

معرفی، مزایا، کاربرد و روش ساخت مقره‌های یکپارچه سرامیکی - پلیمری

مهرنوش هور، داود محمدی، مریم امامی راد، بهنام علم‌دوست

پژوهشگاه نیرو

mhoor@nri.ac.ir

چکیده: با توجه به توسعه شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو و لزوم حفظ کیفیت برق، استفاده از تجهیزات فشارقوی مناسب و با کیفیت بالا امری ضروری و غیر قابل اجتناب می‌باشد. در میان این تجهیزات، مقره‌ها از بیشترین کاربرد در خطوط برخوردارند و لازم است در راستای کاهش خسارات ناشی از شکست و استهلاک آنها، متناسب با شرایط محیطی از نوع مناسب استفاده شود. در راستای حذف نقاط ضعف مقره‌های سرامیکی و کامپوزیتی و تقویت نقاط قوت هر یک از این مقره‌ها، توسعه طرح‌های تلفیقی سرلوحه انجام کارهای پژوهشی و تحقیقاتی متخصصان این رشته قرار گرفته است که تولید مقره‌های یکپارچه سرامیکی- پلیمری از جمله این طرح‌ها می‌باشد. از جمله مزایای این مقره‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کاهش وزن تا حدود ۵۰٪ مقره‌های سرامیکی، افزایش خواص عایقی و خودپالایندگی، افزایش فاصله خزشی مقره در حجمی نسبتاً کم نسبت به مقره‌های سرامیکی، کاهش تاثیر آلودگی محیط بر روی عملکرد مقره.

در این مقاله سعی بر آن است ضمن معرفی و ذکر مزایا و کاربرد این مقره‌ها به روش ساخت آنها شامل هسته سرامیکی و روکش پلیمری و نتایج اندازه‌گیری‌های الکتریکی و مکانیکی مقره‌های ساخته شده اشاره گردد.

کلمات کلیدی: مقره، سرامیکی، پلیمری

۱- مقدمه

با توجه به گستردگی شبکه‌های انتقال و توزیع، لزوم حفظ پایداری و کیفیت برق رسانی به مشترکان، مستلزم استفاده از تجهیزات کارآمد و برنامه‌ریزی و تحقیقات پایه و کاربردی در جهت ارتقاء دانش فنی ساخت این تجهیزات می‌باشد.

در این میان مقره‌ها از جمله مهمترین اجزاء شبکه خصوصاً در مناطق دارای شرایط محیطی حاد و آلوده محسوب می‌گردند که جهت ایجاد اتصال مکانیکی مابین خط انتقال و یا توزیع نیروی الکتریسیته و دکل بکار می‌روند و وظیفه آنها علاوه برداشتن ویژگی‌های عایق الکتریکی دارا بودن استحکام مکانیکی کافی می‌باشد.

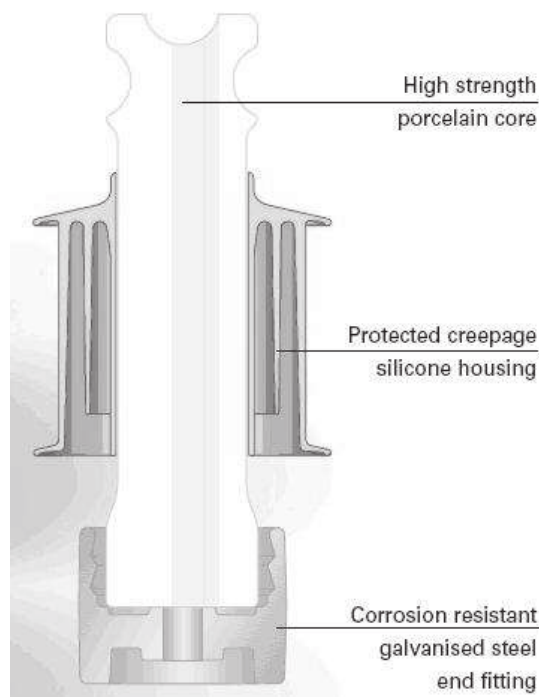
نوع مقره‌های بکار رفته در خطوط مختلف، متفاوت می‌باشد و نظر به اهمیت مقره‌ها هم از دیدگاه جنبه‌های فنی و هم به جهت گستردگی و حجم مصرف این تجهیزات در صنعت برق، در طی سال‌های اخیر، فعالیت‌های تحقیقاتی وسیعی در راستای دستیابی به فن‌آوری‌های مرتبط با نسل جدید مقره‌ها و بهینه سازی انواع مرسوم، به انجام رسیده است. در حال حاضر مقره‌ای که تمامی خصوصیات عالی مکانیکی و الکتریکی یک عایق ایده‌آل را دارا باشد وجود ندارد. در این میان هر کارخانه سازنده مقره سعی دارد با توجه به تکنولوژی‌های جدیدتر و همچنین استفاده از مواد اولیه مرغوب‌تر، بهترین مقره‌ها را با مشخصات فنی الکتریکی و مکانیکی برتر بسازد [۱].

بطور کلی مقره‌ها از نظر ساختمان و نوع ماده یا مواد تشکیل دهنده، به روش‌های مختلفی طبقه بندی



می‌شوند. از این میان می‌توان به طبقه بندی بر اساس نوع ماده سازنده مقره اعم از پرسلانی، شیشه‌ای و پلیمری و طبقه بندی بر اساس ساختمان مقره و روش نصب اعم از انواع آویزی، اتکایی خط، اتکایی پست، سوزنی و... اشاره نمود. بسته به محل بکارگیری مقره‌ها و شرایط آب و هوایی و محیطی از نظر میزان آلودگی می‌توان از هر یک از مقره‌های مذکور استفاده کرد. در واقع عوامل موثر در گزینش مقره‌ها را می‌توان به شکل فیزیکی لحاظ شده در طراحی، جنس مقره، و ویژگی‌های خاص قابل عرضه توسط هر مقره مرتبط دانست. طی تحقیقات انجام گرفته در سال‌های اخیر نوع جدیدی مقره با عنوان مقره‌های یکپارچه پلیمری-سرامیکی^۱ مطرح شده‌اند که با تلفیقی از مزایای مقره‌های پرسلانی و پلیمری در یک طرح واحد با حذف نقاط ضعف خاص هر یک از انواع ذکر شده (بطور نسبی) جای خود را برای مناطق مختلف بخصوص مناطق آلوده و مرطوب باز نموده است.

این مقره‌ها بطور کلی شامل یک هسته پرسلانی لعاب‌دار با استحکام مکانیکی بالا و یک روکش پلیمری می‌باشند که دور تا دور هسته مرکزی را در بر گرفته است. مزایای مقره مورد نظر را بطور خلاصه می‌توان چنین برشمرد: خواص مکانیکی مقره تحت تاثیر پیرشدگی قرار نمی‌گیرد و حساسیت‌های اتصال اجزاء ساختمانی و اثر آن بر مشخصات مکانیکی مقره که در مقره‌های کامپوزیتی وجود دارد، منتفی می‌گردد. در عین حال چنین مقره‌ای بخشی از مزایای مقره‌های کامپوزیتی همچون سبکی، انعطاف پذیری و عملکرد آلودگی مناسب را بطور نسبی دارا است. در هر حال باید در نظر داشت چنین طرحی نیز همچون هر طرح دیگر، فاقد نقطه ضعف خاص خود نمی‌باشد. در شکل (۱) یک طرح کلی از مقره‌های سرامیکی - پلیمری نشان داده شده است که از لحاظ روش نصب در گروه مقره‌های سوزنی یا line post توزیع قرار دارند.



شکل ۱- طرح کلی از مقره‌های یکپارچه سرامیکی - پلیمری [۲]

۲- مزایای مقره‌های یکپارچه پلیمری - سرامیکی

بطور کلی مزایای اصلی مقره‌های سرامیکی (پرسلانی) شامل مقاومت بالای عایق در برابر عوامل محیطی و پیرشدگی، خواص خوب عایقی، قیمت نسبتاً پایین و سوابق طولانی بهره برداری بوده و از معایب اصلی آن

¹ Hybrid Insulator

می‌توان به شکننده بودن، وزن زیاد و نیاز به شستشوی دوره‌ای در مناطق آلوده اشاره نمود. در مقابل، مقره‌های کامپوزیتی (سیلیکونی) بسیار سبک، انعطاف‌پذیر و دارای عملکرد آلودگی عالی بوده ولی در معرض پیر شدگی قرار می‌گیرند و سابقه کوتاهتری دارند.

هدف از استفاده از طرحی مرکب از سرامیک و پلیمر در مقره‌های پلیمری-سرامیکی، دستیابی به مزایا و حذف معایب دو نوع مقره ذکر شده بطور نسبی بوده است. بنابراین دلیل استفاده از عایق پلیمری کارکرد و عملکرد خوب آنها ناشی از ایستادگی آنها در برابر آلودگی ناشی می‌شود. از طرفی عایق‌های سرامیکی نیز که در طول صد سال اخیر در صنعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به خاطر استحکام مکانیکی و طول عمر زیادشان مشهور هستند.

هسته سرامیکی با استحکام بالا به عنوان یک عضو بنیادی برای ارایه استحکام مکانیکی لازم و روکش سیلیکونی، مقاومت و ایستادگی لازم را در برابر فرسایش و tracking فراهم می‌کند. خواص آب‌گریزی مربوط به سیلیکون، جریان نشستی و در نتیجه تلفات توان را کاهش داده و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب استفاده از این مقره‌ها به‌ویژه در مناطق مرطوب و آلوده به همراه هزینه‌های کمتر مربوط به تعمیر و نگهداری، مزیت اقتصادی را برای کاربر فراهم می‌آورد. ضمن آنکه این مقره‌ها علاوه بر حفظ و نگهداری خواص مکانیکی مورد نیاز به دلیل استفاده از روکش انعطاف‌پذیر پلیمری، از وزن کمتری برخوردار می‌باشند و در برابر خسارت‌های ناشی از جابجایی، نصب و پرتاب سنگ مقاوم هستند. هسته سرامیکی به خاطر پایداری شیمیایی ذاتی‌اش می‌تواند در برابر عوامل جوی، هجوم شیمیایی و فعالیت‌های سطحی بدون آسیب مقاومت و ایستادگی کند. اگر چه این پایداری شیمیایی به انرژی سطحی زیاد هم منتج می‌شود که به سطح فاصله خزشی اجازه می‌دهد که به راحتی مرطوب شود. برای غلبه بر محدودیت‌های مربوط به خواص ذاتی سطحی مواد یک پوشش الاستومری منحصر به فرد بر روی هسته نصب می‌شود که استقامت دی‌الکتریکی را حفظ می‌کند.

۳- روش‌های طراحی الکتریکی

از آنجایی که پایداری عایق‌ها و ایزولاسیون در برابر ولتاژ فرکانس قدرت و شرایط سخت محیطی از فاکتورهای مهم و اساسی در شبکه‌های انرژی الکتریکی است از این‌رو در شبکه توزیع، فوق توزیع و انتقال برق، طراحی مطلوب و مناسب ایزولاسیون ضرورت دارد بگونه‌ای که هر سه انگاری در طراحی ایزولاسیون، ممکن است منجر به بهره‌برداری نامطلوب از شبکه و بروز خسارات پرهزینه گردد. کاهش کیفیت برق و خسارت‌های ناشی از آن، استهلاک تجهیزات فشار قوی (به خصوص ایزولاسیون)، هزینه بالای تعمیر و نگهداری (مانند شستشوی مقره‌های فشار قوی، بکارگیری پوشش‌های مختلف بر روی سطوح مقره، تعویض مقره‌های آسیب دیده) از جمله مشکلات بهره‌برداری هستند که در صورت صحیح نبودن انتخاب و طراحی ایزولاسیون، ممکن است ایجاد شوند [۳].

برای طراحی و انتخاب ایزولاسیون مناسب به منظور عملکرد کارآمد شبکه برق، روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی ارائه شده است و در استانداردهای مختلف روش‌های متفاوت و پیشنهاداتی برای انتخاب مقره در شرایط بهره‌برداری مختلف ارائه گردیده است. پارامترهای موثری که در طراحی مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل الزامات استاندارد IEC60815، ملاحظات ساخت، بررسی تاثیرات طرح پروفیل روی شکل میدان الکتریکی و ملاحظات میدانی می‌باشند.

بعد از طراحی از طریق نرم‌افزارهای مصطلح، کار تحلیل میدان الکتریکی طرح بمنظور جلوگیری از تمرکز بیش از حد میدان در قسمتی از طرح صورت می‌پذیرد [۴ و ۵]. در ادامه مقره طراحی شده و نمونه ساخته شده آن، مدتی بصورت آزمایشی در منطقه مورد نظر نصب گردیده و کارآیی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴- روش ساخت مقره‌های یکپارچه پلیمری - سرامیکی

ساخت مقره‌های یکپارچه پلیمری - سرامیکی در سه مرحله ساخت هسته پرسلانی، ساخت روکش سیلیکونی و نصب یراق آلات و مونتاژ نهایی مقره خلاصه می‌شود.

بطور کلی ساخت این مقره‌ها شامل مراحل ذیل می‌شود:

- انتخاب مواد اولیه مناسب و فرمولاسیون ترکیب برای ساخت هسته سرامیکی
- طراحی پروفیل هسته سرامیکی و شکل‌دهی آن
- تعقیب مراحل ساخت هسته بر اساس روش‌های مرسوم ساخت مقره‌های پرسلانی
- فرمولاسیون ترکیب لعاب و اعمال بر روی هسته
- پخت هسته و لعاب اعمالی در یک مرحله
- فرمولاسیون روکش سیلیکونی مورد نظر
- اختلاط مواد اولیه پلیمری مورد نیاز
- پخت نمونه‌های مربوط به روکش سیلیکونی
- نصب روکش سیلیکونی بر روی هسته شکل داده شده به کمک چسب مخصوص
- طراحی، فرمولاسیون و ساخت سیمان به کار رفته در مقره مورد نظر
- نصب یراق‌آلات مورد نظر به مقره به کمک سیمان فرموله شده و مونتاژ نهایی
- انجام آزمون‌های مکانیکی و الکتریکی بر روی مقره بر اساس استاندارد

بر اساس تحقیقات انجام گرفته در رابطه با سیستم موادی هسته سرامیکی مقره‌های مورد نظر [۶] و با توجه به لزوم قابلیت تحمل هسته مرکزی در برابر تنش‌های وارده و دارا بودن استحکام مکانیکی مناسب، سیستم پرسلانی - آلومینایی برای این مقره‌ها مطرح می‌باشد. این سیستم ضمن برقراری استحکام مکانیکی مورد نظر، از طول عمر بیشتری نیز برخوردار بوده و همچنین قابلیت انطباق بیشتری را با روکش سیلیکونی خواهد داشت.

تعیین مقدار دقیق آلومینا در این سیستم نیازمند تحقیق بیشتر و مطالعه دقیق دیاگرام‌های فاز دوتایی و سه‌تایی سیستم‌های آنورتیت - مولایت - کوراندوم - کوارتز می‌باشد. زیرا با توجه به دمای ذوب بالای آلومینا نیاز به استفاده از یکسری مواد بمنظور کاهش و تعدیل دمای زینترینگ قطعات مورد نظر می‌باشد. در این صورت می‌توان از روش‌های شکل‌دهی مرسوم که برای مقره‌های پرسلانی معمولی مطرح می‌باشد، شامل اکستروژن، خراطی و پرداخت نهایی در مورد قطعات مورد نظر استفاده کرد. اما در این مورد نیز قطر و ارتفاع قطعه، از جمله پارامترهای محدود کننده می‌باشند که لازم است با طراحی دقیق و با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانیکی تعیین شوند.

علاوه بر اینها در انتخاب ترکیب مناسبی از لعاب به منظور اعمال بر روی هسته به لحاظ آرایه نقش مهم در تعیین خواص عایقی نهایی مقره، افزایش خواص مکانیکی و مقاومت شیمیایی، کاهش خوردگی و عوامل نامساعد دیگر بر بدنه مقره‌های پرسلانی بایستی دقت کافی اعمال گردد تا هدف مورد نظر تامین شود.

لذا با انتخاب مجموعه سیستم موادی، شکل‌دهی، طراحی و زینترینگ مناسب می‌توان مراحل ساخت هسته سرامیکی این مقره‌ها را طی نمود.

در ارتباط با بخش پلیمری این مقره‌ها، سیلیکون‌ها به لحاظ دارا بودن فوایدی مانند آب‌گریزی، مقاومت در برابر حمله شیمیایی و خواص الکتریکی مناسب، کاندید مناسبی به عنوان روکش برای این مقره‌ها در شرایط آلوده محسوب می‌شوند. مقره‌های فشار قوی با توجه به نقشی که در شبکه‌های قدرت بر عهده دارند، باید دارای یکسری مشخصه‌های نهایی مکانیکی و الکتریکی بوده و در ضمن، باید بتوانند این مشخصه‌ها را در طول مدت بهره‌برداری در شرایط محیطی کارکردشان، حفظ کنند. لذا می‌توان خواص مورد انتظار از مقره‌ها

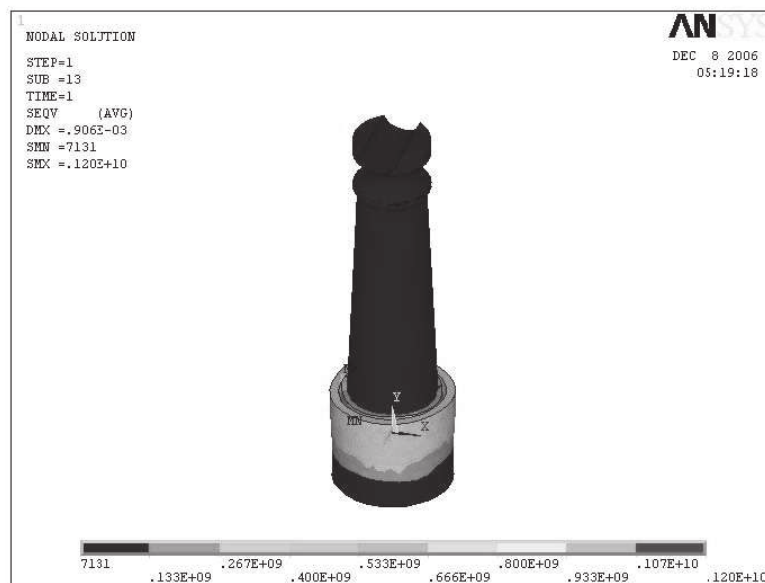
را به سه بخش خواص مکانیکی، الکتریکی و پیر شدگی تقسیم نمود. بخش پلیمری مفره پلیمری - سرامیکی، بطور مستقیم نقشی در مشخصه مکانیکی مفره ندارد و آنچه در مورد آن اهمیت دارد تاثیر آن بر مشخصات الکتریکی و پیر شدگی مفره می‌باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده در ارتباط با انتخاب پلیمر مناسب مفره‌های یکپارچه پلیمری - سرامیکی [۷ و ۸] مشخص شده است سیلیکون رابر (Silicon Rubber) بهترین کارایی را از نظر آبگریزی و هم‌چنین پیرشدگی از خود نشان می‌دهد. البته طراحی ژئومتری نیز نقش مهمی را در کارایی مفره‌ها بازی می‌کند، زیرا می‌تواند بر خود پالایی (توسط باد و باران) مسیرهای جریان نشستی و توزیع تنش‌های الکتریکی اثر بگذارد. همانطور که می‌دانیم یک سیلیکون به تنهایی دارای همه خواص مورد نیاز نیست. به همین دلیل برای رسیدن به اهداف مورد نظر، از مواد افزودنی دیگر هم استفاده می‌شود تا مخلوط دلخواهی بدست آید و خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز را برای یک محصول نهایی فراهم آورد.

به طور کلی می‌توان موادی که در یک آمیزه سیلیکونی به کار می‌روند را به صورت زیر دسته‌بندی نمود: الاستومر پایه، عوامل ولکانش (پخت کننده‌ها)، شتابدهنده‌ها، فعال کننده و تاخیر اندازه‌دهنده‌ها، ضد تخریب‌ها (ضد اکسندنده‌ها، موم‌های حفاظتی ...)، تسهیل کننده‌های فرآیند، پر کننده‌ها (فیلرها)، نرم کننده‌ها و چسب‌ها، رنگدانه‌ها و موادی که برای اهداف ویژه‌ای به کار می‌روند (عوامل پف کننده، ...)[۹].

پس از انتخاب ترکیب و فرمولاسیون آمیزه پلیمری مناسب، اختلاط، قالب‌گیری و پخت انجام می‌گیرد و پس از آن آزمون‌های مورد نیاز بر اساس استاندارد به منظور اطمینان از حصول نتایج مطلوب انجام می‌شود. پس از ساخت روکش سیلیکونی اتصال آن با هسته پرسیلانی توسط چسب مخصوص و همچنین نصب یراق‌آلات و مونتاژ نهایی مفره صورت پذیرفته و در انتها مفره ساخته شده تحت آزمون‌های مکانیکی و الکتریکی بر اساس استانداردهای مربوطه قرار می‌گیرد.

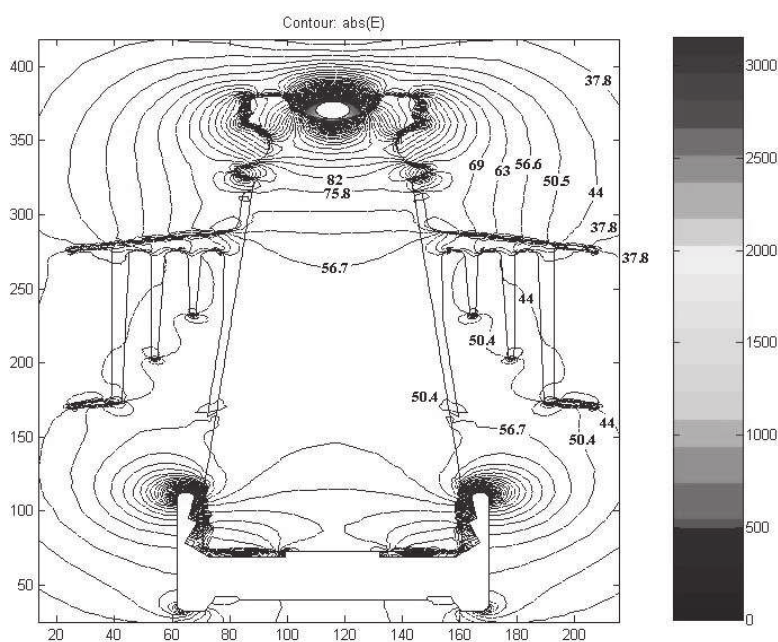
۵- فعالیت‌های تجربی

در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن تمهیدات طراحی لازم بلحاظ دستیابی به خواص الکتریکی و مکانیکی مطلوب، ابتدا نقشه CAD مفره سرامیکی با ابعاد دقیق تهیه و سپس در نرم‌افزار ANSYS به عنوان ابزاری بر پایه تئوری المان محدود مدل شده و تحلیل گردید. در شکل (۲) توزیع تنش در مجموعه مفره با المان تماسی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۲- توزیع تنش در مجموعه مفره

به موازات این کار طراحی پروفیل مقره از دیدگاه تحلیل میدان الکتریکی با استفاده از روش FEM صورت پذیرفت که در شکل (۳) نمایی از خطوط هم میدان و مقدار میدان الکتریکی را در مقره طراحی شده نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمایی از خطوط هم میدان و مقادیر محاسبه شده از طرح مقره

پس از آن طراحی موادی هسته شامل انتخاب مواد اولیه داخلی و فرمولاسیون بدنه و لعاب پرسلانی بگونه‌ای صورت گرفت که بتواند هم پاسخگوی ملزومات استحکامی مقره باشد و هم قدرت عایقی لازم را فراهم سازد. در جدول (۱) فرمولاسیون پیشنهادی برای طراحی موادی بدنه و لعاب این مقره‌ها ارائه شده است. لازم بذکر است مخلوط سازی مواد به روش ترسب انتخاب گردید.

جدول ۱- فرمولاسیون پیشنهادی در تهیه بدنه و لعاب مقره سرامیکی- پلیمری ساخته شده

ماده (درصد وزنی)	کائولن	فلدسپات	سیلیس	بال کلی	آلومینا	دولومیت	اکسید رنگی
بدنه	۴۰	۲۰	۱۰	۲۵	۵	-	-
لعاب	۱۵	۴۵	۲۰	-	-	۱۰	۱۰

شکل دهی هسته مقره با استفاده از روش‌های مرسوم شکل‌دهی مقره‌های پرسلانی شامل اکسترود و خراطی و اعمال لعاب به صورت غوطه‌وری بر روی هسته مقره انجام شد. برای دستیابی به طرح بکار رفته برای روکش هسته که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، ابتدا قالب مناسبی ساخته شد و سپس با استفاده از سیلیکون HTV، با فرمولاسیون طراحی شده در این پروژه نمونه‌هایی ساخته شد.



شکل ۴- روکش مقره سرامیکی- پلیمری

یراق آلات فلزی بکار رفته از جنس چدن داکتیل بود که به کمک روش ریخته‌گری و اعمال یک لایه گالوانیزه با ضخامت ۷۰ میکرون به عنوان روکش تهیه شدند. در مرحله مونتاژ یراق آلات از بتن سیلیسی استفاده شد که فرمولاسیون آن طی پروژه به دست آمد [۱۰]. در مرحله آخر از چسب مناسبی که برای مونتاژ قسمت روکش به هسته فرموله شده بود [۱۱]، استفاده گردید. در شکل (۵) نمونه مقره ساخته شده در مقیاس نیمه صنعتی و در جدول (۲) مشخصات مقره ساخته شده ارائه شده‌اند.



شکل ۵- نمونه مقره سرامیکی - پلیمری ساخته شده

جدول ۲- مشخصات مقره سرامیکی - پلیمری ساخته شده

ولتاژ نامی (kV)	فاصله خزشی (mm)	فاصله جرقه (mm)	ولتاژ پایداری فرکانس قدرت مرطوب (kV)	ولتاژ پایداری ضربه صاعقه (kV)	ولتاژ شکست فرکانس قدرت (kV)	ولتاژ پایداری فرکانس قدرت (kV)	ولتاژ پانچ (kV)	استحکام خمشی (kN)	وزن (kg)	نوع مقره
۳۳	۷۹۰	۲۳۲/۵	۷۸	۱۸۷	۱۸۷	۱۳۹	۱۹۰	۱۰/۶	۱/۹	اتکا ئی
۳۳	۸۸۰	۳۱۵	۱۰۵	۱۹۵	۲۲۲	۱۴۸	۲۱۲	۱۰/۶	۱/۲	سوز نی

۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان بطور خلاصه نتایج ذیل را عنوان نمود:

- ۱- مقره‌های یکپارچه پلیمری - سرامیکی با تلفیقی از مزایای مقره‌های پرسیلانی و پلیمری در یک طرح واحد، کاندید مناسبی برای مناطق آلوده و مرطوب محسوب می‌شوند.
- ۲- این مقره‌ها شامل یک هسته پرسیلانی لعاب‌دار با استحکام مکانیکی بالا و یک روکش سیلیکونی با

- مقاومت و ایستادگی لازم در برابر فرسایش و tracking می‌باشند. خواص آب‌گریزی مربوط به سیلیکون، جریان نشستی و در نتیجه تلفات توان را کاهش داده و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد.
- ۳- این مقره‌ها علاوه بر حفظ و نگهداری خواص مکانیکی مورد نیاز به دلیل استفاده از روکش معطاف‌پذیر پلیمری، از وزن کمتری برخوردار می‌باشند.
- ۴- وجود روکش سیلیکونی، هسته را در برابر آسیب‌های مکانیکی در زمان جابجایی، نصب و تخریب محافظت می‌کند.
- ۵- این مقره‌ها ایستادگی بیشتر در برابر شکست (Flashover)، مقاومت خوب در برابر رسوب آلودگی‌هایی که در اثر باد حاصل می‌شوند و همچنین مرطوب شدن را دارا می‌باشند.
- ۶- ساخت مقره‌های یکپارچه پلیمری-سرامیکی در سه مرحله ساخت هسته پرسیلانی، ساخت روکش سیلیکونی و نصب یراق آلات و مونتاژ نهایی مقره خلاصه می‌شود.
- ۷- سیستم موادی هسته سرامیکی این مقره‌ها، سیستم پرسیلانی-آلومینایی و روکش پلیمری مورد نظر شامل سیلیکون رابر می‌باشد.
- ۸- با انتخاب مجموعه سیستم موادی، شکل‌دهی، طراحی و زینترینگ مناسب می‌توان مراحل ساخت هسته سرامیکی و با انتخاب ترکیب و فرمولاسیون آمیزه پلیمری، اختلاط، قالب‌گیری و پخت مناسب آن می‌توان روند ساخت روکش سیلیکونی این مقره‌ها را طی نمود.

مراجع

- Mick Scott, "A Brief History of Insulators", Floyed Farrar, Drum Volunteer, June 2001.
- Raychem Hybrid Insulators Catalogue, www.Raychem.com
- "طراحی الکتریکی و ساخت مقره کامپوزیتی رده ۲۳۰ کیلو ولت"، محمد رضا شریعتی، محمد سعید وفاکیش، داود محمدی، محمد اسکویی، میرجواد گرامیان، نشریه علمی برق، سال پانزدهم، شماره ۳۶، ۱۳۸۱.
- G.H.Vaillancourt, S.Carignan and C.Jean, "Experience with the Detection of Faulty Composite Insulators on High-Voltage Power Lines by the Electric Field Measurement Method," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp 661-666, April 1998.
- A.J.Philips, D.J.Chlds and H.M.Schneider, "Water Drop Corona Effect on Full-Scale 500KV non-ceramic Insulators," IEEE Trans.on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp 258-265, 1999.
- Funk et.al. "High Strength Alumina Ceramic Product & Method of Forming", U.S.Patent No. 4,183,760, 1980.
- R. Allen Bernstorf et al., "Polymer Compounds used in high voltage insulators", Ohio Brass, Power System, Inc. 2000.
- Hofmann, "Rubber Technology Handbook", Vol 1. 1999.
- I.Franta, "Elastomers and rubber compounding materials", Elsevier, 1996.
- INMR, Source of Information on International Developments in Transmission & Distribution, Issue 73, Vol.14, No.3, 2006.
- "ارایه فرمولاسیون جدید سیمان جهت استفاده در مقره‌های فشارقوی با استحکام مکانیکی بالا"، داود محمدی، بهزاد ارژنگ، مریم امامی راد، ششمین سمینار و نمایشگاه تخصصی مقره‌ها، کمیته مطالعات عایقه‌ها، ۹ و ۱۰ بهمن ۱۳۸۶، تهران.
- ۱۱- گزارش نهایی پروژه "تحقیق و بررسی راجع به ساخت مقره‌های سوزنی سرامیکی- پلیمری رده توزیع به همراه ساخت نمونه" داود محمدی، گروه پژوهشی فشار قوی، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۶.