

ارزیابی ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری با پروفیل‌های مختلف تحت تأثیر مشخصات آلودگی غیر یکنواخت قطاعی و طولی و رطوبت محیط

مهرداد قربانی پاشاکالایی، محمد میرزائی و سید میثم سیدبرزگر

این عوامل منجر به شکل‌گیری یک لایه هادی بر روی سطح مقره شده به طوری که عملکرد مقره را به شدت تضعیف می‌کند و باعث وقوع پدیده قوس الکتریکی می‌شود [۱]. در خطوط انتقال، آلودگی ایجاد شده به خاطر تأثیر شکل و پروفیل مقره، نوع آلودگی، توزیع میدان الکتریکی حول مقره و بارش باران و وزش باد، عملاً به صورت غیر یکنواخت است. عموماً توزیع آلودگی در امتداد محوری و در امتداد شعاعی مقره، غیر یکنواخت بوده به طوری که آلودگی روی سطح بالایی مقره نسبت به سطح پایین مقره کمتر است. تحقیقات و پژوهش‌ها نشان داده که توزیع غیر یکنواخت آلودگی بین سطح بالا و پایین چترک مقره‌ها تأثیر مهمی بر عملکرد آنها دارد [۲] و [۳]. در [۴] تأثیر آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی بر روی ولتاژ قوس الکتریکی AC سه نوع مقره کامپوزیتی، تحت چهار درجه غیر یکنواختی آلودگی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته شده است. مطابق نتایج حاصل، با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی، ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه کاهش یافته است. در [۵] وقوع قوس الکتریکی به وسیله اندازه شاخص اختلاف فاز سیگنال جریان ناشی و ولتاژ اعمالی به مقره‌ها بررسی شده است. مطابق نتایج به دست آمده، اندازه شاخص فاز در صورت وجود رطوبت و آلودگی مستقر بر روی مقره‌ها نسبت به حالت تمیز و خشک، تغییر قابل ملاحظه‌ای داشته است. در [۶] تأثیر عرض لایه آلودگی غیر یکنواخت حلقوی بر روی ولتاژ قوس الکتریکی DC مقره آویزی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. مطابق نتایج به دست آمده، با افزایش آلودگی غیر یکنواخت در شعاع مقره، ولتاژ قوس الکتریکی افزایش یافته است. در [۷] ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های سرامیکی در حالت آلودگی غیر یکنواخت در بالا و پایین چترک بررسی شده است. در [۸] مطالعه‌ای گسترده به منظور پی‌بردن به تأثیر جنس و پروفیل مقره‌های چینی، شیشه‌ای و پلیمری با پروفیل‌های متفاوت انجام شده و ولتاژ قوس الکتریکی DC آنها در چگالی رسوب نمک^۱ (SDD) مختلف با هم مقایسه گردیده است. نتایج حاکی از آن است که مقره‌های پلیمری عملکرد الکتریکی بهتری را در مقایسه با مقره‌های سرامیکی (چینی و شیشه‌ای) از خود نشان داده‌اند و تأثیر SDD بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های سرامیکی بیشتر از مقره‌های پلیمری است. دلیل عملکرد بهتر مقره‌های پلیمری، آبریز بودن سطح مقره‌های پلیمری بوده است. در [۹] و [۱۰] بیان شده که غیر یکنواختی در آلودگی‌های مستقر بر روی سطح مقره‌ها تنها به صورت بالا و پایین نمی‌باشد بلکه تحت وزش باد، میزان آلودگی مستقر بر قسمتی از مقره که در جهت موافق وزش باد است

چکیده: شرایط استقرار آلودگی بر روی مقره‌های خطوط هوایی و همچنین مشخصات آن، یکی از عوامل مؤثر بر رفتار الکتریکی مقره‌ها می‌باشد. استقرار آلودگی بر روی سطح مقره‌ها به علت وزش باد متفاوت بوده به طوری که آلودگی در جهت وزش باد در قیاس با خلاف جهت وزش باد کمتر است. همچنین آلودگی در طول مقره و در نواحی الکترودهای فشار قوی و ضعیف متفاوت است. لذا در طبیعت، استقرار آلودگی بر روی مقره‌ها به صورت غیر یکنواخت و ناهموار است و می‌توان دو نوع آلودگی قطاعی و طولی را به عنوان آلودگی‌های غیر یکنواخت برای مقره‌ها در نظر گرفت. در این مقاله تأثیر آلودگی یکنواخت و همچنین تأثیر سه سطح گسترش آلودگی (۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد) و چهار درجه غیر یکنواختی آلودگی (۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳) از نوع قطاعی و طولی و همچنین رطوبت‌های مختلف، بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری لاستیک سیلیکونی ۲۰ کیلوولت (با پروفیل‌های گوناگون) بررسی و مطالعه شده است. مطابق نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی، افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی تأثیر چشم‌گیری بر رفتار مقره‌های مورد مطالعه در شرایط مختلف آلودگی غیر یکنواخت داشته به طوری که موجب کاهش ولتاژ قوس الکتریکی بین ۸/۸ تا ۴۲/۲۱ درصد در تمامی مقره‌های مورد مطالعه شده است.

کلیدواژه: مقره پلیمری، آلودگی غیر یکنواخت، آلودگی یکنواخت، ولتاژ قوس الکتریکی، رطوبت.

۱- مقدمه

مقره‌ها به عنوان یکی از تجهیزات مهم و حساس خطوط هوایی انتقال نیرو، وظیفه ایفای نقش عایقی و همچنین انتقال بار مکانیکی هادی به دکل را تحت شرایط محیطی همچون برف، باد و یخ بر عهده دارند. در بیشتر مواقع، مقره‌ها در معرض رطوبت پایدار، آلاینده‌های حلال و غیر حلال (گرد و خاک و شن، محصولات شیمیایی و نمک) که در محیط وجود دارند قرار می‌گیرند. آلودگی مستقر بر روی مقره‌ها می‌تواند به صورت‌های مختلفی همچون آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت در نظر گرفته شوند که هر یک بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها مؤثر می‌باشند.

این مقاله در تاریخ ۲۳ اسفند ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ بازنگاری شد.

مهرداد قربانی پاشاکالایی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران، (email: m.ghorbani567@yahoo.com).

محمد میرزائی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران، (email: mirzaie@nit.ac.ir).

سید میثم سیدبرزگر، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، (email: seyedbarzegar@shahroodut.ac.ir).

در این مقاله به منظور ارزیابی تأثیر غیر یکنواختی آلودگی بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری، چهار نوع مقره پلیمری ۲۰ کیلوولت با پروفیل‌های مختلف انتخاب شده است. سپس در آزمایشگاه، آلودگی مصنوعی با سطوح مختلف و در حالات گوناگون قطاعی و طولی بر روی مقره‌های نمونه ایجاد می‌شود. پس از آن، مقره‌ها درون محفظه مخصوص تحت رطوبت‌های مختلف قرار گرفته و ولتاژ قوس الکتریکی آنها اندازه‌گیری می‌گردد. در نهایت نتایج حاصل از تأثیر آلودگی‌های غیر یکنواخت قطاعی و طولی مختلف و همچنین رطوبت بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها تحلیل و بحث می‌شوند.

۲- مجموعه آزمایشگاهی و مقدمات انجام تست‌ها

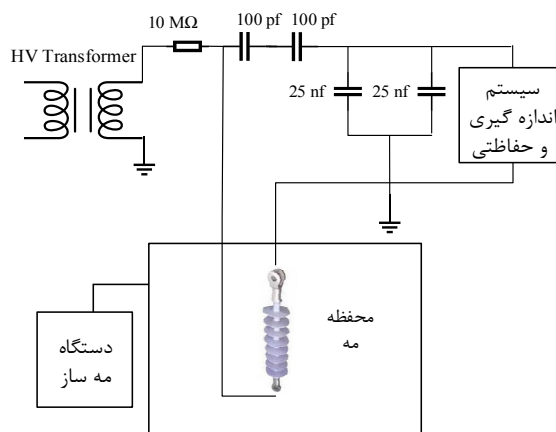
آماده‌سازی تجهیزات مورد نیاز برای انجام تست، مهم‌ترین بخش در انجام هر آزمایش می‌باشد. به منظور انجام تست ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری در آلودگی‌های مختلف، از مجموعه آزمایشگاهی مطابق با شکل ۱ استفاده شده است.

۲-۱ سیستم تولید ولتاژ

برای تولید ولتاژ فشار قوی از یک مجموعه ترانسفورماتور افزایشده ولتاژ مشتمل بر دو ترانسفورماتور تک‌فاز ۲۲۰/۱۰۰۰۰۰ ولت با اتصال آبشاری استفاده شده است. هر یک از این ترانسفورماتورهای تک‌فاز، توانایی تولید ولتاژ متناوب تا ۱۰۰ کیلوولت با توان ۵ کیلوولت آمپر را دارند. ولتاژ خروجی مجموعه ترانسفورماتور فشار قوی ۲۰۰ کیلوولت بوده است. برای اندازه‌گیری ولتاژ طرف ثانویه ترانسفورماتور فشار قوی از دو خازن سری ۱۰۰ پیکوفاراد و دو خازن موازی ۲۵ نانوفاراد استفاده شده است. ولتاژ کاهش‌یافته مقسم خازنی، قابلیت اندازه‌گیری توسط ولت‌متر را دارد. یک مقاومت ۱۰ مگا اهم نیز به صورت سری با ثانویه ترانسفورماتور فشار قوی قرار گرفته که نقش آن محدود کردن جریان در صورت بروز اتصال کوتاه است. برای انجام آزمایشات مربوط به ایجاد رطوبت و شرایط محیطی مورد نظر، از دستگاه رطوبت‌ساز آلتراسونیک استفاده می‌گردد. متوسط دمای هوا در محیط آزمایشگاه در حین انجام تست‌ها حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است.

۲-۲ روش ایجاد آلودگی مصنوعی

به منظور ایجاد آلودگی مصنوعی بر روی سطح مقره‌ها و بررسی اثر انواع آلودگی بر عملکرد آنها، تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. آلوده‌سازی مقره‌ها بر اساس استاندارد IEC 605۰۷ صورت می‌گیرد. مطابق این استاندارد، آلودگی مصنوعی به دو روش مه نمکی^۳ و لایه جامد^۴ انجام می‌گردد. روشی که در این مقاله برای آلوده کردن مقره‌ها استفاده شده است روش لایه جامد می‌باشد. شایان ذکر است که در روش لایه جامد، محلول آلودگی شامل ترکیبی از کلراید سدیم (NaCl) با درصد خلوص تجاری به همراه آب مقطر و کاتولین می‌باشد که میزان کاتولین و نمک مورد نیاز برای سطوح مختلف آلودگی در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۸]. در این روش محلول آلودگی، توسط اسپری‌هایی بر روی سطح مقره پاشانده می‌شود.



شکل ۱: شماتیک کلی مجموعه آزمایشگاهی.

^۱(W_w) و آن قسمت از مقره که در جهت مخالف وزش باد است ^۲(L_w) با هم متفاوت می‌باشند که به آن آلودگی غیر یکنواخت قطاعی اطلاق می‌گردد. نتایج مطالعات فوق نشان داده که با گسترش آلودگی در راستای شعاعی مقره‌ها و با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی، ولتاژ قوس الکتریکی کاهش می‌یابد. در [۱۱] تأثیر مکان و گسترش عرض لایه آلودگی در نواحی باند فشار قوی، باند میانی و باند فشار ضعیف بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که ولتاژ قوس الکتریکی، زمانی که لایه آلودگی در ناحیه میانی مقره پخش شده باشد مقدار بالاتری دارد. همچنین مقدار ولتاژ قوس الکتریکی در حالتی که باند آلودگی نزدیک به زمین است نسبت به حالتی که در باند فشار قوی است بیشتر است.

در [۱۲] تأثیر آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت طولی بر روی مشخصات جریان نشستی (محتوای هارمونیک و زاویه فاز) در مقره‌های پلیمری ۲۰ کیلوولت بررسی شد. در [۱۳] به بررسی و تحلیل جریان نشستی تحت آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت از نوع بالا و پایین پرداخته شده و همچنین توزیع میدان از طریق نرم‌افزار Finite Element در دو حالت یکنواخت و غیر یکنواخت مورد بررسی قرار گرفت و مدل دینامیکی‌ای در حالت آلودگی یکنواخت ارائه گردید. در [۱۴] تأثیر آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی بر ولتاژ قوس الکتریکی ac یک زنجیره مقره که شامل پنج نوع مقره، اعم از شیشه‌ای و چینی بوده، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی زنجیره مقره تحت آلودگی یکنواخت، با افزایش SDD و همچنین تحت مقادیر مختلف گسترش آلودگی غیر یکنواخت و درجه غیر یکنواختی آلودگی، کاهش یافته است. در [۱۵] به کمک شبکه عصبی مصنوعی ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری لاستیک سیلیکونی در حالت‌های آلودگی غیر یکنواخت قطاعی و طولی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی پیش‌بینی شده است. در [۱۶] نشان داده شده که با گسترش آلودگی در راستای شعاعی مقره‌ها و با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی، ولتاژ قوس الکتریکی کاهش می‌یابد. همچنین در [۱۷] با انجام آزمایش پیرسازی مصنوعی بر روی مقره‌های پلیمری، تأثیر رطوبت و آلودگی‌های مختلف بر سیگنال جریان نشستی و طیف هارمونیک مقره‌ها با سطوح پیری گوناگون بررسی گردیده است. ضمناً بر روی تمامی مقره‌های پیرشده، تست ولتاژ قوس الکتریکی و اسکن میکروسکوپی الکترونی انجام و تحلیل‌های لازم صورت گرفت.

3. Salt-Fog Method
4. Solid Layer Method

1. Windward
2. Leeward



شکل ۳: نمایی از استقرار آلودگی بر سطح مقره‌ها، (الف) آلودگی یکنواخت، (ب) آلودگی غیر یکنواخت طولی و (ج) آلودگی غیر یکنواخت قطاعی.



شکل ۲: مقره‌های لاستیک سیلیکونی ۲۰ کیلوولت مورد مطالعه.

جدول ۲: مشخصات مقره‌های ۲۰ کیلوولت لاستیک سیلیکونی مورد مطالعه.

مقره‌ها	تعداد چترک	فاصله خزشی (mm)	فاصله چتره‌زنی (mm)
شماره ۱	۷	۶۶۰	۲۸۵
شماره ۲	۷	۶۶۰	۲۴۵
شماره ۳	۶	۶۳۴	۳۲۵
شماره ۴	۶	۷۱۰	۳۲۸

نمکی مستقر بر سطح مقره نزدیک ترمینال طرف فشار ضعیف و در سطح S_1 است. SDD_p در آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی بیانگر مقدار چگالی رسوب نمک مستقر بر سطح مخالف باد (LW) با سطح S_p و در آلودگی غیر یکنواخت نوع طولی بیانگر مقدار چگالی رسوب نمک مستقر بر سطح مقره نزدیک ترمینال طرف فشار قوی با سطح S_p است. K نیز نسبت سطح مقره مخالف جهت وزش باد در آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی و یا سطح مقره نزدیک ترمینال فشار قوی در آلودگی غیر یکنواخت نوع طولی (یعنی S_p) به سطح کل مقره می‌باشد. به منظور داشتن مقادیر SDD_p و J در سطوح S_1 و S_p معین، می‌توان مقادیر SDD_p و SDD_1 را به دست آورد. با استفاده از این معیار، میزان پاشش محلول آلودگی بر روی سطوح موافق و مخالف باد و همچنین سطوح نزدیک به ترمینال‌های فشار قوی و فشار ضعیف تعیین می‌شوند. قسمت مخالف جهت وزش باد و نزدیک ترمینال فشار قوی دارای آلودگی سنگین‌تری نسبت به سطوح موافق جهت وزش باد و ترمینال فشار ضعیف مقره می‌باشد. برای ایجاد آلودگی غیر یکنواخت قطاعی و طولی بر روی مقره‌های سیلیکونی مورد مطالعه در آزمایشگاه، از صفحه‌های مخصوصی که متناسب با پروفیل مقره ساخته شده، استفاده گردیده و آلودگی‌ها بر اساس زوایای مختلف ایجادشده بر روی عرض و طول مقره، به صورت غیر یکنواخت و با نسبت‌های مختلف بر سطح مقره پاشیده می‌شود.

در شکل ۳ نمایی از مقره لاستیک سیلیکونی در آلودگی یکنواخت و همچنین غیر یکنواخت طولی و قطاعی نشان داده شده است.

۵- نتایج تست‌های آزمایشگاهی

در این مقاله اندازه‌گیری ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه در آلودگی یکنواخت ($J=1$) و آلودگی غیر یکنواخت در طول مقره (آلودگی غیر یکنواخت طولی) و آلودگی غیر یکنواخت در راستای شعاع مقره (آلودگی غیر یکنواخت قطاعی) با مقادیر K برابر با ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ و با مقادیر J برابر ۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳ و در سه سطح رطوبت ۷۵٪،

جدول ۱: میزان نمک و کاتولین موجود در محلول‌های آلودگی [۱۸].

سطح آلودگی (میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع)	نمک (گرم)	کاتولین (گرم)
۰٫۰۳	۲۰	۴۰
۰٫۰۵	۳۰	۴۰
۰٫۱۱	۴۰	۴۰

۳- مشخصات مقره‌های پلیمری مورد مطالعه

مقره‌های پلیمری مورد مطالعه شامل چهار نوع مقره پلیمری ۲۰ کیلوولت با پروفیل‌های متفاوت و از نوع لاستیک سیلیکون می‌باشد. در شکل ۲ مقره‌های لاستیک سیلیکونی ۲۰ کیلوولت مورد مطالعه، نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲ اطلاعات و مشخصات فنی این چهار نوع مقره نشان داده شده است.

۴- روش انجام تست‌های آزمایشگاهی

همان طوری که بیان گردید در شرایط واقعی بهره‌برداری از مقره‌ها، آلودگی مستقر بر روی سطح مقره‌ها حسب شرایط مختلف از جمله وزش باد و باران، غیر یکنواخت بوده به طوری که میزان آلودگی سطحی مقره، در سطح بادخور و یا نزدیک ترمینال فشار قوی با بقیه سطوح، متفاوت است. لذا در این مقاله تأثیر آلودگی یکنواخت و همچنین آلودگی غیر یکنواخت قطاعی و طولی با درجه ناهمواری‌های مختلف، بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های ۲۰ کیلوولتی پلیمری که دارای پروفیل‌های مختلف نیز هستند مورد تحلیل قرار می‌گیرند. به منظور بیان درجه غیر یکنواختی آلودگی قطاعی و طولی بر روی سطح مقره‌ها، روابط زیر تعریف می‌شوند [۷]

$$SDD = \frac{[(SDD_1 \cdot S_1) + (SDD_p \cdot S_p)]}{S_1 + S_p} \quad (۱)$$

$$J = \frac{SDD_p}{SDD_1} \quad (۲)$$

$$K = \frac{S_p}{S_1 + S_p} \quad (۳)$$

که در روابط فوق، SDD بیانگر مقدار چگالی رسوب نمک مستقر بر روی کل سطح مقره، J درجه غیر یکنواختی آلودگی مستقر بر روی سطح مقره، SDD_1 در آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی، بیانگر مقدار چگالی رسوب نمک مستقر بر روی سطح موافق باد (Ww) و در سطح S_1 و در آلودگی غیر یکنواخت نوع طولی، بیانگر مقدار چگالی رسوب

۵-۱ ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری در آلودگی غیر یکنواخت نوع طولی

در این قسمت تأثیر پارامترهای مختلف بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه تحلیل می‌گردد.

- تأثیر درجه غیر یکنواختی آلودگی (J)

در این حالت، تأثیر درجه غیر یکنواختی آلودگی بر ولتاژ قوس الکتریکی چهار نوع مقره پلیمری مورد مطالعه تحت رطوبت ۷۵ درصد مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. آزمایشات ولتاژ قوس الکتریکی به منظور بررسی تأثیر شدت و درجه غیر یکنواختی آلودگی در طول مقره، با درجه غیر یکنواختی آلودگی ۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳ و تحت رطوبت ۷۵ درصد انجام شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مقره‌های مورد مطالعه به صورت نمونه در $K = 15\%$ و تحت سه سطح آلودگی ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع در شکل ۴ نشان داده شده است.

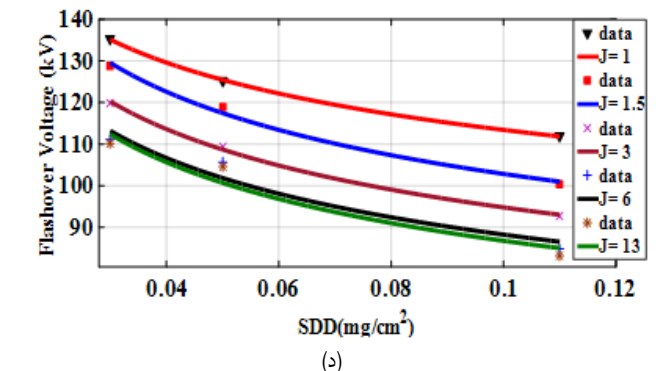
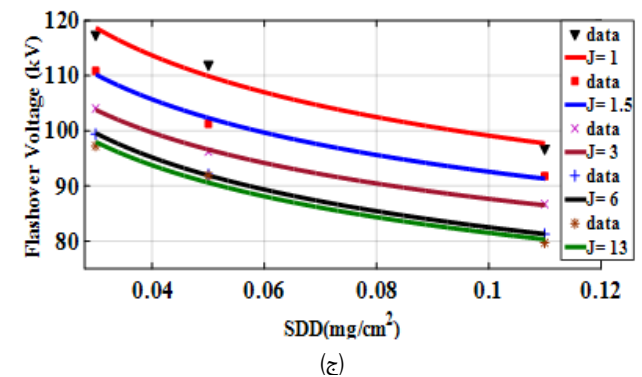
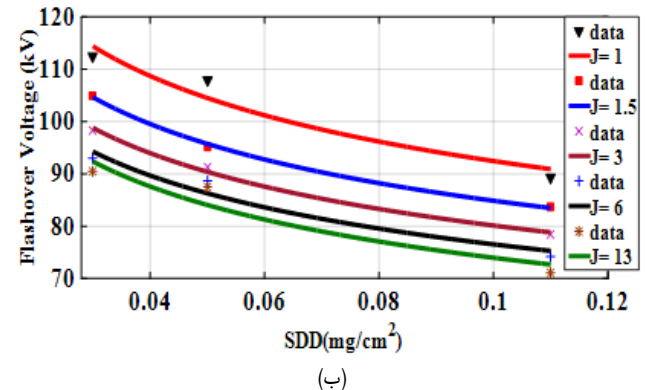
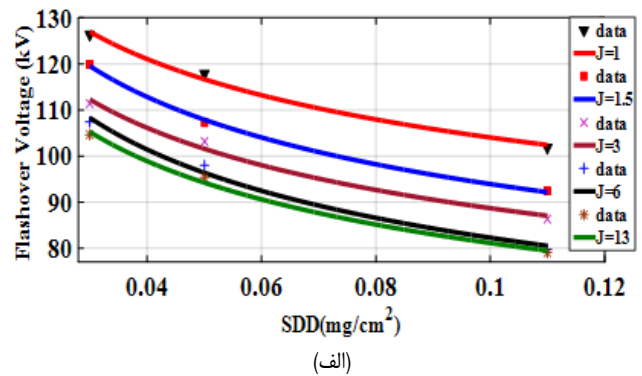
با توجه به نتایج به دست آمده مندرج در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی برای هر چهار نمونه مقره مورد مطالعه با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی و افزایش شدت آلودگی، کاهش چشم‌گیری داشته که مقدار این کاهش بسته به پروفیل مقره متفاوت بوده است (از بین مقره‌های مورد مطالعه، مقره‌های شماره ۴ و ۱ که فاصله خزشی و جرقه‌زنی بالاتری داشته‌اند دارای عملکرد الکتریکی بهتری بوده‌اند). به عنوان مثال مقدار ولتاژ قوس الکتریکی مقره شماره ۱ (تحت $K = 15\%$ و رطوبت ۷۵ درصد) در حالت آلودگی یکنواخت ($J = 1$) و با چهار سطح درجه غیر یکنواختی آلودگی (J برابر با ۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳) به ترتیب ۱۹/۳۴، ۲۲/۸۸، ۲۲/۵۲، ۲۵/۷۶ و ۲۴/۵۱ درصد کاهش یافته است که تأثیر شدت آلودگی غیر یکنواخت بیشتر از حالت آلودگی یکنواخت بوده است.

- تأثیر گسترش آلودگی (K)

در این قسمت به منظور بررسی مکان و گسترش آلودگی بر روی میزان ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه، سه سطح گسترش آلودگی ۱/۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ تحت سه سطح آلودگی ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مقره‌های مورد مطالعه به صورت نمونه در $J = 6$ و تحت رطوبت ۷۵ درصد در شکل ۵ نشان داده شده است.

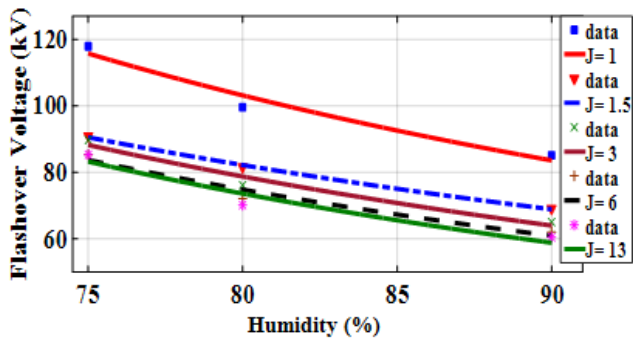
با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۵ مشاهده می‌گردد که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه با افزایش گسترش آلودگی در طول مقره به ترتیب برای نمونه ۱ تا ۴ از حالت $K = 15\%$ تا حالت $K = 35\%$ و در سطح آلودگی ۰/۰۳ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع، به ترتیب ۹/۷۱، ۱۳/۳۳، ۱۰/۱ و ۸/۳۷ درصد و در سطح آلودگی ۰/۰۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع به ترتیب ۱۱/۹۲، ۱۶/۳۷، ۱۲/۱۶ و ۹/۹۳ درصد و در سطح آلودگی ۰/۱۱ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع به ترتیب ۱۲/۴۶، ۱۶/۶۹، ۱۵/۸۹ و ۱۰/۱۴ درصد کاهش یافته است.

طبق نتایج به دست آمده، مقره‌های شماره ۴ و ۲ به ترتیب بهترین و بدترین عملکرد الکتریکی را در این سطح رطوبت و در شرایط پیشرفت گسترش آلودگی از خود نشان داده‌اند که عملکرد بهتر مقره شماره ۴ به دلیل بیشتر بودن فاصله خزشی آن نسبت به سایر مقره‌های مورد مطالعه بوده است. همین‌طور عملکرد نامناسب مقره شماره ۲ ناشی از پایین بودن فاصله جرقه‌زنی آن نسبت به سایر مقره‌های مورد مطالعه می‌باشد.

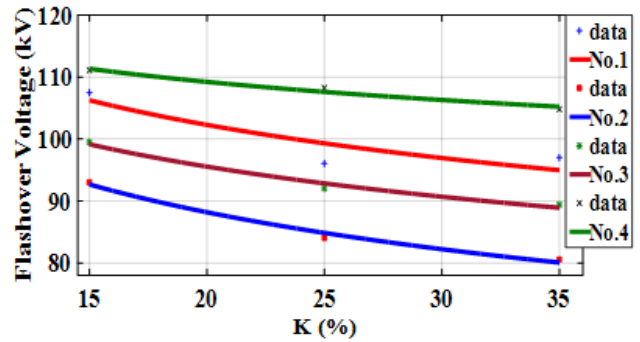


شکل ۴: داده‌های ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف آلودگی ($K = 15\%$ ، رطوبت ۷۵٪ و درجه غیر یکنواختی مختلف)، (الف) مقره ۱، (ب) مقره ۲، (ج) مقره ۳ و (د) مقره ۴.

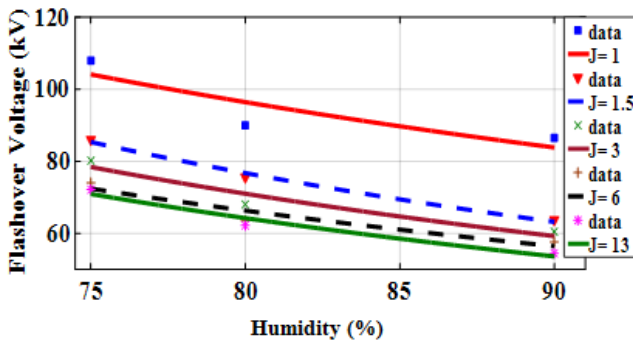
۸۰٪ و ۹۰٪ انجام شده است. مقدار چگالی نمک مستقر بر روی سطح مقره (SDD) برای تمامی حالات آزمایش برابر مقادیر ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع بوده است. ضمناً به جهت تأثیر رطوبت بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها، تمامی مقره‌های آلوده شده در محفظه مه قرار گرفته و با تنظیم سطح رطوبت به میزان دلخواه، تست ولتاژ قوس الکتریکی آنها انجام گردیده است.



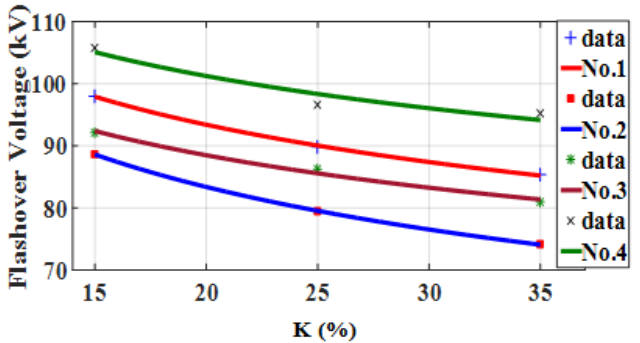
(الف)



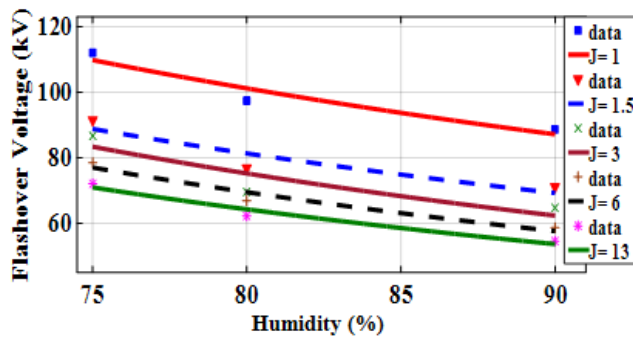
(ب)



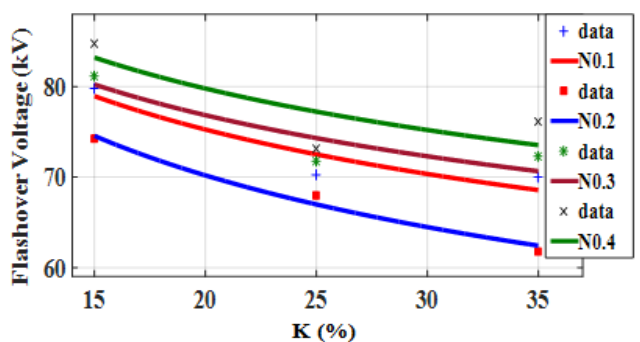
(ب)



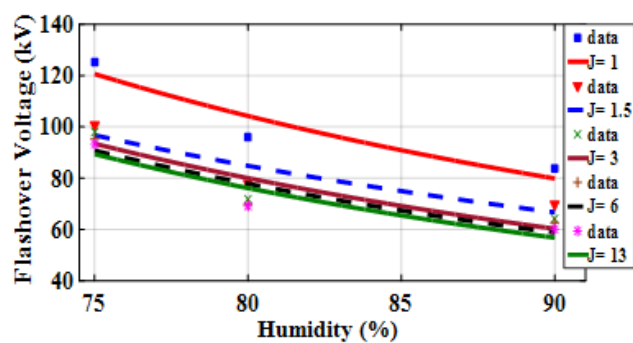
(ب)



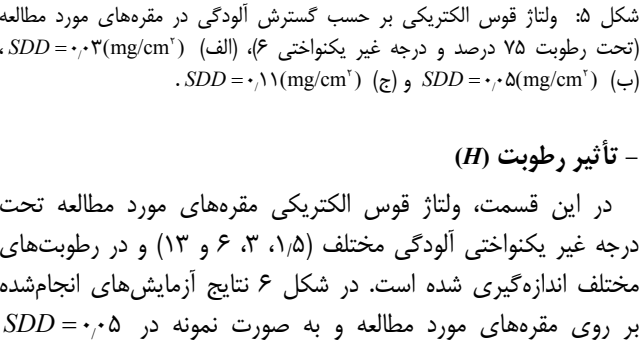
(ج)



(ج)



(د)



(د)

شکل ۵: ولتاژ قوس الکتریکی بر حسب گسترش آلودگی در مقدهای مورد مطالعه تحت رطوبت ۷۵ درصد و درجه غیر یکنواختی ۶، (الف) $SDD = 0.02(mg/cm^2)$ ، (ب) $SDD = 0.05(mg/cm^2)$ و (ج) $SDD = 0.11(mg/cm^2)$.

تأثیر رطوبت (H)

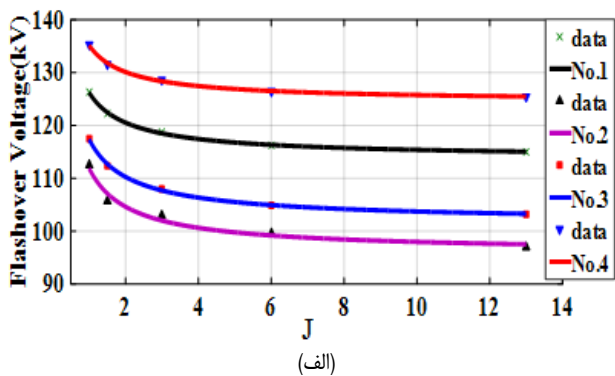
در این قسمت، ولتاژ قوس الکتریکی مقدهای مورد مطالعه تحت درجه غیر یکنواختی آلودگی مختلف (۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳) و در رطوبت‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. در شکل ۶ نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر روی مقدهای مورد مطالعه و به صورت نمونه در $SDD = 0.05$ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع و $K = 35\%$ آمده است.

با توجه به نتایج مندرج در شکل ۶ ملاحظه می‌شود که با افزایش سطح رطوبت و درجه آلودگی غیر یکنواخت، رفتار الکتریکی مقدها از حالت کاری مطلوب خارج گردیده است و مقدها در معرض وقوع قوس الکتریکی قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در $J = 6$ ، میزان ولتاژ قوس الکتریکی با افزایش سطح رطوبت محیط (از ۷۵٪ تا ۹۰٪) برای نمونه مقدهای ۱ تا ۴ به ترتیب ۲۷/۰۲، ۲۲/۲۳، ۲۵/۷۱ و ۳۴/۲۶ درصد کاهش یافته است. در بین مقدهای پلیمری مورد مطالعه، تأثیر رطوبت محیط بر روی ولتاژ قوس الکتریکی مقده پلیمری شماره ۴ به طرز چشم‌گیری بیشتر از سایر مقدها بوده و در بین چهار نوع مقده پلیمری مورد مطالعه، مقده نمونه ۲ در مقابل رطوبت، استقامت عایقی بهتری را دارا بوده است که این امر به پروفیل مقده بستگی داشته است.

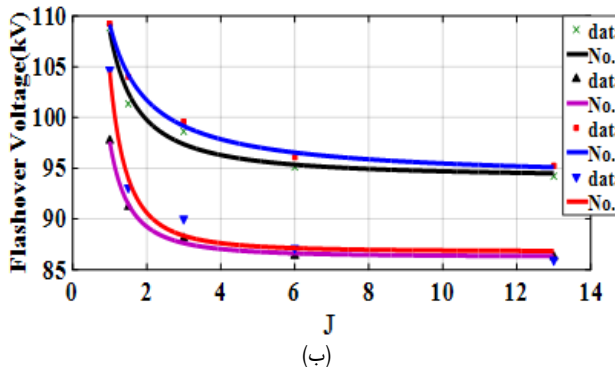
شکل ۶: ولتاژ قوس الکتریکی مقدهای مورد مطالعه در رطوبت‌های مختلف (الف) مقده ۱، (ب) مقده ۲، (ج) مقده ۳ و (د) مقده ۴. $K = 35\%$ و $SDD = 0.05(mg/cm^2)$.

همچنین در آزمایشگاه، ولتاژ قوس الکتریکی مقدها تحت رطوبت‌های مختلف و در گسترش آلودگی و درجه غیر یکنواختی گوناگون و همچنین در SDD های مختلف اندازه‌گیری گردیده است. به عنوان مثال در شکل ۷ نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر روی مقدهای مورد مطالعه و به صورت نمونه در $SDD = 0.05$ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع و تحت درجه غیر یکنواختی آلودگی ۳ و رطوبت و گسترش آلودگی‌های مختلف نشان داده شده است.

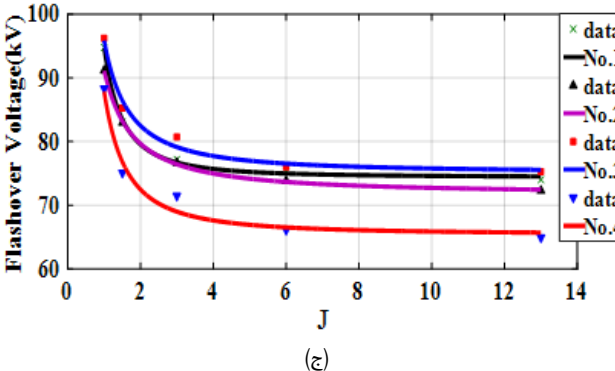
نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که ولتاژ قوس الکتریکی هر چهار نمونه



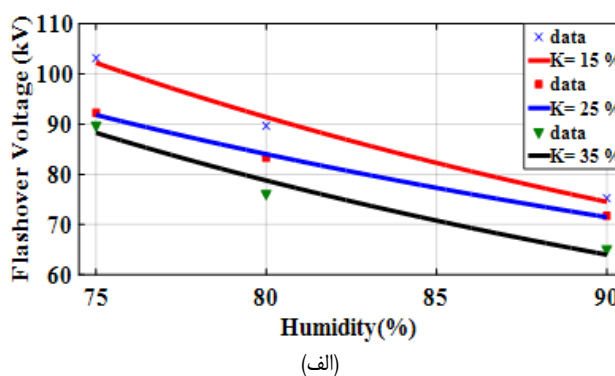
(الف)



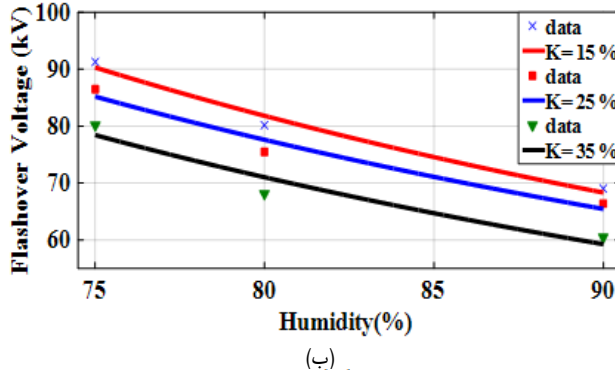
(ب)



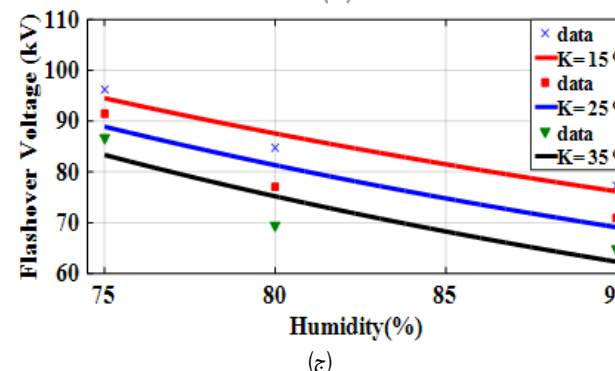
(ج)



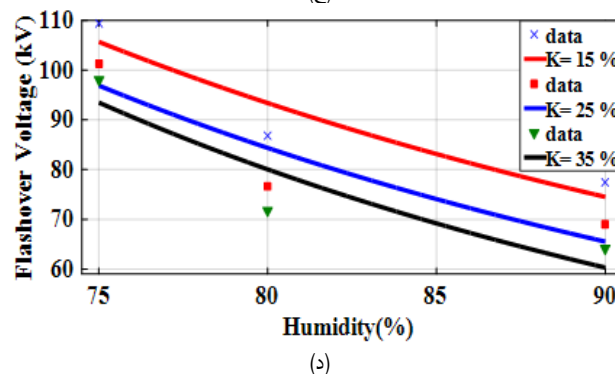
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۸: ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه بر حسب درجه غیر یکنواختی آلودگی در رطوبت‌های مختلف، (الف) ۷۵٪، (ب) ۸۰٪، (ج) ۹۰٪.

شکل ۷: ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری مورد مطالعه در رطوبت‌های مختلف ($J=3$) و $SDD=0.05(mg/cm^2)$ ، (الف) مقره ۱، (ب) مقره ۲، (ج) مقره ۳ و (د) مقره ۴.

۲-۵ ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های پلیمری در آلودگی غیر یکنواخت نوع قطاعی

در این قسمت، تأثیر پارامترهای مختلف بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها مورد مطالعه و ارزیابی می‌گردد.

تأثیر درجه غیر یکنواختی آلودگی (J)

تست‌ها بر روی مقره‌های پلیمری مورد مطالعه در سطوح آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت، با درجه غیر یکنواختی (J) برابر ۱، ۱/۵، ۳، ۶ و ۱۳ و با گسترش آلودگی (k) ۱۵٪ در راستای شعاع مقره و در سطح آلودگی ۰/۰۳ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع انجام شده است. ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها بر حسب درجه غیر یکنواختی آلودگی تحت رطوبت‌های مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۸-الف ملاحظه می‌گردد که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی از ۱ تا ۱۳، برای مقره‌های شماره یک تا چهار نسبت به حالت آلودگی یکنواخت به ترتیب ۸/۹۳، ۱۳/۷۶، ۱۲/۱۵ و ۷/۲۹ درصد کاهش یافته است. طبق نتایج حاصل، مقره شماره ۴، بهترین عملکرد الکتریکی را در رطوبت ۷۵ درصد با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی از خود نشان داده و مقره

مقره مورد مطالعه با افزایش توأم رطوبت و گسترش طولی آلودگی، کاهش یافته است. به عنوان مثال کاهش ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها تحت گسترش طولی آلودگی ۳۵٪ و در رطوبت ۷۵٪ تا ۹۰٪، به ترتیب ۲۷/۵، ۲۳/۵۱، ۲۵/۲۹ و ۳۴/۵۳ درصد بوده است. طبق نتایج به دست آمده، مقره شماره ۴ عملکرد الکتریکی نامطلوبی را در حضور رطوبت از خود نشان داده و در مقابل با افزایش رطوبت، مقره نمونه ۲ عملکرد الکتریکی بهتری را داشته است.

جدول ۳: ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه بر حسب کیلوولت تحت رطوبت ۷۵٪ و گسترش و درجه غیر یکنواختی آلودگی مختلف.

شماره مقره	J	K (%)		
		۳۵	۲۵	۱۵
۱	۱/۵	۱۰۲/۴۱	۱۰۶/۵۳	۱۱۲/۰۲
	۳	۹۶/۳۳	۱۰۱/۰۸	۱۰۸/۵۹
	۶	۹۰/۴۵	۹۷/۱۳	۱۰۶/۶۴
	۱۳	۸۸/۰۷	۹۴/۰۸	۱۰۵/۴۹
	۱/۵	۸۳/۹۵	۹۱/۲۶	۹۵/۹۵
	۳	۷۷/۹۲	۸۵/۱۲	۹۱/۸۹
۲	۶	۷۵/۱۳	۸۲/۲۸	۸۸/۹۷
	۱۳	۷۲/۵۲	۸۱/۳۴	۸۶/۶۴
	۱/۵	۹۴/۵۱	۹۹/۵۶	۱۰۴/۹۸
۳	۳	۸۹/۰۱	۹۵/۰۵	۱۰۱/۵۴
	۶	۸۳/۲۹	۹۰/۳۹	۹۸/۶۲
	۱۳	۸۱/۰۲	۸۸/۴۹	۹۷/۱۳
۴	۱/۵	۱۱۴/۱۵	۱۱۶/۸۹	۱۲۰/۳۸
	۳	۱۰۸/۹۲	۱۱۱/۹۷	۱۱۷/۷۴
	۶	۱۰۳/۰۵	۱۰۷/۴۸	۱۱۵/۵۴
	۱۳	۱۰۰/۲۷	۱۰۵/۲۶	۱۱۴/۸۲
	۱/۵	۱۲۵/۲۱	۱۲۵/۲۱	۱۲۵/۲۱

نمونه ۲ در رطوبت ۷۵ درصد بدترین عملکرد را داشته است. عملکرد بهتر مقره‌های شماره ۱ و ۴ نسبت به مقره‌های شماره ۲ و ۳، ناشی از بیشتر بودن فاصله خزشی و فاصله جرقه‌زنی آنها می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل مندرج در شکل ۸-ب و ۸-ج، تأثیر رطوبت ۸۰ و ۹۰ درصد توأم با آلودگی غیر یکنواخت، بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌ها مشهود بوده است به طوری که در رطوبت ۸۰ درصد، ولتاژ قوس الکتریکی به ترتیب برای مقره‌های شماره ۱ تا شماره ۴ مقدار ۱۳/۴۴، ۱۱/۶۹، ۱۳/۲۵ و ۱۷/۹۵ درصد و در رطوبت ۹۰ درصد ولتاژ قوس الکتریکی به ترتیب برای مقره‌های شماره ۱ تا شماره ۴ مقدار ۲۱/۹، ۲۰/۶۴، ۲۱/۷۸ و ۲۶/۸۱ درصد کاهش داشته است. طبق نتایج حاصل، مقره شماره ۲، کمترین اثرپذیری را در مقابل رطوبت داشته و بهترین عملکرد الکتریکی را در رطوبت‌های ۷۰ و ۸۰ درصد، در مقابل با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی از خود نشان داده و مقره شماره ۴ در این سطح رطوبت، بدترین عملکرد را داشته است.

- تأثیر گسترش آلودگی (K)

در این قسمت از مقاله، تأثیر پارامتر گسترش آلودگی به ترتیب در حالت آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه تحت چگالی رسوب نمک برابر با ۰/۰۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع بررسی شده است. در این حالت، گسترش آلودگی در عرض شعاع مقره (قطاعی) با مقادیر ۰٪، ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش مقره‌های مورد مطالعه تحت رطوبت ۷۵٪ در جدول ۳ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ملاحظه می‌گردد که ولتاژ قوس الکتریکی با افزایش گسترش آلودگی در عرض شعاع (به صورت قطاعی) مقره‌های شماره ۱ تا ۴ از حالت یکنواخت ($K=0\%$) به حالت غیر یکنواخت تا مقدار $K=35\%$ و با درجه غیر یکنواختی آلودگی برابر ۱/۵ به ترتیب ۱۳/۱۱، ۲۲/۲۱، ۱۷/۴۲ و ۸/۸۳ درصد کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش توأم درجه غیر یکنواختی آلودگی و پیشرفت گسترش آلودگی، مقدار ولتاژ قوس الکتریکی با درجه

غیر یکنواختی آلودگی برابر ۳، برای مقره‌های شماره ۱ تا ۴ برابر ۱۸/۳۵، ۲۷/۷۹، ۲۰/۵۴ و ۱۳/۰۱ درصد کاهش و با درجه غیر یکنواختی آلودگی برابر ۶ برای مقره‌های شماره ۱ تا ۴ برابر ۲۳/۲۶، ۳۰/۳۸، ۲۵/۶۵ و ۱۷/۶۹ درصد کاهش و همچنین برای درجه غیر یکنواختی آلودگی برابر ۱۳، برای مقره‌های شماره ۱ تا ۴ برابر ۲۵/۲۸، ۳۲/۸، ۲۷/۶۸ و ۱۹/۹۱ درصد کاهش یافته است. با توجه به نتایج حاصل در K های ثابت مندرج در جدول ۳، افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی (از ۱/۵ به ۱۳) تأثیر زیادی بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه داشته است. همچنین در همین سطح رطوبت (۷۵ درصد)، مقره شماره ۴ بهترین عملکرد الکتریکی را در مقابل پیشرفت گسترش آلودگی از خود نشان داده و مقره شماره ۲ بدترین عملکرد را داشته است.

- تأثیر رطوبت (H)

در این قسمت، آزمایشات مقره‌ها در سه سطح گسترش آلودگی ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ و تحت مقادیر مختلف رطوبت انجام شده است. در شکل ۹ نتایج آزمایش‌های مذکور روی مقره‌های مورد مطالعه در $SDD=0.05$ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع و تحت غیر یکنواختی آلودگی ۱/۵ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج مندرج در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی هر چهار مقره مورد مطالعه، با افزایش توأم رطوبت و گسترش آلودگی از ۱۵٪ تا ۳۵٪ کاهش یافته است. این کاهش ولتاژ قوس الکتریکی برای مقره‌های شماره ۱ تا ۴ در سطح رطوبت ۷۵ درصد تا ۹۰ درصد و در سطح گسترش آلودگی ۱۵٪، به ترتیب ۲۴/۱۲، ۲۹/۲۹ و ۳۹/۵۹ درصد و در سطح گسترش آلودگی ۲۵٪ به ترتیب ۳۱/۱۷، ۲۵/۳۳، ۲۹/۱۱ و ۴۰/۱ درصد و در سطح گسترش آلودگی ۳۵٪ به ترتیب ۳۴/۹۷، ۲۸/۱۲، ۳۰/۱۷ و ۴۲/۲۱ درصد کاهش یافته است. طبق نتایج حاصل در این آزمایشات و همچنین به استناد آزمایشات انجام‌شده در رطوبت‌های مختلف، مقره شماره ۴ عملکرد الکتریکی نامطلوبی را در حضور رطوبت از خود نشان داده و در شرایط افزایش رطوبت، مقره نمونه ۲ عملکرد الکتریکی بهتری را داشته است.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشات ولتاژ قوس الکتریکی انجام‌شده بر روی مقره‌های پلیمری ۲۰ کیلوولت با پروفیل‌های متفاوت و تحت تأثیر شدت آلودگی یکنواخت و غیر یکنواخت و همچنین رطوبت‌های مختلف، نتایج ذیل حاصل شده است:

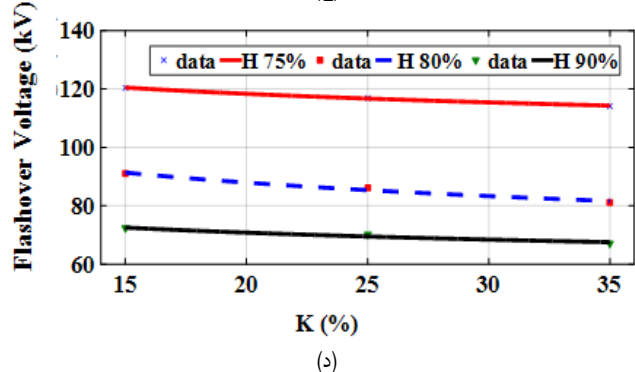
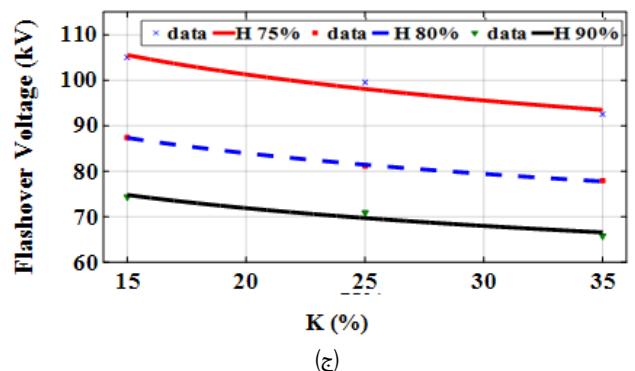
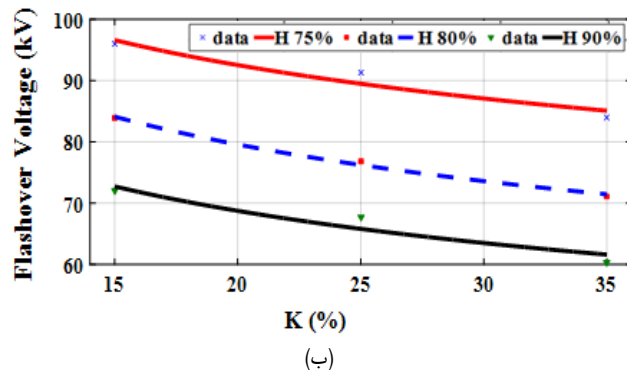
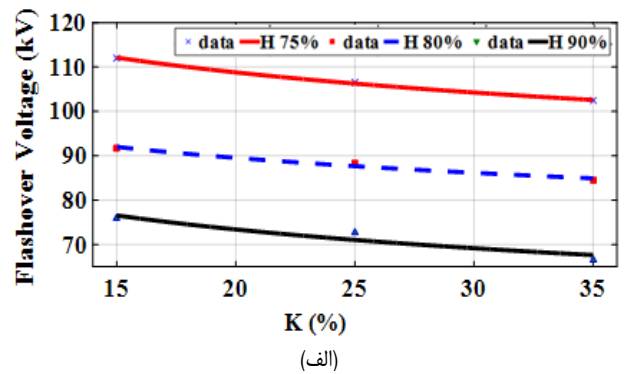
- نتایج تست‌ها نشان داده که عملکرد الکتریکی این مقره‌ها تحت آلودگی‌های غیر یکنواخت نسبت به حالتی که مقره‌ها تحت آلودگی یکنواخت بوده‌اند، تنزل یافته است.
- در حضور آلودگی غیر یکنواخت توأم با رطوبت، رفتار الکتریکی مقره‌ها نسبت به آلودگی یکنواخت، زودتر از حالت ایده‌آل خارج گردیده است و افزایش میزان غیر یکنواختی آلودگی، باعث تشدید افزایش رسانایی سطحی در مقره‌ها شده و در نتیجه وقوع قوس الکتریکی کامل، تسریع می‌گردد.
- درجه غیر یکنواختی آلودگی (J) تأثیر قابل توجهی بر مقدار ولتاژ قوس الکتریکی داشته است به طوری که مقدار ولتاژ قوس الکتریکی با افزایش درجه غیر یکنواختی آلودگی (J)، کاهش می‌یابد. قابل توجه است که تأثیر آلودگی کل سطح مقره (SDD کل) بیش از میزان غیر یکنواختی آلودگی (J) است به طوری که

شده است.

- تأثیر پیشرفت آلودگی (k) در طول مقره (آلودگی غیر یکنواخت طولی) نسبت به پیشرفت آلودگی (k) در عرض شعاع مقره (آلودگی غیر یکنواخت قطاعی) بر ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه، بیشتر بوده است.
- نتایج نشان داده که در رطوبت پایین (۷۵٪) و در مقره‌های با فاصله خزشی مشابه، مقره‌ای که دارای فاصله جرقه‌زنی بیشتری است استقامت الکتریکی بهتری دارد (عملکرد بهتر مقره شماره ۱ نسبت به مقره شماره ۲). همچنین از بین مقره‌های با فاصله جرقه‌زنی مشابه، مقره‌ای که فاصله خزشی آن بیشتر است دارای استقامت الکتریکی بهتری است (عملکرد بهتر مقره شماره ۴ نسبت به مقره شماره ۳).
- نتایج تست‌ها در رطوبت‌های مختلف نشان داده که در سطح رطوبت ۷۵٪، مقره شماره ۴ بهترین عملکرد الکتریکی را با افزایش گسترش و درجه غیر یکنواختی از خود داشته و در این سطح رطوبت، مقره شماره ۲ بدترین عملکرد را داشته است. همچنین طبق نتایج حاصل در رطوبت‌های ۷۰ و ۸۰ درصد، مقره شماره ۲، بهترین عملکرد الکتریکی را در مقابل با افزایش گسترش و درجه غیر یکنواختی آلودگی از خود نشان داده و مقره شماره ۴ در این دو سطح رطوبت، بدترین عملکرد را داشته است.

مراجع

- [1] M. Tegar, A. Mekhalidi, A. Bouhaf, and A. Boubakeur, "Comportement des surfaces isolantes sous pollution non-uniforme," in *Proc. 2nd Int. Conf. Electr. Power Eng., Buletinul Institutului Polytechnic Din Iasi by Universitatea Tehica "GH,Asachi"*, Tome XLVIII (LII), pp 239-244, Iasi, Romania, 2002.
- [2] B. Luo, H. Rao, X. Li, Z. Cai, Z. Su, and J. Zhou, "Study on ununiform pollution flashover characteristic of DC composite insulators," in *Proc. IEEE Power Engineering Society Conf. and Expo.*, 5 pp., Johannesburg, South Africa, 16-20 Jul, 2007.
- [3] K. Naito, K. Morita, Y. Hasegawa, and T. Imakoma, "Improvement of the DC voltage insulation efficiency of suspension insulators under contaminated conditions," *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 23, no. 6, pp. 1025-1032, Dec. 1988.
- [4] Z. Zhang, *et al.*, "AC flashover performance of different shed configurations of composite insulators under fan-shaped non-uniform pollution," *High Voltage*, vol. 3, no. 3, pp. 199-206, Dec. 2018.
- [5] M. F. Palangar and M. Mirzaie, "Diagnosis of porcelain and glass insulators conditions using phase angle index based on experimental tests," *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, no. 3, pp. 1460-1466, Jun. 2016.
- [6] Z. Zhang, J. Zhao, D. Zhang, X. Jiang, Y. Li, B. Wu, and J. Wu, "Study on the DC flashover performance of standard suspension insulator with ring-shaped non-uniform pollution," *High Voltage*, vol. 3, no. 2, pp. 133-139, Oct. 2017.
- [7] Z. Zhang, X. Liu, X. Jiang, J. Hu, and D. W. Gao, "Study on AC flashover performance for different types of porcelain and glass insulators with non-uniform pollution," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 28, no. 3, pp. 1691-1698, Jul. 2013.
- [8] X. Jiang, J. Yuan, L. Shu, Z. Zhang, J. Hu, and F. Mau, "Comparison of DC pollution flashover performances of varioustypes of porcelain, glass, and composite insulators," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, pp. 1183-1190, Jun. 2008.
- [9] Z. Zhang, D. Zhang, X. Jiang, and X. Liu, "Study on natural contamination performance of typical types of insulators," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 4, pp. 1901-1909, Aug. 2014.
- [10] Z. Zhang, D. Zhang, W. Zhang, C. Yang, X. Jiang, and J. Hu, "DC flashover performance of insulator string with fan-shaped non-uniform pollution," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 1, pp. 177-184, Feb. 2015.
- [11] M. A. Douar, A. Mekhalidi, and M. Bouzidi, "Flashover process and frequency analysis of the leakage current on insulator model under



شکل ۹: ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه بر حسب گسترش آلودگی در رطوبت‌های مختلف ($J = 1.5$) و $(SDD = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 \text{ mg/cm}^2)$ ، (الف) مقره ۱، (ب) مقره ۲، (ج) مقره ۳ و (د) مقره ۴.

اگر درجه غیر یکنواختی آلودگی از حد معینی بیشتر شود اثر آن بر روی ولتاژ قوس الکتریکی تقریباً ناچیز می‌شود اما افزایش بیش از حد آلودگی کل در سطح مقره، باعث کاهش شدید ولتاژ شکست خواهد شد.

- افزایش گسترش آلودگی (k) در عرض شعاع مقره (آلودگی غیر یکنواخت قطاعی) از ۱۵٪ تا ۳۵٪ همانند تغییرات درجه غیر یکنواختی آلودگی (J) بر مقدار ولتاژ قوس الکتریکی مقره‌های مورد مطالعه تأثیر زیادی داشته و باعث کاهش ولتاژ قوس الکتریکی

مهرداد قربانی پاشاکالایی مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل در رشته مهندسی برق قدرت دریافت نموده و هم‌اکنون به عنوان دانشجوی دکتری در رشته مهندسی برق قدرت در دانشگاه سمنان فعالیت دارد. زمینه‌های علمی و تحقیقاتی مورد علاقه ایشان تجهیزات پست‌های فشار قوی و عایق می‌باشد.

محمد میرزائی در سال ۱۳۷۶ مدرک کارشناسی مهندسی برق قدرت خود را از دانشگاه شهید چمران اهواز و در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ به ترتیب مدارک کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق قدرت خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت نموده است. ایشان در حال حاضر استاد گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی ایشان، عایق‌های الکتریکی و مهندسی فشار قوی، تحلیل الکتریکی و حرارتی در تجهیزات الکتریکی، تأثیر شرایط محیطی بر عملکرد تجهیزات شبکه قدرت و پست‌های فشار قوی می‌باشد.

سید میثم سیدبرزگر در سال ۱۳۸۵ مدرک کارشناسی مهندسی برق قدرت خود را از دانشگاه مازندران و در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ به ترتیب مدارک کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق قدرت خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل دریافت نموده است. ایشان در حال حاضر استادیار گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی ایشان، تشخیص وضعیت در تجهیزات فشار قوی و اثر اضافه ولتاژها و حالت‌های گذرا در شبکه فشار قوی می‌باشد.

non-uniform pollution conditions," *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 4, pp. 1284-1297, Aug. 2010.

- [12] J. D. Samakosh and M. Mirzaie, "Analysis of leakage current characteristics during aging process of SiR insulator under uniform and longitudinal non-uniform pollution conditions," *Measurement*, vol. 147, no. 1, Article ID 106862, Dec. 2019.
- [13] I. A. Joneidi, A. A. Shayegani-Akmal, and H. Mohseni, "Leakage current analysis of polymeric insulators under uniform and non-uniform pollution conditions," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 11, pp. 2947-2957, Jun. 2017.
- [14] Z. Zhang, J. You, D. Zhang, X. Jiang, J. Hu, and W. Zhang, "AC flashover performance of various types of insulators under fan-shaped non-uniform pollution," *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 23, no. 3, pp. 1760-1768, Jun. 2016.
- [15] J. D. Samakosh and M. Mirzaie, "Flash-over voltage prediction of silicone rubber insulators under longitudinal and fan-shaped non-uniform pollution conditions," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 78, no. 1, pp. 50-62, Sept. 2019.
- [16] Z. Zhang, et al., "Study on the DC flashover performance of various types of insulators with fan-shaped nonuniform pollution," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 30, no. 4, pp. 1871-1879, Aug. 2015.
- [۱۷] س. م. عربی و م. میرزایی، "ارزیابی پیرشدگی مقره‌های پلیمری تحت شرایط آلودگی و رطوبت محیطی با استفاده از تحلیل سیگنال‌های جریان نشتی، ولتاژ قوس الکتریکی و اسکن میکروسکوپی الکترون سطح مقره،" *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۱، صص. ۱۸۴-۱۷۳، بهار ۱۳۹۷.
- [18] IEC, *IEC 60507; Artificial Pollution Tests on High-Voltage Insulators to be used on A.C. Systems*, Edition 3.0, 2013.