



آزمون ایده طراحی سیستم شستشوی اتوماتیک ثابت مقره‌های فشارقوی پست‌های رده انتقال برای مناطق آلوده و با گرد و غبار شدید و ساخت یک نمونه تحقیقاتی مقیاس کوچک



مدیر پروژه: روزبه بهزادی

واحد مجری: مجید رضایی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آزمون ایده طراحی سیستم شستشوی اتوماتیک ثابت مقره‌های فشارقوی پست‌های رده انتقال برای مناطق آلوده و با گرد و غبار شدید و ساخت یک نمونه تحقیقاتی مقیاس کوچک

مدیر پروژه: روزبه بهزادی

گروه پژوهشی پشتیبان: مطالعات فشارقوی

همکاران پروژه:

مسعود رحیمیان

واحد مجری: مطالعات فشارقوی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

تیرماه ۱۴۰۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.339

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه مطالعات فشارقوی

عنوان پروژه: آزمون ایده طراحی سیستم شستشوی اتوماتیک ثابت مقره‌های فشارقوی پست‌های رده انتقال برای مناطق آلوده و با گرد و غبار شدید و ساخت یک نمونه تحقیقاتی مقیاس کوچک/مدیر پروژه: بهزادی، روزبه. ویراستار: احمدی جنیدی، ایمان. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۱۰۹ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. رحیمیان، مسعود، همکار پروژه. ۲. رضایی، مجید، مدیر واحد مجری. ۳. گروه مطالعات فشارقوی ۴. تجهیزات عایقی مناطق خاص



انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی مطالعات فشار قوی

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به نام کارفرما و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دامن، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب روزبه بهزادی، مدیر پروژه و همکاران به شرح زیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

■ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

■ گزارش حاصل انجام سه مرحله از سه مرحله پروژه است.

همکاران :

۱. مسعود رحیمیان

پیشگفتار

آلودگی‌های محیطی و صنعتی در کنار وجود هوای شرجی، بادهای منطقه‌ای و عدم وجود باران‌های دائم در بسیاری از مناطق کشور، باعث گردیده است تا پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی، قشری از آلودگی بر روی مقره، منجر به افت خواص عایقی، اتصال کوتاه و نهایتاً قطعی‌های مکرر در مدار و کاهش کیفیت برق می‌گردد. از سوی دیگر در طی بیش از ۱۰ سال از آغاز شدت گرفتن پدیده گرد و غبار در مناطقی از غرب، جنوب غربی و جنوب شرقی کشور، مناطقی وسیعی از غرب، شمال غرب، جنوب و مرکز ایران با این پدیده مواجه شده‌اند؛ بطوریکه بیش از ۲۰ استان کشور در بازه‌های زمانی متفاوت آلودگی‌های همراه با گرد و غبار را تجربه می‌کنند. یکی از مشکلات بعدی ناشی از گرد و غبار، بارش اندک است که منجر به ماندگاری گرد و خاک بر روی مقره‌ها خواهد شد، همانند بهمن ماه ۱۳۹۵ که گرد و خاک با غلظت بیش از ۶۶ برابر حد مجاز و بارندگی پس از آن منجر به بی‌برق شدن و خاموشی‌های وسیع شد. یکی از مواردی که موجب گسترش ابعاد حادثه گردید زمان نسبتاً طولانی مورد نیاز جهت بازیابی پست‌های فشارقوی به علت کمبود تجهیزات مقره‌شور سیار، کمبود پرسنل و زمان بر بودن جابجایی تجهیزات از یک پست به پست دیگر بود.

یکی از راهکارهای معمول فعلی و نسبتاً پرهزینه، شستشوی دوره‌ای به‌روش سنتی سطوح مقره‌ها برای از بین بردن آلودگی سطحی با اعمال خاموشی است. در شرایط بحران وقوع آلودگی‌های شدید، اقدامات برای این شستشو در مناطق وسیع عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین در روش‌های سنتی، اغلب با خاموشی برق و صرف انرژی و عملیات سخت انسانی همراه است که قابلیت اطمینان شبکه و رضایت مشترکین را کاهش می‌دهد.

برای دور شدن از مشکلات روش‌های سنتی شستشوی مقره‌ها، سیستم شستشوی ثابت به عنوان یکی از راهکارهای برنامه نگهداری پیشگیرانه در دنیا تعریف شده‌است تا با انجام شستشوی خودکار با تجهیزات ساده و ثابت، در زمان کوتاه، از تجمع آلودگی بر مقره‌های فشارقوی جلوگیری نماید. در مقایسه با روش‌های دیگر، خود سیستم نیاز به نگهداری و تعمیرات دارد ولی در ازای آن، سرعت بازیابی سیستم می‌تواند بسیار سریع باشد. هر چند که فرآیند نگهداری و تعمیرات سیستم به علت عدم پیچیدگی ساختار و اجزاء، ساده است.

این پروژه با هدف به طراحی رساندن ایده این سیستم شستشوی ثابت و خودکار مقره‌ها و ساخت نمونه مقیاس کوچک و انجام آزمون بر یک نمونه مقره آلوده پست، برای اولین بار در داخل کشور انجام می‌گردد. این سیستم در حال حاضر با داشتن توجیه اقتصادی و فنی لازم در کشورهای مختلف دنیا مورد نصب و استفاده قرار گرفته است. در این پروژه به دنبال پیاده‌سازی روش مذکور هستیم.

این گزارش در راستای انجام شرح خدمات مراحل اول تا سوم پروژه "آزمون ایده طراحی سیستم شستشوی اتوماتیک ثابت مقره‌های فشارقوی پست‌های رده انتقال برای مناطق آلوده و با گرد و غبار شدید و ساخت یک نمونه تحقیقاتی مقیاس کوچک" است که پشتیبانی آن، بر عهده گروه پژوهشی مطالعات فشارقوی و نظارت بر آن، بر عهده جناب آقای ایمان احمدی جنیدی بوده است.

فهرست مطالب

مقدمه	۱۲
فصل اول: ۱- مطالعه سیستم‌های مختلف شستشوی مفره‌ها در حالت برق‌دار و بدون برق و شناسایی نحوه عملکرد و پارامترهای تعیین کننده در استفاده از آن‌ها ۱۶	
۱-۱-۱ روش‌های شستشو در حالت برق‌دار.....	۱۶
۱-۱-۱-۱ پاشش آب با فشار زیاد	۱۶
۱-۱-۱-۲ آب با فشار متوسط	۱۷
۱-۱-۱-۳ آب با فشار کم با نازل نصب ثابت	۱۷
۱-۱-۱-۴ شستشو با هوای فشرده	۱۸
۱-۱-۱-۵ پاک کردن با چوب استیک	۱۹
۱-۲-۱ روش‌های شستشو در حالت غیربرق‌دار	۲۰
۱-۳-۱ دسته‌بندی انواع آلودگی و نحوه شستشو.....	۲۰
۱-۴-۱ خلاصه‌ای از انواع و توضیحات روش‌های شستشو	۲۳
۱-۵-۱ بررسی تجربیات سایر کشورها	۲۴
۱-۶-۱ استخراج الزامات فنی و استانداردهای مرتبط و پارامترهای تعیین کننده در سیستم شستشوی ثابت مفره‌ها در دنیا	۳۴
۱-۶-۱-۱ تجهیزات شستشو	۳۴
۱-۶-۱-۲ تشخیص موثر بودن شستشو.....	۴۱
۱-۶-۱-۳ عوامل موثر در تخمین دوره زمانی شستشو	۴۲
۱-۶-۱-۴ ملاحظات مرتبط با تجهیز تحت شستشو	۴۳
۱-۶-۱-۵ ملاحظات ایمنی شستشوی تجهیزات برق‌دار	۴۷
۱-۶-۱-۶ طبقه شستشو در روش نازل دستی	۵۶
فصل دوم: ۲- طراحی سیستم بهینه شستشوی مفره‌ها برای یک پست فشارقوی نمونه در داخل کشور در رده فوق توزیع	۵۸
مقدمه	۵۸
۱-۲-۱ نقشه پست فشارقوی نمونه طراحی سیستم شستشوی ثابت	۶۲
۱-۲-۲ طراحی سیستم شستشوی ثابت برای پست فشارقوی	۶۹
۱-۲-۲-۱ افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله ها	۷۱
۱-۲-۲-۲ افت فشار در اثر ارتفاع	۷۳
۱-۲-۲-۳ افت فشار ناشی از اتصالات و شیر آلات	۷۴
۱-۲-۲-۴ افت فشار ناشی از اتصالات و شیر آلات	۷۵

۷۶	تعیین قطر لوله ها	۵-۲-۲
۷۸	ترسیم و طراحی لوله کشی شستشوی پست	۳-۲
۸۰	انتخاب بوستر پمپ	۱-۳-۲
۸۱	موارد استفاده از بوستر پمپ	۲-۳-۲
۸۲	انواع بوستر پمپ	۳-۳-۲
۸۲	مشخصات بوستر پمپ شستشوی مقره های شبکه	۴-۳-۲
۸۳	محاسبه کمترین فاصله تا تجهیز برق دار	۵-۳-۲
۸۳	محاسبه حجم ذخیره منبع آب	۶-۳-۲
۸۴	نکات فنی در طراحی پاییپینگ سیستم شستشوی ثابت	۷-۳-۲
۸۶	نکات فنی انتخاب اتصالات سیستم شستشوی ثابت	۸-۳-۲
۸۷	نکات فنی انتخاب شیرآلات سیستم شستشوی ثابت	۹-۳-۲
۸۸	نکات فنی انتخاب نازل سیستم شستشوی ثابت	۱۰-۳-۲
۸۹	طراحی یک سیستم شستشوی ثابت برای یک نمونه دکل	۴-۲
۸۹	تعیین پر مقاومت ترین مسیر لوله کشی شستشوی مقره های دکل فشار قوی	۱-۴-۲
۹۱	تعیین قطر لوله ها	۲-۴-۲
۹۲	ترسیم و طراحی لوله کشی شستشوی دکل فشار قوی	۳-۴-۲
۹۳	مشخصات بوستر پمپ شستشوی مقره های دکل فشار قوی	۴-۴-۲
۹۴	محاسبه حجم ذخیره منبع آب برای شستشوی هر دکل	۵-۴-۲
۹۵	برآورد ریالی هزینه خرید و اجرای سیستم شستشوی دکل فشار قوی	۵-۲
۹۶	ارائه هزینه سیستم شستشوی ثابت طراحی شده در پست نمونه	۶-۲
۹۷	فصل سوم: ۳- ساخت یک نمونه مقیاس کوچک سیستم شستشوی اتوماتیک ثابت	۳
۹۷	مقدمه	
۹۷	خرید اجزا و مونتاژ و ساخت یک نمونه مقیاس کوچک آزمایشگاهی	۱-۳
۱۰۵	انجام عملیات شستشوی اتوماتیک بر روی یک مقره آلوده و تحلیل نتایج	۲-۳
۱۰۸	نتیجه گیری	
۱۰۹	مراجع و منابع	

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): یک نمونه سیستم شستشو ثابت ۱۴
- شکل (۲-۱): نمونه‌های شستشوی مقرر توسط شرکت *Ascotech Sprinkler* ۲۵
- شکل (۳-۱): سیستم شستشوی ثابت در مقره نگهدارنده در کشو قطر نصب شده توسط شرکت *Ascotech Sprinkler* ۲۵
- شکل (۴-۱): نمایی از آرایش خطوط آب رسانی پیشنهاد شده در یک پست توسط شرکت *Ascotech Sprinkler* ۲۶
- شکل (۵-۱): نمایی از نرم‌افزار پایش وضعیت سیستم آب رسانی در پیاده‌سازی شستشوی ثابت مقره‌ها توسط شرکت *Ascotech Sprinkler* ۲۶
- شکل (۶-۱): نمایی از سیستم آب رسانی یک دکل $500kV$ در نوع اول شستشو ثابت شرکت *Wilorton* ۲۸
- شکل (۷-۱): نمایی از پاشش آب در روش شستشوی ثابت یک دکل توسط شرکت *Wilorton* ۲۹
- شکل (۸-۱): طرحواره‌ای از سیستم آب رسانی شرکت *Wilorton* برای مقره کششی و آویزی ۳۰
- شکل (۹-۱): نمایی از سیستم آب رسانی شرکت *Wilorton* برای مقره پست *GIS* در الجزایر ۳۰
- شکل (۱۰-۱): نمایی از سیستم شستشو ثابت اختراع شده توسط شرکت *NGK insulator* ۳۱
- شکل (۱۱-۱): یک نمونه سیستم شستشو ثابت برای یک مقره $400kV$ شرکت *CEGB* ۳۲
- شکل (۱۲-۱): رابطه تغییرات ولتاژ تخلیه الکتریکی *U50* بر حسب مقاومت ویژه آب در میزان آلودگی‌های مختلف ۴۱
- شکل (۱۳-۱): رابطه بین زمان شستشو و میزان آلودگی در یک مطالعه ۴۲
- شکل (۱۴-۱): رابطه فاصله تا بخش برق‌دار و ولتاژ سیستم با میزان جریان ناشی ۴۹
- شکل (۱۵-۱): رابطه مقاومت ویژه آب و جریان ناشی ۵۰
- شکل (۱۶-۱): رابطه افزایش فشار جریان آب با جریان ناشی ۵۰
- شکل (۱۷-۱): رابطه قطر نازل با جریان ناشی ۵۱
- شکل (۱۸-۱): رابطه ولتاژ *U50* با فشار آب در زمان شستشوی تجهیز برق‌دار ۵۲
- شکل (۱۹-۱): حداقل فاصله شستشو بر حسب بیشینه ولتاژ سیستم ۵۵
- شکل (۲۰-۱): نمایی از ترتیب شستشو در مقره‌های آویزی و *V* شکل ۵۷
- شکل (۱-۲): یک نمونه سیستم شستشو ثابت نصب‌شده توسط شرکت *wilorton* ۶۰
- شکل (۲-۲): جانمایی کلی تجهیزات پست واقعی ۱۳۲ کیلوولت ۶۳
- شکل (۳-۲): نقشه اتاق کنترل پست واقعی ۱۳۲ کیلوولت ۶۳
- شکل (۴-۲): جانمایی تجهیزات همجوار ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلوولت پست ۶۴
- شکل (۵-۲): شماتیک تک خطی پست ۱۳۲ کیلوولت ۶۴
- شکل (۶-۲): شماتیک تک خطی قدرت کامل پست ۱۳۲ کیلوولت ۶۵
- شکل (۷-۲): شماتیک تک خطی مدار فرمان و کنترل پست ۶۵

- شکل (۸-۲): تصویر از بالا جانمایی تجهیزات پست ۱۳۲ کیلوولت ۶۶
- شکل (۹-۲): مسیر تکفاز پست فشارقوی از گنتری تا ترانسفورماتور ۶۶
- شکل (۱۰-۲): بخش میانی جانمایی تجهیزات پست ۶۷
- شکل (۱۱-۲): جانمایی مقره‌های اتکابی دو سطح ولتاژ پست ۱۳۲ کیلوولت ۶۷
- شکل (۱۲-۲): جانمایی تجهیزات پست از ابتدای ورودی تا خروجی ۶۸
- شکل (۱۳-۲): نگاه از بالای جانمایی تجهیزات پست ۶۸
- شکل (۱۴-۲): جدول نرخ افت فشار لوله آهنی در سیستم باز ۷۳
- شکل (۱۵-۲): شماتیک کلی سیستم شستشوی طراحی شده برای مقره‌های ۱۳۲ کیلوولت پست واقعی ۷۹
- شکل (۱۶-۲): جانمایی اتاق موتور پمپ سیستم شستشوی ثابت پست ۸۴
- شکل (۱۷-۲): نمونه ساختار و اجزای یک شیر کنترلی سیستم شستشو ۸۸
- شکل (۱۸-۲): مسیر لوله کشی برای نصب یک سیستم شستشوی ثابت دکل فشارقوی ۹۲
- شکل (۱۹-۳): نمایی از موتور پمپ‌های مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۹۸
- شکل (۲۰-۳): نمایی از گیج فشار مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۹۹
- شکل (۲۱-۳): نمایی از نازل‌های مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۱۰۰
- شکل (۲۲-۳): نمایی از لوله کشی مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۱۰۱
- شکل (۲۳-۳): نمایی از فلنج‌های ورودی و خروجی مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۱۰۱
- شکل (۲۴-۳): نمایی از منبع آب مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۱۰۲
- شکل (۲۵-۳): نمایی از مقره سرامیکی اتکابی پست ۱۳۲ کیلوولت مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی ۱۰۳
- شکل (۲۶-۳): نمایی از وجود هوا در سیستم پمپاژ و عدم کارکرد درست خروج آب از نازل‌ها ۱۰۵
- شکل (۲۷-۳): نمایی از پاشش مناسب آب از نازل‌ها به سطح مقره با انجام هواگیری در سیستم پمپاژ ۱۰۵
- شکل (۲۸-۳): نمایی نزدیک از پاشش مناسب آب از نازل‌ها به سطح مقره ۱۰۶
- شکل (۲۹-۳): نمایی از عملکرد نازل‌های استیل ۳۰ درجه در شستشوی مقره اتکابی پست ۱۳۲ کیلوولت ۱۰۷

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱): اطلاعات طراحی شستشو با فشار آب کم بوسیله تجهیزات نصب ثابت در یک نمونه [۱].....	۱۸
جدول (۲-۱): انواع آلاینده‌ها و راهکارهای اولویت‌دار توصیه شده جهت رفع آن.....	۲۲
جدول (۳-۱): خلاصه‌ای از انواع روش‌های شستشو و شرایط استفاده آن‌ها.....	۲۳
جدول (۴-۱): برخی از پروژه‌های انجام شده در سطح دنیا توسط شرکت <i>Ascotech Sprinkler</i>	۲۷
جدول (۵-۱): مشخصات آب مورد استفاده در شستشو برق‌دار توسط شرکت <i>Wilorton</i>	۳۱
جدول (۶-۱): نتایج آزمایشات شرکت <i>CEGB</i> بر رابطه تعداد نازل، فشار آب و سطح ولتاژ.....	۳۳
جدول (۷-۱): دوره زمانی مناسب شستشو بر حسب فاصله خزشی و سطح آلودگی مختلف در کشور زامبیا.....	۴۳
جدول (۸-۱): فشار آب شستشو در مقره‌های پلیمری با توجه به ماده تشکیل‌دهنده.....	۴۴
جدول (۹-۱): جریان ناشی برحسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف توسط آب با مقاومت ویژه $1600 \Omega.cm$	۴۸
جدول (۱۰-۱): جریان ناشی برحسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف توسط آب با مقاومت ویژه $2900 \Omega.cm$	۴۸
جدول (۱۱-۱): جریان ناشی برحسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف بدون اسپری آب.....	۵۱
جدول (۱۲-۱): ولتاژ تخلیه الکتریکی در فواصل مختلف نازل تا بخش برق‌دار.....	۵۱
جدول (۱۳-۱): عملکرد فشار آب در قطر دهانه نازل مختلف.....	۵۳
جدول (۱۴-۱): کمترین فاصله تا تجهیز برق‌دار مورد شستشو.....	۵۴
جدول (۱۵-۱): فاصله انتخابی برای یک نازل ۵/۹۵ میلی‌متری.....	۵۴
جدول (۱-۲): اطلاعات طراحی شستشو با فشار آب کم بوسیله تجهیزات نصب ثابت در یک نمونه شرکت <i>wilorton</i>	۷۰
جدول (۲-۲): جدول افت فشار آب با توجه به قطر و نوع اتصالات.....	۷۴
جدول (۳-۲): انتخاب حداقل فاصله مجاز نازل تا هادی.....	۸۳
جدول (۴-۲): موارد کاربرد لوله‌های مختلف صنعتی.....	۸۴
جدول (۵-۲): برآورد هزینه خرید قطعات و اجرای یک سیستم شستشو با توجه به طراحی انجام شده برای دکل فشارقوی.....	۹۵
جدول (۶-۲): هزینه ریالی تهیه اقلام و اجرای سیستم شستشوی ثابت پست بر اساس طراحی انجام شده.....	۹۶

مقدمه

وقوع تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌های جوی و افزایش وسعت مناطق با سطوح خشک در کشور، باعث نشست گرد و غبار و آلودگی بیشتر از دهه‌های قبل بر مقره‌های خطوط و پست‌های برق گردیده است. در طی بیش از ۱۰ سال از آغاز شدت گرفتن پدیده گرد و غبار در مناطقی از غرب و جنوب غربی و جنوب شرقی کشور، مناطق وسیعی از غرب، شمال غرب، جنوب و مرکز ایران با این پدیده مواجه شده‌اند. بطوریکه بیش از ۲۰ استان کشور در بازه‌های زمانی متفاوت آلودگی‌های همراه با گرد و غبار را تجربه می‌کنند. به عنوان مثال در بهمن ماه ۱۳۹۵ در پی وزش باد شدید همراه با گرد و خاک با غلظت بیش از ۶۶ برابر حد مجاز و پس از آن بارندگی به میزان کم باعث ماندگاری گرد و خاک بر روی مقره‌های خطوط و پست‌های فشارقوی شد و منجر به بروز حوادث متعدد در سطح پست‌های برق انتقال و فوق توزیع خوزستان شد و سبب بی برق شدن تعداد زیادی از پست‌های اصلی در این استان و در نتیجه خاموشی‌های وسیع شد. در حوادث بهمن‌ماه ۱۳۹۵ یکی از مواردیکه موجب گسترش ابعاد حادثه گردید زمان نسبتاً طولانی مورد نیاز جهت بازایی پست‌های فشارقوی و وارد نمودن مجدد آنها بود که به علت کمبود تجهیزات مقره‌شور سیار، کمبود پرسنل و نیز زمانبر بودن جابجایی این تجهیزات از یک پست به پست دیگر بود. بطوریکه در فاصله زمانی بین ۸ و ۹ بهمن تا ۲۳-۲۴ بهمن، عملاً تعداد قابل توجهی از پست‌ها، فرصت تمیزکاری و شستشو نیافتند.

آلودگی‌های محیطی و صنعتی در کنار وجود هوای شرجی، بادهای منطقه‌ای و عدم وجود باران‌های دائم در بسیاری از مناطق کشور، باعث گردیده است تا پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی در سطوح ایزولاسیون، قشری از آلودگی، خواص عایقی را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد. وجود چنین حالتی باعث افت خواص عایقی، اتصال کوتاه و نهایتاً قطعی‌های مکرر در مدار و کاهش کیفیت برق می‌گردد. نمی‌توان امید داشت در کوتاه مدت و میان مدت این پدیده اقلیمی را کنترل‌پذیر نمود و نفوذ گرد و غبار و آلودگی و اثرات آن بر ایجاد جرقه و قوس سطحی بر مقره‌ها باعث تحمیل هزینه‌های سنگین به شبکه‌های برق کشور می‌گردد. مهم‌ترین هزینه‌های ناشی از ریزگرد شامل موارد زیر می‌باشد:

- قطع برق‌رسانی
- وارد آمدن خسارات اقتصادی
- اختلال در امور تجاری و صنعتی و اقتصادی
- کاهش کیفیت برق
- عدم رضایت مصرف‌کنندگان
- افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات (شستشوی دوره‌ای دستی یا ماشین‌آلات مقره‌شور)
- استهلاک تجهیزات و ایزولاسیون در شبکه برق‌دار

در این ارتباط یکی از راهکارهای معمول فعلی و نسبتاً پرهزینه، شستشوی دوره‌ای به‌روش سنتی سطوح مقره‌ها برای از بین بردن آلودگی سطحی با اعمال خاموشی است و شستشو وابسته به نوع و کیفیت ایزولاسیون و میزان آلودگی می‌تواند بین چند هفته یا ماه تا چند سال متغیر باشد. در حال حاضر در کشور، عملیات سنتی شستشوی پست به کمک ماشین آب‌پاش یا مقره‌شور مستقر در شرکت‌ها و به صورت بدون برق^۱ انجام می‌شود. البته وقوع گرد و غبارهای بهمن‌ماه سال ۹۵ در خوزستان نشان داده است که تجهیزات و دوره زمانی شستشوی موجود نمی‌تواند جوابگوی پایداری مورد نیاز شبکه باشد. در این مناطق علاوه بر انجام برنامه‌ی منظم دوره‌ای، شستشوی ویژه و اضافی با توجه به رخداد پدیده‌ی شدید و ناگهانی گرد و غبار، باید صورت گیرد. در اینصورت تجهیزات و منابع انسانی و هزینه‌های لازم برای انجام عملیات شستشو افزایش می‌یابد و در شرایط بحران وقوع آلودگی‌های شدید، اقدامات برای این شستشو در مناطق وسیع عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین در روش‌های سنتی، اغلب با خاموشی برق و صرف انرژی و عملیات سخت انسانی قابلیت اطمینان شبکه و رضایت مشترکین کاهش می‌یابد.

برای دور شدن از مشکلات روش‌های سنتی یادشده شستشوی مقره‌ها، سیستم شستشوی ثابت به عنوان یکی از راهکارهای برنامه نگهداری پیشگیرانه در دنیا تعریف شده‌است تا با انجام شستشوی خودکار با تجهیزات ساده و ثابت، در زمان کوتاه، از تجمع آلودگی بر مقره‌های فشارقوی جلوگیری نماید. این سیستم به طور ثابت در پست‌های فشارقوی نصب می‌شود. با ایجاد یک مخزن ثابت آب و با استفاده از نیروی پمپ، آب مقطر از طریق لوله کشی و نازل‌های ویژه نصب‌شونده در مجاورت مقره‌ها و پوشینگ‌های پست، روزانه یا در دوره‌ی زمانی تنظیم‌شونده به مقره‌ها و پوشینگ‌ها با فشار پاشیده می‌شود. این عملیات در حالت برقرار پست انجام می‌گردد و زمان پاشش بسیار کوتاه (به عنوان مثال یک دقیقه) می‌باشد. این عملیات می‌تواند به‌صورت خودکار و بدون دخالت نیروی انسانی و تجهیزات شستشوی معمول انجام گردد و خاموشی در این عملیات نگهداری به صفر می‌رسد. به این ترتیب با شستشوی اتوماتیک روزانه یا هفتگی یا در مواقع بحران جوی، لایه آلوده از سطوح مقره‌ها تمیز می‌گردند و تجمع نمی‌یابند. مهم‌ترین روش‌ها در سیستم شستشوی ثابت عبارتند از:

الف) سیستم اسپری ثابت برای شرایط باد ملایم

ب) سیستم اسپری ثابت برای شرایط باد شدید

برای اعمال سیستم شستشوی ثابت، نازل‌ها بر روی سیستم بصورت محکم نصب و اطراف مقره‌ها قرار می‌گیرند. واحد شستشو از یک گروه به گروه دیگر مقره‌ها و مطابق برنامه تعیین شده شستشو را انجام می‌دهد. یک نمونه از سیستم شستشوی ثابت در شکل (۱-Error! No text of specified style in document.) نشان داده شده است.

^۱ Offline



شکل (۱-Error! No text of specified style in document.): یک نمونه سیستم شستشو ثابت

سیستم شستشوی مکانیزه در مقایسه با روش‌های دیگر در نگهداری و تعمیرات، دارای مزایایی زیر است:

- جلوگیری از انباشت آلودگی روی سطح مقره، به‌ویژه در مناطق با آلودگی‌های صنعتی
- هزینه پیاده‌سازی و اجرای مناسب و منطقی در مقایسه با روش‌هایی مانند پوشش RTV
- عدم دخالت در ساختار سطح مقره و مسائلی نظیر پیرشدگی و تجدید پوشش
- عدم نیاز به واردات مواد اولیه پوشش‌ها
- امکان شستشوی مکرر و دوره‌ای

این سیستم در مقایسه با روش‌های دیگر با محدودیت‌هایی نیز مواجه است؛ نظیر نیاز به تعمیر نگهداری خود سیستم و یا عملکرد در برابر آلودگی‌های نوع آنی، که ممکن است در آن خاموشی رخ دهد ولی در ازای آن، سرعت بازایی می‌تواند بسیار سریع باشد. البته فرآیند نگهداری و تعمیرات سیستم به علت عدم پیچیدگی ساختار و اجزاء ساده است. این پروژه با هدف به طراحی رساندن ایده این سیستم شستشوی ثابت و خودکار مقره‌ها و ساخت نمونه مقیاس کوچک و انجام آزمون بر یک نمونه مقره آلوده پست، برای اولین بار در داخل کشور انجام می‌گردد. این سیستم در حال حاضر با داشتن توجیه اقتصادی و فنی لازم در کشورهای مختلف دنیا مورد نصب و استفاده قرار گرفته است. نتایج مورد انتظار و دستاوردهای حاصل از انجام این پروژه را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

- امکان‌سنجی و انجام طراحی اقتصادی ایده سیستم شستشوی خودکار ثابت مقره‌ها و بوشینگ‌های پست‌های در معرض آلودگی محیطی به عنوان یکی از راهکارهای نگهداری پیشگیرانه
 - امکان ایجاد شستشوی خودکار و مکرر مقره‌ها برای پیشگیری از تجمع آلودگی بر سطوح آن‌ها و به حداقل رساندن رخداد خطای عایقی ناشی از جرقه سطحی
 - امکان طراحی سیستم شستشو به صورت فشرده و با نگهداری و تعمیرات کمینه
 - افزایش قابلیت اطمینان شبکه با کاهش قطعی و خاموشی ناخواسته ناشی از شکست مقره‌های آلوده
 - کاهش خاموشی برنامه‌ریزی شده به دلیل انجام عملیات شستشو در حالت شبکه برقرار
 - تمیز کردن و آلودگی‌زدایی سریع و در حداقل ممکن زمان
 - امکان پذیر بودن تغییر در انجام چرخه‌های شستشوی مقره‌ها به طور خودکار، بسته به تغییر جهت باد، از یک گروه عایق‌ها به گروه دیگر
 - قرار داشتن میزان جریان ناشی مقره برقرار در حالت شستشو در منطقه ایمن آن
 - امکان پذیر بودن تنظیم شدت پاشش و زمان آن با طراحی بخش کنترل متناسب با میزان آلودگی و نیاز
 - کاهش هزینه و تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز برای انجام عملیات شستشو نسبت به روش‌های دیگر
 - عدم نیاز به نیروی ماهر آموزش دیده برای انجام عملیات نگهداری شستشوی دوره‌ای
 - در دسترس بودن امکان شستشوی مقره‌ها در شرایط بحران و کمبود تجهیزات
- در ادامه گزارش در ابتدا به بررسی انواع سیستم‌های شستشوی مقره‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها اشاره خواهیم کرد. سپس تجربیات سایر نقاط دنیا و سیستم‌های پیاده‌سازی شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در انتها نیز الزامات فنی ذکر شده در استانداردهای مرتبط تشریح خواهد شد.

فصل اول: ۱- مطالعه سیستم‌های مختلف شستشوی مقره‌ها در حالت برق‌دار و بدون برق و شناسایی نحوه عملکرد و پارامترهای تعیین کننده در استفاده از آن‌ها

در برخی زمان‌ها مقره نصب شده به دلایل مختلف نمی‌تواند ضوابط مورد نظر در زمان طراحی را به اجرا درآورد و در نتیجه نیازمند اقدامات اصلاحی است. یکی از راهکارها می‌تواند افزایش فاصله خزشی با افزودن تعداد مقره‌های بیشتر یا تعویض نوع مقره باشد. راهکار دیگر نصب مقره با لعاب نیمه هادی بر روی سطوح آن است. اما در کنار این راهکارها، برخی اقدامات نگهداری و تعمیرات می‌تواند به بهبود عملکرد مقره‌ها در مقابل تخلیه الکتریکی ناشی از آلودگی کمک کند، مخصوصاً در مکان‌هایی که تعویض مقره مشکلات و یا هزینه فراوان دارد. برنامه‌های نگهداری می‌تواند بصورت دوره‌ای و نیمه دائمی^۲ باشد. از برنامه‌های نیمه دائمی می‌توان ایجاد پوشش نیمه هادی بر روی سطوح مقره موجود و گریس کاری برشمرده. شستشوی مقره یکی از راهکارها در دسته برنامه‌های نگهداری دوره‌ای است. در شستشوی مقره‌ها نکات بسیاری باید دقت شود از جمله جهت شستشو و هدایت الکتریکی آب که از نگاه عدم ایجاد تخلیه الکتریکی در حین برنامه شستشو بسیار مهم و ضروری‌اند. در ادامه به بررسی سیستم‌های مختلف شستشو در حالت برق‌دار یا بی‌برق مقره و نحوه عملکرد آن‌ها خواهیم پرداخت.

روش‌هایی که جهت شستشوی مقره‌ها استفاده می‌شود بستگی به عواملی نظیر جنس مقره، ساختار، برق‌دار بودن یا نبودن سیستم و همچنین نوع آلودگی بستگی دارد. یکی از دسته‌بندی‌های مرسوم در روش‌های شستشو، دسته‌بندی روش‌ها از نظر برق‌دار بودن یا نبودن است و در هر کدام روش‌های مختلفی ارائه می‌شود که در ادامه بیان شده است.

۱-۱- روش‌های شستشو در حالت برق‌دار

رشد توجه به افزایش قابلیت اطمینان سیستم، نیازمند راهکارهایی جهت اندازه‌گیری و نگهداری سیستم با هزینه کمتر جهت جلوگیری از خروج ناخواسته سیستم است. از میان روش‌های متفاوتی که وجود دارد، شستشوی برق‌دار تجهیزات بسیار با اهمیت است. بطور کلی روش مناسب جهت تمیز کردن مقره‌ها در حالت برق‌دار بستگی به میزان آلودگی و میزان ریسک تخلیه الکتریکی در زمان شستشو بستگی دارد. دسته‌بندی ارائه شده در حالت برق‌دار به شرح زیر است:

۱-۱-۱- پاشش آب با فشار زیاد

^۲ Semi-permanent

در این روش یک باریکه آب با فشار از طریق یک نازل به سمت مقره پاشش می‌شود. فشار آب مطابق با استاندارد استاندارد IEEE 957 [۹] در حدود ۲۷۵۰ kPa تا ۷۰۰۰ kPa و طبق گزارش CIGRE 158 [۱۲] فشار آب بین ۳۰۰۰ kPa تا ۷۰۰۰ kPa است. برخی از آلاینده‌ها مانند فضولات پرندگان بر اثر رطوبت هادی می‌شوند. در نتیجه آب با فشار زیاد برای این آلاینده‌ها در برخی موارد مناسب نیست و بیشتر برای آلاینده‌های محلول کاربرد دارد. از طرفی رسوب‌های آلاینده غیر محلول چسبنده ممکن است تاثیر این روش را کاهش دهد. در صورتی که آلودگی‌ها و لکه‌های موجود بر روی مقره به شدت چسبنده و سخت باشند، استفاده از روش پاک کردن با دست به همراه مواد شیمیایی اجباری می‌گردد.

۱-۲-۱- آب با فشار متوسط

مشابه بند قبل یعنی آب با فشار زیاد است با این تفاوت که به دلیل فشار آب کمتر، استرس وارد شده به تجهیزات و پرسنل کمتر خواهد بود. همچنین جریان نشتی ایجاد شده در تجهیزات نیز در این روش کمتر خواهد بود. فشار آب استفاده شده در این روش طبق استاندارد IEEE 957 [۹] بین ۲۱۰۰ kPa تا ۲۷۵۰ kPa و مطابق گزارش CIGRE 158 [۱۲] بین ۲۰۰۰ kPa تا ۳۰۰۰ kPa است.

۱-۳-۱- آب با فشار کم با نازل نصب ثابت

در این روش یک نازل در مکان ثابتی نصب شده و آب با فشار به سمت مقره پاشش می‌شود. در این حالت فشار آب مطابق با استاندارد IEEE 957 [۹] برابر با ۳۵۰ kPa الی ۱۴۰۰ kPa و طبق گزارش CIGRE 158 [۱۲] فشار آب بین ۳۰۰ kPa تا ۲۰۰۰ kPa است. اگر بطور مرتب نیاز به شستشو وجود داشته باشد از این روش استفاده می‌شود که جهت برداشتن آلودگی غیر محلول بسیار مفید خواهد بود و در کشورهایی نظیر ژاپن بطور گسترده استفاده می‌شود. در مکان‌های غیر ساحلی با آلودگی محلول نیز می‌تواند مفید باشد و منحصر به شرایط ساحلی نخواهد بود. در بعضی از دکل‌های خطوط انتقال طوری لوله کشی می‌گردد تا جریان آب بر روی مقره‌های آویزی ریخته شود. مسیر لوله کشی معمولاً تا قسمت پایین دکل (سطح زمین) جایی که تانک ذخیره آب و پمپ بتوانند به آن متصل شوند کشیده می‌شود. میزان پاشش با توجه به شرایط مانند میزان وزش باد، میزان رطوبت محیط، مقاومت ویژه آب، شدت آلودگی و شکل مقره انتخاب خواهد شد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱-۱) برخی اطلاعات طراحی برای یک نمونه پست

را نمایش می‌دهد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱-۱): اطلاعات طراحی شستشو با فشار آب کم بوسیله تجهیزات نصب ثابت در یک نمونه [۱]

۴۰۰kV	۲۷۵kV	اطلاعات طراحی
۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	حداقل مقاومت ویژه ($\Omega.cm$)
۱۰۰۰	۷۰۰	فشار آب در نازل (kPa)
۴,۳	۳,۱	فاصله نازل تا هادی برق دار (m)
۸ عدد برای CT ۶ عدد برای بقیه	۶ عدد برای کلید و CT ۴ عدد برای بقیه	تعداد نازل برای هر مقره
۷,۴ برای کلید ۶,۲ برای CT ۵,۵ برای بقیه	۴,۷ برای کلید و CT ۳,۵ برای بقیه	دبی آب (L/s)
۲۵	۲۵	مدت زمان شستشو (ثانیه)

در استاندارد IEEE 957 [۹] از این روش جهت شستشوی بوشینگ در ترانسفورماتورها نام برده شده است. برای مقره‌های خطوط انتقال سیستم نازلی ثابت در جهت از قبل تعیین شده آب را از مخزن با فشار ۱۴۰۰ kPa با خروجی پمپ ۲,۵ L/s برای هر نازل به سمت مقره هدایت می‌کند. این روش اجازه شستشو بطور منظم را با مشکلات کمتری فراهم می‌کند تا از انباشت آلودگی جلوگیری شود. دوره زمانی می‌تواند بسته به میزان آلودگی محیط انتخاب شود.

لازم به ذکر است باید برای کل مجموعه یک سیستم کنترلی در نظر گرفت که بطور مداوم مواردی نظیر تجهیزات شستشو، کیفیت آب نظیر مقاومت ویژه و فشار آن، به همراه سطح آب در تانک را بررسی کند. هر موضوعی که پس از شروع شستشو بطور غیر عادی باشد باید روند شستشو را متوقف نمود تا اتفاق ناگواری پیش نیاید. این سیستم کنترلی، فرمان عملکرد از ابتدای تصمیم‌گیری برای شستشو تا انتها را در اختیار دارد. یک سیستم بررسی میزان آلودگی نیز می‌تواند در کنار این سیستم در اتخاذ فرمان شروع شستشو کمک کننده باشد. زیرا زمان شستشو به جهت باد و میزان آلودگی مرتبط است. میزان وزش باد در صورتیکه موجب عدم ریزش آب بر روی سطح مقره شود و یا منجر به پخش شدن جریان آب شود و تاثیر شستشو را بسیار کاهش دهد، ممکن است منجر به تغییر روش شستشو شود.

۱-۱-۴ - شستشو با هوای فشرده

در این روش از ترکیب هوا و مواد ساینده استفاده می‌شود. در این روش بین قسمت‌های فشرده‌ساز هوا و دمنده هوای فشرده، باید یک خشک کننده هوا نیز وجود داشته باشد تا رطوبت را در هوای فشرده شده از بین ببرد. فشرده ساز هوا باید لااقل توانایی فشرده‌سازی هوا به میزان $0,05 m^3/s$ در فشار ۸۵۰ kPa را داشته باشد. دبی هوای مورد نیاز در این روش

در حدود $3,4\text{m}^3/\text{hr}$ است. همچنین یک فشارشکن و یک دستک عایقی یا چوب استیک با سر شیپوری جهت دمیدن مواد بر روی تجهیز^۳ لازم است. مواد ساینده می‌تواند چوب ذرت ترکیب شده با پوست گردو و پودر سنگ آهک باشد. هوای فشرده باید بطور مستقیم به تجهیز مورد نظر دمیده شود. چوب استیک جهت حمل نازل به سمت تجهیز در شرایط برق‌دار مفید است بطوریکه با چوب استیک، این روش در شستشوی تجهیزات تا 50 kV نیز قابل استفاده است. فرایند حقیقی پاک‌کنندگی برای پاک‌کننده‌های خشک بسیار شبیه به عملیات شن‌پاشی (عمل پاک‌کردن با پاشیدن ماسه به همراه باد با فشار زیاد) است و از یک جریان فشار هوای بالا جهت پاشیدن ماده پاک‌کننده به سطح مقرر آلوده استفاده می‌شود. با انتخاب ماده پاک‌کننده مناسب تقریباً هر نوع آلودگی را می‌توان از روی مقرر برداشت نمود. در این روش بایستی با دقت عمل کرد تا از ساییدگی لعاب مقرر و یا آسیب وارد شدن به یراق آلات گالوانیزه آن پرهیز شود. لازم به ذکر است که این روش در مناطق بسیار شرجی مفید نخواهد بود زیرا رطوبت هوا منجر به توده‌ای شدن ذرات شستشو دهنده و در نتیجه جریان دمنده متغیر بر روی سطح مقرر خواهد شد.

گاهی اوقات از یخ خشک (frozen CO_2) نیز به عنوان ماده جایگزین در هوای فشرده استفاده می‌شود. یخ خشک از دسته مواد غیر ساینده به حساب می‌آید و بدلیل استقامت عایقی بالایی که دارد ($3,1\text{ kV/mm}$) مورد توجه است. طریقه اجرا همانند روش پاشش آب با فشار زیاد است که به سطح مقرر دمیده می‌شود. یخ خشک به مواد آلوده در سطح مقرر نفوذ می‌کند و سپس مستقیماً یخ خشک تبدیل به گاز می‌شود که منجر به از بین رفتن آلودگی از سطح می‌شود. هیچ ساینده‌ای در حین این عمل اتفاق نمی‌افتد.

۱-۱-۵ - پاک کردن با چوب استیک

در این روش، شستشوی مقره‌های برق‌دار بوسیله یک چوب استیک انجام می‌شود که این روش معمولاً برای تجهیزات با سطح ولتاژی بین 4 kV تا 69 kV مفید است. فردی که شستشو را انجام می‌دهد می‌تواند روی زمین یا نردبان باشد و از چوب استیک جهت شستشو استفاده نماید. طریقه شستشو نیز مانند روش پاشش آب با فشار زیاد است که پس از شستشوی یک بخش برای حرکت به قسمت بعدی باید مقداری از بخش قبلی نیز شسته شود. حرکت کلی از قسمت برق‌دار شروع می‌شود و در قسمت زمین شده مقرر پایان می‌یابد. چوب استفاده شده معمولاً قطر 20 mm دارد و طول آن 3 متر است. چگالی وزنی در حدود 540 g/m^2 می‌تواند مناسب باشد. فرد شستشو دهنده باید لباس‌های مخصوص این کار را جهت جلوگیری از هر گونه خطر احتمالی پوشیده باشد.

^۳ Applicator wand

۱-۲- روش‌های شستشو در حالت غیربرق‌دار

تمام روش‌های شستشو در حالت برق‌دار، در حالت غیر برق‌دار نیز کاربرد دارد. در حالتی که برق‌دار نباشد دیگر نیازی به رعایت فاصله‌ها نیست اما توجه داشته باشید که پارامترهایی نظیر مقاومت آب در حالت بی برق باید مانند حالت برق‌دار باشد.

یکی از مزایای شستشو در حالت غیر برق‌دار امکان نزدیک شدن به مقره و شستشو با دست است. زمانی که دیگر روش‌ها امکان پیاده‌سازی و اجرا نداشته باشند به سراغ این روش می‌رویم اما باید توجه داشت که این روش بسیار زمان‌بر و بعضاً از لحاظ اقتصادی بیشتر هزینه‌بر است. به عنوان مثال زمانی که آب با فشار زیاد به دلیل نزدیک بودن با تجهیزات برق‌دار یا غیر مفید بودن به دلیل نوع مواد نشسته شده روی تجهیزات، و یا مشکلات ناشی از رفت و آمد تانکر حمل آب عملیاتی نباشد، می‌توان تجهیزات را بی‌برق کرد و از شستشو با دست بهره برد. در این روش ابتدا باید از حوله‌های نرم و غیر مرطوب استفاده شود. در صورت کافی نبودن در از بین بردن آلودگی، می‌توان پارچه را با مواد دیگری مانند حلال، رطوب یا پارافین، یا با اجزای دیگری مانند سیم ظرفشویی (steel wool) یا برس استیلی همراه کرد. زمانی از پدهای نایلونی غیر ساینده (Nonabrasive nylon pad) استفاده می‌شود که پارچه (rag) و دستمال کاغذی (paper towel) موثر نباشد. از سیم ظرفشویی (steel wool) نیز زمانی که پارچه (rag)، دستمال کاغذی (paper towel) و پدهای نایلونی غیر ساینده (Nonabrasive nylon pad) موثر نباشد استفاده می‌شود. البته ممکن است در این حالت بخشی از قسمت‌های فلزی نیز برداشته شود که با صرف دقت بیشتر از بروز آن باید جلوگیری نمود. اگر در مقره‌های غیر پلیمری از حلال‌ها استفاده شد نباید از مواد حلال بر روی تجهیز چیزی باقی بماند و حتماً در انتها با آب باید تمیز گردند. در مقره‌های پلیمری استفاده از مواد حلال توصیه نمی‌شود.

۱-۳- دسته‌بندی انواع آلودگی و نحوه شستشو

بسیاری از آلودگی‌ها تا زمانی که سطح مقره خشک است تاثیر زیادی بر عملکرد مقره‌ها ندارند و معمولاً بوسیله مه، رطوبت یا باران اندک مانند هادی عمل می‌کنند و بر عملکرد مقره تاثیرگذارند. آلودگی‌ها معمولاً با توجه منبع تولیدکننده آن‌ها دسته بندی می‌شوند. پوشش گیاهی، صنایع و آب و هوا، خاک و گرد و غبار محیط اطراف می‌توانند تعیین کننده مواد آلاینده روی مقره‌ها باشند. در یک مکان مشخص معمولاً بیش از یک نوع از این آلودگی‌ها بر روی مقره‌ها رسوب می‌کند. نوع ترکیب و درصد وزنی هر یک از انواع آلودگی‌های رسوب کرده، خواص فیزیکی-شیمیایی ترکیب آلودگی را مشخص می‌کنند. برخی از این آلودگی‌ها به شرح زیر است:

۱- نمک: در مناطق ساحلی یا مناطقی که آب نمکی وجود دارد و یا حتی در کنار بزرگراه‌ها و جاده‌هایی که از نمک برای ذوب کردن یخ‌زدگی و برف روی جاده استفاده می‌کنند ممکن است دیده شود. اگر مدت زمان خشکی هوا طولانی باشد، با یک باران اندک یا حتی مه می‌توان انتظار تخلیه الکتریکی یا جریان نشتی را داشت. لازم است که عملیات شستشو و تمیزکاری مقره‌ها قبل از شروع فصل بارش و یا شرایط هوای شرجی یا مه‌آلود انجام پذیرد. معمولاً این نوع آلودگی در باران شدید یا اعمال جریان آب از بین می‌رود.

۲- سیمان و آهک: مقره‌هایی که کنار کارخانه‌های سیمان یا معادن سنگ استفاده می‌شوند این آلودگی بیشتر دیده می‌شود. پس از مدت زمانی لایه تشکیل شده آنقدر زیاد خواهد شد که به سختی بر روی مقره می‌چسبد و نیاز به شستشو با دست پیدا خواهد کرد. استفاده از مواد شیمیایی و پاک کردن به صورت خشک توصیه شده است.

۳- گردوغبار: منابع مختلفی جهت تولید گردوغبار وجود دارد که برخی از آن‌ها به شرح زیر است:

الف) زمین: شخم‌زدن زمین‌های کشاورزی، ساخت و ساز ساختمانی و موارد مشابه، عامل این نوع آلودگی هستند. در این مورد راه‌حل‌هایی نظیر شستشو با آب، هوای فشرده، پاک کردن (بصورت گرم یا با دست) توصیه می‌شود.

ب) کود: گیاهان و زمین‌های کشاورزی عموماً عامل این نوع آلودگی هستند. لایه‌های ایجاد شده از این نوع آلودگی بر روی سطح مقره معمولاً توسط آب با فشار زیاد نیز از بین نمی‌روند. سایش با دست یا شستشو بصورت خشک بیشتر توصیه می‌شود. لازم به ذکر است که کود مایع با آب هم شستشو می‌شود.

ج) فلزی: ناشی از معادن و فرایندهای معدنی مجاور با آن ممکن است از عوامل این نوع آلودگی باشد که هوای فشرده و پاک کردن (بصورت گرم یا با دست) از راه‌حل‌های آن است.

د) معدن زغال سنگی: معادن زغال سنگ و کارخانه‌های فرآوری محصولات زغال سنگی یا کارخانه‌هایی که سوخت آن‌ها زغال سنگ است منبع این آلودگی هستند. اگر آلودگی شامل دود و خاکستر ناشی از سوزاندن محصولات زغال سنگی باشد، بسیار به سطح مقره چسبیده‌اند و شستشو با آب فشار بالا یا هوای فشرده همراه با ساینده مناسب استفاده می‌شود. اما خود گرد زغال سنگ با روش‌های شستشو با آب، هوای فشرده یا پاک کردن قابل رفع کردن است.

ه) خاکستر آتش فشانی: فعالیت آتش فشانی در مدت زمان کوتاهی آلودگی قابل توجهی را در اتمسفر منتشر می‌کند. این مواد به سادگی قابل پاک کردن از روی مقره نیستند باید هر چه سریعتر بعد از فعالیت آتش فشان نسبت به رفع آن اقدام نمود. شستشو با آب یا هوای فشرده یا پاک کردن گرم یا با دست از راه‌حل‌های آن است.

۴- فضولات پرندگان: مقره‌هایی که در مسیر رفت و آمد و یا کوچ گروهی پرندگان قرار دارند مستعد این نوع آلودگی هستند. تمامی روش‌ها مانند شستشو با آب یا هوای فشرده یا پاک کردن گرم یا با دست برای رفع این مشکل مفید است.

۵- شیمیایی: فرآیندهای شیمیایی صنایع و اسپری کودهای شیمیایی به گیاهان مجاور با مقرردها، از منابع این نوع آلودگی است. خصوصیات شیمیایی این دسته بسیار متنوع است. برخی که حلال یا غیر حلال در آب هستند باید با دست شستشو داد.

۶- دود ناشی از وسایل نقلیه: در مناطق شهری یا مجاور با دیزل ژنراتورها بیشتر دیده می‌شود. معمولاً در این مناطق مواد شیمیایی صنعتی هم به آلودگی موجود اضافه می‌شود. روش‌های مختلف مانند شستشو با آب یا هوای فشرده یا پاک کردن گرم یا با دست در این نوع آلودگی مفید است.

۷- مواد منتشر شده از برج‌های خنک کننده: مخلوطی از بخار آب و مواد حل نشدنی است. در شرایط باد و دمای معمولی، پس از خروج از برج از بین می‌رود و اثری بر روی مقررده ندارند. اما در شرایط خاصی از آب و هوا مه ایجاد شده ناشی از این برج‌ها، ممکن است منجر به مرطوب سازی مقررده‌های خشک و آلوده شوند یا در صورت وجود سرمای بیشتر، لایه یخی بر روی مقررده ایجاد کند. شستشو با آب یا یخ خشک می‌تواند مفید باشد.

۸- مواد ارگانیک: در شرایط خاص آب و هوایی ممکن است بر روی سطح مقررده موادی مانند جلبک یا کپک قارچی بوجود بیاید که روش‌های مختلف مانند شستشو با آب یا هوای فشرده یا پاک کردن گرم یا با دست در این نوع آلودگی مفید است.

۹- برف و یخ: در صورتی که دما کمتر از 2°C باشد خود این آلودگی یک نوع عایق الکتریکی است. اما در دمای بیشتر کم کم ذوب شده و هادی خواهد شد که به تخلیه الکتریکی کمک خواهد کرد. برف و یخ سنگین را می‌توان با آب گرم شستشو داد. مقاومت ویژه آب باید بیش از $50000\Omega\cdot\text{cm}$ باشد (هدایت پذیری کمتر از $20\mu\text{S}/\text{cm}$). دلیل نیاز به آب خالص با مقاومت ویژه بالا این است که مقاومت ویژه آب با افزایش دما از 25°C به 70°C با ضریب ۲ کاهش می‌یابد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱-۲): خلاصه‌ای از انواع مواد آلاینده و راهکارهای رفع آن را نمایش می‌دهد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱-۲): انواع آلاینده‌ها و راهکارهای اولویت‌دار توصیه شده جهت رفع آن

نوع آلودگی	شستشو با آب		هوای فشرده خشک		پاک کردن	
	فشار کم	فشار بالا	چوب ذرت و گردو	یخ خشک	گرم	دستی
نمک	✓	✓				✓
سیمان و آهک			✓	✓	✓	✓
گردوغبار زمین	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓	✓	✓	✓	✓	✓	گردوغبار کود
✓	✓	✓	✓			غبار فلزی
✓	✓	✓	✓	✓	✓	غبار زغال سنگی
✓	✓	✓	✓	✓	✓	خاکستر آتش فشانی
✓	✓	✓	✓	✓	✓	فضولات پرندگان
✓		✓	✓		✓	شیمیایی
✓	✓	✓	✓	✓	✓	دود وسایل نقلیه
		✓	✓	✓	✓	مواد برج خنک کننده
✓	✓	✓	✓	✓	✓	دوده و بخار زغال سنگی
✓	✓	✓	✓	✓	✓	مواد ارگانیک
✓			✓	✓		برف و یخ
✓	✓	✓	✓			گریس نفتی

۴-۱- خلاصه‌ای از انواع و توضیحات روش‌های شستشو

جدول (Error! No text of specified style in document. ۳-۱): خلاصه‌ای از روش‌های شستشو و شرایط

استفاده آن‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۳-۱): خلاصه‌ای از انواع روش‌های شستشو و شرایط استفاده آن‌ها

نام روش	حالت برق‌دار	حالت غیر برق‌دار	توضیحات
پاشش آب با فشار بالا	بله	بله	
پاشش آب از اسپری نصب ثابت	بله	بله	نصب شده بطور دائم بر روی ساختاری که نیاز به شستشو دوره ای زیاد است. مناسب برای بوشینگ ترانسفورماتورها و آلودگی نمکی
پاشش آب با هلی کوپتر	بله	بله	سریع‌ترین روش برای شستشوی چندین سایت و مناسب برای مکان‌های غیرقابل دسترس
پاشش آب با نازل کنترل از راه دور	بله	بله	مناسب برای زمانی که استفاده از پرسنل خطرناک باشد و یا شستشو بوسیله پرسنل مشکل باشد.
پاشش آب با نازل با حمل دستی	بله	بله	متداول‌ترین و کم‌هزینه‌ترین برای تعداد کم که در بیشتر مکان‌ها قابل اجراست
پاشش آب با فشار متوسط	بله	بله	استرس کمتر به تجهیزات و پرسنل نسبت به فشار بالا
پاشش آب با فشار کم	بله	بله	

شستشو با هوای فشرده خشک	بله	بله	جهت زدودن آلاینده با حجم زیاد
چوب ذرت و گردو	بله	بله	مواد ساینده جهت مواد آلاینده با حجم زیاد و چسبنده
پودر سنگ آهک	بله	بله	جهت افزایش ساینده‌گی به چوب ذرت و گردو اضافه می‌شود
یخ خشک	بله	بله	خاصیت ساینده‌گی ندارد
پاک کردن گرم	بله	بله	زمانی که تجهیز در دسترس نباشد و یا نیاز است قبل از شستشوی گرم، با چوب استیک و این روش احتمال تخلیه الکتریکی را کاهش داد.
پاک کردن دستی	خیر	بله	
سیم ظرفشویی (steel wool) و پد نایلونی (nylon pad)	خیر	بله	
حلال	خیر	بله	جهت شستشوی بهتر غیر از مفره‌های پلیمری

۱-۵- بررسی تجربیات سایر کشورها

در چند سال اخیر روش شستشوی ثابت مفره‌ها که در بخش قبل بطور مختصر به عنوان یکی از روش‌های شستشو معرفی شد مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است بطوریکه در برخی کشورها این روش پیاده سازی شده و نتایج موفقیت‌آمیز آن نسبت به روش‌های دیگر نشان داده شده است. در ادامه با اشاره به تجربه کشورها، سعی شده است تشریح مختصری از پارامترهای استفاده شده در هر کشور بیان شود.

۱-۵-۱- شرکت Ascotech Sprinkler

شرکت Ascotech Sprinkler [۱۳] در کشور ایتالیا با نصب ده‌ها سیستم شستشوی ثابت مفره برق‌دار جهت محیط با آلودگی نمکی یکی از عامل‌های تولید و نصب این نوع روش در اروپا به شمار می‌رود. کارهای انجام شده در سطوح ولتاژی مختلف تا ۵۰۰kV بوده است. بیشتر پروژه‌های این شرکت در کشور ایتالیا بین سال‌های ۱۹۵۸ الی ۲۰۰۹ بوده است اما در کشورهای دیگری نظیر سوریه، قطر و پاکستان نیز سابقه نصب دارند. یک نمونه از کارهای این شرکت در تصویر سمت چپ در شکل (Error! No text of specified style in document. ۱-۲) نمایش داده شده است. همانطور که دیده می‌شود برای یک کلید در ۴ طرف نازل نصب شده است که در هر طرف دو نازل با زاویه مختلف قرار داده شده است. احتمالاً این نوع از نصب به دلیل ارتفاع کلید بوده است زیرا تصویر سمت راست در شکل (Error! No text of specified style in document. ۱-۲)، در هر طرف تنها یک نازل قرار داده است.



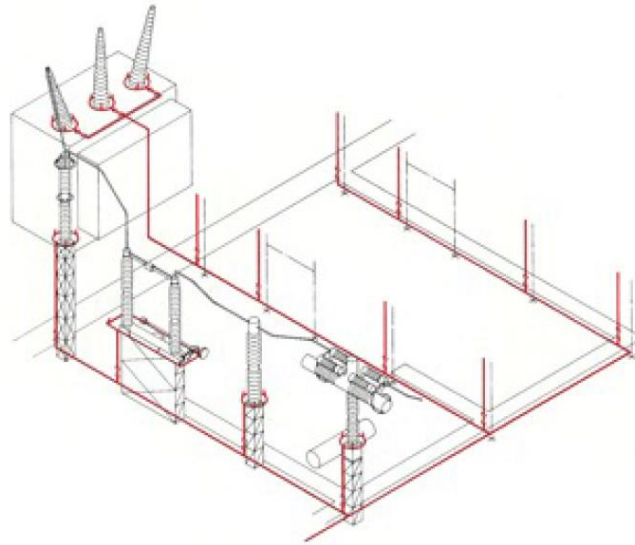
شکل (۱-۲): نمونه‌های شستشوی مقرر توسط شرکت Ascotech Sprinkler

در شکل (۱-۲) برای یک مقرر نگهدارنده خط در کشور قطر، در هر فاز تنها دو نازل در دو سمت مقرر قرار داده شده است که نسبت به تصاویر شکل (۱-۲) **Error! No text of specified style in document.** بنظر می‌رسد پخش شدن آب بیشتر است. جهت وضوح بیشتر، تصویر سمت چپ بزرگ شده تصویر سمت راست است.



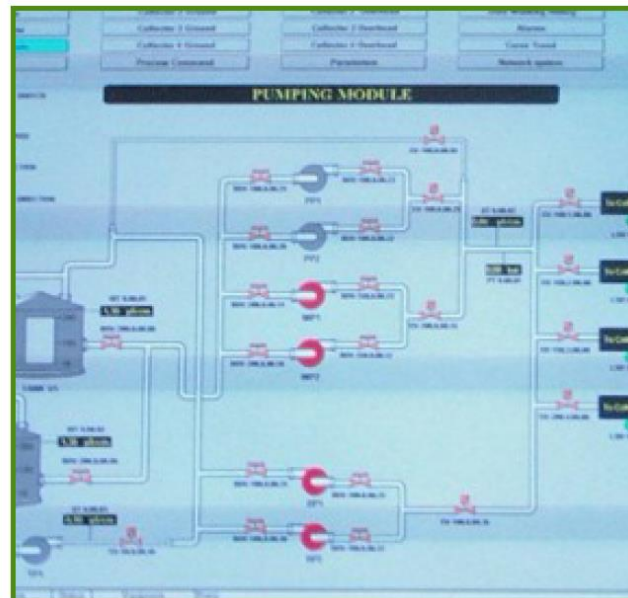
شکل (۱-۳): سیستم شستشوی ثابت در مقرر نگهدارنده در کشو قطر نصب شده توسط شرکت Ascotech Sprinkler

در شکل (۱-۴) یک نمونه از آرایش خطوط آب رسانی جهت شستشو و حلقه‌های آب‌پاش را ملاحظه می‌شود. خطوط آب رسانی می‌تواند زیر و یا روی زمین کشیده شوند و باید به گونه‌ای باشد که نیازمندی‌های سیستم مورد نظر جهت شستشو را تامین کند. همانطور که نشان داده شده است در اطراف مقره‌های ایستا و بوشینگ ترانسفورماتور حلقه‌های آب‌پاش قرار دارد که می‌تواند بسته به ابعاد سیستم و با توجه به میزان مورد نیاز برای شستشو، ۲ تا ۸ نازل داشته باشد.



شکل (۴-۱) نمایی از آرایش خطوط آب رسانی پیشنهاد شده در یک پست
توسط شرکت Ascotech Sprinkler

شرکت Ascotech Sprinkler برای نظارت بر عملکرد سیستم شستشوی ثابت نرم‌افزاری تهیه کرده است تا وضعیت هر بخش را پایش نماید. شکل (۵-۱) نمایی از نرم‌افزار این شرکت را نمایش می‌دهد. وضعیت شیرها، حجم آب مخزن تانک و پمپ‌های روشن یا سرعت چرخش آن‌ها از جمله مواردی است که در این سیستم نمایش داده می‌شود.



شکل (۵-۱) نمایی از نرم‌افزار پایش وضعیت سیستم آب رسانی در
پیاده‌سازی شستشوی ثابت مقره‌ها توسط شرکت Ascotech Sprinkler

فهرستی از برخی پروژه‌های اجرا شده توسط شرکت Ascotech Sprinkler و سطوح ولتاژی آن‌ها در جدول (Error! No text of specified style in document. ۴-۱) آورده شده است. این شرکت در زمینه سیستم‌های ضد حریق نیز فعالیت دارد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۴-۱): برخی از پروژه‌های انجام شده در سطح دنیا توسط شرکت

Ascotech Sprinkler			
شرکت درخواست کننده	ولتاژ نامی (kV)	محل اجرا	سال اجرا
SME Napoli	۶۰	Lazio, Italy	۱۹۵۸
Rumianca	۱۲۰	Carrara, Italy	۱۹۶۰
Ese Catania	۷۰/۱۵۰	Porto Empedocle, Italy	۱۹۷۰
Società Elettrica Valdarno	۲۲۰	Livorno, Italy	۱۹۷۳
Hydroelectrica De Cataluna	۱۱۰/۲۲۰	Barcellona, Spain	۱۹۸۲
Mew Qatar	۱۶۵	As Samiriyah, Qatar	۱۹۹۴
Ministry Of Electricity Pakistan	۵۰۰	UB River, Pakistan	۱۹۹۵
Peegt	۴۰۰/۲۳۰/۶۶/۲۰	Jandar, Syria	۲۰۰۹

۱-۵-۲- شرکت Wilorton

شرکت Wilorton [۱۴] از سال ۱۹۹۸ در زمینه کلی طراحی، مهندسی و مدیریت انرژی الکتریکی فعالیت دارد. در زمینه شستشوی مقرر، علاوه بر دارا بودن تجهیزات شستشوی سیار، در نصب تجهیزات شستشوی ثابت نیز خدمات ارائه می‌دهند. بخش شستشوی ثابت به دو نوع تقسیم‌بندی شده است؛ در نوع اول سیستم آب رسانی و لوله‌کشی مناسب بر روی تجهیزات مورد نظر جهت شستشو نظیر مقره‌های نصب شده روی دکل‌های فشار قوی و یا مقره‌های اتکایی نصب می‌شود. تانک آب به همراه پمپ بوسیله یک کامیون به محل ورودی نازل سیستم آب رسانی آورده و جریان آب برقرار می‌شود (شکل (Error! No text of specified style in document. ۶-۱)). ممکن است وزن سیستم پمپ به ۲۰۰۰ kg نیز برسد و لازم باشد وسیله نقلیه تا ۱۵۰۰۰ لیتر آب حمل کند. مزیت این روش این است که با هزینه کمتر با یک دستگاه پمپ و مخزن تانک، می‌توان بخش وسیعی از منطقه‌ای با چند پست را شستشو داد. اما مشکل بزرگ آن بر مداوم نبودن، در دسترس نبودن همیشگی و زمان بر بودن انتقال پمپ و تانک آب از یک پست به پست دیگر است. همچنین برخی مسیرهای عبوری دکل‌ها جهت انتقال سیستم پمپ و تانک آب عملاً غیر ممکن است. در روش دوم هر پست، مجموعه تانک و پمپ خود را دارد و توسط یک سیستم خودکار، شستشو در زمان‌های تعریف شده یا به فرمان اپراتور شروع شده و در نقاط مختلف انجام می‌شود. حسن این روش سرعت عمل در شستشو و قابلیت انجام در هر زمانی

است که اپراتور تشخیص دهد. بر طبق ادعای این شرکت در هر دو روش استانداردهای بین المللی رعایت شده است [۹-
[۱] ولی در صورت اعلام استفاده کننده از این سیستم می توان قوانین سخت گیرانه دیگری نیز اعمال نمود.



شکل (۱-۶): نمایشی از سیستم آب رسانی یک دکل ۵۰۰kV در نوع اول
شستشو ثابت شرکت Wilorton

مناطق مختلف یک پست با توجه به اولویت شستشو، مانند شرایط وزش باد، تقسیم بندی شده و در هر قسمت، سه فاز بطور همزمان شسته می شوند. شیر کنترل ورودی آب در سیستم شستشوی هر بخش با بخش دیگر مجزا شده است. به عنوان مثال در یک دکل سه فاز دو مداره و یا سه CT که برای سه فاز مختلف هستند همزمان شسته می شوند و بین شستن یک فاز و فاز دیگر فاصله زمانی وجود ندارد. بطور متوسط هر بخش ۲۵ ثانیه تحت شستشو قرار می گیرد و کل تجهیزات یک پست در کمتر از یک ساعت شسته می شوند. شکل (۱-۷) تصویر یک نمونه شستشوی مقره های نصب شده بر روی یک دکل را نمایش می دهد. همانطور که **Error! No text of specified style in document.** (۷-۱) **document.** تصویر یک نمونه شستشوی مقره های نصب شده بر روی یک دکل را نمایش می دهد. همانطور که مشخص است برای یک مقره آویزی در حدود ۳ نازل در نظر گرفته شده است تا عملیات شستشو بر روی تمام سطوح مقره انجام شود. تعداد نازل به نوع مقره و میزان آلودگی وابسته است که توسط تیم طراحی با آزمایشات می تواند تعیین شود. برای مقره های شبکه با ولتاژی بیش از ۱۳۲kV فشار آب بین ۲۷۵۰kPa الی ۷۰۰۰kPa توسط شرکت Wilorton پیشنهاد شده است که آب دمیترال شده دارای هدایت پذیری کمتر از ۲۰μS/cm است و حداقل ۱۸۰۰L/min ظرفیت خروج آب دارد. برای خطوط ۳۳kV فشار آب ۱۴۰۰kPa الی ۲۱۰۰kPa با حداکثر هدایت پذیری ۲۰۰μS/cm مورد نیاز

است که حداقل 90 L/min ظرفیت خروج آب دارد. بطور کلی شستشو در زمانی که سرعت وزش باد بیش از 25 km/h یا 7 m/s است نباید انجام شود. هر چه سرعت باد کمتر باشد تاثیر شستشو بیشتر خواهد بود. در پایان زمان شستشو نیز باید آب باقی مانده در سیستم آب رسانی تخلیه شود. زیرا در مرور زمان این آب کیفیت خود را از دست داده و در شستشوی بعدی ممکن است منجر به تخلیه الکتریکی مقره دار شود.



شکل (۷-۱) نمایش از پاشش آب در روش شستشوی ثابت یک دکل توسط شرکت Wilorton

شرکت Wilorton پیشنهاد داده است برای شستشوی هر تجهیز یک حلقه نازلی طراحی گردد تا تجهیز مورد نظر از جهات مختلف تحت شستشو قرار گیرد. جهت درک بهتر شکل (۷-۱) **Error! No text of specified style in document.** نمایش از سیستم آب رسانی برای یک مقره کششی (سمت چپ) و آویزی (سمت راست) را به رنگ قرمز نشان می دهد. دو تصویر سمت راست در شکل (۸-۱) **Error! No text of specified style in document.** مقره های یک پست GIS گازی را همراه با سیستم آب رسانی به رنگ قرمز نمایش می دهد. دو تصویر سمت چپ در شکل (۹-۱) **Error! No text of specified style in document.** نیز نمونه عملیاتی شده این سیستم در الجزایر است. بنظر می رسد برای مقره های کششی در هر ۴ سمت نازل قرار داده و برای شستشوی بخش پایینی مقره، دو نازل قرار داده شده است.



شکل (۱-۸): طرحواره‌ای از سیستم آب رسانی شرکت Wilorton برای مقره کششی و آویزی



شکل (۱-۹): نمایی از سیستم آب رسانی شرکت Wilorton برای مقره پست GIS در الجزایر

قبل از شروع عملیات شستشو همانطور که در استانداردها نیز ذکر شده است باید شرایط سیستم شستشو نظیر سطح آب در داخل مخزن، هدایت‌پذیری و کیفیت آب، سرعت باد، فشار آب و سالم بودن تمام اجزای آب رسانی بررسی شود. کیفیت آب از طرف شرکت Wilorton بصورت جدول (۱-۵) اعلام شده است.

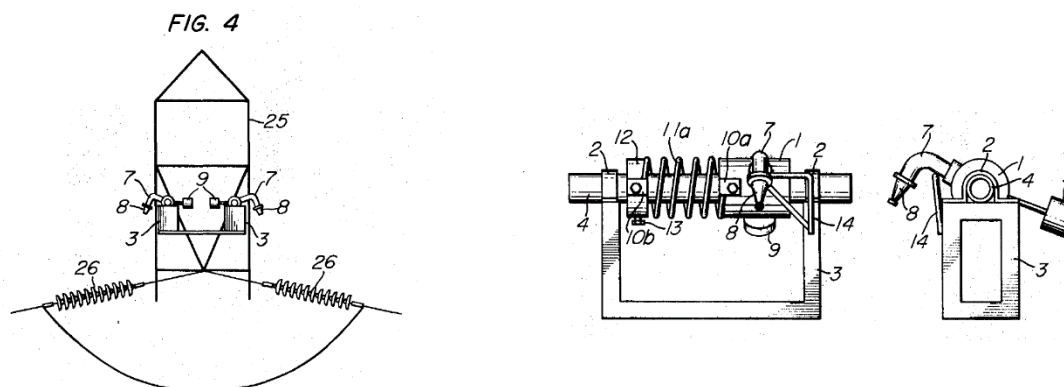
جدول (Error! No text of specified style in document. ۵-۱): مشخصات آب مورد استفاده در شستشو برق دار توسط شرکت

هدایت پذیری ($\mu\text{S/cm}$)	مقاومت ویژه ($\Omega\cdot\text{cm}$)	سطح ولتاژی (kV)
۵۰ >	۲۰۰۰ <	۵۰۰
۱۰۰ >	۱۰۰۰ <	۲۲۰
۱۰۰ >	۱۰۰۰ <	۱۳۲-۱۱۰
۶۶۰ >	۱۵۰۰ <	۳۳-۱۱

شرکت Wilorton از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۲ بیش از ۱۸ سیستم شستشو در پست‌ها و مکان‌های کشور عربستان نصب کرده است. همچنین در کشورهای نظیر مصر، سربلانکا، الجزایر و لیبی نیز فعالیت داشته است.

۱-۵-۳- شرکت NGK Insulators

این شرکت در سال ۱۹۱۹ در ژاپن تاسیس شد [۱۵]. در سال ۱۹۶۸ جهت شستشوی ثابت مقره‌ها روش معرفی شده توسط این شرکت در پایگاه ثبت اختراعات آمریکا به ثبت رسید [۱۰]. در اختراع این شرکت برای نازل ثابت نصب شده به کمک یک فنر و با تغییر فشار آب حرکت مختصری جهت شستن تمام بخش‌های مقره ایجاد شده است. جهت درک بهتر سمت راست شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۰-۱) نمایی از اختراع مذکور را نمایش می‌دهد. نمایی از نصب این تجهیز بر روی خط انتقال نیز در سمت چپ شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۰-۱) نشان داده شده است.

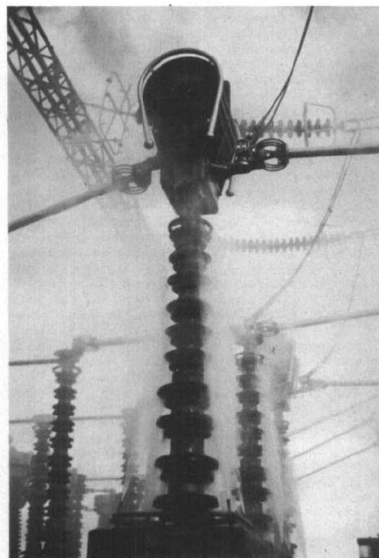


شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۰-۱): نمایی از سیستم شستشو ثابت اختراع شده توسط شرکت NGK insulator

نحوه عملکرد بدین صورت است که نازل بر روی یک غلطک متحرک نصب شده است و در کنار این غلطک فنر قرار داده شده است. آب از طریق محل مشخص شده با عدد ۴ در شکل وارد شده و از طریق نازل به سمت مقره پاشش می‌شود. فشار آب هنگام خروج از نازل منجر به ایجاد نیرویی به سمت عقب به نازل می‌شود. اما فنر متصل به غلطک باعث می‌شود تا متناسب با فشار آب، میزان عقب رفتن نازل و در نتیجه تغییر زاویه پاشش آب به سمت مقره تغییر کند. در این صورت با تغییر فشار آب خروجی از کم به زیاد می‌توان ابتدای مقره که مطابق تصویر سمت چپ شکل (*Error!*) *No text of specified style in document.* ۱- به دکل متصل است تا انتهای مقره را با پاشش آب شستشو داد. یکی از مشکلات این اختراع امکان تغییر عملکرد به مرور زمان و نیاز به تغییر فنر نصب شده بر روی غلطک است. با توجه به اینکه این تجهیز معمولاً در مناطق با آلودگی سنگین نصب می‌شود و شستشو باید چندین مرتبه در سال انجام شود، نگهداری و تعمیرات این تجهیز ممکن است مساله ساز شود. زیرا نصب این تجهیز نیاز به بی برق کردن سیستم دارد.

۱-۵-۴- شرکت CEGB

شرکت CEGB (Central Electricity Generating Board) در سال ۱۹۵۸ در انگلستان تاسیس و حوالی سال ۲۰۰۰ به کار خود پایان داد [۱۷]. از نتایج تحقیقات در این شرکت مقالات و انتشارات مختلفی به چاپ رسیده است [۱۶]. در یکی از مقالات منتشر شده از این شرکت در سال ۱۹۷۸ [۱۱]، نمایی از نصب سیستم شستشو ثابت برای یک مقره ۴۰۰kV نشان داده شده است (شکل (*Error! No text of specified style in document.*) ۱-۲۱)). همانند توضیحات شرکت Wilorton تعدادی نازل بر روی یک رینگ در پایین مقره وظیفه پاشش آب دارند تا قسمت‌های پایینی مقره بصورت مستقیم و قسمت‌های بالایی بطور غیر مستقیم مورد شستشو قرار گیرند.



شکل (۱-۲۱): یک نمونه سیستم شستشو ثابت برای یک مقره ۴۰۰ kV
شرکت CEGB

این شرکت در سیستم شستشو ثابت مقره ۴۰۰ kV از یک پمپ آب با قابلیت آب رسانی با نرخ ۶۰ L/s و ایجاد فشار آب برابر با ۱۲,۵ bar استفاده کرده است که در خروجی نازل فشار آب شستشو به ۹ bar می‌رسد. نرخ خروج آب در هر نازل بین ۵ تا ۶ L/s است و تانک ذخیره آب ظرفیت ۱۵۰۰۰ لیتر دارد. آب مورد استفاده نیز بیشینه هدایت‌پذیری $500 \mu\text{S/cm}$ دارد. بر اساس سطح مقطعی که باید شسته شود نرخ خروج آب تعیین خواهد شد که این محاسبات با انجام آزمایشات مختلف بدست آمده است. جدول (۱-۶) نتایج آزمایشات انجام گرفته توسط این شرکت را نمایش می‌دهد. بر طبق ادعای شرکت CEGB میزان هدایت‌پذیری آب از $500 \mu\text{S/cm}$ در سطح ولتاژ ۴۰۰ kV می‌تواند به $200 \mu\text{S/cm}$ در سطح ولتاژ ۳۳ kV برسد. سیستم پیشنهاد شده تا زمانی که سرعت باد کمتر از ۱۲ m/s باشد قابلیت کارکرد دارد.

جدول (۱-۶): نتایج آزمایشات شرکت CEGB بر رابطه تعداد نازل، فشار آب و سطح ولتاژ

سطح ولتاژ (kV)	فشار آب (bar)	تعداد نازل	دبی آب بر تعداد نازل (L/s)
۴۰۰	۹	۶	۰,۸
۲۷۵	۸	۴	۰,۷
۱۳۲	۵	۴	۰,۴۵
۳۳	۴	۲	۰,۰۶

۱-۶- استخراج الزامات فنی و استانداردهای مرتبط و پارامترهای تعیین کننده در سیستم شستشوی ثابت مقره‌ها در دنیا

در بخش دوم از گزارش انواع روش‌های شستشو بیان شد. روش‌های گفته شده مطابق با استانداردهای این حوزه هستند [۹ و ۱۲]. در نتیجه از تکرار آن‌ها در این بخش خودداری می‌شود. علاوه بر مطالب قبلی، آنچه لازم است بررسی شود تجهیزات شستشو و برخی مشخصات مورد تایید آن در استانداردها است. همچنین برخی ملاحظات مرتبط با تجهیز تحت شستشو نیز باید عنوان گردد. در انتها نیز ملاحظات ایمنی شستشو بیان می‌شود.

۱-۶-۱- تجهیزات شستشو

بطور کلی تجهیزات لازم جهت شستشوی یک تجهیز عبارتند از پمپ، سیستم تامین کننده توان پمپ، تانک، مسیر انتقال آب، نازل و آب با کیفیت مشخص. در ادامه هر یک از موارد گفته شده بررسی می‌شوند.

• پمپ

جهت شستشوی مقره معمولاً دو نوع پمپ گریز از مرکز^۴ و پمپ محوری^۵ داریم که کاربر می‌تواند بسته به مشخصات و هزینه‌ای که انجام می‌دهد هر کدام را انتخاب کند. ویژگی هر پمپ به شرح زیر است:

• پمپ گریز از مرکز

دارای مجموعه یک یا ۴ طبقه‌ای از پروانه‌های سری شده است که معمولاً در حوزه آتش‌نشانی کاربرد دارد. آب از تانک به پروانه اول کشیده می‌شود و در پروانه‌های بعدی فشار آن نیز افزایش می‌یابد. یک مجموعه چرخ دنده نیز به چرخ طیار یک واحد دیزلی یا گازوئیلی و یا هر سیستم تولید نیروی دیگری پیچ شده است. هر چند که مشخصات پمپ‌ها در کارخانجات مختلف متفاوت است، معمولاً یک پمپ ۴ طبقه‌ای توانایی کارکرد تا ۷۰۰۰kPa با سرعت تخلیه $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ یا 5 L/s را دارد که سرعت بخش دوار آن تا ۹۶۰۰rpm خواهد رسید. در زمانی که حجم آب مورد نیاز زیاد باشد می‌توان یک پمپ تک طبقه را با استفاده از میل لنگ یک موتور جهت تامین آب یک پمپ ۴ طبقه استفاده نمود. طراحی گریز از مرکز اجازه می‌دهد تا لرزش داخلی بعد از جدا شدن ناگهانی تفنگ پرتاب آب یا کنترل کننده از راه دور،

^۴ Centrifugal

^۵ Positive displacement

نرم‌تر به بخش‌های دیگر منتقل شود. در نتیجه نیازی به میراکننده نوسانات ندارد. بطور کلی بدون ضربه مکانیکی، قابلیت انتقال و افزایش فشار جریان آب را ایجاد می‌کند.

• پمپ محوری

یک یا چند پیستون فرآیند ایجاد فشار بالا را انجام می‌دهند. این پمپ توسط کمربندهای واشری و شیارهایی به تولیدکننده نیرو که قابلیت کار با کمربندهای واشری به همراه قرقره‌ها با اندازه‌های مختلف را دارد، متصل می‌شود تا بتواند تعداد دور در دقیقه‌های متفاوتی را به پمپ جهت ایجاد مقادیر مختلفی از فشار و جریان آب منتقل کند. معمولاً یک میراکننده مکش یا جذب کننده شوک همراه با میراکننده خروجی و متراکم کننده فشار نیاز است. یک دریچه جهت کاهش فشار برگشتی در شروع پمپ کردن در نظر گرفته شده است. این پمپ همراه با تجهیزات جانبی معمولاً گران‌تر از پمپ گریز از مرکزی خواهد شد و توصیه نمی‌شود.

• سیستم تامین کننده نیروی توان پمپ

سیستم تامین کننده نیروی توان پمپ باید دارای منحنی گشتاور به دور بر دقیقه متناسب با سیستم پمپاژ باشد. موتورهای گازوئیلی در rpm بالاتری نسبت به دیزلی کار می‌کنند. البته می‌توان به کمک چرخ دنده‌های مختلف و کمربندهای واشری به نیروی مناسب رسید. مزیت استفاده از چند موتور تامین کننده نیروی پمپ در عدم نیاز به روشن کردن یک موتور بزرگ تولید توان برای فشار و جریان آب نه چندان زیاد است و عیب آن نیز وزن زیاد ایجاد شده و پیچیدگی اضافه شده برای کار با چندین موتور است. گاهی تا توان ۶۷kW نیرو نیاز است و تغییرات سرعت این موتورها معمولاً از ۶۰٪ تا ۱۱۵٪ به کمک چرخ دنده‌ها در دسترس است. محل پمپ بر خروجی و نوع شاسی سیستم تامین کننده نیرو موثر است. دریچه کنترل کننده‌ای باید رابطه‌ای میان بستن دریچه نازل و سرعت موتور و پمپ برقرار کند بطوریکه وقتی تفنگ پاشش آب بسته می‌شود همزمان rpm موتور نیز کاهش و صفر شود. هر زمان نیز که دریچه تفنگ آب پاش باز شد دوباره سرعت موتور و پمپ بطور خودکار افزایش یابد.

• تانک

جنس بدنه از پوشش فولاد نرم، فولاد ضد زنگ و فایبرگلاس باید باشد. تانک باید بر روی یک ساختار صلب و محکم مانند قاب تریلر یا تیر حایل استیل-آلومینیومی باشد. در تانک با ابعاد بزرگ احتمال تکان خوردن و خمیدگی وجود دارد باید از ساختار نگهدارنده‌های فنری استفاده نمود که با تنش مکانیکی احتمالی قابلیت انعطاف وجود داشته باشد. تانک‌های فایبرگلاسی یا پلاستیکی محدودیت ظرفیت تا $1,9m^3$ دارند. داخل بدنه تانک با فولاد نرم با پوشش مناسب و خارج آن

با رنگ کردن باید از زنگ زدگی محافظت شود. معمولاً داخل تانک پوشش‌هایی که بر روی شار جوش کارخانجات در محفظه داخلی زده می‌شود باید پاک شود. پوشش اپوکسی می‌تواند گزینه مناسبی باشد تا با غوطه‌ور شدن در آب مشکلی برایش پیش نیاید. بهتر است در خروجی محل مکش آب جهت جلوگیری از ایجاد جریان آب گردابی^۶ وسیله‌ای تعبیه شود.

ابعاد تانک می‌تواند نوع جنس بدنه، ضخامت آن، نوع موج‌گیر و تعداد و مکان آن‌ها را مشخص سازد. در مواردی که تانک از جنس فولاد نرم به ابعاد $1,9m^3$ تا $4,5m^3$ ساخته شده باشد، $3,4mm$ برای ضخامت فولاد با $3,4mm$ برای پوشش عایقی مانند پشم شیشه می‌تواند مناسب باشد. برای تانک از جنس استیل ضد زنگ نیز ابعاد $1,9m^3$ تا $9,5m^3$ در نظر می‌گیرند که $2,7mm$ برای ضخامت استیل با $3,4mm$ برای پوشش عایقی می‌تواند مناسب باشد. لازم به ذکر است که موج‌گیر و پایه تانک در ضخامت مواد تاثیرگذار است. معمولاً تانک آب از $0,19m^3$ تا $1,9m^3$ تا $9,5m^3$ برای شستشوی مقرر شده استفاده می‌شود. نوع منبع آب، میزان شستشو، امکان جابجایی تانک، و عوامل مختلف دیگر بر ظرفیت تانک تاثیرگذارند. نشانگر میزان آب داخل تانک الزامی است. در حالت پیشرفته اگر سطح آب از حدی کمتر شد باید سیستم آب رسانی را بطور خودکار قطع نماید.

• مسیر انتقال آب

محدودیت‌ها و موانع در مسیر انتقال آب از پمپ به نازل بر روند شستشو تاثیرگذار است. مسیر انتقال آب و سیستم مکنده، باید به حد کافی و بیشتر از حد لازم ظرفیت عبور جریان آب مورد نیاز را داشته باشند تا کاهش فشار آب کمتر شود. هر چه ابعاد مسیر انتقال آب و سیستم مکنده بزرگتر باشد امکان انتقال آب با تلفات فشار کمتری فراهم است هر چند که قیمت بالاتر، سنگین‌تر و زاویه خمش بیشتر لازم است. اگر بیشینه مقدار مورد نیاز آب برای پمپاژ $3,75L/s$ تا $5L/s$ باشد، لوله مکش آب و مسیر انتقال آب باید حداقل دارای قطر $63,5mm$ باشد. از هر گونه خمش تیز باید جلوگیری نمود و باید مسیر را بدون هر گونه خمش ایجاد کرد. بهتر است سیستم پایشی وجود داشته باشد تا در صورت مسدود شدن شلنگ آب، مسیر عبور جریان آب کاملاً مسدود نشود و مسیر موقتی ایجاد شود. البته تعبیه این سیستم پایش می‌تواند منجر به ایجاد خطراتی نیز بدلیل ایجاد حباب بشود. اگر نصب ثابت باشد حتی می‌توان از فولاد گالوانیزه شده داخل و خارج به روش گرم غوطه‌ور، استفاده کرد. در طول مسیر باید جوش لب به لب زده شود. در همه قسمت‌ها بهتر است از اتصالات فشرده استفاده شود.

^۶ Vortex straightener

انواع نازل

بطور کلی ۴ نوع نازل در سیستم شستشوی مقره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که شرح مختصری از آن‌ها به قرار زیر است.

• نازل با حمل دستی

یکی از متداول‌ترین نوع نازل آب در روش پاشش با فشار زیاد است. کارگر خطوط با بالا رفتن از برج و یا از طریق یک بالابر به مقره نزدیک می‌شود. همچنین می‌توان این نازل را به نازل‌های ثابت که بر روی برج‌ها وصل شده و ثابت هستند متصل کرد. همواره باید هدایت‌پذیری آب در حین کار بررسی شود. از آنجا که معمولاً محفظه نگهدارنده آب فلزی است، آن را با سیم به زمین وصل می‌کنند تا از القا بر روی محفظه جلوگیری شود. در این روش افراد نباید نزدیک تانک آب در مدت زمان شستشو شوند و فرد داخل ماشین حمل آب نیز نباید در این مدت داخل یا خارج شود. افرادی هم که بالای ماشین هستند، از نزدیک شدن و دست زدن به درختهای مجاور، فازها، دکلها و سایر وسایل خودداری کنند. اطلاعات بیشتر در مورد نحوه زمین کردن در IEEE Std 516-2003 [۷] بیان شده است. بطور کلی برای ولتاژ بالاتر از ۴۴kV باید پمپ، تانک و موتور به پایه دکل یا جای مناسب زمین گردند. تفنگ اسپری کننده باید بوسیله یک کابل منعطف با قطر بیشتر از 25mm^2 زمین گردد و یا به پایه دکل یا مشابه آن متصل شود.

برخی کاربران، شیلنگ‌های سیمی رسانای دارای روکش لاستیکی را به کار گرفته و ماشین را به ستون جهت جلوگیری از لرزش و انحنای ناشی از ضربه‌های ایجاد شده متصل می‌کنند. در این موارد قبل از آغاز به کار، باید پیوستگی این اتصال چک شود. به طور منظم و در هر بار عملیات شستشو، هر جا که لازم است، همه اتصالات از نقطه نظر خوردگی باید چک و تمیز شوند. نازل باید به هر چیزی که اپراتور بر روی آن ایستاده است متصل شود، با این هدف که تضمین شود تفنگ و اپراتور در یک سطح پتانسیل ولتاژ قرار دارند. در ورودی نازل باید یک جلوگیری کننده از جریان گردشی آب نصب شود. اندازه آن بین ۳,۲mm تا ۷,۹۴ mm بر حسب فاصله تا هدف و فشار آب تغییر می‌کند. یکی از مهمترین نگرانی‌ها در شستشو مشکل پاشش بخشی از جریان آب به سمت غیر از تجهیز مورد نظر است. جهت حل این مشکل، شستشو از چند جهت کمک کننده خواهد بود اما زمان و راندمان کار را پایین خواهد آورد. زمانی که شیر آب باز می‌شود یک مدت زمانی طول می‌کشد تا به فشار نهایی خود برسد. در این مدت باید نازل سمت تجهیز نباشد. مواد صابونی یا شوینده نباید به آب اضافه گردد. مواد پلیمری جهت هدایت بهتر آب به سمت تجهیز می‌تواند مفید باشد که علی‌الخصوص در شرایط وزش باد شدید یا فاصله دور تجهیز از سر نازل بسیار موثر خواهد بود. ایده آل این است که از آب با مقاومت ویژه بیش از $1500\Omega\cdot\text{cm}$ یا آب دمیترال شده با مقاومت ویژه $50000\Omega\cdot\text{cm}$ استفاده نمود.

• نازل کنترل از راه دور

در این روش نازل می‌تواند بر روی یک تانکر حمل آب نصب شود که توسط یک نفر از راه دور قابلیت کنترل زمان و زاویه پاشش را داشته باشد. این روش برای زمان‌هایی که شستشو توسط یک فرد مشکلات به همراه دارد و ساختار اجازه دسترسی راحت را نمی‌دهد مفید خواهد بود. روند و روش‌های اعمال این روش مشابه با روش نازل با حمل دستی است و تنها تفاوت در کنترل و هدایت از راه دور است. تجربه فرد ماهر در جهت قرار گرفتن تانکر و نازل در زاویه درست بسیار با اهمیت است. نازل می‌تواند توسط یک ربات نیز حمل شده و به مقرر نزدیک شود.

• نازل اسپری کننده نصب ثابت

بیشتر جهت آلودگی نمکی نزدیک دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر مکانی که نصب می‌شود باید پارامترهای مختلفی نظیر زاویه پاشش تنظیم شود. این پارامترها با توجه به شرایط مانند وزش باد، میزان رطوبت محیط، مقاومت ویژه آب، میزان آلودگی و ساختار مقرر تنظیم می‌شوند. عدم نیازمندی به فرد مانند روش نازل حمل دستی برای نگهداشتن نازل از مزایای این روش است. همچنین برای ترانسفورماتورهایی که در ارتفاع نصب می‌شوند نیز مفید خواهد بود که دیگر لازم نیست افراد جهت شستشو به بالای محل نصب بروند. بطور کلی در این روش، دو نوع سیستم شستشو وجود دارد: اسپری آب در شرایط وزش آرام باد و شستشو در شرایط وزش باد شدید. در حالت اول نوع نازل بصورت اسپری و تعداد آن می‌تواند چندین عدد باشد. نازل بطور دایم بر روی یک ساختار از جنس استیل نصب شده است. اما باد شدید بر عملکرد بهینه این روش اثر نامطلوب دارد. در حالت دوم نازل تنها در سمت وزش باد باید نصب شود که جریان آب توسط باد سبب انحراف آن نشود. فشار آب بین ۳۵۰ kPa تا ۳۰۰۰ kPa است و این نوع نازل برای فشار آب بالا یا متوسط کاربرد ندارد. نازل با کاربرد پاشش جریان آب اگر به مرور زمان منجر به پخش شدن و اسپری شدن آب شد باید تعویض گردد. ضروری است که یک نازل پاشنده آب طوری طراحی گردد که بتواند در یک ولتاژ قابل تحمل بالا، در حین وزش باد شدید، برای شستشوی مقره‌ها تأمین نماید که در ژاپن از ترکیبی از نازل اسپری کننده و جت نازل استفاده می‌شود. نازل جت برای سیستم‌های ولتاژ بالا بیشتر مناسب می‌باشد چون اثر باد بر روی آن کمتر است و بازه پاشش در آن بزرگتر است. بطور کلی می‌توان گفت نازل پاششی برای سیستم‌های ولتاژ متوسط مناسب است. در صورتی که وزش باد به حدی شدید باشد که مانع اصابت صحیح آب یا هوای فشرده (که در صورت استفاده از تجهیزات شستشوی خشک دمیده می‌شود) به سطح مقرر گردد، این روش‌ها نباید مورد استفاده قرار گیرند و می‌توان با یک هشداردهنده، در صورت وجود باد از اعمال شستشو جلوگیری نمود.

• نازل نصب شده بر روی هلی کوپتر

در این روش پاشش آب توسط خلبان یا فردی که در هلی کوپتر نشسته است کنترل می‌شود. کنترل جریان آب یا بوسیله نازل ثابت نصب شده بر روی هلی کوپتر با حرکت خلبان به سطوح مختلف هدایت می‌شود و یا یک نفر وظیفه هدایت سر نازل آب را دارد. طریقه شستشو همانند روش نازل با حمل دستی است. این روش مناسب برای زمان‌هایی که دسترسی به مقره دشوار است در این روش امکان نزدیک‌تر شدن نازل به مقره نسبت به روش نازل حمل دستی وجود دارد.

• کیفیت آب

هنگامی که متغیر فیزیکی آب، شامل حجم، شدت جریان و نیروی آب، پایین باشد، شستشو با آب می‌تواند تأثیرگذار نباشد. با افزایش بیش از حد متغیر فیزیکی آب نیز، با توجه به میزان آب، بین چترک‌های مقره شروع به تشکیل جرقه می‌کند. مقاومت ویژه با واحد اهم-سانتی متر برابر با مقاومت بین دو سطح مقابل هم از یک مکعب آب با اضلاع ۱ سانتی‌متر است. در شستشوی برق‌دار نیاز به آب با مقاومت ویژه بالا و هدایت‌پذیری کم است. آب باران، برف ذوب شده و آب تقطیر شده نیروگاه‌های بخار مشخصه مناسبی جهت شستشوی مقره‌ها دارند. مقاومت ویژه کم منجر به تخلیه الکتریکی در مقره و صدمات در حین شستشو خواهد شد. بطور مداوم باید کیفیت آب سنجیده شود. میزان مقاومت و هدایت آب باید به طور مرتب تا زمانی که در درون تانک محفظه نگهدارنده وجود دارد بررسی شود و در صورت تخطی از میزان مشخص شده، هشدار اعلان شود و یا سیگنال به سیستم کنترل کننده دریچه ارسال کند. زیرا تغییرات دما ممکن است به سرعت مقاومت ویژه آب را تغییر دهد. مقاومت ویژه آب رابطه معکوسی با دما دارد، یعنی وقتی دمای آب افزایش یابد مقاومت ویژه آن کاهش می‌یابد. به علت اینکه مقاومت ویژه آب با تغییر دما تغییر می‌کند، لازم است که مقاومت ویژه آب به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شود مخصوصاً در شرایط آب و هوایی گرم. دستگاه اندازه‌گیری نباید دارای جبران‌ساز دمایی باشد. برای جلوگیری از افزایش زیاد دمای آب بهتر است که پمپ عمل سیرکوله کردن آب را حتی در زمانی که شستشو انجام نمی‌شود انجام دهد. اگر مقداری آب در شیلنگ‌ها باقی مانده است به دلیل اینکه ممکن است بر اثر گرما مقداری از مقاومت ویژه خود را کم کرده باشد بهتر است قبل از اعمال بر روی مقره، به بیرون ریخته شود. برخی مراجع توصیه کرده‌اند آب داخل تانکر در پایان روز دور ریخته شود و برای روز بعدی آب جدید درون مخزن ریخته شود. با دیونیزه کردن یا فیلتر کردن می‌توان از آب با مقاومت ویژه کم در محدوده $750\ \Omega\cdot\text{cm}$ تا $1000\ \Omega\cdot\text{cm}$ آب با مقاومت ویژه مناسب بدست آورد. در تمام روش‌های شستشو، آب با حداقل مقاومت ویژه $1500\ \Omega\cdot\text{cm}$ ، که از شیرهای آتش‌نشانی قابل دسترس است، و یا آب دمینرال شده با $5000\ \Omega\cdot\text{cm}$ ، که از نیروگاه‌های بخار قابل استحصال است، پیشنهاد شده است. علی‌الخصوص در شرایط بسیار سرد، استفاده از آب با مقاومت ویژه $5000\ \Omega\cdot\text{cm}$ توصیه شده است. هیچ‌گونه مواد الکلی

و یا ضد یخ نباید اضافه گردد. آلودگی را می‌توان با آب گرم و نه بسیار داغ از بین برد. تنها باید بررسی کرد تا یخ زدن آب منجر به کاهش فاصله هوایی و مسیر جریان خزشی نشود.

آب استفاده شده نباید مواد شیمیایی و نمکی داشته باشد. توصیه شده است هیچ‌گونه حلال و یا مواد صابونی به آب اضافه نگردد و تنها با آب شستشو انجام پذیرد. افزودن مواد پلیمری جهت متمرکز کردن مسیر جریان آب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد زیرا فشار آب خروجی از نازل را افزایش می‌دهد. این موضوع مخصوصاً در شرایط وزش باد یا زمانی که فاصله تا محل شستشو زیاد است کاربرد دارد. در صورت استفاده از مواد پلیمری باید پس از اتمام شستشو، سیستم کاملاً تمیز شود و بدون شستشوی مواد پلیمری برای استفاده بعدی رها نگردد. بهتر است برای هر استفاده آب داخل تانک تخلیه و با آب جدید پر شود.

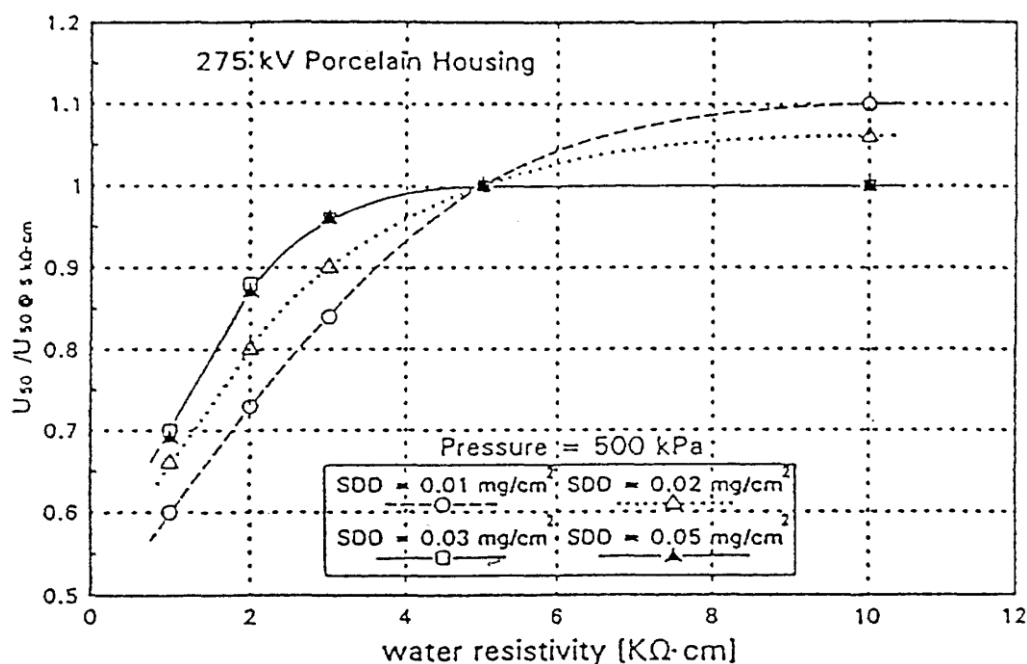
جهت اندازه‌گیری کیفیت آب در سیستمی که شستشو کننده مجهز به سیستم مانیتورینگ پیوسته مقاومت ویژه آب است، یک مدار حالت جامد در درون یک بدنه بسیار سخت و فشرده ضد آب قرار دارد. یک پروب خارجی همراه با روکش هادی از خروجی زیرین تانک، سنسوری جهت اندازه‌گیری و کنترل فراهم می‌کند. اندازه‌گیری پیوسته مقاومت ویژه آب در حالی انجام می‌شود که ولتاژ تغذیه سیستم پایش برقرار است. اگر مقاومت ویژه آب به کمتر از حداقل مقدار مجاز آن برسد، به اپراتور هشدار داده می‌شود و سیستم کاملاً خاموش می‌شود. این دستگاه تحت منبع جریان مستقیم ۱۲ ولت کار می‌کند. توجه شود که اگر آب دیونیزه شده یا جوشیده با مقاومت ویژه بالا برای شستشو مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است اندازه‌گیر با رنج دوگانه نیاز باشد و رنج یک اندازه‌گیر بازه لازم را پوشش ندهد.

در غیر از شرایطی که شستشو کننده مجهز به سیستم مانیتورینگ پیوسته مقاومت ویژه آب می‌باشد، از ابزارهای اندازه‌گیری متداول مقاومت ویژه پرتابل، برای تست آب هر تانکر (بعد از پر کردن آن و قبل از شستشوی تحت ولتاژ) استفاده می‌گردد. سیستم مانیتورینگ پیوسته، به طور پیوسته مقاومت ویژه آب را در حالیکه شستشو کننده در حال کار است، اندازه می‌گیرد. این سیستم شامل پراب کنترل از راه دور به همراه یک سنسور است که به انتهای مجرای خروج آب تانک هدایت می‌شود و اندازه‌گیری مقاومت و کنترل شستشو کننده را انجام می‌دهد. اندازه‌گیری پیوسته مقاومت ویژه آب تا زمانیکه واحد در حال کار کردن است ادامه می‌یابد و در صورت لزوم هشدار به اپراتور داده می‌شود و اگر مقاومت ویژه آب به کمتر از حداقل حد مجاز آن برسد، سیستم کاملاً خاموش می‌گردد.

از دستگاه‌های اندازه‌گیر پرتابل مقاومت ویژه آب، برای آزمایش کیفیت مقاومت ویژه آب در درون مخزن آب قبل از اینکه تانکرها پر شوند، استفاده می‌گردد. باید آب هر تانکر بعد از پر کردن و قبل از شروع عملیات شستشوی برق‌دار مورد آزمایش قرار گیرد. یک نمونه متعارف دستگاه اندازه‌گیر پرتابل مقاومت ویژه آب، شامل یک نمونه آب آزمون کالیبراسیون، یک بدنه نشکن که تحت ولتاژ باطری ۹ ولت کار می‌کند و یک مدار کالیبراسیون و تست باطری می‌باشد. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ویژه آب دارای یک نمایشگر اهم بر سانتی‌متر

مربع است که در آن محدوده حداقل مجاز مقاومت آب با رنگ قرمز نمایش داده شده است و دقتی حدود ۲٪ در مقیاس کامل دارد.

شکل (Error! No text of specified style in document. ۱-۱۲) رابطه مقاومت ویژه آب با U_{50} را نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است تاثیر افزایش ولتاژ تخلیه با افزایش مقاومت ویژه آب در آلودگی کم بیشتر است.



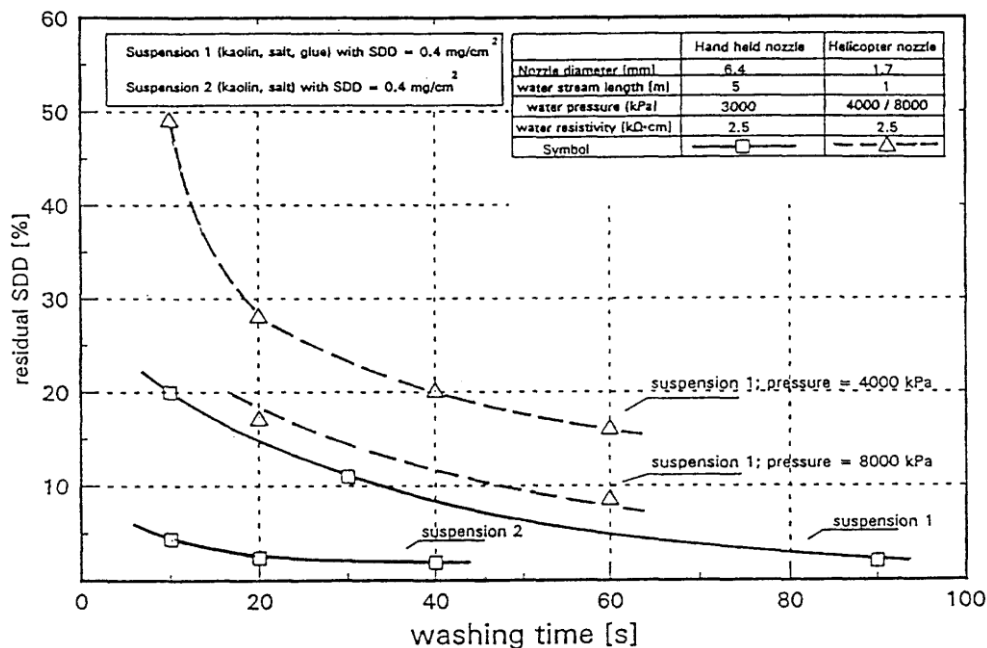
شکل (Error! No text of specified style in document. ۱-۱۲): رابطه تغییرات ولتاژ تخلیه الکتریکی U_{50} بر حسب مقاومت ویژه آب در میزان آلودگی‌های مختلف

۱-۶-۲- تشخیص موثر بودن شستشو

جهت تعیین مدت زمان شستشو عوامل مختلفی تاثیرگذار هستند. اما پس از شستشو باید مقرر براق و تمیز شده بنظر آید و کرونا بر سطح مقرر پس از چند ثانیه از اتمام شستشو بطور چشم‌گیری کاهش یابد. در غیر این صورت بطور کامل و موثر شستشو صورت نگرفته است. همچنین آب ریخته شده از روی سطح مقرر پس از شستشو در اواخر کار باید تمیز باشد و حاوی مواد اضافه نباشد که نشان از تمیز شدن مقرر است. لازم به ذکر است که در طول مدت شستشو توسط آب با فشار زیاد در شرایط برقرار، ممکن است تخلیه‌های کرونا از کلاهک فلزی تا پرسلین گسترش یابند و تا چند ثانیه پس از اتمام عملیات شستشو نیز شنیده شوند. اگر این تخلیه‌ها ادامه پیدا نکنند شرایط عادی است در غیر این صورت ممکن است نشان دهنده شستشوی ناقص باشد که باید جریان آب مجدداً اعمال شود. نمودار زیر نتایج یک آزمایش تجربی جهت ارتباط بین زمان شستشو و میزان آلودگی است. آزمایشات بر روی یک مقرر عمودی ۴۲۰ kV با طول ۳m در دو

حالت نازل دستی قابل حمل و نازل بر روی هلی کوپتر است [۲]. در نمودار شکل (*Error! No text of specified style in document.*) خط suspension 2 ماده سیمان اضافه شده است تا چسبندگی و ضخامت لایه را بیشتر

کرده و مشابه با مناطق صنعتی نماید.



شکل (*Error! No text of specified style in document.*) رابطه بین زمان شستشو و میزان آلودگی در یک مطالعه

۱-۶-۳- عوامل موثر در تخمین دوره زمانی شستشو

تعیین دوره زمانی جهت شستشو بستگی به عوامل مختلفی همچون نوع شستشو، شرایط محیطی و نوع و شدت آلودگی دارد که در زیر برخی از آن‌ها با توجه به تجربیات و مشاهده شرایط کاری یا اندازه‌گیری ارائه شده است:

- تجربیات قبلی از تخلیه الکتریکی‌های صورت گرفته.
- نتایج ESDD از تست مقررهای برق دار یا بی برق
- درجه و شدت تخلیه‌های الکتریکی در شرایط آب و هوای مرطوب.
- میزان تداخلات رادیویی و مغناطیسی موجود
- نوع آلودگی و نرخ انباشت آن
- نزدیکی و میزان در معرض بودن به منابع تولید آلودگی
- شرایط آب و هوایی
- سنسورهای مقررهای که میزان آلودگی را نمایش می دهند.

در

جدول (Error! No text of specified style in document. ۷-۱) یک نمونه از دوره زمانی مناسب جهت شستشو

که در کشور زامبیا ارایه شده است نمایش داده می‌شود [۱۸].

جدول (Error! No text of specified style in document. ۷-۱): دوره زمانی مناسب شستشو بر حسب فاصله خزشی و سطح

آلودگی مختلف در کشور زامبیا

گریس زدن				شستشو				
۳۱	۲۵	۲۰	۱۶	۳۱	۲۵	۲۰	۱۰	فاصله خزشی به mm/kV
خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	آلودگی سبک
خیر	خیر	خیر	۲ سال	خیر	خیر	خیر	۲ سال	آلودگی متوسط
خیر	۲ سال	۱ سال	۲ ماه. مقره با فاصله خزشی بالاتر توصیه می‌شود	خیر	۲ سال	۱ سال	۲ ماه. مقره با فاصله خزشی بالاتر توصیه می‌شود	آلودگی زیاد
۲ سال	۱ سال	۲ ماه. مقره با فاصله خزشی بالاتر توصیه می‌شود	لزوم ارتقای مقره به فاصله خزشی بالاتر	۲ سال	۱ سال	۲ ماه. مقره با فاصله خزشی بالاتر توصیه می‌شود	لزوم ارتقای مقره به فاصله خزشی بالاتر	آلودگی خیلی زیاد

۱-۶-۴- ملاحظات مرتبط با تجهیز تحت شستشو

مقره‌های خطوط انتقال، پست‌ها و برق‌گیرها از مواد سرامیکی و غیر سرامیکی ساخته می‌شوند. مقره‌های توزیع به خاطر دارا بودن سطح ولتاژ پایین‌تر و نیز فاصله هوایی کمتر بین فازهای ناشی از طراحی پایه‌های نصب خود در مقایسه با مقره‌های خطوط انتقال دارای ملاحظات ویژه‌ای در چگونگی اجرای عملیات شستشو می‌باشند. یکی از مهمترین این مسائل، عامل بالقوه وقوع فرارپاشش (رسیدن آب به صورت پخش شده و زاویه گسترش نسبتا زیاد) می‌باشد که این امر با کم کردن فاصله نازل به مقره تا حدود زیادی مرتفع می‌گردد. از طرف دیگر امکان شستشوی مقره‌های توزیع با میزان

فشار آب بسیار کم نیز امکان پذیر می باشد، حتی می توان شستشو را به صورت سیلابی و بدون فشار نیز انجام داد. در این روش، آب باید به سمت تمام یا قسمتی از بخش متصل به مقره هدایت شود. هنگامی که فرآپاشش موجب بروز مشکل گردد، شستشو از چند طرف می تواند به برطرف نمودن مشکل کمک کند، اما این امر زمان زیادی می برد و موجب کاهش بهره وری می گردد.

• شستشوی مقره سرامیکی یا شیشه ای

روش انتخاب شده جهت شستشو نباید منجر به تخریب یا پیری مقره شود. بطور کلی می توان از روش های شستشوی زیر برای مقره سرامیکی استفاده نمود [۹]:

- آب با فشار بالا از ۲۷۵۰ kPa تا ۷۰۰۰ kPa
- آب با فشار متوسط از ۲۱۰۰ kPa تا ۲۷۵۰ kPa
- آب با فشار کم (سیل آب) ۱۴۰۰ kPa
- آب با فشار کم با نازل ثابت اسپری کننده
- شستشو با هوای فشرده (حاوی ذراتی مانند چوب ذرت یا شامل گاز CO₂)
- پاک کردن گرم
- شستشو با دست

آنچه که در حالت برق دار بیشتر مورد توجه است استفاده از هوای فشرده، استفاده از برس ها و شستشو با آب از طریق هر کدام از ۴ نوع نازل است.

• مقره های پلیمری

معمولا باید به پیشنهادات ارایه شده توسط کارخانه سازنده جهت شستشو توجه ویژه نمود. ممکن است روش ساخت برخی مقره ها به گونه ای باشد که برخی روش های شستشو مناسب نباشد. راهنمای عمومی برای شستشو با آب در مقره با توجه به جنس ماده پلیمری آن در جدول (۸-۱) آورده شده است [۹].

جدول (۸-۱): فشار آب شستشو در مقره های پلیمری با توجه به ماده تشکیل دهنده

مقره پلیمری با چترک قالب ریزی مستقیم	
سیلیکون	شستشو با فشار آب کم تا زیاد (۱۴۰۰ kPa تا ۷۰۰۰ kPa)

شستشو با فشار آب زیاد (275.0 kPa تا 700.0 kPa)	EPDM/EPR
شستشو با فشار آب زیاد (275.0 kPa تا 700.0 kPa)	آلیاژی از EPDMها
شستشو با فشار آب زیاد (275.0 kPa تا 700.0 kPa)	اپوکسی
شستشو با فشار آب متوسط تا زیاد (210.0 kPa تا 700.0 kPa)	سرامیک پلیمری
مقره پلیمری با چترک قالب‌ریزی مجزا متصل به بدنه	
شستشو با فشار آب کم تا زیاد (140.0 kPa تا 700.0 kPa)	سیلیکون
شستشو با فشار آب زیاد (275.0 kPa تا 700.0 kPa)	EPDM/EPR
شستشو با فشار آب زیاد (275.0 kPa تا 700.0 kPa)	آلیاژی از EPDMها
مقره پلیمری با چترک قالب‌ریزی مجزا غیر غالب‌گیری شده به بدنه	
فشار آب 140.0 kPa در پمپ با یک نازل 6 mm و نزدیک کردن به تجهیز بیش از 4.6 m باشد. لازم است جریان آب در زاویه‌ای که نسبت به محور مقره بزرگتر از 90° درجه نباشد بر روی سطح بالایی مقره جهت داده شود.	تمامی مواد

مقره پلیمری به اندازه مقره سرامیکی یا شیشه‌ای نیاز به شستشو ندارد. در مقره پلیمری در شرایطی که برق‌دار نباشد، انتخاب شستشو با دست از طریق پارچه (rag or wiping cloth) و آب ولرم همراه با ماده شوینده بسیار ملایم مناسب است. پس از شستشو با دست باید بوسیله آب با فشار کم و سیلابی ذرات باقیمانده از مواد شوینده احتمالی استفاده شده از بین برده شود. حلال‌ها و ساینده‌ها در مقره‌های پلیمری توصیه نمی‌شود مگر آنکه کارخانه سازنده مقره اجازه استفاده را داده باشد. می‌توان از حلال‌ها استفاده نمود، مشروط بر اینکه اولاً فقط پس از تأیید سازنده این کار صورت گیرد و ثانیاً باقیمانده مواد تمیز کننده به وسیله آخرین عملیات شستشو توسط آب شستشو پاک شود.

در شرایط برق‌دار نیز استفاده از هوای فشرده و ساینده‌های خشک شامل چوب ذرت یا گردو توصیه می‌شود. در واقع این مواد با فشار به سمت سطح مقره دمیده می‌شوند. سپس از طریق دمیدن هوای فشرده، سطح مقره از ذرات باقیمانده تمیز می‌گردد. البته در مقره‌های سیلیکون رابر استفاده از مواد ساینده پیشنهاد نمی‌شود زیرا سطح آبریز را از بین خواهد برد.

• برق‌گیر

شستشوی برق‌گیرهای سرامیکی و پلیمری در حالت برق‌دار ممکن است منجر به تنش‌های الکتریکی بدلیل عدم تعادل ولتاژ در شبکه شود [۹]. لذا نباید بدون مشورت با سازنده، برق‌گیر بصورت برق‌دار شسته شود و سپس مورد استفاده قرار گیرد. در نوع پلیمری، مقره نباید در معرض جریان مستقیم شستشو با فشار بالا قرار گیرد.

• مقره با پوشش گریس

در مقره گریس‌دار اگر امکان شستشو در حالت غیر برق‌دار فراهم گردد براحتی می‌توان با دست شستشو انجام داد. اگر آلودگی روی مقره چسبیده باشد پوشش را تراشیده یا خراش دهید و یا با استفاده از فشار بالای هوا، که همراه با چوب ذرت یا گردو است، سطح را تمیز نمایید. لازم به ذکر است که جریان هوا همراه با مواد ساینده نباید به مدت طولانی اعمال شود زیرا لعاب پرسلینی را از بین خواهد برد. در انتها با دمیدن جریان هوا بدون مواد ساینده، باقیمانده مواد بر روی سطح تجهیز تمیز می‌شوند.

در صورتی که مقره برق‌دار باشد جریان هوا با چوب ذرت می‌تواند مفید باشد. قبل از اسپری کردن آب با فشار بالا می‌توان از حلال‌ها نیز استفاده نمود تا سطح مورد نظر راحت‌تر تمیز گردد. استفاده از اسپری آب دمنرال شده با فشار کم در حدود ۸۵۰ kPa و ظرفیت بالای ۳٫۲ l/s یا ۰٫۱۹m³/min توصیه می‌شود [۹].

استفاده از پرکننده‌های ATH (تری هیدرات آلومینیوم) برای بهبود مقاومت جرقه، در سیستم‌های پلیمری ارگانیک که در مقره‌های ولتاژ بالا به کار می‌روند، امری شناخته شده است. یک گریس سیلیکونی که با ATH پر شده است دارای خاصیت آبگریزی همانند گریس‌های معمولی می‌باشد، اما مقاومت جرقه آن بیشتر است. این امر عملکرد سیستم را تحت شرایط آلودگی شدید و مرطوب مانند مه نمکی، بدون درگیر شدن با شرایط خطای بحرانی امکان پذیر می‌سازد. جرقه‌های نقطه‌ای شدید می‌توانند منجر به شکست مقره‌های پرسلینی یا شیشه‌ای یا هر دوی اینها شود. محدودیت گریس‌های سیلیکونی پر شده با ATH، کاهش قابلیت حرکت سیال آزاد روی آن می‌باشد که علت آن بارگیری بالای پرکننده می‌باشد. گریس‌های سیلیکونی پر شده با ATH می‌توانند برای آلودگی‌های شدید مورد استفاده قرار گیرند، جایی که تجربیات نشان داده است گریس‌های معمولی پر شده با سیلیکون به علت جرقه‌های نقطه‌ای شدید یا تخلیه سطحی یا هر دوی آنها دارای مشکلات سرویس‌دهی هستند. روش‌های عملکرد و تمیز کردن این گریس‌ها همانند گریس‌های معمولی می‌باشد [۹].

• مقره‌های SCG

در مقره‌های SCG مانند مقره پرسلینی لعاب دار باید رفتار کرد با این نکته که سطح مقاوم لعاب دار آن تخریب نشود. شستشو با فشار ممکن است لعاب مقاوم را از بین ببرد [۹].

• مقررہ سرامیکی با پوشش RTV

در مقررہ با پوشش RTV بسته به نوع و میزان RTV شستشو با آب فشار بالا یا کم توصیه می‌شود. در اغلب موارد شستشو با فشار کم توصیه شده است زیرا بسیاری از موارد با فشار بالا منجر به تخریب می‌شود. اگر سطح آب گریزی تخریب شده باشد باید پس از شستشو کاملاً با مواد ساینده، مواد قبلی تمیز شود (همانند گریس سیلیکونی) و RTV جدید پوشانده شود [۹]. اجازه استفاده از مواد شوینده وجود ندارد.

۱-۶-۵- ملاحظات ایمنی شستشوی تجهیزات برق‌دار

در شستشوی برق‌دار باید توجه داشت که عایق‌های آسیب دیده نباید تمیز شوند. همچنین وجود جریان نشتی و حد مجاز فاصله ایمن باید رعایت شود. در ادامه برخی توضیحات در این مورد داشته است.

• جریان نشتی

به جریانی که از میان یک المان غیر رسانا مانند شلنگ آب عبور می‌کند، جریان نشتی گفته می‌شود. به عبارت دیگر جریانی است که پاشش آب به عبور آن کمک می‌کند. مقادیر مجاز جریان برای اینکه یک فرد معمولی بتواند بدون خطر کار کند در IEC 60479-2:1987 [۴] و IEEE Std 80-2000 [۶] ذکر شده است. مقدار جریان ۸-۹ میلی آمپر برای ایمنی یک فرد معمولی مناسب است. سطح تقریبی جریان ۱ میلی آمپر، جریان آستانه ادراکی است که باعث ایجاد مقدار ناچیزی احساس سوزش در دست‌ها و انگشتان فرد، به علت عبور جریان می‌گردد. هنگامی که در زمان شستشو بدنه نازل زمین می‌شود، نباید جریان نشتی محسوس از بدن شخص شستشوگر (در صورت شستشو توسط نازل حمل دستی از طریق پرسنل) عبور نماید. البته فرد نیز باید انتظار داشته باشد که ممکن است اتصال زمین کننده نازل باز گردیده و یا ارتباط آن قطع شده باشد که در این شرایط نیز میزان جریان نشتی در جریان آب باید حداکثر به مقدار ۲ میلی آمپر محدود شده باشد. نه تنها ملاحظات باید در ولتاژ نامی بررسی شود بلکه باید در اضافه ولتاژها هم دقت شود. اپراتور شستشودهنده و تجهیزات شستشو باید در پتانسیل یکسان باشند. جهت اطلاعات بیشتر در مورد زمین کردن می‌توان به IEEE Std 1048-2003 [۸] مراجعه نمود.

در پست‌ها، اپراتورهای عملیات شستشو با نازل‌های دستی برای اجتناب از خیس شدن از وسایلی مانند چکمه، دستکش پلاستیکی و لباس بارانی استفاده می‌کنند. وقتی که جریان آب با تجهیز دارای ولتاژ تماس پیدا می‌کند، هر دو دست اپراتور بر روی نازل است. در چنین شرایطی محدود نمودن جریان نشتی با تنظیم فاصله شستشو، فشار آب، قطر دهانه نازل و مقاومت ویژه آب کار مشکلی نیست.

پارامترهایی که بر جریان ناشی ایجاد شده در جریان آب تأثیر دارند عبارتند از: فاصله بین سر نازل و قسمت برق‌دار، ولتاژ خط، مقاومت ویژه یا هدایت‌پذیری آب، فشار آب و قطر دهانه نازل. همچنین جریان ناشی اگر از یک یا دو میلی‌آمپر فراتر رفت باید اقداماتی نظیر استفاده از آب که دارای هدایت‌پذیری و مقاومت ویژه در محدوده مجاز باشد، تعویض نازل و رعایت فاصله کار امن را انجام داد.

بر اساس آزمایشات انجام شده در محیط آزمایشگاهی، جریان آب با مقاومت ویژه $1600 \Omega \cdot \text{cm}$ و فشار 4688 kPa بوسیله نازل دستی جهت شستشوی تجهیز در ولتاژهای مختلف استفاده شده و جریان ناشی بر حسب μA در جدول (Error! No text of specified style in document. ۹-۱) ثبت شده است. همانطور که مشخص است با افزایش ولتاژ مقدار جریان ناشی افزایش می‌یابد. همچنین در یک ولتاژ برابر با افزایش فاصله مقدار جریان ناشی کاهش می‌یابد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۹-۱): جریان ناشی بر حسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف توسط آب با مقاومت ویژه $1600 \Omega \cdot \text{cm}$

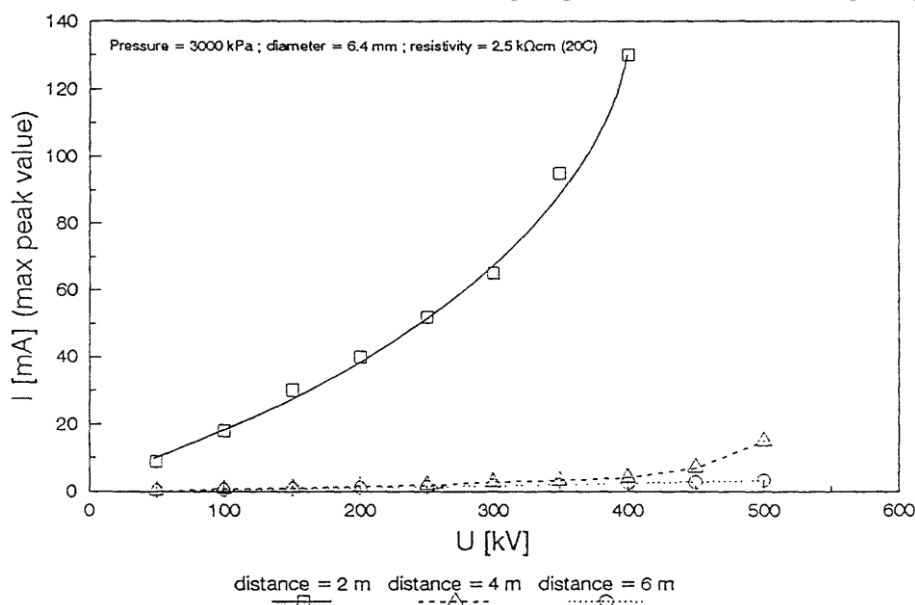
ولتاژ (kV) / فاصله (m)	۸۰	۱۴۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۵۰
۱٫۵۲	۴۱۰۰۰	۹۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۱۴۵۰۰۰	۱۶۵۰۰۰	—
۱٫۸۳	۲۲۰۰۰	۶۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	—	۱۵۰۰۰۰
۲٫۱۳	۱۹۰۰۰	۲۵۰۰۰	۴۵۰۰۰	۸۵۰۰۰	—	۱۱۲۰۰۰

در جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۰-۱) در فواصل و ولتاژهای جدول (Error! No text of specified style in document. ۹-۱) مقادیر جریان ناشی در شستشو توسط آب با مقاومت ویژه بالاتر (مقاومت ویژه $2900 \Omega \cdot \text{cm}$ و فشار 4688 kPa) نمایش داده شده است. در مقایسه با جدول (Error! No text of specified style in document. ۹-۱) می‌توان دریافت که با افزایش مقاومت ویژه مقدار جریان ناشی کاهش دارد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۰-۱): جریان ناشی بر حسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف توسط آب با مقاومت ویژه $2900 \Omega \cdot \text{cm}$

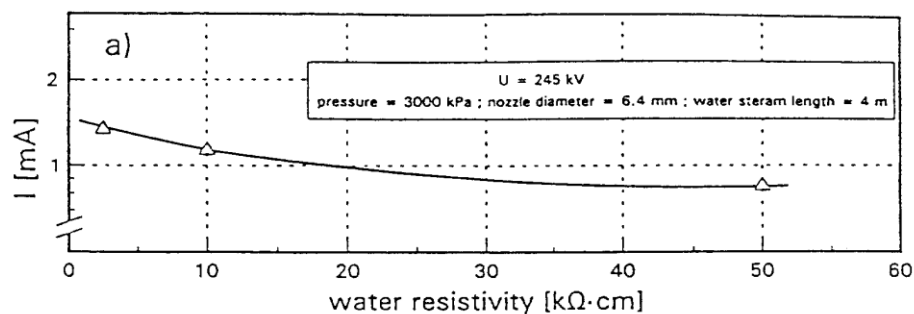
ولتاژ (kV) / فاصله (m)	۸۰	۱۴۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۵۰
۱٫۵۲	۱۶۰۰	۴۱۰۰	۵۴۰۰	۶۲۰۰	۶۶۰۰	—
۱٫۸۳	۹۱۰	۱۳۰۰	۲۸۰۰	۳۶۰۰	—	۵۲۰۰
۲٫۱۳	۶۴۰	۱۲۰۰	۱۶۰۰	۲۷۰۰	—	۴۹۰۰
۲٫۴۴	۵۶۰	—	—	—	—	—
۳٫۰۵	۴۵۰	۸۸۰	۱۰۰۰	۴۰۰۰	—	۵۰۰۰

جهت درک بهتر در گزارش CIGRE 158 [۱۲] شکل (Error! No text of specified style in document.) تا شکل (Error! No text of specified style in document.) به ترتیب بیانگر ارتباط بین جریان نشتی با ولتاژ فاز به زمین و فاصله تا بخش برق دار، مقاومت ویژه آب، فشار آب و قطر دهانه نازل است. در شکل (Error! No text of specified style in document.) با افزایش فاصله میزان تاثیر افزایش ولتاژ در جریان نشتی به طور چشم گیری کاهش یافته است بطوریکه در فاصله ۴ متری تا ولتاژ ۴۰۰ kV می توان ادعا کرد تغییراتی زیادی در جریان نشتی نسبت به فاصله ۲ متری رخ نمی دهد.

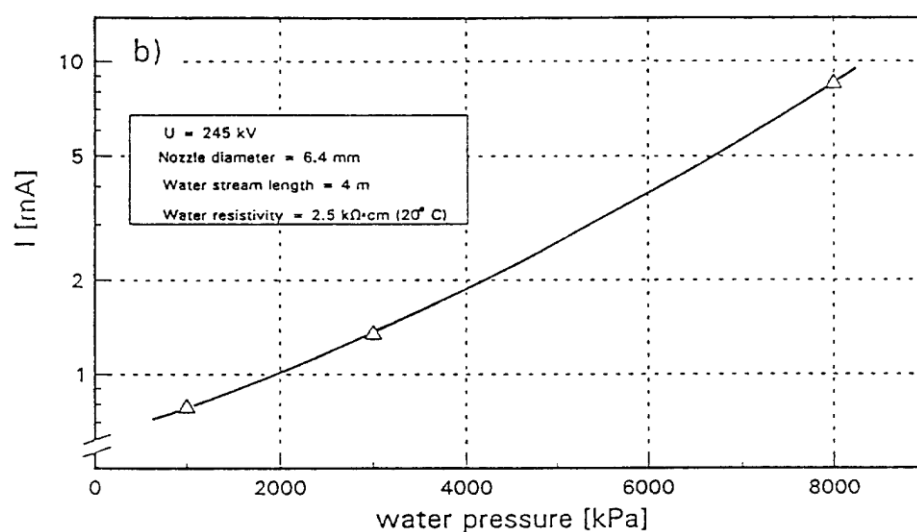


شکل (Error! No text of specified style in document.): رابطه فاصله تا بخش برق دار و ولتاژ سیستم با میزان جریان نشتی

یکی از عوامل موثر در سنجش کیفیت آب شستشو، میزان مقاومت ویژه آب است. در شکل (Error! No text of specified style in document.) نشان داده شده است که با افزایش میزان مقاومت ویژه آب از ۵۰۰۰۰ Ω.cm به بعد تقریباً تغییری در میزان جریان نشتی رخ نداده است. هر چه میزان مقاومت ویژه کمتر باشد شیب افزایش جریان نشتی بیشتر خواهد شد. با توجه به شکل (Error! No text of specified style in document.) رابطه افزایش فشار جریان آب با جریان نشتی تقریباً خطی دیده می شود.



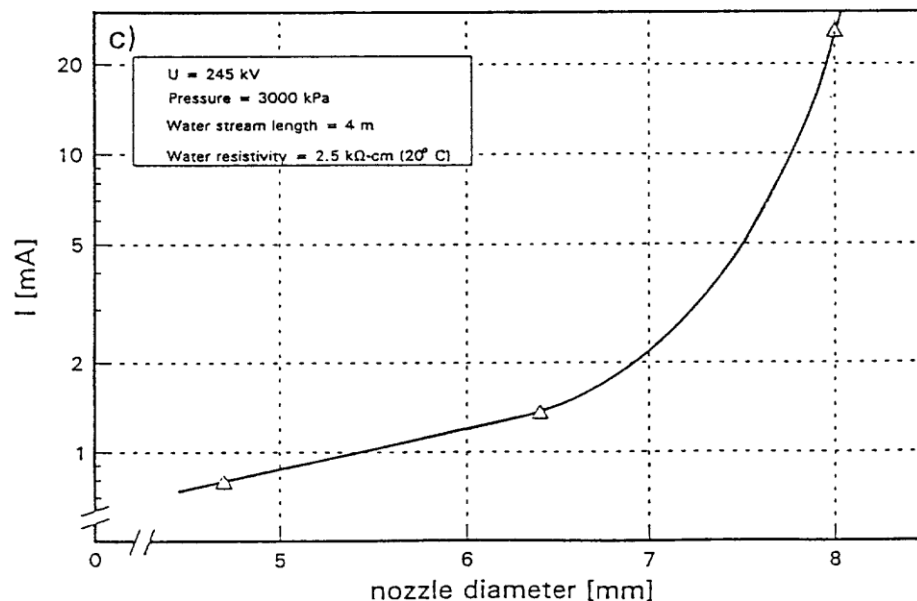
شکل (۱۵-۱): رابطه مقاومت ویژه آب و جریان نشتی



شکل (۱۶-۱): رابطه افزایش فشار جریان آب با جریان نشتی

در بیشتر مراجع قطر نازل را وابسته به شرایط محیطی تجهیز مورد شستشو و فشار آب می‌دانند. اما نکته حایز اهمیت در انتخاب قطر نازل، رابطه آن با میزان جریان نشتی است. هر چه قطر بیشتر باشد مطابق با شکل (۱۷-۱) *Error! No text of specified style in document.* جریان نشتی نیز بیشتر خواهد شد. این رابطه

خطی نبوده و در قطر بیش از ۶,۵mm این افزایش رشد زیادی پیدا می‌کند.



شکل (۱۷-۱): رابطه قطر نازل با جریان نشتی

در یک کار تحقیقاتی در کشور مصر، تاثیر در حالتی که آب اسپری نشود و مقره‌ها در حالت کار باشند نیز جریان نشتی وجود دارد که با اسپری شدن آب میزان این جریان نشتی افزایش می‌یابد. این مقادیر نشتی بدون اسپری آب بر حسب ولتاژهای مختلف در فواصل متفاوت نازل تا قسمت برق‌دار در جدول (۱۱-۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱۱-۱): جریان نشتی برحسب μA در فواصل و ولتاژهای مختلف بدون

اسپری آب

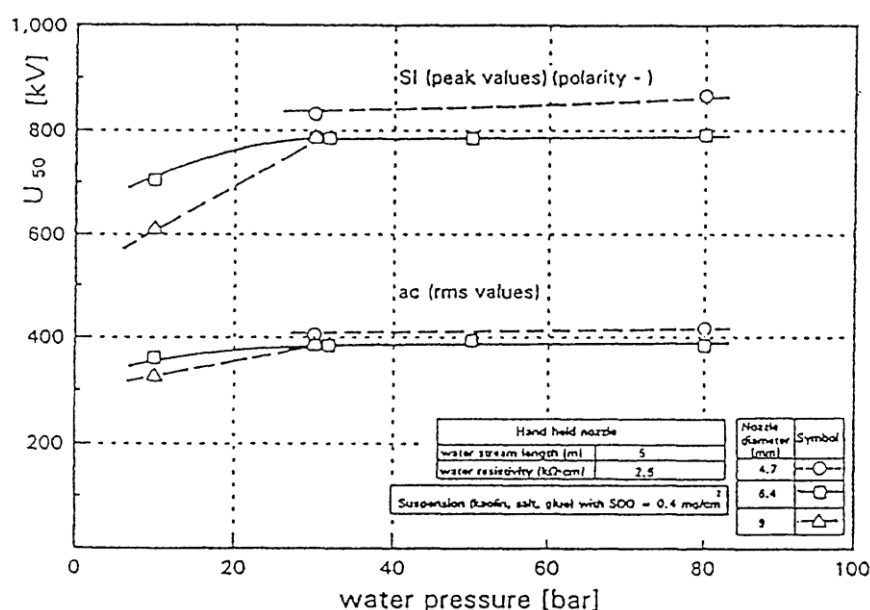
ولتاژ (kV) / فاصله (m)					
۲۵۰	۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۴۰	۸۰
۱۷۰۰	۱۵۵۰	۱۳۵۰	۱۱۰	۶۲۰	—
۱۳۵۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۶۸۰	۳۸۰	—
۱۱۰۰	۸۸۰	۷۸۰	۵۹۰	۳۳۰	—

یکی از نکات مهم و کلیدی در تعیین فاصله نازل تا بخش برق‌دار بررسی ولتاژ تخلیه الکتریکی از بخش برق‌دار به نازل است. طبق آزمایشات صورت گرفته با افزایش ولتاژ در فواصل مختلف مقادیر بدست آمده جهت ولتاژ تخلیه الکتریکی به شرح جدول (۱۲-۱) است. البته در هنگام کار باید علاوه بر ولتاژ نامی سیستم به اضافه ولتاژهای احتمالی نیز دقت کرد. این مقادیر به شرایط محیط هم می‌تواند مرتبط باشد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۲-): ولتاژ تخلیه الکتریکی در فواصل مختلف نازل تا بخش برق‌دار

ولتاژ (kV)	فاصله (m)
۲۲۶	۰٫۹۱
۲۸۰	۱٫۲۲
۳۳۶	۱٫۵۲
۳۷۶	۱٫۸۳
۴۲۰	۲٫۱۳
۴۶۰	۲٫۴۴
۴۶۸	۲٫۷۴
۴۸۸	۳٫۰۵

در شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۸-۱) مقادیر ولتاژ تخلیه ۵۰٪ با تغییر فشار آب نمایش داده شده است. برخی منابع عنوان کرده‌اند که مقادیر اضافه ولتاژ در زمان شستشو لازم به بررسی نیست، زیرا امکان وقوع آن حین شستشو کم است.



شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۸-۱): رابطه ولتاژ U50 با فشار آب در زمان شستشوی تجهیز برق‌دار

به منظور ارزیابی سطح کارایی فشار آب شستشو، آزمون‌های زیادی با فشار آب مختلف با استفاده از شیلنگ آبی به طول ۴۵٫۵ متر و قطر ۲۵٫۴ میلیمتر انجام شده است.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۳-۱) فشار پمپ لازم برای رسیدن به فشار آب مطلوب با قطر دهانه نازل مختلف را به همراه تاثیر آن در ضربه ایجاد شده نمایش می‌دهد.

جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۳-۱): عملکرد فشار آب در قطر دهانه نازل مختلف

فشار مطلوب (kPa)	قطر نازل (mm)	فشار پمپ (kPa)	ضربه ^۷ (kg)	فاصله (m)
۳۷۹۵	۶,۳۵	۵۱۷۵	۱۰,۸	۹,۱
۲۷۶۰		۳۴۵۰	۹,۰۷	
۳۷۹۵	۶,۳۵	۶۲۱۰		
۲۷۶۰		۶۲۱۰		
۲۰۷۰	۸	۴۱۴۰	۱۱,۳۴	
۲۰۷۰	۶,۳۵	۳۴۵۰	۱۳,۶	

• فاصله ایمن

- حداقل فاصله نازل تا تجهیز برق‌دار

مهمترین پارامتری که بر جریان ناشی و موثر بودن شستشو با جریان آب تاثیر می‌گذارد فاصله بین قسمت برق‌دار تا نازل بر حسب سطح ولتاژ و قطر دهانه نازل است. اگر در مواردی فاصله شستشو به دلیل ابعاد برج محدود باشد از آب دمی‌نرال شده استفاده می‌شود. جدول (Error! No text of specified style in document. ۱۴-۱) برخی مقادیر را نمایش می‌دهد. در شکل (Error! No text of specified style in document. ۱۹-۱) نیز برای فشار در نازل برابر با ۳۰۰ kPa و قطر دهانه نازل برابر با ۶,۴ mm در مقاومت ویژه آب برابر با ۲۵۰۰ Ω.cm نمودار حداقل فاصله شستشو بر حسب بیشینه ولتاژ سیستم نمایش داده شده است. در این شکل برای محدود نگهداشتن جریان ناشی به ۲ mA برای ولتاژهای مختلف شامل ولتاژ سیستم و یا اضافه ولتاژهای ۱,۳ و ۱,۵ پریونیت رسم شده است. مقادیر یاد شده را می‌توان با فواصل ذکر شده مرتبط با ریسک تخلیه الکتریکی مقایسه کرد. در این نمودار U_2 برابر است با مقدار اضافه ولتاژی کلیدزنی سوئیچینگ که احتمال افزایش آن ۲٪ است و در مقادیر ۲, ۲,۵ و ۳ ضرب شده است. البته مقادیر فاصله کلی به

^۷ Impact

مقدار ۰,۵m اضافه شده‌اند تا عدم قطعیت‌های موجود را پوشش دهد. جدول (Error! No text of specified style in document)
 in document. (۱۵-۱) نیز برخی پیشنهادات را ارایه کرده است.

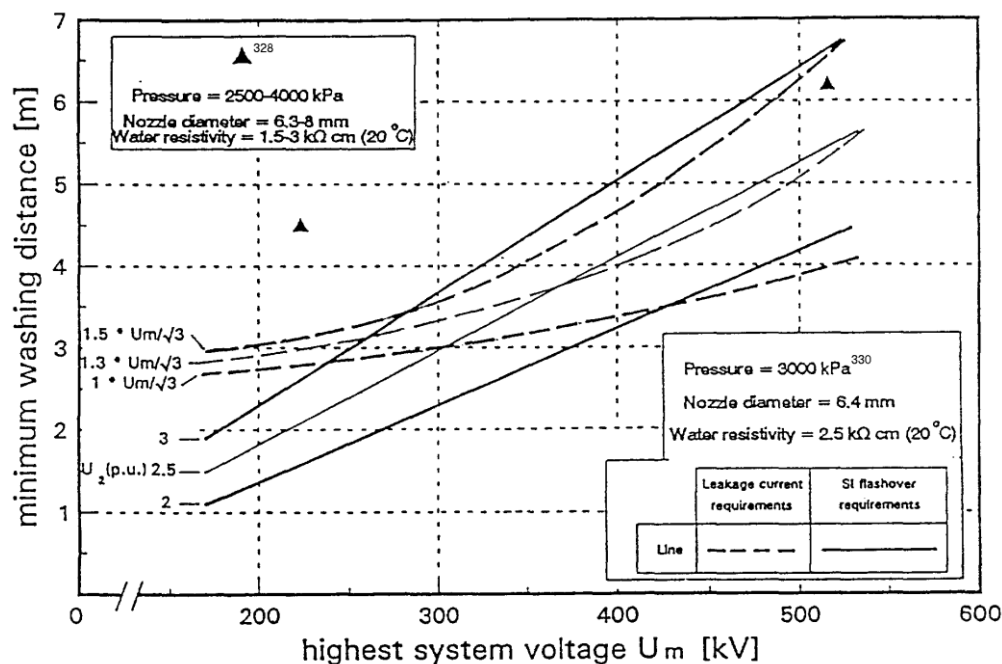
جدول (Error! No text of specified style in document. (۱۴-۱): کمترین فاصله تا تجهیز برق‌دار مورد تستشو

ولتاژ خط (kV)	حداقل فاصله نازل تا هادی (m)	حداکثر مقاومت ویژه آب Ωcm	حداکثر فشار نازل (kPa)	حداکثر قطر دهانه نازل (mm)
$13 \geq$	۱,۸۲	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
$13 \geq$	۱,۸۲	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۱۶	۲,۱۳	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۳۴/۵	۲,۴۴	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۳۴/۵	۲,۴۴	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۶۹	۲,۷۴	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۶۹	۳,۶۶	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۱۱۵	۳,۰۵	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۱۱۵	۳,۹۶	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۲۳۰	۳,۶۶	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۲۳۰	۴,۵۷	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۳۴۵	۳,۹۲	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۴,۷۶
۳۴۵	۵,۲۲	۱۳۰۰	۲۷۵۸	۶,۳۵
۵۰۰	۴,۲۷	۵۰۰۰	۵۵۱۶	۶,۳۵
۵۰۰	۶,۱۰	۳۰۰۰	۳۷۹۲	۷,۹۴
۵۰۰ dc	۶,۱۰	۵۰۰۰	۵۵۱۶	۶,۳۵

جدول (Error! No text of specified style in document. (۱۵-۱): فاصله انتخابی برای یک نازل ۵/۹۵ میلی‌متری

ولتاژ خط (kV)	فاصله (m)
۴	۲/۱۳
۱۳	۳/۰۵
۲۴	۳/۶۶

۴/۵۷	۷۱-۱۱۵
۴/۵۷	۲۳۰
۶/۱۰	۵۰۰



شکل (۱۹-۱): حداقل فاصله شستشو بر حسب بیشینه ولتاژ سیستم

می‌توان گفت که فاصله ایمن جهت شستشو تجهیز برق‌دار بر اساس محدوده جریان نشتی و با توجه به ولتاژ استقامت در سوئیچینگ مخصوصا در پلاریته منفی با زمان پیشانی طولانی مورد طراحی قرار می‌گیرد.

- حداکثر فاصله تا تجهیز برق‌دار

مهندسين برق بیشتر بر موضوع حداقل فاصله تا تجهیز برق‌دار و اهمیت آن واقفند اما کمتر کسی بر موضوع بیشترین فاصله تا قسمت برق‌دار توجه می‌کند. شستشو با آب متراکم بسیار موثرتر در از بین بردن آلودگی‌ها از مقره است و کمک شایانی به مرطوب نکردن تجهیزاتی که شسته نمی‌شوند دارد. ممکن است به علت فاصله زیاد، جریان آب به اسپری تبدیل شده و منجر شود تا مقره به درستی شستشو داده نشود و حتی در بدترین شرایط منجر به جرقه و تخلیه الکتریکی در مقره شود. در نتیجه باید آب با افزودن مواد پلیمری متراکم‌تر و فشار آب زیادت‌ر شود. پخش شدن بیش از حد آب نه تنها قابلیت اطمینان مدار تحت شستشو را کاهش می‌دهد بلکه این موضوع برای اپراتور شستشو دهنده نیز می‌تواند

خطرناک باشد. عواملی نظیر نوع مقره و ساختار افقی یا عمودی بودن آن، تاثیر جریان آب بر سطح مقره و سطح آلودگی روی مقره بر حداکثر فاصله تا تجهیز برق دار موثر است.

۱-۶-۶-طریقه شستشو در روش نازل دستی

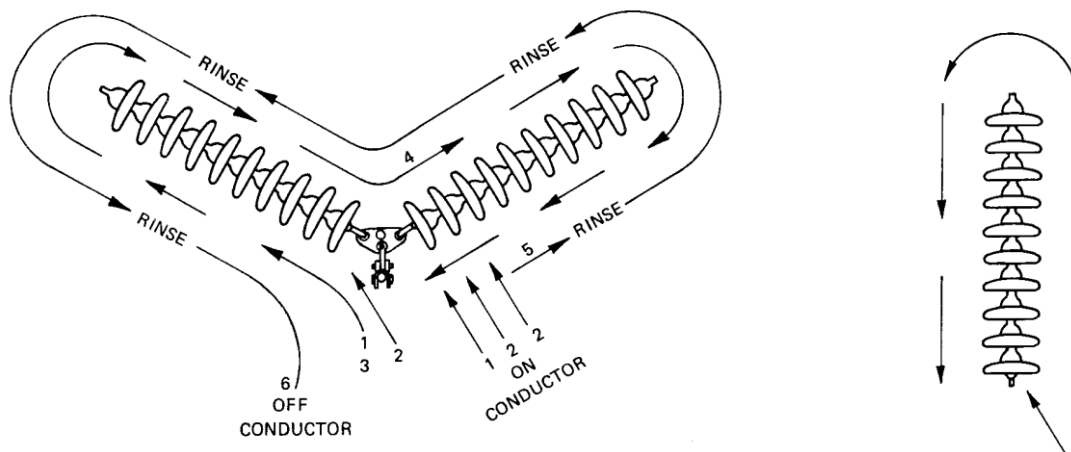
مقره پلیمری باید به گونه‌ای شسته شود که چترک‌های تمیز شده تا هر مرحله از شستشو سطح عایقی مناسب را حفظ کنند. به عنوان مثال، در مقره‌های با آرایش عمودی، شستشو از پایین شروع می‌شود و به سمت بالا ادامه می‌یابد.

ترتیب شستشو بدین صورت است که شستشو ابتدا از قسمت‌های نزدیک به سطوح برق‌دار شروع می‌شود. سپس نازل به سمت دیگر مقره که برق‌دار نیست، حرکت داده می‌شود. در مقره‌های نوع آویزی، باید ابتدا جریان ثابت آب به پایین‌ترین مقره هدایت شود و جهت آن آرام آرام به سمت بالاترین قسمت مقره تغییر کند و باید به طور متناوب به واحدهای پایینی برگشت داده شود تا قطرات آن از بالاترین اجزاء پاک شود. این روش به گونه‌ای انجام می‌شود که به طور توأمان، هم ضربه زنی جریان آب و هم حرکت گردشی آب به منظور خارج نمودن رسوبات صورت گیرد. مقره‌های انتهایی باید با احتیاط شستشو شوند تا شستشوی اضافی باعث وقوع شکست الکتریکی نشود. در مقره‌های افقی، جریان ابتدا باید به سمت هادی هدایت شود و در ادامه جهت آن به سمت بدنه پیش برود (با مد نظر قرار دادن یک روش جایگزین در صورتی که جهت باد و جهت جریان یکی باشند). در مقره‌های زنجیره‌ای، شستشو باید از پایین‌ترین مقره به سمت بالا ترین مقره انجام شود و به طور متناوب جهت حرکت معکوس شود تا مواد باقیمانده در واحدهای بالایی پاک شوند. در واقع مقره به چند بخش تقسیم می‌شود و هر بخش با پاشش آب شستشو داده می‌شود. حرکت نازل بدین صورت است که هر زمان بخشی از تجهیز شستشو داده شد، در شستشوی بخش بعدی باید کمی از قسمت قبلی نیز دوباره شستشو داده شود و این حرکت ادامه یابد تا به کل تجهیز پاشش صورت شود. توجه شود که این حرکت، یعنی شستن یک قسمت به همراه کمی از قسمت قبلی، جهت جلوگیری از جرقه زدن است تا ذرات آلودگی ناشی از شستن یک بخش بر روی بخش قبلی نماند.

به عنوان مثال در ترانسفورماتور قدرت که بوشینگ در بالای تجهیز قرار دارد، ابتدا شستشو از قسمت بالایی مقره شروع شده و هر زمان که به سمت پایین برای شستن دیگر قسمت‌های مقره حرکت می‌کنیم باید کمی از قسمت بالاتر نیز شسته شود. در مقره‌های سوزنی و یا اتکایی، جریان ثابت باید به قسمت زیرین مقره هدایت شود و در ادامه در جهت هادی به سمت بالا جهت داده شود. در صورت استفاده از آب، احتیاطات لازم در صورت مرطوب شدن کراس آرم باید مد نظر قرار داده شود. مرطوب شدن کراس آرم می‌تواند جریان‌های ناشی را افزایش دهد و منجر به آتش سوزی شود. بر روی ساختارهای مرتفع، ابتدا باید مقره‌های سطوح پایین تر شسته شوند. شکل (Error! No text of specified

style in document. (۲۰-۱): نمایی از ترتیب شستشو در مقره‌های آویزی و V شکل نمایی از شستشو

مقره‌های آویزی و V شکل نمایش داده شده است.



شکل (۲۰-۱): نمایی از ترتیب شستشو در مقره‌های آویزی و V شکل

مواد شوینده قبل از اینکه به سمت عایق هدایت شوند باید به حد فشار کامل نازل برسند. همچنین جریان آب باید تا زمانی که فشار آب کاهش پیدا نکرده است از قسمت‌های برق‌دار دور نگهداشته شود و جریان آب به خارج از محدوده تجهیزات برق‌دار هدایت شده باشد. هر گونه تنظیم مربوط به کنترل کننده‌های پمپ باید وقتی انجام شود که جریان آب قطع شده باشد. همچنین نباید نشت جریان آب یا برگشت آب از تجهیز به دیگر تجهیزاتی که شسته نشده‌اند صورت گیرد زیرا ممکن است منجر به جرقه در آن تجهیزات شود. البته بطور کلی پاشش آب به تجهیزات دیگر در پست اجتناب ناپذیر است اما باید مدیریت شود. باید زاویه مناسب بررسی و تعیین شود. به منظور کاهش دادن ریسک وقفه در شبکه، باید مقره‌ها، کراس‌آرم‌ها و اجزاء فلزی قبل از انجام برنامه شستشو بازبینی شوند.

فصل دوم: ۲- طراحی سیستم بهینه شستشوی مقره‌ها برای یک پست فشارقوی نمونه در داخل کشور در رده فوق توزیع

مقدمه

وقوع تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌های جوی و افزایش وسعت مناطق با سطوح خشک در کشور، باعث نشست گرد و غبار و آلودگی بیشتر از دهه‌های قبل بر مقره‌های خطوط و پست‌های برق گردیده است. در طی بیش از ۱۰ سال از آغاز شدت گرفتن پدیده گرد و غبار در مناطقی از غرب و جنوب غربی و جنوب شرقی کشور، مناطق وسیعی از غرب، شمال غرب، جنوب و مرکز ایران با این پدیده مواجه شده‌اند. بطوریکه بیش از ۲۰ استان کشور در بازه‌های زمانی متفاوت آلودگی‌های همراه با گرد و غبار را تجربه می‌کنند. به عنوان مثال در بهمن ماه ۱۳۹۵ در پی وزش باد شدید همراه با گرد و خاک با غلظت بیش از ۶۶ برابر حد مجاز و پس از آن بارندگی به میزان کم باعث ماندگاری گرد و خاک بر روی مقره‌های خطوط و پست‌های فشارقوی شد و منجر به بروز حوادث متعدد در سطح پست‌های برق انتقال و فوق توزیع خوزستان شد و سبب بی برق شدن تعداد زیادی از پست‌های اصلی در این استان و در نتیجه خاموشی‌های وسیع شد. در حوادث بهمن‌ماه ۱۳۹۵ یکی از مواردیکه موجب گسترش ابعاد حادثه گردید زمان نسبتاً طولانی مورد نیاز جهت بازایی پست‌های فشارقوی و وارد نمودن مجدد آنها بود که به علت کمبود تجهیزات مقره‌شور سیار، کمبود پرسنل و نیز زمانبر بودن جابجایی این تجهیزات از یک پست به پست دیگر بود. بطوریکه در فاصله زمانی بین ۸ و ۹ بهمن تا ۲۳-۲۴ بهمن، عملاً تعداد قابل توجهی از پست‌ها، فرصت تمیزکاری و شستشو نیافتند.

آلودگی‌های محیطی و صنعتی در کنار وجود هوای شرجی، بادهای منطقه‌ای و عدم وجود باران‌های دائم در بسیاری از مناطق کشور، باعث گردیده است تا پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی در سطوح ایزولاسیون، قشری از آلودگی، خواص عایقی را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد. وجود چنین حالتی باعث افت خواص عایقی، اتصال کوتاه و نهایتاً قطعی‌های مکرر در مدار و کاهش کیفیت برق می‌گردد. نمی‌توان امید داشت در کوتاه مدت و میان مدت این پدیده اقلیمی را کنترل پذیر نمود و نفوذ گرد و غبار و آلودگی و اثرات آن بر ایجاد جرقه و قوس سطحی بر مقره‌ها باعث تحمیل هزینه‌های سنگین به شبکه‌های برق کشور می‌گردد. مهم‌ترین هزینه‌های ناشی از ریزگرد شامل موارد زیر می‌باشد:

- قطع برق‌رسانی
- وارد آمدن خسارات اقتصادی
- اختلال در امور تجاری و صنعتی و اقتصادی
- کاهش کیفیت برق

- عدم رضایت مصرف کنندگان
- افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات (شستشوی دوره‌ای دستی یا ماشین آلات مفره‌شور)
- استهلاک تجهیزات و ایزولاسیون در شبکه برق دار

در این ارتباط یکی از راهکارهای معمول فعلی و نسبتاً پرهزینه، شستشوی دوره‌ای به‌روش سنتی سطوح مفره‌ها برای از بین بردن آلودگی سطحی با اعمال خاموشی است و شستشو وابسته به نوع و کیفیت ایزولاسیون و میزان آلودگی می‌تواند بین چند هفته یا ماه تا چند سال متغیر باشد. در حال حاضر در کشور، عملیات سنتی شستشوی پست به کمک ماشین آب‌پاش یا مفره‌شور مستقر در شرکت‌ها و به صورت بدون برق^۸ انجام می‌شود. البته وقوع گرد و غبارهای بهمن‌ماه سال ۹۵ در خوزستان نشان داده است که تجهیزات و دوره زمانی شستشوی موجود نمی‌تواند جوابگوی پایداری مورد نیاز شبکه باشد. در این مناطق علاوه بر انجام برنامه‌ی منظم دوره‌ای، شستشوی ویژه و اضافی با توجه به رخداد پدیده‌ی شدید و ناگهانی گرد و غبار، باید صورت گیرد. در اینصورت تجهیزات و منابع انسانی و هزینه‌های لازم برای انجام عملیات شستشو افزایش می‌یابد و در شرایط بحران وقوع آلودگی‌های شدید، اقدامات برای این شستشو در مناطق وسیع عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین در روش‌های سنتی، اغلب با خاموشی برق و صرف انرژی و عملیات سخت انسانی قابلیت اطمینان شبکه و رضایت مشترکین کاهش می‌یابد.

برای دور شدن از مشکلات روش‌های سنتی یادشده شستشوی مفره‌ها، سیستم شستشوی ثابت به عنوان یکی از راهکارهای برنامه نگهداری پیشگیرانه در دنیا تعریف شده‌است تا با انجام شستشوی خودکار با تجهیزات ساده و ثابت، در زمان کوتاه، از تجمع آلودگی بر مفره‌های فشارقوی جلوگیری نماید. این سیستم به طور ثابت در پست‌های فشارقوی نصب می‌شود. با ایجاد یک مخزن ثابت آب و با استفاده از نیروی پمپ، آب مقطر از طریق لوله کشی و نازل‌های ویژه نصب‌شونده در مجاورت مفره‌ها و بوشینگ‌های پست، روزانه یا در دوره‌ی زمانی تنظیم‌شونده به مفره‌ها و بوشینگ‌ها با فشار پاشیده می‌شود. این عملیات در حالت برقرار پست انجام می‌گردد و زمان پاشش بسیار کوتاه (به عنوان مثال یک دقیقه) می‌باشد. این عملیات می‌تواند به‌صورت خودکار و بدون دخالت نیروی انسانی و تجهیزات شستشوی معمول انجام گردد و خاموشی در این عملیات نگهداری به صفر می‌رسد. به این ترتیب با شستشوی اتوماتیک روزانه یا هفتگی که در آن، نازل‌ها بر روی سیستم بصورت محکم نصب و اطراف مفره‌ها قرار می‌گیرند؛ در مواقع بحران جوی، لایه آلوده از سطوح مفره‌ها تمیز می‌گردند و تجمع نمی‌یابند.

واحد شستشو از یک گروه به گروه دیگر مفره‌ها و مطابق برنامه تعیین شده شستشو را انجام می‌دهد. یک نمونه از سیستم شستشوی ثابت در شکل (*Error! No text of specified style in document.* ۱۲-۱) نشان داده شده است.

^۸ Offline



شکل (۱-۲): یک نمونه سیستم شستشو ثابت نصب شده توسط شرکت wilorton

سیستم شستشوی مکانیزه در مقایسه با روش‌های دیگر در نگهداری و تعمیرات، دارای مزایایی زیر است:

- جلوگیری از انباشت آلودگی روی سطح مقره، به‌ویژه در مناطق با آلودگی‌های صنعتی
- هزینه پیاده‌سازی و اجرای مناسب و منطقی در مقایسه با روش‌هایی مانند پوشش RTV
- عدم دخالت در ساختار سطح مقره و مسائلی نظیر پیرشدگی و تجدید پوشش
- عدم نیاز به واردات مواد اولیه پوشش‌ها
- امکان شستشوی مکرر و دوره‌ای

این سیستم در مقایسه با روش‌های دیگر با محدودیت‌هایی نیز مواجه است؛ نظیر نیاز به تعمیر نگهداری خود سیستم و یا عملکرد در برابر آلودگی‌های نوع آبی، که ممکن است در آن خاموشی رخ دهد ولی در ازای آن، سرعت بازایی می‌تواند بسیار سریع باشد. البته فرآیند نگهداری و تعمیرات سیستم به علت عدم پیچیدگی ساختار و اجزاء ساده است. این پروژه با هدف به طراحی رساندن ایده این سیستم شستشوی ثابت و خودکار مقره‌ها و ساخت نمونه مقیاس کوچک و انجام آزمون بر یک نمونه مقره آلوده پست، برای اولین بار در داخل کشور انجام می‌گردد. این سیستم در حال حاضر با

داشتن توجیه اقتصادی و فنی لازم در کشورهای مختلف دنیا مورد نصب و استفاده قرار گرفته است. نتایج مورد انتظار و دستاوردهای حاصل از انجام این پروژه را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

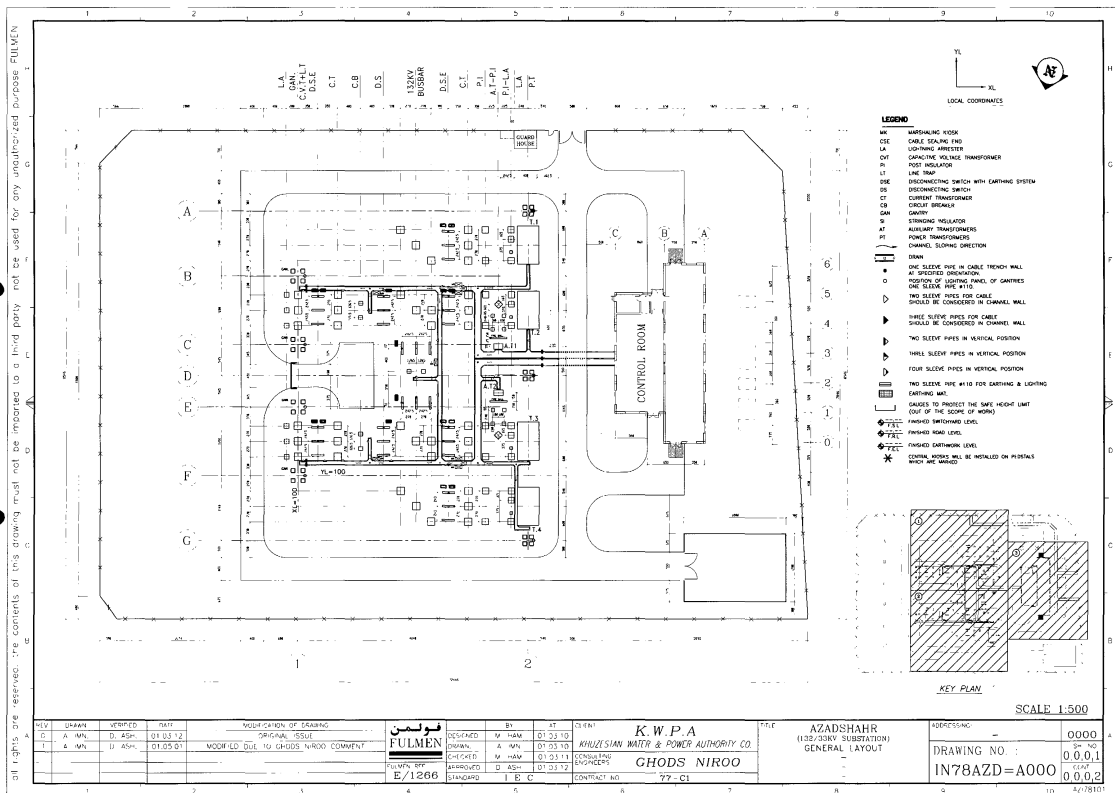
- امکان‌سنجی و انجام طراحی اقتصادی ایده سیستم شستشوی خودکار ثابت مقره‌ها و بوشینگ‌های پست‌های در معرض آلودگی محیطی به عنوان یکی از راهکارهای نگهداری پیشگیرانه
 - امکان ایجاد شستشوی خودکار و مکرر مقره‌ها برای پیشگیری از تجمع آلودگی بر سطوح آن‌ها و به حداقل رساندن رخداد خطای عایقی ناشی از جرقه سطحی
 - امکان طراحی سیستم شستشو به صورت فشرده و با نگهداری و تعمیرات کمینه
 - افزایش قابلیت اطمینان شبکه با کاهش قطعی و خاموشی ناخواسته ناشی از شکست مقره‌های آلوده
 - کاهش خاموشی برنامه‌ریزی شده به دلیل انجام عملیات شستشو در حالت شبکه برقرار
 - تمیز کردن و آلودگی‌زدایی سریع و در حداقل ممکن زمان
 - امکان پذیر بودن تغییر در انجام چرخه‌های شستشوی مقره‌ها به طور خودکار، بسته به تغییر جهت باد، از یک گروه عایق‌ها به گروه دیگر
 - قرار داشتن میزان جریان ناشی مقره برقرار در حالت شستشو در منطقه ایمن آن
 - امکان پذیر بودن تنظیم شدت پاشش و زمان آن با طراحی بخش کنترل متناسب با میزان آلودگی و نیاز
 - کاهش هزینه و تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز برای انجام عملیات شستشو نسبت به روش‌های دیگر
 - عدم نیاز به نیروی ماهر آموزش دیده برای انجام عملیات نگهداری شستشوی دوره‌ای
 - در دسترس بودن امکان شستشوی مقره‌ها در شرایط بحران و کمبود تجهیزات
- در ادامه گزارش در ابتدا به ارائه نقشه یک پست فشارقوی ۱۳۲ کیلوولت واقع در استان خوزستان پرداخته می‌شود، سپس طراحی اجزای یک سیستم شستشوی ثابت برای ایزولاسیون این پست با استفاده از نرم‌افزار تخصصی مکانیک سیالات (Debit) انجام می‌گردد. در ادامه مشخصات فنی اجزا و هزینه اقتصادی احداث این سیستم شستشو برای این پست معرفی ارائه می‌گردد. همچنین طراحی پایپینگ سیستم شستشوی ثابت برای یک نمونه دکل انتقال ارائه می‌گردد. در نهایت مراحل ساخت یک سیستم شستشوی مقیاس کوچک آزمایشگاهی ساخته شده در پژوهشگاه نیرو برای آزمون و خطا و توسعه عملکرد سیستم مذکور بیان می‌گردد.

۱-۲- نقشه پست فشارقوی نمونه طراحی سیستم شستشوی ثابت

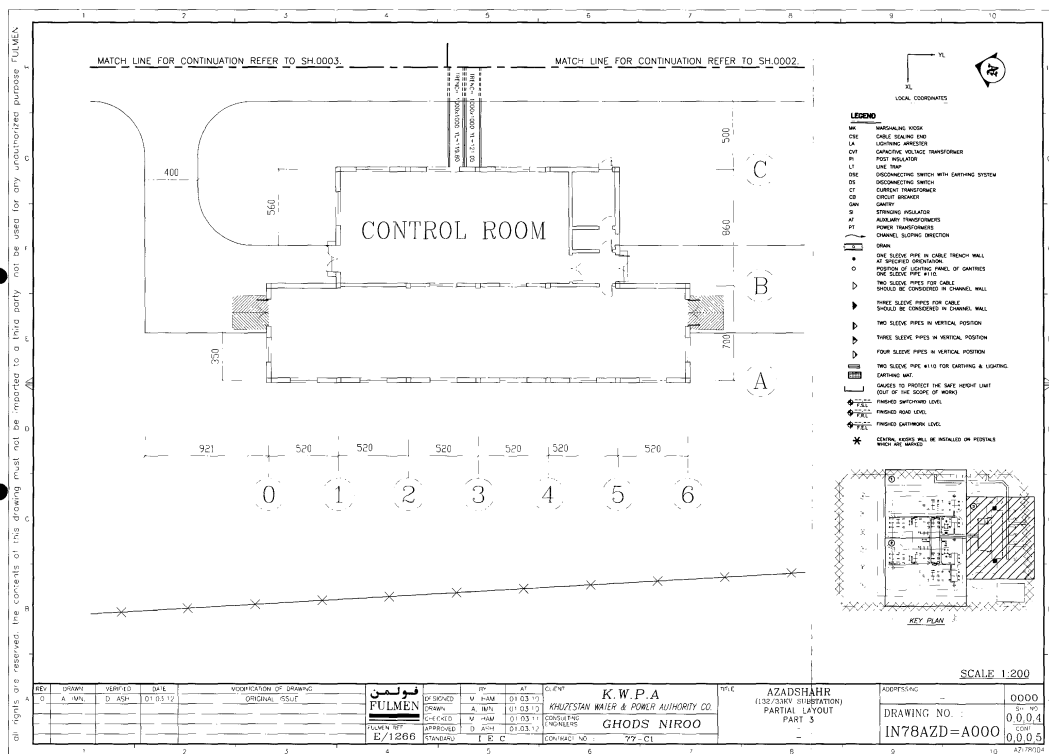
با توجه به اینکه بیشترین آسیب‌های حاد و ثبت شده ناشی از آلودگی مقره‌ها در کشور، در استان خوزستان به وقوع پیوسته است، در اولین قدم، انتخاب نقشه یک پست فشارقوی واقع در استان خوزستان مدنظر قرار گرفت. خوزستان به دلیل مشکلات زیادی که در زمینه ریزگردهای منطقه‌ای داراست و همچنین از آب و هوای گرم و مرطوب برخوردار است در صورت آلوده شدن سطوح مقره‌ها، در شرایط رطوبی، معضلات گزارش شده‌ای در زمینه شکست الکتریکی سطحی مقره‌ها داراست. هر چند همواره برنامه نگهداری شستشوی مقره‌های پست‌های فشارقوی و همچنین مقره‌های خطوط انتقال در دستور کار تیم بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای خوزستان قرار داشته است، با اینحال به دلیل بعضی مشکلات در عدم کفایت اقدامات شستشو در برخی شرایط اقلیمی و مشکلات در تدارک تجهیزات مرتبط و تنظیم انجام عملیات با زمان‌بندی دقیق عملیات شستشوی دستی، عدم اطمینان از وضعیت آلودگی مقره‌ها وجود داشته است. گاه در بحران‌های آلودگی ناگهانی ناشی از ریزگردها و بارشهای همزمان جوی در برخی ماه‌های سال، نشست آلودگی بر مقره‌ها در زمانی کوتاه و تسریع شده صورت می‌گیرد و ممکن است در این شرایط، مدت‌ها از انجام برنامه شستشوی دستی مقره‌ها گذشته باشد. در چنین شرایطی، آلودگی جدید بر روی آلودگی‌های قبلی موجود بر سطوح مقره‌ها می‌نشیند و استقامت الکتریکی مقره‌ها در این شرایط احتمال شکست سطحی مقره‌ها را افزایش می‌دهد.

بدین منظور نقشه یک پست ۱۳۲ کیلوولت واقع در استان خوزستان برای انجام عملیات طراحی سیستم شستشوی ثابت تهیه گردید.

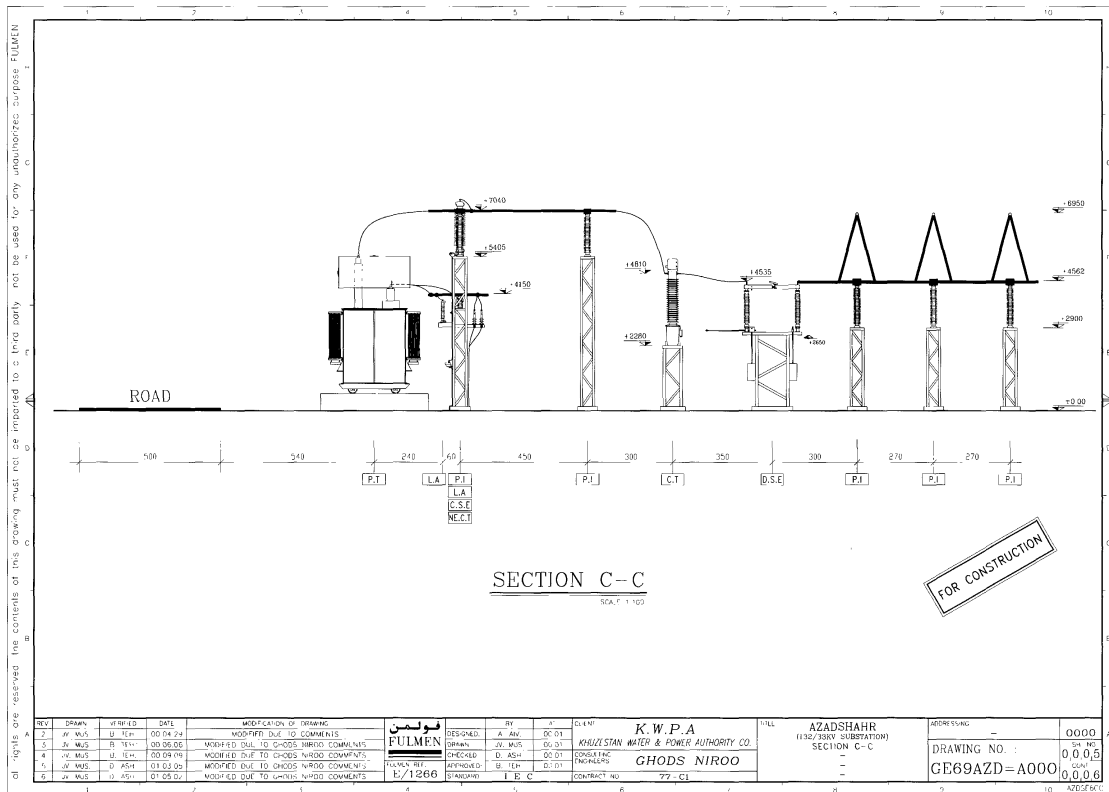
در شکل (۲-۲) تا (۲-۱۳) نقشه پست یادشده ارائه شده است.



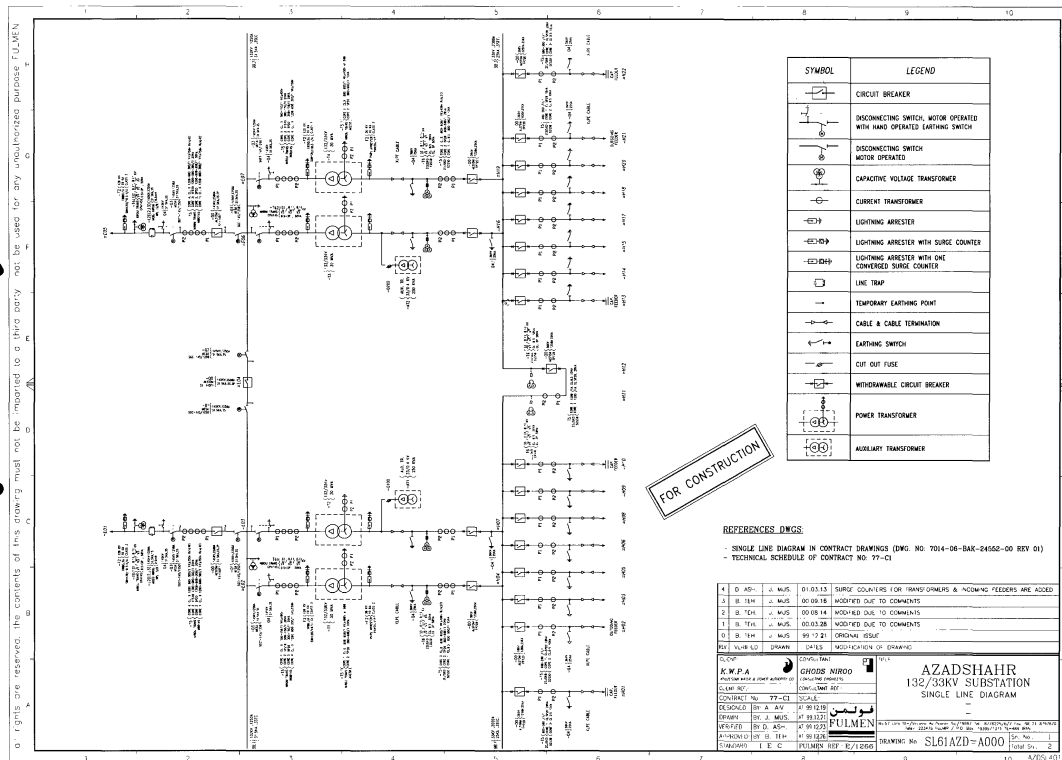
شکل (۲-۲): جانمایی کلی تجهیزات پست واقعی ۱۳۲ کیلوولت



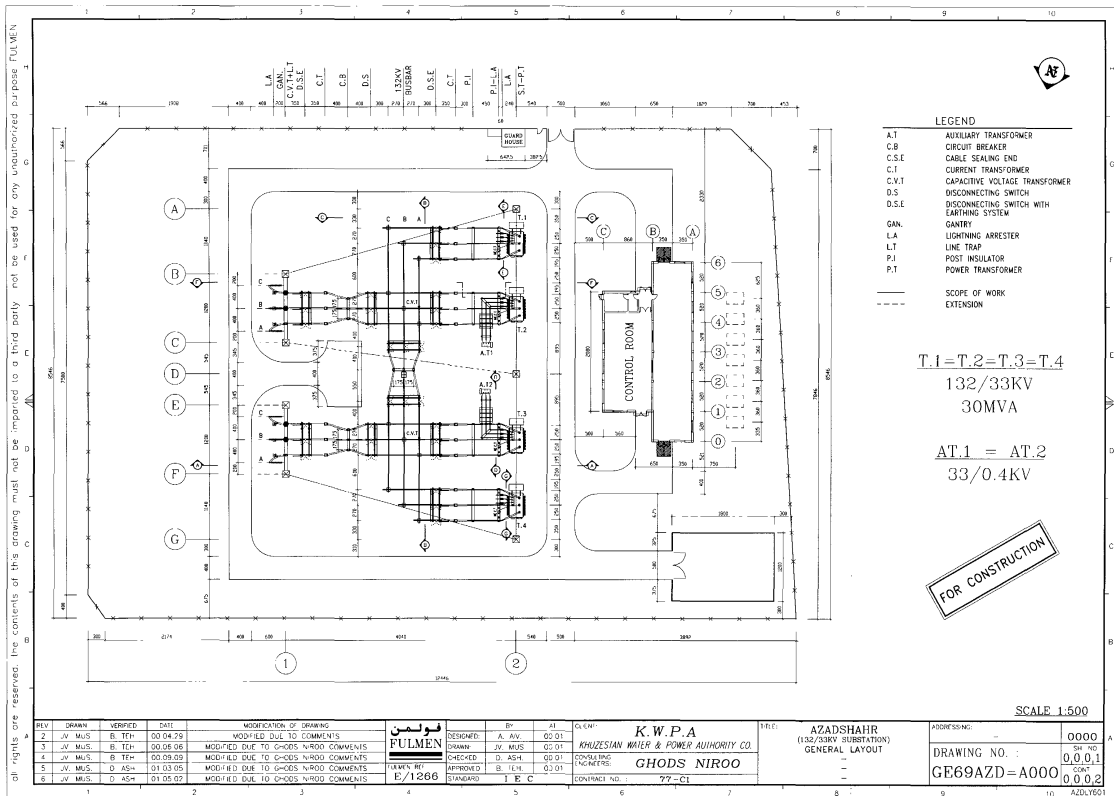
شکل (۳-۲): نقشه اتاق کنترل پست واقعی ۱۳۲ کیلوولت



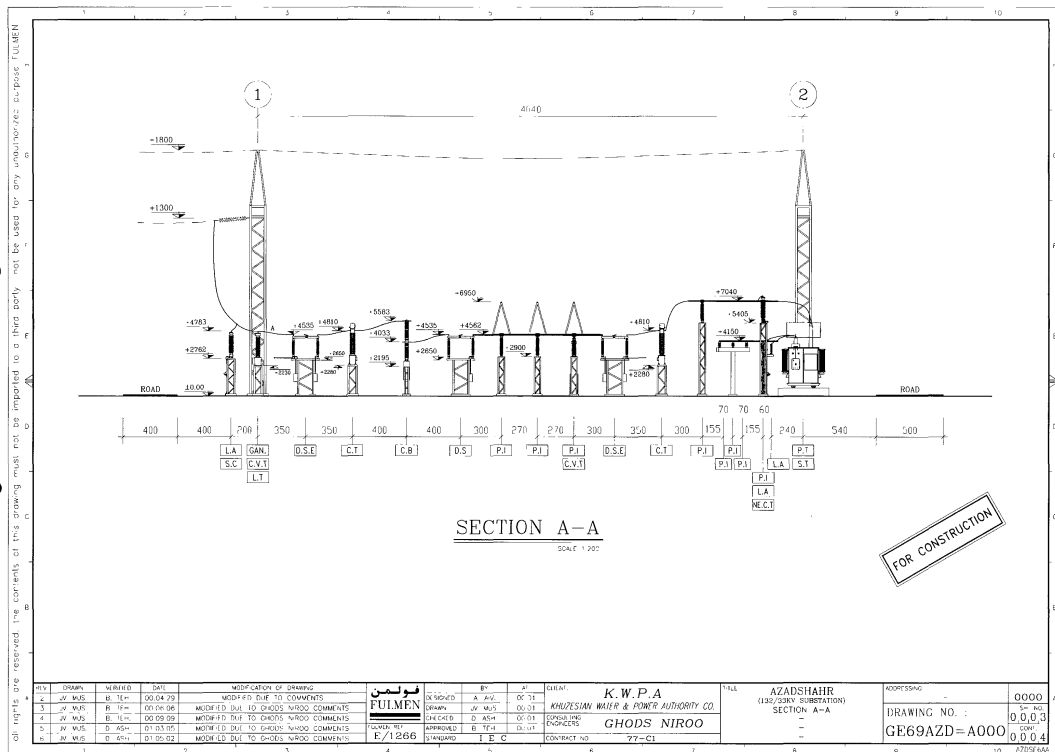
شکل (۲-۴): جانمایی تجهیزات همجوار ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلوولت پست



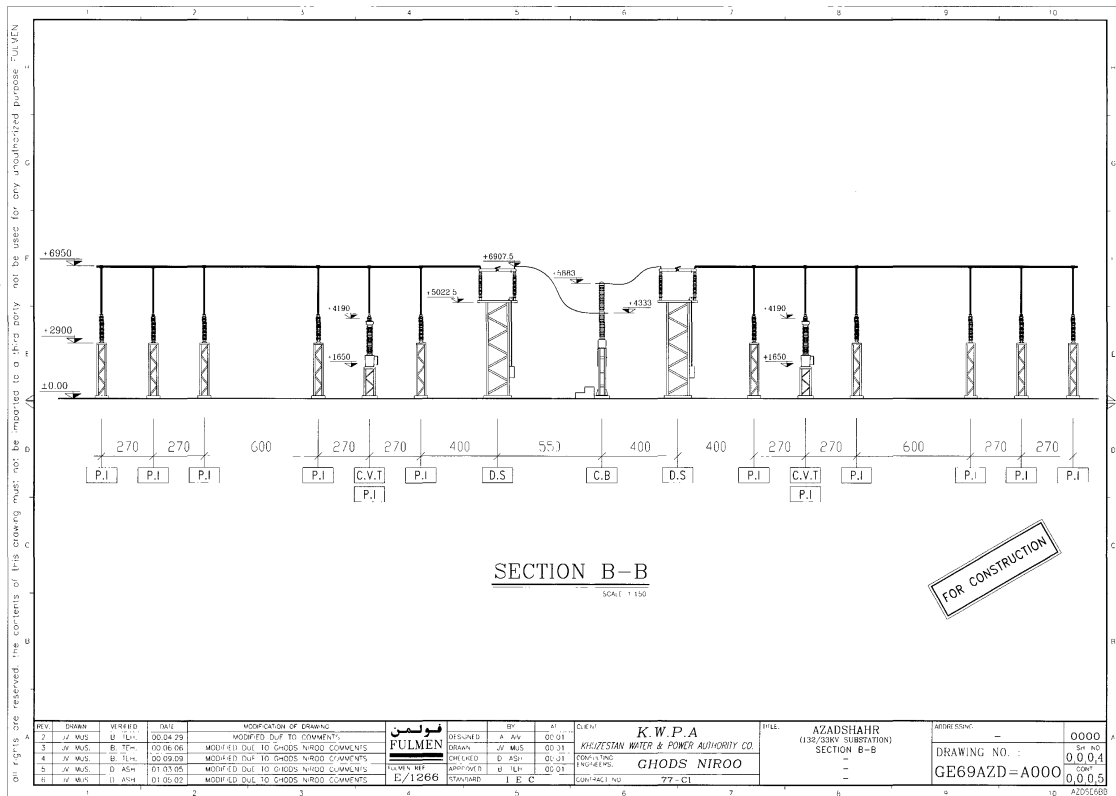
شکل (۲-۵): شماتیک تک خطی پست ۱۳۲ کیلوولت



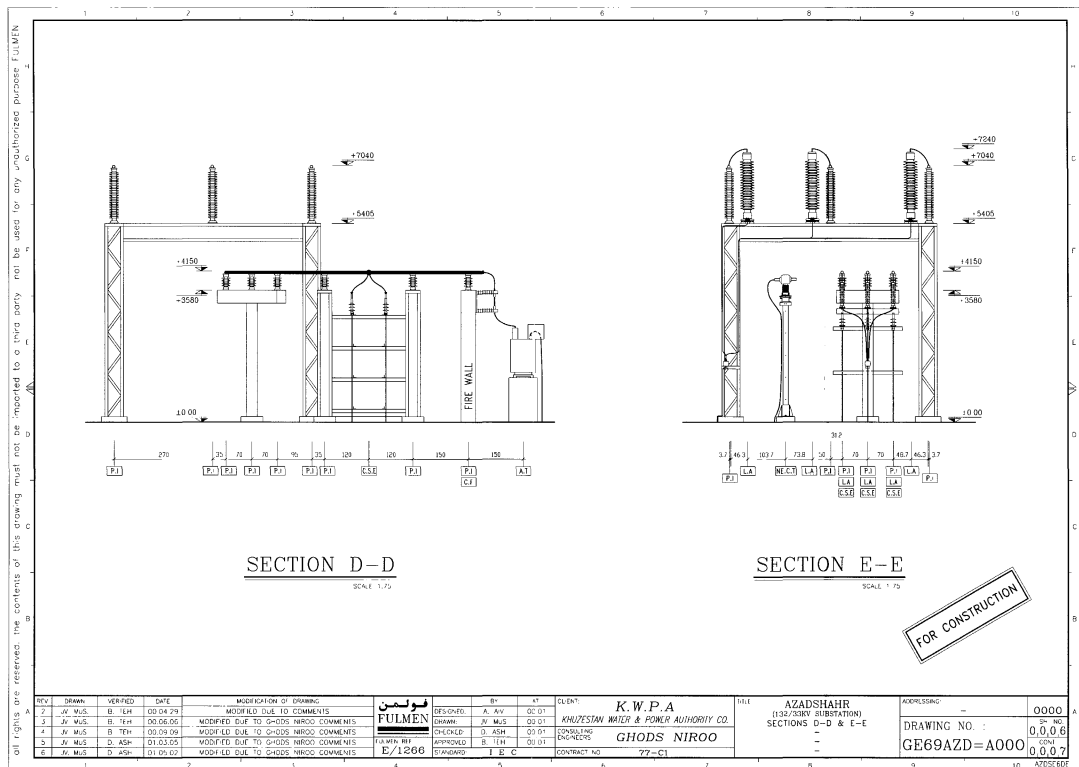
شکل (۸-۲): تصویر از بالا جانمایی تجهیزات پست ۱۳۲ کیلوولت



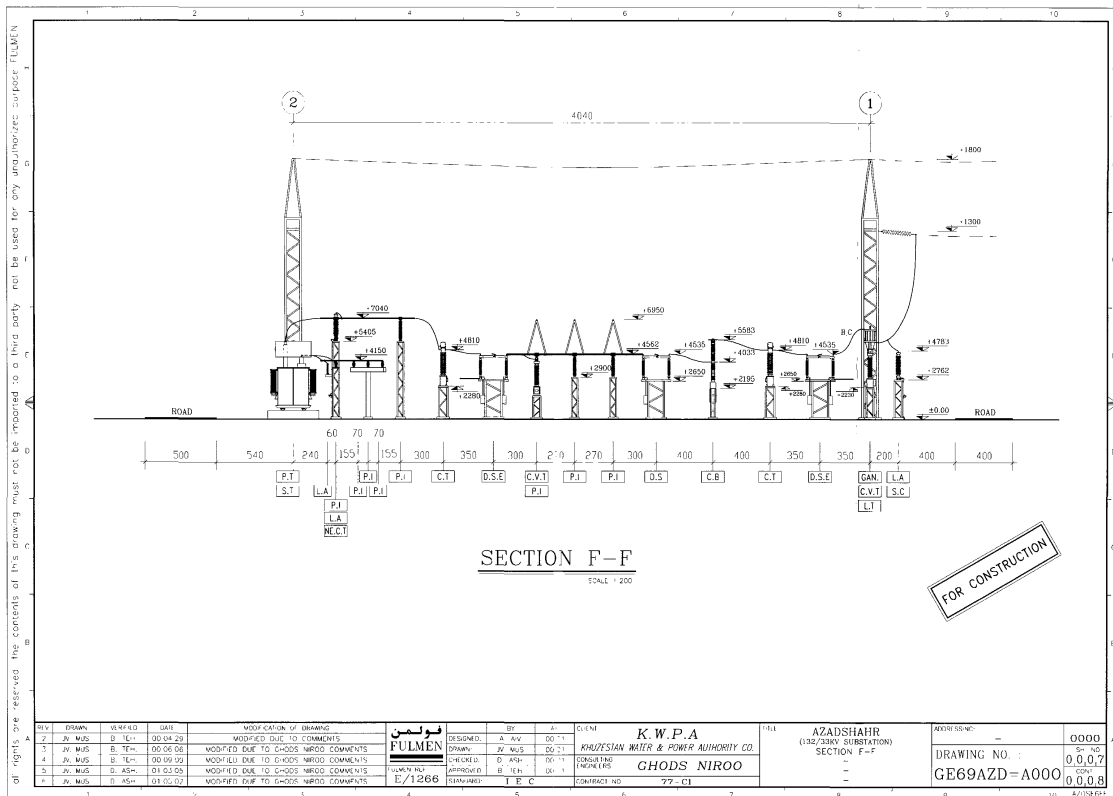
شکل (۹-۲): مسیر تکفاز پست فشارقوی از گنتری تا ترانسفورماتور



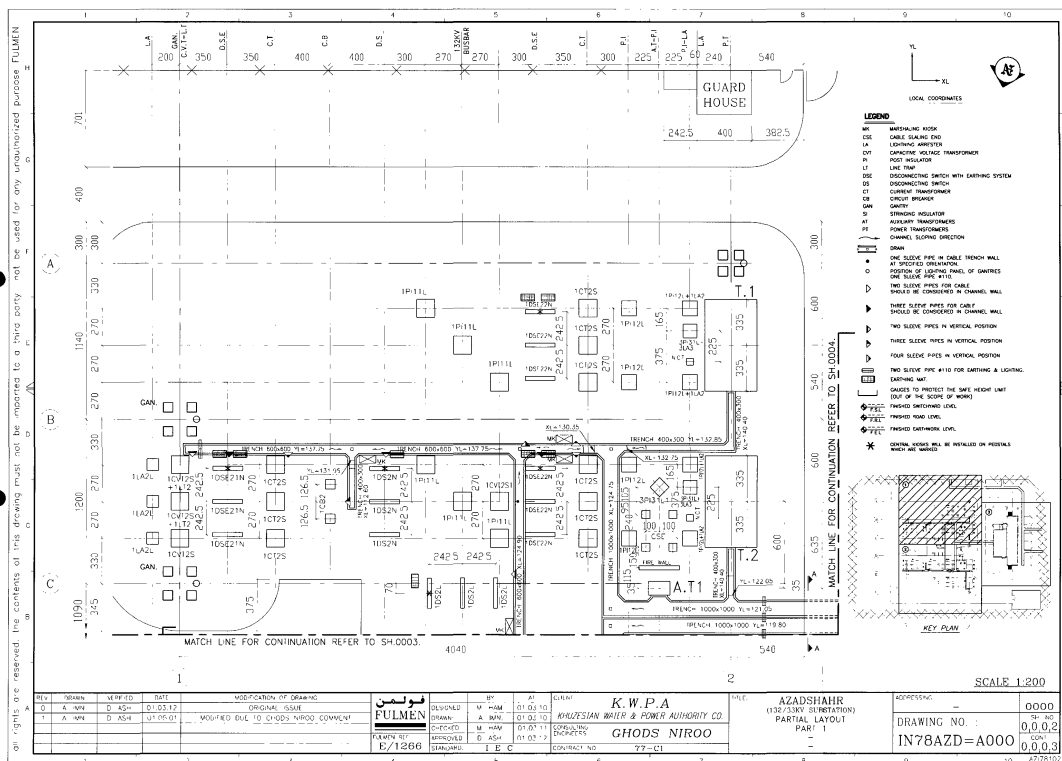
شکل (۲-۱۰): بخش میانی جانمایی تجهیزات پست



شکل (۲-۱۱): جانمایی مقره‌های اتکایی دو سطح ولتاژ پست ۱۳۲ کیلوولت



شکل (۲-۱۲): جانمایی تجهیزات پست از ابتدای ورودی تا خروجی



شکل (۲-۱۳): نگاه از بالای جانمایی تجهیزات پست

با توجه به بند ۱-۲ شرح خدمات پروژه حاضر، می‌بایست با بازدید از پست مذکور، چند مقره یا پوشینگ با توجه اهمیت آنها انتخاب می‌گردید و طراحی سیستم شستشوی ثابت برای مقره‌های منتخب انجام می‌گرفت. اما با توجه به شرایط ویژه کشور در بازه‌های زمانی که محدودیت‌هایی از نظر همه‌گیری بیماری کرونا به وجود آمد، با مشورت‌های انجام گرفته با ناظر محترم پروژه، این نتیجه حاصل شد که طراحی سیستم شستشو ثابت برای تمامی مقره‌های ۱۳۲ کیلوولت پست ۱۳۲ کیلوولت خوزستان انجام گردد. در این مورد حجم کار طراحی و محاسبات مرتبط گرچه افزایش می‌یابد با اینحال، طراحی اجزا به سیستم واقعی اجرایی نزدیک می‌گردد و می‌توان قدرت الکتروپمپ و سائزینگ لوله‌ها و حجم منبع و دیگر موارد و نیازمندی‌های فنی طراحی برای تمامی مقره‌های پست مذکور طراحی کرد. در ادامه طراحی انجام گرفته با نرم‌افزار مکانیک سیالات و پایپینگ مرتبط ارائه می‌گردد.

۱-۲- طراحی سیستم شستشوی ثابت برای پست فشارقوی

مشخصات اولیه و مهم پست فشارقوی که از نظر طراحی سیستم شستشوی ثابت اهمیت دارد در زیر ارائه شده است.

پست فشار قوی ۱۳۲ کیلو ولت مطابق بند ۱-۲ این گزارش در موقعیت استان خوزستان:

- ۱- مساحت محدوده پست حدود ۱۰،۶۴۰ مترمربع می‌باشد.
- ۲- تعداد مقره های عمودی قابل شستشو به تعداد ۱۱۳ عدد می‌باشند.
- ۳- تعداد مقره های افقی قابل شستشو ۶ عدد می‌باشند.
- ۴- ارتفاع پایه (فوندانسیون) مقره های عمودی به طور عمومی ۲۹۰ سانتیمتر می‌باشند.
- ۵- طول مقره‌های عمودی و افقی حدود ۲۰۰ سانتیمتر می‌باشند.
- ۶- قطر خارجی مقره های اتکایی پست ۲۰ سانتیمتر می‌باشند و در موارد استثنا، تا ۳۵ سانتیمتر.
- ۷- سیستم شستشوی استفاده شده مطابق موارد فنی مطرح شده در گزارش شماره PHVPN32/T1 (گزارش مرحله اول این پروژه) از نوع سیستم شستشوی ثابت با فشار کم انتخاب گردیده است.

• انتخاب روش شستشو

همانطور که در مطالعه سیستم های مختلف شستشو برای مقره های ثابت نیز مشاهده گردید، انواع روش های شستشو به شرح ذیل قابل مقایسه اجمالی میباشد :

۱. پاشش آب با فشار زیاد (۳،۰۰۰ الی ۷،۰۰۰ کیلو پاسکال)
۲. پاشش آب با فشار متوسط (۲،۰۰۰ الی ۳،۰۰۰ کیلو پاسکال)
۳. پاشش آب با فشار کم و با نازل نصب ثابت (۳۰۰ الی ۲،۰۰۰ کیلو پاسکال)

در طرح پیش روی، طراحی سیستم شستشو با استفاده از روش ۳ یعنی پاشش آب با فشار کم و با نازل های نصب ثابت مورد نظر بوده و با مراجعه به جدول (۱-۲) اطلاعات شستشو با فشار کم بوسیله تجهیزات نصب ثابت در یک نمونه به شرح ذیل می باشد :

جدول (۱-۲) : اطلاعات طراحی شستشو با فشار آب کم بوسیله تجهیزات نصب ثابت در یک نمونه شرکت Wilorton

اطلاعات طراحی	275 KV	400 KV
حداقل مقاومت ویژه ($\Omega.cm$)	10,000	20,000
فشار آب در نازل (kPa)	700	1000
فاصله نازل تا هادی برق دار (m)	۳,۱	۴,۳
تعداد نازل تا هادی برق دار (m)	۶ عدد برای CT ۴ عدد برای بقیه	۸ عدد برای CT ۶ عدد برای بقیه
دبی آب (L/s)	۴,۷ برای کلید و CT ۳,۵ برای بقیه	۷,۴ برای کلید ۶,۲ برای CT ۵,۵ برای بقیه
مدت زمان شستشو (ثانیه)	۲۵	۲۵

با توجه به اینکه عملیات شستشو نیاز به طراحی دقیق و همینطور آزمایشات متعدد دارد و به منظور کاهش هزینه های ریالی و زمانی، بهترین روش برای بهینه سازی استفاده از تجربیات شرکت های فعال در این عرصه می باشد و با نگاهی اجمالی از مشخصات و مطالعات این شرکت ها و بررسی اطلاعات در دسترس برای دو شرکت Wilorton و CEGB خواهیم دید

• نتایج آزمایشات و داده های شرکت Wilorton برای شبکه با ولتاژ ۱۳۲ کیلو

ولت

- ۱- فشار آب ۲,۷۵۰ کیلو پاسکال الی ۷,۰۰۰ کیلو پاسکال برای کل سیستم
- ۲- دبی آب ۱,۸۰۰ لیتر در دقیقه معادل ۴۸۰ گالن در دقیقه برای هر زون (بخش)
- ۳- زمان شستشو برای هر زون (بخش) ۲۵ ثانیه

• نتایج آزمایشات و داده های شرکت CEGB برای شبکه با ولتاژ ۱۳۲ کیلو

ولت

➤ فشار آب ۵۰۰ کیلو پاسکال برای کل سیستم

➤ دبی آب ۰,۴۵ لیتر در ثانیه معادل ۷,۲ گالن در دقیقه برای هر نازل

➤ زمان شستشو برای هر زون (بخش) ۲۵ ثانیه

با دقیق تر شدن در نتایج در دسترس دو شرکت اخیر مشاهده می گردد که اطلاعات و داده های کامل و دقیق از شرایط انجام آزمایشات و حتی طراحی سیستم و تعداد بهینه شده برای هر مقرر بطور دقیق ارائه نگردیده ولی با مقایسه و تامل بیشتر ملاحظه میشود با افزایش تعداد مقرر ها دبی و فشار مورد نیاز سیستم جهت شستشو کاهش می یابد و از طرفی با جمع بندی اطلاعات این دو شرکت میتوان با فرض استفاده از ۳ نازل برای شستشوی هر مقرر و همچنین دبی ۷ تا ۱۰ گالن در دقیقه برای هر نازل اقدام به طراحی سیستم مینماییم.

همچنین با عنایت به اهمیت جلوگیری از نشتی جریان و با توجه به پراکنده گی مقرر ها به دلیل مساحت بالای پست، در طراحی این سیستم به منظور متعادل و یکنواخت کردن فشار آب در کل از لوله کشی به صورت حلقه ای (Loop) استفاده می گردد و با پیروی از جدول ساینزینگ لوله های کرین استیل برای سیستم های باز، طراحی لوله کشی و ساینز بندی انجام گردد.

آنچه برای طراحی سیستم لوله کشی باید بدانیم، افت هایی است که بر سیستم تحمیل می گردد و عبارتند از :

۱- افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله ها

۲- افت فشار ناشی از ارتفاع

۳- افت فشار در شیر آلات و سایر اتصالات

۴- افت فشار ناشی از نازل ها

۲-۱-۱- افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله ها

در اثر عبور جریان آب در داخل لوله ها، متناسب با جنس لوله، اصطکاکی بین آب و جدار داخلی لوله وجود خواهد داشت که باعث افت فشار می گردد.

طبیعتاً هر چه سطح داخلی لوله نرم تر باشد میزان افت فشار کمتر خواهد بود. بنابراین متناسب با جنس لوله از جداول و نمودارهای مربوط به همان جنس در تعیین قطر لوله استفاده خواهد شد.

به طور کلی لوله های فلزی برحسب جنس و مدت زمان استفاده از نقطه نظر زبری به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- لوله های نرم (Fairly Smooth) که در آنها سطح داخل لوله صاف می باشد . لوله های مسی، استیل، برنجی یا از جنس روی را می توان در این گروه قرار داد.

۲- لوله های نیمه خشن (Fairly Rough) که لوله های معمولی و متداول از قبیل لوله های فولادی ، گالوانیزه و چدنی را شامل می شوند.

۳- لوله های خشن (Rough) کلیه لوله ها بطور متوسط پس از ده تا پانزده سال کار کردن جزء این گروه محسوب می شوند.

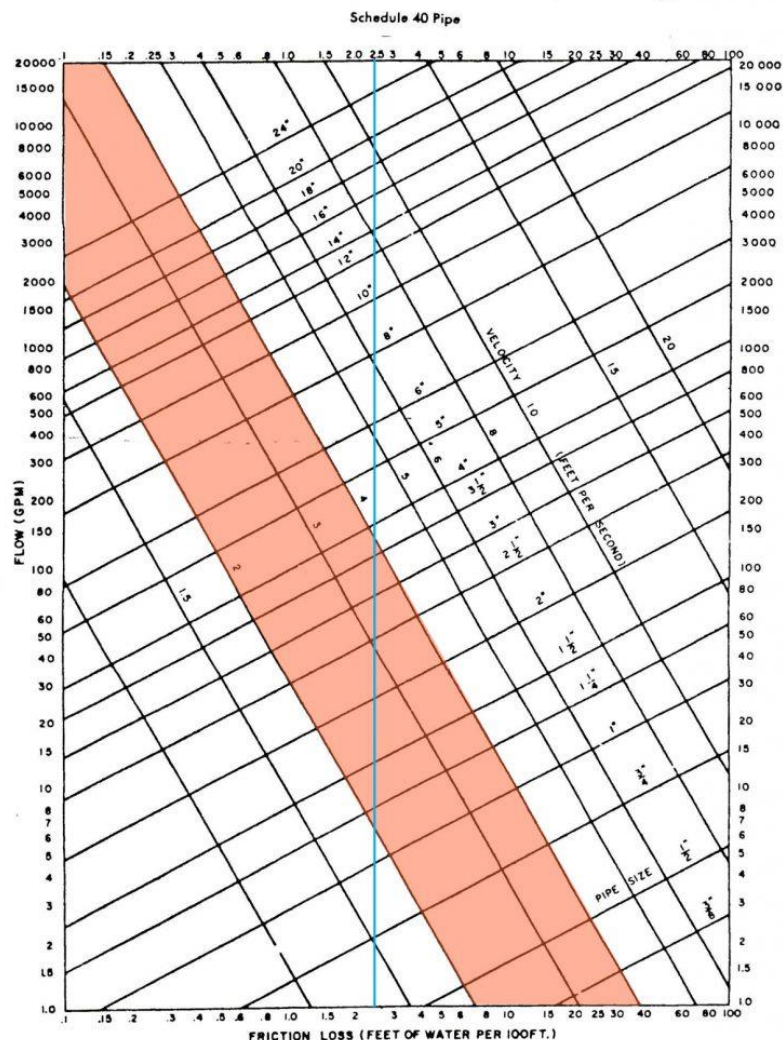
برای بدست آوردن افت فشار ناشی از اصطکاک با داشتن دبی و سرعت مورد نیاز به نمودار افت فشار لوله مورد نظر به نمودار زیر مراجعه نموده و افت فشار را بر حسب Psi در هر صد فوت از طول لوله بدست می آوریم. معمولاً میتوانیم برای تأثیر دادن خشن شدن لوله ها پس از یک مدت زمان حدود پانزده سال به افت فشار بدست آمده از این نمودارها ده درصد می افزایند.

همانطور که در نمودار ذیل مشاهده میگردد میتوانیم سایز لوله را با استفاده از داده های بدست آمده محاسبه کرد و در قسمت های بعد به تفصیل در این خصوص توضیح داده خواهد شد.

در شکل (۲-۱۴) یک قسمت نارنجی رنگ و یک خط آبی رنگ را ملاحظه می کنید. این خط آبی رنگ، محدوده را برای مقدار افت فشار ۲,۵ متر در هر ۱۰۰ متر (که مناسب برای طراحی لوله کشی در کاربرد های مسکونی میباشد) را بیان می کند. یعنی افت فشار ۲,۵ درصد. خط

عمودی چپ یا راست، میزان دبی را مشخص می‌کند. خط‌های مورب رو به راستی سایز لوله را مشخص می‌کند و خط‌های مورب رو به چپ سرعت حرکت در لوله را بیان می‌کند.

نرخ افت فشار برای لوله‌های آهنی در سیستم لوله کشی باز



شکل (۲-۱۴): جدول نرخ افت فشار لوله آهنی در سیستم باز

۲-۲-۱- افت فشار در اثر ارتفاع

مقداری از فشار آب ورودی به شبکه لوله کشی آب صرف بالا رفتن از لوله‌های عمودی می‌شود و از آنجا یک متر ستون آب فشاری به اندازه 0.1 Kg/cm^2 بر قاعده خود وارد می‌نماید، اگر ارتفاع h را برحسب فوت در نظر بگیریم، مقدار افت فشار در اثر بالا رفتن آب از ارتفاع h فوت طول لوله بر حسب Psi از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P = 0.434h$$

۲-۲-۲- افت فشار ناشی از اتصالات و شیر آلات

هنگامی اتصالات از قبیل سه راهی، زانوپی، مغزی، مهره ماسوره، تبدیل و بوشن و انواع مختلف شیر آلات در مسیر جریان آب قرار میگیرند باعث افت فشار آن میشوند. برای محاسبه مقدار افت فشار ناشی از این اتصالات، در نتیجه آزمایشات مختلف مشخص شده است که هر یک از این اتصالات با قطر معین معادل چند فوت طول لوله با همان قطر افت فشار دارد و آن را طول معادل نامیده اند. جدول (۲-۲) طول معادل هر یک از اتصالات را بر حسب فوت ارائه داده است:

جدول (۲-۲) : جدول افت فشار آب با توجه به قطر و نوع اتصالات

قطر اتصالات/نوع اتصال	زانو ۹۰	زانو ۴۵	سه راهی ۹۰ با بوسن و مغزی	شیر فلکه کشویی
۳/۴ اینچ	۱	۱,۵	۰,۸	۰,۵
۱ اینچ	۳	۱,۸	۰,۹	۰,۶
۱/۲ و ۱ اینچ	۵	۳	۱,۵	۱
۲ اینچ	۷	۴	۲	۱,۳
۲ و ۱/۲ اینچ	۸	۵	۲,۵	۱,۶
۳ اینچ	۱۰	۶	۳	۲

پس از محاسبه طول معادل ناشی از اتصالات مختلف موجود در لوله کشی سیستم، آن را با طول واقعی لوله ها جمع مینماییم تا طول معادل کل شبکه بدست آید. در عمل به تجربه ثابت شده است که میتوان بجای استفاده از جدول فوق با اطمینان کافی ۵۰ درصد به طول مسیر لوله کشی اضافه نموده تا طول معادل بدست آید.

۲-۲-۳- افت فشار ناشی از نازل

با توجه به اینکه دیتاشیت نازل هایی که شرکت های فوق الذکر موجود نمیشد به فشار کاری که در گزارش ها ارائه نموده اند بسنده میکنیم و برای این نازل ها افت فشار را ۱۰ بار در نظر میگیریم، ولی طبیعی است که با آزمایشات متعدد میتوانیم این افت فشار را بخوبی با نازلی که در سیستم بکار میگیریم استخراج نماییم و محاسبات مربوط به فشار سیستم را در صورت نیاز اصلاح نماییم.

۲-۲-۴- تعیین پر مقاومت ترین مسیر

بعد از طراحی مسیر های لوله کشی با توجه به جانمایی مقره های شبکه و برای بهینه کردن تجهیزات کنترلی و زمان شستشوی مقره ها و سیستم تامین فشار، اقدام به زون بندی (بخش بندی) شبکه نموده، به گونه ای که مرحله به مرحله هر بخش به تناوب با دستوری که از مرکز کنترل میگیرد شیر برقی مربوط به زون مورد نظر باز شده و عملیات شستشو انجام میگیرد. بنابراین همانطور که در پلان مشاهده میگردد پست حاضر به ۱۵ بخش تقسیم گردیده (اطلاعات تکمیلی در خصوص نحوه عملکرد این شیرهای برقی در انتهای گزارش به تفصیل آمده است.) و همانطور که در بالا ذکر شد برای محاسبه افت فشار سیستم میباید بر اساس دورترین نازل کلیه افت فشار ها محاسبه گردد :

$$\text{فوت } 530 = \text{متر طول } 162 = 3 + 5 + 65 + 89 = \text{طول دورترین نازل}$$

$$\text{فوت } 265 = 0.5 \times 530 = \text{طول معادل اتصالات}$$

$$\text{فوت } 795 = 265 + 530 = \text{طول معادل کل سیستم}$$

$$20 \text{ ft} = 6 \text{ m} = (2.5 \text{ ft}/100 \text{ ft}) \times 795 \text{ ft} = \text{تلفات اصطکاکی لوله فولادی کربن استیل}$$

$$\text{متر طول } 3 = \text{ارتفاع نصب نازل}$$

$$= \text{هد کلی سیستم}$$

$$+ (\text{ارتفاع از دهش پمپ تا نازل } 3 \text{ متر طول})$$

$$+ (\text{افت فشار سیستم } 6 \text{ متر})$$

$$+ (\text{هد مورد نیاز برای هر نازل } 10 \text{ بار در نظر گرفته شده است})$$

$$\text{فوت } 368 = \text{بار } 11 = \text{متر طول } 110 =$$

با توجه به اینکه هر بخش از ۹ مقره تشکیل شده است و هر مقره دارای ۳ عدد

نازل میباشد بنابراین گذر آب مورد نیاز هر بخش برابر:

$$9 \times 3 \times 10 \text{ gpm} = 270 \text{ gpm}$$

همانطور که در گزارش نیز شرح داده شده است برای شبکه با ظرفیت ۱۳۲ کیلو ولت از نازل با قطر ۴,۷۶ میلیمتر استفاده میگردد، بنابراین سرعت خروجی آب از دهانه نازل از رابطه زیر بدست خواهد آمد :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ (m/s)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

$$10 \text{ Gallon/min} \times 3.78 \text{ Lit/Gallon} \times 1 \text{ m}^3/1000 \text{ lit} \times 1 \text{ min}/60 \text{ s}$$

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0.00063 \text{ m}^3\text{/s}$$

$$V \text{ (m/s)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} / A \text{ (m}^2\text{)}$$

$$V \text{ (m/s)} = 0.00063 / (\pi \times (4.76 \times 10^{-3})^2/4)$$

$$V \text{ (m/s)} = 35.4 \text{ (m/s)} = 127.5 \text{ (km/h)}$$

همانطور که مشاهده می شود سرعت جریان آب خروجی از نازل ۳۵,۴ متر بر ثانیه معادل ۱۲۷,۵ کیلومتر بر ساعت خواهد بود.

۲-۲-۵- تعیین قطر لوله ها

با مشخص شدن افت فشار در بدترین مسیر و معلوم بودن جریان gpm مسیر های مختلف به نمودار سایزینگ که مربوط به لوله فولادی کربن استیل می باشد و می توان از دو روش فشار ثابت و افت فشار ثابت استفاده نمود ولی از آنجا که در روش افت فشار ثابت شبکه متعادل خواهد بود، معمولاً از این روش استفاده می شود. در روش افت فشار ثابت مقدار فشار را از مراحل قبل که معادل ۱۱ بار می باشد برای همه شاخه های اصلی و فرعی ثابت در نظر گرفته و با داشتن دبی هر شاخه و مراجعه به نمودارها قطر لوله های کلیه مسیرها بدست خواهد آمد.

در محاسبه قطر لوله ها باید دقت شود که سرعت آب در لوله ها در کاربرد های ساختمانی و مسکونی بدلیل ایجاد صدا و افزایش اصطکاک نباید از ۴ فوت در دقیقه بیشتر شود ولی در کاربرد های صنعتی این مقدار میتواند در محدوده ۶ تا ۸ فوت در دقیقه باشد.

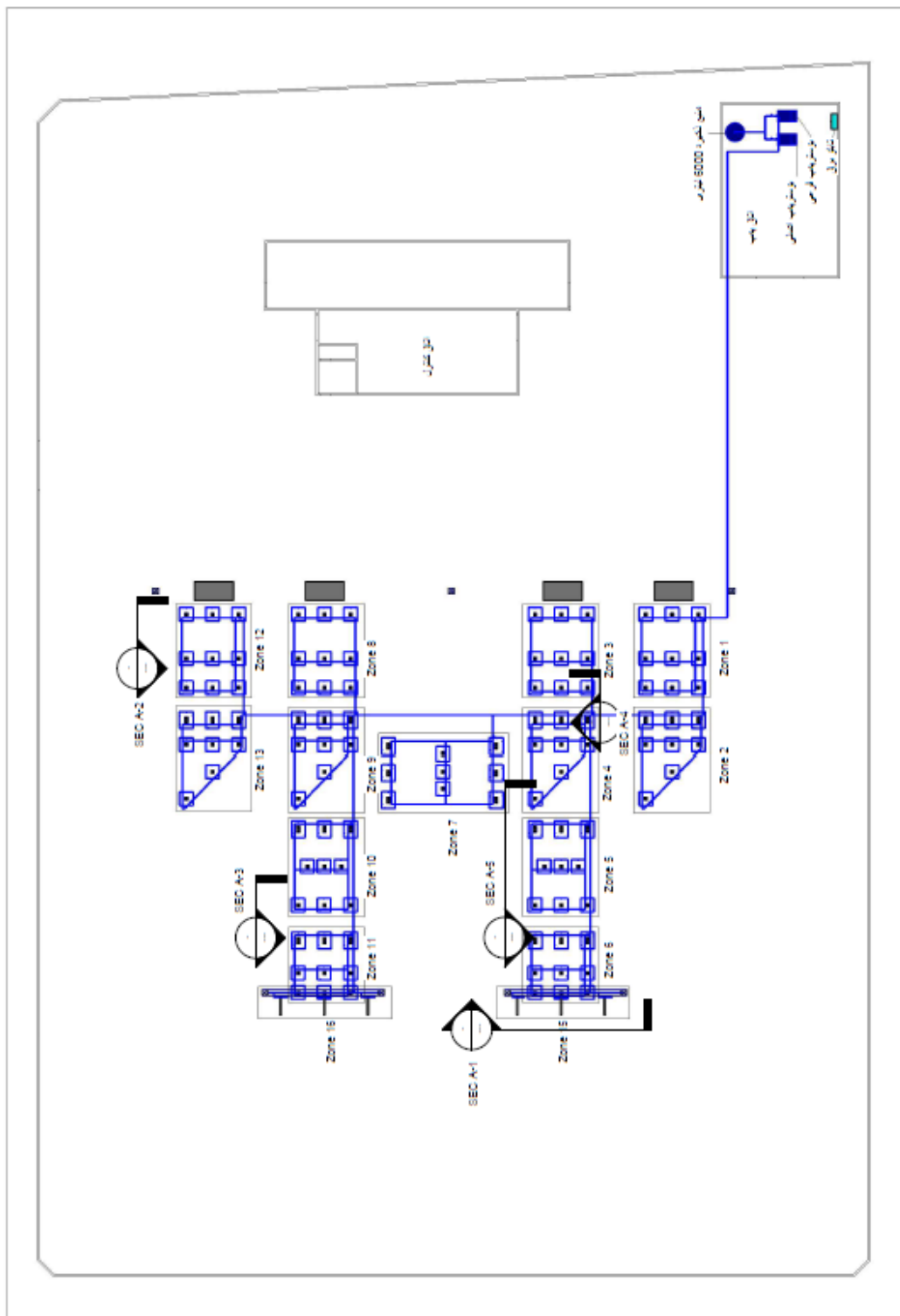
همچنین باید در نظر داشت بواسطه نوع سیال مورد نیاز در این سیستم بهترین انتخاب برای لوله کشی طرح استفاده از لوله گالوانیزه با استفاده از اتصالات دنده ای و یا لوله استنلس

استیل با استفاده از اتصالات جوشی می‌باشد زیرا کمترین آلودگی را وارد آب طی مدت هر دوره شستشو که آب در داخل لوله خواهد ماند را دارا می‌باشند.

۲-۳- ترسیم و طراحی لوله کشی شستشوی پست

با عنایت به موارد ذکر شده و با توجه به پلان جانمایی مقره های پست نقشه لوله کشی پست به صورت شکل (۲-۱۵) خواهد شد و همانطور که مشاهده میشود به تفکیک سایزینگ برای نمای جانبی مقره های افقی و عمودی و همچنین کلیه مسیرها در آن مشخص گردیده است و به پیوست در ذیل نحوه زون بندی و لوله کشی نمایش داده شده است.

طراحی مسیر های لوله کشی با توجه به جانمایی مقره های شبکه و برای بهینه کردن تجهیزات کنترلی و زمان شستشوی مقره ها و سیستم تامین فشار، اقدام به زون بندی (بخش بندی) شبکه نموده، به گونه ای که مرحله به مرحله هر بخش به تناوب با دستوری که از مرکز کنترل می گیرد شیر برقی مربوط به زون مورد نظر باز شده و عملیات شستشو انجام می گیرد. بنابراین همانطور که در پلان مشاهده میگردد پست حاضر به ۱۵ بخش تقسیم گردیده (اطلاعات تکمیلی در خصوص نحوه عملکرد این شیرهای برقی در انتهای گزارش به تفصیل آمده است).



شکل (۲-۱۵): شماتیک کلی سیستم شستشوی طراحی شده برای مقره‌های ۱۳۲ کیلوولت پست واقعی

۲-۳-۱- انتخاب بوستر پمپ

بوستر پمپ دستگاه یکپارچه ای متشکل از یک یا چند الکترو پمپ است که به صورت موازی کنار هم قرار گرفته اند و از طریق تابلو یا واحد کنترل فرمان می گیرند.

وظیفه بوستر پمپ ثابت نگه داشتن فشار در دبی مورد نیاز ساختمان است که با تغییر مقدار این دبی و افزایش مصرف ، به همان ترتیب پمپ ها یکی یکی از مدار خارج می شوند.

در سیستم های با مصارف آب بالا، حداقل مصرف معادل ۲۰ درصد حداکثر مصرف است. بنابراین یک بوستر با دو ، سه یا چهار پمپ در این سیستم ها انتخاب می شود به گونه ای که در زمان حداقل مصرف بخشی از ظرفیت یکی از الکترو پمپ ها، آب مورد نیاز را تامین نماید و در حداکثر مصرف مجموعه الکترو پمپ ها جوابگوی حداکثر مصرف ساختمان باشند. در بوستر پمپ هایی که از چند الکترو پمپ استفاده می شود، یک الکترو پمپ به عنوان الکترو پمپ رزرو خواهد بود که به صورت نوبتی مشابه سایر الکترو پمپ ها کار خواهد کرد. در شکل صفحه بعد نمونه ای از یک دستگاه بوستر پمپ نشان داده شده است.

برای بالا بردن عمر سیستم بوستر پمپ باید میزان استهلاک را به صورت مساوی بین کلیه پمپ های سیستم تقسیم نمود و برای این منظور باید کارکرد همه پمپ ها مساوی باشد. بنابراین باید در سیستم بوستر پمپ تعریف کار پمپ ها به راحتی امکان پذیر باشد به طوری که در دفعات مختلف که بوستر پمپ شروع به کار می کند ، پمپ های مختلفی به عنوان اولین پمپ وارد مدار شوند.

همچنین برای کاهش استهلاک سیستم بوستر پمپ و بالا بردن عمر دستگاه و کاهش میزان مصرف برق این دستگاه ، یک عدد پمپ کوچک با میزان آب دهی کم و ارتفاع آبرسانی برابر با ارتفاع آبرسانی پمپ های اصلی دستگاه به سیستم اضافه می کنند. این پمپ که جاکی پمپ یا پمپ پیشرو نامیده می شود، در هر بار استفاده از دستگاه به عنوان اولین پمپ به کار می افتد. در ادامه اگر میزان مصرف آب در شبکه از میزان آب دهی جاکی پمپ بیشتر شود، این پمپ بطور اتوماتیک خاموش شده و پمپ های اصلی به نوبت و به تناسب بالا رفتن میزان آب مصرفی وارد مدار می شوند.

معمولاً در طراحی ها از ۲۰ درصد ظرفیت حداکثر مصرف به عنوان ظرفیت جاکی پمپ استفاده می نمایند.

۲-۳-۲- موارد استفاده از بوستر پمپ

بوستر پمپ ها معمولاً در موارد زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

- ۱- آبرسانی مجتمع ها و برج های مسکونی.
- ۲- آبرسانی بیمارستان ها، فرودگاه ها، هتل ها، کارخانجات و سایر مراکز صنعتی.
- ۳- آبرسانی شهرها و شهرک ها
- ۴- استفاده در پروژه های آبیاری قطره ای ، باران مصنوعی و مزارع و کشتزار ها.
- ۵- سیستم های اطفای حریق

۲-۳-۳- انواع بوستر پمپ

به طور کلی بوستر پمپ ها به لحاظ نحوه عملکرد به دو نوع دور ثابت و دور متغیر تقسیم می‌شوند. در بوستر پمپ های با دور ثابت تک پمپه عملکرد الکترو پمپ از طریق فرمان های صادر شده از یک پرشر سویچ که در حداقل و حداکثر فشار مورد نیاز تنظیم شده کنترل می‌گردد. در بوستر پمپ های دور ثابت با ورود و خروج پمپ ها به مدار نمی‌توان دقیقاً فشار کاری مورد نیاز را فراهم نمود بلکه همواره فشار ایجاد شده توسط دستگاه بیشتر از فشار مورد نیاز خواهد بود.

برای تنظیم دقیق فشار آب به گونه ای که به همان اندازه که فشار نیاز است از توان پمپ نیز استفاده شود باید از بوستر پمپ های دور متغیر استفاده نمود. در این صورت با تغییر دور الکترو موتور دبی آب خروجی از الکترو پمپ تغییر می‌کند و بدین ترتیب می‌توان فشار آب در سیستم را کاملاً دقیق کنترل نمود. بنابراین از آنجا که دستگاه بوستر پمپ دور متغیر همواره به اندازه فشار مورد نیاز ساختمان در مدار خواهد بود، برق بسیار کمتری را نسبت به بوستر پمپ های دور ثابت مصرف خواهد نمود ولی باید توجه نمود که هزینه های ساخت و خرید آنها نیز بسیار بالا تر از بوستر پمپ های دور ثابت است.

۲-۳-۴- مشخصات بوستر پمپ شستشوی مفره های شبکه

با استفاده از اطلاعات بدست آمده برای هر زون مشخصات بوستر پمپ مورد نظر برابر خواهد بود با :

- دبی کل سیستم ۲۷۰ گالن در دقیقه می‌باشد.
- فشار کل سیستم ۱۱ بار و یا ۱۴۰ فوت می‌باشد.
- تعداد پمپ های بوستر پمپ برابر دو دستگاه می‌باشد که یک دستگاه بصورت رزرو خواهد بود.
- کارکرد سیستم بصورت دور ثابت خواهد بود.
- قطر لوله مکش ۴ اینچ می‌باشد.
- قطر لوله دهش ۳ اینچ می‌باشد.

۲-۳-۵- محاسبه کمترین فاصله تا تجهیز برق دار

همانطور که از نمودار تغییرات قطر نازل و جریان نشستی مشخص می‌باشد، با توجه به اینکه در محدوده قطر ۴ تا ۶ میلیمتر جریان نشستی بصورت خطی تغییر می‌کند بنابراین برای بدست آوردن حداقل فاصله نازل تا هادی برق دار می‌توانیم از میان یابی خطی این فاصله را برای ولتاژ پست ۱۳۲ کیلو ولت محاسبه نماییم :

جدول (۲-۳) : انتخاب حداقل فاصله مجاز نازل تا هادی

ولتاژ خط	حداقل فاصله نازل تا هادی (متر طول)	حداکثر قطر دهانه نازل (میلیمتر)
۱۱۵	۳,۰۵	۴,۷۶
۱۳۲	۳,۱۴ (بدست آمده از طریق میان یابی)	۴,۷۶
۲۳۰	۳,۶۶	۴,۷۶

با ملاحظه در جدول (۲-۳)، مشاهده می‌شود که با افزایش قطر نازل بدلیل ثابت بودن دبی عبوری از نازل، سرعت جریان آب خروجی کاهش می‌یابد و به طبع برای جلوگیری از تخلیه بار باید فاصله طولی نازل با بخش هادی برق دار نیز افزایش یابد که در جدول فوق بخوبی نمایان می‌باشد.

۲-۳-۶- محاسبه حجم ذخیره منبع آب

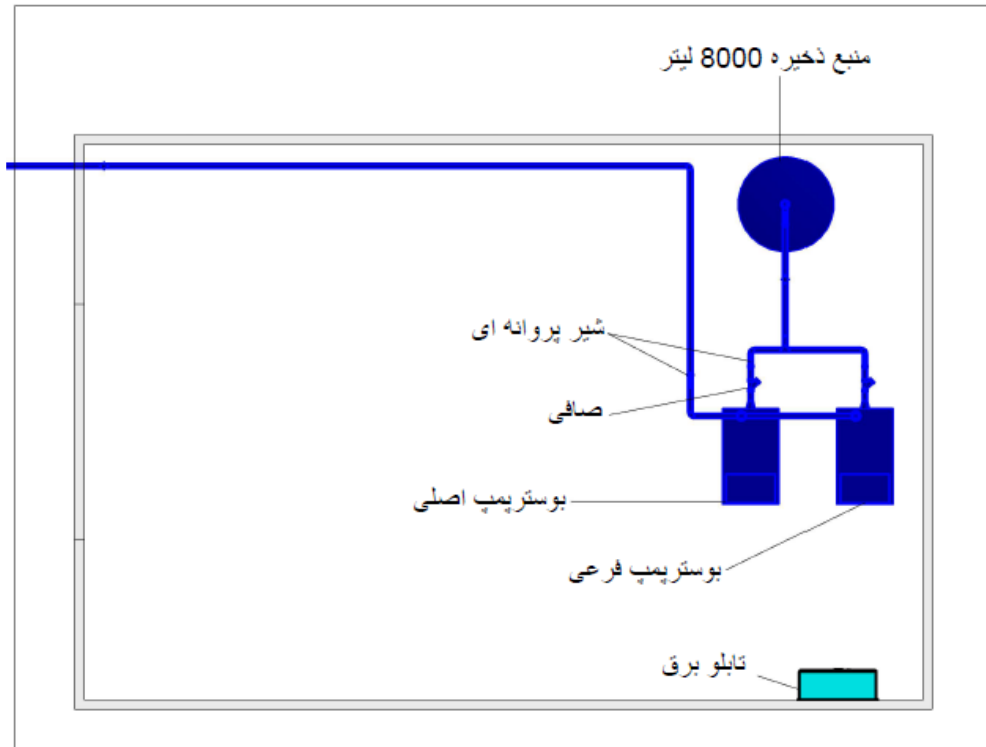
۱۴۹ عدد = $۱۴۳ + ۶$ = تعداد کل مقره ها

$3 \times 149 \times 10 \text{ gpm} = 4470 \text{ gpm}$ = دبی کل سیستم برای هر بار شستشوی شبکه

$25/60 = 0.416 \text{ min}$ = زمان شستشو

$4470 \text{ gallon/min} \times 0.416 \text{ min} = 1860 \text{ gallon}$ = حجم مخزن آب مورد نیاز

$$1860 \text{ gallon} \times 3.78 = 7026 \text{ lit}$$



پلان اتاق پمپ

شکل (۲-۱۶): جانمایی اتاق موتور پمپ سیستم شستشوی ثابت پست

۲-۳-۷- نکات فنی در طراحی پایپینگ سیستم شستشوی ثابت

➤ استاندارد لوله های فولادی

لوله کشی از نظر فنی به سه دسته تقسیم می شود پایپینگ (piping) یعنی این که لوله کشی در داخل محدوده ساختمان یا واحد مورد نظر می باشد. پایپ لاین (pipeline) این لوله کشی برای مسیر های طولانی که حتی نیاز باشد از پروژه خارج شود. پلامینگ (plumbing) که در زمینه تاسیسات بهداشتی و بعضا لوله کشی های فاضلابی است. هر سه این موارد را اصطلاحا پایپینگ می گویند. باید به این نکته توجه کرد که این کد به ۷ بخش تقسیم می شود که در جدول زیر می توانید ملاحظه نمایید.

در جدول (۲-۴) استاندارد ASME B31 لوله های فولادی و موارد کاربرد آنها ذکر گردیده است و با توجه به مشخصات طرح پیش رو لوله های مورد نظر با کد B31.1 می باشد.

جدول (۲-۴): موارد کاربرد لوله های مختلف صنعتی

ردیف	نام کد	بخش تدوین شده	کاربرد
۱	کد B31.1	لوله کشی نیروگاهی	مصرف این کد بیشتر در واحدهای صنعتی و تجاری است و البته در نیروگاههایی که برق تولید می کنند و مکان هایی که نیاز به سیستم های حرارتی زمین گرمایی دارند. این محصول را در سیستم های گرمایش و سرمایش مرکزی استفاده می کنند.
۲	کد B31.3	لوله کشی فرآیندی	در پالایشگاه های نفتی، صنایع دارویی و... مورد استفاده قرار می گیرد.
۳	کد B31.4	خطوط لوله انتقال مایعات و اسلاری ها	مربوط به لوله کشی یا پایپینگ انتقال محصولات و سیالات می شود که بین ترمینال ها و ایستگاه های پمپاژ قرار می گیرد.
۴	کد B31.5	لوله کشی برودتی و اجزای انتقال حرارت	پایپینگ میردها و میردهای ثانویه استفاده می شود.
۵	کد B31.8	لوله کشی توزیع و انتقال گاز	برای انتقال گاز استفاده می شود مثل گاز کمپرسورها و خطوط انتقال جمع آوری گاز.
۶	کد B31.9	لوله کشی ساختمانی	پایپینگ ساختمان های صنعتی، موسسات تجاری، عمومی و بلوک های ساختمانی که نیاز به محدوده سایز و فشار و دما ندارد.
۷	کد B31.12	لوله کشی و خطوط لوله هیدروژنی	برای انتقال لجن ها در داخل ایستگاه های پمپاژ استفاده می شود.

با عنایت به مشخص شدن استاندارد لوله و اتصالات، نیازمند به اطلاعاتی در خصوص انواع اتصالات مورد استفاده و کاربرد های آنها خواهیم داشت که در ذیل به اختصار به شرح آنها پرداخته شده است :

- لوله گالوانیزه دسته ای از لوله های فلزی بوده که با فلز روی (Zn) مذاب پوشش داده شده، که این امر باعث افزایش طول عمر لوله در محیط های مرطوب و اسیدی می شود. لوله گالوانیزه برای انتقال آب مورد استفاده قرار می گیرد و مقاوم در برابر خوردگی و رطوبت می باشد.

- اتصالات اجزایی هستند که به ما کمک می کنند جهت لوله را تغییر دهیم، از لوله انشعاب بگیریم، سایز لوله را تغییر دهیم، تجهیزات مختلف را به لوله متصل کنیم، مسیر لوله را ببندیم و... در واقع می توان گفت که اتصالات مکمل لوله ها بوده و بدون آنها یک خط لوله کشی معنا ندارد و امکان ساخت وجود ندارد. اتصالات گالوانیزه یکی از پرکاربردترین لوله ها و اتصالات در صنعت و ساختمان سازی بشمار می روند. این لوله و اتصالات به دلیل آب کاری که از فلز روی (Zn) بر روی سطح شان وجود دارد، در مقابل خوردگی مقاوم بوده و در محیط های مرطوب و اسیدی بیشتر دوام می آورند و کارایی بهتری دارند. از بزرگترین مزیت های لوله و اتصالات گالوانیزه مقاومت بیشترشان در برابر زنگ زدگی در مقایسه با اتصالات سیاه و مسی می باشد.

- اتصالات گالوانیزه دارای هزینه تولید کمتری مخصوصا نسبت به اتصالات مسی و یا استنلس استیل و مانیسمن بوده و بهترین گزینه برای مورد طرح پیش روی می باشد.

- لوله های گالوانیزه دارای آرایش ابتدایی و انتهایی رزوه دار هستند. حال برای اینکه بتوان این اتصالات را به لوله گالوانیزه متصل کرد، بطبع اتصالات گالوانیزه هم باید دارای انتهایی رزوه دار باشند. از مزایای اتصال رزوه ای می توان به سهولت در اتصال، باز و بسته کردن، تعمیر و نگه داری راحت تر تجهیزات و خطوط لوله کشی اشاره کرد. اتصالات گالوانیزه به دو صورت روپیچ و توپیچ موجود تولید شده و در بازار موجود می باشند.

۲-۳-۸- نکات فنی انتخاب اتصالات سیستم شستشوی ثابت

➤ اتصالات گالوانیزه توپی (TUPY) برزیل

اتصالات گالوانیزه توپی (TUPY) برزیل همانطور که از نام آن مشخص می باشد یک نوع اتصال آبکاری شده از جنس چدن است و بعد از آبکاری گرم به صورت اتصالات دنده ای گالوانیزه فشارقوی و معمولی تولید می گردد. این اتصالات ساخت کشور برزیل بوده و به همین علت به آنها اتصالات گالوانیزه برزیل هم می گویند. اتصالات توپی برزیل از نظر ریخته گری و کیفیت ساخت مدل بسیار مرغوب و درجه یکی است ولی همین مطلب باعث می شود که از سایر همتاهاى خود در بازار قیمت بالاتر و کیفیت بیشتری داشته باشد.

➤ سبد کالایی اتصالات گالوانیزه توپی برزیل

- **زانو گالوانیزه :** برای تغییر جهت جریان به صورت 90 درجه و 45 درجه از زانو گالوانیزه استفاده می شود. زانو گالوانیزه توپی برزیل به صورت مادگی تولید می شود (هر دو سمت زانو گالوانیزه از داخل دنده می شود).
- **سه راهی گالوانیزه :** برای انشعاب گرفتن از لوله گالوانیزه می توان از سه راهی استفاده کرد. سه راهی گالوانیزه به دو دسته سه راهی مساوی (سایز ورودی، خروجی و انشعاب مساوی است) و سه راهی تبدیلی (سایز انشعاب از سایز ورودی و خروجی کمتر است) تقسیم بندی می شود. سه راهی گالوانیزه برزیل همانند زانو گالوانیزه به صورت مادگی دنده خورده است.
- **تبدیل گالوانیزه :** برای تغییر سایز در مسیر لوله کشی از تبدیل های گالوانیزه استفاده می شود. تبدیل گالوانیزه به صورت یک طرف از داخل دنده (مادگی) و یک طرف از بیرون دنده (نری) می باشد.

- **مهره ماسوره گالوانیزه :** یکی از مهمترین و حیاتی ترین اقلام اتصالات گالوانیزه مهره ماسوره می باشد. به دلیل اهمیت آب بندی در مهره ماسوره ها توجه زیادی به این اتصال می شود. وظیفه مهره ماسوره ایجاد فاصله بین خطوط برای باز کردن راحت اقلام لوله کشی می باشد.
- **در پوش گالوانیزه :** برای بست انتهای خط لوله گالوانیزه از در پوش استفاده می شود. درپوش های گالوانیزه به صورت توپیچ بوده و از داخل دنده می خورد . لیست قیمت درپوش های گالوانیزه توپی برزیل در سایت پایپ کالاموجود می باشد.
- **مغزی گالوانیزه :** مغزی گالوانیزه برزیل اتصالی است که وظیفه آن تبدیل اتصالات نر و ماده به یکدیگر می باشد.

۲-۳-۹- نکات فنی انتخاب شیر آلات سیستم شستشوی ثابت

➤ شیر برقی Electric Solenoid Valve

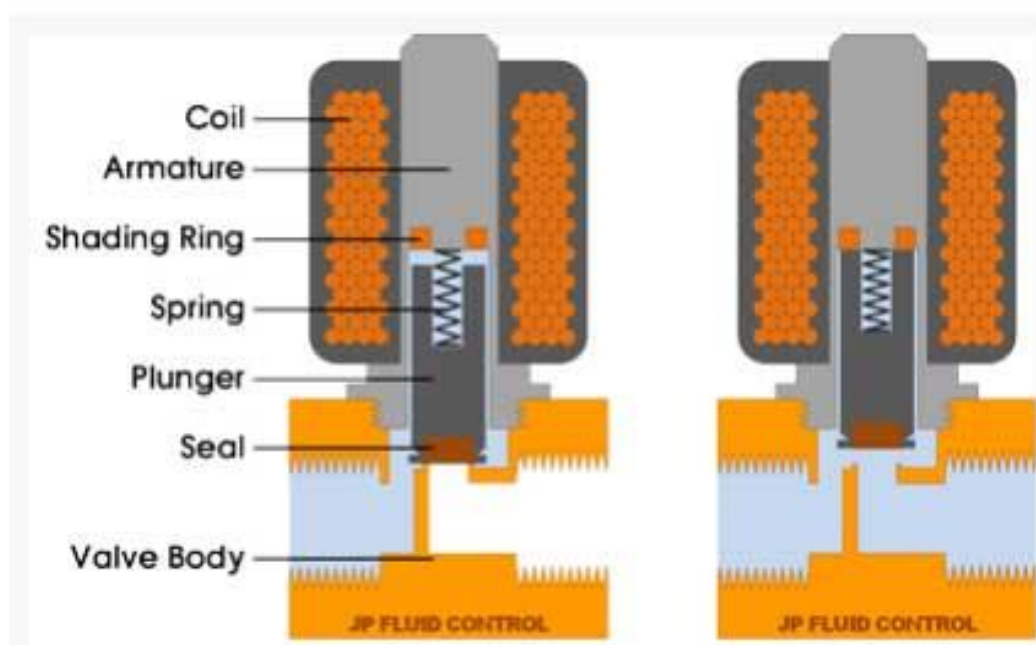
یکی از دستگاه هایی که امروزه به طور گسترده در صنعت و در بخش تاسیسات مورد استفاده قرار می گیرد، سلنوئید ولو می باشد. سلنوئید ولو یا شیر برقی یک شیر کنترل شده الکترو مکانیکی می باشد. ولو شامل یک کوئل الکتریکی به همراه هسته فرومغناطیس است که در داخل آن قرار داشته و قابلیت جابجایی دارد و در واقع این مجموعه به عنوان یک سلنوئید یا سیم پیچ عمل می کند. هسته این سیم پیچ، پیستون نامیده می شود. در حالت عدم تحریک (rest position) ، این پیستون یک حفره کوچک را می بندد. با اعمال جریان الکتریکی به سلنوئید، این جریان باعث ایجاد میدان مغناطیسی می شود که این میدان به پیستون داخل سلنوئید نیرو وارد کرده و آن را جابجا می کند. به این ترتیب با حرکت هسته، مجرا باز یا بسته می شود. در واقع شیر برقی هیدرولیک شیری است که با اعمال نیرویی الکتریکی عمل می نماید و میزان جریان سیال را در یک سیستم هیدرولیک قطع و وصل یا تنظیم می کند. شیر برقی هیدرولیک شامل یک شیر است که به یک مکانیزم برقی (Solenoid) که توانائی قطع و وصل جریان سیال و یا کنترل آن را دارد، متصل می باشد. این تغییر بر مبنای دستوری است که از سیستم کنترل دریافت می شود انجام می پذیرد. در شیر های دو راهه سیال در قسمت خروجی قطع و یا وصل می باشد . (شیر بسته کامل و یا باز کامل می باشد).

➤ اجزاء سلنوئید ولو

این ولو ها از دو قسمت سلنوئید و بدنه (شیر) تشکیل می شوند. قسمت سلنوئید خود شامل سیم پیچ ، میله آهنی ، فنر ، شیر کنترلی و کابل کنترلی می باشد. شیر اصلی هم از ورودی ، خروجی ، قطعه مسدود کننده جریان و دیافراگم و فنر تشکیل می شود. در موقع فعال بودن سلنوئید همواره جریان بسیار ضعیفی از

سیال از مجرا و شیر کنترلی عبور می‌کند. شیرهای سلونوئید از آب بندهای لاستیکی یا فلزی برای آب بندی جاهای مختلف استفاده می‌شود. در شیرهای که از دیافراگم استفاده می‌شود یک فنر برای باز نگه داشتن دیافراگم در مواقع غیر فعال بودن شیر استفاده می‌شود. یک طرح ساده از شیر سلونوئید در حالت غیر فعال و مسیر بسته فرض کنیم و سیال مورد استفاده آب باشد. آب از ورودی شیر به داخل جریان می‌یابد و از سوراخ‌های که در دیافراگم وجود دارد قسمت بالا و پایین آن را پر می‌کند و یک فشار ثابت ایجاد می‌کند و دیافراگم از جای خود حرکت نمی‌کند و شیر بسته باقی می‌ماند. ولی هنگامی که جریان در سلونوئید برقرار می‌شود نیروی مغناطیسی سلونوئید را به سمت بالا کشیده و شیر کنترلی باز می‌شود. با باز شدن این قسمت از شیر تعادل فشار از بین می‌رود و دیافراگم را به بالا فشار می‌دهد و شیر باز می‌شود. همواره جریان بسیار کمی از قسمت کنترلی شیر عبور می‌کند که این تعادل را مرتباً بر هم می‌زند و شیر باز باقی می‌ماند. وقتی که سلونوئید دوباره غیر فعال می‌شود قسمت کنترلی بسته می‌شود دوباره قسمت بالا و پایین دیافراگم دوباره به تعادل فشار می‌رسد و شیر را می‌بندد.

کاربرد این شیرها در سیستم‌های پر قدرت بادی و هیدرولیکی سیستم‌های آبپاش صنعتی و اتوماتیک ، ماشین‌های خانگی مانند ظرفشویی و لباسشویی ، صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی ، سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع و ... می‌باشد.



شکل (۲-۱۷): نمونه ساختار و اجزای یک شیر کنترلی سیستم شستشو

۲-۳-۱۰- نکات فنی انتخاب نازل سیستم شستشوی ثابت

نازل یا سرشلنگ یا افشانک وسیله‌ای است که برای کنترل جهت یا مشخصات (به‌ویژه برای افزایش سرعت) جریان یک سیال در ورود (یا خروج) از یک حفره یا لوله طراحی شده‌است. نازل‌ها معمولاً یک لوله با مقطع متغیر هستند که می‌توان با آن جهت جریان سیال یا ویژگی‌های آن را تغییر داد. از نازل‌ها غالباً برای کنترل نرخ دبی، سرعت، جهت، جرم، شکل و یا فشار جریان استفاده می‌شود. در نازل‌ها معمولاً با افزایش سرعت، فشار کاهش می‌یابد. با توجه به پیچیدگی ساخت نازل برای این طرح و همچنین عدم دسترسی به نمونه فیزیکی به این نازل‌ها از اطلاعات ارائه شده شرکت‌های Wilorton و CEGB در محاسبات استفاده گردیده است و در ساخت نمونه اولیه سعی شده از نمونه‌های موجود در بازار و تکیه بر اطلاعات شرکت‌های مذکور استفاده گردد و بدیهی است جهت تدقیق طرح حاضر و ساخت این نازل‌ها با مشخصات مورد نظر، نیازمند صرف زمان و مطالعات عددی و همچنین ماشین‌کاری و آزمون و خطا در محیط آزمایشگاهی و دسترسی به اطلاعات عددی سایر شرکت‌ها در خصوص این نازل‌ها خواهد بود.

۲-۴- طراحی یک سیستم شستشوی ثابت برای یک نمونه دکل

همانگونه که برای شستشوی مقره‌های پست فشار قوی مشاهده گردید برای شستشوی مقره‌های دکل فشار قوی نیز میباید پارامترهای تعداد مقره برای محاسبه دبی و همچنین ارتفاع نصب و اتلافات مسیر لوله کشی جهت محاسبه هد بوستر پمپ در دسترس باشد، بنابراین با توجه به طرح پیش روی با فرض تعداد مقره‌های دکل فشار قوی به ارتفاع ۴۰ متر در هر زون شستشو، برابر ۶ عدد با طول مقره ۳ متر مفروض می‌باشد لذا مشابه محاسبات قبل برای پست خواهیم داشت :

۲-۴-۱- تعیین پر مقاومت ترین مسیر لوله کشی شستشوی مقره‌های دکل فشار قوی

با توجه به تعداد مقره‌های دکل فشار قوی که برابر ۶ عدد می‌باشد تعداد زون طراحی لوله کشی شستشو یک زون بوده که در یک مرحله شستشو انجام خواهد شد، بنابراین همانگونه که بخش‌های پیشین اشاره گردید برای محاسبه افت فشار سیستم می‌باید بر اساس دورترین نازل کلیه افت فشارها محاسبه گردد :

$$\text{فوت } ۱۹۰ = \text{متر طول } ۵۸ = ۴۰ + ۱۰ + ۵ + ۳$$

طول دورترین نازل

فوت ۹۵ = ۰,۵ x ۱۹۰ = طول معادل اتصالات

فوت ۲۸۵ = ۹۵ + ۱۹۰ = طول معادل کل سیستم

$(2.5 \text{ ft}/100 \text{ ft}) \times 285 \text{ ft} = 7.1 \text{ ft} = 2.1 \text{ m}$ = تلفات اصطکاکی لوله فولادی کربن

استیل

متر طول ۴۰ = ارتفاع نصب نازل

= هد کلی سیستم

(ارتفاع از دهش پمپ تا نازل ۴۰ متر طول) +

(افت فشار سیستم ۲,۱ متر) +

(هد مورد نیاز برای هر نازل ۱۰ بار در نظر گرفته شده است) +

فوت ۴۶۶ = بار ۱۴ = متر طول ۱۴۲,۱ =

با توجه به اینکه سیستم شستشوی مقره های دکل از یک بخش که شامل شستشوی ۶

مقره با ۲ نازل تشکیل شده است بنابراین تعداد کل نازل ها ۱۲ عدد بوده بنابراین گذر آب مورد

$$6 \times 2 \times 10 \text{ gpm} = 120 \text{ gpm}$$

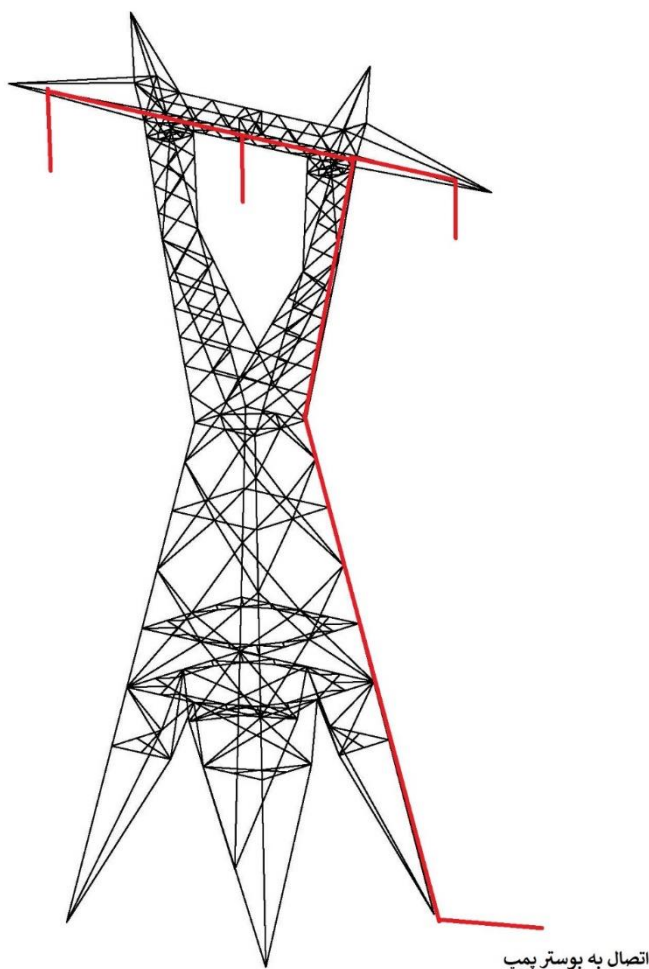
نیاز برابر :

۲-۴-۲- تعیین قطر لوله ها

در محاسبه قطر لوله ها مشابه قبل باید دقت شود که سرعت آب در لوله ها در کاربرد های ساختمانی و مسکونی بدلیل ایجاد صدا و افزایش اصطکاک نباید از ۴ فوت در دقیقه بیشتر شود ولی در کاربرد های صنعتی این مقدار می تواند در محدوده ۶ تا ۸ فوت در دقیقه باشد، بنابراین با رجوع به نمودار نرخ افت فشار در سیستم لوله کشی باز آهنی سایز اصلی خط رو محاسبه کرده (که در اینجا مشابه قبل ۳ اینچ خواهد شد) و برای مسیر های فرعی نیز سایز لوله های مشابه قبل برابر ۱/۲ و ۱ اینچ می گردد و بر همین اساس لیست مصالح مصرفی رو استخراج می نمایم.

۲-۴-۳- ترسیم و طراحی لوله کشی شستشوی دکل فشار قوی

مسیر لوله کشی طراحی شده برای یک نمونه دکل انتقال رایج در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای شستشوی مقره‌های دکل با نازل ثابت و لوله کشی روی دکل، تانکر آب مکانیزه با خودروی



شستشو به پای دکل منتقل می‌گردد و از طریق یک اتصال چفت شونده عملیات شستشوی مقره‌های دکل انجام می‌شود.

شکل (۲-۱۸): مسیر لوله کشی برای نصب یک سیستم شستشوی ثابت دکل فشار قوی

۲-۴-۴- مشخصات بوستر پمپ شستشوی مقره های دکل فشار قوی

با استفاده از اطلاعات بدست آمده از بخشهای قبل مشخصات بوستر پمپ مورد نظر برابر

خواهد بود با :

- دبی کل سیستم ۱۲۰ گالن در دقیقه میباشد.
- فشار کل سیستم ۱۴ بار و یا ۴۶۶ فوت می باشد.
- تعداد پمپ های بوستر پمپ برابر دو دستگاه می باشد که یک دستگاه بصورت رزرو خواهد بود.
- کارکرد سیستم بصورت دور ثابت خواهد بود.
- قطر لوله مکش ۴ اینچ می باشد.
- قطر لوله دهش ۳ اینچ می باشد.

۲-۴-۵- محاسبه حجم ذخیره منبع آب برای شستشوی هر دکل

۱۲ عدد = تعداد کل مقره ها

دبی کل سیستم برای هر بار شستشوی شبکه $12 \times 10 \text{ gpm} = 120 \text{ gpm}$

زمان شستشو $25/60 = 0.416 \text{ min}$

حجم مخزن آب مورد نیاز $120 \text{ gallon/min} \times 0.416 \text{ min} = 50 \text{ gallon}$

$50 \text{ gallon} \times 3.78 = 190 \text{ lit} = 0.19 \text{ m}^3$

۵-۲- برآورد ریالی هزینه خرید و اجرای سیستم شستشوی دکل فشار قوی

جدول (۵-۲): برآورد هزینه خرید قطعات و اجرای یک سیستم شستشو با توجه به طراحی انجام شده برای دکل فشار قوی

ردیف	مشخصات کالا	واحد	مقدار	بهای واحد (ریال)	بهای کل (ریال)
۱	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۱/۲ اینچ	متر	۶	۱,۳۵۰,۰۰۰	۸,۱۰۰,۰۰۰
۲	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ اینچ	متر	۱۲	۲,۳۵۰,۰۰۰	۲۸,۲۰۰,۰۰۰
۳	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۳ اینچ	متر	۵۰	۴,۷۰۰,۰۰۰	۲۳۵,۰۰۰,۰۰۰
۴	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۵۰	۵۲۰,۰۰۰	۲۶,۰۰۰,۰۰۰
۵	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۵۰	۹۸۰,۰۰۰	۴۹,۰۰۰,۰۰۰
۶	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۱۰	۱,۵۲۰,۰۰۰	۱۵,۲۰۰,۰۰۰
۷	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱/۲ - ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۴۰	۱,۰۸۰,۰۰۰	۴۳,۲۰۰,۰۰۰
۸	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ - ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۱۲	۱,۰۲۰,۰۰۰	۱۲,۲۴۰,۰۰۰
۹	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ - ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۱۲	۱,۸۴۰,۰۰۰	۲۲,۰۸۰,۰۰۰
۱۰	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۳ - ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۳	۱,۷۵۰,۰۰۰	۵,۲۵۰,۰۰۰
۱۱	تهیه و اجرای شیر کنترلی ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۰	۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۰
۱۲	تهیه و اجرای محرکه التریکی	عدد	۰	۸۵,۰۰۰,۰۰۰	۰
۱۳	تهیه و اجرای شیر پروانه ای ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۱	۴۸,۵۰۰,۰۰۰	۴۸,۵۰۰,۰۰۰
۱۴	تهیه و اجرای صافی ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۰	۲۸,۵۰۰,۰۰۰	۰
۱۵	تهیه و اجرای بست لوله ۱ ۱/۲	عدد	۳۶	۷۵۰,۰۰۰	۲۷,۰۰۰,۰۰۰
۱۶	تهیه و اجرای بست لوله ۳	عدد	۶۰	۹۰۰,۰۰۰	۵۴,۰۰۰,۰۰۰
۱۷	تهیه و اجرای نازل با کلیه اتصالات و تبدیل های مربوطه	عدد	۱۲	۱,۹۵۰,۰۰۰	۲۳,۴۰۰,۰۰۰
۱۸	تهیه و اجرای بست و تکیه گاه	کیلوگرم	۱۰۰	۴۸۵,۰۰۰	۴۸,۵۰۰,۰۰۰
۱۹	تهیه و اجرای مخزن ذخیره ۲۰۰ لیتری	عدد	۱	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰
۲۰	تهیه و اجرای بوستر پمپ به همراه تابلو برق و کلیه لوازم کنترلی مربوطه	عدد	۱	۱,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۲۱	تهیه و اجرای مدار فرمان به همراه کابل کشی و تابلو فرمان	مقطوع	۱	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل				۳,۲۶۰,۶۷۰,۰۰۰

۶-۲- ارائه هزینه سیستم شستشوی ثابت طراحی شده در پست نمونه

جدول (۶-۲) برآورد هزینه ریالی تهیه اقلام و اجرای سیستم شستشوی ثابت طراحی شده برای پست نمونه ۱۳۲ کیلوولت خوزستان را نشان می‌دهد.

جدول (۶-۲): هزینه ریالی تهیه اقلام و اجرای سیستم شستشوی ثابت پست بر اساس طراحی انجام شده

ردیف	مشخصات کالا	واحد	مقدار	بهای واحد (ریال)	بهای کل (ریال)
۱	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۱/۲ اینچ	متر	۱۲۰	۱,۳۵۰,۰۰۰	۱۶۲,۰۰۰,۰۰۰
۲	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ اینچ	متر	۷۲۰	۲,۳۵۰,۰۰۰	۱,۶۹۲,۰۰۰,۰۰۰
۳	تهیه و اجرای لوله فولادی گالوانیزه ۳ اینچ	متر	۷۲۰	۴,۷۰۰,۰۰۰	۳,۳۸۴,۰۰۰,۰۰۰
۴	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۵۰۰	۵۲۰,۰۰۰	۲۶۰,۰۰۰,۰۰۰
۵	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۵۰۰	۹۸۰,۰۰۰	۴۹۰,۰۰۰,۰۰۰
۶	تهیه و اجرای زانو فولادی گالوانیزه ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۸۰	۱,۵۲۰,۰۰۰	۱۲۱,۶۰۰,۰۰۰
۷	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱/۲ - ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۴۶۰	۱,۰۸۰,۰۰۰	۴۹۶,۸۰۰,۰۰۰
۸	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ - ۱ ۱/۲ اینچ توپی برزیل	عدد	۱۳۰	۱,۰۲۰,۰۰۰	۱۳۲,۶۰۰,۰۰۰
۹	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۱ ۱/۲ - ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۱۳۰	۱,۸۴۰,۰۰۰	۲۳۹,۲۰۰,۰۰۰
۱۰	تهیه و اجرای سه راهی فولادی گالوانیزه ۳ - ۳ اینچ توپی برزیل	عدد	۶۰	۱,۷۵۰,۰۰۰	۱۰۵,۰۰۰,۰۰۰
۱۱	تهیه و اجرای شیر کنترلی ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۱۶	۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۲,۶۲۴,۰۰۰,۰۰۰
۱۲	تهیه و اجرای محرکه التریکی	عدد	۱۶	۸۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۳۶۰,۰۰۰,۰۰۰
۱۳	تهیه و اجرای شیر پروانه ای ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۴	۴۸,۵۰۰,۰۰۰	۱۹۴,۰۰۰,۰۰۰
۱۴	تهیه و اجرای صافی ۳ اینچ فلنج دار PN۱۶	عدد	۲	۲۸,۵۰۰,۰۰۰	۵۷,۰۰۰,۰۰۰
۱۵	تهیه و اجرای بست لوله ۱/۲	عدد	۴۵۰	۷۵۰,۰۰۰	۳۳۷,۵۰۰,۰۰۰
۱۶	تهیه و اجرای بست لوله ۳	عدد	۴۵۰	۹۰۰,۰۰۰	۴۰۵,۰۰۰,۰۰۰
۱۷	تهیه و اجرای نازل با کلیه اتصالات و تبدیل های مربوطه	عدد	۴۴۷	۱,۹۵۰,۰۰۰	۸۷۱,۶۵۰,۰۰۰
۱۸	تهیه و اجرای بست و تکیه گاه	کیلوگرم	۲۷۰۰	۴۸۵,۰۰۰	۱,۳۰۹,۵۰۰,۰۰۰
۱۹	تهیه و اجرای مخزن ذخیره ۸۰۰۰ لیتری	عدد	۱	۲۵۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۵,۰۰۰,۰۰۰
۲۰	تهیه و اجرای بوستر پمپ به همراه تابلو برق و کلیه لوازم کنترلی مربوطه	عدد	۱	۴,۰۹۴,۹۱۰,۰۰۰	۴,۰۹۴,۹۱۰,۰۰۰
۲۱	تهیه و اجرای مدار فرمان به همراه کابل کشی و تابلو فرمان	مقطوع	۱	۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل				۲۰,۵۹۱,۷۶۰,۰۰۰

فصل سوم: ۳- ساخت یک نمونه مقیاس کوچک سیستم شستشوی

اتوماتیک ثابت

مقدمه

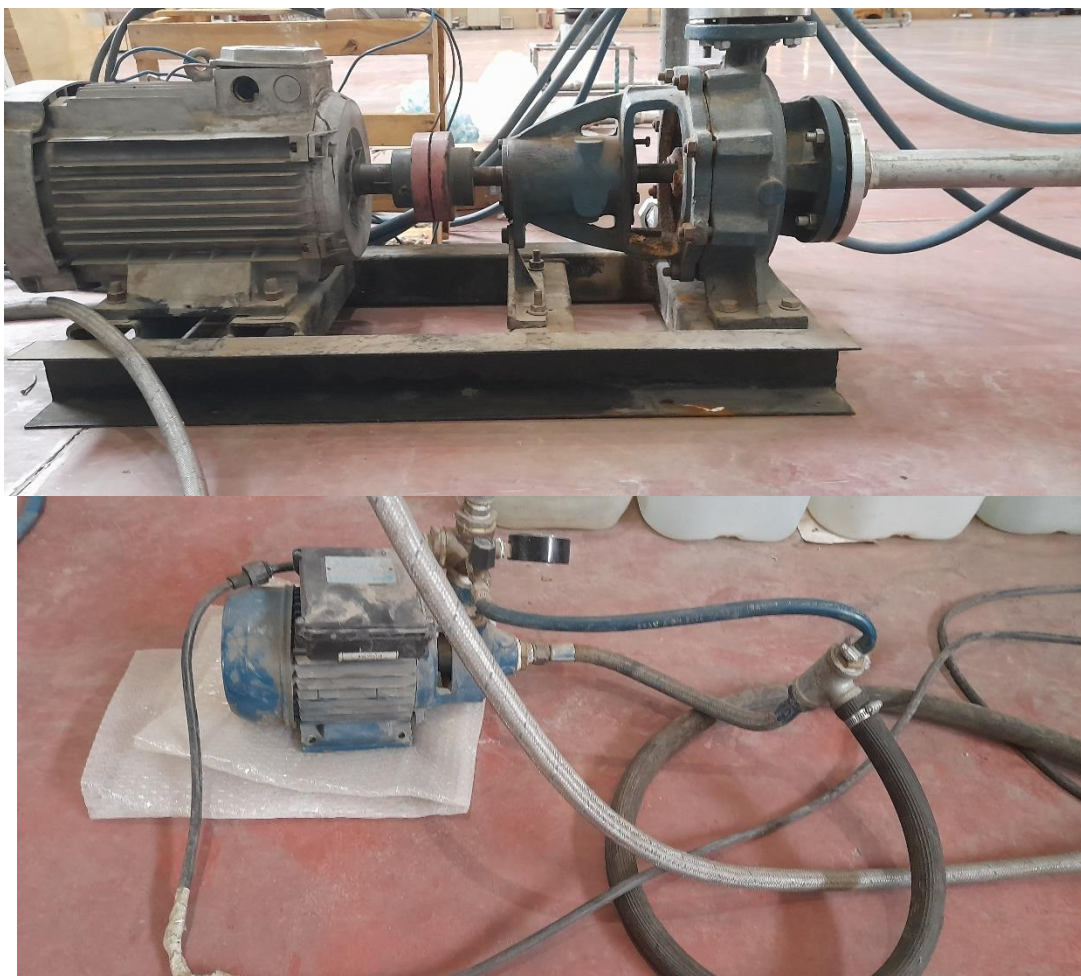
با توجه به اینکه طراحی سیستم شستشوی ثابت برای پست و دکل فشارقوی در این پروژه برای اولین بار در داخل کشور صورت گرفته است، در این بخش با ساخت یک نمونه مقیاس کوچک با استفاده از دانش بدست آمده در مراحل تحقیقاتی و طراحی، مونتاژ و ساخت یک سیستم شستشو با نازل‌های ثابت برای یک نمونه مقرر سرامیکی ۱۳۲ کیلوولت اتکایی پست انجام می‌گردد. با توجه به محدودیت مالی و محدودیت در انتخاب و خرید سیستم موتور پمپ مطابق با طراحی‌هایی که در بخش طراحی ارائه شده است در این مرحله از موتور پمپ موجود در پژوهشگاه نیرو استفاده گردیده است. بدیهی است که کیفیت شستشو به دلیل محدودیت در فشار و دبی بیشینه پمپ، نسبت به مشخصات طراحی شده برای پست این پروژه نمی‌باشد. تنها مکانیزم ساخت و نحوه پاشش و عملی بودن روش طراحی انجام گرفته در این بخش بررسی شده است. در حین ساخت سیستم مقیاس کوچک موارد فنی و مشکلات در تهیه اجزا مورد آزمون قرار گرفت و این موارد دستمایه ارتقای مشخصات فنی اجزا و نحوه اجرا در یک پست واقعی توسط پیمانکاران مرتبط شد. با توجه به تجربیاتی که در داخل کشور در زمینه سیستم‌های سیالات و نازل‌ها و پاشش در شرکت‌های مرتبط یافت شد، این امید وجود دارد که بتوان در آینده با هدایت شرکت‌های بالادستی وزارت نیرو اقدام به اجرای پایلوت و نمونه یک سیستم شستشوی ثابت برای یک پست فشارقوی کشور در مناطق آلوده کرد.

۳-۱- خرید اجزا و مونتاژ و ساخت یک نمونه مقیاس کوچک آزمایشگاهی

با توجه محدودیت بودجه و دسترسی به اجزای مورد نیاز برای ساخت یک نمونه آزمایشگاهی مقیاس کوچک سیستم شستشو اجزای مورد نیاز خریداری گردید که در ادامه تصویر این اجزا نشان داده شده است.

➤ بخش موتور پمپ

در این مورد از یک نمونه موتور پمپ موجود در پژوهشگاه نیرو استفاده شده است. این موتور پمپ به صورت مستعمل بوده است که پس از انجام تعمیرات و گریسکاری مناسب راه‌اندازی گردید. شکل (۳-۱) نمایی از این موتور پمپ را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳): نمایی از موتور پمپ های مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ گیج فشار

برای آشکارسازی فشار سیستم پاشش آب یک گیج کوچک فشار در سیستم لوله کشی نصب گردیده است که نمایی از آن در شکل (۲-۳) دیده می شود.



شکل (۲-۳): نمایی از گیج فشار مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ نازل

با توجه به محدودیت دسترسی و خرید نازل‌های طراحی شده برای یک پست فشارقوی نمونه در داخل کشور، از دو نمونه نازل موجود برای مقاصد آزمون شستشو در نمونه سیستم شستشو استفاده گردیده است که در شکل (۳-۳) نمایی از این نازل‌ها دیده می‌شوند.





شکل (۳-۳): نمایی از نازل‌های مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ حلقه لوله‌کشی دور مقره

برای لوله‌کشی حول مقره فشارقوی از لوله گالوانیزه سایز $1\frac{1}{2}$ استفاده شده است. شکل (۳-۴) نمایی از شبکه لوله‌کشی انجام گرفته را نشان می‌دهد.





شکل (۳-۴): نمایی از لوله کشی مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ اتصالات مورد نیاز برای لوله کشی

برای مونتاژ سیستم شستشو، تعدادی اتصالات از جمله زانویی و مغزی و تبدیل و مهره ما سوره با توجه به ساینز لوله‌ها، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

➤ فلنج موتور پمپ

از دو نمونه فلنج استیل در اتصال بخش ورودی و خروجی موتور پمپ استفاده شده است که در شکل (۳-۵) مشاهده می‌گردد.



شکل (۳-۵): نمایی از فلنج‌های ورودی و خروجی مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ مخزن آب

در این مورد از یک نمونه مخزن ۱۰۰۰ لیتری کامپوزیتی که مجهز به شیر و اتصالات خروجی می باشد استفاده گردیده است که در شکل (۳-۶) مشاهده می گردد.



شکل (۳-۶): نمایی از منبع آب مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

➤ مقره سرامیکی اتکایی پست ۱۳۲ کیلوولت

برای بررسی سیستم شستشوی آزمایشگاهی از مقره سرامیکی اتکایی پست ۱۳۲ کیلوولت مستعمل استفاده شده است که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.

➤ آب شستشو

برای شستشو از آب مقطر دیونیزه استفاده شده است. با اینحال در مراحل اولیه به دلیل مصرف زیاد آب مذکور، به هنگام تنظیم و اصلاح عیوب، از آب شهری استفاده شده است.



شکل (۷-۳): نمایی از مقره سرامیکی اتکایی پست ۱۳۲ کیلوولت مورد استفاده در سیستم شستشوی آزمایشگاهی

۳-۲- انجام عملیات شستشوی اتوماتیک بر روی یک مقره آلوده و

تحلیل نتایج

عملیات شستشو پس از مونتاژ و راه اندازی یک سیستم شستشو برای یک مقره سرامیکی اتکایی پست در رده ۱۳۲ کیلوولت انجام گرفت. لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت‌های مالی و دسترسی به قطعات مناسب در داخل کشور، نمونه سیستم شستشوی ساخته شده، از نظر مشخصات فنی متفاوت از سیستم طراحی شده برای یک پست واقعی ۱۳۲ کیلوولت است که در این گزارش ارائه شده است. مهمترین محدودیت‌ها تجهیز سیستم به یک موتور پمپ مناسب است. موتور پمپ طراحی شده برای پست فشارقوی واقعی که نقشه‌اش در این گزارش آمده است به تنهایی نزدیک به یک میلیارد تومان می‌باشد. طرح نازل‌ها و اتصالات و لوله کشی برای پست مذکور با این منبع سیالات متناسب بوده است اما در سیستم مقیاس کوچک آزمایشگاهی نمی‌توانستیم با همان مشخصات، مورد آزمایشگاهی فراهم شود. بنابراین در این بخش تنها موارد فنی مرتبط با شستشوی واقعی در پست با آزمون ایده مذکور در آزمایشگاه، مورد آزمایش قرار گرفته است و نتایج حاصله در انتخاب پیمانکاران مناسب اجرایی که بتوانند سیستم طراحی شده در این گزارش را به دقت اجرا نمایند استخراج شده است.

پس از آماده‌سازی و مونتاژ بخش‌های مختلف پایپینگ و اتصالات و فلنج‌ها و مخزن آب، مقره سرامیکی اتکایی پست ۱۳۲ کیلوولت در مرکز حلقه پایپینگ شستشو و در ارتفاعی متناسب با موارد طراحی در پست فشارقوی، با تغذیه موتور پمپ سه‌فاز موجود، عملیات شستشو انجام گرفت. در ابتدا مقره‌ای که گرد و غبار و آلودگی بر سطح چترک‌های مقره موجود بود. با شروع عملیات شستشو با سه نازل متمرکز با زاویه تقریباً صفر عملیات شستشو انجام گرفت. در ابتدا سیستم پمپ دارای هوا بود و مانع از این می‌شد که دبی مناسبی از آب برای شستشو از نازل‌ها به سمت مقره پرتاب شود. در تصویر (۳-۸۶) نمایی از اشکال در سیستم پمپاژ به دلیل وجود هوا در سیستم نشان داده شده است.



شکل (۳-۸): نمایی از وجود هوا در سیستم پمپاژ و عدم کارکرد درست خروج آب از نازل‌ها

پس از مشاهده‌ی این مساله، سیستم پمپ با عملیات مرتبط هواگیری شد و دوباره سیستم راه‌اندازی شد. در این حالت همانطور که در تصویر (۳-۹) مشاهده می‌گردد، فشار پاشش و دبی آب مناسب گردید و ریختن آب نازل پس از برخورد با سطح مفره در نقاط مختلف به صورت ریزشی نیز در زدودن آلودگی از سطح مفره سرامیکی موثر واقع شد. تصویر (۳-۱۰) نمایی نزدیکتر از این مرحله را نشان می‌دهد.



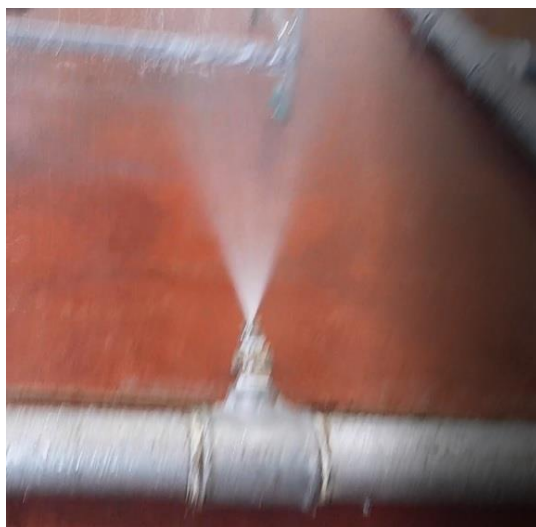
شکل (۳-۹): نمایی از پاشش مناسب آب از نازل‌ها به سطح مفره با انجام هواگیری در سیستم پمپاژ



شکل (۳-۱۰): نمایی نزدیک از پاشش مناسب آب از نازل‌ها به سطح مقره

سپس با تعویض نازل‌های برنجی با سه عدد نازل استیل ۳۰ درجه برای بررسی وضعیت کیفی عملکرد نازل‌ها، عملیات شستشو تکرار گردید. در تصویر (۳-۱۱) نمایی از عملکرد نازل‌های استیل ۳۰ درجه را نشان می‌دهد.





شکل (۱۱-۳): نمایی از عملکرد نازل‌های استیل ۳۰ درجه در شستشوی مقره اتکایی پست ۱۳۲ کیلوولت

نتیجه گیری

با توجه به شرایط اقلیمی کشور علی الخصوص مناطق جنوبی و جنوب غربی، شستشوی مقره‌های موجود در پست‌ها و خطوط انتقال با استفاده از سیستم مرسوم و سیار به علت کمبود تجهیزات مقره‌شور سیار، کمبود پرسنل و زمان بر بودن جابجایی تجهیزات شستشو از یک پست به پست دیگر راه حل وضع موجود نیست؛ زیرا در صورت وقوع حادثه مانند آنچه در سال ۱۳۹۵ رخ داد، بازیابی پست‌ها بسیار زمان بر خواهد بود. سیستم شستشوی ثابت به عنوان یکی از راهکارهای شستشوی تجهیزات در دنیا به ویژه در مناطقی مشابه با جنوب کشور در دنیا معرفی شده است تا با انجام شستشوی خودکار با تجهیزات ساده و ثابت، در زمان کوتاه، نه تنها در بازیابی سیستم پس از شرایط سخت آب و هوایی مانند توفان گرد و غبار کمک کننده باشد بلکه از تجمع آلودگی بر مقره‌های فشارقوی در شرایط غیر حاد نیز جلوگیری نماید.

در این گزارش طراحی سیستم شستشوی ثابت برای یک پست فشارقوی واقعی در رده‌ی ۱۳۲ کیلوولت انجام گرفت. نرم‌افزار Debit که یکی از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای موجود در جهان در زمینه طراحی سیستم‌ها سیالاتی است در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. طراحی اجزا و بخش‌ها متناسب با مقره‌های پست انجام گرفت. هر چند در دامنه تعریف پروژه و شرح خدمات آن، طراحی برای تعدادی محدود از مقره‌ها مد نظر بود، با اینحال به دلیل اهمیت طراحی جامع و ارتباطات تنگاتنگ سیستم طراحی بخش‌های مختلف پست به یکدیگر، در این پروژه، طراحی سیستم شستشو برای کل نقشه پست واقعی انجام گرفت و نقشه‌های لازم برای اجرا به همراه طراحی اجزا و لیست مواد و ملزومات مورد نیاز به برآورد هزینه هر یک و هزینه کلی ارائه گشت. با محاسبات اقتصادی و هزینه‌ی اجرای چنین سیستمی برای یک پست واقعی قیمت‌های بدست آمده به طور جامع و برآوردی برای این پست محاسبه گردید. در نهایت برای دست‌ورزی و بررسی آزمایشگاهی، یک سیستم مقیاس کوچک آزمایشگاهی برای شستشوی ثابت یک مقره اتکایی تیپ پست رده ۱۳۲ کیلوولت در آزمایشگاه فشارقوی پژوهشگاه نیرو ساخته و راه‌اندازی شد. هر چند به دلایل هزینه‌های زیاد سیستم موتور پمپ و ... قادر به پیاده‌سازی سیستم طراحی شده برای پست فشارقوی واقعی نبوده‌ایم، با اینحال در ساخت و راه‌اندازی این سیستم مقیاس کوچک، امکان‌سنجی موفقی از امکان سفارش قطعات لازم برای شستشوی یک پست واقعی، در داخل کشور و استفاده از تولیدکنندگان و پیمانکاران فعال در حوزه سیستم‌های سیال و آب و تاسیسات مرتبط بدست آمد.

مراجع و منابع

- [1] CEI 11-27 Edition IV - CEI EN 50110: Works on electrical plants (DLgs 81/08) 2014 - Adjustment of the DL and DV distances to the CEI standard EN 50110-1
- [2] ESTI n. 407: Safety rules for works on high voltage overhead lines, Switzerland
- [3] EN 353/EN 361/EN 363: Part 1/Personal protective equipment against falls from a height - Body harnesses/Fall arrest systems
- [4] IEC 60479-2:1987, Effects of Current Passing Through the Human Body.2
- [5] IEEE Std 4TM-1995, IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing.3,4
- [6] IEEE Std 80TM-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
- [7] IEEE Std 516TM-2003, IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines
- [8] IEEE Std 1048TM-2003, IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines.
- [9] IEEE Std 957-2005, Guide for cleaning insulators
- [10] Sato, K., & Kawai, K. (1971). U.S. Patent No. 3,606,172. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [11] Cakebread, R. J., Brown, H. J., & Dawkins, R. B. (1978, December). Automatic insulator-washing system to prevent flashover due to pollution. In Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (Vol. 125, No. 12, pp. 1363-1366). IET Digital Library.
- [12] TF, CIGRE. "Polluted insulators: A Review of Current Knowledge." CIGRE technical brochure 158 (2000): 128-129.
- [13] <http://www.ascotech-spkr.it/>
- [14] <https://www.wilorton.com/>
- [15] www.ngk-insulators.com
- [16] Ely, C. H. A., Lambeth, P. J., & Looms, J. S. T. (1977). U.S. Patent No. 4,053,707. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Central_Electricity_Generating_Board
- [18] Zambian Standard, ELECTRICITY DISTRIBUTION INFRASTRUCTURE, PART 2 - OPERATIONS AND MAINTENANCE GUIDE