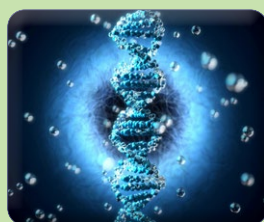




The crossover method as a simple and fast solving method in solution preparation problems



Importance of hydrophobicity and related tests in the electrical insulation industry



Investigation of mtDNA in Genetic Laboratory Sequences and Methods used in Ancient Genetic Studies



Applications of cold plasma technology in food industry



A review on Fracture Toughness; concepts and test methods



The crossover method as a simple and fast method in solving solution preparation problems

نویسندگان

راضیه نمکی^{*۱}
محمد فیروز ثانی^۲
نازنین ملکمی^۳

*r_namaki86@yahoo.com

اهمیت آبریزی و آزمون‌های مربوط به آن در صنعت عایق‌های الکتریکی

مقدمه

پدیده مرطوب شدن یک سطح، پیچیده است و عوامل بسیاری می‌تواند ویژگی‌های آبریز بودن آن را تحت تأثیر قرار دهد. برخی از عوامل مهم عبارتند از: نوع مواد، زبری سطح، ناهمگونی سطح، ترکیب شیمیایی مواد [۱].

میزان آبریزی یک ماده تعریفی از مقاومت آن ماده در برابر جاری شدن آب روی سطح آن است. در صورتی که ماده‌ای نسبت به جاری شدن قطرات آب بر سطح خود مقاومت کند، بسیار آبریز است و اگر قطرات آب روی سطح ماده جاری شود و یک مسیر را ایجاد کند، آبریزی آن در سطح پایینی قرار دارد. سطح آبریز دافع آب است، در حالی که سطح آبدوست به راحتی خیس می‌شود. میزان آبریزی یک ماده می‌تواند با استفاده از زاویه تماس یک قطره مایع با سطح آن ماده توصیف شود. ماده‌ای که به راحتی خیس می‌شود، به قطره آب این اجازه را می‌دهد که با مساحت زیادی از سطح آن ماده در تماس باشد و در نتیجه زاویه تماس کمتر از ۹۰ درجه ایجاد می‌شود، در حالی که مواد آبریز به سطح کمتری از آب اجازه تماس می‌دهند و در نتیجه زاویه تماس ایجاد شده بیشتر از ۹۰ درجه خواهد بود [۲].

هدف از این مقاله، بررسی آزمون‌های مربوط به تعیین میزان آبریزی و کاربرد و اهمیت آن در صنعت عایق‌های الکتریکی است.

چکیده

در صنعت انتقال و توزیع برق، مقره‌های سرامیکی و چینی در حال جایگزینی با مقره‌های سیلیکونی هستند. این مقره‌های سیلیکونی برخلاف سایر مواد عایقی کامپوزیتی استفاده شده در دهه‌های گذشته، قادر به حفظ خاصیت آبریزی خود حتی در شرایط شدید آلودگی هستند. به دلیل این که شرایط آلودگی محیطی در زمان بهره‌برداری، غیر قابل پیش‌بینی است، بنابراین عملکرد دینامیک آبریزی این عایق‌های الکتریکی حائز اهمیت است. این عملکرد دینامیک عایق‌های سیلیکونی، به‌عنوان سازوکار انتقال آبریزی نیز شناخته می‌شود. همچنین این مواد سیلیکونی، علاوه بر انتقال آبریزی، قابلیت بازبایی آبریزی را نیز دارا هستند. سازوکار انتقال و بازبایی آبریزی مواد سیلیکونی، به جهت‌گیری مجدد گروه‌های متیل و وجود اجزای با وزن مولکولی پایین مرتبط است که این موارد در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی

مقره، عایق الکتریکی، آبریزی، انتقال آبریزی، زاویه تماس، مواد سیلیکونی.

□ اهمیت آبگریزی در صنعت عایق‌های الکتریکی

طی دهه‌های اخیر عایق‌های کامپوزیتی به‌طور فزاینده‌ای در سرتاسر جهان در بسیاری از شبکه‌های برق، اعم از شبکه‌های توزیع و انتقال به دلیل وزن کم و سبکی، استحکام مکانیکی بالا و عملکرد عالی در سازوکار آبگریزی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سطح آبگریزی، ما را مطمئن می‌سازد که این مقره‌های عایق، ولتاژ شکست الکتریکی بالا و به دنبال آن، عملکرد بسیار خوبی دارند [۳]. آبگریزی مواد عایق پلیمری به‌عنوان یک ویژگی دینامیک شناخته شده‌است و اگر این مواد برای کاربردهای بیرونی مورد استفاده قرار بگیرند، این ویژگی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۴].

□ دسته‌بندی مواد بر اساس میزان آبگریزی

آبگریزی سطح مواد عایق، بیشتر بصورت کمی، با زاویه تماس تشکیل شده بین قطره آب و سطح ماده تعیین می‌شود که نمایانگر کشش سطحی بین فصل مشترک اتم‌های ماده و آب است [۱].

به‌منظور بررسی میزان آبگریزی بودن یک سطح، در استاندارد IEC TS 62073 دو روش آزمون ارائه شده‌است. یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری زاویه تماس^۴ قطره آب با سطح نمونه و روش دیگر، روش افشانه^۵ است که یک آزمون کیفی است.

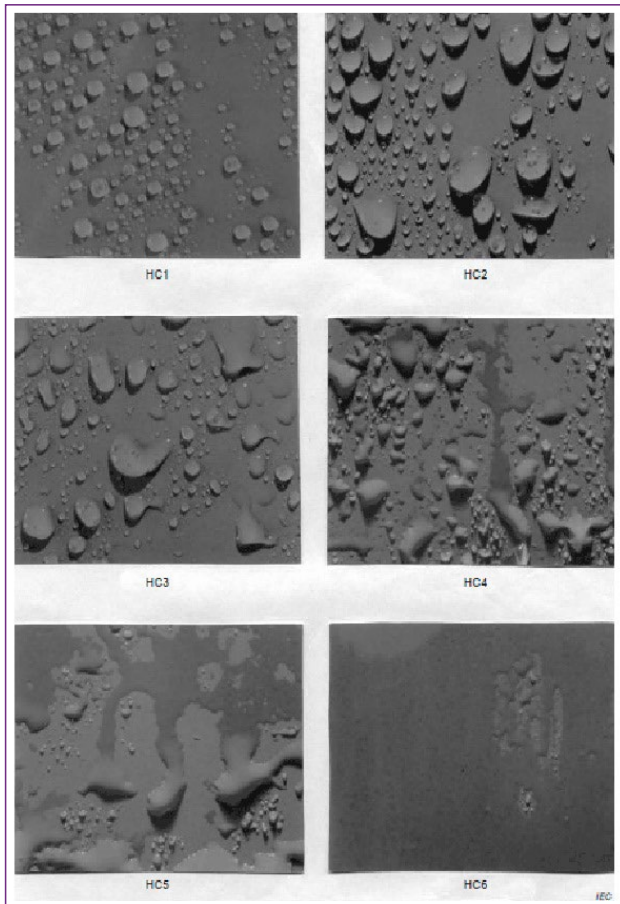
آبگریزی با این استاندارد در هفت دسته از HC1 تا HC7 دسته‌بندی می‌شود و نمونه مورد آزمون در یکی از این هفت دسته قرار می‌گیرد. HC1 آبگریزترین و HC7 آبدوست‌ترین سطح جامد در نظر گرفته می‌شود.

هفت دسته مذکور براساس دو عامل تعریف می‌شوند: (۱)- شکل قطرات، (۲)- درصد قسمتی از سطح که مرطوب شده‌است.

دسته HC1، بهترین حالت آبگریزی برای نمونه است و در دسته HC7، تمام سطح نمونه با آب خیس شده‌است و هیچ قسمتی از نمونه خشک نیست [۱].

□ توصیف دسته‌بندی آبگریزی

توصیف آبگریزی HC1 تا HC7 مطابق با شکل (۱)، در ادامه آورده شده‌است.



شکل ۱: نمونه‌هایی از سطح‌های مختلف با آبگریزی از HC1 تا HC6 [۱].

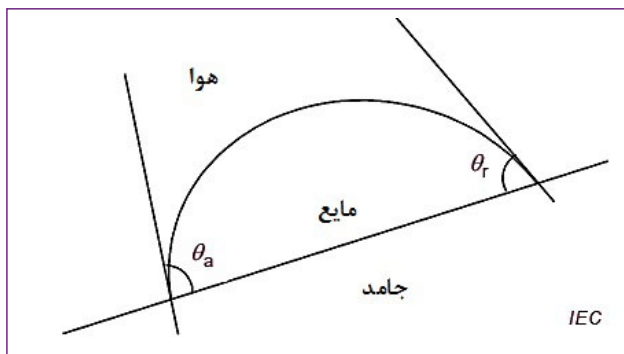
■ **HC2:** روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا وجود دارد که به‌صورت منظم روی سطح قرار دارند اما در صورتی که به سطح عمود نگاه شود، شکل قطرات کروی نیست. در این حالت زاویه تماس آب با سطح بین ۴۰ تا ۶۰ درجه است و سطح، آبگریز است.

■ **HC3:** روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا وجود دارد اما قسمت اعظم سطح، از قطرات با شکل‌های نامنظم پوشیده شده‌است. در این حالت زاویه تماس آب با سطح بین ۱۰ تا ۴۰ درجه است و میزان آبگریزی سطح، در حد متوسط است.

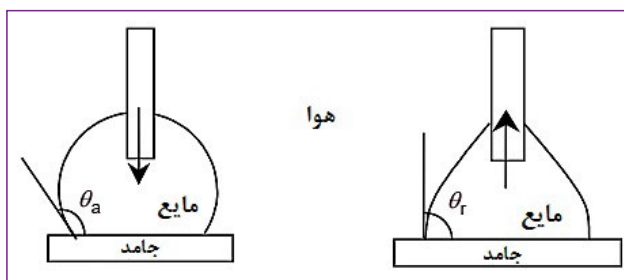
■ **HC4:** روی سطح نمونه هم قطرات جدا از هم دیده می‌شود و هم مسیرهایی که توسط فیلم آب جریان یافته، مرطوب شده‌است، اما کمتر از ۱۰ درصد از سطح نمونه با فیلم آب پوشیده شده‌است. در این حالت زاویه تماس آب با سطح بین صفر تا ۱۰ درجه است و میزان آبگریزی سطح، در حد متوسط است.

■ **HC5:** روی سطح نمونه هم قطرات جدا از هم دیده می‌شود و هم مسیرهایی که توسط لایه آب جریان یافته، مرطوب شده‌است، اما بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۹۰ درصد سطح نمونه با لایه‌ای از آب پوشیده شده‌است. در این حالت زاویه تماس آب با سطح بین صفر تا ۱۰ درجه است و میزان آبگریزی سطح، در حد متوسط است.

■ **HC1:** روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا و منظم وجود دارد و اگر به صورت عمودی به قطرات نگاه شود، شکل قطرات به‌صورت کروی است. در این حالت زاویه تماس آب با سطح، بیش از ۶۰ درجه است و سطح آبگریز به شمار می‌رود.



شکل ۳: زوایای تماس دینامیک پیشروی (θ_a) و پسروی (θ_r) روی سطح شیبدار [۱].



شکل ۴: شکل سمت راست زاویه تماس دینامیک پسروی روی سطح افقی (θ_r), شکل سمت چپ زاویه تماس دینامیک پیشروی روی سطح افقی (θ_a) [۱].

زاویه تماس استاتیک (θ_s), زاویه ایجاد شده در فصل مشترک قطره مایعی است که روی یک سطح جامد قرار گرفته و یک گاز با هر دوی آنها در تماس است. اندازه‌گیری این زاویه با قرار دادن یک قطره آب روی سطح افقی نمونه، انجام می‌شود. برای بررسی این زاویه، سه قطره روی سطح افقی قرار داده شده و در هر بار زاویه سمت راست و سمت چپ بررسی می‌شود.

زاویه تماس دینامیک پیشروی (θ_a) روی سطح شیبدار، زاویه تشکیل شده بین قطره و سطح شیبدار در پایین‌ترین قسمت سطح و زاویه تماس دینامیک پسروی (θ_r) روی سطح شیبدار، زاویه تشکیل شده بین قطره و سطح شیبدار در بالاترین قسمت سطح است. در این حالت اگر θ_r صفر باشد، سطح کاملاً خیس می‌شود [۱].

اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک پیشروی (θ_a) روی سطح افقی، باید در لحظه افزودن قطره به قطره‌ای که پیشتر روی سطح افقی قرار گرفته است، انجام شود. همچنین اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک پسروی (θ_r) روی سطح افقی، با برداشتن آب از قطره‌ای که بر سطح افقی قرار دارد، انجام می‌شود و باید این زاویه در لحظه پس رفتن قطره و در هر دو طرف آن، ثبت و اندازه‌گیری شود [۱].

در زمان انجام آزمون باید سطح نمونه لمس نشود و آب مورد استفاده، آب دیونیزه باشد. حجم قطره آب اهمیت زیادی ندارد اما به صورت معمول بین $5 \mu\text{l}$ تا $50 \mu\text{l}$ است. برای سطوحی که زبری آنها زیاد است، ممکن است قطره با حجم بیشتری نیاز باشد. همچنین برای مقایسه مواد مختلف بهتر

■ **HC6**: بیشتر از ۹۰ درصد و کمتر از ۱۰۰ درصد از سطح نمونه با آب خیس شده است اما هنوز قسمت‌های کوچکی روی سطح نمونه دیده می‌شود که خشک است. در این حالت، زاویه تماس آب با سطح بین صفر تا ۵ درجه است و سطح، آبدوست است.

■ **HC7**: در تمام سطح نمونه آب جریان دارد و تمام سطح خیس است. در این حالت زاویه تماس آب با سطح صفر درجه است و سطح، آبدوست است [۱].

■ تعیین میزان آبگریزی یک سطح با انجام آزمون

■ روش افشانه

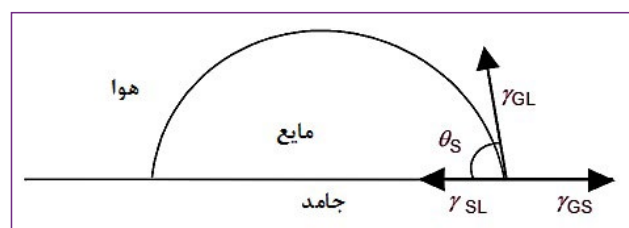
یکی از روش‌های موجود برای بررسی میزان آبگریزی بودن یک سطح، روش افشانه است که روشی کاربردی به منظور بررسی آبگریزی در محل است. ایده اصلی این کار این است که سطح مورد آزمون، با آب مقطر اسپری و از سطح نمونه عکس برداری می‌شود و با عکس موجود در استاندارد مقایسه شده و دسته آبگریزی از طریق مقایسه، تخمین زده می‌شود. سختی این آزمون در این است که تصمیم‌گیری نهایی وابسته به فرد آزمونگر است.

در این روش، پاشش آب با یک افشانه از فاصله 10 ± 20 cm بر نمونه انجام می‌شود. باید زمان پاشش ۱۰ الی ۲۰ ثانیه باشد و میزان آب مصرفی در این بازه زمانی، به حدی باشد که آب از لبه‌های نمونه چکه کند. سپس بررسی آبگریزی براساس توضیحات ذکر شده در قسمت توصیف دسته‌بندی آبگریزی و شکل (۱)، در نهایت تا ۱۰ ثانیه بعد از اتمام پاشش انجام می‌شود. بنابراین، باید گرفتن عکس از نمونه مورد آزمون، در زمان کمتر از ۱۰ ثانیه بعد از پاشش صورت گیرد [۱].

■ روش اندازه‌گیری زاویه تماس

نمونه انتخاب شده برای این روش آزمون، باید به اندازه‌ای باشد که بتوان در هر حالت سه قطره در سه نقطه مختلف را روی آن بررسی کرد.

در مجموع چهار حالت آزمون وجود دارد که شامل بررسی زاویه تماس استاتیک (θ_s) روی سطح افقی، بررسی زوایای تماس دینامیک روی سطح شیبدار (θ_a و θ_r)، بررسی زاویه تماس دینامیک پیشروی روی سطح افقی (θ_a) و بررسی زاویه تماس دینامیک پسروی روی سطح افقی (θ_r) است. این زوایا در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است [۱].



شکل ۲: زاویه تماس استاتیک (θ_s) [۱].

افزایش می‌یابد. آبریزی مفره‌های کامپوزیتی در طول زمان به صورت چرخه‌ای کاهش و بازیابی را تجربه می‌کنند. حتی اگر لایه ضخیمی از آلودگی روی چترک این مفره‌ها قرار گیرد، آبریزی آنها یا استفاده از مولکول‌های با وزن پایین ترمیم می‌شود [۱۰ و ۱۱].

به همین علت، جریان نشتی در طول زمان، به‌طور پیوسته افزایش نمی‌یابد. در واقع ممکن است که جریان نشتی در ابتدا بعد از حدود یک سال افزایش یابد و سپس شروع به کاهش کند. به‌عنوان مثال، برای یک مفره کامپوزیتی سیلیکونی، ممکن است که بعد از گذشت حدود یک سال از زمان بهره‌برداری، جریان نشتی ۵ mA و بعد از گذشت حدود دو سال از زمان بهره‌برداری، جریان نشتی ۲ mA رخ دهد [۱۲].

بارزترین ایراد کاهش آبریزی در عایق‌های الکتریکی، افزایش جریان نشتی سطحی است که در نتیجه، افزایش خشکی سطح را به دنبال دارد [۲]. میزان آبریزی با استفاده از دو مرحله، عایق‌های از جنس سیلیکون را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مرحله اول از دست رفتن آبریزی سبب کاهش در عملکرد عایقی الکتریکی و کاهش مقاومت در برابر آلودگی آن می‌شود و در مرحله دوم این مورد به‌طور آشکارا بر فرایند پیری عایق‌های مواد سیلیکونی تأثیر می‌گذارد [۱۳].

در قسمت‌هایی از عایق الکتریکی سیلیکونی کامپوزیتی که عاری از آلودگی است و تمام ویژگی عایقی خود را حفظ کرده است، اما در مجاورت آلودگی قرار دارد، تمرکز میدان الکتریکی افزایش یافته و این سبب ایجاد قوس الکتریکی در فاصله کوتاه بین دو آلودگی می‌شود. در اثر ایجاد قوس الکتریکی، محلی که در آن تخلیه الکتریکی رخ داده است از حالت پلیمری خارج شده و تبدیل به سیلیس که یک ماده معدنی است می‌شود و این پدیده، ترک‌ها و مسیریابی را بر سطح عایق به وجود می‌آورد. در این حالت، اهمیت انتقال مولکول‌های با وزن پایین و مولکول‌های با وزن پایین کوچکتر به سطح، آشکار شده و هر چه کیفیت مواد استفاده شده برای تهیه عایق‌های الکتریکی سیلیکونی کامپوزیتی در سطح بهتر باشد، ترمیم سطح عایق بهتر و سریع‌تر صورت گرفته و از تخریب آن جلوگیری می‌شود.

با توجه به اینکه دلایل زیادی نظیر تجمع آلاینده‌ها، پیرشدگی و قوس سطحی سبب تخریب آبریزی می‌شود، بنابراین برآورد دوره‌ای میزان آبریزی مفره‌های کامپوزیتی سیلیکونی از این رو حائز اهمیت است که عملکرد صحیح و قابل اطمینانی در شبکه برق داشته باشند [۳].

اگر یک ماده عایق پلیمری، قابلیت انتقال آبریزی به روی یک لایه آلودگی متراکم را داشته باشد، انتظار می‌رود که این ماده توانایی بازیابی آبریزی بعد از کاهش و یا از بین رفتن را نیز دارا باشد. بنابراین، ماده انتقال دهنده آبریزی^{۱۰} نشان دهنده ویژگی‌های آبریزی دینامیک است. رزین‌های اپوکسی مونومر اتیلن پروپیلن دی ان^{۱۱} یا اتیلن وینیل استات^{۱۲}، از مواد پلیمری آبریز هستند اما در دسته

است که حجم قطره برای همه آنها یکسان در نظر گرفته شود. حجم‌های کوچک از قطره این مزیت را دارند که کمتر تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین قرار گیرند. اما در مورد سطوح با زبری بالا و همچنین سطوح با زاویه پیشروی بالا و زاویه پسروی پایین، قطره‌های با حجم بسیار کم موجب می‌شود که اندازه‌گیری زوایای دینامیک به سختی انجام شود. بنابراین حجم مناسب قطره، به زبری سطح، دما و رطوبت محیط آزمون بستگی دارد.

بنابراین، بهتر است که اندازه‌گیری زاویه تماس، بلافاصله بعد از قرار گرفتن قطره بر سطح جامد، انجام شود. به‌خصوص در مواردی که دمای محیط بالا و رطوبت آن پایین است، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۱].

■ تغییرات ایجاد شده در میزان آبریزی در زمان بهره‌برداری:

آبریزی بسیار تحت تأثیر محیط است [۵] و ویژگی‌های آبریز بودن مواد عایق رایج، می‌تواند در طول زمان به دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن در شرایط محیطی تغییر کند [۱]. همچنین در طول زمان در اثر تخلیه‌های سطحی ایجاد شده بر سطح عایق، میزان آن تغییر می‌کند. نکته حائز اهمیت این است که در عایق‌هایی از جنس مواد سیلیکونی، آبریزی کاهش یافته و یا حتی از دست رفته، قابلیت بازیابی دارد. شیمی سطح به این صورت است که حرکت منقطع زنجیره‌های پلی دی متیل سیلوکسان^۴ می‌تواند منجر به تجدید سطح شود. مواد سیلیکونی، حاوی مولکول‌های کوچکتر با وزن مولکولی کم^۷ در توده پلیمری خود هستند [۶]. این مولکول‌های با وزن پایین^۸ و مولکول‌های با وزن پایین کوچکتر، از ابتدا در حالت تعادل در توده این مواد وجود دارند و می‌توانند در اثر برش زنجیره که به علت پیر شدن ماده رخ می‌دهد، به تعداد بیشتری تولید شوند. اشعه فرابنفش خورشید^۹ در مواد پلیمری باعث شکست زنجیره‌ها و در نتیجه پیر شدن آنها می‌شود. در توده پلیمری، تقریباً ۱۵ درصد از کل مولکول‌های با وزن پایین به مولکول‌های با وزن پایین کوچکتر تعلق دارد که مسئول بازیابی آبریزی هستند. بیشتر مواد سیلیکونی تجاری که برای تولید مفره‌های کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای تحرک منقطع و در نتیجه مولکول‌های با وزن پایین کوچکتر کافی، به‌منظور تقویت بسیار عالی ویژگی‌های آبریزی هستند [۶].

این مولکول‌های با وزن پایین کوچکتر، انرژی سطح بسیار پایینی داشته و تمایل دارند که در بیشترین مساحت ممکن پخش شوند. این بدان معنا است که تنها مقدار کمی از آن برای پوشش مؤثر سطح مورد نیاز است [۷-۹].

جریان نشتی مفره، به مقاومت سطح آن و در نتیجه به میزان آبریز بودن سطح بستگی دارد. با مرطوب شدن سطح مفره، مقاومت سطح آن کاهش و جریان نشتی

در ابتدا قطره روی سطح نمونه به صورت کروی بود، اما پس از ۴۰۰s اولیه اعمال ولتاژ ۱۱ kV، زاویه تماس پسروری به شدت افت کرد. تنش کرونای اعمال شده به طور واضح آبریزی نمونه را کاهش داد، اما پس از گذشت مدت زمان استراحت نمونه، آبریزی آن بازیابی شد و میزان زاویه تماس پسروری به حدود مقدار اولیه بازگشت [۱۴].

□ آزمون‌های انجام شده در آزمایشگاه سامانه‌های نوین افرا به منظور بررسی آبریزی

■ آزمون آبریزی به روش افشانه و بررسی بازیابی آن

آزمون بررسی آبریزی به روش اسپری کردن براساس استاندارد IEC TS 62073، در حالت‌های مختلفی روی چترک یک نمونه مقرر انجام شد که نتایج و شرایط انجام آزمون در ادامه آورده شده است.

در ابتدا بدون تمیز کردن نمونه، میزان آبریزی آن با انجام آزمون بررسی شد. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است، طبق تعریف دسته‌بندی آبریزی که در قسمت «توصیف دسته‌بندی آبریزی» بیان شد، نمونه در دسته آبریزی HC1 قرار دارد، به طوری که روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا و منظم کروی وجود دارد.



شکل (۵): انجام آزمون آبریزی به روش اسپری کردن بدون تمیز کردن نمونه.

سپس، سمت راست چترک با یک دستمال خشک تمیز شد و بلافاصله پس از تمیز کردن، آزمون بررسی آبریزی به روش اسپری کردن روی آن انجام شد. همان‌طور که در شکل (۶) قابل مشاهده است، آبریزی در سمت راست نمونه به طور واضحی کاهش یافت و به دسته آبریزی HC3 رسید. در این حالت، روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا وجود دارد اما قسمت اعظم سطح، از قطرات با شکل‌های نامنظم پوشیده شده است که این نشان‌دهنده دسته آبریزی HC3 است.

مواد انتقال دهنده آبریزی قرار نمی‌گیرند در حالی که مواد سیلیکونی، جزء این مواد است.

برای بررسی ویژگی‌های آبریزی دینامیک مواد انتقال دهنده آبریزی، روش آزمون‌هایی طراحی شده‌اند که توانایی انتقال و بازیابی آبریزی این مواد را بررسی می‌کنند [۴].

□ روش آزمون به منظور بررسی انتقال آبریزی مواد انتقال‌دهنده آبریزی

در این آزمون، یک لایه آلودگی متراکم استاندارد روی نمونه قرار داده می‌شود و بعد از گذشت مدت زمانی مشخص، میزان آبریزی سطح جدید با اندازه‌گیری زاویه قطره آب بر آن، بررسی می‌شود.

۵ عدد نمونه صفحه‌ای با ابعاد $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 6\text{mm}$ مورد آزمون قرار می‌گیرند. براساس استاندارد IEC TR 62039، ترکیبی از پودر سیلیس، آب و الکل ایزوپروپانول تهیه شده که پس از اسپری شدن مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها، پوششی از این ترکیب روی سطح 900mm^2 از مرکز نمونه و به ارتفاع 0.36mm اعمال می‌شود. نمونه‌های حاصل شده، به مدت ۹۶ ساعت در دسیکاتوری با رطوبت نسبی RH ۱۰ درصد تا $\pm 5\% \text{RH}$ درصد و دمای 1°C تا 23°C نگهداری می‌شوند. پس از گذشت این مدت زمان، زاویه تماس استاتیک نمونه با قرار دادن یک قطره آب با حجم معین روی سطح آن اندازه‌گیری می‌شود [۴].

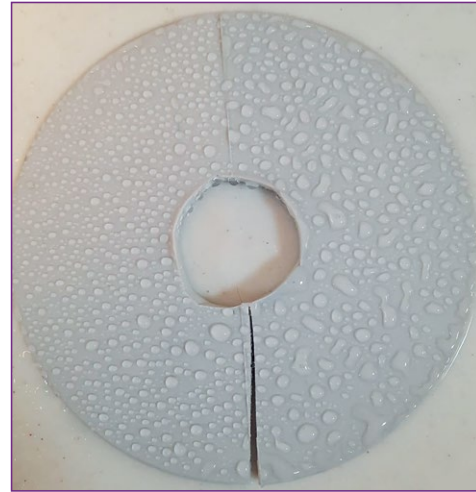
□ بررسی بازیابی آبریزی

تغییر میزان آبریزی به علت قرار گرفتن در برابر تنش‌های معینی مانند تخلیه‌های جزئی در شرایط مرطوب و کرونای قطره آب و سپس بازیابی آن بعد از یک مدت زمان استراحت، طی آزمونی که در ادامه آورده شده است توسط یونگ ژو^{۱۳} و همکارانش، مورد بررسی قرار گرفت.

سامانه آزمایشگاهی تخلیه کرونا، شامل یک میدان الکتریکی ساخته شده از یک الکتروود صفحه‌ای شکل و یک الکتروود شانه‌ای که هر دو از فولاد ضد زنگ ساخته شده، است. این سامانه از یک سمت به منبع ولتاژ قوی در حالت متناوب که با یک مقاومت به بزرگی $50\text{k}\Omega$ سری شده است و از سمت دیگر به زمین متصل می‌شوند. ولتاژهای ۸ kV تا ۱۱ kV اعمال می‌شود تا تخلیه کرونا را شکل دهند. صفحه سیلیکونی با ابعاد $50\text{mm} \times 60\text{mm} \times 2\text{mm}$ میان الکتروودها قرار گرفته و فاصله میان دو الکتروود ۲۰mm است. در طول این آزمون، وزن از دست رفته به دلیل پیرسازی و تغییرات در زاویه تماس بررسی شده است. در واقع جرم از دست رفته مواد سیلیکونی حین پیرسازی، نمایانگر درجه تخریب این مواد است که در اثر قرار گرفتن در معرض تخلیه کرونا رخ داده است و پس از زدودن محصولات جانبی پیرسازی از قسمت تخریب شده سطح، قابل مشاهده و بررسی است.



شکل (۸): انجام آزمون آگریزی به روش افشانه ۱۲ ساعت بعد از تمیز کردن سمت راست نمونه با دستمال خشک.



شکل (۶): انجام آزمون آگریزی به روش افشانه بلافاصله بعد از تمیز کردن سمت راست نمونه با دستمال خشک.

در نتیجه انجام این آزمون مشخص است که تمیز کردن چترک نمونه با دستمال خشک، سبب از دست رفتن ویژگی آگریزی سطح می‌شود و پس از یک مدت زمان استراحت، به دلیل حرکت مولکول‌های با وزن پایین به سطح نمونه، آگریزی سطح نمونه بازیابی شده و به حالت اولیه باز می‌گردد.

■ آزمون انتقال آگریزی

ابتدا آگریزی نمونه براساس استاندارد IEC TS 62073 و با روش اندازه‌گیری زاویه تماس بررسی شد. قطره آب با حجم مشخص روی نمونه قرار گرفت. سپس با استفاده از دستگاه اندازه‌گیر زاویه تماس که مجهز به نرم‌افزار تخصصی مربوطه به منظور تعیین زاویه تماس است، این عامل اندازه‌گیری شد. زاویه تماس استاتیک قطره آب روی سطح نمونه $105^\circ \geq$ حاصل شد. تصویر قطره قرار گرفته روی سطح نمونه که با استفاده از دستگاه اندازه‌گیر زاویه تماس گرفته شده است در شکل (۹) قابل مشاهده است. سپس براساس استاندارد IEC TR 62039، روی نمونه آزمون انتقال آگریزی طبق آنچه که در قسمت «روش آزمون به منظور بررسی انتقال آگریزی مواد انتقال‌دهنده آگریزی» توضیح داده شد، صورت گرفت. لایه آلوده استاندارد به مدت ۹۶ ساعت روی نمونه اعمال و بعد از خارج کردن نمونه از دسیکاتور، زاویه تماس قطره آب روی نمونه حاصل، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیر زاویه تماس، بررسی شد که میزان آن $115^\circ \geq$ بود؛ این مقدار، نمایانگر انتقال آگریزی به دلیل حرکت مولکول‌های با وزن پایین به سطح بیرونی لایه آلودگی ایجاد شده است. تصویر مربوط به قطره قرار گرفته روی سطح نمونه بعد از آزمون انتقال آگریزی نیز در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

در مرحله بعد، یک ساعت به نمونه زمان استراحت داده شد و سپس آزمون بررسی آگریزی به روش افشانه انجام شد. همان‌طور که در شکل (۷) قابل مشاهده است، در این حالت با اینکه روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا وجود دارد اما همچنان قسمت اعظم سطح، از قطرات با شکل‌های نامنظم پوشیده شده است؛ بنابراین سمت راست نمونه هنوز در دسته آگریزی HC3 قرار دارد. از شکل قطرات در مقایسه با شکل (۶) کاملاً مشخص است که آگریزی سمت راست نمونه در حال بهبود است و تعداد قطرات با شکل‌های نامنظم کاهش یافته است.

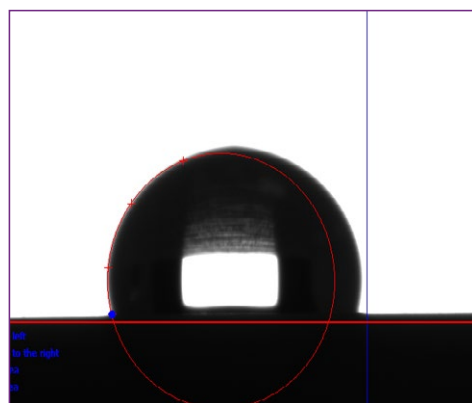
در نهایت، ۱۲ ساعت به نمونه زمان استراحت داده شد و سپس روی آن آزمون بررسی آگریزی به روش افشانه انجام شد. با توجه به شکل (۸)، کاملاً مشخص است که سمت راست نمونه سطح خود را بازیابی نموده بطوری که روی سطح نمونه فقط قطرات مجزا و منظم کروی وجود دارد و دسته آگریزی آن به سطح HC1 بازگشته است.



شکل (۷): انجام آزمون آگریزی به روش افشانه یک ساعت بعد از تمیز کردن سمت راست نمونه با دستمال خشک.



شکل (۱۰): اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک قطره آب روی نمونه بعد از آزمون انتقال آبگریزی.



شکل (۹): اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک قطره آب روی نمونه اولیه.

نتیجه‌گیری

خاصیت آبگریز بودن مواد پلیمری و قابلیت انتقال آبگریزی به روی لایه آلوده با استفاده از آنها، به ویژه در مورد مواد عایق مختلف، به دلیل یک رفتار دینامیک است که این رفتار ترکیبی از نگهداری و انتقال آبگریزی است [۴]. همچنین محصول جانبی ایجاد شده در اثر پدیده کرونا که روی سطح عایق‌های الکتریکی رخ می‌دهد، بدین صورت است که گروه‌های آبدوست OH به جای گروه آبگریز CH₃ قرار می‌گیرد و همین مورد سبب کاهش آبگریزی مواد پلیمری می‌شود. اگرچه پس از زمان استراحت، بازیابی آبگریزی رخ می‌دهد، بنابراین طول عمر مواد سیلیکونی که در معرض تنش الکتریکی قرار گرفته‌اند، می‌تواند تمدید شود. هر دو مورد انتقال و بازیابی آبگریزی در نتیجه نفوذ سیلیکون مایع و مولکول‌های با وزن پایین از توده پلیمری به سطح بیرونی آلودگی قرار گرفته روی عایق و همچنین لایه پیر شده است [۱۴].

پی‌نوشت

۱. کارشناس ارشد مهندسی شیمی، شرکت سامانه‌های نوین افرا
۲. کارشناس مهندسی برق و الکترونیک، شرکت سامانه‌های نوین افرا
۳. کارشناس ارشد مهندسی شیمی، شرکت سامانه‌های نوین افرا

4. Contact angle method
5. Spray method
6. Poly Di Methyl Siloxane (PDMS)
7. Smaller size Low molecular Weight (SLMW)
8. Low Molecular Weight (LMW)
9. Ultra Violet (UV)
10. Hydrophobicity Transfer Material (HTM)
11. Ethylene-propylene-diene-monomer (EPDM)
12. Ethylene-vinyl acetate (EVA)
13. Yong Zhu

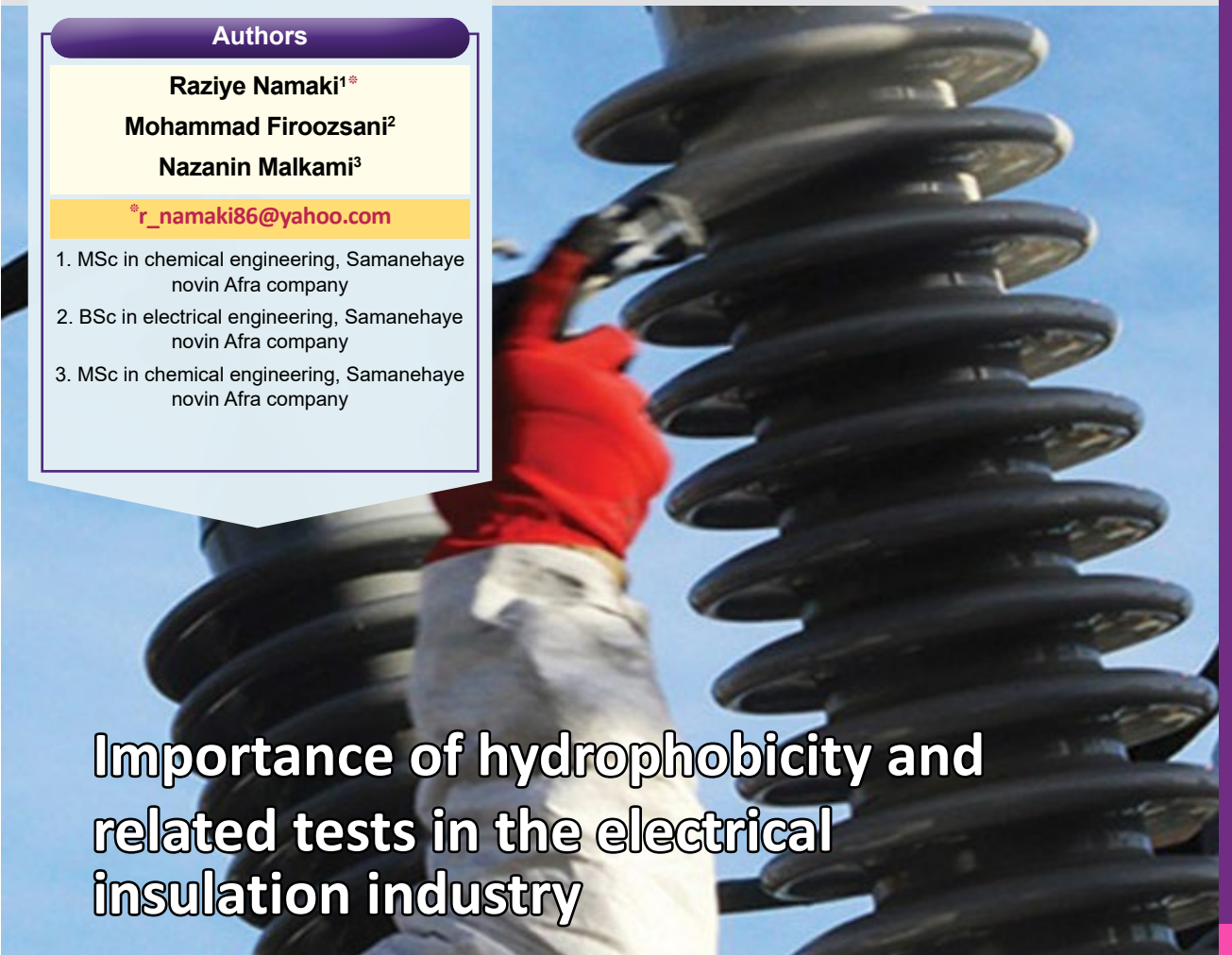
- [1] IECTC36, "Guidance on the measurement of hydrophobicity of insulator surfaces," IEC TS 62073, 2016.
- [2] M. Amin, M. Akbar و S. Amin, "Hydrophobicity of silicone rubber used for outdoor insulation," Rev. Adv. Mater. Sci, 16 pp. 10-26, 2007.
- [3] C.-C. A. Kokalis, T. Tasakos, V. T. Kontargyri, G. Siolas و I. F. Gonos, "Hydrophobicity classification of composite insulators based on convolutional," Engineering Applications of Artificial Intelligence, 91, 2020.
- [4] IECTC112, "Selection guidelines for polymeric materials for outdoor use under HV stress," IEC TR 62039, 2021.
- [5] W. Shaowu, L. Xidong, C. Zixia و W. Xun, "Hydrophobicity changing of silicone rubber insulators in service," CIGRE paper, 15, pp. 305-401, 2002.
- [6] M. Khiabani Moghadam, m. taheri, S. Gharazi, M. Keramati و M. Bahrami, "A studt of composite insulator aging using the tracking wheel test," IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation, 23, pp. 1805-1811, 2016.
- [7] H. Liu, G. Cash, D. Bittwhistle و G. A. George, "characterization of a severely degraded silicone elastomer hv insulator - An aid to development of lifetime assessment techniques," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 12, pp. 478-486, 2005.
- [8] N. Yoshimura, S. Kumagai و S. Nishimura, "Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulation," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 6, 5, pp. 632-650, 1999.
- [9] J. Goudie, M. Owen و T. Orbeck, "A review of possible degradation mechanisms of silicone elastomers in high voltage insulation applications," IEEE Annual Report Conference Annual on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 120-127, 1998.
- [10] J. Kim, M. k. Chaudhury و M. J. Owen, "Hydrophobic Recovery of Polydimethylsiloxane Elastomer Exposed to Partial Electrical Discharge," Journal of Colloid and Interface Science, 226, pp. 231-236, 2000.
- [11] S. Kim, E. Cherney و R. Hakam, "Effect of dry band arcing on the surface of RTV silicone rubber coatings," Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 237-240, 1992.
- [12] M. Amin و S. Amin, "Monitoring of leakage current for composite insulators and electrical devices," Reviews on Advanced Materials Science , 21, pp. 75-89, 2009.
- [13] N. Chaipanit, C. Rattana Khongive و R. Sundararajan, "Accelerated multistress aging of polymeric insulators under San Francisco coastal environment," IEEE Annual report conference on, 369, 2000.
- [14] Y. Zhu, M. Otsubo, C. Honda و S. Tanaka, "Loss and recovery in hydrophobicity of silicone rubber exposed," Polymer Degradation and Stability, 91, pp. 1448-1454, 2006.

Authors

Raziye Namaki^{1*}Mohammad Firoozsani²Nazanin Malkami³

*r_namaki86@yahoo.com

1. MSc in chemical engineering, Samanehaye novin Afra company
2. BSc in electrical engineering, Samanehaye novin Afra company
3. MSc in chemical engineering, Samanehaye novin Afra company



Importance of hydrophobicity and related tests in the electrical insulation industry

Abstract

In the power transmission and distribution industry, ceramic and porcelain insulators are being replaced by silicone insulators. Unlike other composite insulating materials used in the past decades, these silicone insulators are able to maintain their hydrophobicity properties even in severe pollution conditions. Because environmental pollution conditions are unpredictable during operation, the performance of the hydrophobicity dynamics of these electrical insulators is important. This dynamic performance of silicone insulators is also known as the hydrophobicity transfer mechanism. These silicone materials, in addition to transmitting hydrophobicity, also have the ability to recover hydrophobicity. The hydrophobicity transfer and recovery mechanism of silicone materials is related to the reorientation of methyl groups and the presence of low molecular weight components, which are investigated in this paper.

Keywords

Insulator, Electrical insulation, Hydrophobicity, Hydrophobicity transfer, contact angle, Silicone material.

دانش آزمایشگاهی ایران

سال دهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱ ■ شماره پیاپی ۳۷

ISSN 2538-3450



دستگاه سیال فوق بحرانی و کاربرد آن در استخراج ترکیبات زیست فعال

رونق و تنوع خدمات شبکه آزمایشگاهی در سال ۱۴۰۰

بخش بین الملل شبکه آزمایشگاهی فناوری های راهبردی ...



اهمیت آبریزی و آزمون های مربوط به آن در صنعت عایق های الکتریکی



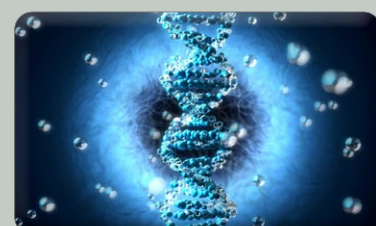
روش ضربدری روشی ساده و سریع در حل مسائل محلول سازی



کاربردهای فناوری پلاسمای سرد در صنایع غذایی



مروری بر مفاهیم و آزمون چقرمگی شکست



بررسی mtDNA در سکنس ها و روش های آزمایشگاهی ژنتیکی مورد استفاده در مطالعات ژنتیک باستان