,. Geneve, Switzerland. 1993.
48. 61109, I., Composite Insulators for A.C. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V,. Geneve, Switzerland. 2008.

49. Buontempo, R.C., et al., , Electrical assessment of commercial 6.0-kV HTV silicone rubber for power insulation. . Measurement, 89: p. 114-119. 2016.
50. IEC, I.E.C., IEC 60587,, in Electrical insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion. Geneve, Switzerland. 2007.
51. Saravanan, P., Electrical properties of green synthesized TiO₂ nanoparticles. Advances in Applied Science Research, p. 158-168. 2016.
52. Bhagyashree, M.K., Study of HTV Silicone Rubber with Different Concentrations of Filler ATH. International Journal on Emerging Technologies, p. 72-78 .2015.
53. Mu Liang*, K.L.W., Improving the long-term performance of composite insulators use nanocomposite: A review, in 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016, Energy Procedia RMIT University, Melbourne of Australia. p. 168 - 173. 2017.
54. Nelson, J.K. and Editor, Dielectric Polymer Nanocomposites. Polytechnic Institut Dept. Electrical, Computer & Systems Engineering USA, 2010.
55. Neimi, R.G., High voltage insulators. United States Patent, No.4476155. 1984.
56. Chakraborty, R., Performance of Silicone Rubber Insulators under Thermal and Electrical Stress. Electrostatics Joint Conference, p.1-9. 2016.
57. Ansoerge, S., Improvement of Silicone Rubber for High Voltage Applications by Addition of Fillers.. Diss. ETH NO. 22763. 2015.
58. Al-Turaif, H.A., Effect of nano TiO particle size on mechanical properties of cured epoxy resin. Progress in Organic Coatings, p.241–246. 2010.
59. Charpentier, P.A., Nano-TiO₂/polyurethane composites for antibacterial and self-cleaning coatings IOP Publishing Ltd Nanotechnology. p.23-42. 2012.
60. Ibhaddon, A.O., Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications Review . pp.189-218. 2013.
61. F.Aouabed, Flashover voltage of silicone insulating surface covered by water droplets under AC voltage Electric Power Systems Research. p.66-72. 2017

Abstract:

The errors created on high-voltage transmission lines can tend to extensive Power lost, and as a result, made large economic damages. A considerably importance value of the transmission lines, is choosing a suitable high-voltage insulators. Cause insulators are suitable insulation, they are used as separator the current conductor from the base and the console, so that, the base and the console are staying insulated. These parts are made from two pieces, the housing and the core. In this study, we are trying to make Housing and core by using new materials and nano-materials to form of composite.

Due to the excellent performance, the coatings of HTV silicon Rubber is used in high-voltage transmission lines insulators at the humid conditions and extremely pollution. In order to increase abrasion and erosion resistance and enhance the contact angle and the resistance of the power frequency voltage in different conditions, fillers are used in these coatings. The aluminum trihydrate (ATH) and TiO_2 are known as the best fillers. In the present work, a comparative study was carried out on the performance of Housing in which the filler was added to the silicon with different percentages, that 9 series of samples with several percentages in the terms of filler mass and type are prepared. The samples which describes in an electrical test on the subject of dry conditions, artificial rain, abrasive sample and erosion are assessed. The experiments showed that using of ATH nano-particles in the examination of the power frequency in dry state in 60 seconds is higher than standard level are results, in an approximately increase twice in the voltage endurance at the wet state compared to the purified silicon sample. Titanium oxide nano-particles have been extremely effective in all tests. In the test of power frequency at the dry state in 60 seconds higher than the standard level, particularly, increases threefold compare with the pure silicon in the test of power frequency voltage at wet state. The results of the erosion test show the significant effect of ATH, as well as to assessed and compare the property of hydrophobic coatings were used with contact angle measurement test. The result of the contact test showed that the filler particles 14% increase the contact angle compared with pure silicon. Research on core construction is done as follows the 3 core series of epoxy resin are strengthened by fiber glass with percentages of 10, 13 and 15 percent are made, and the tensile test is performed on them .

Key words: Composite insulators, HTV Silicone, Titanium oxide, Aluminum trihydrate



Faculty of Chemical and Materials Engineering
M.Sc. Thesis in composite Engineering

Manufacturing of Composite Insulators Coated with Silicone (HTV)
Reinforced by Aluminum Hydrate and TiO₂ Nanoparticles

By: Abdullah Gafti

Supervisor:
Dr. Reza Taherian

Shahrivar 2017