



بررسی نقش پوشش‌های سیلیکونی RTV در بهبود رفتار مقره‌های سرامیکی در محیط‌های آلوده

سید حمید جزایری^{۱*}، مرتضی احسانی^۲، فائزه فرهنگ^۱

۱- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۸۴۶/۱۳۱۱۴

۲- پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۲/۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۷/۳/۲۸

چکیده

در این تحقیق، پوشش‌هایی با مقادیر مختلف پرکننده ATH و سیلیکا تهیه و یک بررسی مقایسه‌ای روی عملکرد مقره بدون پوشش و مقره‌های پوشش‌دار انجام شد. نمونه‌های مذکور تحت آزمایش‌های الکتریکی مختلف قرار گرفتند و نتایج این آزمایش‌ها بر اساس مقدار ATH و سیلیکا گزارش شده است. همچنین برای بررسی و مقایسه خاصیت آبگریزی پوشش‌ها، زاویه تماس اندازه‌گیری گردید. از آزمون TGA برای بررسی اثر افزودن پرکننده ATH استفاده شد. آزمایش‌ها نشان دادند در صورتی که ATH به تنهایی استفاده شود مقدار بهینه پرکننده ۷۰ pph است. همچنین افزودن ۱۰ سیلیکا در مواقعی که مقدار ATH بین ۳۵ تا ۷۰ pph باشد تأثیر مثبت در عملکرد پوشش‌ها داشته است ولی باید متذکر شد که افزودن سیلیکا به نمونه‌های حاوی ATH بیش از ۷۰ pph سودمند نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های RTV، پرکننده ATH، پرکننده سیلیکا، مسأله آلودگی، پدیده تخلیه الکتریکی.

Study of the Silicone Rubber Coatings (RTV) Role on Improvement of the Ceramic Insulators Behavior in Contaminated Areas

S. H. Jazayeri*, M. Ehsani, F. Farhang

Abstract

In this work, the RTV coatings with different levels of ATH and silica fillers were applied to porcelain suspension insulators for a comparative study of the performance of coated and uncoated porcelain insulators. These coated insulators were exposed to different electrical tests. The test results have been reported based on the role of ATH and silica fillers. The measurement of contact angle is also used to investigate the hydrophobicity properties of coatings. TGA is used to investigate the effect of ATH addition to the samples. It has been found that if only ATH is used as filler, the best performance belongs to the sample with 70 pph ATH. Addition of 10 pph silica also improves the performance of coatings with ATH level between 35 to 70 pph. But it should be mentioned that addition of 10 pph silica to samples with higher ATH level (more than 70 pph ATH) wasn't beneficial. J. Color Sci. Tech. 2(2008), 9-22. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

Keyword: RTV Coatings, ATH filler, Silica filler, Contamination problem, Flashover phenomena.

۱- مقدمه

نظیر خواص الکتریکی از جمله جریان خزشی، آبریزی و پیری مورد بررسی قرار داده‌اند. از آنجا که کلیه فرمولاسیون‌ها دارای مقدار و نوع یکسان از پرکننده‌ها نمی‌باشند و همچنین برای یک توزیع اندازه ذره یک غلظت بهینه وجود دارد [۷] بررسی این مسأله که کدام فرمولاسیون برای RTV مناسب‌تر است دارای اهمیت می‌باشد. لذا در این تحقیق تلاش شد تا با تغییر دادن مقدار و نوع پرکننده در این پوشش‌ها و انجام آزمایش‌های الکتریکی در مقادیر مختلف رطوبت و نیز اندازه‌گیری زاویه تماس (آبریزی) و ارزیابی عملکرد این پوشش‌ها، بهترین فرمولاسیون برای این پوشش‌ها تعیین شود.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی و وسایل

برای انجام آزمون‌ها، پوشش سیلیکونی RTV یک جزئی (شرکت واکر^۴ آلمان)، ATH^۵ با نام شیمیایی تری‌هیدرات آلومینا (شرکت مارتینسورک^۶ آلمان) و سیلیکای رسوبی (شرکت دگوسای^۷ آلمان) استفاده شد.

در این آزمایش‌ها مفره‌های بشقابی سرامیکی ۷۰ kN ساخت کارخانه مفره‌سازی ایران با قطر ۲۵۵ mm، فاصله خزشی ۲۹۵ mm و ارتفاع ۱۴۶ mm مورد استفاده قرار گرفتند. یک میکسر همزن دار برای مخلوط کردن و یک پیستوله با قطر نازل ۱٫۵ mm و فشار هوای ۶٫۵ bar جهت اسپری کردن پوشش استفاده شد.

۲-۲- روش کار

در تحقیق حاضر نمونه‌ها به صورت دو سری ۵ تایی با نام‌های A و S مطابق جداول ۱ و ۲ آماده شدند. مقدار ATH در نمونه‌ها از ۲۵٫۹۲ تا ۵۰ درصد متغیر در نظر گرفته شد ولی مقدار سیلیکا ثابت و برابر با ۱۰^۸ pph بود که نمودار توزیع اندازه ذرات آنها در شکل ۱ ارائه شده است.

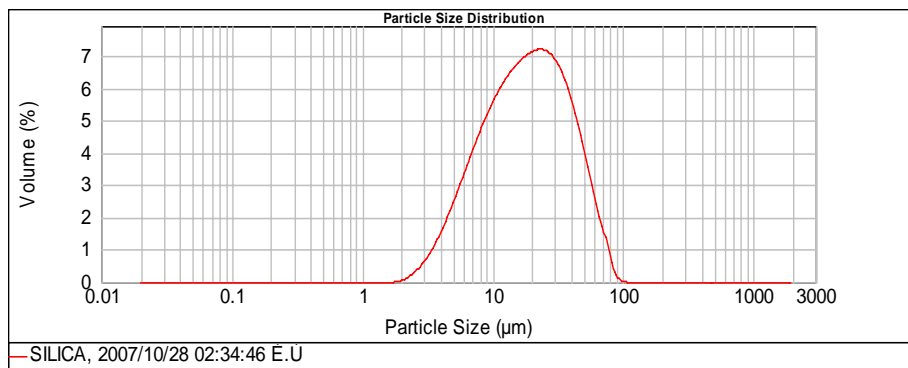
آزمایش‌ها در محلی انجام شدند که دارای شیرهای آب برای ایجاد باران مصنوعی، محلی برای آویزان کردن مفره و همچنین تجهیزات لازم برای ایجاد ولتاژهای بالا بود. این آزمایش‌ها در آزمایشگاه فشارقوی کارخانه مفره‌سازی ایران انجام شدند.

پس از توزین مواد، کلیه نمونه‌ها حداقل به مدت ۶۰ الی ۹۰ دقیقه با سرعت ۲۳۰ rpm مخلوط شدند. برای اطمینان از یکنواختی و عدم ته‌نشینی مخلوط‌ها هرکدام از این نمونه‌ها قبل از اسپری شدن روی مفره‌ها نیز مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه توسط میکسر مخلوط شدند.

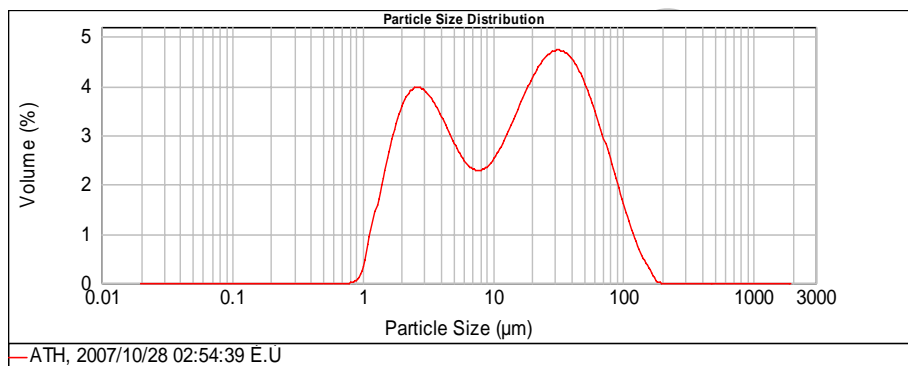
با توسعه روزافزون صنایع، آلودگی هوا شدیدتر شده است و در پی این مسأله عایق‌های الکتریکی بیرونی تحت شرایطی بدتر فعالیت می‌کنند [۱]. پرتان و شیشه برای جلوگیری از برقراری جریان در مدارهای الکتریکی به عنوان عایق به کار می‌روند [۲]. این مواد از مقدار انرژی آزاد سطحی بالایی برخوردارند و به آسانی مرطوب می‌شوند [۳]. ذرات گرد و غبار و گازهای صنعتی موجود در محیط، لایه‌ای از آلودگی را روی سطح خارجی مفره ایجاد می‌کند [۴]. در صورتی که آلودگی، حاوی نمک‌های محلول باشد پس از جذب رطوبت توسط شبیم یا باران بر روی مفره یک لایه هادی به وجود می‌آید که باعث عبور جریان از سطح آلوده می‌شود. جریان بر روی سطح مفره یک نوار خشک ایجاد می‌کند و کل ولتاژ فاز روی این نوار خشک اعمال شده و باعث ایجاد جرقه می‌شود که ممکن است منجر به نابودی مفره و قطع سیستم نیرو گردد که بسیار پرهزینه می‌باشد [۵،۶]. رطوبت روی عایق‌های سرامیکی تمایل بیشتری به گسترده شدن و تشکیل یک فیلم کم مقاومت نسبت به قطره قطره شدن دارد که سبب ایجاد مقاومت بالا می‌شود. اگر یک پوشش محافظ دارای انرژی سطحی پایینی باشد تا سطح را آبریز نماید، سطح مفره مقاومت بیشتری از خود نشان خواهد داد و بنابراین، جریان نشستی به دست آمده حداقل می‌شود [۳،۷]. امروزه واحدهای قدرت به منظور جلوگیری از تر شدن سریع و همچنین برای بالا بردن قدرت عایقی، پوشش‌های سیلیکونی RTV^۱ را بر روی مفره‌های پرتان و شیشه‌ای اعمال می‌نمایند [۸]. اولین کاربرد آزمایشی این پوشش‌ها در سال ۱۹۷۳ و اولین کاربری آن در مقیاس بزرگ در سال ۱۹۸۷ انجام شد و کلیه واحدها گزارش کردند که استفاده از پوشش‌ها نیاز به شستشوی مکرر مفره‌ها را به طور قابل توجهی کاهش داده است [۲، ۵، ۹، ۱۰]. اما به منظور بهبود بعضی از خصوصیات این پوشش‌ها از جمله مقاومت در برابر سایش و شکستگی^۲ و به دست آوردن خواص مطلوب استفاده از پرکننده‌ها در کنار سیستم ولکانیزاسیون دارای اهمیت زیادی می‌باشد [۱۱، ۱۱]. بدین منظور به مواد سیلیکونی پرکننده ATH^۳ اضافه می‌گردد [۱۴-۱۲]. سیلیکاهای رسوبی و سیلیکافیوم نیز به عنوان پرکننده‌های تقویت کننده و کنترل کننده رئولوژی در پوشش‌های سیلیکونی RTV یک جزئی و دو جزئی استفاده می‌شوند [۱۵، ۱۶]. پرکننده ATH که مزیت بازدارندگی شعله و متوقف نمودن دود را دارد، همچنین می‌تواند مزیت مقاومت در برابر جرقه و شکست را فراهم آورد [۱۷]. برخی محققین اثرات عواملی مانند اندازه ذرات پرکننده [۱۸]، ضخامت پوشش [۱۹، ۲۰]، مقدار سیال سیلیکون [۲۲-۲۰] و غیره را روی مواردی

4- Wacker
5- Alumina trihydrate
6- Martinswerk
7- Degussa
8- Part per hundred

1- Room temperature vulcanizing
2- Tracking
3- Alumina trihydrate



(الف)



(ب)

شکل ۱: نمودارهای مربوط به توزیع اندازه ذرات (الف) سیلیکا و (ب) ATH.

جدول ۱: ترکیب درصد نمونه‌های سری A (بدون سیلیکا).

نام نمونه	درصد وزنی پرکننده (%)	درصد وزنی ATH (%)	Silica (pph)	ATH (pph)
A0	۲۵,۹۲	۲۵,۹۲	.	۳۵
A1	۳۳,۳۳	۳۳,۳۳	.	۵۰
A2	۴۱,۱۷	۴۱,۱۷	.	۷۰
A3	۴۷,۳۶	۴۷,۳۶	.	۹۰
A4	۵۰	۵۰	.	۱۰۰

جدول ۲: ترکیب درصد نمونه‌های سری S (۱۰ قسمت وزنی سیلیکا علاوه بر ATH به مخلوط‌ها اضافه شد).

نام نمونه	درصد وزنی پرکننده (%)	درصد وزنی ATH (%)	Silica (pph)	ATH (pph)
S0	۳۱,۰۳	۲۴,۱۳	۱۰	۳۵
S1	۳۷,۵	۳۱,۲۵	۱۰	۵۰
S2	۴۴,۴۴	۳۸,۸۸	۱۰	۷۰
S3	۵۰	۴۵	۱۰	۹۰
S4	۵۲,۳۸	۴۷,۶۱	۱۰	۱۰۰

نتیجه آزمون ثبت شد.

در کنار اتاق مخصوص آزمایش و در ارتفاع ۳ متر از سطح زمین ۳ عدد شیر آب برای ایجاد باران مصنوعی تعبیه شد. بر اساس بند ۱۳، IEC 383 و نیز IEC 60-1 شرایط و میانگین ریزش بایستی به صورت زیر باشد:

- مؤلفه عمودی ریزش آب ۱-۱,۵ mm/min

- مؤلفه افقی ریزش آب ۱-۱,۵ mm/min

ریزش قطرات باران باید در بالا، وسط و پایین مقرر باشد. پس از نصب مقرر در محل مخصوص خود، شیرهای آب برای ایجاد باران مصنوعی باز شدند. ۱۵ دقیقه پس از شروع باران، ولتاژ دو سر مقرر افزایش داده شد تا جایی که تخلیه الکتریکی رخ دهد و عدد دقیق این ولتاژ به عنوان نتیجه آزمون ثبت شد. سپس ولتاژ کاهش داده شد تا به صفر برسد. در مرحله بعد باران مصنوعی قطع شد و ۵ دقیقه بعد از قطع باران مجدداً ولتاژ را افزایش داده شد تا جایی که تخلیه الکتریکی شود. لازم به ذکر است که رسانایی آب باران در آزمایش‌های انجام شده $220 \mu S/cm$ بوده است.

بهترین روش برای سنجش آبریزی، اندازه‌گیری زاویه تماس می‌باشد. تحلیل شکل قطره، روش ساده‌ای برای اندازه‌گیری زاویه تماس و تعیین انرژی سطح می‌باشد. در این روش فرضیات اصلی زیر در نظر گرفته می‌شوند:

قطره در جهت محور عمودی مرکزی متقارن است.

قطره در حال حرکت نیست و فقط نیروهای کشش سطحی و جاذبه تعیین کننده شکل قطره می‌باشند.

زاویه تماس از طریق مطابقت دادن بسط ریاضی با شکل قطره و سپس محاسبه شیب مماس بر قطره در نقطه تماس مایع - جامد - بخار محاسبه می‌گردد. سپس قطر (d) و ارتفاع (h) قطره به دقت اندازه‌گیری شده و از طریق معادله زیر زاویه تماس محاسبه می‌شود [۲۳].

$$\theta = 2 \tan^{-1} 2h/d \quad (2)$$

از هر یک از نمونه‌ها یک روکش یکنواخت به ابعاد $5 \times 10 \text{ cm}$ و ضخامت تقریبی 1 mm بر روی سطح صاف و هموار یک کاشی ایجاد گردید. پس از خشک شدن فیلم، به کمک سرنگ آزمایشگاهی یک قطره آب مقطر به حجم تقریبی $30 \mu l$ را بر روی صفحه قرار داده شد. بلافاصله پس از قرار دادن قطره کرنومتر را روشن و بعد از مدت زمان ۲ ثانیه از قطره عکس گرفته شد و سپس زاویه تماس محاسبه گردید. لازم به ذکر است که این کار برای هر نمونه ۵ بار تکرار شد و میانگین این پنج عدد به عنوان زاویه تماس در نظر گرفته شد.

برای ایجاد آلودگی مصنوعی دوغابی از کائولن و نمک که با آب مقطر مخلوط شده‌اند، با غلظت نمک 15 g/L و غلظت کائولن 50 g/L تهیه شد.

از آنجا که تمیز بودن سطح مقرر قبل از اسپری کردن روی چسبندگی خوب پوشش به بدنه سرامیکی و در نتیجه طول عمر آن تأثیر مستقیم می‌گذارد، کلیه مقره‌ها قبلاً با آب و شوینده شستشو داده شدند تا هرگونه ذرات آلودگی و خاک از روی آن حذف شود. بلافاصله پس از شستشو توسط پارچه تمیز کاملاً خشک و به مدت ۱۰ دقیقه زیر تابش آفتاب و دور از وزش باد قرار داده شدند.

مواد توسط پیستوله و به صورت یکنواخت روی سطح مقره‌ها پاشیده شد. برای یکنواخت‌تر شدن پوشش، مقرر به هنگام اسپری کردن بر روی یک پایه گردان که با سرعت آرام و یکنواختی می‌چرخد، قرار داده شد. برای جلوگیری از ایجاد خطا در آزمایش‌ها هر نمونه روی سه مقرر اسپری شد و مورد آزمایش قرار گرفت.

پس از اسپری، مقره‌ها به مدت حدود ۱۶۰ ساعت در دمای معمولی اتاق قرار داده شدند تا کاملاً خشک شده و به سطح سرامیکی بچسبند.

برای مقایسه رفتار آبریزی مقرر دارای پوشش با مقرر پرسلانی بدون RTV، مطابق شکل ۲ مقداری آب روی آنها ریخته شد. برای ایجاد لایه آلودگی مصنوعی روی سطح مقره‌ها دوبار و هر بار به میزان 100 mL از دوغاب آماده شده به آرامی و با سرعت یکنواخت بر روی سطح مقره‌ها ریخته شد.

پس از آنکه مقرر آلوده در محل مخصوص خود نصب و به دو سر مقرر ولتاژ اعمال شد. این ولتاژ افزایش داده شد تا جایی که تخلیه الکتریکی رخ دهد. کلیه آزمایش‌ها برای هر نمونه ۳ بار تکرار و میانگین سه عدد به دست آمده به عنوان نتیجه آزمون ثبت شد. لازم به ذکر است در صورتی که مقدار عددی یک داده در مقایسه با دیگر داده‌ها غیرمنطقی و انحراف زیادی از آنها داشت، داده مذکور حذف و آزمایش برای بار چهارم تکرار گردید. برای اعمال فشار و دما طبق استاندارد IEC 60-1 ضریب k از معادله ۱ محاسبه و عدد ولتاژ بر این ضریب تقسیم شد تا مقدار ولتاژ تخلیه الکتریکی در شرایط استاندارد (20°C و 760 mmHg) به دست آید.

$$k = \frac{0.385 \times P}{273 + t} \quad (1)$$

که در آن P فشار بر حسب mmHg و t دما بر حسب $^\circ \text{C}$ است. ضریب k در شرایط خشک و نمدار اعمال می‌شود.

به وسیله یک اسپری آب‌پاش معمولی سطح مقرر آلوده با آب مقطر مرطوب شد. سپس به دو سر آن ولتاژ اعمال و این ولتاژ افزایش داده شد تا جایی که تخلیه الکتریکی رخ دهد، ولتاژ تخلیه به عنوان

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آبریزی

همان‌طور که انتظار می‌رفت آب روی سطح پوشش آبریز به صورت قطرات جدا از هم و بر روی سطح آبدوست سرامیک به صورت فیلم پیوسته قرار می‌گیرد. تصویر این دو مقره در شکل ۲ ارائه شده‌اند. با توجه به شکل ۲- ب و جداول طبقه‌بندی میزان آبریزی سطوح می‌توان گفت که این پوشش در گروه HC1 یا HC2 قرار می‌گیرد [۲۴]. ولی تعیین دقیق آن با اندازه‌گیری زاویه تماس انجام خواهد شد.

۳-۲- آزمون آلودگی

از آنجا که پوشش‌های RTV خاصیت آبریزی دارند و در برابر جذب آلودگی مقاومت می‌کنند لذا مقدار بسیار کمی از دوغاب روی سطح آنها ته‌نشین می‌شود در حالی که مقره سرامیکی بدون پوشش به خوبی آلودگی را به خود جذب می‌کند و لایه‌ای تقریباً یکنواخت روی آن می‌نشیند. این تفاوت در شکل ۳ به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.



(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۳: مقایسه جذب آلودگی توسط مقره سرامیکی (الف) بدون پوشش و (ب) با پوشش A2.

شکل ۲: مقایسه چگونگی قرار گرفتن آب روی مقره سرامیکی (الف) بدون پوشش و (ب) دارای پوشش A2.

سری، پوشش‌هایی که دارای مقادیر مختلف پرکننده ATH می‌باشند عملکرد متفاوتی دارند. در هر دو مورد با افزایش میزان ATH ولتاژ تخلیه الکتریکی ابتدا روند صعودی و سپس نزولی دارد. از آنجا که ATH دارای ضریب هدایت گرمایی بالایی می‌باشد، هر چه مقدار آن در نمونه RTV بیشتر باشد رسانایی گرمایی پوشش سیلیکونی بیشتر خواهد بود و این امر سبب می‌شود تا پوششی که دارای رسانایی گرمایی بالاتری است گرمای ناشی از جرقه نوار خشک را سریع‌تر منتقل نماید و در نتیجه پایداری گرمایی آن بهبود یابد [۱۳]. اما از آنجا که افزایش میزان پرکننده به معنی کاهش مقدار سیلیکون می‌باشد افزودن بیش از حد آن سبب می‌شود تا مقداری از پرکننده توسط ماده سیلیکونی پوشانده نشود و در نتیجه پرکننده به تنهایی روی سطح می‌آید و ایجاد زبری می‌کند و آبریزی آن را کاهش دهد. سطح زبر همچنین آلودگی و رطوبت بیشتری را به خود جذب می‌نماید. علاوه بر این، کاهش میزان سیلیکون به معنی کاهش سیال سیلیکون موجود می‌باشد و افزودن پرکننده بیش از حد معینی باعث می‌شود که پرکننده اثری مانند یک غربال در مقابل نفوذ سیال سیلیکون داشته باشد و از نفوذ سیال جلوگیری کند [۵]. این عوامل سبب می‌شود ولتاژ تخلیه الکتریکی در مقادیر بالای ATH مجدداً کاهش یابد.

شکل ۷ نشان می‌دهد در شرایطی که سطح آلوده مفره توسط اسپری آب مقطر مرطوب شده باشد به غیر از نمونه A0 که فقط حاوی ۳۵ pph از پرکننده ATH است، ولتاژ تخلیه الکتریکی مفره‌های پوشش‌دار بیشتر از مفره بدون پوشش می‌باشد.

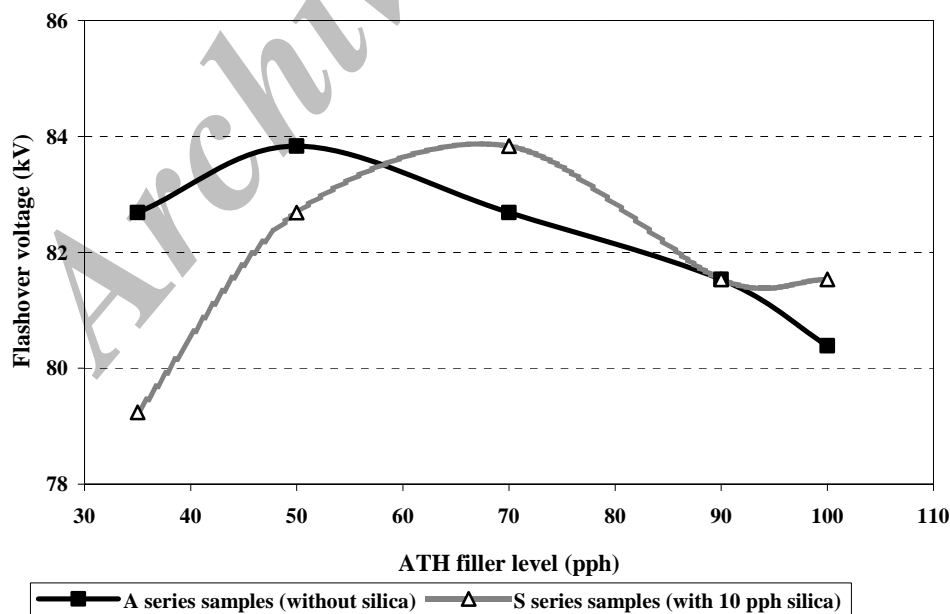
۳-۳-۲ در شرایط خشک همراه با آلودگی

نتیجه این آزمایش برای نمونه‌های سری A و S در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود اختلاف ولتاژ جرقه نمونه‌های هر سری با افزایش میزان پرکننده، در حالت خشک چندان زیاد نمی‌باشد. علت این پدیده شرایط انجام آزمایش است. یعنی در حالت خشک، آلودگی تأثیر خاصی در رسانا کردن سطح مفره و کاهش ولتاژ تخلیه الکتریکی نمی‌گذارد و فقط سطح است که در این شرایط نقش دارد.

شکل ۵ نشان می‌دهد که به طور کلی در شرایط خشک، عملکرد مفره سرامیکی بدون پوشش اندکی بهتر از نمونه‌های پوشش‌دار دیگر می‌باشد. در شرایط خشک، آلودگی و آبریزی تقریباً هیچ نقشی در ایجاد و یا به تعویق انداختن تخلیه الکتریکی ندارد و آنچه که در شرایط خشک نقش پررنگ‌تری ایفا می‌کند صافی یا زبری سطح است. احتمال وقوع پدیده تخلیه الکتریکی روی سطوح ناصاف بیشتر است زیرا احتمال افزایش ناگهانی شدت میدان الکتریکی در نقاطی که برجستگی وجود دارد افزایش می‌یابد. از آنجا که سطح مفره پرسلانی، لعابی کاملاً صاف و یکنواخت دارد این مفره نسبت به مفره‌های پوشش‌دار دیگر که سطحشان نسبت به لعاب دارای اندکی غیریکنواختی می‌باشد عملکرد بهتری نشان می‌دهد.

۳-۳-۴ در شرایط آلودگی و شبنم (آلودگی نم‌دار)

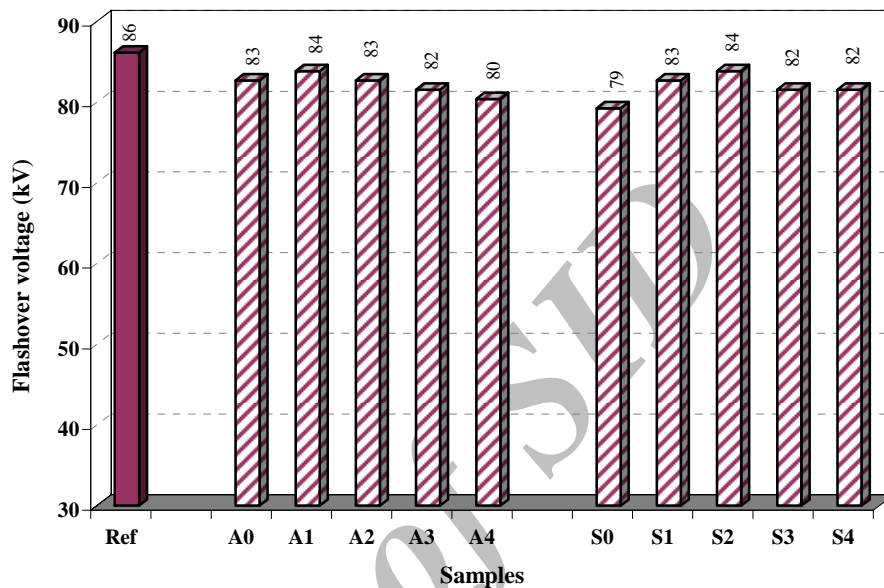
در شکل ۶ نتایج مربوط به آزمایش نمونه‌های سری A و S در شرایط آلودگی نم‌دار ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر



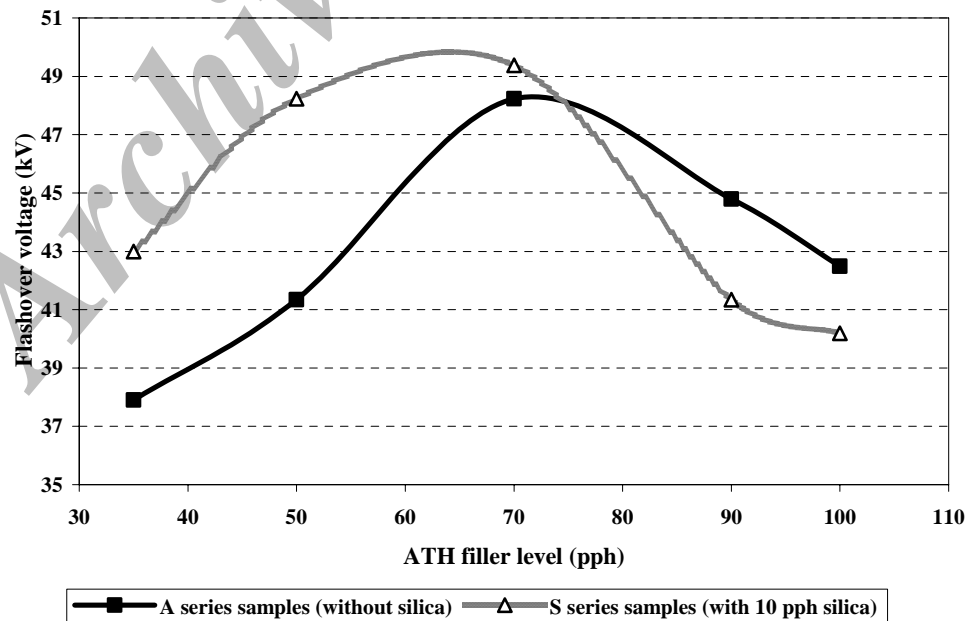
شکل ۴: مقایسه ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S در آزمایش آلودگی خشک.

توانایی مقاومت در برابر گرمای ناشی از جرقه را ندارد و در اثر حرارت می‌سوزد و در بعضی نقاط، لایه‌ای از کربن روی سطح بر جای می‌گذارد که این لایه کربن به رسانا شدن سطح کمک می‌کند [۲] و در نتیجه عملکرد این نمونه نسبت به نمونه بدون پوشش بدتر شده است.

در واقع به علت انتقال خاصیت آگریزی پوشش‌ها به سطح آلودگی، قطرات آب از روی سطح مقره‌های پوشش‌دار سر می‌خورند و سطح رطوبت کمتری روی خود نگه می‌دارند. در نتیجه به علت رسانایی کمتر ایجاد شده، مقره‌های پوشش‌دار در ولتاژهای کمتری تخلیه الکتریکی می‌شوند. اما نمونه A0 به علت مقدار کم پرکننده ATH



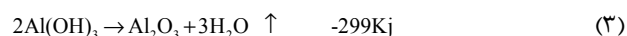
شکل ۵: ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S در مقایسه با مقره بدون پوشش (Ref) در آزمایش آلودگی خشک.



شکل ۶: مقایسه ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S در آزمایش آلودگی با شبنم.

شده سیلیکا در این دو نمونه به خوبی پراکنده نشده‌اند و فاز سیلیکونی توانایی احاطه کردن تمامی ذرات را ندارد و در نتیجه سطح زبری ایجاد می‌کند که احتمال وقوع پدیده تخلیه الکتریکی روی آن نسبت به سطح صاف لعاب پرسیلانی بیشتر است.

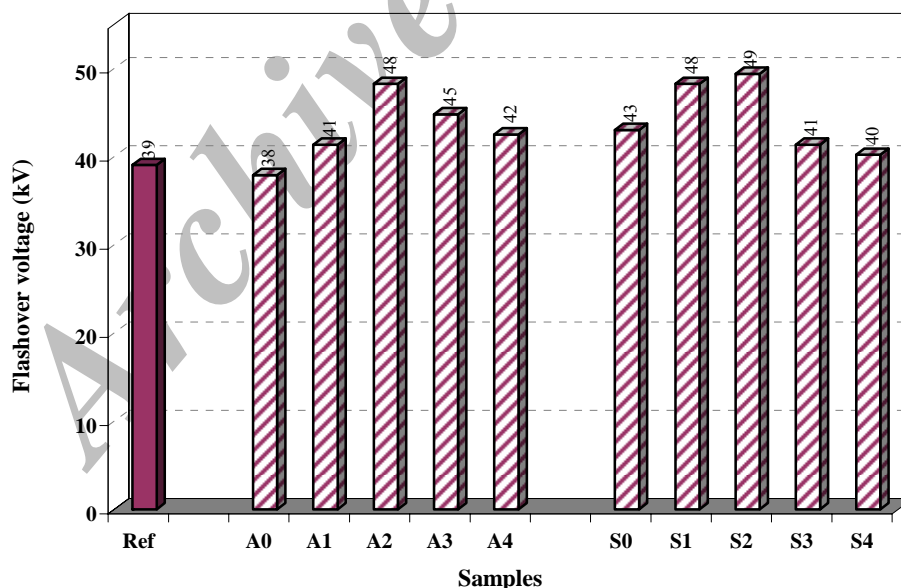
هنگامی که باران قطع می‌شود نقش سطح و مقدار آب و آلودگی که روی آن باقی مانده است، پرتنگ‌تر خواهد بود (شکل ۱۰). در اینجا همان‌گونه که قابل مشاهده است در هر دو سری هر چند با شیب‌های متفاوت می‌توان روند صعودی - نزولی را با افزایش میزان پرکننده مشاهده نمود. یعنی ابتدا ولتاژ تخلیه با افزایش پرکننده روندی صعودی دارد و سپس در مقادیر زیاد پرکننده روندی نزولی دیده می‌شود. از A0 تا A2 و از S0 تا S2 بهبود عملکرد به دلیل تأثیر ATH در گرفتن گرمای اضافی سطح طبق واکنش معادله ۳ است [۱۶]. ولی در مقادیر بیشتر ATH به دلیل زبر بودن سطح پوشش‌ها و اینکه سطوح زبر توسط باران به خوبی تمیز نشده‌اند مجدداً در ولتاژ تخلیه کاهش مشاهده می‌شود. خصوصاً هنگامی که در مقادیر زیاد ATH سیلیکا هم به آن اضافه شود زبری سطح خیلی زیاد شده و سبب افت عملکرد پوشش می‌گردد [۲۵].



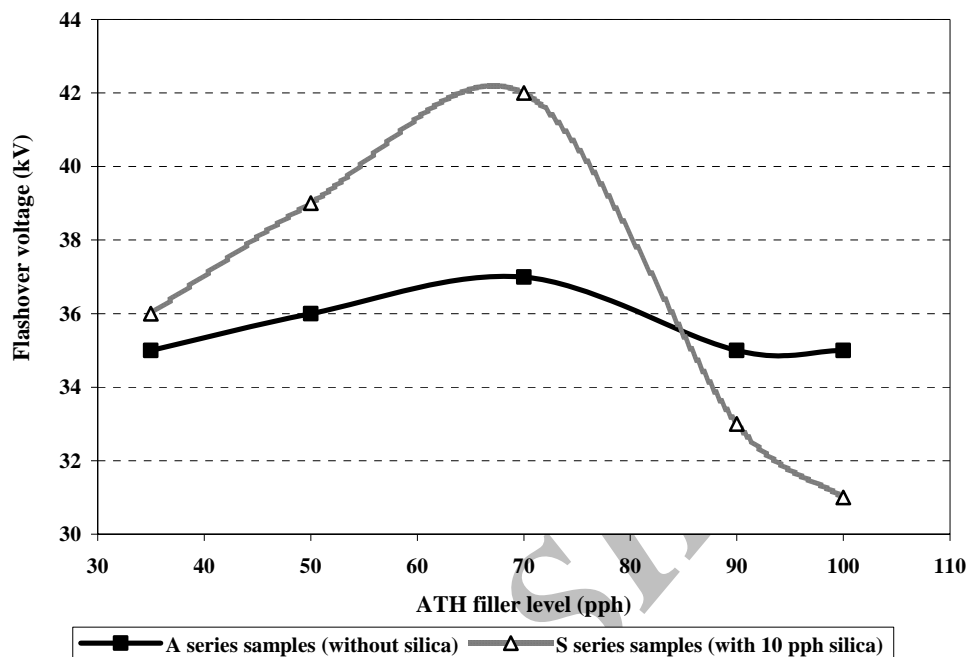
۳-۵- باران مصنوعی در شرایط آلودگی

نتایج آزمون باران مصنوعی در شکل ۸ نشان داده شده است. آزمون باران مصنوعی در واقع می‌تواند نشانگر عملکرد مفره‌ها در هنگام بارش باران باشد. ۱۵ دقیقه عملیات پیش‌خیس سبب می‌شود تا سطح مفره با آب باران همدم شود. به هنگام ولتاژدهی در حین بارش باران دمای سطح مفره در اثر نشت جریان افزایش می‌یابد. پوشش‌هایی که مقدار بیشتری ATH دارند دارای ضریب هدایت گرمایی بیشتری هستند و این حرارت را سریع‌تر منتقل می‌نمایند. در نتیجه عملکرد بهتری از خود نشان خواهند داد. اما همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود این مسأله فقط تا درصد مشخصی (۷۰ pph) صادق است و پس از آن مجدداً ولتاژ تخلیه الکتریکی کاهش می‌یابد. افزایش بیش از حد پرکننده سبب می‌شود که ذرات پرکننده توسط سیلیکون احاطه نشوند و به روی سطح آمده و باعث زبری سطح شوند و آب باران نمی‌تواند آلودگی روی سطح را به خوبی تمیز نماید. بنابراین، در مقادیر بالاتر ATH سطح رسانایی بیشتری از خود نشان می‌دهد و افت ولتاژ تخلیه الکتریکی رخ می‌دهد.

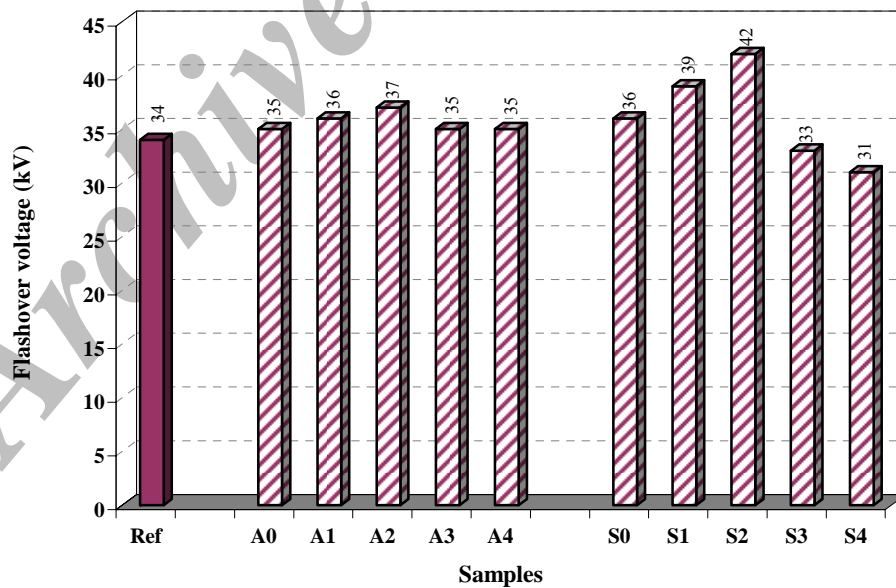
شکل ۹ نشان می‌دهد که در این آزمایش به غیر از دو نمونه S3 و S4 کلیه نمونه‌ها عملکردی بهتر از مفره بدون پوشش دارند. دلیل این پدیده این است که مقدار زیاد پرکننده ATH و همچنین مقدار اضافه



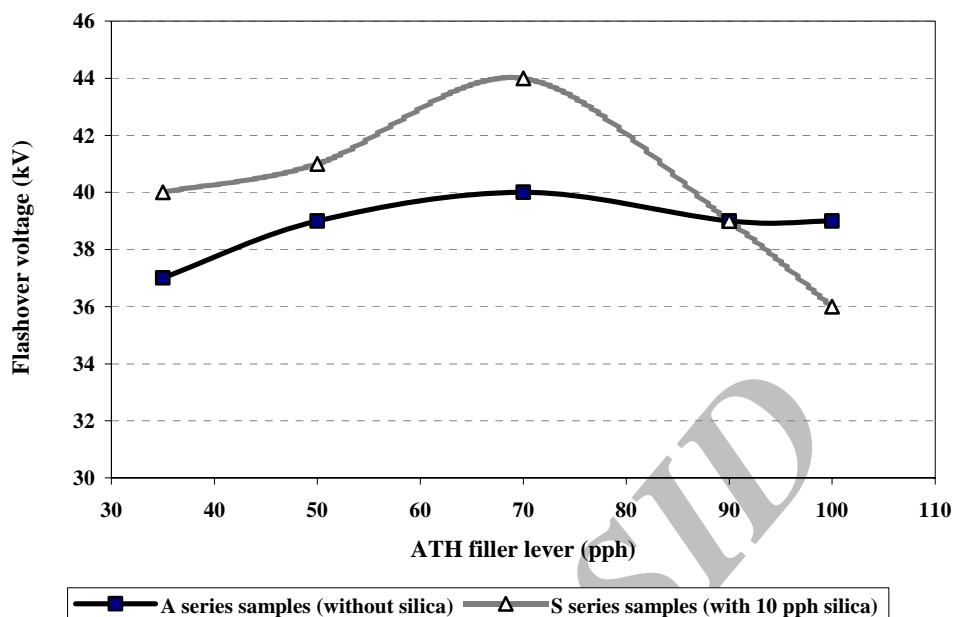
شکل ۷: ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S در مقایسه با مفره بدون پوشش در آزمایش آلودگی با شبنم.



شکل ۸: مقایسه ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری S و A در حین بارش باران مصنوعی در دقیقه ۱۵.



شکل ۹: ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری S و A در مقایسه با مقره بدون پوشش در حین بارش باران مصنوعی در دقیقه ۱۵.



شکل ۱۰: مقایسه ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S ۵ دقیقه پس از قطع باران.

است. علت این پدیده تأثیری است که سیلیکای اضافه شده در زیر کردن سطح می‌گذارد. ولی به طور کلی در هر دو سری با افزایش میزان پرکننده کاهش ناچیزی در زاویه تماس مشاهده می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت که افزایش پرکننده تأثیر چندانی منفی روی کاهش آبگریزی نداشته است.

۳-۷- آزمون TGA

TGA روش بسیار مؤثری برای مطالعه پدیده‌های شیمیایی و فیزیکی و تغییرات وزنی به صورت تابعی از دما است. چنین آزمونی به دقت بالایی اندازه‌گیری سه عامل وزن، دما و تغییرات دما وابسته است [۱۳]. برای انجام آزمون TGA یک نمونه پوشش سیلیکونی RTV حاوی ۳۵ pph پرکننده ATH (نمونه A0) با یک نمونه بدون ATH (نمونه R0) مورد مقایسه قرار گرفتند. حدود ۱۰ g از نمونه‌ها در داخل کفه پلاتینی دستگاه قرار داده شد و در محیط نیتروژنی با سرعت ثابت $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ از 30°C تا 700°C حرارت داده شدند. شکل ۱۴ نمودار TGA مربوط به این دو نمونه را نشان می‌دهد.

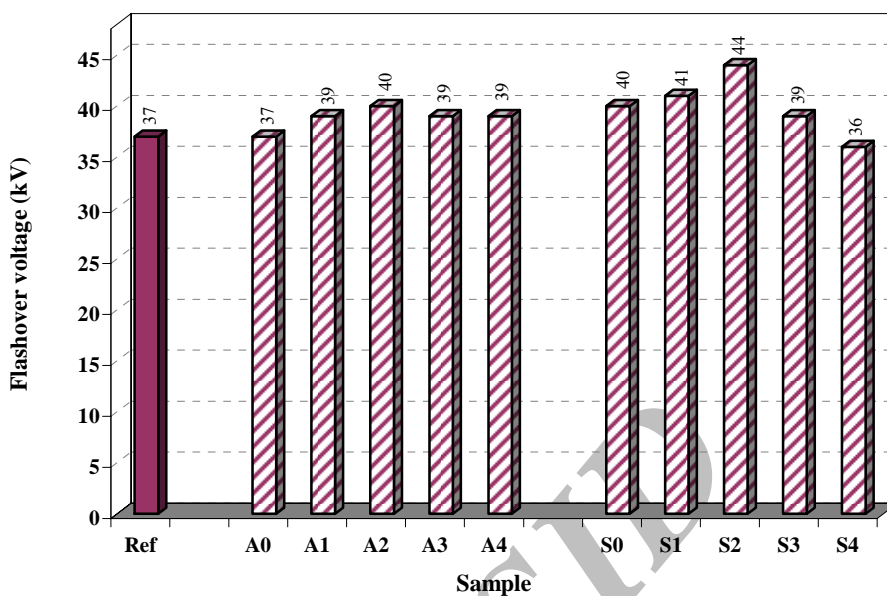
شکل ۱۱ عملکرد این نمونه‌ها را در کنار مفره بدون پوشش نشان می‌دهد. به غیر از نمونه S4 بقیه پوشش‌ها عملکرد بهتری نسبت به نمونه مرجع داشته‌اند. دلیل این رفتار S4 همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد پراکنده نشدن مناسب مقدار زیاد ATH و سیلیکا است.

۳-۶- اندازه‌گیری زاویه تماس

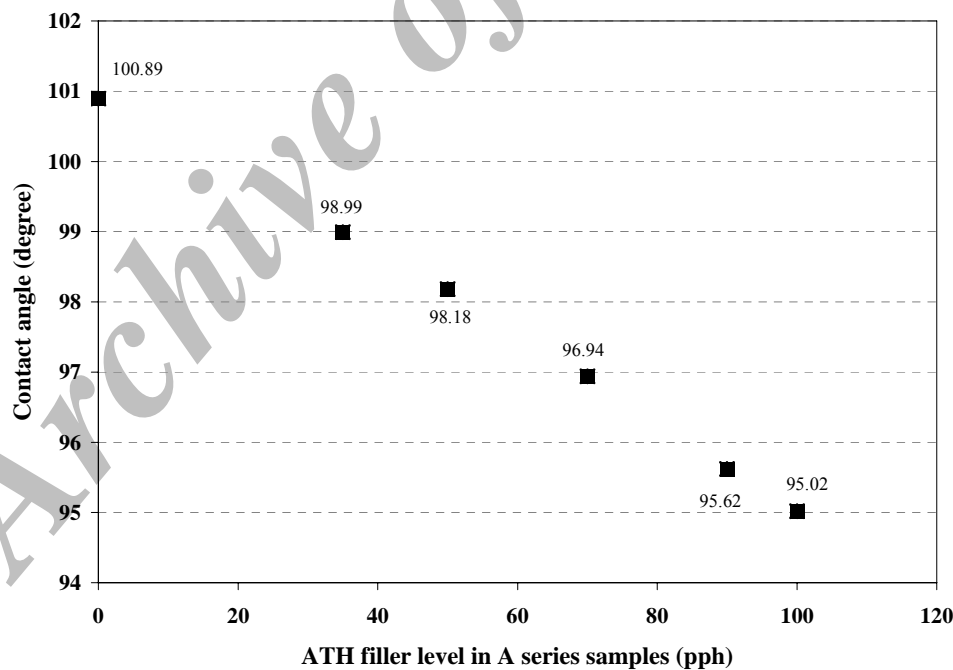
تأثیر افزایش میزان پرکننده ATH و سیلیکا روی آبگریزی نمونه‌ها با اندازه‌گیری زاویه تماس مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، افزایش میزان ATH تأثیر اندکی در کاهش زاویه تماس و در نتیجه کاهش آبگریزی داشته است. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که زاویه تماس برابر با 98 ± 3 درجه می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که در پوشش‌های دست نخورده و پیر نشده که در اینجا مورد استفاده واقع شده‌اند، مقدار کمی از ذرات پرکننده در معرض سطح خارجی قرار گرفته‌اند و با افزایش مقدار ATH کاهش مختصری در زاویه تماس قطره آب با سطح مشاهده می‌گردد.

روند مشاهده شده در مورد زاویه تماس نمونه‌های سری A در مورد سری S نیز در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. با این تفاوت که آبگریزی نمونه‌های سری S 96 ± 3 درجه اندکی از سری A کمتر بوده

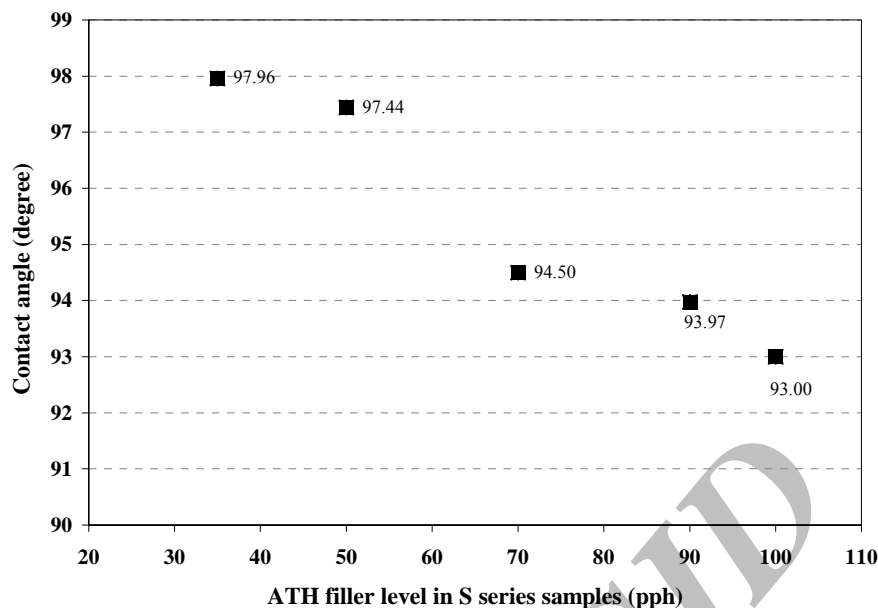
1- Thermogravimetry analysis



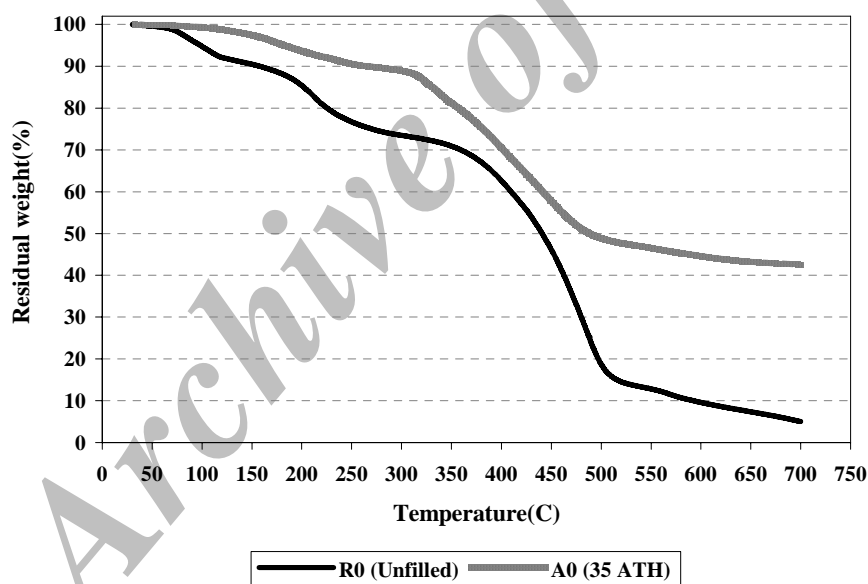
شکل ۱۱: ولتاژ تخلیه الکتریکی نمونه‌های سری A و S در مقایسه با مقره بدون پوشش (Ref) ۵ دقیقه پس از قطع باران.



شکل ۱۲: زاویه تماس نمونه‌های سری A برحسب درصد پرکننده.



شکل ۱۳: زاویه تماس نمونه‌های سری S برحسب درصد پرکننده.



شکل ۱۴: مقایسه نمودار TGA مربوط به نمونه R0 و A0.

یافته است. همچنین شیب نمودارها نشان می‌دهد که بعد از آغاز تجزیه، نمودار مربوط به R0 نسبت به A0 با شیب تندتری کاهش پیدا می‌کند به طوری که در 300°C کاهش وزن A0 حدود ۱۱٪ است در حالی که این عدد برای R0 برابر با ۲۶٫۵٪ می‌باشد. افت وزنی اولیه نمونه بدون پرکننده که در هنگام افزایش دما مشاهده می‌شود

با توجه به شکل ۱۴ و مقایسه دو نمودار در کنار یکدیگر می‌توان به وضوح تأثیر پرکننده ATH را در به تأخیر انداختن تجزیه اولیه سلیکون مشاهده نمود. نمودار مربوط به نمونه R0 نشان می‌دهد که آغاز افت وزنی و بخش نزولی نمودار در 75°C است در حالی که در نمونه‌ای که دارای پرکننده ATH می‌باشد این دما تا 131°C افزایش

خواهد کرد. با توجه به روند صعودی - نزولی نمودارهای مربوط به ولتاژ تخلیه الکتریکی برحسب میزان پرکننده، می‌توان گفت که برای یک توزیع اندازه ذرات پرکننده مشخص، همواره یک غلظت بهینه وجود دارد. در مورد ATH استفاده شده در این تحقیق این غلظت بهینه برابر با ۷۰ pph یا حدود ۱،۱۸٪ وزنی می‌باشد. افزودن سیلیکای رسوبی در این پوشش‌ها، در غلظت‌های کم ATH تأثیر مثبت دارد ولی در مقادیر زیاد پرکننده به علت سخت پراکنده شدن آن در فاز الاستومری در عملکرد پوشش‌ها افت ایجاد می‌نماید. در غلظت بهینه پیشنهاد شده برای ATH (۷۰ pph)، افزودن سیلیکا به مقدار ۱۰ pph به پوشش‌ها در کلیه آزمایش‌ها تأثیر مثبت داشته است. همچنین در مورد آبگریزی نمونه‌ها مشاهده شد که با افزایش میزان پرکننده در نمونه‌های RTV، زاویه تماس روی نمونه‌های دست نخورده با شیب ملایمی کاهش می‌یابد.

نشان دهنده تبخیر سیال سیلیکون می‌باشد [۲۶]. اما هنگامی که ATH به سیلیکون اضافه شود مولکول‌های هیدروکسید آلومینیوم طی واکنش گرماگیر (معادله ۳) حرارت ایجاد شده را دریافت و آب آزاد می‌کنند [۱۳] و به این ترتیب از تبخیر سیال سیلیکون و اکسیداسیون پلیمر جلوگیری می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد الکتریکی مقره‌ها و همچنین نتیجه آزمون TGA نشان داد که استفاده از پرکننده ATH در پوشش‌های سیلیکونی RTV برای افزایش مقاومت این پوشش‌ها در برابر سایش و شکستگی و همچنین بالا بردن ضریب هدایت حرارتی پوشش و مقاوم نمودن آن در برابر حرارت ناشی از جرقه‌زنی ضروری است. ولی افزایش بیش از حد پرکننده سبب می‌شود تا ذرات پرکننده به خوبی توسط سیلیکون پوشانده نشوند و در نتیجه سطح ایجاد شده رفته رفته زبرتر و عملکرد نمونه‌ها افت

۵- مراجع

1. L. Lei, W. Xishan, Investigation to the influence of nanomaterial on the resistance to tracking and erosion of RTV coatings. *IEEE T. Electr. In.* 3(2002), 1881-1883.
2. R. S. Gorur, E. A. Chernry, J. T. Burnham, Outdoor insulators, by Ravi S. Gorur, Inc., Phoenix, Arizona 85044, USA, (1999), 29-31.
3. R. S. Grou, E. A. Cherney, C. de Turreil, D. Dumora, R. Harmon, H. Hergig, B. Kingsbury, J. Kise, T. Orbeck, K. Tanaka, R. Tay, G. Toskey, D. Wiitanen, Protective coatings for improving contamination performance of outdoor high voltage ceramic insulators. *IEEE T. Power Deliver.* 10 (1995), 924-933.
4. M. Mirzayi, Comparison between composite and other type of insulators, 3rd Electrical and electronic engineering conference. Iran, (2000).
5. E. A. Chernry, RTV Silicone- A high tech solution for a dirty insulator problem. *IEEE Electr. In. M.* 11(1995), 8-14.
6. S. H. Kim, E. A. Cherney, R. Hackam, Suppression mechanism of leakage current on RTV coated porcelain and silicone rubber insulators. *IEEE T. Power Deliver.* 6(1991), 1549-1556.
7. S. H. Kim, R. Hackam, Temperature distribution in RTV silicone rubber coating following dry band arcing, conference record of the 1994 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. Pittsburgh, PA USA, June 5-8, (1994).
8. S. H. Kim, E. A. Cherney, Hydrophobic behaviour of insulators coated with RTV silicone rubber. *IEEE T. Electr. In.* 27(1992), 610-622.
9. R. E. Carberry, H. M. Schneider, Evaluation of RTV coating for station insulators subjected to coastal contamination. *IEEE T. Power Deliver.* 4(1989), 577-585.
10. J. Hall, T. Orbeck, Evaluation of a new protective coating for porcelain insulator. *IEEE Transaction on power apparatus and systems, PAS-101(1982)*, 4689-4696.
11. Hoffman rubber technology handbook. Published by Setayesh, 1st edition, 2, 481-456.
12. M. A. Pradeep, N. Vasudev, P. V. Reddy, D. Khastgir, Effect of ATH content on electrical and aging properties of EVA and silicone rubber blends for high voltage insulator compound. *J. Appl. Polym. Sci.* 104(2007), 3505-3516.
13. Y. Zhu, M. Otsubo, Ch. Honda, A. Ohno, Suppression effect of ATH filler on the erosion of filled silicone rubber exposed to dry band arc discharge. *Poly. Test.* 24(2005), 893-899.
14. E. A. Cherney, Silicone rubber dielectrics modified by inorganic fillers for outdoor high voltage insulation applications. *IEEE T. Dielect. El. In.* 12 (2005), 1108-1115.
15. R. Omranipour, L. H. Meyer, S. H. Jayaram, E. A. Cherney, Tracking and erosion resistance of RTV silicone rubber: effect of filler particle size and loading. 2002 Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena.
16. H. S. Katz, J. V. Milewski, Handbook of fillers for plastics. Van Nostrand Reinhold Co., New York. (1987), 166-169.
17. L. Lei, W. Xishan, Study of the properties of RTV nanocomposite coatings. XIIIth International symposium on high voltage engineering, Netherlands, (2003).
18. H. Deng, R. Hackam, E. A. Cherney, Role of the size of particles of alumina trihydrate filler on the life of RTV silicone rubber coating. *IEEE T. Power Deliver.* 10(1995), 1012-1024.
19. H. Deng, R. Hackem, Electrical performance of RTV silicone rubber coating of different thicknesses on porcelain. *IEEE T. Power Deliver.* 12(1997), 857-866.

20. H. Deng, R. Hackam, E. A. Cherney, Influence of thickness, substrate type, amount of silicone fluid and solvent type on the electrical performance of RTV silicone rubber coatings. *IEEE T. Power Deliver.* 11(1996), 431-443.
21. S. H. Kim, E. A. Cherney, R. Hackam, Effect of filler level in RTV silicone rubber coatings used in HV insulators. *IEEE T. Electr. Insul.* 27(1992), 1065-1072.
22. H. Deng, R. Hackam, Low-molecular weight silicone fluid in RTV silicone rubber coatings. *IEEE T. Dielect. El. In.* 6(1999), 84-94.
23. R. P. Woodward, Contact angle measurements using the drop shape method. www.firsttenangstroms.com.
24. IEEE Std 1523TM-2002, IEEE Guide for the application, maintenance, and evaluation of room temperature vulcanizing (RTV) silicone rubber coatings for outdoor ceramic insulators.
25. H. Deng, R. Hackam, E. A. Cherney, Factors influencing the electrical performance of RTV silicone rubber coatings. *Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, (1994), 669-674.
26. H. Homma, T. Kuroyagi, K. Izumi, C. L. Mirley, J. Ronzello, S. A. Boggs, Evaluation on surface degradation of silicone rubber using thermogravimetric analysis. Proceeding of International Symposium on Electrical Insulating Materials, in conjunction with 1998 Asian International Conference on Dielectrics and Electrical Insulation. Toyohashi, Japan, 27-30 (1998), 631-634.

Archive of SID