شست‌وشوی مقره‌ها به روش موج‌دهی فراصوتی برای حذف رسوب سخت ناشی از ریزگردها

مهدی گندم‌زاده[۱]، احسان مال‌اندیش[۲]، آرین تاجیک[۳]، فرید طاهرپور[۴]، معین محمّدپور[۵]، سید محمدمحسن مدرس قیصری[۶]، ابوالقاسم مسیبی جیرهنده[۷]، محسن زندی[۸]، رقیه گوگ‌ساز قوچانی[۹]، مجید زندی*[۱۰]

M.gandomzadeh@mail.sbu.ac.ir [۱]، E.malandish@mail.sbu.ac.ir [۲]، A.tajik@mail.sbu.ac.ir [۳]، F.taherpour@mail.sbu.ac.ir [۴]،
M_Mohammadpour@sbu.ac.ir [۵]، Mo_modarres@sbu.ac.ir [۶]، r_gavagsaz@sbu.ac.ir [۹]، m_zandi@sbu.ac.ir [۱۰]،

گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۷] مدیر تحقیق و توسعه شرکت مهندسی استا (انرژی سازان توان افزا)،ایران Mosayyebi@estaco.ir

[۸] مدیر تجاری سازی فن‌آوری‌ها و جانشین مدیرعامل شرکت مهندسی استا (انرژی سازان توان افزا)، ایران Mohsen.Zandi@estaco.ir

چکیده:تعمیر و نگهداری صحیح و به‌موقع خطوط و پست‌های برق اثر مهمی بر کارکرد و بهینه‌سازی چرخه تولید و توزیع برق دارد. به این دلیل، نگهداری و تعمیر مناسب و به‌موقع این خطوط می‌تواند موجب کاهش تلفات، قطعی‌های ناگهانی و در نتیجه کاهش و بهینه‌سازی مصرف شود. از جمله اجزای مهم پست‌ها و شبکه‌های انتقال و توزیع، مقره‌ها هستند که کاهش سطح عایقی آن‌ها و شکست ناشی از جریان نشتی، یکی از مشکلات جدی آن‌ها است که می‌تواند تاثیر زیادی بر بهینه بودن و بهره‌وری داشته باشد. رسوب‌زدایی سطح مقره‌ها به این دلیل که ایجاد رسوب‌های در سطح آن‌ها، موجب کاهش سطح عایقی و در نتیجه افت بهره‌وری شبکه و در مواردی قطعی آن می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله، روش موج‌دهی فراصوتی به کمک یک محلول نوین رسوب‌زدایی به عنوان روشی مطمئن و موثر جهت رسوب‌زدایی مقره‌ها به خصوص در مناطق در معرض پدیده گرد و غبار و رطوبت پیشنهاد می‌شود. جهت آزمون تاثیرگذاری روش پیشنهادی، یک نمونه مقره حاوی رسوب‌های سخت و فلزی به صورت توامان، از منطقه خوزستان در نزدیکی یک کارخانه سیمان، در سه مرحله مورد شست‌وشوی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شست‌وشوی به کمک محلول پایه و مکمل نشان داد که روش پیشنهادی جهت شست‌وشوی نمونه مقره به‌طور کامل موفق بوده و تمامی رسوب‌های حتی سخت به‌طور کامل از سطح مقره جدا شد.

کلمات کلیدی: افزایش بهره‌وری شبکه، رسوب سخت، ریزگردها، رسوب‌زدایی مقره‌ها، موج‌دهی فراصوتی، محلول رسوب‌زدا، جریان نشتی در مقره

۱- مقدمه

صنعت برق به عنوان یکی از صنایع مهم زیربنایی، از مؤلفه‌های اصلی توسعه در تولید و اقتصاد به حساب می‌آید. این اهمیت از جایی ناشی می‌شود که صنعت برق در اقتصاد ملی و تأمین رفاه اقتصادی و اجتماعی کشورها ارزش زیادی دارد. نیروی برق باعث فعالیت کارخانه‌ها، راه‌اندازی صنایع و مجتمع‌های تولیدی شده و جزء جدایی‌ناپذیر تبادل بین‌المللی کشورها محسوب می‌شود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]

برق در نیروگاه‌ها، تولید و توسط خطوط فشار قوی به مناطق مختلف مصرف منتقل می‌شود. پس از کاهش ولتاژ در پست‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع، برای مصرف صنایع بزرگ و سپس با استفاده از ترانس‌های توزیع انرژی مورد استفاده کارگاه‌های کوچک و منازل مسکونی را تأمین می‌کند.

به‌دلیل افزایش صرفه اقتصادی در انتقال برق، از خطوط هوایی به‌جای کابل‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. کابل‌ها به‌رغم داشتن عایق‌های گران‌قیمت در طول مسیر انتقال، می‌توانند به صورت یک‌تکه به‌کار روند. اما خطوط هوایی، می‌بایست پس از طی مسافتی، دوباره روی دکل قرار گرفته و در این حالت، ایزولاسیون سیم‌های فشارقوی از دکل با استفاده از مقره انجام می‌شود. با این شرایط، مقره‌های خطوط هوایی درصد بسیار زیادی از مقره‌های مورد استفاده در شبکه قدرت را تشکیل می‌دهند.

مقره، به‌خاطر خاصیت عایقی جزء مهم‌ترین المان‌های شبکه برق است. آلودگی هوا و گسترش ریزگردها در سراسر ایران، حساسیت‌های متعددی را در این خصوص ایجاد کرده و باعث شده تا امروزه موضوع-های مربوط به مقره و آلودگی به زمینه‌های شاخص تحقیقاتی تبدیل شود. آلودگیِ نشسته بر روی مقره‌ها در صورتی‌که با رطوبت ترکیب شود، می‌تواند تا حد چشم‌گیری استقامت عایقی را کاهش دهد [1].

علاوه بر نوع، مقدار و یک‌نواختی آلودگی، مشخصات مربوط به مقره مانند شکل هندسی و ابعاد آن نیز در ولتاژ شکست تأثیر دارند. گرچه شاخصه‌های اقلیمی منطقه، باد و فواصل زمانی شست‌وشوی طبیعی و مصنوعی نیز به‌طور غیر مستقیم ولتاژ شکست را تغییر می‌دهند [2], [3].

انتخاب مقره و عملکرد کارآمد ایزولاسیون در مسیرهای فشارقوی بدون شناخت دقیق از نوع و میزان آلودگی و شرایط محیطی میسر نمی‌باشد.

بنا بر گزارش‌های منتشره وزارت نیرو، نواحی با وسعتِ محدودِ خیلی نزدیک به دریا و در معرض قطره‌های ریز معلق آب و یا نواحی با وسعت محدود با گرد و غبارهای محلی و دود کارخانجات صنعتی که موجب نشت ذرات دارای بار الکتریکی در هوا می‌شوند، جزء «ناحیه بسیار سنگین» محسوب شده و می‌بایست توجه بیشتری در طراحی خطوط و استفاده از مقره در آن‌ها صورت گیرد [4].

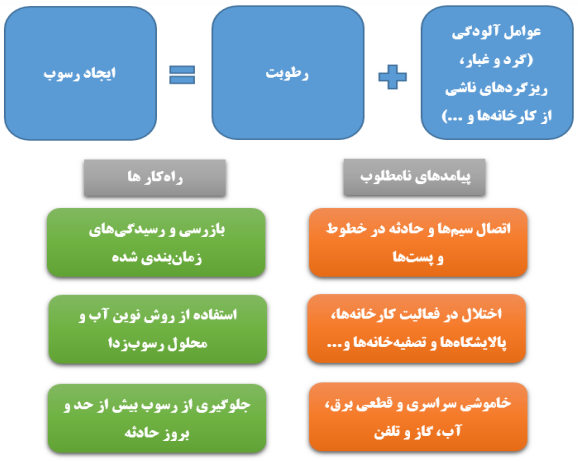
استان خوزستان در ایران از جمله مناطقی است که در آن رطوبت و گردوغبار زیاد بوده و قسمتی از آن از نواحی بسیار سنگین در تقسیم‌بندی انواع آلودگی به‌شمار می‌رود. این استان به‌دلیل قرارگرفتن در ناحیه مرزی و مجاورت با دریا، از اهمیت راهبردی برخوردار است و کارخانه‌ها، مراکز تولیدی و صنعتی، صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌هایی که در این استان مستقر هستند، از مهمترین زیرساخت‌های ایران محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر، افزایش سطح آلودگی‌ها در استان خوزستان مشکلاتی را پدید آورده که به قطع برق چند روزه کل استان نیز منجر گردیده است.

در سال ۱۳۹۵، برق، آب، مخابرات و اکثر زیرساخت‌های استان خوزستان به‌دلیل اختلال گرد و غبار و همچنین مه‌گرفتگی و افزایش رطوبت هوا برای مدتی قطع شد. دلیل وقوع این رخداد نفوذ خاکِ نشسته بر روی تاسیسات برق، تبدیل آن به صورت گل و در نهایت اتصال کوتاه شبکه برق بوده است.

کمیسیون انرژی مجلس در خصوص حوادث و قطعی برق سراسری در خوزستان، مدعی است تا دهه هفتاد شمسی، گروه‌های بازرسی خط گرم، تمام خطوط و پست‌ها را دوبار در سال بررسی کرده و شست‌وشو مورد نیاز را انجام می‌داده‌اند. علاوه بر این امکان اندازه‌گیری جریان نشتی نیز میسر بوده است. بر اثر این خاموشی، سیستم‌هایی از قبیل تصفیه آب شرب، مخابرات، تلفن همراه و اینترنت دچار اختلال، و مراکز اداری و آموزشی تعطیل، تولید نفت خام برای مدتی متوقف و ۱۱ شهرستان استان خوزستان در این مقطع دچار بحران شدند. لذا رسیدگی و بررسی منظم مقره‌ها، به میزان چشم‌گیری می‌تواند مانع نشتی و قطع برق شود [5].

بر این اساس، روش نوینی برای حل این مشکل در این پژوهش پیشنهاد شده‌است. موجدهی فراصوتی به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های رسوب‌زدایی قطعات و تجهیزات صنعتی به شمار می‌آید که در این مقاله با استفاده از حمام فراصوتی حاوی آب، یک محلول پایه و یک محلول مکمل، مقره‌ای که دارای رسوب سخت بوده شست‌وشو شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

در ابتدای این مقاله، روش‌های نگهداری و رسوب‌زدایی مقره‌ها معرفی شده و در ادامه، با طرح یک آزمایش، شست‌وشوی فراصوتی به کمک محلول رسوب‌زدای نوین تهیه شده، بر روی یک مقره بررسی شده است. در نهایت نتایج رسوب‌زدایی مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۱): پیامدها و راه‌کارها مرتبط با ایجاد رسوب بر روی مقره‌ها

۲- روش‌های نگهداری و رسوب‌زدایی مقره‌ها

امروزه در سیستم‌های قدرت از روش‌های مختلفی جهت نگهداری ایزولاسیون و رسوب‌زدایی مقره‌ها استفاده می‌شود. استفاده از

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]

پوشش‌های گریس سیلیکون، پوشش‌های سیلیکون رابری RTV و شست‌وشوی دوره‌ای از جمله روش‌های نگهداری ایزولاسیون و رسوب‌زدایی مقره‌ها است.

پوشش‌های گریس سیلیکون به عنوان لایه محافظ برای مقره‌ها استفاده می‌شود. مشخصات فنی گریس باید به‌گونه‌ای باشد که دچار فرسایش و اکسیداسیون نگردد. گریس‌کاری سطح مقره‌های چینی و شیشه‌ای با گریس سیلیکون، سطح آب‌دوست این نوع مقره‌ها را آب‌گریز می‌نماید. این روش عمل‌کرد و کارآیی مقره‌های پرسلینی و شیشه‌ای را بالا می‌برد. علی‌رغم داشتن مزایای ذکر شده استفاده از پوشش سیلیکونی معایبی دارد از جمله در مناطق با آلودگی بالا، که میزان مواد حل‌شدنی نشسته بر سطح مقره بالا است، توصیه نمی‌شود. در این روش برای گریس‌کاری‌های بعدی نیاز به برداشت پوشش‌های قبلی و جایگزینی مجدد می‌باشد که هزینه‌های مالی و زمانی زیادی دارد. از طرفی گریس‌کاری نیاز به اعمال خاموشی شبکه دارد که باعث ایجاد آسیب به تجهزات فشار قوی در هنگام قطع و وصل مجدد و وارد نمودن خسارت‌های مالی به صنایع می‌شود[6].

پوشش سیلکون رابری RTV از جنس لاستیک سیلیکونی بوده و همانند پوشش‌های گریس سیلیکونی در مورد مقره‌ها پرسلین و شیشه‌ای به‌کار گرفته می‌شود. پوشش سیلیکون رابری سطح آب‌دوست مقره را آب‌گریز می‌نماید و از لحاظ میزان مواد حل‌نشدنی نشسته بر سطح مقره محدودیتی ندارد. از معایب پوشش سیلیکون رابری RTV می‌توان به لزوم خاموشی شبکه در زمان پوشش دهی، هزینه اولیه بالای مواد مورد استفاده و همچنین نیاز به نیروی انسانی ماهر برای انجام عملیات پوشش دهی اشاره کرد [7].

شست‌وشوی مقره‌ها و بازرسی از خطوط برق به دو روش خط گرم و سرد[8] و به‌صورت دستی، شست‌وشو با آب تحت فشار، استفاده از هلیکوپتر و یا توسط ماشین مقره‌شور رباتیکی یا غیررباتیکی، صورت می‌گیرد. تعداد دفعات سالیانه شست‌وشو متناسب با میزان آلودگی منطقه و شرایط آب و هوایی محیط تعیین می‌شود. شست‌وشو به صورت دستی در خطوطی انجام می‌گیرد که امکان بی‌برق کردن خطوط وجود داشته باشد و از این نظر لازم است تا خاموشی‌های از پیش تعیین شده انجام گیرد. بنابراین علاوه بر هزینه‌های شست‌وشو بایستی هزینه‌های ناشی از انرژی توزیع نشده در شبکه‌های برق را نیز مدنظر قرار داد.

شست‌وشو با آب تحت فشار، روشی است که در آن آب با فشار به سمت مقره‌ها پرتاب شده و آنها را شست‌وشو می‌دهد [8]. این روش بسیار خطرناک بوده و علاوه بر احتمال سقوط از ارتفاع و خطر برق گرفتگی، کارایی کافی را نیز ندارد. باید به این نکته توجه داشت که آب معمولی به دلیل داشتن ناخالصی‌ها، گزینه مناسبی برای استفاده نیست و بهتر است از آب خالص استفاده شده و در مناطق دورافتاده این امکان وجود ندارد [9]. همچنین مهم است که تانکرهای حمل و نگهداری از نظر مغناطیسی عایق کامل باشند تا هدایت الکتریکی آب در سطح پایینی باقی بماند [10].

یکی‌دیگر از روش‌هایی که برای شست‌وشوی مقره‌های مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد، نصب نازل‌های ثابت در کنار مقره‌ها می‌باشد که به‌صورت خودکار در بازه‌های زمانی مشخص و بدون نیاز به خاموشی شبکه شست‌وشو را انجام می‌دهد [11]. این روش برای مقره‌های با دسترسی سخت، امکان‌پذیر نمی‌باشد. یکی دیگر از روش‌های دیگر، استفاده از بالگرد است که هزینه بسیار زیادی دارد [۱۲]. در مقیاس کوچک این روش از ربات‌های پرنده برای بالا بردن نازل استفاده می‌شود که نقش نیروی انسانی به همراه جرثقیل را دارد [13]. این روش ایمنی بیشتری داشته، ولی هزینه زیاد آن با توجه به ارتفاع و مدت شست‌وشو و از سویی دیگر پارامترهای محدودیت مهندسی باعث محدودیت کاربرد آن شده است.

از مهم‌ترین اشکال روش‌های متداول شست‌وشو، عدم کیفیت کافی و خطر ایجاد شده برای نیروی انسانی را می‌توان نام برد. در سال‌های اخیر، شست‌وشو با استفاده از امواج فراصوت یک روش نوین در صنعت و همچنین آزمایشگاه‌های پزشکی و تحقیقاتی بوده است [14]. در این راستا تحقیق و پژوهش‌های زیادی در مورد تأثیر روش شست‌وشو، شدت، فرکانس و مدت موج‌دهی و نوع سیال محیطی بر کیفیت شست‌وشو انجام شده است [15]. علاوه بر آن شست‌وشوی فراصوتی به طور خاص بر روی برخی از مواد و تجهیزات مورد بررسی قرار گرفته است [16]. نتایج مرجع [۱۶] نشان داده که کاویتاسیون حباب‌ها در محیط‌های آکوستیک می‌تواند منجر به جدا نمودن ذرات از روی سطح پارچه شود.

۳- طرح آزمایش

همان‌گونه که توضیح داده شد، استفاده از حمام فراصوتی حاوی مواد شوینده خاص، سرعت و کیفیت شست‌وشوی مقره‌ها را افزایش می‌دهد. برای بررسی عملی این موضوع، از یک مقره که به مدت طولانی در نزدیکی کارخانه سیمان در استان خوزستان مورد بهره‌برداری قرار گرفته، استفاده شده است (شکل ۲). همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، بر روی سطح مقره موردنظر رسوب‌های سخت زیادی تشکیل شده است که می‌تواند نمونه مناسبی برای مشاهده روند پاک‌سازی و بررسی تأثیر شیوه شست‌وشوی مدنظر باشد. محلول‌های مورد استفاده برای شست‌وشوی مقره‌ها توسط شرکت مهندسی انرژی‌سازان توان افزا (استا) مستقر در دانشگاه شهید بهشتی ارائه گردید. به‌دلیل موانع قانونی در ثبت اختراع، بیان فرمولاسیون دقیق محلول‌های مورد استفاده در شست‌وشو امکان‌پذیر نیست ولی مشخصات فیزیکی و شیمیایی محلول پایه در جدول (۱) توضیح داده شده است.

محلول مذکور به‌صورت دو جزء پایه و مکمل عرضه می‌شود. محلول پایه برای شست‌وشوهای غیر سنگین و محلول مکمل در موارد

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]

شست‌وشوهای سخت و برای رسوب‌های فلزی و اکسید فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و شیمیایی محلول پایه مورد استفاده

مشخصه	مقدار	واحد
چگالی	۱/۰۵	گرم بر میلی لیتر
pH	۲/۳۵	-
حجم با توجه به حجم حمام فراصوتی	۱۰۰۰	میلی لیتر
دما	حدود ۲۵ +/-۵	درجه سانتی‌گراد

مقره نمونه طی سه مرحله، ابتدا در مرحله نخست با آب مقطر، در مرحله دوم با افزودن محلول پایه و در مرحله سوم با اضافه کردن محلول مکمل به آن‌ها، مورد شست‌وشو قرار گرفت و اثر محلول‌های مورد استفاده به صورت مجزا بررسی شد. در فرآیند تست، ابتدا نمونه با توجه به حجم حمام فراصوتی در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت و با توان ۳۵۰ وات و تحت فرکانس ۲۰ کیلوهرتز در دمای اتاق بدون کنترل دمایی مورد شست‌وشو قرار داده شد. پس از بررسی ظاهری و تصویربرداری ماکروسکوپی و میکروسکوپی، نمونه را تحت همین شرایط و این بار با قرار دادن در محلول پایه مورد شست‌وشو قرار داده و نتایج حاصله را ثبت و همین روند با اضافه کردن محلول مکمل به مجموعه و ثبت نتایج دنبال شد.



الف) قسمت زیرین نمونه مقره قبل از شست‌وشو



ب) قسمت رویی نمونه مقره قبل از شست‌وشو

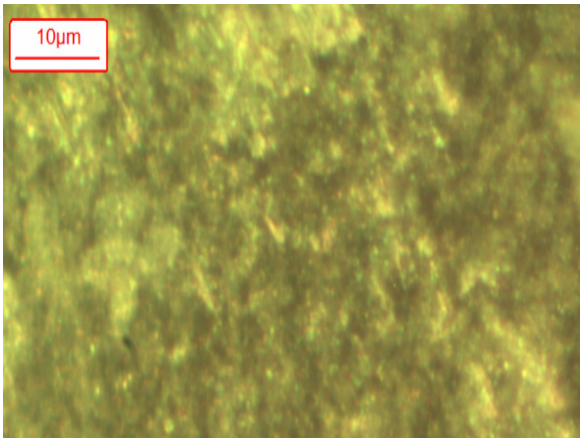
شکل (۲): نمونه مقره قبل از شست‌وشو جهت انجام آزمایش تجربی شست‌وشوی فراصوتی

۴- نتایج

در این بخش از مقاله، نتایج مربوط به بررسی تجربی شست‌وشوی نمونه مقره توسط حمام فراصوتی در سه قسمت مورد بررسی قرار گرفته است. در قسمت اول، نتایج مربوط به شست‌وشو ضمن استفاده از آب مقطر به عنوان سیال محیطی، در قسمت دوم، نتایج مربوط به شست‌وشو با استفاده از محلول پایه که در همین مقاله اشاره شد و در قسمت سوم، نتایج مربوط به شست‌وشو با استفاده از محلول پایه همراه با محلول مکمل ارائه خواهد شد.

۴-۱- شست‌وشو با آب مقطر

در شکل (۳) تصویر میکروسکوپی قسمت رویی نمونه با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر، نشان داده شده است. با مشاهده این شکل به راحتی می‌توان خلل و فرج فراوان که نشان دهنده عدم صافی سطح می‌باشد را مشاهده نمود.



شکل (۳): تصویر میکروسکوپی از قسمت رویی نمونه قبل از شست‌وشو

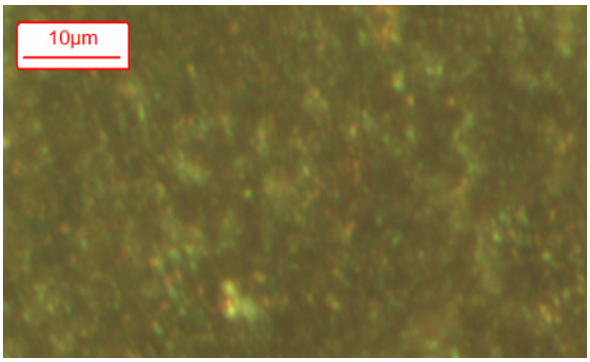
پس از انجام شست‌وشوی نمونه در محیط آب مقطر، تصویر میکروسکوپی ارائه شده در شکل (۴) نشان می‌دهد که صافی سطح قسمت رویی نمونه بهبود پیدا کرده، اما هنوز دارای خلل و فرج است. در واقع لایه سطحی و نرم از آن جدا شده و سطوح مربوطه به طور نسبی تمیز شده است (شکل (۵)). همان‌طور که انتظار می‌رفت، این روش شست‌وشو، توانایی از بین بردن رسوب‌های سخت‌چسبیده به مقره (شکل (۵ الف)) را ندارد. نتایج شست‌وشوی در این بخش، این واقعیت را که آب مقطر به تنهایی سیال مناسبی جهت شست‌وشوی رسوب‌های سخت نمی‌باشد را تأیید می‌نماید.

با در نظر گرفتن این‌که، نتایج حاصل از شست‌وشو به‌وسیله آب مقطر به اندازه کافی رضایت بخش نمی‌باشد، در مرحله دوم شست‌وشو به کمک محلول تهیه شده توسط بخش تحقیق و توسعه شرکت استا در حمام فراصوتی مورد بررسی قرار گرفت. این محلول، خود شامل دو قسمت مجزا با عنوان محلول پایه و محلول مکمل می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]



شکل (۴): عکس میکروسکوپی نمونه پس از شست‌وشو با آب مقطر



الف) قسمت زیرین نمونه بعد از شست‌وشوی مرحله اول



ب) قسمت رویی نمونه بعد از شست‌وشوی مرحله اول

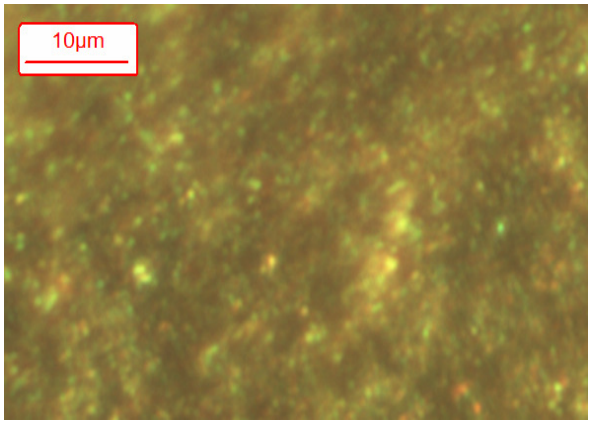
شکل (۵): نمونه‌ی مقره شسته شده با آب مقطر در حمام فراصوتی

۴-۲- شست‌وشو با محلول پایه

در این مرحله، نمونه مقره توسط محلول پایه در حمام فراصوتی شست‌وشو شده و نتایج حاصل از آن با قسمت قبلی مقایسه شد. تمامی شرایط انجام شست‌وشوی در این مرحله از جمله، توان، فرکانس، دما و مدت زمان، مشابه شرایط مرحله قبل است. نتیجه شست‌وشوی به صورت تصاویر ماکروسکوپی در شکل (۶) ارائه شده‌است. همان‌طور که از تصویر قسمت زیری نمونه در این شکل مشخص است، شست‌وشوی با محلول پایه به خوبی توانسته رسوب‌های سخت موجود که در شست‌وشو از طریق آب مقطر از بین نرفته‌اند را از بین برده و سطح مقره را تا حدود زیادی تمیز نماید.



شکل (۶): نمونه‌ی مقره پس از شست‌وشو با محلول پایه



شکل (۷): تصویر میکروسکوپی قسمت رویی نمونه پس از شست‌وشو با محلول پایه

همچنین از طریق مشاهده تصویر میکروسکوپی شکل (۷) می‌توان نتیجه گرفت که شست‌وشوی به کمک محلول پایه در حمام فراصوتی، به میزان قابل توجهی موجب افزایش صافی سطح مقره شده‌است که این امر نیز خود نشان دهنده قابلیت شست‌وشوی بالای این روش بوده و بار دیگر کیفیت آن را تضمین می‌نماید.

۴-۳- شست‌وشوی با محلول پایه همراه با محلول مکمل

در این مرحله، نمونه مورد آزمایش توسط محلول پایه به همراه محلول مکمل در حمام فراصوتی شسته شده و نتایج آن با قسمت‌های قبلی مقایسه شد. شکل (۸) و شکل (۹) به خوبی نشان می‌دهند که افزودن محلول مکمل تأثیر به‌سزایی در شست‌وشوی مقره مورد آزمایش داشته و توانسته سطح کامل صاف و بی هیچ رسوبی به‌وجود آورد.

این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که به این نکته توجه شود که این نمونه‌ها متعلق به یک مکان بوده‌اند و پس از شست‌وشو توسط جت آب به هیچ عنوان رسوب‌های سخت از سطح مقره جدا نشده‌اند. با آزمایش‌های انجام گرفته مشخص می‌شود که استفاده از محلول مکمل برای مناطقی نیاز است که رسوب‌های سخت فلزی در آن‌جا وجود داشته باشد. در غیراین‌صورت محلول پایه، به تنهایی قادر به رسوب‌زدایی است.

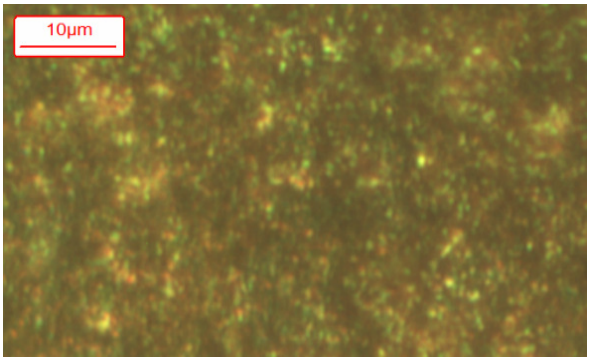
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]



شکل (۸): نمونه‌ی مقره پس از شست‌وشو با محلول پایه و مکمل



شکل (۹): تصویر میکروسکوپی قسمت رویی نمونه توسط محلول پایه به همراه محلول مکمل

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله شست‌وشوی مقره‌های دارای رسوب‌های سخت‌چسبیده و رسوب‌های فلزی مورد بررسی قرار گرفت و روشی مؤثر مبتنی بر شست‌وشو به کمک موج‌دهی فراصوتی ارائه گردید. با توجه به اینکه اکثر مقره‌های خطوط انتقال از نوع چینی هستند، آزمایش‌های انجام گرفته بر روی این نوع مقره‌ها انجام شده است. همچنین، تنها تفاوت مقره‌های چینی با دیگر نمونه‌ها برای آزمایش تنها ضخامت چند میکرونی بین گرد و غبار و مقره است و پس از نشستن لایه چند میکرونی گرد و غبار دیگر تاثیر جنس مقره مورد توجه قرار نمی‌گیرد. نمونه مورد استفاده در طی سه مرحله یک بار با آب مقطر، بار دوم به کمک محلول پایه و بار سوم با اضافه نمودن محلول کمکی شست‌وشو شد. محلول‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق، توسط شرکت مهندسی استا تهیه گردیده‌اند. نتایج آزمایش نشان داد که شست‌وشوی فراصوتی به وسیله محلول‌های رسوب‌زدا علاوه بر برطرف نمودن آلودگی‌های سطحی، توانایی از بین بردن رسوب‌های سخت‌چسبیده و رسوب‌های فلزی روی سطح مقره‌ها را نیز دارد که مزیت بزرگ این روش نسبت به روش شست‌وشو با آب مقطر می‌باشد. این روش می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در پاک‌سازی هر نوع مقره استفاده شده در خطوط و پست‌ها مورد استفاده قرار گیرد. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به شست‌وشوی مقره‌های خطوط در شرایط تحت ولتاژ اشاره کرد که با برآورده شدن شرایط دیگری امکان پذیر خواهد شد. این روش می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت پاک‌سازی مقره‌ها در مناطق در معرض گرد و غبار، انواع ریزگردها و رطوبت جهت جلوگیری از شکست مقره‌ها و به‌تبع آن پیش‌گیری از بحران قطعی برق مورد استفاده قرار گیرد.

۶- سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حمایت و همکاری مجدانه، پرسنل محترم شرکت مهندسی استا انرژی‌سازان توان‌افزا مستقر در دانشگاه شهید بهشتی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

[1] م. امرالهی, "تأثیر آلودگی محیط بر روی مقره ها و روش های مناسب بهبود عملکرد ایزولاسیون شبکه انتقال در مقابل آلودگی," چهارمین کنفرانس شبکه های توزیع نیرو, ۱۳۷۳.

[2] ا. حبیبیان, "راهکارهای کاهش پیامدهای وقایع گرد و غبار بر ایزولاسیون شبکه برق فشار قوی," اولین کنفرانس بین المللی گرئ و غبار, ۱۳۹۴.

[3] ر. جولانژاد. ح. امامی, "بررسی عملکرد دوربین کرونا به منظور تشخیص اثرات کرونا بر مقره های سیلیکونی و سوزنی شبکه توزیع ماهشهر," کنفرانس بین المللی تحقیقات بنیادین در مهندسی برق, ۱۳۹۶.

[4] پژوهشگاه نیرو, "استاندارد مقره های توزیع," ۱۳۸۲.

[5] ک. انرژی, "گزارش کمیسیون انرژی در خصوص بحران اخیر قطعی آب، برق و مخابرات در استان خوزستان," ۱۳۹۵.

[6] W.L.Vosloo, The Practical Guide to outdoor High Voltage Insulators. Crown Publications, 2004.

[7] M. a. Talebi, a. Gholami, M. R. Shariati, and M. Hasanzadeh, "Technical & economical evaluation of using silicone rubber RTV coating for H.V. substation in polluted area," 18th Int. Conf. Exhib. Electr. Distrib. (CIRED 2005), vol. 2005, pp. v1-19-v1-19, 2005.

[8] M.esmaeili, Live line insulator washing. 2011.

[9] ieee, IEEE guide for cleaning insulators. 1995.

[10] G. P. Mario IULITA, "Live working washing of line insulator chains using tap water, a telescopic arm and robot head."

[11] T. Fujimura, M. Okayama, and T. Isozaki, "Hot-Line Washing of Substation Insulators," IEEE Trans. Power Appar. Syst., vol. PAS-89, no. 5, pp. 770–774, 1970.

[12] "Simplex Model 510 Power Line and Windmill Clearing and De-Icing system for the Eurocopter AS350 & 355 series," www.simplex.aero, 2016.

[13] م. هادی‌پور, ن. آبرومند, ع. هادی, ه. طاریمرادی, "شستشوی مقره های خطوط برق با استفاده از هلیکوپتر بدون سرنشین در جهت کاهش هزینه ها in ",ششمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]

در نگهداشت انرژی، تهران، دبیرخانه دایمی همایش, ۱۳۹۵.
[14] T. J. Mason, "Ultrasonic cleaning: An historical perspective," Ultrason. Sonochem., vol. 29, pp. 519–523, 2016.
[15] B. Ultrasonics, Ultrasonic cleaning and washing. 2015.
[16] J. Choi, T. Kim, H. Kim, and W. Kim, "Ultrasonics Sonochemistry Ultrasonic washing of textiles," Ultrason. - Sonochemistry, vol. 29, pp. 563–567, 2016.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]

Washing Insulators by Ultrasound Sonication Method to Remove Hard Sediments Caused by Dust and Aerosols

Mahdi Gandomzadeh [1], Ehsan Malandish [2], Aryan Tajik [3], Farid Taherpour [4], Moein Mohammadpour [5], Seyed Mohammad Modarres Gheisari [6], Abolghasem Mosayyebi [7], Mohsen Zandi [8], Roghayeh Gavagsaz-Ghoachani [9], Majid Zandi[10],*

M.gandomzadeh@mail.sbu.ac.ir[1], E.malandish@mail.sbu.ac.ir[2], A.tajik@mail.sbu.ac.ir [3], F.taherpour@mail.sbu.ac.ir [4],
Student of Master, Renewable Energies Engineering Department, Mechanical and Energy Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

M_Mohammadpour@sbu.ac.ir[5], Mo_modarres@sbu.ac.ir[6],
PhD Candidate, Renewable Energies Engineering Department, Mechanical and Energy Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

r_gavagsaz@sbu.ac.ir[9], m_zandi@sbu.ac.ir[10,*]
Assistant professor, Renewable Energies Engineering Department, Mechanical and Energy Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[7]Research and Development Manager, EstaCo, Tehran, Iran, Mosayyebi@estaco.ir

[8]Technology Commercialization and Managing Director, EstaCo, Tehran, Iran, EstaCo - Mohsen.Zandi@estaco.ir

Abstract: Correct and timely maintenance of power lines and substations has an important impact on the operation and optimization of the production cycle and distribution of electricity. In this way, proper and timely maintenance and repair of these lines can reduce losses, sudden defects, and thus reduce and optimize consumption. One of the most important components of transmission and distribution networks and substations are insulators. Reduce of insulation level and failure of insulators due to leakage flow can be considered a serious problem for power network and have a great impact on its efficiency. Due to formation of sediments at insulators surface, reduction of the level of insulation is an important problem, resulting in a decrease in the efficiency of the network and subsequent interruption. In this paper, the ultrasonic wave propagation technique is proposed with the help of a new sedimentation solution as a safe and effective way to remove deposition of insulators, especially in climates with high dust and moisture. In order to measure the affectivity of the proposed method, an insulator containing hard metal-contained deposits, from the Khuzestan area near a cement factory, has been washed in three steps. The results of the washes with the help of the base and complementary solution indicating that the proposed method is completely successful for washing the sample, showing that all the sediments completely separated from the insulator surface.

Keywords: Increase network efficiency, hard sedimentation, microspheres, decomposition of insulators, ultrasonic effect, depositional solution, leakage current in the insulator.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.5.2]