چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

تاثیر آلودگی محیط برروی مقره‌ها وروشهای مناسب بهبود عملکرد ایزولاسیون شبکه انتقال درمقابل آلودگی

محمدحسین امرالهی
شرکت مشانیر

چکیده :

خطوط انتقال موجود در مناطق جنوب که از خطوط مهم و استراتژیک شبکه انتقال نیز میباشند بعلت وجود وتوسعه کارخانجات صنعتی وحوزه های نفت و ... ازیک طرف و وجود سواحل وسیع دریا که در نواحی توام با آب وهوای خشک کویری . وزش باد از طرف دریا به ساحل وتغییرات شدید درجه حرارت از طرف دیگر , قابلیت اعتماد وبهره برداری ازتجهیزات الکتریکی را دچار مشکل ساخته است وبا توسعه شبکه های برق مشکلات ناشی از آن آشکارتر شده است علیرغم پیش بینی اثرات پدیده آلودگی در طراحی ایزولاسیون وانتخاب مقره ها در بهره برداری از سیستمهای انتقال گزارشات متعددی از ایجاد جرقه قطعی های بدون وجود اضافه ولتاژ ناشی از رعدوبرق و کلیدزنی وجوددارد که اینگونه قطعی ها معمولا درشرایط رطوبت و آلودگی سطحی مقره های سیستم اتفاق می‌افتد لذا بررسی وتحقیق در این زمینه جهت رفع تنگناهای موجود و ارائه روش کلی جهت

طراحی مناسب ایزولاسیون شبکه انتقال از نظر آلودگی ضروری میباشد .

در این مقاله ابتدا انواع مختلف آلودگی مقره ها بیان کرده وبعد عوامل موثر در آلودگی مقره ها بررسی میگردد ودر آخر روشهای مقابله با آلودگی مقره ها در خطوط بررسی میگردد .

شرح مقاله:

خطوط انتقال موجود درمنطقه هرمزگان اکثرا نزدیک سواحل دریا بوده ودربیشتر موارد موازی با آن قرارگرفته اند . رطوبت نسبی بالا بوده ودرتمام فصول سال اکثرا شرجی وبالای ۶۰% میباشد شدت آلودگی در این منطقه به حدی است که مقره ها مدام صدای وزوز داشته و درتمام طول شب هاله نورانی آنرا احاطه کرده است .

جرقه های ناشی از آلودگی درسیستمهای انتقال در اثر ذرات ریز (مانند نمکها ، خاکسترهای صنعتی ، گردو غبار و . . .)موجود در هوا وتوزیع وتماس آنها با سطح خارجی مقره‌ها که باعث کاهش کیفیت عایقی سطوح خارجی مقره‌ها میگردد . ایجاد میشود این ذرات یا از منابع طبیعی مانند دریا ، گردوخاک کویری ویا بوسیله منابع صنعتی که مواد آلوده کننده متعددی ایجاد میکنند ،بوجود می آید که البته درشرایط خشک مسئله ای ایجاد نمیکنند ولی به محض رطوبتی شدن شرایط محیط ، لایه رسوب شده روی سطح مقره هادی شده و جرقه ایجاد میکنند . اینگونه قطعی ها بخصوص در خطوط انتقال مناطق آلوده سنگین ودر فصول شرجی و رطوبی معمول است . البته بعد از گذشت شرایط رطوبی و خشک شدن سطح مقره دوباره مقره مقاومت عایقی خود را باز می یابد ولی احتمال ایجاد جرقه باقی میماند ، مگر اینکه سطح مقره به طور طبیعی ویا بسیستم مکانیکی تمیز شود .

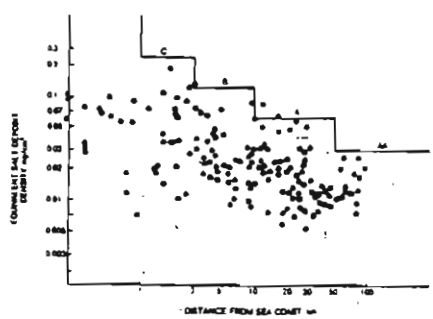
۱- انواع آلودگی :

مواد آلوده را میتوان به دوگروه مواد قابل حل در آب و مواد غیر قابل حل وبی اثر طبقه بندی کرد که بر حسب ESDD و NSDD بیان میشوند

اندازه گیری چگالی معادل نمک رسوب کرده (ESDD) روش مناسبی برای تعریف شدت آلودگی میباشد و همچنین در اغلب مناطقی‌که‌مواد بی اثردر رسوب بیشتر است . آلودگی مشاهده شده . و در این‌مواقع چگالی رسوب مواد غیر قابل حل وبی اثر را با NSDD اندازه گیری میکنند که همانند ESDD با واحد mg/cm2 بیان می‌شود .

دریک طبقه بندی میتوان چهار نوع آلودگی کلاسه بندی شده برای مقره‌ها درنظر گرفت .

۱-۱-آلودگی دریائی : در اثر تبخیر سطح آب دریاها و اقیانوسها و وزش بادهای ساحلی که عمدتا رو به خشکی میباشند . وهمراه باران نیستند . این نوع آلودگی سریع بر روی مقره ها می‌نشیند و مهمترین پارامتر درمیزان آلودگی دریائی فاصله خط انتقال از ساحل می باشد



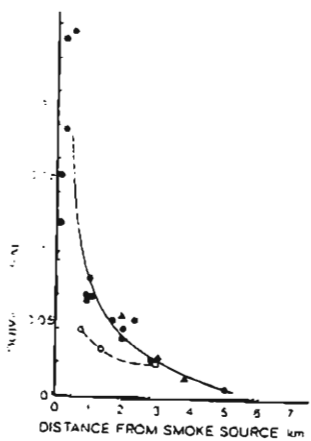
شکل ۱

ارتباط بین فاصله از ساحل در دریا ومیزان ESDD در یک‌دوره آزمایشی یک ماهه را نمایش میدهد

(1) ESDD : EQUIVALEN SALT DEPOSIT DENSITY

(2) NSDD : NON SOLUBLE MATERIAL DEPOSIT DENSITY

۳-۱-آلودگی صنعتی : درمناطق صنعتی سطح مقرها از یک لایه مواد دغالی - دوده - کرافیت و ... پوشیده میشود . این نوع آلودگی که به آلودگی صنعتی معروف است,باعث کاهش استقامت الکتریکی و ایجاد قوس الکتریکی دردو سر مقره ها ویا کرونای شدید آن میگردد, برخلاف مواد نظیر نمک , گرد و خاک وسایر مواد که فقط درموقع بالا رفتن رطوبت نسبی سبب پدید آمدن قوس الکتریکی سطحی میشوند ولی در این نوع آلودگی قوس الکتریکی درهوای خشک نیز پدید می‌آید



شکل ۲ میزان تجمع ESDD در آلودگی صنعتی بر حسب فاصله از منبع آلودگی

۳-۱-آلودگی صحرائی: این نوع آلودگی دراثر باد وبراکنده شدن ذرات خاک روی مقره بوجود می آید . که بسیار هادی میباشند مواد متشکله آلودگی صحرائی به طول بتپیکال عبارتند از Caso4 , Nacℓ , Caco3 که بسیار هادی و گاهی اوقات مقدار زیادی آلودگی روی سطح‌مقره جمع میشود بخصوص وقتی که منطقه کویری نزدیک دریا باشد با سخت‌ترین نوع آلودگی مواجه خواهیم بود زیرا تجمع زیاد NSDD (در حدود 1 mg/cm) مانع شستشوی ESDD میگردد .

۴-۱-انواع دیگر آلودگی : آلودگی ناشی از کارخانجات سیمان کودهای شیمیائی وسوزاندن پس ماندهای کشاورزی و ... میباشد لازم به توضیح است که دود ناشی ازفعالیتهای صنعتی و نیروگاهها طی واکنش مه یا فتوشیمیائی سطح مقره ها را آلوده میکنند درصورتی که آلودگی ناشی از کارخانجات سیمان صرفا نشستن غبار سیمان بر روی مقره ها آلودگی ایجاد میکند

۲- عوامل موثر در آلودگی مقره‌ها

۲-۱- جهت باد وجابجائی هوا درنحوه آلودگی مقره‌ها موثر میباشد باد عامل اولیه برای بردن آلودگی ازفواصل دور ونزدیک به سطح مقره ها میباشد واین بستگی به سرعت باد دارد ,همچنین باد باعث پاک شدن سطح مقره از ذرات غباری که چسبنده نیستند میشود باد ملایم باعث ایجاد شبنم میشود درحالیکه باد شدید اثر مخالف دارد , بادهای شدید نقش انتقال جرقه‌های پدید آمده که دراثر امتداد یافتن جرقه به روی مقره بوجود می آید را دارد .

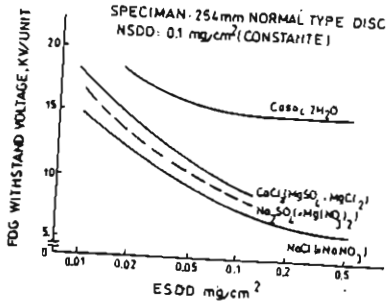
۲-۲- میدان الکترواستاتیکی همچنین ذرات را بمحض تماس با سطح مقره طی یک پروسه پلاریزاسیون دی‌الکتریک جذب میکنند وهمچنین اثر گرمائی جریانهای خزشی درنواحی که شدت میدان قوی میباشد مانعی درتاثیر شستشوی طبیعی مقره‌ها و موجب افزایش رسوب آلودگی میشود

۲-۳- چگالی مواد قابل حل (ESDD) درشدت آلودگی مقره ها و ایستائی آن ونهایتا در عملکرد زنجیره در شرایط آلوده تاثیر زیادی دارد شکل ۳ اثر نوع مواد قابل حل در آب در ولتاژ ایستائی مقره درشرایط آلوده را نشان میدهد . با توجه به شکل ملاحظه میشود که کلر وسدیم بین انواع مواد قابل حل آزمایش شده کمترین ولتاژ جرقه را دارد وسولفات

کلسیم در ESDD بیشتر از 0.1mg/cm2 بعلت قابلیت حل شدگی کم ولتاژ ایستادگی تقریبا ثابتی دارد .

شکل ۳

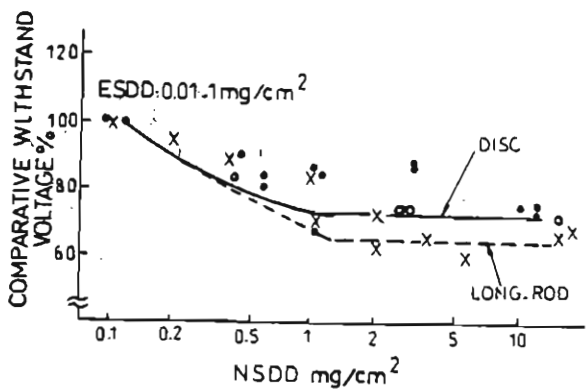
اثر نوع مواد قابل حل در آب درولتاژ ایستادگی مقره در شرایط آلودگی



عملکرد مقره و ولتاژ ایستادگی آن درشرایط آلودگی با افزایش چگالی مواد بی اثر در رسوب آلوده (NSDD) کاهش پیدا میکنند , هرچند که مقدار ESDD ثابت باشد .

شکل ۴

اثر چگالی مواد غیر قابل حل در آب در ولتاژ ایستادگی مقره در شرایط آلودگی

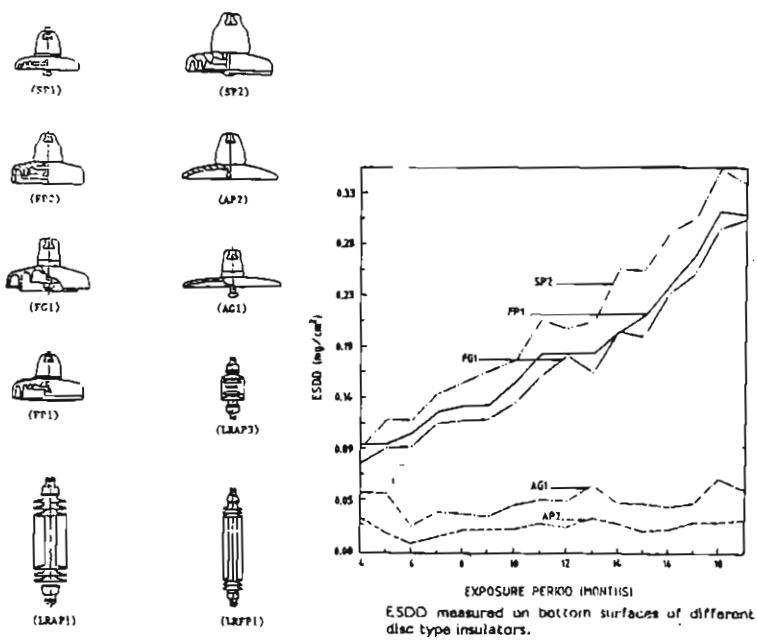


۴-۲- عامل مهم دیگری در تعیین شدت آلودگی میزان جذب رطوبت روی سطح مقره میباشد بیشتر مواد آلوده کننده مانند نمک طعام و سیمان در شرایط خشک هادی خوبی نیستند این مواد برای ظهور خاصیت هدایت خود نیاز به مقدار مناسب رطوبت دارند . کلروسدیم موجود درهوا را در شرایطی که رطوبت نسبی از ۸۰٪ تجاوز کرد جذب میکنند و با تشکیل لایه ای از رطوبت روی سطح مقره الکترولیت‌های قابل حل در مواد آلوده روی مقره بتدریج تشکیل محلول میدهند و قابلیت هدایت این لایه بستگی به مقدار رطوبت وترکیبات شیمیائی مواد آلوده دارد .

همچنین اختلاف‌درجه حرارت بین سطح مقره‌ورطوبت‌موجود در هوا در میزان رطوبت تاثیر دارد هر چه اختلاف درجه حرارت بیشتر باشد (مثبت) درجه مرطوب شدگی یا یین تر خواهد بود وقتی که سطح آلوده مرطوب شد بصورت لایه هادی در آمده و جریان خزشی افزایش یابنده بوجود می‌آید شدت جریان خزشی غیر یکنواخت میباشد و در بعضی از قسمتها حرارت کافی برای بخار کردن‌رطوبت سطح مقره ایجاد میکند و نوارهای خشک روی سطح مقره تشکیل میشود . درصد و میزان تشکیل ابتدائی این نوارهای خشک و میزان جذب مجدد در رطوبت توسط این نوارها بستگی به رطوبت نسبی هوا و اطراف زنجیره مقره دارد .

۵-۲- عامل موثر دیگر در آلودگی مقره‌ها نحوه نصب زنجیره مقره میباشد . تجربیات دراز مدت در بررسی آلودگی مقره نشان داده که زنجیره مقره افقی و "V" شکل در میزان جذب آلودگی بدون توجه به نوع مقره ۸۰-۵۰٪ زنجیره عمودی است این میزان کاهش در رسوب آلودگی ، ۱۰-۵٪ ولتاژ ایستادگی‌مقره را تصحیح میکند .

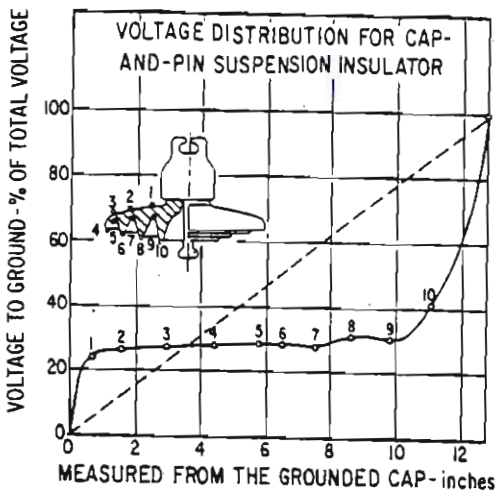
۶-۳- عامل دیگری که در میزان آلودگی مقره ها تاثیر دارد شکل و نوع مقره میباشد و در هر یک از شرایط مرطوب و خشک کلیه مقره‌ها در سطوح بالایی دارای آلودگی یکسان میباشند و بطور کلی در عملکرد کلی ESDD نحوه توزیع آلودگی برروی سطح تحتانی از اهمیت بیشتری برخوردار است (شکل ۵) . واضح است که سطح زیرین مقره‌ها با شیارهای عمیق مانند SP2 , FG1 , FP1 در معرض باران و بادکمتر قرار دارند و بنابر این اثر خود پاکیزگی کمتری دارند . با این حال مقدار ESDD بر روی سطح زیرین مقره های AG1,AP2 رفتار پائیدار دارند . درمقره‌های با شیار عمیق مقدار ESDD در سطح تحتانی بطور دائم تمایل به افزایش دارد و طی مدت ۱۹ ماه اندازه‌گیری , بنظر میرسد که پاک کنندگی طبیعی جوابگو نیست .



ESDD measured on bottom surfaces of different disc type insulators.

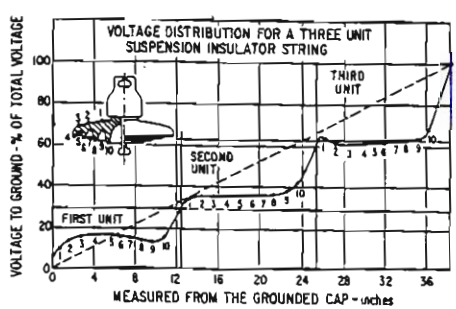
۳- مکانیزم ایجاد جرقه در مقره ناشی از آلودگی

برای بررسی مکانیزم جرقه قطعی روی زنجیره مقره بایستی نحوه توزیع ولتاژ روی هر یک از مقره‌ها و کل زنجیره مقره را بررسی کرد شکل ۶ نحوه توزیع ولتاژ دوسر هر یک مقره از نوع بشقابی را نشان میدهد



همانطوریکه انتظار میرود بیشترین مقدار گرادیان در حوالی Cap , Pin تعیین میشود .

وقتی که چند مقره بطور سری بهم وصل میشوند توزیع ولتاژ برای هر یک از این مقره ها در زنجیره از آنچه که برای یک مقره تکی است فرق میکند در این حالت موقعیت مقره در طول زنجیره نحوه توزیع ولتاژ را تعیین میکند شکل ۷ یک نمونه از توزیع ولتاژ برای یک زنجیره با سه مقره را نشان میدهد



ولتاژ بین Pin و نقطه (g) برای مقره طرف خط در این وضعیت ۱۰% بیشتر از حالتی است که توزیع برای هر سه مقره بطور مساوی باشد. در شرایط خشک و بدون آلودگی وبدون حفاظت ماکزیمم گرادیان در Pin مقره طرف خط اتفاق می‌افتد

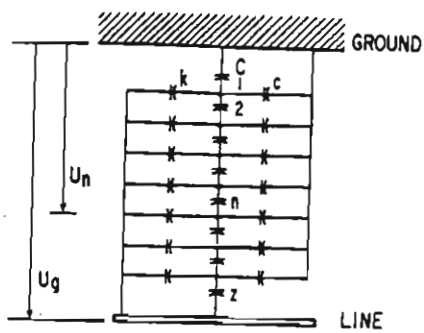
اگر توزیع ولتاژ را روی هر یک از مقره‌ها در طول زنجیره در نظر بگیریم مدار معادل مطابق شکل ۸ خواهد بود .

C : ظرفیت بین Pin , Cap

c : ظرفیت بین یک مقره نسبت به زمین

K : ظرفیت یک مقره نسبت به هادی خط

U : ولتاژ بین مقره n ام از طرف زمین



توزیع ولتاژ در این زنجیره مقره بصورت زیر خواهد بود

$$U_n = \frac{U_g}{B^2 \, Sinh Bz} \left[\frac{c}{C} Sinh Bn + \frac{K}{C} Sinh B(n-z) + \frac{K}{C} Sinh Bz \right]$$

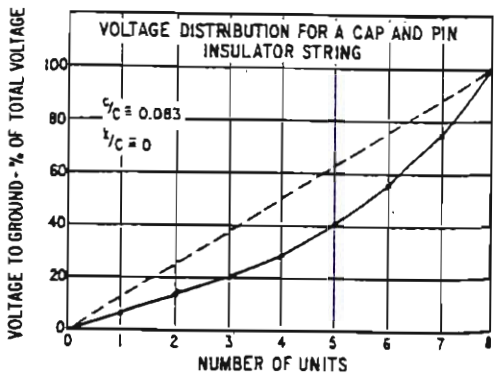
$$B = \sqrt{\frac{c + K}{C}}$$

در عمل میتوان از مقدار K صرف نظر کرد در اینصورت رابطه

بالا بصورت زیر در می آید .

$$U_n = V_g \frac{\operatorname{Sinh} An}{\operatorname{Sinh} Az} \qquad \text{for } K = 0 \qquad A = \frac{c}{C}$$

شکل ۹
توزیع ولتاژ برای زنجیره با ۸ مقره و برای بیشینه به c حدود ۱/۱۳ را نشان میدهد



۴- روشهای مقابله با آلودگی مقره در خطوط مورد بهره برداری

درمواردزیادی‌طراحی مناسب ایزولاسیون قطعیهای‌ناشی‌از آلودگی را کاهش میدهد اما در نواحی که میزان آلودگی شدید باشد نگهداری و حفاظت مقره ضروری میباشد . روشهای مقابله و حفاظت مقره در برابر آلودگی بصورت زیر عملی میباشد .

۱-۴- افزایش سطح ایزولاسیون :

با افزودن مقره فاصله خزشی افزایش یافته و ولتاژ جرقه کل زنجیره افزایش پیدا میکند ولی در خطوط موجود این کار بدلیل افزایش طول زنجیره و در نتیجه بهم خوردن فواصل هوائی حفاظتی عموما عملی نمی‌باشد . در مرحله طراحی نیز افزایش تعداد مقره و طول زنجیره منجر به افزایش ابعاد و ارتفاع برج و در نتیجه افزایش هزینه احداث خط خواهد شد

۲-۴- استفاده از مقره نوع FOG :

استفاده از این نوع مقره راه حل عملی و مناسب برای مقابله با

آلودگی مقره است. این نوع مقره با فاصله خزشی تا ۱۵۰% مقره استاندارد، عملکرد بهتری نسبت به مقره استاندارد دارد. بعلت اینکه فاصله خزشی تنها عامل موثر در کاهش اثرات آلودگی مقره‌ها نمی‌باشد و استفاده از این نوع مقره در همه موارد رضایت بخش نبوده است.

۳-۴- استفاده از مقره بالعاب نیمه هادی :

گرمای حاصل از یونش مقاومتی سطحی مقره را خشک نگه داشته و تا مدتی توزیع ولتاژ در مقره را یکنواخت و خطی حفظ میکنند و باعث میشود که مقره عملکرد خوبی در مقابله با مشکلات ناشی از آلودگی از خود نشان دهد. البته عملکرد و خواص این لعاب بتدریج بعد از مدتی بهره برداری در مقایسه با سایر انواع مقره بعلت خوردگی ناشی از پدیده الکترولیتی کاهش می یابد.

۴-۴-شستشوی دوره ای :

شستشوی دوره ای با فشار جریان آب اقتصادی‌ترین روش برای پاک کردن مواد آلوده از سطح مقره میباشد این روش در مواردی که آلودگی خیلی شدید و بارندگی کم بوده و افزایش مقره امکان پذیر نباشد کاربرد دارد شستشو در مورد رسوب گردوخاک و نمکی و اسیدی که در عایقهای سرامیکی چندان چسبنده نیست خیلی موثر میباشد و زمان و تناوب شستشو بستگی به شدت آلودگی و شرایط جوی و وضعیت ایزولاسیون خط دارد.

۵-۴-تمیز کردن مقره‌ها :

در این روش که مقره‌ها را زیر بار یا بی باری تمیز میکنند یک روش موثر با کارائی زیاد و وسیله ای اقتصادی برای خارج کردن مواد آلوده وترکیبات چرب که روی سطح مقره سخت می‌چسبند و رسوب میکند میباشد.

معمولی‌ترین مواد ساینده مورد استفاده چوب‌پنبه‌ای و پودر سنگ آهک ریز میباشد چوب پنبه معمولا برای خارج کردن گریس سیلیکون کهنه یا مواد روغنی نرم بکار میرود و پودر سنگ آهک عموما برای خارج کردن آلودگیهای سخت نظیر سیمان بکار میرود این مواد بقدر کافی برای پاک کردن مقره سایینده هستند بدون آنکه بسطح مقره خراشی وارد شود .

۶-۴-گریس کاری :

سطح مقره را از ترکیبات گریس (سیلیکون) می‌پوشانند و با توجه به اینکه اولا این ماده سعی میکند که مواد آلوده را در برگرفته و آب را بشکل قطره قطره درآورده و مانع از تشکیل لایه آب در تمام سطح مقره میشود ثانیا با بکار بردن گریس مواد آلوده قادر به نشستن و رسوب کردن روی سطح مقره نخواهند بود ولی از آنجائیکه بعد از مدتی گریس قابلیت دفع آب خود را بتدریج از دست میدهد و درسطح مقره مسیرهائی برای وقوع جرقه ایجاد میکنند لذا نیاز به‌خارج کردن و تجدید آن بطور متناوب بعد از طی دوره کارائی آن دارد . و از طرف دیگر گران قیمت میباشد .

۷-۴-پاک کردن دستی :

تمیز کردن مقره ها به روش دستی نیز روش عمومی،موثرولی وقت‌گیر ، پردردسر و پرخرج بدلیل نیاز به قطعی دراز مدت تاسیسات برق میباشد . روش پاک کردن دستی مقره معمولا مواردی استفاده میشود که شستشوی با آب تحت فشار بالا بدلیل غیر قابل دسترس بودن و نزدیکی تجهیزات تحت بار و یا غیر موثر بودن این روش بدلیل سختی و چسبندگی رسوب آلوده مقره ها غیر ممکن باشد .

۵ ــ نتیجه‌گیری :

با توجه باینکه مشخصات ایزولاسیون طرح‌شده برای خطوط مناطق

آلوده با درنظرگرفتن آلودگی منطقه بوده ولی ویژگی و سطح آلودگی واقعی منطقه بخصوص در سواحل جنوب شدیدتر از سطح‌طراحی بوده و با توجه باینکه شدت ویژگی آلودگی منطقه (کویری و دریائی) حتی با انجام مناسبترین و موثرترین روش بهبود ایزولاسیون خطوط موجود مشکلات ناشی از آلودگی در طی بهره‌برداری صددرصد منتفی نخواهد بود . بنابراین توصیه میشود که روش موثر شستشوی دوره ای در خطوط مناطق آلوده بطور منظم و به موقع با استفاده از تجهیزات و وسایل مجهز اجراء گردد .

فاصله زمانی اجرای منظم این روش با توجه به شرایط آب و هوای مناطق کویری و بارندگی کم و چسبندگی که رسوب مواد آلوده در این مناطق در سطح مقره ایجاد میکنند در هر چه موثرتر بودن این روش نقش قابل توجهی دارد

۶- منابع

(1) EHV Transmission line reference book
EDISION ELECTRIC INSTITUTE

(2) Performance of HV Transmission line Insulators in Desert conditions IEEE VOL.6 NO. 1 1991 F.Zedan and M.Akbar

(3) IEC guide for selection of insulator in respect of polluted conditions

(4) Insulator pollution NGK March 1989

(5) بررسی ایزولاسیون خطوط انتقال نیروی کشور