**به‌نام آرامش دهنده قلب‌ها**

# فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ مجتمع‌های صنعتی

**(Pre-Commissioning, Commissioning and Start-Up Activities of Industrial Complexes)**

**تالیف:**

**مجتبی میرزاپور ارمکی**

سرشناسه : میرزاپور، مجتبی، ۱۳۶۲-
عنوان و نام پدیدآور : فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ مجتمع‌های صنعتی= (Pre-Commissioning, Commissioning and Start-Up Activities of Industrial Complexes)/تالیف مجتبی میرزاپورارمکی.
مشخصات نشر : بابل: مشکات اندیشه، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری : ۴۸۸ص.
شابک : 978-600-984315-2:
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : شرکت‌های اقتصادی جدید -- برنامه‌ریزی
موضوع : New business enterprises -- Planning
موضوع : طرح‌های توسعه صنعتی
موضوع : Industrial development projects
موضوع : ایمنی صنعتی -- مدیریت
موضوع : Indusrial safety -- Management
رده بندی کنگره : ۵/HD۶۲
رده بندی دیویی : ۴۰۱۲/۶۵۸
شماره کتابشناسی ملی : ۷۴۹۹۷۴۷
وضعیت رکورد : فیپا

# فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ مجتمع‌های صنعتی

نویسنـده: **مجتبی میـرزاپور ارمکی**

انتشارات: مشکات اندیشـه
مدیرهنری: صابـر نوروزنژاد
طراحی جلد و صفحه آرایی: مرکز هنـری آفتاب
شمارگان: **۱۰۰۰ نسخه/ نوبت چاپ اول/ ۱۳۹۹**
نشانی: مازندران ، بابل، میـدان ۱۷ شهریور
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۸۴۳۱-۵-۲



**مقدمه مدیرعامل گروه پتروپارس**

شرکت پتروپارس در سال ۱۳۷۶، به عنوان شرکتی یادگیرنده با رویکرد اهتمام به بومی‌سازی دانش و فناوری و کسب تجربه در توسعه میدان گازی مشترک پارس جنوبی پا به عرصه نهاد و در همان گام نخست با هدف تحقق آرمان دیرینه صنعت نفت مبنی بر شکل‌گیری شرکت‌های مستقل ایرانی نقش‌پذیر در حوزه انرژی، دوشادوش شرکت‌های مطرح و بزرگ بین‌المللی حاضر در کشور آغازگر راهی بس ارزشمند برای ایفای نقش راهبردی در این صنعت شد.

این مسیر عالمانه با تکاپوی مستمر این شرکت پیشرو و با شکل دادن به سرمایه‌های دانشی و نیروی انسانی توانمند و فرهیخته این حوزه، کسب تجارت ارزنده و بومی‌سازی دانش روز دنیا به تکامل رسیده است که به گواه بزرگانی چون وزیر محترم نفت، پتروپارس امروز شاخص و معیاری از یک شرکت خلاق و دانش بنیان و نماد فناوری ملی در صنعت نفت قلمداد می‌شود.

پتروپارس پس از پشت سر نهادن تجارب وافر خود در این عرصه بویژه با کسب آموزه‌های نوین از شرکت‌های بین‌المللی با درک و شناخت فراگیر و بیشتری از الزامات حاکمیت شرکتی و بنگاه‌داری در دنیای رقابتی صنعت نفت، می‌کوشد بر پایه توسعه دانش محور و توجه به آموخته‌ها و اولویت‌های علمی، خود را در شرایط مطلوب و موثر قرار دهد.

پتروپارس به عنوان اولین شرکت اکتشاف و تولید (E&P) ایرانی، در مدیریت طرح‌ها و پروژه‌های خود گستره وسیعی از فعالیت‌های اکتشاف و حفاری تا راه‌اندازی و بهره‌برداری را انجام می‌دهد و به منظور اجرای تخصصی و با کیفیت هر یک از آنها شرکت‌های زیرمجموعه‌ای را تاسیس کرده است.

شرکت بهره‌برداری و مدیریت پتروپارس(POMC) یکی از این شرکت‌های گروه پتروپارس است که از سال ۱۳۸۸ به منظور اجرای عملیات پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و بهره‌برداری تاسیس شد و در گذر زمان با کسب تجربه‌های موفق و بی‌نظیر در پالایشگاه‌های مربوط به فازهای ۱، ۲-۳، ۶-۷-۸، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵-۱۶ و ۱۹ با دست یافتن به دانش ارزشمند مدیریت پروژه، شرکتی ممتاز در این عرصه به شمار می‌آید.

گروه پتروپارس اکنون در دوره جدید خود در پی بسط مقوله پر اهمیت مدیریت دانش است و ضمن تجمیع دانش و حفظ موثر سرمایه‌های علمی و تجربی خود، انتقال و انعکاس آگاهانه آن را به فعالان کنونی صنعت نفت و نسل‌های جدید وظیفه ملی خود می‌داند و در این خصوص بر تبادل دانش برای خلق فرصت‌های بهتر همت می‌گمارد. بر پایه همین رویکرد اساسی و محوری است که پتروپارس با تکیه بر توان دانشی خود تا کنون حدود ۷۰۰ میلیون نفر ساعت در مراحل مختلف توسعه طرح‌های نفت و گاز نقش آفرینی کرده و در دوره کنونی با گسترش روزافزون زمینه کسب و کار خود بویژه با ورود به قالب‌های جدید نظیر صنعت پتروشیمی ، اینک تجربه مدیریت و اجرای طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ صنعتی به میزانی فراتر از ۲۵ میلیارد دلار را به سبد افتخارات خود افزوده است.

کتاب پیش رو حاصل تجربیات شرکت بهره‌برداری و مدیریت پتروپارس (POMC) به عنوان یکی از زنجیره‌های ارزش گروه، حاوی مباحث علمی، تجارب عملی و فرآیندهای عملیاتی است که به عنوان یک اثر تجربی ناب و کارآمد گردآوری شده است.

این کتاب با آمیختن تجربه و علم به تشریح کامل فرآیند پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت آپ در صنایع شیمیایی، پتروشیمی‌ها، پالایشگاه‌های نفت و گاز و صنایع وابسته پرداخته و امید است به عنوان منبعی ارزشمند در توسعه دانش و توانمندی همه دانشجویان، مهندسان و متخصصان این عرصه مفید واقع شود.

**حمیدرضا مسعودی**

**مدیرعامل گروه پتروپارس**

## مقدمه مدیرعامل گروه بهره‌برداری و مدیریت پتروپارس (POMC)

در عصر حاضرکه رشد روزافزون علوم و فناوری، مرز یافته‌های بشری را به شکل خیره کننده‌ای گسترش داده است توجه به توسعه تکنولوژی، مکتوب کردن روش‌ها و دستورالعمل‌های استاندارد در تمامی ابعاد و بخش‌های مختلف صنایع، از جمله صنعت نفت، گاز و پتروشیمی از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در واقع، این رویکرد کلان مدیریتی است که می‌تواند با ایجاد و رشد هسته‌های مرتبط دانش بنیان به خصوص در بخش صنعت، موجب پویایی و به روز رسانی این حوزه شود. با توجه به این امر، خط‌مشی و چشم‌انداز شرکت بهره‌برداری و مدیریت پتروپارس آریا کیش (POMC)، حمایت همه جانبه از رشد ایده‌های نو، ارتباط نزدیک‌تر صنعت و پژوهش و همچنین مستندسازی تجارب ارزنده و گرانبهای نیروهای خبره و متخصص برمبنای استانداردهای موجود است؛ به شکلی که بخش عمده‌ای از تجارب و دانش فنی افراد به عنوان یک سرمایه ارزشمند، به صورت مستند و مستدل در چارچوب اسناد و مدارک شرکت حفظ، نگهداری و به کار بسته شود. بی تردید، مهم‌ترین سرمایه‌های این شرکت چیزی جز اندیشه‌های خلاق، نیروهای فکور، نفرات پرتلاش و متعهد آن نیست و به راستی بیشترین سهم در شکوفایی، توسعه و پیشرفت یک سازمان، متاثر از هماهنگی و هم‌افزایی این عناصر در هدایت ساختارهای سخت‌افزاری آن است.

جای بسی خرسندی است که بر اساس نگرش فوق این اثر ارزشمند توسط همکار عزیز، جناب آقای مجتبی میرزاپور و با حمایت و پشتیبانی شرکت POMC، به چاپ و نشر رسیده است. امید آن داریم تا با استعانت از پروردگار یکتا، ثبت و انتشار این اثر به عنوان یک موضوع فنی، الهام بخش همکاران محترم در سایر بخش‌های پروژه‌های مرتبط شود و زمینه پیاده سازی و اجرای این گونه رویه‌ها را به صورت یک حمیت و وظیفه سازمانی در تمامی واحدهای تابعه سازمان فراهم سازد.

**امیر شهرام زمان**

**مدیرعامل شرکت بهره برداری و مدیریت پتروپارس**

## پیشگفتار

یکی از بزرگترین و چالش برانگیزترین مسائل پیش روی کارکنان صنایع مختلف، به-خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، دسترسی به اطلاعات و اسناد معتبر علمی می باشد. از طرفی مشکوک بودن صحت مطالب علمی موجود در فضاهای مجازی و پایین بودن قابلیت اعتماد استفاده از آن‌ها با توجه به گستردگی و تنوع بالای علوم مرتبط، یکی از اهداف نگارش این کتاب بوده است. شاید بتوان در فضاهای مجازی مقالات و نقل قول‌های متفاوتی را به‌عنوان راه‌کار در عملیات‌های مختلف صنعتی مورد آزمون قرار داد، اما به گونه‌ای نیست که برای گروهی از متخصصان که در این زمینه فعالیت می‌کنند قابل بهره‌گیری باشد. به عبارت دیگر اغلب مطالب تک‌بعدی می‌باشند. بنابراین بهتر است تجربه های کسب شده را مستند و ثبت کنیم و تا آن‌جا که میسر می‌باشد نقل قول‌ها را به‌خاطر سنگینی بار انتقال و تحریف‌های تعبیرگونه کنار بگذاریم و جامه هم‌فکری بر تن کنیم. به‌هرحال تا مسئله‌ای بارها و بارها آزموده نشده باشد، قابلیت اطمینان ندارد و قطعاً در این بین، روش صحیح کار نیز بسیار مهم و تأثیرگذار است. چنان‌چه نوآوری‌های کنونی تحت عنوان شرکت‌های دانش‌بنیان بارها با شکست مواجه شده و تنها بازمانده قابل اطمینان از این تلاش‌ها چیزی نیست جز تجربه؛ تجربه‌ای که با ممارست و با فکر در جهت درست آن حاصل شده است. پس بهتر است با نشر تجربه‌های خود، مانع از بروز تجربه‌های تلخ برای دیگران گردیم.

این کتاب با همکاری و استفاده از تجربه دوستان و همکاران ارزشمندی که سال‌ها در عرصه نفت و گاز و صنایع پایین‌دستی دست از همت نگشوده‌اند، نگارش شده است تا بتواند با تکیه بر این تجارب کمکی شایسته در این زمینه برای همگان برآورده سازد.

در نوشتن این کتاب خود را برای مطالعه نقادانه محتوای مطالب، مدیون جناب مهندس سعید ابراهیمی، دکتر یحیی ربانی و مهندس ابراهیم کریمیان می‌دانم. رهین منت همکاران گرامی جناب مهندس امیررضا سمیعی‌پور، مهندس پرویز رحیمی، مهندس مهدی عزتی، مهندس مرتضی طربی، مهندس علیرضا میرغفاری، مهندس بابک

گشتاسبی، مهندس محمدجواد اشرفی و مهندس مهدی هژبریان می‌باشم که هریک به نوعی بخش‌های مختلف این کتاب را اصلاح نمودند. از تمام کسانی که پیشنهاداتی درمورد این کتاب داده‌اند و با راهنمایی‌ها و کمک‌هایشان همراهم بوده‌اند و بی‌دریغ در این مسیر حمایتم کردند تشکر و قدردانی می‌کنم. از سرکار خانم مهندس راضیه هوشیار که در تمام مراحل این کتاب منت ویرایش علمی مطالب را بر من نهادند سپاسگزاری می‌کنم.

به امید روزگاری پر از نیکی و نگاه‌هایی سرشار از مهربانی.

بی‌شک این کتاب از اشتباه و کمبود مبری نمی‌باشد و پیشاپیش از حسن نظر شما و ارسال انتقادات و پیشنهادات شما صمیمانه سپاسگزارم.

**Mirzapour.mojtaba@gmail.com**

**فهرست مطالب**

عنوان صفحه


**فصل اول نـقدی بـر طـراحی ۲۲**

۱ – ۱ - مقدمه ..... ۲۴

۱ – ۲- چرخه عمر یک پروژه: ..... ۲۵

۱- ۲ -۱ - امکان سنجی ..... ۲۸

۱ -۲ – ۲- طراحی مفهومی ..... ۳۱

۱ -۲ – ۳- طراحی پایه ..... ۳۳

۱ – ۲- ۴- طراحی تفصیلی ..... ۵۶

**فصل دوم پیش راه اندازی ۶۰**

۲-۱- مقدمه ..... ۶۲

۲ – ۲- فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی گروه برق ..... ۶۷

۲ -۲- ۱ - Preliminary Test: ..... ۶۸

۲ – ۲ -۲ : Earthing System ..... ۷۲

۲ – ۲ -۳ Electrical Device Test: ..... ۷۳

۲ – ۲– ۳– ۱– رله‌های حفاظتی: ..... ۷۳

۲ –۲– ۳ –۲– Transformer ..... ۷۵

۲ – ۲– ۳ –۳ Generators ..... ۷۷

۲ –۲– ۳ –۴ UPS System and Battery ..... ۷۹

۲ – ۲– ۳– ۵– موتورهای القایی سه فاز (موتورهای AC) ..... ۸۱

۲ –۲– ۳ – ۶– Switch Gear ..... ۸۷

۲ – ۳- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه ابزاردقیق ..... ۸۹

۲ – ۳ -۱ Air pipe and tubing Pressure Test: ..... ۹۰

۲ – ۳ -۲ Calibration: ..... ۹۰

۲ – ۳– ۲– ۱– Diaphragm Valves Without Positioner: ..... ۹۱

۲– ۳– ۲– ۲ Diaphragm Valve with Positioner: ۹۲
۲ –۳– ۲ –۳ Non Diaphragm Actuated Valve: ۹۲
۲ – ۳– ۲– ۴ Selenoid Valve: ۹۲
۲ – ۳ –۲ – ۵ PSV ۹۳
۲ – ۳ -۳ Circuit Continuity Test: ۱۰۴
۲ – ۴- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه Piping ۱۰۶
۲- ۴ – ۱ Hydrostatic Test ۱۰۷
۲ – ۴- ۲ Water Flushing ۱۱۲
۲ – ۴- ۳ Air Blowing ۱۱۹
۲- ۴- ۴ Steam Blowing ۱۲۳
۲- ۴- ۵ Mechanical Cleaning ۱۲۷
۲ -۴- ۶ Reinstatement: ۱۲۷
۲ -۵ – فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه مکانیک ۱۲۸
۲- ۵- ۱ Pre-Box-up: ۱۲۸
۲- ۵- ۲ Alignment: ۱۲۹
۲- ۶- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه فرآیند ۱۴۰
۲- ۷- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه HVAC ۱۴۳
۲- ۸- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه Telecommunication ۱۴۴
۲ – ۹- بررسی میدانی تجهیزات ۱۴۵
۲- ۹- ۱ Air Fin Cooler: ۱۴۵
۲- ۹- ۲ Furnace, Duct Work and Stacks: ۱۴۵
۲- ۹- ۳ Vessels, Towers, Reactors and Drums: ۱۴۵
۲- ۹- ۴ Tankage: ۱۴۶
۲- ۹- ۵ Shell and Tube Exchanger: ۱۴۶
۲- ۹- ۶- پمپ‌ها: ۱۴۶
۲- ۹- ۷ Gas Turbines, Compressors and Expanders: ۱۴۷
۲- ۹- ۸ Diesel Engine: ۱۴۷

۳ – ۱ -مقدمه ..... ۱۵۰
۳ -۲- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه برق ..... ۱۵۵
۳- ۲ – ۱- Preliminary Check ..... ۱۵۵
۳- ۲ -۲- Energizing and Functional Test ..... ۱۵۶
۳– ۲– ۲– ۱– ترانسفورماتورها: ..... ۱۵۸
۳– ۲– ۲– ۲– سیستم UPS: ..... ۱۶۳
۳– ۲– ۲– ۳– موتورهای القایی: ..... ۱۶۴
۳– ۲– ۲– ۴– سوئیچ گیر: ..... ۱۶۵
۳– ۲– ۲– ۵– ژنراتور : ..... ۱۶۵
۳– ۲– ۲– ۶– سولوران ..... ۱۶۸
۳– ۲– ۲– ۷– تست فیدر ..... ۱۶۹
۳- ۳- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه ابزاردقیق ..... ۱۷۰
۳- ۳- ۱- Preliminary Check ..... ۱۸۹
۳– ۳– ۱– ۱– بررسی سازگاری محدوده ابزاردقیق ..... ۱۹۰
۳- ۳- ۲- Functional Test (loop Test) ..... ۱۹۰
۳– ۳– ۲–۱– Identification of indication, control and alarm signals
..... ۱۹۲
۳– ۳– ۲– ۲– بررسی Interlock ها ..... ۱۹۲
۳– ۳– ۲– ۳– بررسی سیستم ESD ..... ۱۹۴
۳– ۳– ۳– ۴– تست توالی DCS (Sequence Test) ..... ۱۹۴
۳– ۳– ۲– ۵– بررسی جریان های Relief ..... ۱۹۴
۳- ۴- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه مکانیک ..... ۱۹۵
۳- ۴- ۱- بازرسی نهایی ..... ۱۹۵
۳- ۴- ۲- Chemical and Catalyst Loading ..... ۱۹۸
۳-۴- ۳- فلاشینگ با روغن ..... ۲۰۰
۳- ۴- ۴- تنظیم فن ..... ۲۰۱
۳- ۴- ۵- بالانس (هم‌ترازی) نهایی ..... ۲۰۶

۳- ۴- ۶- Breaking in Pumps ..... ۲۰۷
۳- ۴- ۶- ۱- منحنی مشخصه پمپ‌ها: ..... ۲۱۵
۳- ۴- ۶- ۲- نحوه‌ی راه‌اندازی پمپ‌ها: ..... ۲۲۱
۳- ۴- ۶- ۳- تخمین‌های تجربی پمپ‌ها: ..... ۲۲۶
۳- ۴- ۶- ۴- سیل مکانیکی ..... ۲۲۷
۳- ۴- ۶- ۵- مشکلات رایج پمپ‌های سانتریفیوژ: ..... ۲۴۰
۳- ۴- ۶- ۶- مشکلات رایج در پمپ‌های جابجایی‌مثبت ..... ۲۷۸
۳- ۴- ۷- Breaking in Cosmpressor: ..... ۲۸۰
۳- ۴- ۷- ۱- تحلیل منحنی عملکرد کمپرسور ..... ۲۹۱
۳- ۴- ۷- ۲- راه‌اندازی کمپرسورها: ..... ۲۹۹
۳- ۵- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه Piping ..... ۳۰۸
۳- ۵- ۱- Preliminary Check: ..... ۳۰۸
۳- ۵- ۲- Chemical Cleaning ..... ۳۱۱
۳- ۵- ۲- ۱- Flushing: ..... ۳۱۸
۳- ۵- ۲- ۲- De-Greasing: ..... ۳۱۸
۳- ۵- ۲- ۳- Rinsing: ..... ۳۲۲
۳- ۵- ۲- ۴- Acid Cleaning: ..... ۳۲۲
۳- ۵- ۲- ۵- Final Rinsing: ..... ۳۲۶
۳- ۵- ۲- ۶- Pre Neutralization, Neutralization: ..... ۳۲۶
۳- ۵- ۲- ۷- Passivation: ..... ۳۲۷
۳- ۵- ۲- ۸- Conservation: ..... ۳۲۷
۳- ۵- ۳- Leak Test (Tightness Test): ..... ۳۲۸
۳- ۵- ۳- ۱- Air Leak Test: ..... ۳۳۰
۳- ۵- ۳- ۲- Nitrogen Leak Test: ..... ۳۳۰
۳- ۵- ۳- ۳- Service Test: ..... ۳۳۰
۳- ۵- ۳- ۴- Vacuum Test: ..... ۳۳۰
۳- ۵- ۴- Inerting ..... ۳۳۴
۳- ۶- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه فرآیند ..... ۳۳۷

۳- ۶- ۱- Dry-Out ..... ۳۳۷
۳- ۶- ۱- ۱- Fired Heater Dry-Out: ..... ۳۳۹
۳- ۶- ۱- ۲- Reactor Section Dry-Out: ..... ۳۴۰
۳- ۶- ۱- ۳- Petrolume Processing Equipment Dry out: ..... ۳۴۰
۳- ۶- ۲- Boiler Cleaning/Chemical Boil-out ..... ۳۵۰
۳- ۶- ۳-تست های عملیاتی ..... ۳۵۶
۳- ۶- ۳- ۱- OT سیستم‌های ESD و F&G ..... ۳۶۱
۳- ۶- ۴- ۲- تله‌ی بخار ..... ۳۷۸
۳- ۶- ۴- ۳- سیستم‌های Deluge ..... ۳۹۳
۳- ۶- ۴- ۴- خوردگی: ..... ۳۹۶

**فـصل چـهارم استارت آپ** **۴۱۷**

۴- ۱- مقدمه ..... ۴۱۹
۴- ۲- فعالیت‌های قبل از استارت آپ ..... ۴۲۰
۴- ۳- Early Production ..... ۴۲۸
۴- ۴- Flare Start-up ..... ۴۲۸
۴- ۵- Furnace و Boiler ..... ۴۳۸
۴- ۶- Shut down Study: ..... ۴۵۳
۴- ۶- ۱- Turnaround/Overhaul یا Shutdown های برنامه‌ریزی شده: ..... ۴۵۳
۴ – ۶- ۲- Shut down برنامه‌ریزی نشده: ..... ۴۵۹
۴- ۶- ۳- Emergency Shutdown: ..... ۴۶۳

**مـراجـع** **۴۷۶**

**پـیوست‌هـا** **۴۸۰**

## فهرست جداول

عنوان صفحه


جدول ۱-۱ Risk matrix: categorization of likelihood ..... ۴۶
جدول ۱-۲ Risk matrix: categorization of severity of consequences ..... ۴۶
جدول ۱-۳ Risk Matrix ..... ۴۷
جدول ۱-۴ فرم گزارش HAZOP ..... ۵۵
جدول ۲-۱ نمونه‌ای از System و Sub-System برای واحد شیرین سازی یک پالایشگاه گازی ..... ۶۳
جدول ۲-۲ Insulation Resistance Value ..... ۸۶
جدول ۲-۳ محاسبه تخمین نرخ جریان در Water Flushing با قطر لوله.. ۱۱۴
جدول ۲-۴ رابطه بین سایز خط و میزان نرخ جریان هوا برای Air Blowing ..... ۱۲۱
جدول ۲-۵ میزان Runout بر اساس سرعت چرخش ..... ۱۳۷
جدول ۲-۶ تلرانس‌های پیشنهادی Alignmnet بر اساس سرعت چرخش شفت ..... ۱۳۸
جدول ۳ -۱ اولویت‌بندی راه‌اندازی در واحدهای صنعتی ..... ۱۵۴
جدول ۳-۲ لیست Function های برق و تست‌های Functional مرتبط .... ۱۵۷
جدول ۳-۳ انواع سنسورهای فشار ..... ۱۸۳
جدول ۳-۴ ساختار Altitude Valve ..... ۱۸۷
جدول ۳-۵ Basic Function مربوط به تست‌های ابزاردقیق ..... ۱۹۱
جدول ۳-۶ تعداد قابل قبول ذرات در Mesh در عملیات Oil Flushing با توجه به سایز لوله ..... ۲۰۱
جدول ۳-۷ چک‌لیست پمپ ..... ۲۱۲
جدول ۳-۸ نمونه Test Sheet پمپ سانتریفیوژ ..... ۲۱۴
جدول ۳-۹ Friction Factor لوله‌ها ..... ۳۶۸
جدول ۳-۱۰ اجزاء تله بخار نوع Balanced Pressure ..... ۳۸۰

جدول ۳-۱۱ اجزاء تله بخار نوع Bi-Metal ..... ۳۸۱
جدول ۳-۱۲ اجزاء تله بخار نوع Ball Float ..... ۳۸۲
جدول ۳-۱۳ اجزاء تله بخار نوع Thermodynamic ..... ۳۸۴
جدول ۴-۱ میزان LEL و UEL برای سیالات مختلف ..... ۴۳۶
جدول ۴-۲ میزان محتوای گرمای گازهای سوختی و واکنش‌های شیمیایی ..... ۴۳۹
جدول ۴-۳ مدت زمان افت فشار Pipe/Vessel بر اساس فشار طراحی ..... ۴۶۴

## فهرست اشکال

عنوان صفحه


شکل ۱-۱ نمودار جریان فرآیند ..... ۳۶
شکل ۱-۲ P&ID ..... ۳۸
شکل ۱-۳ General Arrangement ..... ۴۰
شکل ۱-۴ نقشه ایزومتریک ..... ۴۲
شکل ۱-۵ روند تولید مدارک ابزاردقیق ..... ۴۲
شکل ۲-۱نیروی محرکه موتورهای AC ..... ۸۲
شکل ۲-۲ PSV نوع Conventional ..... ۹۴
شکل ۲-۳ PSV نوع Bellows ..... ۹۵
شکل ۲-۴ PSV نوع Pilot ..... ۹۶
شکل ۲-۵ گراف هیسترسیس ..... ۱۰۰
شکل ۲-۶ Circuit Continuity Test ..... ۱۰۵
شکل ۲-۷ نحوه قرارگیری Target Plate ..... ۱۲۵
شکل ۲-۸ حالات غیر هم‌ترازی ..... ۱۳۱
شکل ۲-۹ دستگاه Dial Indicator ..... ۱۳۳
شکل ۲-۱۰ روش Reverse DI ..... ۱۳۴
شکل ۲-۱۱ روش Taper Gauge ..... ۱۳۵
شکل ۳-۱ گروه برداری ..... ۱۶۲
شکل ۳-۲ فرآیند سیستم کنترل ..... ۱۷۲
شکل ۳-۳ ساختار تنظیم کننده دما ..... ۱۷۹
شکل ۳-۴ ساختار Altitude Valve ..... ۱۸۷
شکل ۳-۵ حوزه Loop Test ..... ۱۹۱
شکل ۳-۶ انواع کولر هوایی ..... ۲۰۲
شکل ۳-۷ دیسک آب‌بند ..... ۲۰۴
شکل ۳-۸ Inlet Bell ..... ۲۰۵
شکل ۳-۹ اجزاء پمپ سانتریفیوژ ..... ۲۰۸

شکل ۳-۱۰ Pressure Compensator ..... ۲۱۰
شکل ۳-۱۱ منحنی مشخصه پمپ‌های دینامیک و PD ..... ۲۱۶
شکل ۳-۱۲ منحنی مشخصه یک پمپ سانتریفیوژ ..... ۲۱۷
شکل ۳-۱۳ بررسی نقاط BEP و Shut-Off ..... ۲۱۹
شکل ۳-۱۴ MRT پمپ جابجایی مثبت ..... ۲۲۳
شکل ۳-۱۵ مسیر MRT یک پمپ سانتریفیوژ بر روی یک P&ID ..... ۲۲۴
شکل ۳-۱۶ نیروهای شعاعی در پمپ ..... ۲۲۵
شکل ۳-۱۷ Mechanical Seal ..... ۲۲۸
شکل ۳-۱۸ اجزاء Mechanical Seal ..... ۲۲۹
شکل ۳-۱۹ نقاط آب‌بند Mechanical Seal ..... ۲۳۰
شکل ۳-۲۰ انواع Packing ..... ۲۳۱
شکل ۳-۲۱ سیستم فلاش Inboard ..... ۲۳۴
شکل ۳-۲۲ سیستم فلاش DR بدون Cyclone Separator ..... ۲۳۵
شکل ۳-۲۳ سیستم فلاش DR با Cyclone Separator ..... ۲۳۶
شکل ۳-۲۴ سیستم فلاش SR ..... ۲۳۷
شکل ۳-۲۵ سیستم فلاش منبع خارجی ..... ۲۳۷
شکل ۳-۲۶ سیستم فلاش Barrier ..... ۲۳۸
شکل ۳-۲۷ سیستم فلاش Buffer ..... ۲۳۹
شکل ۳-۲۸ سیستم فلاش Quenching ..... ۲۴۰
شکل ۳-۲۹ سیستم لوله‌کشی پمپ ..... ۲۴۲
شکل ۳-۳۰ نیروهای محوری حول محورهای Y و Z ..... ۲۴۳
شکل ۳-۳۱ شعاع Elbow ..... ۲۴۳
شکل ۳-۳۲ فاصله نصب Elbow در ورودی پمپ ..... ۲۴۴
شکل ۳-۳۳ نحوه چیدمان پمپ و فاصله اتصالات ..... ۲۴۵
شکل ۳-۳۴ Suction Bell ..... ۲۴۶
شکل ۳-۳۵ نمایان‌گر نحوه اتصال درست و غلط ..... ۲۴۷
شکل ۳-۳۶ نصب Diffuser در ورودی پمپ ..... ۲۴۸

شکل ۳-۳۷ نصب Foot Valve و Suction Trap در ورودی پمپ‌های کفکش ..... ۲۵۰
شکل ۳-۳۸ مقادیر حداقل جریان در پمپ ..... ۲۵۳
شکل ۳-۳۹ رابطه افزایش فشار در خروجی پمپ و کاهش جریان خروجی ۲۵۸
شکل ۳-۴۰ نحوه محاسبه NPSHA در پمپ‌ها ..... ۲۵۹
شکل ۳-۴۱ رفتار سیالات نیوتنی ..... ۲۶۱
شکل ۳-۴۲ رفتار سیالات غیر نیوتنی ..... ۲۶۱
شکل ۳-۴۳ سیستم Surge Arrestor در خروجی پمپ ..... ۲۶۶
شکل ۳-۴۴ رابطه بین جریان و فشار خروجی پمپ ..... ۲۶۷
شکل ۳-۴۵ رابطه بین سرعت گردش پمپ و جابجایی شفت ..... ۲۶۸
شکل ۳-۴۶ رابطه بین فشار خروجی و مصرف انرژی در پمپ ..... ۲۶۹
شکل ۳-۴۷ رابطه سرعت پمپ با اتصال Star/Delta ..... ۲۷۱
شکل ۳-۴۸ Waterfall Effects ..... ۲۷۳
شکل ۳-۴۹ منحنی عملکرد کمپرسور ..... ۲۹۲
شکل ۳-۵۰ مسیر جریان کمپرسور رفت و برگشتی ۱/۲ ..... ۳۰۶
شکل ۳- ۵۱ مسیر جریان کمپرسور رفت و برگشتی ۲/۲ ..... ۳۰۷
شکل ۳-۵۲ Chain Wheel و Long Spindle ..... ۳۱۰
شکل ۳-۵۳ شستشوی شیمیایی به روش Circulation ..... ۳۱۳
شکل ۳-۵۴ شستشوی شیمیایی به روش Static ..... ۳۱۳
شکل ۳-۵۵ نمونه‌ای از یک سیکل گردش De-Greasing ..... ۳۲۱
شکل ۳-۵۶ گراف Hemmelblau ..... ۳۳۳
شکل ۳-۵۷ منحنی فشار-دما برای پیش‌بینی تشکیل هیدرات ..... ۳۴۲
شکل ۳-۵۸ منحنی‌های فشار-دما بر اساس موقعیت تشکیل هیدرات ..... ۳۴۳
شکل ۳-۵۹ فازهای عملیات Vacuum Dry-Out ..... ۳۴۶
شکل ۳-۶۰ Drying-Out به روش Circulation Loop ..... ۳۵۰
شکل ۳-۶۱ Resistance Coefficient for Valves and Fittings ..... ۳۶۷
شکل ۳-۶۲ بررسی قابلیت درین ولو ..... ۳۶۹

شکل ۳-۶۳ اجزاء تله بخار نوع Balanced Pressure ..... ۳۸۰
شکل ۳-۶۴ اجزاء تله بخار نوع Bi-Metal ..... ۳۸۱
شکل ۳-۶۵ اجزاء تله بخار نوع Ball Float ..... ۳۸۲
شکل ۳-۶۶ اجزاء تله بخار نوع Thermodynamic ..... ۳۸۴
شکل ۳-۶۷ شماتیک لوله‌کشی و موقعیت نصب تله بخار در خطوط بخار. ۳۸۷
شکل ۳- ۶۸ شماتیک نصب تله بخار در Sump ..... ۳۸۹
شکل ۳-۶۹ نمونه‌ای از یک Sprinkler ..... ۳۹۴
شکل ۳-۷۰ سیستم Deluge ..... ۳۹۵
شکل ۳-۷۱ اثر میزان NaCl بر حلالیت اکسیژن در آب در دماهای مختلف ..... ۴۰۰
شکل ۳-۷۲ اجزای اصلی یک اجکتور ..... ۴۰۵
شکل ۳-۷۳ تعیین Entrainment Ratio ..... ۴۱۰
شکل ۴-۱ شماتیک کلی فلر نوع Steam Assisted ..... ۴۳۲
شکل ۴-۲ Direct Fired Furnace ..... ۴۴۱
شکل ۴-۳ میزان Excess Air برحسب درصد O2 ..... ۴۴۵
شکل ۴-۴ شماتیک بویلر ..... ۴۴۸
شکل ۴-۵ نحوه محاسبه میزان Blow Down ..... ۴۵۲
شکل ۴-۶ الگریتم فعالیت‌های shutdown ..... ۴۵۸
شکل ۴-۷ الگوی شکست F ..... ۴۶۰
شکل ۴-۸ شرایط Bypass برای ESDV های B.L. ..... ۴۶۶
شکل ۴-۹ شرایط Bypass برای ESDV های بین دو Zone ..... ۴۶۷

# فصل اول

# نــقدی بــر طــراحی

**۱ – ۱ – مقدمه**

در کتاب حاضر سعی شده است تا با آمیختن تجربه و علم به تشریح کامل موارد مهم مربوط به پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ (با گریزی به بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات) از دیدگاه مهندسی شیمی، جهت استفاده در صنایع شیمیایی، پتروشیمی‌ها، پالایشگاه‌های نفت و گاز و صنایع وابسته پرداخته شود. در بین همه علوم مرتبط با این صنایع، مهندسی شیمی با تکیه بر علوم پایه، مشاهده و قابلیت استنتاج، به بررسی مسائل مهندسی در این صنایع می‌پردازد. بنابراین مهندسین شیمی در قالب یک صنعتگر، می‌بایست از سایر علوم مرتبط با صنعت نیز آگاهی نسبی داشته باشند.

یکی از دلایلی که افراد مبتدی نسبت به متخصصین کم بهره‌تر هستند، عدم اطلاع آن‌ها از روش‌هایی است‌که طبق تجربه کسب شده است. هرچند فضای تجربه قابل انتقال نیست، اما معلومات مبتنی بر تجربه در قالب اسناد معتبر، قابل انتقال می‌باشد. لذا اعتقاد به استفاده از علم و دانش و تجربه در کنار هم و استنتاج از آن‌ها می‌تواند به بهره‌وری در کار مهندسی کمک کند. به تعبیر دیگر، مهندسین فرآیند تمایلی به طراحی مکانیکی، برقی، نرم افزاری و ... ندارند؛ با این‌حال باید در مورد محدودیت‌هایی که این بخش‌ها در طراحی و انجام پروژه به‌وجود می‌آورند و همچنین هزینه‌ها و پیامدهای هر یک از آن‌ها اطلاعات کافی داشته باشند.

به‌طور کلی طراحی مجدد آن چه از پیش طراحی شده است، به‌خاطر صرف هزینه، منطقی به‌نظر نمی‌رسد؛ از طرفی می‌دانیم که اثر بخشی و ریسک موارد طراحی شده، توسط طراحان طرح پیشتر تضمین شده است. بنابراین استفاده از طرح‌های موجود، با نگرش بهینه‌سازی آن می‌تواند مطلوب و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه باشد.

### ۱ – ۲- چرخه عمر یک پروژه[۱]:

جزییات چرخه عمر یک پروژه در صنایع مختلف متفاوت می‌باشد؛ اما هسته کلی و مشترک آن‌ها در زیر تعریف شده است:

۱- بررسی مسئله: اولین و مهم‌ترین شاخه در این چرخه، تشخیص و تعریف درست از مسئله می‌باشد. تحلیل مسائل نباید بر فرضیات افراد و آنالیز دیگران استوار باشد؛ بلکه تصور و درک درست از مسئله و سپس آنالیز ریشه‌ای آن با احترام به نظر متحصصین امر، می‌تواند کارآمد باشد. در این مرحله، ابتدا داده‌های ورودی بررسی می‌شوند و سپس سطح داده‌های خروجی و کیفیت محصول پایش می‌گردد.

۲- لیست کردن راه‌حل‌های بالقوه برای مسئله

۳- راه‌حل‌ها بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده بررسی می‌شوند و گزینه‌هایی که به‌وضوح مغایر معیارهای موجود مانند ایمنی، محیط زیست و استانداردها می‌باشند، حذف می‌شوند.

۴- طراحی مفهومی[۲] : طراحی فرآیند مفهومی را، برای گزینه‌های باقیمانده ایجاد می‌کنند. (در ادامه همین فصل، طراحی مفهومی توضیح داده شده است).

۵- مطالعات FEED [۳] آغاز می‌شود و هم‌گام با آن:

- اجرای طرح در مقیاس آزمایشگاهی جهت فراهم کردن داده‌ها به منظور پالایش گزینه‌ها از منظر اقتصادی، مهندسی و علوم پایه آغاز می‌شود.
- مطالعه FEED برای ارزیابی مکان‌های ممکن، مقیاس زمانی پروژه و میزان هزینه پروژه آغاز می‌شود.
- بررسی پروژه از منظر تجاری و در سطح استراتژیک

---

[۱]- Project Lifecycle

[۲]-Conceptual Design

[۳]- Front-End Engineering Design

- تعیین الزامات نظارتی برای محصول و یا فرآیند

۶- بر اساس خروجی‌های بند ۵، راه‌حل‌های قابل انتقال به سطح بعدی انتخاب می‌شود.

۷- مرحله شروع Detailed Design و هم‌گام با آن:

- آغاز پروژه در مقیاس آزمایشی[۱] برای تنظیم پارامترهای فرآیند به‌جهت بهینه‌سازی کیفیت محصول و تاسیسات جانبی[۲] مورد نیاز (از جمله هوا، بخار، برق، آب و ...)
- بر اساس داده‌های استخراج شده طرح در مقیاس آزمایشگاهی[۳] و مقیاس آزمایشی[۴]، هزینه و بازه زمانی پروژه تخمین زده می‌شود.
- در خواست صدور مجوز پروژه

۸- بر اساس خروجی‌های بند ۷ مناقصه برای انجام طراحی و نصب برگزار می‌شود.

۹- انجام طراحی برای ساخت

۱۰- تکمیل زیر ساخت‌ها، ساخت، لوله‌کشی، ابزاردقیق، ساختمان‌ها و ... و نصب تجهیزات

۱۱- بررسی صحت عمل‌کرد تجهیزات و راه‌اندازی آن‌ها

۱۲- راه‌اندازی واحد فرآیندی و تایید کارکرد آن بر اساس الزامات طراحی و تولید محصول با کیفیت (تصدیق فرآیند)

---

۱-Pilot Plant Scale

۲-Utility

۳-Lab Scale

۴- Pilot Scale

۱۳- بهره‌برداری نرمال[۱] و پایش سازگاری و کیفیت محصول بر اساس استانداردهای طراحی

۱۴- بهبود بهره‌وری فرآیند بر اساس داده‌ها و تجربه‌های کمی و کیفی در طول تولید نرمال

۱۵- افزایش کمی و کیفی تولید و استفاده از حداکثر ظرفیت Plant [۲] و بهینه‌سازی بر اساس داده‌ها و تجربه‌های کسب شده (اعتبار مجدد)

۱۶- تجزیه و تخریب Plant در پایان چرخه عمر پروژه

ماهیت تجاری طراحی فرآیند بدان معنی است‌که حداقل منابع لازم برای رسیدن یک پروژه به مرحله تایید شده بعدی، صرف شود. بدین منظور اساسا طرح یک پروژه در یک دسته‌بندی جامع‌تر و با توجه به بندهای فوق، به مراحل زیر شکسته می‌شود:

- مطالعات امکان سنجی[۳]
- طراحی مفهومی [۴]
- طراحی پایه [۵]
- طراحی تفصیلی [۶]
- تهیه و تامین تجهیزات [۷]

---

[۱]-Normal Operation

[۲] -مکانی که در آن فعالیت‌های تولیدی و صنعتی انجام می‌شود

[۳]- Feasibility Study

[۴]-Conceptual Design

[۵]-Basic Design

[۶]-Detailed Design

[۷]-Procurement

- نصب تجهیزات و ساخت [۱]
- پیش راه‌اندازی [۲]
- راه‌اندازی [۳]
- آغاز عملیات [۴]
- تولید، نگهداری و تعمیرات [۵]
- برچیدن Plant [۶]

در این کتاب، موارد مربوط به عملیات پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ، با رویکرد تولید، نگهداری و تعمیرات در فصل‌های بعد بررسی می‌شود و در ادامه این فصل به اهم موارد طراحی اشاره می‌شود. همچنین سعی شده است تا حداقل نیازمندی‌های فرآیندی برای پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی و استارت‌آپ یک plant و دستورالعمل‌های عمومی راه‌اندازی برای واحدها و پکیج‌هایی که تحت لیسانس نباشند شرح داده شود. ( البته برای آن دسته از واحدهایی که تحت لیسانس خاص می‌باشند، ساختار راه‌اندازی توسط لایسنسور ارائه می‌شود). از آن‌جا که دستورالعمل‌های راه‌اندازی و مراحل استارت‌آپ برای هر فرآیندی متفاوت می‌باشد، در جای خود به شرح دستورالعمل‌هایی که در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی معمول می‌باشند، پرداخته می‌شود.

### ۱- ۲ -۱ - امکان سنجی[۷]

این بخش مطابق با بندهای ۱ و ۲ است و در واقع ارزیابی و تحلیل پتانسیل پروژه مورد

---

[۱]-Installation and Construction

[۲]-Pre-Commissioning

[۳]-Commissioning

[۴]-Start-Up

[۵]-Operation and Maintenance

[۶]-Decommissioning

[۷]-Feasibility Study

مطالعه برای دست‌یابی به نتایج مطلوب می‌باشد. این ارزیابی‌ها و تحلیل‌ها دامنه پروژه را به‌طور دقیق برای شناسایی بهتر سناریوهای محتمل مشخص می‌کنند. هدف مطالعات امکان‌سنجی این است‌که آیا پروژه مهندسی می‌تواند در مرحله طراحی قرار گیرد یا خیر؟ که در این راستا دو معیار اساسی مورد سنجش واقع می‌شود:

قابلیت دست‌یابی پروژه

بررسی محدودیت‌های هزینه

به‌طورکلی امکان‌سنجی ساخت یک Plant در ۳ فاز و به‌صورت زیر انجام می‌شود.

**فاز اول: بررسی دسترسی خوراک و سرویس های پشتیبان در منطقه مورد نظر و زنجیره محصولات آن‌ها**

در این مرحله به بررسی خوراک‌های قابل دسترس در منطقه پرداخته می‌شود. و سپس زنجیره محصولات براساس مواد اولیه بررسی می‌شود. سپس مواردی از قبیل جذابیت سرمایه‌گذاری موردانتظار، حجم سرمایه‌گذاری موجود، مکان پیشنهادی، صادرات و واردات، بازدهی و ... محصولات مورد نظر بررسی و ارائه می‌شوند.

**فاز دوم: امکان‌سنجی مقدماتی و ارزیابی اولیه**

در این مرحله به‌طور مقدماتی ارزیابی اولیه‌ای بر روی طرح‌های مختلف انجام می‌شود که با هدف آشنایی سرمایه‌گذارها با طرح‌ها و محصولات بیشتر در حوزه مورد نظر است.

**فاز سوم: مطالعات امکان‌سنجی تفصیلی و برنامه‌ریزی اجرا**

در این مرحله با توجه به طرح نهایی انتخاب شده امکان‌سنجی تفصیلی در ۴ مرحله زیر انجام می‌شود.

### بررسی بازار

شناخت، لازمه هر حرکت عاقلانه و هر تصمیم اصولی است. و شناخت بازار برای گردآوری و ثبت اطلاعات مربوط به همه اجزای تشکیل دهنده بازار، نظیر خریداران بالقوه و بالفعل، واسطه‌های گوناگون، رقبا، محصولات و خدمات موجود و مورد نیاز و عوامل تاثیرگذار بر بازار نظیر مقررات و مصوبات دولتی، عوامل سیاسی، اجتماعی و ... ضروی است.

### ارزیابی تکنولوژی

در راستای تامین ماشین آلات و در صورت نیاز به تکنولوژی تولید یک محصول، فعالیت‌هایی شامل ارزیابی فنی می‌باشد. ارزیابی فنی در واقع شناخت فرآیند تولید، ماشین آلات مورد نیاز و کلیه ملزومات فنی تولید محصول از قبیل مواد اولیه، انرژی، نیروی انسانی و ... می‌باشد. به غیر از ماشین آلات تولید، منابع تامین سایر ملزومات تولید نیز در این مرحله شناسایی می‌شوند و در صورت نیاز به اقدام، مذاکرات اولیه جهت تامین بررسی می‌شود.

### تحلیل اقتصادی طرح با استفاده از نرم افزارهایی نظیر کامفار

نرم افزار کامفار به منظور تسهیل و بالا بردن دقت ارزیابی مالی و اقتصادی پروژه‌ها طراحی شده است و با دریافت دقیق داده‌ها، خروجی‌های مناسب و کاربردی براساس شاخص‌های مطرح در بودجه‌بندی سرمایه‌ای ارائه می‌نماید که شامل خالص ارزش فعلی پروژه سرمایه‌گذاری[۱] ، نرخ بازده داخلی[۲] ، نرخ بازگشت سرمایه عادی و پویا[۳] ، شاخص سودآوری طرح[۴] و نقطه سربه‌سر پروژه می‌باشد. تامین منابع مالی پروژه یکی از نکات مهم و استراتژیک در هر پروژه است‌که در کامفار به‌دقت بررسی شده است. همچنین این نرم افزار زمان مناسب برای اجرایی شدن و عملیاتی شدن پروژه را در اختیار سرمایه‌گذران و

---

۱-NPV

۲-IRR

۳-DPP

۴-PI

مدیران عالی شرکت‌ها قرار می‌دهد. کامفار به تحلیل حساسیت تغییر پارامترهای اقتصادی و مالی می‌پردازد.

### ۱-۲-۲- طراحی مفهومی[۱]

در این مرحله از طراحی، محدودیت‌های طرح باید شناسایی و کفایت و کیفیت داده‌های طراحی به‌طور ایده‌آلی سنجیده شوند و در نهایت تعدادی طرح بر اساس رویکردهای قابل قبول ایجاد شوند.

این بخش به نوعی برنامه‌ریزی پروژه با دید ارائه ایده‌ها و در نظر گرفتن عواقب و مضرات اجرای این ایده‌ها می‌باشد که هدف آن کاهش احتمال اشتباه، مدیریت هزینه‌ها، ارزیابی خطرات و میزان موفقیت پروژه مورد نظر می‌باشد.

در صنعت نفت و گاز، مرحله طراحی مفهومی از بسته اطلاعاتی با عنوان Basic Engineering Design Data [۲] آغاز می‌شود که اغلب با Process Basis Design اشتباه گرفته می‌شود.

BEDD به‌طور معمول شامل اطلاعات زیر برای شروع طراحی مفهومی می‌باشد:

- General Plant Description
- Codes and Standards
- Location
- Geotechnical Data
- Meteorological Data
- Seismic Design Conditions
- Oceanographic Design Conditions
- Environmental Specifications
- Raw Materials and Products Specifications

---

[۱]-Conceptual Design

[۲]-BEDD

- Required Utilities and their Specifications
- Flares
- HSE Requirements and Guarantees
- Production Throughput

بقیه صنایع فرمت‌های جایگزینی دارند اما بسته اطلاعات اولیه قاعدتا باید شامل بیشتر موارد بالا باشد.

مطالعه مفهومی، تعدادی از موارد طراحی را مطرح می‌کند که بر اساس محدودیت‌های عملیاتی، هزینه و اقتصاد پروژه به‌طور عقلانی تصمیم می‌گیرد که کدام گزینه بهترین نامزد انتخابی مرحله بعد می‌باشد. معمولا به ندرت تصمیم به ایجاد Pilot Plant برای طرحی می‌گیرند؛ به‌طوری‌که از نظر اقتصادی قابل توجیه باشد. معمولا طراحی‌ها در این مرحله وارد فاز بعدی می‌شوند مگر این‌که طراحی برای یک محصول جدید باشد که ابتدا در مقیاس آزمایشگاهی[۱] و سپس در مقیاس آزمایشی[۲] برده می‌شود.

مهم‌ترین فاکتور در مطالعات مفهومی، درک درست از امکان اقتصادی و فنی تعدادی از گزینه‌ها است‌که با بیشترین سرعت و کمترین هزینه قابل اجرا باشد.

کارفرماهای اصلی در اجرای طرح‌های مفهومی نسبت به پیمانکاران پایین دست مزایایی دارند؛ زیرا ممکن است داده‌های عملیاتی زیادی در دسترس پیمانکاران نباشد. با این‌حال کارفرماها معمولا فاقد تجربه‌های طراحی عملی می‌باشند. از طرف دیگر پیمانکاران در وضعیت مقابل قرار دارند؛ در حالی‌که اکثر کارمندان شاغل در بسیاری از شرکت‌های مشاوره نه سابقه طراحی واقعی و نه دانش عملیاتی دارند. بنابراین کارفرماها باید برای انجام طراحی مفهومی با مشاوران خود همکاری کنند که متاسفانه در عمل این اتفاق نیز رخ نمی‌دهد.

---

[۱]-Lab Scale

[۲]- Pilot Scale or Kilo Lab

### ۱-۲-۳- طراحی پایه[۱]

اگر طراحی، مرحله مفهومی را گذرانده باشد، طرح از حالت ایستا وارد فاز دینامیک می‌شود. طراحان در این بخش تعدادی از سناریوهایی را که شامل طیف وسیعی از شرایط فرآیندی مختلف است تعیین می‌کنند. بدیهی است تمام شرایط فرآیندی در یک Plant به‌صورت دینامیک و پویا است؛ حتی با فرض سیستم کنترل به اندازه کافی خوب، باز هم ممکن است سیستم کنترل در هنگام بهره‌برداری نرمال به حالت پایدار نرسد. به‌هرحال در این مرحله، طراحی باید به گونه‌ای باشد که همه سناریوها را تحت پوشش قرار دهد.

این مرحله از یک صفحه گسترده (مانند اکسل)، یک مدل تعادل جرم و انرژی[۲] که تمام عمل‌کردهای واحد را به هم پیوند می‌دهد و یک نمودار جریان فرآیند[۳] مرتبط برای هر یک از سناریوهای شناسایی شده، شروع می‌شود.

در صنعت (به‌خصوص صنعت نفت و گاز) از یک سیستم مدل‌سازی مانند Pro II برای این مرحله استفاده می‌شود. البته این کار توسط تیمی متشکل از اعضایی که دانش لازم در زمینه طراحی، تهیه تجهیزات و عمل‌کرد واحد را دارند انجام می‌گیرد.

نقشه‌ها در این مرحله باید موارد واقعی پیشنهادی، توسط تامین‌کنندگان و پیمانکاران را نشان دهند. حتی موارد به ظاهر بی‌اهمیت مانند لوله‌ها و فلنج‌های انتخاب شده باید روی نقشه‌ها نشان داده شوند. چرا که قیمت‌گذاری تولید کننده بر اساس همین مشخصات صورت می‌گیرد.

در واقع این نقشه‌ها باید مبنای بحث و گفتگوی تیم طراحی از نقطه نظر Layout، Value Engineering، Safety و ... باشند و در صورت لزوم باید تغییراتی در طراحی فرآیند ایجاد شود تا با اطمینان از بهترین طراحی استفاده شود.

---

۱- Basic Design

۲- Mass & Energy Balance

۳- Process Flow Diagram

این فاز خود به دو بخش Design Requirements و Preliminary Design تقسیم می‌شود.

Design Requirements: تعیین الزامات طراحی یکی از مهم‌ترین عناصر در طراحی فرآیند می‌باشد و این مرحله معمولا هم‌زمان با feasibility analysis انجام می‌شود و روند پروژه را در طول پروسه طراحی مهندسی، کنترل و پایش می‌کند. از آن جمله می‌توان به میزان availability و maintainability طرح اشاره کرد.

Preliminary Design: طراحی مقدماتی یا به عبارت دیگر high-level design که به آن Front End Engineering Design (FEED) هم می‌گویند، در واقع پل ارتباطی بین conceptual design و detailed design می‌باشد. در این مرحله پیکربندی کلی سیستم تعریف و شماتیک‌ها، دیاگرام‌ها و طرح‌ها به‌صورت اولیه تایید می‌شوند. مسلما در زمان detailed design و بهینه‌سازی‌هایی که در آن زمان انجام می‌شود، اغلب این طرح‌ها تغییر خواهند کرد؛ اما این مرحله، یعنی مرحله preliminary design بر چارچوب کلی ساخت پروژه متمرکز است.

به‌طور کل در فاز basic design به ترتیب مدارک زیر تهیه و تولید می‌شوند:

- Process Flow Diagram (PFD):

نمودار جریان فرآیند، نمایش بصری از تعادل جرم و انرژی است و چیدمان تجهیزات اصلی و ارتباطشان به یکدیگر را نشان می‌دهد و به‌طور کل فرآیند آن واحد را توصیف می‌نماید. بهتر است در PFD، ولوهای ESD و Isolation Valve های اصلی به‌جهت کمک به مطالعات ایمنی در طول طراحی نشان داده شوند. جریان‌های فرآیندی در PFD باید حداقل شامل Mass/Energy Balance، دبی، فشار، دما و ترکیب درصد جریان باشند.

نشان دادن Duty مبدل‌های حرارتی در PFD می‌تواند در شناسایی انرژی‌های بالقوه در جلسات بررسی کمک شایانی کند.

PFD ها معمولا مبنای صفحه نمایش اتاق‌های کنترل[1] می‌باشند؛ بنابراین داده‌های غیر ضروری و غیر مستقیم و داده‌های جزیی‌تر در آن نمایش داده نمی‌شود.

Block Flow Diagram (BFD) ها در واقع دیاگرام‌های ساده شده PFD ها می‌باشند که هر بلاک آن می‌تواند در بر گیرنده یک Schedule در یک واحد و یا یک واحد در نمایش کل Plant باشد.

نمادهای به‌کار برده شده در PFD باید مطابق استانداردهای رایج باشد که می‌توان به استانداردهای British زیر اشاره کرد:

BS EN ISO 10628, BS 1646, BS 1553

[1]-Control Room Mimic Screen

MATERIAL BALANCE

| Line | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Service | Raw feed to compressor | Compressed to air cooler | Air column product to precolumn | Precolumn tail gas | By pass of tail gas | Vacuum pump product to exchanger | Precolumn product to adsorption column | Adsorption column product to backfill | Purging Line | Backfill column to product storage | Storage column feed to ozonizer | Ozonizer product to heat exchanger | Heat exchanger product to flash tank | Top product release from flash column | Bottom product release from flash column | Coolant inlet for heat exchanger | Coolant outlet for heat exchanger | Oxygen to filling unit |
| Phase/Components | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas | Gas & Liquid | Gas | Liquid | Liquid | Gas | Gas |
| Nitrogen | 155.394 | 155.394 | 155.394 | 155.3717 | 155.3717 | 155.3717 | 155.3944 | 0.0227 | 0.0114 | 0.0227 | 0.0114 | 0.0114 | 0.0114 | 0.0114 | 0.0114 | 1.445 | 1.445 | 0.0114 |
| Oxygen | 41.836 | 41.836 | 41.836 | 39.2472 | 39.2472 | 39.2472 | 41.8369 | 2.5897 | 1.2948 | 2.5897 | 1.2948 | 0.8464 | 0.8464 | 0.8398 | 0.8398 | - | - | 1.2948 |
| Argon | 1.992 | 1.992 | 1.9922 | 1.9922 | 1.9922 | 1.9922 | 1.9922 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ozone | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.2989 | 0.0015 | 0.2975 | - | - | - |
| Total (Kmol/hr) | 199.2235 | 199.2235 | 199.2235 | 196.611 | 196.611 | 196.611 | 199.2235 | 2.6214 | 1.3062 | 2.6214 | 1.3062 | 1.1567 | 1.1567 | 0.8526 | 0.3041 | 1.445 | 1.445 | 1.3062 |
| Temperature (Kelvin) | 298.15 | 346.22 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 298.15 | 128.15 | 128.15 | 128.15 | 77.15 | 206.24 | 298.15 |
| Pressure (kilo-pascal) | 101.325 | 151.3 | 140 | 25 | 101.325 | 101.325 | 140 | 140 | 140 | 140 | 101.325 | 101.325 | 101.325 | 101.2 | 101.2 | 101.325 | 101.2 | 101.325 |

شکل ۱-۱ نمودار جریان فرآیند

- Piping and Instrument Diagram (P&ID):

P&ID نقشه‌ای است‌که کلیه ابزاردقیق‌ها، Loop های کنترلی، Interlock ها و سطوح Shutdown، شماره، سایز و جهت جریان خطوط،کلاس و گرید لوله‌ها، عملیات واحد و ولوها را به‌صورت نمادین و توپوگرافی نشان می‌دهد. رعایت ترتیب فیزیکی کلیه تجهیزات و همچنین چگونگی ارتباط آن‌ها در این مدرک الزامی می‌باشد.

استانداردهای British مورد استفاده برای نمادهای P&ID عبارت است از:

BS EN ISO 10628, BS 1646, BS 1553

و به‌طور کل مانند همه نمودارهای مهندسی، یک P&ID باید مطابق با استاندارد BS 5070 باشد.

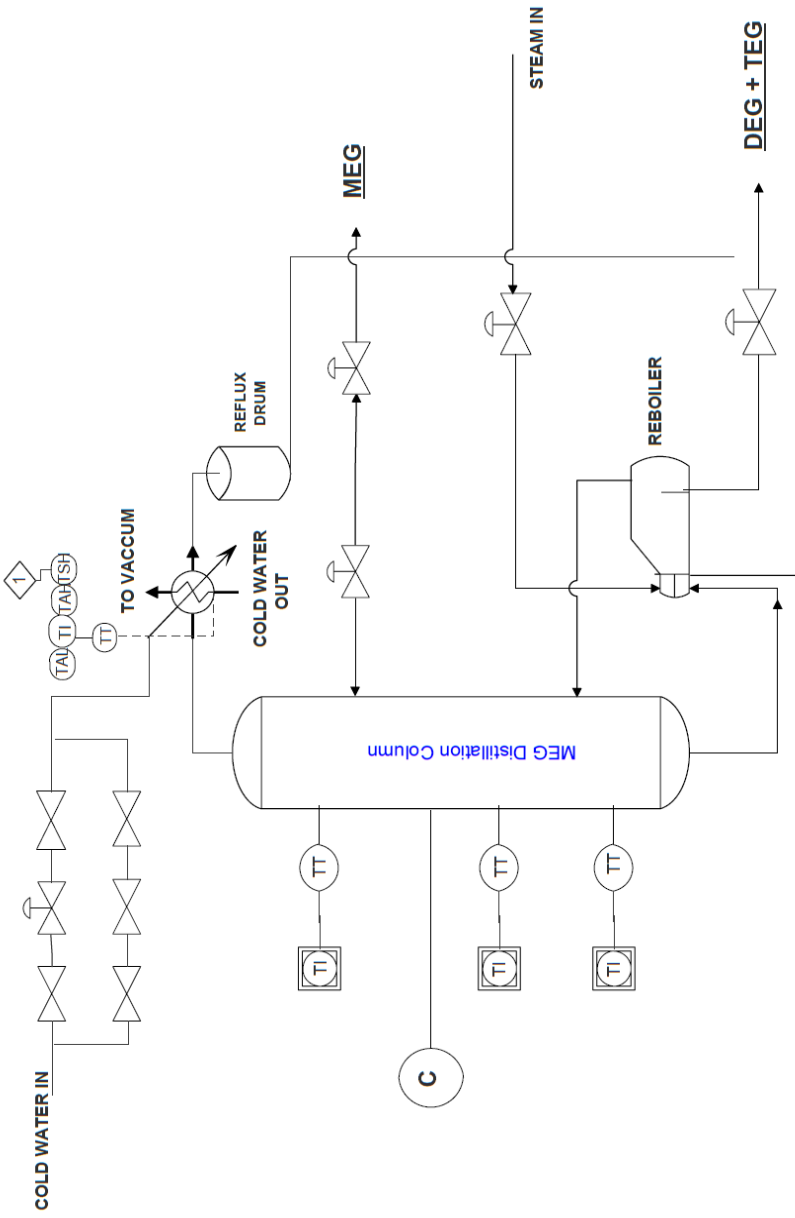
P&ID ها اصلی‌ترین سند برای مطالعه HAZARD و HAZOP می‌باشند و معمولا قبل از مطالعه HAZOP فریز می‌شوند و بر اساس نتایج HAZOP به روز می‌شوند.

گاهی به‌دلیل مشکلات پیش‌بینی نشده در زمان ساخت[۱] ، و یا تغییرات اعمال شده در آخرین لحظات طراحی، Plant مطابق با P&ID های IFC [۲] ساخته نمی‌شود؛ لذا پس از اتمام مرحله ساخت و تکمیل مکانیکی[۳] ، لازم است‌که P&ID ها (و سایر مدارک در صورت لزوم) به روز شوند تا منعکس کننده ماهیت دقیق سیستم باشند. به این مرحله از به روز رسانی As-Built می‌گویند.

[۱]- construction

[۲]-Issue For Construction

[۳]-Mechanical Completion


STEAM IN
DEG + TEG
MEG
REFLUX DRUM
REBOILER
TO VACCUM
COLD WATER OUT
STEAM OUT
MEG Distillation Column
COLD WATER IN
TT
TI
TA
TAH
TAL
C

شکل ۱-۲ P&ID

- Functional Design Specification (FDS):

FDS که گاهی به آن Control Philosophy نیز می‌گویند، به‌طور ساده مدرکی است‌که یک مهندس فرآیند از یک سیستم کنترل انتظار دارد. در واقع شامل چگونگی پاسخ سیستم کنترل به کلیه حالات راه‌اندازی، Shutdown و انواع مختلف شکست‌ها[1] می‌باشد، به گونه‌ای که قابل درک برای افراد کم تخصص نیز باشد.

این مدرک همراه با P&ID خوانده می‌شود؛ به‌طوری که با برچسبی به اجزای P&ID ارجاع داده می‌شود و همراه با آن در مطالعات HAZOP مورد استفاده قرار می‌گیرد.

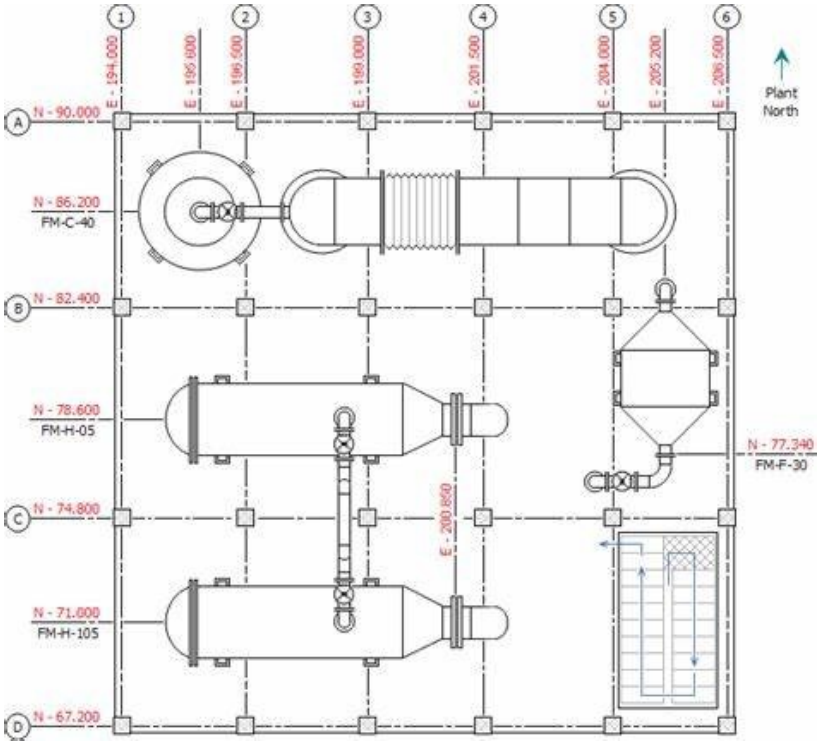
- Layout Drawing/General Arrangement/Plot Plan:

این مدرک، نقشه کلی، جانمایی و آرایش تجهیزات و لوله‌ها را همان‌طور که قرار است نصب شوند، نشان می‌دهد و به عنوان بخشی از طراحی فرآیند ، تولید می‌شود.

در این نقشه‌ها، مقیاس، مختصات و تراز[2] همه تجهیزات مکانیکی، خطوط لوله و ولوها نشان داده می‌شوند. درصورت امکان، شماره تگ‌های مورد استفاده در P&ID باید روی موارد مربوط به آن‌ها در این مدرک نیز علامت‌گذاری شود تا مرجع متقابلی فراهم شود. استاندارد مورد اشاره در این مورد BS-8888 می‌باشد و معمول‌ترین مقیاس این نقشه 1:100 می‌باشد.

[1]-Failure

[2]-Elevation




شکل ۱-۳ General Arrangement

- Performance Guarantee:

آیتم‌های گارانتی به ۴ بخش Process Performance Guarantee، Utility Guarantee، Equipment Guarantee و Environment Related Guarantee تقسیم می‌شوند. به‌طور کلی این مدرک تضمینی بر کارکرد اصولی تجهیزات، واحدها و حتی auxiliary ها، مطابق با انتظارات و با رویکرد حفظ محیط زیست می‌باشد. به عنوان مثال در واحدهای utility، میزان مصرف آب، هوا، نیتروژن و ... نباید فراتر از انتظارات فرآیندی باشد و از طرف دیگر واحدهای مصرف کننده این مواد به گونه‌ای باشند که با کمبود مواجه نشوند.

- Numbering System:

شماره‌گذاری تجهیزات ابزاردقیق، برقی، مکانیکی، خطوط لوله و مدارک مهندسی از قبیل specification ها، Purchase Order ها و ... در این مرحله مطابق با استانداردهای مربوطه تحت عنوان Numbering System صورت می‌گیرد.

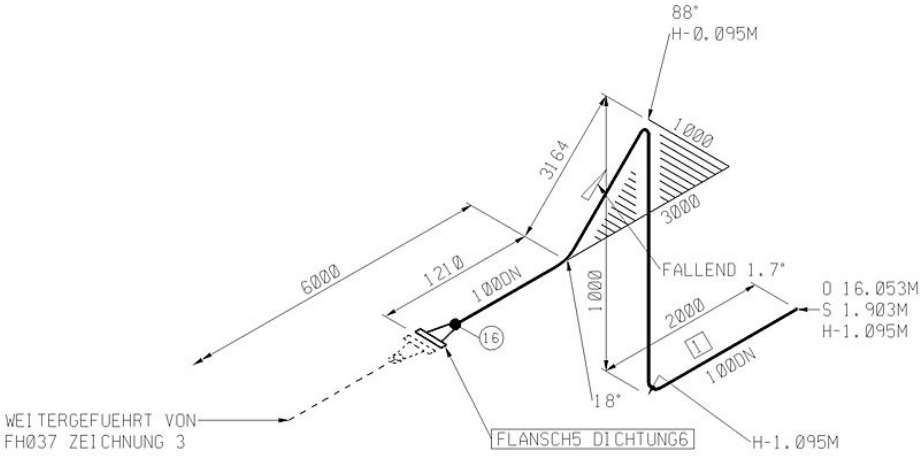
- Datasheets:

این مدرک کلیه اطلاعات مربوط به تجهیزات را به‌طور عمده نشان می‌دهد.
شرایط عملیاتی فرآیند، حداکثر شرایط طراحی، نوع سرویس (خورنده، قابل اشتعال، سمی و ...)، ساختار مواد و ... در این سند دسته‌بندی شده‌اند تا برای تامین تجهیزات در اختیار سازنده‌ها و فروشنده‌ها قرار گیرند.
برخی از داده‌ها در Datasheet بر اساس داده‌های پیشنهادی سازنده تجهیز تهیه و پیشنهاد می‌شوند؛ لذا در مراحل اولیه طراحی طبیعی است‌که با اظهاراتی چون "Vendor to Confirm" یا "To be Confirm" مواجه شویم.

- Isometric Piping Drawing:

در مرحله Detailed Design ایزومتریک‌ها تولید می‌شوند. ایزومتریک‌ها نقشه‌های مقیاسی نیستند اما دارای بعد می‌باشند. در این مدرک لوله‌ها به‌صورت تک خط نشان داده می‌شوند و نمادها برای نشان دادن اتصالات، ولوها، شیب خط، جوش، نوع پوشش و ... برای آن استفاده می‌شود. شرایط فرآیند مانند دما، فشار (طراحی و عملیاتی) نیز ممکن است بر روی این مدرک قرار بگیرد. همچنین P&ID مرتبط با خط یا خطوط مورد نظر در ایزو نمایش داده می‌شود. چه بسا که برخورد خطوط با هم و یا با تجهیزاتی که در یک فضا قرار دارند فقط در مرحله تولید ایزومتریک مشخص شود؛ بنابراین قبل از تولید ایزومتریک‌ها نمی‌توان طراحی را کامل در نظر گرفت.
هدف از ایزو، تسهیل ساخت لوله‌ها در کارگاه و یا در سایت می‌باشد. از ایزوها همچنین

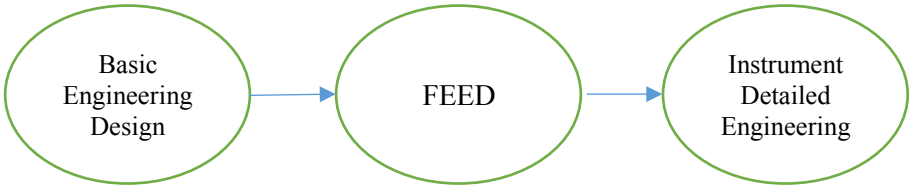
برای تخمین هزینه‌ها و آنالیز استرس استفاده می‌شود چرا که کلیه اطلاعات لازم در این زمینه را با خود دارند.




شکل ۱-۴ نقشه ایزومتریک

- مدارک مربوط به بخش ابزاردقیق:

در هر بخش صنعتی به تجهیزات و سیستم‌های کنترلی برای اتوماسیون نیاز می‌باشد؛ اما هر تجهیز ابزاردقیق طول عمر خود را دارد و با داده‌های خروجی اشتباه ممکن است شرایط خطرناکی را ایجاد کند. لذا نگهداری و تعمیرات دوره‌ای منظم و جایگزینی این تجهیزات در صنعت بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین در مرحله Basic Design مدارک مهم ابزاردقیق به شرح زیر تولید می‌شوند.




شکل ۱-۵ روند تولید مدارک ابزاردقیق

- Instrument Index Sheet:

لیستی از ابزاردقیق موجود در یک Plant می‌باشد که در ابتدای پروژه و همان‌طور که گفته شد در مرحله FEED تهیه می‌شود. این لیست به‌عنوان یک سند زنده محسوب می‌شود به‌طوری که با هرگونه تغییر اعم از اضافه کردن، حذف و یا تنظیم مجدد تجهیزات در طول پروژه و حتی در زمان بهره‌برداری، امکان به روز رسانی آن وجود دارد. اهم اطلاعاتی که در این مدرک لیست می‌شود شامل Tag Number، Loop Number، نوع ابزاردقیق، محل قرارگیری، کاربرد تجهیز، شماره تجهیز، شماره خطی که تجهیز روی آن نصب می‌شود، شماره تجهیز اصلی (درصورت نصب بر روی تجهیزی دیگر)، I/O Types و جزییات سیستم کنترلی می‌باشد.

- Instrument Datasheet:

این مدرک بر اساس اطلاعات و مشخصات تجهیز ابزاردقیق تهیه می‌شود. نوع سیال، دما و فشار طراحی و عملیاتی، دبی، دانسیته، ویسکوزیته و وزن مخصوص سیال فرآیندی که قابل استخراج از Heat & Material Balance می‌باشد، در آن ذکر شده است. به محض تهیه این مدرک، اطلاعات برای سازنده‌ها و یا فروشنده‌ها جهت تامین تجهیزات مورد نظر فرستاده می‌شود.

- Hook Up Drawing:

این مدرک طریقه نصب صحیح تجهیزات ابزاردقیق را به‌طوری که به‌درستی کار کنند نشان می‌دهد. در این مدرک شیب لوله، موقعیت تجهیز و مرز فعالیت بین گروه ابزاردقیق و Piping مشخص شده است. به‌طور کلی دو نوع از این مدرک به نام‌های Process Hook Up و Pneumatic Hook Up وجود دارد که در کنار آن‌ها، جدولی با نام Material Take-Off به منظور اشاره به مواد مورد نیاز وجود دارد.

➢ Loop Wiring Diagram:

این مدرک اطلاعات دقیقی از اتصالات ابزاردقیق به سیستم کنترل ارائه می‌دهد که می تواند شامل اتصالات بین تجهیز در سایت به سیستم کنترل، سیگنال ارتباطی از Control Panel به سیستم کنترل، سیگنال ارتباطی از MCC به سیستم کنترل و سیگنال ارتباطی از یک سیستم کنترل به یک سیستم کنترل دیگر باشد.

- مدارک مربوط به ایمنی:

اسناد کلیدی چون ارزیابی فرار و خطر تخلیه[۱] ، HAZID، ارزیابی کمی خطر[۲] و بسیاری موارد دیگر جزو مدارک ایمنی می‌باشند. در طول مرحله Detailed Design مطالعات ایمنی از قبیل HAZOP، پهنه‌بندی تجهیزات الکتریکی [۳] و سایر تجزیه و تحلیل‌های خاص مربوط به هر صنعتی وجود دارد. به بررسی و ارزیابی ریسک با تمرکز بر جنبه‌های ایمنی طرح[۴] که در جایی بین HAZAN و HAZOP قرار دارد، بررسی ایمنی طرح می‌گویند و مسلما پیشرو لایه آنالیز محافظ LOPA[۵] می‌باشد. مطالعه HAZOP در واقع یک مطالعه ایمنی با رویکرد "چه می شود-اگر" یا "What-If" می‌باشد و نباید با بررسی طراحی اشتباه گرفته شود. برای مطالعه HAZOP حداقل به مدارکی چون FDS، P&ID، محاسبات طراحی فرآیند و اطلاعات مربوط به مشخصات عملیات واحد، تجهیزات و ... نیاز می‌باشد. در این جلسات باید مهندسین متخصص از همه گروه‌ها حضور داشته باشند. (بسته به مرحله پروژه، ممکن است نماینده فروشنده[۶] ، کارکنان بهره‌برداری،

---

۱-Escape and Evacuation Risk Assessment

۲-Quantitative Risk Assessment

۳-Electrical Equipment Zoning

۴-Layout

۵-Layer of Protection Analysis

۶-Vendor

نگهداری و تعمیرات نیز حضور داشته باشند). این جلسات با مدیریت یک رییس مستقل جهت جلوگیری از چشم پوشی‌های احتمالی اداره می‌شود.
در زیر به مهم‌ترین موارد مدیریت ریسک اشاره شده است:

- HAZID:

اولین قدم برای مدیریت ریسک و خطرات، شناسایی خطرات احتمالی است و این هدف مطالعه HAZID می‌باشد.

- ایمنی شخص/کارکنان:

به‌طور گسترده خطرات ایمنی در این مورد به ۵ دسته زیر تقسیم می‌شود:

- فیزیکی / مکانیکی: مانند لغزش، افتادن، فضای محدود[1] ، سر و صدا، سوختگی، بریدگی و اعتصاب؛ گرما، استرس، کمبود آب و ...
- بیولوژیکی: مانند انتشار ارگانیسم‌های خطرناک
- مواد شیمیایی: انتشار مواد شیمیایی خطرناک
- برق: از جمله الکتریسیته ساکن
- روانشناختی: که باید در طراحی و مدیریت Plant در نظر گرفته شود.

سازمان‌های بزرگ معمولا طبقه بندی‌های خود را دارند؛ اما به‌طور کل مشابه موارد بالا و یا شامل بخشی از موارد فوق می‌باشند. به‌عنوان مثال "قوانین طلایی" شرکت BP شامل اجازه کار، فضای محدود، کار در ارتفاع، عمل بلند کردن، رانندگی، کار گرم و ... می‌باشد که کم و بیش با لیست بالا مطابقت دارد.

[1]-Confined Space

➢ ماتریس خطر[1]:

برای ارزیابی ریسک و همچنین HAZAN از این ماتریس استفاده می‌شود. ایده اصلی در این ماتریس این است‌که قابل قبول بودن یک ریسک، محصول بررسی اتفاق‌های بالقوه از این منظر است‌که آن اتفاق چطور رخ می‌دهد و اگر رخ دهد، تا چه اندازه وخیم خواهد بود.

جداول ۱-۱ و ۱-۲ مربوط به احتمال ریسک و شدت ریسک می‌باشند:

جدول ۱-۱ Risk matrix: categorization of likelihood

| Category | Definition | Range (events per year) |
|---|---|---|
| Probable | Few times in system lifetime | $10^{-1} – 10^{-2}$ |
| Occasional | May be once in system lifetime | $10^{-2} – 10^{-3}$ |
| Remote | Unlikely in system lifetime | $10^{-4} – 10^{-5}$ |
| Improable | Very unlikely to occur | $10^{-6} – 10^{-7}$ |
| Inconceivable | Cannot believe that it could occur | $< 10^{-7}$ |

جدول ۱-۲ Risk matrix: categorization of severity of consequences

| Category | Definition |
|---|---|
| Catastrophic | Multiple loss of life |
| Critical | Loss of a single life |
| Marginal | Major injuries to one or more persons |
| Negligible | Minor injuries to one or more persons |

[1]-Risk Matrix

در نهایت ترکیب موارد بالا در جدول ۱-۳ جهت نتیجه‌گیری نشان داده شده است:

جدول ۱-۳ Risk Matrix

| | **Consequence** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Likelihood** | Catastrophic | Critical | Marginal | Negligible |
| Certain | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Probable | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Occasional | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Remote | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Improbable | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Inconceivable | 4 | 4 | 4 | 4 |

Key

| | |
|---|---|
| 1 | Unacceptable |
| 2 | Undesirable |
| 3 | Tolerable |
| 4 | Acceptable |

توجه شود که ماتریس ریسک باید بر اساس مرگ و میر کمتر از $10^{-3}/Year$ کالیبره شود.

از این ماتریس همچنین برای ارزیابی میزان بحرانی بودن تجهیزات در مبحث نت[1] نیز استفاده می‌شود.

- HAZAN:

یک روش غربالگری اولیه ریسک است‌که انواع مختلفی دارد و هدف اصلی آن ارائه بهترین روش برای کنترل یا از بین بردن خطرات است. اصل کلی در این روش این است‌که یک جدول از تمام وقایع خطرناکی که ممکن است در یک Plant اتفاق بیافتد تهیه می‌شود. این جدول دارای دو محور عمودی و افقی است‌که یکی احتمال وقوع و دیگری شدت آن را نشان می‌دهد و محصول تلاقی این دو محور، ریسک نامیده می‌شود. در این روش شاخص‌های Dow و Mond، Substance Hazard Index و Chemical Exposure

[1]-نگهداری و تعمیرات

Index برای رتبه‌بندی خطرات استفاده می‌شود. همانند HAZID، این کار مطابق با اصول ایمنی فرآیند انجام می‌شود تا خطرات عمده به عنوان اولویت در نظر گرفته شوند.

شاخص‌های رتبه‌بندی در این روش به شرح زیر می‌باشند:

- شاخص آتش و انفجار Dow [۱]
- شاخص Mond: مکمل شاخص Dow و شامل فاکتورهایی مرتبط با خطر سمیت مواد در واحدهای فرآیندی می‌باشد.
- شاخص رتبه‌بندی خطر مواد[۲] : این شاخص بر اساس فرمول زیر ارزیابی می‌شود:

$$SHI = \frac{EVC\ (Equilibirium\ Vapour\ Concentration)@\ 20℃}{ATC\ (Acute\ Toxicity\ Concentration)}$$

- شاخص قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی[۳]: این شاخص ۵ نوع از عوامل موثر در اثر آزاد شدن مواد شیمیایی را مورد بررسی قرار می‌دهد:
  - سمیت حاد[۴]
  - بخش فرار از موادی که می‌توانند منتشر شوند
  - فاصله تا مناطق ایمن
  - وزن ملکولی مواد
  - پارامترهای فرآیندی مانند دما، فشار، واکنش پذیری و ...

[۱]-Dow Fire & Explosion Index

[۲]-Substance Hazard Index

[۳]- Chemical Exposure Index

[۴]-Acute Toxicity

➢ LOPA:[1]

LOPA ابزار HAZAN می‌باشد که معمولا در صنایع خاص و برای تعیین کمیت خطرات و شناسایی آن‌ها در مطالعه HAZOP با استفاده از روشی پیچیده‌تر از ماتریس خطر استفاده می‌شود. در این روش از "لایه‌های ایمنی" برای جبران فاصله کم بین تجهیزات و طراحی ایمن‌تر استفاده می‌شود. استفاده از لایه‌های ایمنی یا لایه‌های محافظت، از روش‌های سنتی مدیریت ریسک می‌باشد. این لایه‌ها شامل استراتژی‌های ایمن برای جلوگیری از حوادث و به حداقل رساندن شدت و اثرات خطر می‌باشد.

این لایه‌ها به خطرات فرآیند، فاصله جداسازی تجهیزات و واحدها، نظارت بر اپراتورها، سیستم‌های کنترل، آلارم‌ها، Interlock ها، دستگاه‌های محافظت فیزیکی و سیستم‌های اضطراری[2] تمرکز دارد.

➢ SIL (Safety Integrity Level):

این مدرک به عنوان یکی از استانداردهای ایمنی و با درجات مختلف اعتبار می‌باشد که معمولا هیچ‌گونه الزامی در این استانداردها وجود ندارد. اختصاص SIL، یک نوع ارزیابی ریسک در جایی است‌که یک خطر بالقوه وجود دارد و باید توسط یک ابزار عملگر ایمن[3]، تحت شرایطی مشخص و در مدت زمانی مشخص محافظت گردد.

نکته کلیدی که در این مورد باید در نظر داشت این است‌که "SIL" برای هر عملگر به‌صورت مجزا منصوب می‌شود. این عملگرها باید دارای فاکتورهای لازم برای حذف خطر و یا کاهش شدت آن و مرتبط با علت هر شکست باشند. این عملگرها یا ایمنی هستند یا حفاظتی؛ با این تفاوت که عملگرهای حفاظتی به‌صورت مستقل از سیستم‌های کنترل اجرا می‌شوند تا هرگونه شکست در سیستم‌های کنترل باعث فعال شدن عملگرهای حفاظتی شود.

---

[1]-Layer of Protection Analysis

[2]-Emergency

[3]- (SIF) Safety Instrumented Function

تعریف:

- Safety Integrity:

معرف احتمال عمل‌کرد ایمن و رضایت‌بخش SIF در همه شرایط اعلام شده و در مدت زمان مشخص می‌باشد.

- Safety Instrumented Function (SIF):

عملگر ابزار ایمنی، عمل‌کردی است برای دست‌یابی به یک حالت ایمن (یا حفظ حالت ایمن) تجهیزات تحت کنترل، که برای یک رویداد خاص تعریف شده است. به عنوان مثال، فرض کنید در طی تجزیه و تحلیل ریسک، چندین رویداد خطرناک شناسایی شده باشد و ارزیابی ریسک برای هر رویداد انجام می‌شود و شما موارد ایمنی را برای کاهش ریسک در نظر می‌گیرید؛ اما هنوز به سطح قابل قبول ایمنی نرسیده‌اید؛ بنابراین این‌جا می‌توانید از SIF برای کاهش ریسک به حد قابل قبول استفاده کنید؛ مثلا با استفاده از سنسورها، PLC ها، Actuator ها و ...برای جلوگیری از رویدادهای خطرناک بهره بجویید که به آن‌ها در اصطلاح Safety Integrity System هم می‌گویند.

- SIL:

اندازه گیری از عمل‌کرد مورد نیاز SIS (Safety Instrumentation System)، برای حفظ یا دست‌یابی به وضعیت ایمن می‌باشد.

دو عنصر اساسی برای این اندازه‌گیری وجود دارد:

۱- Hardware Safety Integrity: که معمولا بر اساس خرابی‌های سخت افزاری تصادفی استوار است‌که از طریق PFD[1] در سطح قابل قبولی قابل تخمین می‌باشد.

۲- Systematic Safety Integrity: به‌دلیل تنوع علل شکست سیستم، تعیین این بخش کمی سخت است و نیاز به مطالعات ریشه‌ای دارد.

[1]-Probability Failure on Demand

الزامات عمل‌کردی عملگرها و فاکتورهای کاهش ریسک [1] تعریف شده برای آن‌ها، منجر به دسته‌بندی SIL به چهار گروه زیر می‌شود:

$$SIL1 = 10 < RRF \leq 100$$
$$SIL2 = 100 < RRF \leq 1000$$
$$SIL3 = 1000 < RRF \leq 10000$$
$$SIL4 = 10000 < RRF \leq 100000$$

در عمل دست‌یابی به SIL1,2 نسبتا ساده است و SIL3 کاملا چالش برانگیز و نیازمند سیستم‌های Redundancy می‌باشد. اما در عمل رسیدن به SIL4 تقریبا غیر ممکن است و اگر SIL4 مشخص شود، یا طراحی فرآیند ناقص است یا رویکرد شما برای شناسایی RRF و تعیین SIL اشتباه است.

امروزه با توجه به حوادثی که در صنایع مختلف روی داده است، خصوصا در صنعت نفت و گاز، SIL3 بسیار رایج می‌باشد.

تعیین SIL با روش‌های مختلفی از جمله نمودار ریسک، ماتریس ریسک، LOPA و درخت شکست مشخص می‌شود. که در این بین LOPA متداول‌تر می‌باشد.

- Design Basis یا Design Philosophy:

گاهی ممکن است محصول طراحی مفهومی منجر به رویکردی شود که باید در مراحل بعدی طراحی دنبال شود و به آن Design Basis می‌گویند. در واقع بر خلاف تصور اشتباه و رایج، Design Basis شامل همه اطلاعات بنیادی پروژه نمی‌باشد؛ بلکه به‌صورت خلاصه محدوده وسیعی از FEED را تعریف می‌کند که بیشتر از چند صفحه نمی‌شود. حتی دقیق‌ترین نسخه‌های این سند که شامل مواردی از قبیل مکان پروژه، طول عمر طراحی، شرایط عملیاتی و محیطی، مواد اولیه و کیفیت محصول، کدها و استانداردهای

[1]-Risk Reduction Factor

قابل اجرا می‌باشد، از چند صفحه تجاوز نمی‌کند. لازم به توضیح است‌که این مدرک با Design Philosophy فرق دارد و در واقع Design Philosophy در برگیرنده فلسفه-های محافظت در برابر فشار بیش از حد[۱] ، Venting، Flaring، فلسفه Blow Down، فلسفه Isolation و ... می‌باشد. مشابه این مدرک می‌توان به مدارک ETP[۲] شرکت BP و DEP [۳] شرکت Shell اشاره کرد.

این مدرک باید معیارها و فلسفه‌های مورد استفاده در ساخت، به همراه فرضیات و توجیهات برای انتخاب‌های انجام شده را ثبت کند تا زمینه را برای بررسی در مرحله Detailed Design فراهم کند. اگر این مدرک وجود نداشته باشد، این خطر وجود دارد که در مرحله Detailed Design مهندسین با به‌کار بردن فلسفه مورد نظر خود، Plant را در معرض طراحی مجدد و یا خطرات ایمنی قرار دهند.

- HAZOP:

سایت‌های فرآیندی به‌دلیل پیچیدگی که دارند، حتی حرفه‌ای‌ترین مهندسین هم نمی‌توانند با یک نگاه، تمام راه‌های ممکن تعامل بین بخش‌ها را بیان کنند. بنابراین مطالعه HAZOP، یک ارزیابی ساختارمند از یک سیستم، با هدف شناسایی و نمایان کردن مشکلات جاری و بالقوه می‌باشد که ممکن است منجر به ایجاد خطر برای سیستم، پرسنل و کل Plant شود.

HAZOP تکنیکی است‌که به ما امکان می‌دهد در نظر بگیریم که چگونه Plant طراحی شده تحت تعدادی از شرایط عملیاتی کار می‌کند. کلیه مراحل ساخت، راه‌اندازی، استارت‌آپ، بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری و فازهای Shutdown باید به‌درستی در مطالعه HAZOP گنجانده شوند. در مرحله راه‌اندازی ممکن است از مواد شیمیایی استفاده شود که در بهره‌برداری استفاده نمی‌شود (مانند اسید مورد استفاده در Pickling

---

[۱]-Overpressure Protection

[۲]-Engineering Technical Practices

[۳]-Design Engineering Practices

لوله‌ها)، تولید صدا، گرد و غبار، بو و بخارات، بار ترافیکی، تجهیزات مورد نیاز برای نگهداری موقت مواد، تاسیسات رفاهی و بهداشتی و ... همگی باید در مرحله راه‌اندازی به حساب بیایند.

در زمان فعالیت‌های راه‌اندازی و یا حتی در مواردی از استارت‌آپ و Shutdown و تعمیرات، سیستم‌های ایمنی ممکن است وجود نداشته باشند یا به‌طور موقت از سرویس خارج شده باشند؛ بنابراین، در مطالعه HAZOP نباید شرایط ایمن Plant را در شرایط عملیاتی مورد انتظار و مطلوب دید، بلکه شرایط ایمن باید در کل چرخه عمر Plant[1] دیده شود.

بنابراین به‌طور خلاصه، با استفاده از مجموعه‌ای از نقشه‌های مهندسی و مستندات مانند P&ID، GA، FDS و Datasheet ها و ... از روش HAZOP برای شناسایی مشکلات ایمنی و عملیاتی احتمالی استفاده می‌شود.

در عمل تیم HAZOP، از متخصصین برق، نرم افزار، کنترل، ابزاردقیق، Piping، خوردگی، مکانیک و متخصصان عملیاتی و راه‌اندازی تشکیل شده است تا همه جوانب در آن در نظر گرفته شود. درک روش مطالعه HAZOP مشکل نیست بلکه تجربه در این مطالعه بسیار مهم است تا بتوان کلیه حالت‌های شکست و پیامدهای آن را به‌درستی تصور کرد و به عنوان بخشی از تیم به‌صورت موثر عمل کرد و در طول مراحل طولانی این امر هوشیار و آگاه بود؛ چرا که برخی از مطالعات HAZOP حتی تا هفته‌ها ادامه می‌یابد.

روش اصلی HAZOP این است‌که یک Node از P&ID را به‌طور هم‌زمان بررسی کند و پارامترهای (جریان، دما، فشار، ترکیب درصد و ...) را با کلمات راهنما (بیشتر، کمتر، خیر، معکوس و ...) به منظور شناسایی خطرات (Safety/Health) و مسائل مربوط به Operability (که ممکن است در تولید و محیط زیست تاثیر داشته باشد) را به‌دست آورد.

[1]-Plant Lifecycle

منظور از Node چیست؟

در طول مطالعه HAZOP، فرآیند به بخش‌هایی به نام Node تقسیم می‌شود. Node ها برای شناسایی و تمایز بخش‌هایی از فرآیندی که تغییرات قابل توجهی در عملیات فرآیند در آن رخ می‌دهد، لازم می‌باشند. در مبحث نت، به Node ها Schedule نیز می‌گویند. Node ها را روی P&ID با خط چین از هم جدا می‌کنند و مطالعه HAZOP روی هر Node اعمال می‌شود. به‌طور معمول هر یک از تجهیزات اصلی به‌علاوه تجهیزات جانبی مرتبط با آن را یک Node در نظر می‌گیرند.

دستورالعمل مطالعه HAZOP:

۱- تیمی متشکل از رییس جلسه، کاتب، مهندس فرآیند، مهندس کنترل و متخصصین سایر رشته‌های مهندسی لازم به‌علاوه متخصص بهره‌برداری و راه‌اندازی تشکیل می‌شود.

۲- حداقل چهار سناریو باید در نظر گرفته شود؛ اعم از راه‌اندازی، استارت‌آپ، بهره‌برداری نرمال، Shutdown، تعمیرات و نگهداری (و هر موقعیت ویژه‌ای که مرتبط با صنعت شما باشد، مثل Purge با بخار، با هوا یا با گازهای بی اثر)

۳- P&ID را بر اساس Node های مشخص شده و با کلمات راهنمای (None، More of، Less of، Part of، More than و ...) برای هر یک از پارامترهای (Flow، Pressure، Temperature، Component/Impurity، Phase، Viscosity و ...) بررسی کرده و انحرافات را در نظر بگیرید. به عنوان مثال:

$$More\ of + Flow = More\ Flow$$

۴- هیچ فرضی جایز نیست و رییس جلسه باید مدام بپرسد "چگونه می‌دانیم؟"

۵- همه انحرافات شناسایی شده یا در نظر گرفته شده را ثبت کنید.

۶- شناسایی و ثبت روش‌هایی که باعث انحراف کمتر یا محافظت Plant در برابر

پیامدها می‌شوند.

۷- تصمیم بگیرید که آیا هزینه تغییرات توجیه‌پذیر است یا خیر

۸- توافق در مورد تغییرات و مشخص کردن مسئول انجام آن

۹- تهیه لیستی از اقدامات اساسی و مسئولیت‌ها.

۱۰- پیگیری و نظارت بر اقدامات انجام شده.

جدول ۱-۴ نمونه ای از فرم گزارش HAZOP می‌باشد:

جدول ۱-۴ فرم گزارش HAZOP

HAZOP REPORT SHEET

| Name | Title | | Role | Sign | Project Title | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | Project No | | | |
| | | | | | ELD No | | | |
| | | | | | Sheet | | | |
| | | | | | Data | | | |
| | | | | | | | | |
| No. | Guide world/ Parameter | Possible Cause | Consequence | | Action | Person Responsible | Data to be completed | Completion Signature |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

مزید بر P&ID، GA نیز مدرک مهمی برای بررسی علت/پیامد سناریوهایی که توسط تیم HAZOP در یک Plant شناسایی شده است می‌باشد؛ چرا که موقعیت‌های خطر را به خوبی تجسم می‌کند. زمانی که یک پیامد مشخص می‌شود، P&ID گویای آیتم‌های مجاور که ممکن است تحت تاثیر آن پیامد(ها) قرار بگیرد، نمی‌باشد؛ بنابراین GA به تیم اجازه می‌دهد اثر پیامدها را روی تجهیزات مجاور بهتر قضاوت کند. به‌طور مشابه اگر تجزیه و تحلیل کمی خطر مورد نیاز باشد، می‌توان خطوط خطر را بر روی طرح ترسیم کرد تا نشان دهنده مناطق خطر غیر قابل قبول و مناطق دسترسی به تجهیزات باشد.

### ۱ – ۲- ۴- طراحی تفصیلی [۱]

طراحی تفصیلی که به آن Design for Construction هم گفته می‌شود، بلا فاصله بعد از FEED و بر اساس آن انجام می‌شود که مرحله Procurement در آن قرار دارد و هدف آن تکمیل همه جانبه پروژه از طریق مدل سازی و شبیه سازی بر اساس مشخصات مشخص شده می‌باشد. در این مرحله مدرک Plant Operating Manual نهایی می‌تواند تولید شود.

Plant Operating Manual: این مرحله شامل توضیح مبسوط فرآیند یک واحد و الزامات طراحی و بهره‌برداری آن اعم از unit capacity، turndown ratio، مشخصات خوراک و محصول، ملزومات ایمنی و ... می‌باشد. در این دستورالعمل معمولا نحوه استارت‌آپ و Shutdown واحد نیز تشریح می‌شود.

مدارک تولید شده در این فاز برای تیم ساخت و با هدف اصلاح طراحی و بازتاب تجربه مهندسین ساخت و راه‌انداز، ارسال می‌گردد.

[۱]– Detailed Design

- Site Redesign:

به عنوان کلام آخر در این فصل، همان‌طور که می‌دانید، جابجایی یک خط بر روی نقشه بسیار آسان‌تر و ارزان‌تر از آن است‌که بخواهید همان خط را در سایت جابجا کنید. اگر دایره ارتباطات بین سایت و طراحان در شرکت‌های طراحی و یا بین شرکت‌ها کم باشد و یا ضعیف اداره شود، قطعا اصلاحات گزافی در پروژه‌ها مورد نیاز خواهد بود. از این‌رو بهتر است سایت را در هر مرحله با نقشه‌ها بررسی کرد و یا از افراد متخصص و با دید اجرایی در کنار طراحان بهره جست تا موارد اصلاحی، پیش از ساخت پیشنهاد و ارائه گردند.
مهندسان اجرایی خصوصا مهندسین راه‌اندازی متاسفانه به ندرت در این فعالیت شرکت می‌کنند؛ اما به واقع با دید اجرایی خطاهای موجود و تناقضات بین طرح و سایت بهتر درک و مشاهده می‌شود. متداول‌ترین مسئله معمولا عدم در نظر گرفتن دسترسی لازم به آیتم‌ها در زمان تعمیر و نگهداری می‌باشد. بنابراین به عنوان نماینده‌ای از جامعه راه‌اندازی موارد زیر به طراحان جهت بررسی و اطمینان در مراحل اولیه طرح پیشنهاد می‌گردد.

- سایز خط تخلیه (Drain) تانک‌ها به اندازه‌ای باشد که تانک تحت گراویتی سیال خود در کمتر از یک ساعت در محلی ایمن تخلیه گردد.
- Vent مخازن (خصوصا مخازن تحت فشار) در محلی ایمن تخلیه گردد.
- در نظر گرفتن Sample Point ها در مکان‌هایی با موقعیت و دسترس‌پذیری مناسب.
- زیر سیستم‌های جانبی و خدماتی به گونه‌ای طراحی شوند که جواب‌گوی راه‌اندازی، تعمیرات و تعمیرات دوره‌ای باشند.
- قابلیت دسترسی آیتم‌های تعمیراتی و در نظر گرفتن جانمایی جرثقیل (موقت یا سقفی) برای جابجایی آن‌ها.
- در نظر گرفتن حداقل‌های مورد نیاز برای کنترل آلودگی محیط زیست در زمان راه‌اندازی

- در نظر گرفتن کلاهک یا (Rain Hat) برای Vent مخازن جهت محافظت از محتویات مخزن از بارش
- قطر خط vent در vessel ها معمولا باید حداقل برابر بزرگترین خط مایعی باشد که وارد vessel می‌شود.
- در نظر گرفتن Vortex Breaker برای vessel هایی که سطح مایع کمی دارد و خروجی آن Suction پمپ می‌باشد؛ تا از ورود گازها به ورودی پمپ جلوگیری کند.
- خط Overflow برای مخازن بسته، Blanketed Vessel و مخازن تحت فشار منفی جزیی، باید توسط manometer seal حاوی مایع مناسب یا توسط Sealing Trap مکانیکی مانند scrub seal، آب‌بندی شود.
- استفاده از Dip Leg: در Vessel های حاوی Flamable Liquid جهت کاهش اثر الکتریسیته ساکن، جهت تزریق واکنش دهنده در راکتورهای متلاطم، جهت کاهش Foaming، جهت استفاده در سیستم‌های خلاء به عنوان Barometric Leg و جهت جلوگیری از اثرات خوردگی به سبب هوادهی در مخازن.
- در نظر گرفتن weep hole یا siphone breaker برای Dip Leg ها (به‌جز نوع barometric)؛ Weep hole داخل vessel و نزدیک به بالاترین نقطه تعبیه می‌شود و سایز آن نباید آن‌قدر زیاد باشد که راه ورود هوا برای ایجاد foaming در مخازن باشد.
- استفاده از gooseneck در داخل مخازن فلزی به جای dip leg ها برای کاهش اثرات الکتریسیته ساکن.
- در نظر گرفتن Heat Tracing برای پمپ‌هایی که سیال باقی مانده در آن در زمان خاموش بودن یخ می‌زند.
- مبدل‌های حرارتی single tube افقی، غالبا در جهت خروجی میعانات باید شیب‌دار باشند.

- در مبدل‌های حرارتی، مایعات گرم شونده باید از پایین وارد مبدل شده و از بالاترین نقطه خارج شوند تا از تشکیل و ماندگی هوا و سایر بخارات محلول در مبدل جلوگیری شود. و اگر سیال با SS بالا [1] باشد، سیال از بالا وارد و از پایین خارج می‌شود تا از ماندگی رسوبات جلوگیری شود.
- لزوم backflushing دوره‌ای مبدل‌های حرارتی در صورتی که سیال حاوی ذرات معلق و یا رنج تغییرات وسیع سرعت باشد.
- در نظر گرفتن Automatic Switchover برای پمپ‌ها در سرویس‌های بحرانی که با وجود مشکلات مکانیکی و الکتریکی برای یک پمپ، پمپ standby به‌طور خودکار در سرویس قرار گیرد.
- در نظر گرفتن Failure Alarm برای جریان موتور پمپ‌ها و کمپرسورهای بحرانی برای نشان دادن وضعیت تجهیز

[1]-Suspended Solid

# فصل دوم

# پیش راه‌اندازی[1]

[1] Pre-Commissioning

**مقدمه**

شروع عملیات پیش‌راه‌اندازی می‌تواند در حین عملیات ساخت و یا بعد از نصب تجهیزات و لوله‌ها صورت پذیرد. اما شروع عملیات راه‌اندازی حتماً باید بعد از اتمام عملیات مکانیکی[۱] صورت پذیرد. مراحل راه‌اندازی با توجه به نوع Plant و نوع فرآیند، متفاوت می‌باشد و به‌طور کل برای راه‌اندازی، اولویت‌بندی واحدهای فرآیندی و یوتیلیتی و Offsite باید به‌درستی رعایت شود. به عنوان مثال در واحدهای صنعتی به‌دلیل حائز اهمیت بودن هوای ابزاردقیق، این واحد پیش از همه واحدها راه‌اندازی می‌شود و پس از آن واحد آب آتش‌نشانی و ... راه‌اندازی خواهند شد. مرحله راه‌اندازی از زمان پایان نصب و بازرسی مکانیکی آغاز می‌شود و تا زمان تولید محصول مطابق با استانداردهای تعریف شده ادامه می‌یابد.

پیش از شروع به‌کار فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی، لازم است نسبت به تعریف ساب‌سیستم‌ها و مشخص کردن آن‌ها در محدوده‌های لازم اقدام شود.

**سیستم:** بخش‌های عمده‌ای از یک Plant می‌باشند که وظیفه‌ی عملیات اصلی- فرآیندی و تاسیسات جانبی- آن Plant را بر عهده دارند.

**ساب‌سیستم[۲]:** اجزایی از یک سیستم می‌باشند که عمل‌کرد عملیاتی آن‌ها جزیی از عمل‌کرد یک سیستم می‌باشد؛ به‌طوری که به یکدیگر وابستگی نداشته باشند یا وابستگی کمی داشته باشند. برای تعیین محدوده‌ی تست فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی و راه‌اندازی لازم است‌که برای راحتی کار و کنترل و مدیریت بهتر فعالیت‌ها، سیستم‌ها را به بخش‌های قابل تفکیک و کوچکتری به نام ساب‌سیستم تقسیم‌بندی نماییم. غالباً این بخش‌ها در یک کلاس پایپینگ از لحاظ دما و فشار قرار می‌گیرند. سپس مرزهایی برای جداسازی ساب‌سیستم‌ها در یک سیستم با ولوهای موجود (بجز Check Valve و Safety

---

۱- Mechanical Completion

۲- Sub-system or Functional System

Valves) تعیین می‌نماییم. در جدول ۲-۱ نمونه‌ای از سیستم و ساب‌سیستم‌های مرتبط، برای واحد شیرین‌سازی یک پالایشگاه گازی تعریف شده است.

جدول ۲-۱ نمونه ای از System و Sub-System برای واحد شیرین سازی یک پالایشگاه گازی

| Unit 101 : Gas Sweetening (System) | | | |
|---|---|---|---|
| **System** | **Description** | **Sub-System Code** | **Sub-System Description** |
| 101 | Gas Sweetening | 10101-11 | Amine Absorber Train 1 |
| 101 | Gas Sweetening | 10102-11 | Amine Regeneration Train 1 |
| 101 | Gas Sweetening | 10103-11 | Steam Condensate Train 1 |
| 101 | Gas Sweetening | 10104-11 | Amine Storage Tank & Filtration Train 1 |
| 101 | Gas Sweetening | 10105-11 | Antifoam Package Train 1 |
| 101 | Gas Sweetening | 10106-11 | Amine Sump Drum & Closed Drain Distribution Train 1 |

یکی از اساسی‌ترین مسائل در فاز پیش‌راه‌اندازی، نظارت و کنترل بر فعالیت کلیه‌ی گروه‌ها از نقطه نظر ایمنی و تعیین روند صحیح پیاده‌سازی مجوز کار[۱] می‌باشد. با شروع فعالیت-های پیش راه‌اندازی در بسیاری از صنایع از جمله پالایشگاه‌ها، از لحاظ سازمانی دو گروه عمده وجود دارند؛ گروهی مسئول راه‌اندازی فرآیند می‌باشند و گروه دیگر مسئولیت تعمیرات را بر عهده دارند. در زمان انجام کلیه فعالیت‌های تعمیراتی اعم از فعالیت‌های گرم[۲] و یا سرد[۳] (در زمان ساخت و نصب تا Overhaul واحد صنعتی)، آماده‌سازی شرایط کار با در نظر گرفتن موارد خطر بر عهده تیم فرآیند (گروه اول) می‌باشد؛ برای مثال ایزوله کردن[۴] و پرج کردن[۵] یک تجهیز، باید بر اساس مجوز کار و نظارت تیم ایمنی صورت بپذیرد و تمهیدات ایمنی شامل وسایل و تجهیزات خاص ایمنی از قبیل وسایل حفاظت

۱- Permit To Work or PTW

۲-Hot

۳-Cold

۴-Isolation

۵-Purging

فردی، استفاده از ابزارهای ضد جرقه مانند چکش چدنی و ... باید در نظر گرفته شود. زمانی که فعالیت مورد نظر به پایان رسید، برگه‌ی مجوز کار باید به اداره ایمنی عودت داده شود و تنها با ثبت پایان این نوع مجوزها، تیم فرآیند اجازه شروع فعالیت‌های راه‌اندازی خود را خواهد داشت. بسیاری از اتفاقات در واحدهای صنعتی به‌دلیل ضعف سیستم مجوز کار اتفاق افتاده است.

همچنین هریک از نفراتی که در یک واحد صنعتی مشغول به‌کار هستند، موظف به رعایت نکات ایمنی و حساسیت ویژه برای دوری از خطرات احتمالی می‌باشند. در اغلب موارد تنها یک شخص باعث بروز حادثه بوده است، اما مسئولیت آن به عهده افراد بسیاری می‌باشد؛ بنابراین بهره‌برداران نباید از کنار حتی کوچکترین موارد احتمال بروز خطر مانند صدا، نور و ... به راحتی عبور کنند. از طرفی آموزش و یادآوری نکات و انتقال تجربه‌های ایمنی در این بین بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به موارد پرتکراری مانند آتش گرفتن درین[1] در هنگام جوشکاری و یا استفاده از سنگ فرز در مجاورت درین‌ها اشاره کرد. شاید تمهیدات لازم برای جلوگیری از وقوع این اتفاق در نظر گرفته شده باشد، اما به‌طور حتم در بروز هر اتفاقی، مسائلی نیز نادیده گرفته می‌شود. قطعاً لزوم تست اندازه‌گیری گازهای قابل اشتعال[2] پیش از انجام کار گرم در مجاورت درین در دستور کار قرار داده شده است. اما اپراتور با بیش از حد فرو بردن لوله مکش آشکارساز گاز[3] ، متوجه میزان دقیق گازهای قابل احتراق نشده است؛ چرا که این آشکارسازها فقط زمانی اطلاعات صحیحی می‌دهند که اکسیژن وجود داشته باشد. همین اطلاعات نادرست ممکن است منجر به بروز فاجعه گردد.

---

[1]-Open Drain

[2]-Flammable Gas

[3]-Gas Detector

فاز پیش‌راه‌اندازی شامل سه نوع فعالیت اصلی می‌باشد:

**۱- Systematic Conformity Checks**

بر روی همه تجهیزات (یا اجزای یک تجهیز) مانند تجهیزات ابزاردقیق، پکیج‌ها، موتورها، کابل‌ها و ... جهت تأیید بصری شرایط تجهیزات، کیفیت نصب تجهیزات، مقایسه تجهیزات با نقشه‌ها و مشخصات پروژه، بررسی دستورالعمل‌های سازنده تجهیز، بررسی و تایید موارد ایمنی، مطابقت تجهیز با کدها و استانداردها صورت می‌گیرد؛ همچنین تولید و بررسی ساب‌سیستم‌ها، تولید بسته‌های کاری دستورالعمل‌های پیش‌راه‌اندازی، بررسی P&ID, PFD و Isometric ها و مقایسه‌ی آن‌ها باهم و اعلام مغایرت‌ها و تهیه لیست پانچ‌ها از اهم فعالیت‌های این دسته می‌باشند. در این مرحله، جوشکاری و مونتاژ خطوط، رادیوگرافی جوش‌ها و تست هیدرواستاتیک باید انجام شده باشد و سیستم‌های حفاظت کاتدی به‌درستی نصب و تست شده باشند. اصولاً در این مرحله فضای منحصر به‌فردی برای هر واحد صنعتی با فنس‌کشی جهت امنیت، کنترل و مدیریت بهتر واحد تعیین می‌گردد و آن واحد از سایر واحدها مجزا می‌شود.

**۲- Equipment Static/De-Energized Tests**

این تست سرد، جهت حصول اطمینان از کیفیت تعدادی از اجزای مهم و کلیدی تجهیز، بر روی تجهیزات انجام می‌شود. نمونه‌هایی از این تست‌ها شامل کالیبره کردن ولوهای ESD[1] ، هم‌محورسازی اولیه تجهیزات دوار، تنظیمات مربوط به شیرهای ایمنی، تست پیوستگی کابل‌ها و ... می‌باشند.

**۳- Piping Test (Test package)**

این تست مربوط به تمیزکاری خطوط لوله با آب، هوا و بخار و در صورت نیاز، فعالیت‌های Dewatering و Drying خطوط لوله می‌باشد.

[1]-Emergency Shut Down

- **موارد ایمنی قابل توجه در فاز پیش راه‌اندازی:**

به‌دلیل شرایط گذار از فاز ساخت به فاز پیش راه‌اندازی و تداخل و هم‌زمانی فعالیت‌های این دو فاز، توجه به موارد زیر حائز اهمیت می‌باشد.

- خارج نمودن کلیه Blind ها و Spool های موقت باقی‌مانده در دوره ساخت از واحد یا سیستم مورد نظر
- قرار دادن کپسول‌های اطفاء حریق در مکان‌های مناسب و در محدوده واحد مورد نظر
- بررسی راه‌های خروج از واحد مورد نظر و اطمینان از عدم وجود مانع در مسیر(های) خروج
- قرار دادن منبع آب قابل دسترس به‌جای سیستم Eye wash تا زمان راه‌اندازی این سیستم در محدوده سیستم مورد نظر
- اطلاع از جهت وزش باد و موقعیت جغرافیایی واحد مورد نظر
- برقراری سیستم نظارت گروه راه‌انداز بر مجوزهای کار گروه ساخت

## ۲ – ۲- فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی گروه برق

پیش از توضیح مهم‌ترین فعالیت‌های گروه برق، توجه به نکات و موارد حائز اهمیت در مورد برق و تجهیزات الکتریکی در سایت‌های صنعتی، ضروری می‌باشد.

- کلیه welding socket ها و پریزها باید دارای درپوش باشند.
- در جاهایی که نشت گاز قابل اشتعال وجود داشته باشد، به‌طوری که به‌واسطه جرقه‌های الکتریکی مشتعل شود، کلیدها، پریزها، تجهیزات روشنایی و سایر تجهیزات برقی باید ضد انفجار باشند.
- هسته کابل‌ها و رشته سیم‌ها برای اتصال نباید به‌هم پیچیده شوند و همچنین در محل اتصال آن‌ها نباید از نوار چسب استفاده کرد. اتصال سیم‌ها در صنعت باید به‌وسیله Cable Shoe هم‌سایز کابل، پیچ و مهره یا clamp های مخصوص صورت گیرد.
- سطح مقطع هسته کابل‌های برق باید متناسب با بار جریان عبوری از آن‌ها باشد تا در شرایط عملیاتی، مدار تجهیزات بیش از حد گرم نشود.
- سیستم ارت باید به بدنه فلزی تجهیز که امکان برق‌دار شدن آن وجود دارد، متصل شود.
- ماشین‌آلات تعمیرات مانند جرثقیل و ... که مجهز به بوم و بالابر می‌باشند، در هنگام کار در نزدیکی خطوط و تجهیزات برق‌دار باید با سیم ارت به زمین وصل شوند.
- قبل از انجام هرگونه فعالیت روی تجهیزات برقی، باید آن‌ها را از منبع انرژی الکتریکی جدا کرد. برخی از تجهیزات نیز مانند خازن‌ها و کابل‌های ولتاژ بالا، قادر به ذخیره بار الکتریکی می‌باشند که باید بارهای ذخیره شده پس از جدایی از منبع ذخیره، با رعایت موارد ایمنی تخلیه و به زمین متصل شوند.
- از آن‌جا که ولتاژ بالا می‌تواند از طریق قوس الکتریکی منجر به شوک و یا سوختگی

شود، در هنگام بی‌برق کردن و تخلیه بارهای ذخیره در آن‌ها باید فاصله ایمن را رعایت نمود.

- کلیه کابل‌های برق و تلکام زیرزمینی باید بیشتر از 50 سانتیمتر زیر زمین قرار داده شوند تا در مقابل آسیب‌های مکانیکی احتمالی، مصون بمانند.

### ۲-۲-۱- Preliminary Test:

این تست‌ها که به تست‌های سرد موسومند، معمولاً بعد از نصب و بازدید میدانی[۱] از تجهیز، صورت می‌گیرند و شامل تست‌های زیر می‌باشد:

**- تست پیوستگی کابل[۲]**

در این تست لازم است‌که از نصب صحیح و یک‌پارچه تمام سیم‌ها و اتصالات الکتریکی (شامل همه کابل‌های اصلی و کابل‌های ارت) اطمینان حاصل شود. همچنین بررسی شود که تمامی تجهیزات اصلی و جانبی به‌درستی به کنداکتورهای حفاظتی متصل شده‌اند. برای انجام این تست یک اهم‌متر DC که قادر به عبور جریان 0.2 Amp می‌باشد و با دقت دو رقم اعشار، لازم است.

در این مرحله لازم است از نصب صحیح برچسب و علامت‌گذاری کابل‌ها اطمینان حاصل گردد و با استانداردهای پروژه مطابقت داده شود؛ بنابراین درک صحیح از استانداردهای مختلف شناسایی کابل‌های Plant ضروری می‌باشد. همچنین مدیریت کابل‌های موقت برای تجهیزاتی که در مراحل پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی استفاده می‌شوند ضروری می‌باشد.

---

۱- Visual Inspection

۲- Loops and Circuits Continuity Tests

- **قطبیت**[1]

قطبیت به هادی‌های مثبت و منفی در یک مدار DC، یا به فاز و نول در یک مدار AC اشاره دارد. قطبیت ( مثبت و منفی)، جهت جریان در یک مدار الکتریکی می‌باشد. جهت جریان از قطب مثبت به قطب منفی می‌باشد و الکترون‌ها از قطب منفی به قطب مثبت منتقل می‌شوند. در یک مدار DC، تنها یک جهت جریان وجود دارد و یک قطب همیشه مثبت و دیگری همیشه منفی می‌باشد. اما در یک مدار AC، قطبیت قطب‌ها و پیرو آن جهت جریان به‌طور متناوب تغییر می‌کند.

با توجه به جریان متناوب در بستر یک منبع تغذیه AC، تست Polarity جهت اطمینان از اتصال صحیح مسیر خط فاز و نول می‌باشد.

به عبارت بهتر، هدف از انجام این تست، اطمینان از قطبیت در منبع تغذیه اصلی و اتصال درست و یک‌پارچه کابل‌ها به فیوزها، سوییچ‌ها، لامپ‌ها، سوکت‌ها و سایر لوازم جانبی می‌باشد. پیش از این تست باید تست Continuity انجام و تایید شده باشد.

این تست بر روی کلیه دستگاه‌های تک‌قطب (فیوزها، سوییچ‌ها و قطع‌کننده‌های مدار) و Welding Socket ها با استفاده از مولتی‌متر و در نهایت بر روی منبع تغذیه اصلی توسط Voltage Tester انجام می‌گیرد.

اگر قطبین به‌درستی تعیین نشوند، ممکن است خطر شوک الکتریکی در طی مراحل تعمیر و نگهداری وجود داشته باشد.

- **Insulation Resistance Measurements**

تست مقاومت عایقی یا میگر تست، برای اطمینان از عدم وجود اتصال کوتاه بین سیم‌ها یا بین سیم و زمین و همچنین از بین رفتن مقاومت عایق در اثر خرابی می‌باشد.

مطابق با قانون اهم، هرچه ولتاژ بیشتر باشد و یا مقاومت سیم در یک ولتاژ ثابت کمتر باشد، جریان بیشتر خواهد شد. $V = I.R$

[1]- Polarity

بدیهی است هیچ عایقی دارای مقاومت بی‌نهایت نمی‌باشد؛ بنابراین مقداری از جریان از طریق عایق انتقال می‌یابد و مقداری به زمین منتقل می‌شود. چنین جریانی بسیار کم و در حد یک میکروآمپر است. بنابراین با علم به این‌که ولتاژ بیشتر تمایل به گذراندن جریان بیشتر از طریق عایق را دارد، اساس تست عایق، میزان مقاومت عایق در ولتاژهای معین می‌باشد.

از مهم‌ترین عوامل خرابی عایق‌ها می‌توان به ارتعاش، گرما و سرمای زیاد، خاک، روغن، بخارات خورنده و رطوبت هوا همراه با تنش‌های الکتریکی اشاره کرد.

مقاومت عایق‌ها با افزایش دما و رطوبت، کاهش می‌یابد. بنابراین برای انجام تست باید یک دمای مبنا (معمولاً 40 °C) در نظر گرفته شود و برای هر 10 °C افزایش دما نسبت به دمای مبنا، اندازه مقاومت را نصف کرد.

مقاومت یک عایق را توسط Megger Insulation Tester و برحسب Ohm یا Megohm اندازه می‌گیرند. دستگاه میگر در واقع یک اهم‌متر می‌باشد که با تزریق ولتاژ و جریان کم DC و مطابق با قانون اهم، مقاومت عایق را محاسبه می‌کند. این دستگاه با اعمال ولتاژ بالا و افزایش سطح اختلاف‌پتانسیل بین نقاط، معیوب بودن عایق را شناسایی می‌کند. برای هر عایقی، یک ولتاژ به‌خصوص روی دستگاه تعیین می‌شود. البته هیچ استانداردی در این زمینه وجود ندارد؛ اما به تجربه ثابت شده است‌که به ازای هر 1000 ولت، 100 megohm مقاومت در دمای مبنا، مطلوب می‌باشد.

تست عایق باید به‌صورت دوره‌ای و منظم انجام شود و جزء فعالیت‌های تعمیرات پیشگیرانه گنجانده شود. داده‌های به‌دست آمده در هر دوره باید ثبت و میزان کاهش کیفیت عایق در طول زمان و عوامل موثر بر آن بررسی شود و تا جای ممکن رفع گردند.

در این تست از ولتاژ بالا استفاده می‌شود، زیرا این امر اغلب ضعف‌های عایق را که در ولتاژهای پایین مشخص نمی‌شود، نشان می‌دهد.

پیش از انجام این تست بر روی هر فاز، لازم است دو فاز دیگر را ارت کنیم و بعد از اتمام تست، فاز تست شده نیز برای تخلیه بار الکتریکی، ارت گردد.

- **Di-electric Strength Test**

کابل‌ها در صنایع مختلف نقش حیاتی برای انتقال برق از ژنراتور به شبکه توزیع برق را دارند. کابل‌ها با توجه به اندازه و طول، در ولتاژهای مختلفی به‌کار برده می‌شوند. به همین ترتیب، برای کابل‌ها عایق‌های متفاوتی نیز وجود دارد. عایق کابل‌های مورد استفاده در صنعت معمولاً از جنس‌های پلی وینیل کلراید[۱]، پلی‌اتیلن، پلی‌اتیلن متقاطع[۲] ، لاستیک اتیلن‌پروپیلن[۳] می‌باشند که هریک از آن‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی بوده که بر اساس نیاز و مورد استفاده کابل، انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال کابل‌های XPLE می‌توانند در شرایط نرمال تا 900 °C، در شرایط اضطراری تا 1300 °C و در شرایط اتصال کوتاه تا 2500 °C مقاومت کنند. با این وجود طول عمر و قدرت دی‌الکتریک عایق کابل‌ها ممکن است به علت تنش‌های الکتریکی و استرس‌های حرارتی کاهش یابد. بنابراین لازم است کابل‌ها، خصوصا کابل‌های فشار قوی برای افزایش طول عمر در شرایط مناسب قرار داده شوند و یا این‌که حداکثر سازگاری را با شرایط محیطی و عملیاتی داشته باشند. انجام تست‌های قبل از نصب برای تعیین کیفیت عایق کابل‌ها باعث بهبود عمل‌کرد، افزایش ایمنی، بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم و در نهایت مدیریت مناسب دارایی‌های فیزیکی می‌شود.

آزمون مقاومت ولتاژ دی‌الکتریک بخشی جدایی‌ناپذیر از ارزیابی ایمنی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی می‌باشد که توسط شرکت تولیدکننده کابل صورت می‌گیرد. البته از این تست، برای اطلاع از کیفیت و مناسب بودن عایق در شرایط محیطی و عملیاتی نیز استفاده می‌شود. برای انجام این تست می‌توان از هر دو منبع AC و DC استفاده کرد.

- اگر از منبع AC استفاده شود، ولتاژ اعمالی به استاتور برابر است با:

---

۱- PVC

۲- XPLE

۳- EPR

V = (2 x ولتاژ مجاز + 1 kV) x 0.8 for 1 minute

- اگر از منبع DC استفاده شود، ولتاژ اعمالی به استاتور برابر است با:

V = 1.7 x مقدار تست در حالت بالا for 1 minute

این تست بر اساس استاندارد IEC 60034-1 انجام می‌شود. برای انجام این آزمایش، عایق را در برابر یک ولتاژ بسیار بالا به مدت یک دقیقه قرار می‌دهند. اگر عایق ولتاژ را حفظ کند و مانع از عبور جریان شود، می‌توان نتیجه گرفت که عایق در ولتاژ مورد نظر مناسب است. اما اگر ولتاژ مورد نظر منجر به فروپاشی ناگهانی عایق شد، عایق مناسب نبوده و باعث ایجاد خطر برای بهره‌برداران خواهد شد. عایق‌ها بر خلاف هادی‌های جریان الکتریکی، دارای الکترون‌های آزاد نمی‌باشند. اما انرژی الکتریکی زیاد منجر به تحریک الکترون‌های عایق شده و نهایتاً منجر به افزایش رسانایی کابل می‌شود. این انتقال را اصطلاحاً شکست دی‌الکتریک[1] می‌گویند. در واقع شکست دی‌الکتریک تغییر ناگهانی مقاومت عایق تحت تست، به‌خاطر اعمال ولتاژ بالا می‌باشد و میدان الکتریکی لازم برای شکست دی‌الکتریک را Dielectric Strength یا Breakdown Strength می‌گویند.

### ۲ – ۲- ۲ -Earthing System :

سیستم اتصال به زمین، به منظور جلوگیری از تجمع ولتاژ در یک تجهیز یا یک سیستم الکتریکی، در صورت برق‌دار شدن اتفاقی آن‌ها می‌باشد. این سیستم معمولاً برای تمام نقاطی که مدار یا تجهیزات از منبع تغذیه خودشان ایزوله شده‌اند، به‌کار می‌رود. هدف از به‌کارگیری این سیستم حفظ سلامت و ایمنی افراد و حفظ سلامت تجهیزات می‌باشد. این کار با تشکیل یک مسیر جریان با حداکثر مقاومت 1 اهم از تجهیز به زمین انجام می‌شود.

[1]- Dielectric Breakdown

در هنگام انتقال مایعات از مخازن ذخیره به تانکرها، بدنه فلزی مخزن ذخیره باید به بدنه فلزی تانکر حمل کننده وصل شود؛ و در صورتی‌که چرخ‌های تانکر لاستیکی باشد، بدنه تانکر نیز باید به زمین متصل گردد. برای این سیستم بررسی اتصال در هر دو سر تجهیز و زمین و استفاده از Clamp جهت اتصال، باید بررسی گردد.

در مرحله پیش راه‌اندازی تست‌های زیر در مورد سیستم‌های ارت صورت می‌پذیرند:

- تست Continuity
- Insulation Resistance Test که مقدار آن نباید از 0.1 ohm بیشتر باشد.
- اندازه‌گیری مقاومت الکترود کاشته شده در زمین به‌وسیله Earth Tester؛ مقدار این مقاومت در نقشه مربوطه ذکر شده است.

**۲ – ۲- ۳- Electrical Device Test:**

این تست برای تعیین صحت و سلامت دستگاه‌های الکتریکی انجام می‌گیرد و در دو مرحله، یکی توسط شرکت سازنده در کارخانه و دیگری بعد از نصب در محل مورد نظر انجام می‌شود. این تست باید بر روی همه تجهیزات الکتریکی و رله‌ها انجام پذیرد.

**۲ – ۲- ۳- ۱- رله‌های حفاظتی:**

رله وسیله‌ای است‌که سبب باز و یا بسته شدن بریکر می‌شود تا عمل‌کرد وسایل و تجهیزات برقی قابل نظارت و کنترل باشند. رله‌ها به‌طور کلی به دو دسته رله‌های اولیه و رله‌های ثانویه تقسیم می‌شوند. رله‌های اولیه به‌طور مستقیم به شبکه‌های برق قدرت وصل می‌شوند و از سیستم محافظت می‌کنند. از این دست می‌توان به رله‌های overcurrent در بریکرهای Low Voltage اشاره کرد. در مقابل رله‌های ثانویه به‌دلیل خطرات مرتبط با اتصال مستقیم به شبکه‌های قدرت، رله‌هایی می‌باشند که جریان و یا ولتاژ خود را از ترانس‌های CT و VT دریافت می‌کنند. در زیر برخی از مهم‌ترین رله‌ها توضیح داده شده است:

۱- Overcurrent Relay: این رله‌ها برای محافظت تجهیزات از بالا رفتن غیر طبیعی جریان (اغلب به‌خاطر اتصال کوتاه) می‌باشد. این رله‌ها می‌توانند با تاخیر زمانی (مطابق ANSI 51) و یا آنی (مطابق ANSI 50) باشند. برای رفع ابهام، یادآوری این نکته لازم است‌که رله‌های Overload نوعی از رله های Overcurrent می‌باشند که بار الکتریکی جریان را پایش می‌کنند؛ به‌طوری که افزایش جریان باعث بیش از حد گرم شدن تجهیز نشود. تنظیم Overload معمولا 110% جریان نامی می‌باشد اما برای تنظیم رله‌های overcurrent، برای موتورهای الکتریکی معمولا 140%-120% جریانی که برای استارت اولیه موتور لازم است را در نظر می‌گیرند، برای ترانس‌ها 140%-120% جریان Inrush و برای سیستم‌های روشنایی 140%-120% حداکثر جریان را در نظر می‌گیرند.

۲- Voltage Relay: این رله‌ها به دو دسته رله‌های Under Voltage (80% ولتاژ نامی) که برای جلوگیری از آسیب تجهیزات به‌واسطه کاهش ولتاژ می‌باشد و رله‌های Overvoltage (110% ولتاژ نامی) که برای حفاظت شبکه در مقابل اضافه ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرند، تقسیم می‌شوند. از دلایل overvoltage می‌توان به قطع ناگهانی بار، صاعقه و ولتاژهای نامتعادل تولید شده توسط ژنراتور اشاره کرد.

۳- Frequency Relay: تغییرات فرکانس در شبکه‌های قدرت موجب خرابی تجهیزات (تغییر دور موتورهای الکتریکی) و ناپایداری سیستم توزیع برق (در ژنراتورها) می‌شود. این رله‌ها به‌صورت موازی در شبکه قرار می‌گیرند و ورودی آن‌ها ولتاژ می‌باشد. این رله‌ها نیز به دو دسته Under Frequency و Over Frequency تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین دلیل تغییرات فرکانس، عدم تعادل بین تولید و مصرف برق می‌باشد.

۴- Reverse Power Relay: این رله‌ها جزو رله‌های جهت دار می‌باشند و اصولا برای محافظت از ژنراتورها به‌کار می‌روند. در ژنراتورها همان‌طور که در بخش مربوطه توضیح داده شده است، انرژی مکانیکی توربین با به حرکت در آوردن rotor ژنراتور، تولید برق کرده و به شبکه منتقل می‌کند. اگر به هر دلیلی توربین این انرژی مکانیکی را به ژنراتور منتقل نکند، ترمینال‌های سه فاز ژنراتور که به شبکه متصل می‌باشند، انرژی برق را از

شبکه گرفته و آن را به شکل انرژی مکانیکی به توربین منتقل می‌کنند. به عبارت دیگر ژنراتور مانند موتور الکتریکی کار می‌کند و در نهایت موجب خرابی تیغه‌های توربین می‌شود.

۵- Start Inhibit Relay: موتورهای الکتریکی در هنگام استارت اولیه معمولا 5 برابر جریان نامی خود از شبکه جریان می‌کشند؛ از این‌رو اگر تعداد استارت‌ها زیاد و در فواصل زمانی کوتاه باشد، سیم پیچ موتورها داغ شده و باعث از بین رفتن عایق سیم پیچ و خود سیم پیچ می‌شود. از این‌رو این رله‌ها اجازه استارت‌های مکرر در بازه زمانی مشخص را نمی‌دهند.

در ادامه خلاصه‌ای از فعالیت‌های پیش راه‌اندازی برخی از مهم‌ترین دستگاه‌های برقی، به‌طوری که مناسب توسعه دیدگاه یک مهندس فرآیند باشد، توضیح داده شده است.

### ۲-۲-۳-۲- Transformer

یکی از کاربردهای مهم ترانسفورماتورها کاهش جریان پیش از خطوط انتقال انرژی الکتریکی است. دلیل استفاده از ترانسفورماتور در ابتدای خطوط این است‌که همه هادی-های الکتریکی دارای میزان مشخصی مقاومت الکتریکی هستند. این مقاومت می‌تواند موجب اتلاف انرژی در طول مسیر انتقال انرژی الکتریکی شود. میزان تلفات در یک هادی با مجذور جریان عبوری از هادی رابطه‌ی مستقیم دارد و بنابراین با کاهش جریان می‌توان تلفات را به شدت کاهش داد. با افزایش ولتاژ در خطوط انتقال به همان نسبت جریان خطوط کاهش می‌یابد و به این ترتیب هزینه انتقال انرژی نیز کاهش می‌یابد. البته با نزدیک شدن خطوط انتقال به مراکز مصرف برای بالا بردن ایمنی، ولتاژ خطوط در چند مرحله و باز به‌وسیله ترانسفورماتور کاهش می‌یابد تا به میزان استاندارد مصرف برسد. به‌طور خلاصه، کار ترانسفورماتور، تغییر ولتاژ از یک سطح به سطحی دیگر، بدون تغییر فرکانس می‌باشد.

- انواع ترانسفورماتور:

۱- ترانس قدرت (افزاینده و کاهنده)

۲- ترانس‌های اندازه‌گیری (ترانس جریان یا CT، ترانس ولتاژ یا PT و ترانس ولتاژ خازنی CVT)

۳- اتوترانس

۴- ترانس‌های کمکی

- ترانس جریان[۱] : به‌دلیل خطرات موجود برای اندازه‌گیری مستقیم جریان از شبکه‌های قدرت، از این نوع ترانس‌ها برای اندازه‌گیری جریان در تجهیزات اندازه‌گیری و تجهیزات حفاظتی استفاده می‌شود. این ترانس‌ها فقط به‌صورت کاهنده و تک فاز می‌باشند.
- ترانس ولتاژ [۲]: انواع این ترانس‌ها، ترانس‌های ولتاژ القایی (PT-VT) برای شبکه‌های فشار متوسط و ترانس ولتاژ خازنی[۳] می‌باشد و کاربرد آن‌ها برای اندازه‌گیری ولتاژ ولت‌مترها و رله‌ها و برای سنکرون کردن می‌باشد.

- در زمان پیش راه‌اندازی ترانسفورماتورهای قدرت لازم است موارد زیر مورد بازرسی قرار گیرند:
  - اطمینان از بی‌برق بودن و ایمنی ترانسفورماتور
  - تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet و نقشه‌های اجرا شده با مشخصات پروژه و اطمینان از عدم مغایرت آن‌ها با تابلو مشخصات ترانس
  - بررسی سطح روغن درون ترانسفورماتور و عدم نشتی روغن

---

۱- CT

۲- PT

۳- CVT

- بررسی فشار نیتروژن در صورت استفاده از گاز نیتروژن در مخزن روغن
- اطمینان از دسترسی مناسب به ترانسفورماتور، مطابق با استاندارد و قرارگیری برچسب‌های خطر در محل مناسب و قابل رؤیت
- تمیز، بدون صدمه و دارای نشانه‌گذاری بودن ترمینال‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و اطمینان از نصب درست و مطابق با نقشه در صورت مجهز بودن به کاور
- پیش راه‌اندازی تجهیزات جانبی شامل فن‌ها، پمپ‌های روغن و شیر اطمینان فشار و بررسی صحت عمل‌کرد این تجهیزات
- اطمینان از قرارگیری کلید تپ چنجر[1] در وضعیت صحیح، محکم و قفل شده (هدف از تپ چنجر، تنظیم ولتاژ خروجی ترانسفورماتور، با استفاده از تغییر تعداد چرخش در یک سیم پیچ و متعاقب با آن تغییر نسبت چرخش ترانسفورماتور می‌باشد)
- بررسی ساپورت کابل‌ها و نشانه‌گذاری آن‌ها و عدم مغایرت اتصال کابل‌های کنترلی و Power، با نقشه‌ی اجرا شده
- اطمینان از صحت کابل‌کشی در تپ چنجرهای On Load در جعبه ترمینال مربوطه و اجرای سیستم Earthing و Bonding طبق نقشه و به‌صورت پیوسته
- تهیه گزارشی از لیست کارهای اجرا نشده در زمان پیش راه‌اندازی

### ۲ – ۲- ۳- ۳ Generators

ژنراتور دستگاهی است‌که به‌واسطه‌ی آن، طی یک‌سری فرآیندهای فیزیکی، مکانیکی و القای الکترومغناطیسی، با استفاده از انرژی مکانیکی برق تولید می‌شود. ژنراتورها بر اساس

[1]-Tap Changer

سوخت‌های مصرفی به انواع دیزلی، بنزینی، گازسوز، دوگانه‌سوز، مازوت‌سوز و ... تقسیم بندی می‌شوند که رایج‌ترین نوع آن در پالایشگاه‌ها دیزل ژنراتورها می‌باشند.
ژنراتورها ماشین‌های سنکرون سه فاز دو محرکه محسوب می‌شوند؛ چرا که سیم‌پیچ روتور توسط منبع DC تغذیه می‌شود و از استاتور آن جریان AC می‌گذرد؛ بنابراین با تغییر جریان مدار روتور (جریان DC)، توان ژنراتور را می‌توان کنترل نمود.
دیزل ژنراتور شامل یک ژنراتور (آلترناتور) و یک موتور دیزلی می‌باشد. موتور دیزل، محرک و به گردش درآورنده ژنراتور بوده و این دوران در روتور آلترناتور باعث قطع میدان مغناطیسی اطراف هسته روتور، توسط سیم پیچ استاتور می‌شود و جریان برق در استاتور ژنراتور ایجاد می‌گردد. در ژنراتور دیزلی از سوخت گازوئیل (دیزل) برای کارکرد موتور استفاده می‌شود. با توجه به سهولت نگهداری سوخت در مخزن کنار مولد برق، دیزل ژنراتور مناسب‌ترین وسیله جهت تامین برق اضطراری می‌باشد. از دیزل ژنراتور با توان های بالا در نیروگاه‌های برق دیزلی استفاده می‌گردد. با استفاده از تابلو برق سنکرون می‌توان چند دستگاه مولد برق را باهم سنکرون یا پارالل نموده و از توان مجموع ژنراتورهای دیزلی بهره‌مند شد.

در زمان پیش‌راه‌اندازی ژنراتورتورها لازم است موارد زیر مورد بازرسی قرار گیرند:

- اطمینان از بی‌برق بودن ژنراتور
- انجام عملیات Drying-Out سیم پیچ‌های موتوردر صورت لزوم (لزوم این امر معمولا توسط اندازه‌گیری Insulation Resistance سیم پیچ‌ها صورت می‌گیرد و بسته به میزان رطوبت سیم پیچ، روش‌های مختلفی برای Drying-Out وجود دارد).
- تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet و نقشه‌های اجرا شده با مشخصات پروژه و اطمینان از عدم مغایرت آن‌ها با تابلو مشخصات

- بررسی وضعیت نگهداری دیزل ژنراتور و روتور در حالت بی‌بار و همچنین تطابق وضعیت مکانیکی و نصب دیزل ژنراتور و موتور با مدارک Mechanical Arrangement و Hazardous Area Installation
- اطمینان از نصب صحیح و مطابق با نقشه در سیستم خنک‌کاری ژنراتور، گلند کابل‌ها و جعبه ترمینال و تجهیزات جانبی
- پیش راه‌اندازی تجهیزات جانبی شامل رادیاتورها، فن‌های خنک‌کننده، سیستم ارتعاش، سنسورهای دما، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و اطمینان از صحت کارکرد این تجهیزات
- اجرای سیستم Earthing طبق نقشه و به‌صورت پیوسته
- اطمینان از رعایت توالی فازها و آماده بودن هیترهای ضد رطوبت برای برق‌دار شدن
- انجام تست High Voltage (به بخش موتورهای الکتریکی مراجعه شود)
- تهیه گزارشی از لیست کارهای اجرا نشده در زمان پیش‌راه‌اندازی

### ۲-۲-۳-۴- UPS System and Battery

تمام تجهیزات الکتریکی برای عمل‌کرد صحیح خود نیاز به تغذیه شدن از طریق برق شبکه یا باتری‌های داخلی و یا یک منبع تغذیه الکتریکی محلی دارند. هرچه تجهیزات و یا دستگاه‌های مورد استفاده برای مصرف‌کنندگان اهمیت بیشتری داشته باشد، (این ارزش می‌تواند حیاتی، اقتصادی و امنیتی باشد) تامین تغذیه آن‌ها و اطمینان از تداوم و کیفیت تغذیه، از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

با توجه به این‌که یک ژنراتور یا نیروگاه محلی به جای شبکه اصلی، بلافاصله پس از قطعی در سرویس قرار نمی‌گیرد، و همچنین با در نظر گرفتن این نکته که قطعی شبکه یا نوسان و تغییرات نامطلوب در شبکه تغذیه بارهای حساس می‌تواند باعث خسارات جبران‌ناپذیری

شود، لذا در این نوع بارها از یک واسطه که از آن به عنوان منبع تغذیه بدون وقفه یاد می‌شود استفاده می‌کنند. این منبع باید قابلیت تبدیل پارامترهای شبکه را به پارامترهای مطلوب مصرف کننده داشته باشد و در زمان قطع شبکه تا جایگزینی شبکه‌ی جدید یا برگشت شبکه اولیه، از طریق باتری‌ها تغذیه مورد نیاز مصرف‌کننده را بدون وقفه تامین نماید و در زمان حضور شبکه نیز بتواند علاوه بر تغذیه مصرف کننده، باتری‌های مجموعه را شارژ نماید. انواع UPS ها شامل UPSAC (برای تغذیه مصرف کننده‌های با ولتاژ AC) و DCP (برای تغذیه مصرف کننده‌های با ولتاژ DC) می‌باشد. در دسته‌بندی دیگر از لحاظ نحوه عمل‌کرد، UPS ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- Off Load: این منبع تغذیه در زمان قطع منبع تغذیه اصلی، بدون وقفه زمانی، برق مورد نیاز سیستم را تامین می‌کند.
- On Load: این منبع تغذیه بدون وقفه علاوه بر تامین ولتاژ سیستم در زمان بی‌برقی، ولتاژ باتری‌ها را هم برای استفاده در زمان بی‌برقی، تامین می‌کند.

در زمان پیش راه‌اندازی UPS ها لازم است موارد زیر مورد بازرسی قرار گیرند:

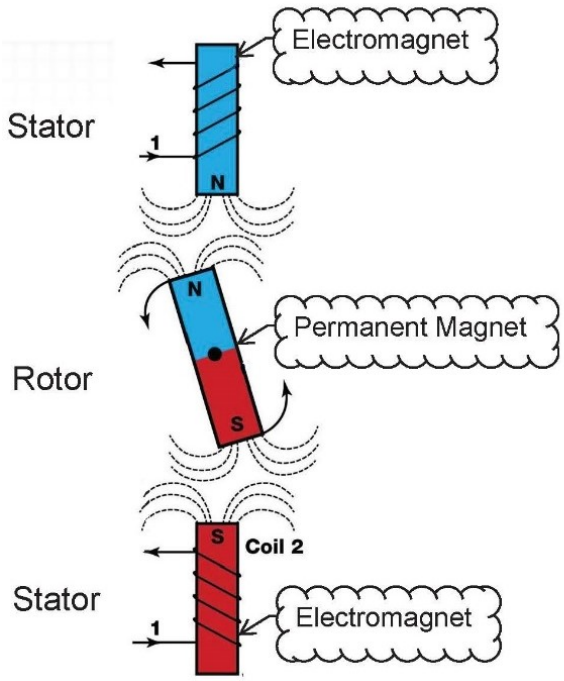
- اطمینان از بی‌برق بودن و عدم وجود آلودگی در سیستم UPS
- تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet و نقشه‌های اجرا شده با مشخصات پروژه و نقشه‌های Lay out و اطمینان از عدم مغایرت آن‌ها با تابلو مشخصات
- تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet با Project Specification در باتری‌ها و اطمینان از شماره‌گذاری صحیح سلول‌های باتری‌ها
- اطمینان از نصب صحیح و مطابق با نقشه در UPS و لوازم جانبی شامل نمایشگرها، نشانگرها، لامپ‌ها، دستگاه‌های اندازه‌گیری، باتری‌ها و اتصالات کابل

آن‌ها، اتصالات بین سلول‌های باتری و کلاهک‌های عایق برای کلیه اتصالات
- بازرسی گریس و سفتی تمام مهره‌ها و اتصالات
- اطمینان از میزان الکترولیت درون باتری با توجه به مرزهای حداقل و حداکثر محفظه الکترولیت
- بازرسی سیستم تهویه اتاق باتری‌ها
- اجرای سیستم Earthing و Bonding طبق نقشه و به‌صورت پیوسته
- تهیه گزارشی از لیست کارهای اجرا نشده در زمان پیش راه‌اندازی

**۲ – ۲- ۳- ۵- موتورهای القایی سه فاز (موتورهای AC)**

به همان اندازه که پمپ‌ها و کمپرسورها در صنعت حائز اهمیت می‌باشند، موتورهای الکتریکی که عمدتا به‌عنوان درایور این تجهیزات به‌کار برده می‌شوند، اهمیت دارند و لازم است نسبت به بهره‌برداری مناسب و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان آن‌ها، توجه ویژه‌ای شود.

موتور الکتریکی وسیله‌ای است‌که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. این انرژی مکانیکی خروجی از موتور با Watt (در موتورهای قدیمی معمولاً با Hp (Horse Power)) اندازه‌گیری می‌شود. (1 Hp = 746 W). موتورهای القایی سه فاز، پرکاربردترین موتورها در صنعت می‌باشند. طراحی ساده و مستحکم، قیمت ارزان، هزینه نگهداری پایین و اتصال آسان به منبع سه فاز از امتیازات اصلی این موتورها می‌باشد. این نوع موتورها در قدرت‌های متنوع (کسری از کیلو وات تا چند ده مگا وات) ساخته و بهره-برداری می‌شوند. اساس ساخت و نیروی محرکه این نوع موتورها، خاصیت جذب و دفع قطب‌های غیرهمنام و همنام آهنربا می‌باشد.




شکل ۲-۱نیروی محرکه موتورهای AC

تعریف:

Speed: تعداد دور در دقیقه (rpm) موتور که معمولاً با "N" نشان داده می‌شود. در برخی از مدارک تعداد دور در ثانیه با "n" و رادیان بر ثانیه با "w" نمایش داده می‌شود.

$$n = \frac{N}{60}$$

$$w = \frac{2\pi N}{60}$$

Torque: به نیروی چرخشی که موتور ایجاد می‌کند گفته می‌شود و از 0% تا 100% سرعت عملیاتی دائر می‌باشد. در سیستم SI با نیوتن متر (Nm) اندازه گرفته می‌شود. این نیروی چرخشی با Horsepower متفاوت می‌باشد و همان‌طور که می‌دانید، Horsepower در 0% سرعت عملیاتی، صفر می‌باشد.

سرعت گردش میدان مغناطیسی در استاتور مطابق با معادله زیر با تعداد قطب‌ها (که همواره زوج می‌باشد) رابطه عکس دارد.

$$RPM = 120 \times \frac{Frequence}{Number\ of\ Poles}$$

120 در واقع زاویه بین فازها از هم می‌باشد.
از طرفی رابطه بین توان، گشتاور و سرعت عبارت است از:

$$P = (2 \times \pi \times T \times N)/60$$

برای پیش راه‌اندازی این نوع موتورها تست مقاومت عایقی مطابق با آن‌چه قبلاً توضیح داده شد، بر روی کابل ارت، کانتکتورهای Cubicle یا Switch box ها و لوازم جانبی موتور شامل خازن‌ها، جرقه‌گیرها و ترانسفورماتورهای جریان انجام می‌شود. قبل از انجام تست لازم است کلیه‌ی کابل‌های متصل به موتور از آن جدا شوند.

در زمان پیش‌راه‌اندازی موتورها لازم است موارد زیر مورد بازرسی قرار گیرند:

- اطمینان از بی‌برق بودن و ایمنی و عدم وجود آلودگی و رطوبت در جعبه ترمینال‌ها و بوشینگ‌ها
- تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet و نقشه‌های اجرا شده با مشخصات پروژه و اطمینان از عدم مغایرت آن‌ها با تابلو مشخصات
- بررسی وضعیت نگهداری موتور، شماره‌گذاری، کیفیت و سلامت رنگ آن و همچنین تطابق وضعیت مکانیکی و نصب آن با مدارک کارخانه سازنده و Hazardous Area Installation
- اطمینان از نصب صحیح و مطابق با نقشه در سیستم خنک‌کاری موتور، گلند

کابل‌ها و جعبه‌ترمینال و تجهیزات جانبی شامل سیستم ارتعاش، سنسورهای دما و ترانسفورماتورهای جریان

- اطمینان از رعایت توالی فازها و آماده بودن هیترها برای برق‌دار شدن
- اجرای سیستم Earthing طبق نقشه و به‌صورت پیوسته و بررسی کلیه اتصالات مربوط به این سیستم قبل از برق‌دار نمودن موتور
- بررسی وضعیت روتور در حالت بی‌بار و بررسی جهت چرخش روتور
- بررسی سیستم روغنکاری از لحاظ فشار روغن، Insulating Flange ها، اتصالات و ... و اطمینان از نفوذ کامل روغن به بیرینگ‌ها
- کاهش زمان تأخیر مربوط به Overload قبل از استارت اولیه موتور.
- انجام تست‌های مربوط به رله‌های حفاظتی موتور جهت اطمینان از صحت عمل‌کرد آن‌ها
- تهیه گزارشی از لیست کارهای اجرا نشده در زمان پیش‌راه‌اندازی
- تنظیم رله‌های حفاظتی مطابق با توان موتور

تست‌هایی که لازم است در مرحله پیش راه‌اندازی بر روی رله‌های حفاظتی و موتور انجام شوند، به قرار زیر است:

- Overload Protection: در این حالت طی دو مرحله مقدار جریان‌های متفاوتی به موتور اعمال می‌شود و زمانی که رله مربوطه باعث تریپ موتور می‌شود، ثبت و با منحنی شرکت سازنده مقایسه می‌شود.
- Under voltage Protection: در این حالت ابتدا حداقل ولتاژ عملیاتی موتور بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده تعیین و روی رله مربوطه تنظیم می‌شود. سپس با کاهش ولتاژ تا میزانی که منجر به تریپ موتور شود و مقایسه این ولتاژ با ولتاژ اولیه تنظیم شده، عمل‌کرد رله ارزیابی می‌شود.

- Differential Protection: قطبیت ترانسفورماتورهای جریان (CT) های داخل فیدر، باید با CT های داخل موتور براساس نقشه‌های مربوطه مطابقت داشته باشند. برای مقایسه‌ی مقادیر جریان در هر دو طرف سیم‌پیچ موتور و اطمینان از عمل‌کرد مناسب رله، با در نظر گرفتن Earth/Phase to Phase، باید تمامی CT ها یک به یک اتصال کوتاه گردند تا رله مربوط به آن فاز منجر به تریپ موتور گردد.
- Stall Protection: زمان عمل‌کرد تریپ رله‌ها و اندازه جریان برای تریپ باید با منحنی رله‌های Stall ارائه شده توسط شرکت سازنده موتور و زمان واقعی تریپ موتور یکی باشد.
- تست Stability: این کار با استارت کردن متوالی موتور به‌صورت دستی (به‌طوری که رله‌ها عمل نکنند) انجام می‌شود. بدین ترتیب تعداد استارت‌های موتور در مدت یک ساعت با پیشنهاد شرکت سازنده بر مبنای تأخیر زمانی بعد از خاموش نمودن موتور مطابقت داده می‌شود.
- Insulation Resistance Test: اگر موتور در محلی با رطوبت بالا قرار دارد، این تست باید به‌صورت دوره‌ای انجام شود. عملا تعریف حداقل مقدار مقاومت عایقی امکان پذیر نمی‌باشد، چون مقدار مقاومت به روش ساخت، مواد عایق، اندازه ولتاژ، سایز و نوع عایق بستگی دارد. اما به‌طور معمول جدول ۲-۲ می‌تواند به عنوان مبنایی برای ارزیابی عایق سیم پیچ در نظر گرفته شود.

جدول ۲-۲ Insulation Resistance Value

| Insulation Resistance Value | Insulation Level |
|---|---|
| 2 Megohm or less | Bad |
| 2-5 Megohm | Critical |
| 5-10 Megohm | Abnormal |
| 10-50 Megohm | Good |
| 50-100 Megohm | Very Good |
| 100 Megohm or more | Excellent |

به‌طور کل، برای محاسبه میزان مقاومت مورد قبول مقاومت عایق الکتروموتورها از رابطه زیر نیز استفاده می‌شود:

$$R = 20 \times \mathrm{Vn} / (1000 + 2P)$$

$V_n$ : ولتاژ نامی الکتروموتور بر حسب ولت

P : توان الکتروموتور بر حسب kW

- Di-Electric Test: این تست برای الکتروموتورهای با توان کمتر از 110 kW انجام می‌شود. برای این کار، تست مقاومت عایقی را در مدت‌های 30 ثانیه و 60 ثانیه توسط دستگاه میگر اندازه گرفته و بر هم تقسیم می‌نماییم. نتیجه نباید از مقدار عددی 1.25 بیشتر باشد.
- Polarization Index Test: این تست برای الکتروموتورهای با توان بیشتر از 110 kW با اندازه‌گیری مقاومت عایق در مدت‌های 1 دقیقه و 10 دقیقه توسط دستگاه میگر اندازه گرفته و بر هم تقسیم می‌نماییم. نتیجه در این حالت باید از مقدار عددی 2 بیشتر باشد.

- High Pot Test: این تست برای الکتروموتورها با ولتاژ بالاتر از 3000 V جهت اطمینان از وضعیت عایق سیم‌پیچ‌ها صورت می‌گیرد. به این صورت که ولتاژ مشخصی (حداقل برابر با ولتاژ نامی دستگاه به‌علاوه 1000 ولت) به مدت 1 دقیقه می‌باشد. سپس میزان نشتی جریان به زمین را از روی دستگاه می‌خوانند که نباید بیشتر از 1 میلی آمپر باشد.

**Switch Gear -۶ – ۳ -۲- ۲**

به مجموعه‌ای از تجهیزات که عمل ارتباط فیدرهای مختلف را به باسبار و یا قسمت‌های مختلف باسبار را به یکدیگر و در یک سطح ولتاژ معین انجام می‌دهند، سوئیچگیر می‌گویند.

سوئیچگیرها معمولاً از اجزاء زیر تشکیل می‌شوند:

۱- باسبار، مقره، بدنه فلزی، لوله و اتصالات

۲-کلید قدرت (دژنکتور) Circuit Breaker

۳- سکسیونر (جداکننده) Disconnected Switch

۴- ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان CT، PT

۵- برق‌گیر Surge Arrester ; Lightning Arrester

معمولاً سوئیچگیرها از قسمت‌های مشابه متصل به هم تشکیل می‌شوند که به هر قسمت یک سلول یا یک فیدر می‌گویند و هر فیدر دارای مدار کنترلی، بریکر قدرت، سکسیونر ارت، ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری و ... می‌باشد.

سوئیچگیرها معمولاً به‌صورت محفظه تمام بسته هستند که تجهیزات در آن نصب می‌شوند و برای افزایش ایمنی و کاهش خطر آتش‌سوزی هر قسمت فیدر از قبیل مدار کنترل، بریکر قدرت، باسبار، کابل‌ها یا شین‌های ورودی و خروجی در محفظه‌ای جداگانه قرار می‌گیرند که به این نوع سویچگیرها Compartment Type گفته می‌شود. همچنین

برای سرویس راحت‌تر و ایمنی بالاتر این نوع سوئیچگیرها، فیدرها را به‌صورت کشویی مورد استفاده قرار می‌دهند.

سوئیچگیرها را می‌توان بر اساس محل نصب به دو گروه زیر دسته‌بندی کرد:

۱- سوئیچگیرهای داخلی[۱]

این سوئیچگیرها در فضای بسته و محصور مانند ساختمان پست‌های برق نصب می‌شوند.

۲- سوئیچگیرهای خارجی[۲]

این سوئیچگیرها در فضای باز نصب می شوند و به محیط قرارگیری آن‌ها Switchyard گفته می‌شود.

در زمان پیش راه‌اندازی سوئیچگیر لازم است موارد زیر مورد بازرسی قرار گیرند:

- اطمینان از بی‌برق بودن و ایمنی سوئیچگیر
- تطابق مدارک کارخانه سازنده شامل Datasheet و نقشه‌های اجرا شده با مشخصات پروژه و اطمینان از عدم مغایرت آن‌ها با تابلو مشخصات
- بررسی وضعیت نگهداری سوئیچگیر، کیفیت، سلامت و صحت شماره‌گذاری رله‌های حفاظتی و تجهیزات کلیه‌ی سلول‌ها و همچنین بررسی ثابت و هم تراز بودن سلول ها نسبت به هم و نسبت به زمین
- اطمینان از صحت عمل‌کرد مکانیکی بریکرهای قدرت و شاترها (بررسی امکان قفل شدن) و اینترلاک مکانیکی سلول‌ها
- اطمینان از نصب صحیح و مطابق با نقشه در CT ها و VT ها و اتصالات آن‌ها، فیوزها، کلیدها و کانتکتورها، وایرینگ ارتباطی بین فیدرها و اتصالات کابل‌های قدرت

---

۱- Indoor

۲- Outdoor

- اطمینان از آماده بودن هیترها برای برق‌دار شدن
- اجرای سیستم Earthing و Bonding طبق نقشه و به‌صورت پیوسته
- اطمینان از عدم وجود آلودگی در باسبارها و ساپورت‌ها و همچنین بررسی میزان سفتی پیچ و مهره‌های اتصالات آن‌ها
- بررسی استحکام لازم در Gland Plate ها و ترمینال‌ها متناسب با کابل‌های ورودی
- بررسی محفظه روغن اطفاء حریق Cubicle و اطمینان از تمیزی و پر بودن آن
- تهیه گزارشی از لیست کارهای اجرا نشده در زمان پیش راه‌اندازی

## ۲ – ۳- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه ابزاردقیق

بررسی تجهیزات ابزاردقیق از لحاظ اطلاعات طراحی فرآیند جهت اعمال Set Point ها، بررسی صحت نصب، کالیبراسیون منظم و بهره‌برداری درست از ابزاردقیق در صنایع مختلف، حائز اهمیت می‌باشد. در بسیاری از فعالیت‌های پیش راه‌اندازی و برخی از فعالیت‌های راه‌اندازی، انسجام و برنامه‌ریزی کاری به جهت عدم تداخل کار گروه‌های مختلف و مرتبط، و جلوگیری از دوباره کاری، قابل توجه می‌باشد. در این بین به جهت ممانعت از آسیب تجهیزات، خصوصا تجهیزات ابزاردقیق در طی فعالیت‌هایی مانند اسید شویی و هیدروتست، لازم است برخی از تجهیزات از سیستم ایزوله و یا باز شوند. به عنوان مثال کلیه تجهیزات ابزاردقیق In-line قبل از انجام هیدروتست و فلاشینگ، درصورت نصب باید از محل خود باز شوند. ولوهای کنترلی معمولاً در زمان هیدروتست که فعالیتی در فاز ساخت می‌باشد، نصب نشده‌اند و در زمان فلاشینگ نیز جهت حفاظت از Cage، Seating و Trim آن‌ها، بهتر است از نصبشان خودداری شود. اما با این وجود در مرحله هیدروتست و فلاشینگ، ولوهای کنترلی بسته به نظر کارشناسان می‌توانند نصب باشند. بعد از انجام تست‌های فشار و تمیزکاری، کلیه ادوات ابزاردقیق باید به‌درستی در محل خود نصب شوند.

در مرحله پیش راه‌اندازی لازم است از نصب صحیح برچسب و علامت‌گذاری کابل‌های

ابزاردقیق اطمینان حاصل گردد و با استانداردهای پروژه مطابقت داده شود؛ بنابراین درک صحیح از استانداردهای مختلف شناسایی کابل‌های Plant ضروری می‌باشد.
در ادامه عمده‌ترین فعالیت‌های پیش راه‌اندازی مربوط به تجهیزات ابزاردقیق، به‌طوری که مناسب توسعه دیدگاه یک مهندس فرآیند باشد، توضیح داده شده است:

### ۲ – ۳- ۱- Air Pipe and Tubing Pressure Test:

Trim Line ها یا تیوب‌های نیوماتیک و هیدرولیک تجهیزات مکانیکی که به ادوات ابزاردقیق متصل می‌باشند، در طول دوره Leak Test تجهیزات مکانیکی (که در بخش راه‌اندازی توضیح داده شده است) از لحاظ نشتی تست می‌شوند. اما در این قسمت با توجه به حساسیت تجهیزات ابزاردقیق، در زمان نصب تیوب‌ها، ابتدا آن‌ها را توسط هوای پرفشار تمیز می‌کنند و بعد از اطمینان از تمیزی و پس از نصب، نسبت به عدم نشتی تیوب‌ها و اتصالات مربوط به آن در فشار barg 7 اطمینان حاصل می‌شود. این عملیات باید مطابق با آن‌چه در عملیات Leak Test گروه Piping عنوان می‌شود صورت پذیرد و پس از آن تجهیزات ابزاردقیق کالیبره شده و در محل خود نصب شوند. همچنین در این مرحله Impulse Line ها باید از لحاظ صحت نصب و ساپورت مورد بررسی قرار گیرند.

### ۲ – ۳- ۲- Calibration:

کالیبره کردن تجهیزات ابزاردقیق باید قبل از نصب و یا در حین Loop Check انجام گردد. برای این منظور اصولاً از دستورالعمل شرکت سازنده پیروی می‌شود. با این‌حال تمام تجهیزات ابزاردقیق پیش از تست باید ساعاتی در دمای °C 30-40 تا تثبیت کامل نگهداری شوند.
معمولاً گیج‌های استاندارد باید هر دو سال یک‌بار کالیبره شوند و گیج‌هایی که به منظور تست استفاده می‌شوند، بعد از هر ۲۰ تست یا هریک سال باید کالیبره گردند.
باید توجه داشت که آشکارسازهای F&G نیازی به کالیبراسیون در سایت ندارند و فقط در بخش راه‌اندازی مورد تست عمل‌کردی قرار می‌گیرند. در ولوها، پیش از کالیبره کردن

ابتدا باید نقاط تنظیم آن‌ها را از روی Datasheet مربوطه استخراج نمود و مبنای کالیبراسیون را بر اساس آن قرار داد.

در مورد ولوها، مهم‌ترین نکات بررسی سهولت دسترسی برای بهره‌برداری و انجام کارهای تعمیراتی، بررسی زمان Stroke ولو مطابق با مطالعات Hazard، بررسی میدانی اتصال درست هوای ابزاردقیق مطابق با عمل‌کرد Fail to Close یا Fail to Open ولو، بررسی، تنظیم و تست Limit Stop و Limit Switch های نصب شده روی ولو و ... می‌باشد.

به علت گسترده بودن کالیبره کردن گیج‌ها، ترنسمیترها و سوییچ‌ها در این کتاب تنها اشاره مختصری به کالیبره کردن ولوهای کنترلی و PSV ها شده است:

**۲ – ۳- ۲- ۱- Diaphragm Valves Without Positioner:**

- از طریق هوای ابزاردقیق (در صورت وجود) و یا پمپ نیوماتیک دستی، موقعیت Spindle ولو از طریق Scale موجود روی Stem آن، با توجه به اندازه فشار اعمال شده به Diaphragm در Stroke های 0%، 25%، 50%، 75% و 100% بررسی می‌شود.
- در صورت لزوم برای تعیین و تنظیم نقطه شروع ولو، می‌توان از طریق پیچ Spring Tension روی ولو، آن را تنظیم نمود. در صورت انجام این کار، لازم است عملیات Stroke Test مجدداً انجام پذیرد.
- هیسترزیس ولو کنترلی باید در Stroke های 0%، 25%، 50%، 75% و 100% بررسی گردد. هیسترزیس نوعی رفتار غیر خطی در کنترلرها می‌باشد که موجب می‌شود مشخصه کنترلر در مسیر افزایش ورودی، با مشخصه کنترلر در مسیر کاهش ورودی تفاوت داشته باشد. مقدار هیسترزیس باید 5% از Stroke ولو باشد؛ مگر این‌که در Datasheet ولو مقدار دیگری ذکر شده باشد. در صورت لزوم، این تست باید با Dial Indicator Micrometer متصل به Stem ولو انجام پذیرد. این تست معمولا توسط کارخانه سازنده انجام می‌گیرد و لازم است مدارک مربوط به آن در سایت بررسی شود.
- بررسی عملکرد ولو مجهز به رله Air Failure Lockup.

**۲- ۳- ۲- ۲- Diaphragm Valve with Positioner:**

- از طریق اتصال هوای ابزاردقیق (در صورت وجود) و یا پمپ نیوماتیک دستی و یک گیج تست و همچنین مبدل I/P، موقعیت Spindle ولو از طریق scale موجود روی Stem آن، با توجه به سیگنال‌های 4، 8، 12، 16 و 20 میلی‌آمپر به مبدل I/P، در Stroke های 0%، 25%، 50%، 75% و 100% بررسی می‌شود.
- هیسترزیس این نوع ولوهای کنترلی باید در Stroke های 0%، 25%، 50%، 75% و 100% بررسی گردد. مقدار هیسترزیس باید 5% از Stroke ولو باشد؛ مگر این‌که در Datasheet ولو مقدار دیگری ذکر شده باشد. در صورت لزوم این تست باید با Dial Indicator Micrometer متصل به Stem ولو انجام پذیرد.
- اگر ولو مجهز به رله Air Failure Lockup باشد، این رله باید از لحاظ عمل‌کرد بررسی گردد.

**۲ -۳- ۲ – ۳- ۲ -Non Diaphragm Actuated Valve:**

- Actuator ولوهای غیر دیافراگمی از انواعی نظیر پیستونی، الکتریکی، هیدرولیکی و یا الکتروموتور می‌باشد. در این ولوها لازم است تست‌های Stroke Test و Failure action انجام شود.
- فقط برای آن دسته از این ولوها که Actuator آن‌ها هیدرولیکی و خط هیدرولیک برگشتی آن‌ها به HPU (Hydraulic Power Unit) متصل است، مدت زمان باز و بسته شدن نیز باید بررسی گردد.

**۲ – ۳ – ۲ -۴ -Selenoid Valve:**

- برای انجام تست این ولوها هوای ابزاردقیق و منبع انرژی الکتریکی به همراه یک سوئیچ به Port (های) ولو نصب می‌شود و از طریق تغییرات اعمالی در سوییچ، تغییرات ولو مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- برای بررسی میزان Sealing ولو به Port های خارجی آن یک تیوب انعطاف پذیر

متصل می‌شود و سر آزاد تیوب در آب در فشار طراحی قرار می‌گیرد؛ در صورتی که حبابی در آب تشکیل نشود این تست مورد قبول می‌باشد.

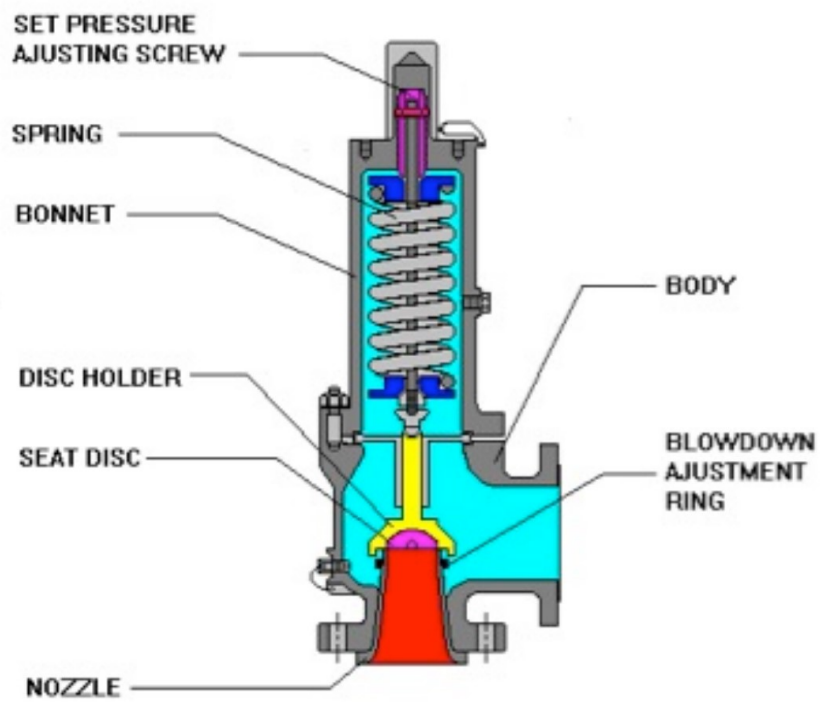
- مقاومت کویل ولو باید بررسی و مطابق با Datasheet باشد.

**PSV -۵ – ۲- ۳ – ۲**

PSV ها نوعی ولو از خانواده شیرهای ایمنی (Safety Valve) می‌باشند که برخلاف شیرهای اطمینان (Relief Valve) که فقط در سیستم مایعات تراکم ناپذیر استفاده می‌شوند، در سیستم سیالات تراکم پذیر مانند گاز و بخار که باید سریع از مخزن تخلیه شوند، استفاده می‌شوند. به‌علاوه زمانی که فشار سیستم به فشار مقرر رسید، PSV ها به‌طور ناگهانی و اغلب به‌صورت کامل باز می‌شوند؛ در حالی‌که در شیرهای اطمینان، باز شدن ولو به‌صورت تدریجی و ضمن افزایش تدریجی فشار صورت می‌گیرد.

انواع PSV ها عبارتند از: Coventional Type، Bellows Type و Pilot Type

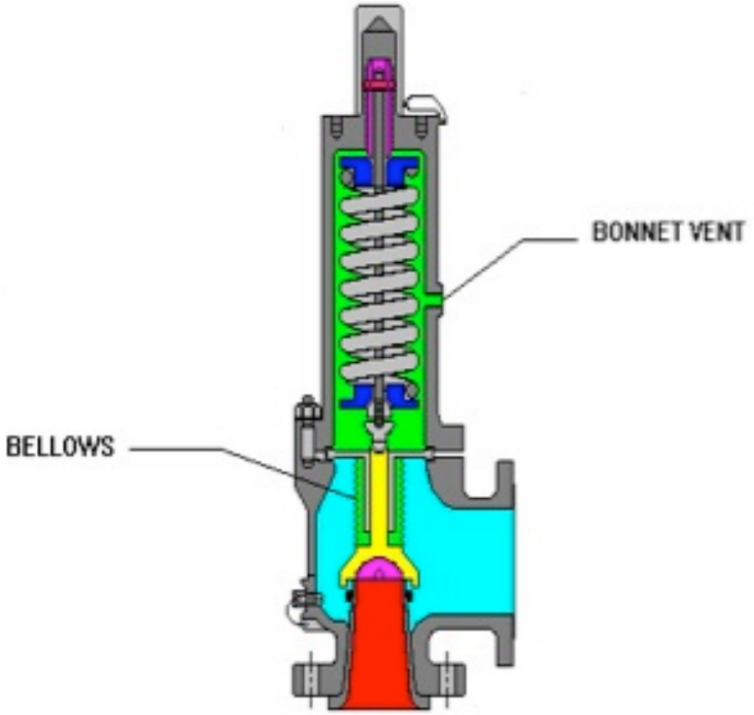
۱- Conventional Type: زمانی که فشار مخزن زیاد شود، نیرویی به دیسک این نوع ولو اعمال می‌شود. این نیرو بر خلاف نیروی فنر می‌باشد و زمانی‌که از حد تنظیم شده نیروی فنر (Set point) بیشتر گردد، دیسک شروع به بالا رفتن می‌کند. با افزایش فشار، فنر فشرده شده و دیسک راه ولو را باز می‌کند و درنتیجه فشار سیستم تخلیه می‌شود. زمانی‌که فشار سیستم کاهش یافت، دیسک به محل اولیه خود باز می‌گردد و ولو بسته می‌شود. از مزایای این نوع ولو می‌توان به قابلیت اطمینان بالا و تطبیق‌پذیری آن اشاره کرد اما به شدت تحت تاثیر Back Pressure و مستعد Chattering می‌باشد.




شکل ۲-۲ PSV نوع Conventional

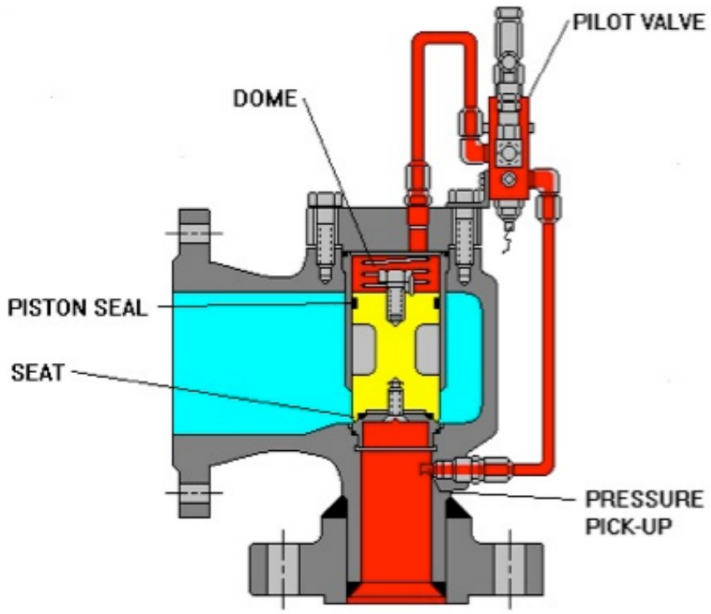
۲- Bellows Type: اساس کار این نوع ولو شبیه نوع Conventional می‌باشد به استثنای این‌که یک vent در کنار این نوع ولو تعبیه شده است. این نوع ولوها تحت تاثیر back pressure نمی‌باشند و فنر آن‌ها در معرض خوردگی قرار ندارد؛ اما مستعد فروماندگی[۱] bellows بوده و می‌تواند مواد سمی را از طریق vent به محیط اطراف منتشر کند که در این موارد اغلب از سیستم vent بسته برای آن‌ها استفاده می‌شود که از معایب آن‌ها به حساب می‌آید.

[۱]- Fatigue




شکل ۲-۳ PSV نوع Bellows

۳- Pilot Type: این نوع ولوها نیز عمل‌کردی مشابه نوع Conventional دارند با این تفاوت که یک دیافراگم نیوماتیکی یا پیستون به بالای آن متصل است. این پیستون با اعمال فشار اضافی به ولو، زمانی‌که ولو بسته است، برای متعادل کردن نیروی فنر و جلوگیری از نشتی احتمالی ولو کارآمد می‌باشد. از مزایای این نوع ولوها می‌توان به عدم تاثیر back pressure و حساسیت کمتر به chattering و قابلیت بهره‌برداری در 98% فشار مقرر اشاره کرد و از معایب آن، احتمال گرفتگی pilot، محدودیت استفاده در مواد شیمیایی (میعانات باعث ایجاد مشکل در ولو می‌شوند) و احتمال back flow اشاره کرد.




شکل ۲-۴ PSV نوع Pilot

از جمله مواردی که در ارتباط با PSV ها باید به آن اشاره کرد عبارت است از:

- فشارهای طراحی

- Set Pressure: فشار نسبی ورودی به ولو که برای باز شدن آن تنظیم می‌شود.
- Back Pressure: میزان فشاری که در خروجی ولو وجود دارد که همان فشار تخلیه می‌باشد و برابر با مجموع Build-up Back Pressure و Superimposed Back Pressure می‌باشد.
- Build-up Back Pressure: افزایش فشار در مدار تخلیه ولو ناشی از باز شدن ولو می‌باشد.
- Superimposed Back Pressure: فشار استاتیکی در مدار خروجی ولو می‌باشد که توسط سایر سیستم‌های تخلیه به ولو اعمال می‌شود.

- تست ولو:

- PSV ها باید در انبار به‌صورت ایستاده و عمودی نگهداری شوند.
- این ولوها پس از نصب، تست می‌شوند. این تست‌ها شامل Popping Test and Reseating و Seat Leakage Rate Test می‌باشند.

۱ - Popping and Reseating:

- ابتدا نازل ورودی از لحاظ تمیزی بررسی می‌شود.
- فشار تست را تا جایی که ولو Pop کند به آرامی بالا برده و با فشار Cold Set Pressure در Datasheet مربوط به PSV مقایسه می‌شود. در صورت بروز اختلاف باید setting ولو تنظیم شود تا با مقدار Cold Pressure برابر و یا با تلرانس ذکر شده در Datasheet هم‌خوانی داشته باشد.

۲- Seat Leakage Rate Test:

- این تست مطابق با API 527 صورت می‌گیرد. در این استاندارد رنج تست بین 15 Psig – 6000 Psig می‌باشد و برای تست‌های بالاتر از این مقدار، شرکت سازنده باید جداول مربوط به نشتی را ارائه کند.
- فشار تست باید 10% زیر فشار تنظیم شده برای PSV باشد.
- بخش خروجی PSV باید با یک فلنج Nipple دار Plug شود و یک سر تیوب انعطاف پذیر را به Nipple و سر آزاد آن را مطابق با API 527 به اندازه (1/2") 12.7 mm زیر سطح آب قرار داد. نرخ نشتی بر اساس تعداد حباب‌های ایجاد شده در آب در یک دقیقه تعیین می‌گردد. اگر این نرخ از میزان مورد انتظار بیشتر باشد، باید نسبت به رفع نشتی Seat ولو اقدام شود.

نکته:

پیش از تست، حتماً از عدم نشتی فلنج نصب شده در قسمت خروجی ولو و اتصالات دیگر اطمینان حاصل گردد.

تیوب تست باید دارای قطر خارجی 5/16 Inch و ضخامت دیواره 0.035 Inch باشد.

- مشکلات رایج ولوها:

۱- Noise:

سر و صدا در یک سیستم به‌واسطه اغتشاش حاصل از کنترل جریان از طریق ولو به‌وجود می‌آید و می‌تواند برای اپراتور و تجهیزات مضر باشد. از دو روش می‌توان این مشکل را مرتفع ساخت؛ تعویض Trim ولو در صورت امکان و اصلاح سیستم لوله‌کشی (استفاده از عایق‌های صوتی و یا استفاده از لوله‌های ضخیم تر)

۲- Cavitation:

در نقطه‌ای که سرعت سیال در بالاترین حد خود قرار دارد، فشار در پایین‌ترین میزان خود می‌باشد؛ با فرض این‌که سیال غیر قابل تراکم باشد، اگر فشار تا فشار بخار سیال کاهش یابد، حباب‌هایی تشکیل می‌شوند که منجر به ایجاد امواج شوک گسترده و پر سر و صدا می‌شوند که باعث آسیب ولو و تجهیزات مرتبط می‌شوند. برای میزان مشخصی از نرخ جریان، ولوی که کمترین سطح عبور جریان را دارد، بیشترین مشکلات مربوط به Cavitation را خواهد داشت.

۳- Chocking:

چنان‌چه سیال تراکم‌پذیر و افت فشار کافی باشد، سیال می‌تواند به سرعت صوت برسد؛ در این نقطه، فشار استاتیک پایین دست ولو بالاتر از حد طراحی می‌رود که منجر به کاهش و یا قطع جریان گذرنده از ولو می‌شود. برای میزان مشخصی از نرخ جریان، ولوی

که کمترین سطح عبور جریان را دارد، بیشترین مشکلات مربوط به Chocking را خواهد داشت. این پدیده در فرآیندهایی که سیال گاز می‌باشد بسیار مهم است زیرا نرخ جریان جرمی فقط به دما و فشار بالا دست ولو بستگی دارد. این پدیده برای گازها هنگامی اتفاق می‌افتد که نسبت فشار بالا دست به فشار پایین دست بیشتر یا مساوی با رابطه زیر باشد.

$$\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

که در آن $k=C_p/C_v$

این پدیده در مایعات اغلب به‌خاطر اثر ونتوری روی می‌دهد. چنان‌چه اثر ونتوری باعث کاهش فشار مایع به کمتر از فشار بخار مایع در همان درجه حرارت شود، منجر به پدیده Cavitation می‌شود.

- افزایش فشار بالا دست:

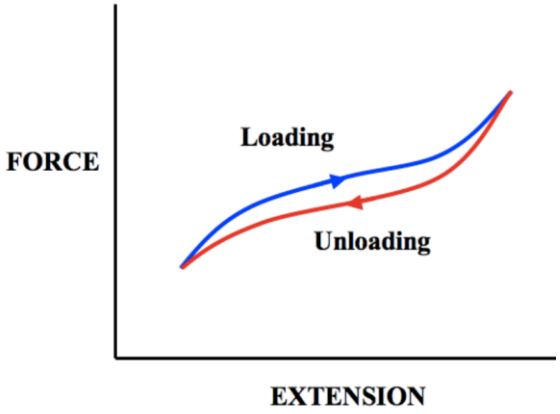
اگر ولو کنترلی به‌درستی طراحی نشده و کوچک باشد، سرعت سیال در بالا دست ولو کم خواهد شد و باعث افزایش فشار در بالا دست ولو می‌شود. (مانند زمانی که با دست جلوی جریان شلنگ آب را می‌گیریم). این افزایش فشار برای برخی از فرآیندها مضر می‌باشد. مثل فرآیند فیلتراسیون غشایی[1] که اختلاف فشار زیادی در طول غشاء وجود دارد. درصورت افزایش فشار در قسمت نفوذی غشاء، نیروی جداسازی کاهش می‌یابد.

۴- Hysteresis:

هیسترزیس به عنوان پدیده‌ای تعریف می‌شود که در آن وقایع قبلی می‌توانند بر وقایع بعدی اثر بگذارند. برای روشن تر شدن مفهوم این قضیه فرض کنید یک باند لاستیکی با خاصیت الاستیکی زیاد در دست باشد؛ دو سر این باند به دو نقطه ثابت شده است. به مرور تعدادی وزنه سنگین روی آن قرار می‌دهیم. مشخص است هرچه تعداد این وزنه‌ها

[1]- Memberane Filteration

بیشتر شود، باند لاستیکی بیشتر کشیده می‌شود. حال اگر وزنه‌ها را به مرور از روی باند برداریم، مشاهده می‌کنیم که باند لاستیکی به طول اولیه خود باز نخواهد گشت (باندهای لاستیکی کاملا از قانون Hook پیروی نمی‌کنند). به عبارت دیگر افزایش طول در زمان بارداری باند لاستیکی نسبت به افزایش طول در زمان بی باری کمتر است. این مثال ساده نشان می‌دهد که چگونه یک فرآیند (بارگذاری باند لاستیکی)، بر خروجی یک فرآیند دیگر (بارگیری باند لاستیکی)، اثر می‌گذارد. با توجه به گراف زیر، مساحت بین دو منحنی، در واقع همان مساحت Hysteresis می‌باشد. و هرچه این مساحت بیشتر باشد، نشان دهنده این است‌که باند لاستیکی توان کمتری در حفظ شکل اولیه خود دارد.




شکل ۲-۵ گراف هیسترزیس

Hysteresis در مورد ولوهای کنترلی، اشاره به این دارد که موقعیت کنونی یک ولو کنترلی به موقعیت قبلی آن بستگی دارد. میزان مشخصی از opening یک ولو ممکن است بسته به این‌که ولو از اول باز بوده باشد یا بسته، برای رسیدن به آن موقعیت متفاوت می‌باشد. اگر hysteresis بیش از حد بزرگ باشد، سیستم کنترل را مجبور به نوسان در آن نقطه می‌کند.

۵- Chattering:

این پدیده اصولا مربوط به Relief Valve ها می‌باشد که اشاره به سرعت باز و بسته شدن آن‌ها دارد. این پدیده معمولا به خاطر افت فشار زیاد بین vessel و ولو ایجاد می‌شود. به این ترتیب که اگر فشار بالا دست یک safety valve به حد بحرانی خود برسد، ولو باز می‌شود و فشار vessel کاهش می‌یابد. طول زیاد لوله بین vessel و ولو، اتصالات و هرگونه عامل کاهنده فشار، به گونه‌ای که پس از رسیدن جریان پرفشار به ولو، فشار سیال به زیر set pressure ولو برسد، ولو ایمنی بسته می‌شود و vessel مجددا فشار می‌گیرد و ولو مجددا باز می‌شود و این فرآیند ادامه می‌یابد. ارتعاشات حاصل از این پدیده موجب نا هم‌ترازی، خرابی Seat و اجزای داخلی ولو و لوله‌های متصل به آن می‌شود. مطابق با API 521، این پدیده تحت تاثیر افت فشار داخلی بالا، back pressure زیاد، طراحی نادرست Relief Valve (بیش از 140%) می‌باشد. جلوگیری از این پدیده به‌طور کامل نا ممکن می‌باشد و حتما باید لوله‌های اطراف PSV به اندازه کافی مستحکم باشد و به درستی مهار شده باشند و بعد از هر بار عملکرد این نوع ولوها، باید لوله‌ها و ساپورت‌ها بررسی گردند.

- مشکلات رایج ولوهای کنترلی:

مشکلات ولوهای کنترلی، به شدت بر عمل‌کرد حلقه‌های کنترلی مربوطه تأثیر می‌گذارد. اگرچه این مشکلات امروزه توسط نرم‌افزارهای قوی قابل شناسایی و ارزیابی می‌باشد، اما شناخت حلقه‌های کنترلی در درجه اول و آشنایی با این مشکلات می‌تواند راه‌گشای حل مسائل احتمالی برای یک مهندس فرآیند باشد. توصیه می‌شود قبل از هر اقدامی برای تنظیم و Tuning یک حلقه کنترلی، ولوهای کنترلی آن حلقه نسبت به مشکلات زیر بررسی شوند تا آن‌چه اغلب در تنظیمات حلقه‌های کنترلی با صرف وقت و هزینه همراه است، به‌طور چشمگیری کاهش یابد. چهار مشکل زیر، عمده‌ترین مسائل در مورد ولوهای کنترلی می‌باشند که موجب عمل‌کرد ضعیف حلقه کنترلی می‌شوند:

۱- Dead Band:

Dead band اختلاف بین کنترلر و موقعیت واقعی ولو می‌باشد. در واقع پاسخ کنترلر به واکنش‌های مکانیکی ولو را Dead Band می‌گویند. هر زمانی که خروجی کنترلر جهت چرخش ولو را تغییر می‌دهد، ابتدا سیگنال‌ها صرف انتقال Dead Band شده و سپس ولو شرع به تغییر جهت می‌کند و این باعث ایجاد یک وقفه در عمل‌کرد شیر کنترل و نهایتاً حلقه کنترلی می‌شود. از طرف دیگر، Dead Band می‌تواند به‌خاطر لقی اتصالات مکانیکی ولو، اصطکاک زیاد بین قطعات در داخل ولو، Actuator ضعیف یا در صورت معیوب بودن Positioner هم رخ دهد.

Dead Band اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که یک کنترلر به‌صورت مستقیم و نه cascade، یک ولو را در حلقه‌ای تحت PI یا P&ID کنترل کند. به‌خصوص اگر عمل‌کرد انتگرالی کنترل‌کننده کند باشد، ولو کنترلی با Dead Band می‌تواند در حلقه‌های کنترلی خودتنظیم‌شونده، باعث ایجاد نوسان شود.

Dead Band اغلب با هیسترزیس در یک دسته قرار می‌گیرد. به همین ترتیب هیسترزیس نیز موجب نوسان و کاهش عمل‌کرد ولو کنترلی می‌شود؛ به همین دلیل لازم است هیسترزیس ولو مورد آزمون قرار گیرد و بسته به شیرهای کنترل، هیسترزیس به عنوان زمان مرده یا Dead Time در زمان پاسخ ولو لحاظ گردد و به‌وسیله اعمال تغییرات بر روی I (Integral) قابل بر طرف شدن می‌باشد. اما اگر میزان هیسترزیس از حد مطلوب (5%) بیشتر باشد، ولو باید با صرف هزینه تعمیر شود؛ چرا که این پدیده به‌خاطر مشکلات مکانیکی که در بالا بیان شد یا بعد از یک دوره زمانی نیز اتفاق می‌افتد. لازم به توضیح است‌که می‌توان از کنترلرهایی نظیر Variable Speed Drive در انتهای حلقه کنترلی یا Booster ها برای کاهش اثرات و یا حذف هیسترزیس استفاده کرد.

۲- Stiction:

یکی دیگر از مشکلات رایج در حلقه‌های کنترل Stiction می‌باشد. غالباً این مشکل به‌خاطر اصطکاک بوده و اصطلاحاً می‌گویند که اجزای داخلی ولو Sticky شده است. چنان‌چه ولوی با stiction در یک میزان درصد Opening مشخصی ثابت باشد، مانند این است‌که موقعیت ولو در آن حالت ثابت و غیر قابل تغییر می‌باشد، به‌طوری‌که انرژی زیادی برای فائق آمدن به Stiction در این حالت مورد نیاز است. در این حالت کنترلر تلاش می‌کند با تغییر مقدار خروجی، موقعیت ولو را تغییر دهد؛ بنابراین فشار بیشتری به Actuator اعمال می‌شود. اگر این فشار بتواند بر اصطکاک غلبه کند، ولو آزاد شده و حرکت می‌کند. اما انرژی این فشار مضاعف، از Actuator به ولو می‌رسد و همین باعث می‌شود بعد از خلاصی از اصطکاک، میزان جابجایی ولو بیشتر گردد و از موقعیت مورد انتظار فاصله بگیرد،[1] که متعاقب آن، کلیه Set Point های فرآیند جابجا و محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اتفاق به‌صورت یک سیکل ادامه می‌یابد و ولو در هر موقعیتی تمایل به مقاومت در برابر جابجایی از خود نشان می‌دهد. حال فرض کنید در این حالت خروجی کنترلر مسیر را عوض کند و روند بالا در جهت معکوس اتفاق بیافتد که در این حالت نوسانی ایجاد می‌شود که به چرخه Stick-Slip موسوم است و ولو در دو موقعیت مشخص مدام با روندی تقریبا سینوسی شروع به جابجایی می‌کند. از عوامل ایجاد کننده این حالت می‌توان به بیش از حد سفت کردن آب‌بند ولو، اصطکاک بیش از حد اجزای داخلی ولو، Actuator نامناسب یا Positioner معیوب اشاره کرد.

۳- Valve Over Sizing:

ولوها باید به گونه‌ای سایز شوند که در 70% تا 90% میزان Opening، بسته به منحنی مشخصه ولو و شرایط سیال، بتوانند کل جریان را از خود عبور دهند. در این بین اگر ولوهای کنترلی بیشتر از حد مورد نیاز عبور جریان سایز شده باشند، در میزان Opening

[1]- Valve Overshooting

های کم نیز کل رژیم جریان از ولو عبور می‌کند. بنابراین کوچکترین تغییری در موقعیت دریچه ولو، تأثیر زیادی روی میزان جریان نخواهد داشت که نهایتاً باعث عمل‌کرد ضعیف ولو و تقویت ایجاد پدیده‌هایی چون Stiction و Dead Band می‌گردد.

۴- Nonlinearity:

یکی از مشکلات Tuning ولوهای کنترلی، غیر خطی بودن جریان سیال می‌باشد. اگر جریان سیال غیر خطی باشد، پاسخ مطلوب کنترل کننده فقط به یک نقطه عملیاتی اعمال می‌شود و بنابراین حلقه کنترل ناپایدار و کند خواهد شد و هرچه ولو از نقطه عملیاتی خود دورتر شود، میزان این ناپایداری به حدی می‌رسد که ولو Sticky می‌شود.

۵- نشتی ولو:

اگر ولوی بیش از MAL (Maximum Allowable Leakage) نشتی داشته باشد، موارد زیر باید بررسی گردند:

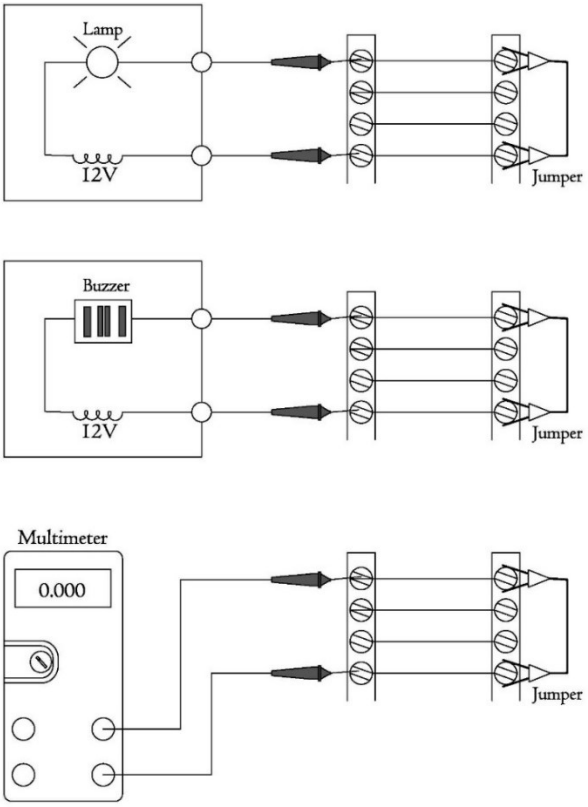
- فرسودگی اجزای داخلی ولو
- Actuator به‌درستی تنظیم نشده است
- Positioner به‌درستی تنظیم نشده است
- DCS به‌درستی پیکربندی [۱] نشده است

### ۲ – ۳ -۳ -Circuit Continuity Test:

هدف از این تست اطمینان از رسانایی کامل مسیر بین دو ترمینال در یک مدار الکتریکی و همچنین مجزا بودن مدارهای الکتریکی از یکدیگر می‌باشد. این تست زمانی انجام می‌شود که مدارها از منبع انرژی خود جدا شده باشند. این تست در این بخش توسط گروه ابزاردقیق و بر روی مدارهای کنترلی صورت می‌گیرد.

[۱]- Configured

پس از نصب اجزای یک حلقه کنترل و پیش از Energize کردن آن، هر یک از این حلقه‌ها باید به‌طور جداگانه تست Continuity گردد. به همین جهت به آن بررسی نقطه به نقطه سیم کشی نیز اطلاق می‌شود. از آن‌جا که اجزای سیستم‌های کنترلی در کارخانه Functional Test می‌شوند، بنابراین این تست تنها بر روی آن دسته از سیم‌کشی‌هایی که مربوط به تجهیزات در سایت می‌باشند، انجام می‌شود. لیست کلیه این سیم‌کشی‌ها در مدرکی به نام Interwiring Diagram موجود می‌باشد و بر اساس آن تک تک سیم‌ها را تست می‌کنند. این مدرک به‌طور واضح ترمینال‌های Wiring ها را مشخص کرده است. تجهیزات لازم برای این تست شامل لامپ یا زنگ اخبار، Jumper و مولتی‌متر می‌باشد.




شکل ۲-۶ Circuit Continuity Test

زمانی که مقاومت کمتر از حدود 150 ohm باشد، لامپ، زنگ و مولتی‌متر آلارم داده و تست مورد قبول می‌باشد.

### ۲ – ۴- فعالیت های پیش راه اندازی گروه Piping

اساس فعالیت‌های گروه Piping در این مرحله، بررسی و تطابق لوله‌ها و اتصالات نصب شده با نقشه‌های Isometric و P&ID از نقطه نظر سایز، کلاس خط، موقعیت نصب، جهت نصب و بررسی متریال استفاده شده و خطوط و اتصالات نصب نشده می‌باشد. از آن‌جا که در طول دوره ساخت و تا پیش از Mechanical Completion، تجهیزات و اتصالات ممکن است به‌طور مکرر باز و بسته شوند، لذا گسکت‌های مورد استفاده در این دوره اغلب موقتی می‌باشند و پیشتر باید طبق قراردادی این نوع گسکت‌ها را با رنگ‌های مشخصی کد گذاری نمود تا از گسکت‌های اصلی تمییز داده شوند. از جمله موارد مهم دیگر در این مرحله بررسی اتصالات جوشی و پیچی می‌باشد و برای اتصالات پیچی باید ماده آب‌بند آن به‌درستی بر اساس سیال فرآیندی انتخاب شده باشد. بررسی نحوه درست نصب Pulsation Dampener ها، جهت نصب Orifice ها و Impulse Line های مربوطه با توجه به سیال فرآیندی (برای گازها در بالای فلنج و برای مایعات در پایین فلنج با شیب 0.05%) باید به‌درستی صورت گیرد. بررسی Bolt Tensioning و بازرسی عایق لوله‌ها و بررسی صحت نصب ساپورت‌ها نیز به عهده گروه Piping در این دوره می‌باشد.

در ادامه عمده‌ترین فعالیت‌های پیش راه‌اندازی مربوط به گروه Piping، به‌طوری که مناسب توسعه دیدگاه یک مهندس فرآیند باشد، توضیح داده شده است:

### Hydrostatic Test -۱ – ۴ -۲

پس از انجام تست‌های NDT [۱] در مرحله ساخت و نصب و همچنین رفع Punch های "A"، تست Hydrostatic با سیالات تراکم ناپذیر و یا Pneumatic Test با سیالات تراکم پذیر انجام می‌گیرد.

این تست بر اساس استاندارد B31.3 برای پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها و B31.1 برای نیروگاه‌ها می‌باشد. تست فشار هیدرواستاتیک برای اثبات استحکام مواد و یکپارچگی جوش بعد از پایان عملیات ساخت می‌باشد. این تست باید بر روی خطوط و تجهیزات تازه ساخته شده صورت پذیرد. تمامی Orifice Plate ها، Expansion Joint ها و ولوهای کنترلی و همچنین Relief Valve ها، چنان‌چه نصب شده باشند باید از خط و تجهیز جدا شوند و یا Blind گردند. به منظور تست هیدرواستاتیک باید از Fresh Water حاوی Corrosion Inhibitor استفاده کرد. در عین حال از آب Demineralized نیز می‌توان بدون اضافه کردن Corrosion Inhibitor استفاده کرد. در سیستم‌هایی که رطوبت حتی به میزان کم هم قابل قبول نباشد (سیستم‌های مربوط به $SO_2$، اسیدها، آمونیاک و LPG و همچنین تجهیزات حاوی نوع خاصی از کاتالیست که به رطوبت حساس می‌باشند) به‌جای آب از روغن استفاده می‌شود. پس از انجام تست درصورت استفاده از آب، سیستم باید توسط هوا خشک گردد. نقطه شبنم هوای استفاده شده باید منفی 10 درجه سانتی-گراد در فشار اتمسفر باشد. لازم است نسبت به خروج آب و خشک کردن جاهایی که احتمال تجمع آب در آن‌ها زیاد است، مانند بدنه داخلی ولوها و Low Point ها در مسیر خطوط لوله توجه ویژه‌ای شود. اگر بنا به هر دلیل این تست با آب قابل اجرا نباشد،

[۱]- Non Destructive Test

می‌توان از هوا یا نیتروژن برای تست استفاده کرد [1].

فشار تست هیدرواستاتیک با آب نباید کمتر از 1.5 برابر فشار طراحی باشد. در صورتی‌که دمای طراحی بالاتر از دمای تست باشد، حداقل فشار آزمون از رابطه زیر محاسبه می‌شود، به شرط این‌که مقدار St/S از ۶,۵ بیشتر نگردد.

$$\mathrm{Pt} \leq 1.5P\ St/S$$

که در آن:

Pt: فشار نسبی تست

P: فشار نسبی طراحی

St: تنش مجاز در دمای تست

S: تنش مجاز در دمای طراحی (جدول A-1 در ASME B 31.3)

حد بالای فشار تست با توجه به رابطه ذکر شده به نحوی تعریف می‌شود که تنش مجاز در دمای تست به مرز تنش تسلیم نرسد.

در مورد سرویس‌های تبرید، فشار تست باید مطابق با استاندارد ASME B 31.5 و الزامات ارائه شده در آن باشد. به‌طور کلی برای تست این‌گونه سرویس‌ها نباید از اکسیژن و گاز قابل اشتعال استفاده کرد و حتی الامکان نباید از آب به‌عنوان سیال تست استفاده شود.

لوله‌های سرویس خلاء باید با حداقل 29 lb/in تست شوند، مگر این‌که فشار طراحی آن‌ها کمتر ذکر شده باشد.

زمانی که خط و یا تجهیزات با Austenitic و یا Austenitic Acid (فولاد زنگ نزن آستینیتی) پوشیده شده باشند، سیال تست با در نظر گرفتن میزان یون کلراید در شرایط زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

- اگر دمای لوله در زمان راه‌اندازی، بهره‌برداری، یا خارج از سرویس، از 50 درجه

[1]- Pnumatic Test

سانتی‌گراد کمتر باشد، مقدار کلر در آب تست می‌تواند حداکثر 150 میلی‌گرم بر کیلوگرم (PPM Mass) باشد.

- اگر دمای فلز تجهیز و یا خط در زمان راه‌اندازی و یا بهره‌برداری بیشتر از 50 درجه سانتی‌گراد گردد، سیال تست باید Condensate Water، Demineralized Water و یا Oil با حداقل 50 درجه سانتی‌گراد نقطه اشتعال یا Flash Point باشد.

در مورد لوله‌های دو جداره، لوله داخلی با فشاری معادل حداقل 1.5 برابر فشار طراحی آن تست می‌شود و لوله خارجی باید بر اساس فشار داخلی یا خارجی آن با توجه به فشار لوله داخلی در نظر گرفته شود. چنان‌چه فشار تست لوله بیرونی بالا باشد، ضروری است‌که در هنگام تست، لوله داخلی را نیز تحت فشار قرار داد.

فشار تست باید در پایین‌ترین نقطه لوله یا سیستم تحت تست اندازه‌گیری شود تا هد استاتیک بر اثر وزن آب نیز لحاظ شود.

در شرایطی که لازم باشد فشار تست برای مدتی نگه داشته شود و در این مدت، سیال تست دچار انبساط حرارتی می‌شود، پیش‌بینی لازم جهت آزادسازی این ازدیاد فشار باید در نظر گرفته شود (مثلا با نصب یک شیر ایمنی و یا تخلیه دستی فشار اضافی).

ولوها نباید به‌صورت بسته تحت تست هیدرو استاتیک قرار بگیرند مگر این‌که حداکثر فشار مجاز عملیاتی (MAWP) [1] آن‌ها از فشار تست بیشتر باشد.

توجه به این نکته ضروری است‌که قبل از انجام تست، کلیه نگهدارنده‌های لوله باید در جای خود نصب شده باشند. همچنین برای لوله‌هایی که سرویس عملیاتی آن‌ها آب نیست و آن‌ها را با آب تست می‌کنند، می‌بایست از نگهدارنده‌های موقتی علاوه بر نگهدارنده‌های اصلی برای مهار لوله استفاده کرد.

Spring Support ها باید قبل از شروع تست در حالت قفل قرار بگیرند.

دقت فشار سنج باید ۱ درصد دامنه آن باشد و فشار خوانده شده در آن باید 25 تا 90

[1]- Maximum Allowable Working Pressure

درصد دامنه کل آن باشد.

توجه: خطوط زیر نباید تحت فشار هیدروتست قرار بگیرند:

۱- خطوط هوای ابزاردقیق

۲- خطوط هوای مربوط به فعال کننده شیرهای کنترلی

۳- خطوط گاز و بخار با سایز بیشتر از 24 اینچ

۴- قسمت‌های تحت فشار ابزاردقیق در سرویس گاز یا بخار

سیال مورد استفاده برای تست نباید تأثیر منفی روی متریال تجهیزات و حتی سیال فرآیندی در آینده بگذارد. در مورد مخازن پرفشار مطابق با Datasheet آن‌ها که در آن حداقل دمای محیط[1] و دمای سیال ذکر شده است، باید مورد توجه قرار بگیرد. چنان‌چه بخواهیم مخازن و تانک‌ها و خطوط لوله را در دمای زیر 16 درجه سانتی‌گراد تست کنیم، باید به خطر ایجاد شکستگی در فولاد کربنی و فولاد آلیاژی فلزی توجه گردد، مگر این‌که متریال به‌کار رفته به اندازه کافی انعطاف پذیر باشند. زمانی که دمای آب و دمای محیط زیر ۵ درجه سانتی‌گراد است، به هیچ عنوان نباید از آب برای تست تجهیزات و خطوط، استفاده شود. در این دما، تست هیدرواستاتیک با استفاده از گازوییل، نفت سفید یا محلول‌های ضد یخ انجام می‌شود، که در آن صورت باید موارد ایمنی به‌دلیل آتش زا بودن این سیالات مورد توجه قرار گیرد.

در طول تست، افت فشار خط نباید بیشتر از 2 درصد از فشار خط در هر ساعت باشد، مگر این‌که میزان افت فشار دیگری با کارفرما توافق شده باشد. همه نقاط جوش و کل خط لوله باید برای نشتی احتمالی (نقاط مرطوب) به‌صورت چشمی بازرسی گردد؛ بنابراین خطوط و تجهیزات باید قبل از این‌که عایق شوند، مورد تست قرار گیرند.

در صورت تست نیوماتیک، فشار تست باید 110 درصد فشار طراحی باشد و در صورت تجاوز از 150 Psig باید تاییدیه کارفرما اخذ گردد و نقاط جوش سیستم‌هایی که بیشتر

[1]- Ambient Temperature

از 150 Psig با هوا تست می‌شوند باید صد در صد رادیوگرافی گردند. توجه به این نکته ضروری است‌که در کلیه تست‌های نیوماتیکی باید مرحله به مرحله فشار را افزایش داد و در هر مرحله، زمان ماند را تعریف کرد و همچنین لازم است همه سرجوش‌ها و اتصالات توسط محلول صابونی برای پیدا کردن نشتی‌های احتمالی تست گردند.

در زمان پر کردن خطوط و تجهیزات با سیال برای تست هیدرواستاتیک، Vent ها باید باز باشند تا هوای داخل خطوط و تجهیزات به‌طور کامل خارج گردند. همچنین بعد از پایان تست و هنگام تخلیه سیال از خط و تجهیز، حتما باید برای جلوگیری از ایجاد خمش[1] به‌واسطه خلاء، Vent ها باز باشند.

مخازنی که مطابق با استاندارد ASME کد VIII ساخته شده‌اند، نیازی به تست‌های فشار در سایت ندارند مگر در حالت‌های زیر:

۱- مخازنی که در نتیجه حمل و نقل نادرست از نظر کارفرما مشکوک باشند.

۲- مخازنی که در سایت تغییرات اساسی روی آن‌ها اعمال شده باشد، با نظر کارفرما می‌تواند تحت تست فشار مجدد قرار گیرد.

کلیه تانک‌هایی که کف، سقف و دیواره دارند، باید مطابق API 650 مورد تست قرار گیرند. دیواره تانک‌ها از طریق پر کردن آب در تانک تست می‌شود. تست خلاء باید برای کف و سقف همه تانک‌ها صورت پذیرد.

Flame Arrestor ها در هنگام تست مخازن باید جدا و یا ایزوله شوند.

[1]-Buckling

در موارد زیر تست نیوماتیک با هوا یا نیتروژن به‌جای تست هیدرواستاتیک با آب صورت می‌گیرد:

۱- زمانی که لوله‌ها با قطر بالا بوده و فشار عملیاتی آن‌ها پایین باشد و لذا برای تست با آب نیاز به نگهدارنده‌های موقت زیاد باشد.

۲- زمانی که حجم استفاده از آب بسیار زیاد باشد و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و یا عملی نباشد.

۳- زمانی که تخلیه آب بعد از انجام تست مشکل ساز بوده و خرابی به‌دنبال داشته باشد.

۴- زمانی که حتی وجود مقدار کمی آب در سیستم تحت تست منجر به ایجاد صدمه شود مانند سیستم تبرید.

۵- لوله‌هایی که پوشش داخلی آن‌ها در تماس با آب صدمه می‌بینند.

چنان‌چه برای لوله‌های Atmospheric Vent و یا Stack ها و Exhaust ها نیاز به انجام تست به منظور اطمینان از عدم نشتی باشد، تست با هوا و با فشار 0.4 barg انجام می‌گیرد و با محلول آب و صابون نشت‌یابی می‌شود.

به‌طور کلی برای انجام تست با هوا، برای تامین هوا از کمپرسورهایی که با روغن روانکاری می‌شوند استفاده نمی‌شود.

### Water Flushing -۲ -۴ – ۲

هدف از این عملیات، شستشو و پاک‌سازی خطوط و شبکه انتقال سیالات و احتمالا تجهیزات وابسته، از رسوبات، زنگار و ضایعاتی است‌که در طول عملیات ساخت در آن‌ها باقی مانده‌اند.

به‌طور کلی این عملیات، علاوه بر دوره پیش راه‌اندازی، در دوره راه‌اندازی و بهره‌برداری نیز برای برخی شبکه‌های انتقال مانند شبکه خطوط Fire Water صورت می‌پذیرد که به دلایل این امر در این دوره‌ها در زیر اشاره شده است:

۱- دوره راه‌اندازی: در طول Service Test شبکه‌های آب‌رسانی و به‌جهت هواگیری

و خروج رسوبات باقی‌مانده از آب‌های راکدی که در دوره پیش راه‌اندازی در خطوط باقی مانده‌اند و برای حفظ کیفیت آب در شبکه انجام می‌پذیرد.

۲- دوره بهره‌برداری: برای زدودن Biofilm های تشکیل شده در خطوط که به‌صورت دوره‌ای و با توجه به کیفیت آب انجام می‌گیرد. (کیفیت آب از طریق تست‌های دوره‌ای سنجیده می‌شود).

در این قسمت به نحوه عملیات Water Flushing در زمان پیش راه‌اندازی پرداخته شده است.

سرعت جریان آب در خطوط لوله به منظور تأثیر بهتر Water Flushing باید بین 3-4 m/s باشد.

تیم مهندسی وظیفه دارد P&ID های مارک شده [۱] را به همراه دستورالعمل گام به گام تهیه نماید و به نفرات اجرایی در سایت ارائه کند. در این P&ID معمولاً کد رنگ‌هایی برای هر منظور استفاده می‌شود. به‌کار بردن این رنگ‌ها کاملا توافقی می‌باشد. به عنوان مثال معمولاً رنگ آبی برای خطوطی که باید Flush شوند، سبز برای آیتم‌هایی که باید جدا شوند، قرمز برای فلنج‌هایی که باید جدا شوند، صورتی برای مشخص کردن نقاط قرارگیری Blind و نارنجی برای آیتم‌هایی است‌که باید ایزوله شوند، به‌کار می‌رود.

برای خطوط فرآیندی که سیال اصلی آن‌ها مایع می‌باشد، حداقل مقدار سرعت آب باید بین 3 m/s و سرعتی معادل با 1.3 برابر حداکثر نرخ جریان سیال فرآیندی در حالت بهره‌برداری در نظر گرفته شود. در این محاسبه باید حداکثر Head loss برای جریان گذرنده از Header اصلی تخمین زده شود و همچنین باید Static Head به آن اضافه گردد. در صورتی که میزان جریان مورد نیاز و Head Loss با پمپ موجود قابل تامین نباشد، لازم است با هوا Air Blowing انجام شود و یا با تزریق هم‌زمان آب و هوا برای ایجاد اغتشاش و بهره وری بهتر Flushing، این عملیات را انجام داد.

---

[۱]- Marked Up P&ID

در جدول ۲-۳ رابطه بین نرخ جریان و سایز لوله که بر اساس سرعت 4 m/s محاسبه شده، آمده است:

جدول ۲-۳ محاسبه تخمین نرخ جریان در Water Flushing با قطر لوله

| Size (Inch) | Flow Rate ( $M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3/4 | 4 | 8 | 467 | 20 | 2917 | 44 | 14119 |
| 1 | 7 | 10 | 729 | 24 | 4201 | 48 | 16803 |
| 2 | 29 | 12 | 1050 | 28 | 5718 | 52 | 19720 |
| 3 | 66 | 14 | 1429 | 32 | 7468 | 56 | 22870 |
| 4 | 117 | 16 | 1867 | 36 | 9452 | 60 | 26254 |
| 6 | 263 | 18 | 2363 | 40 | 11669 | | |

مطابق با قانون Poiseuill، ایجاد اختلاف فشار در خط لوله، عامل بسیار مهمی برای حفظ دبی به‌جهت انجام عملیات Water Flushing در کنار سرعت سیال می‌باشد. بنابراین عامل فشار باید در طول این فرآیند در نظر گرفته شود.

مطابق با این قانون داریم:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{\pi R^4 (P1 - P2)}{8xL}$$

Q= Flowrate, R= Radius, P= Pressure, x= Viscosity Coefficient, L= Length

بنابراین برای رژیم‌های جریان تراکم ناپذیر که در آن‌ها دانسیته سیال ثابت است، دبی عبوری از خط لوله با اختلاف فشار دو سر لوله و توان چهارم شعاع لوله ارتباط مستقیم و با ضریب ویسکوزیته سیال و طول خط رابطه عکس دارد.

فرض کنید خطی به قطر 8 in و به طول 12 m داشته باشیم، به‌طوری که در نقطه‌ای داخل خط رسوبات باعث کاهش قطر به 4 in شده باشند؛ مطابق با رابطه فوق، زمانی که شعاع نصف شود دبی 1/16 کاهش می‌یابد و بنابراین برای جبران کاهش دبی، اختلاف

فشار باید 16 برابر افزایش یابد. در این حالت می‌توان با افزایش دمای سیال که منجر به کاهش ضریب ویسکوزیته می‌شود، تا حدی به جبران کاهش دبی کمک کرد. لذا مشاهده می‌شود که اختلاف فشار تا چه حد می‌تواند در بهبود روند عملیات فلاشینگ موثر باشد.

سوال۱: چه اختلاف فشاری لازم است تا آب در دمای 20 درجه سانتی‌گراد با دبی 0.015 $m^3/s$ از یک لوله 3 متری عبور کند؟

$$\Delta P = \frac{8QxL}{\pi R^4} = \frac{8 \times 0.015 \times 0.001 \times 3}{\pi \times (0.02)^4} = 716.2\ Pa$$

بنابراین به ازای هر 3 متر طول لوله، 716.2 Pa افت فشار خواهیم داشت. نتیجه این‌که عملیات فلاشینگ در لوله‌های طولانی با کاهش بهره‌وری همراه است؛ بنابراین تقسیم‌بندی لوله‌های طولانی به بخش‌های کوچک‌تر در عملیات Flushing، باعث افزایش بهره‌وری این عملیات و کسب نتایج بهتر در مدت زمان کمتر می‌شود.

سوال۲: در لوله‌ای با اختلاف فشار 50,000 Pa چه انرژی لازم است تا شدت جریان 0.025 $m^3/s$ حفظ شود؟

$$Power = \Delta P \times Q = 1250\ w$$

برخی از سیستم‌های Utility امکان تمیز شدن با سرویس اصلی خود را دارند؛ مانند سیستم‌های آب (Drinking Water, Fire Water, Sea Water, Utility Water)؛

سایر سیستم‌ها از طریق اتصال شیلنگ [۱]یا اتصالات لوله‌ای موقت[۲] می‌بایست با آب یا هوا تمیز گردند. بنابراین فلاشینگ خطوط بخار با بخار و خطوط Fuel Oil با بخار به همراه هوا صورت می‌گیرد.

در عمل با افزایش سایز خط، امکان‌پذیری و بهره‌وری فلاشینگ با آب نیز کاهش می‌یابد و تامین و تخلیه آب با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین در این‌گونه موارد، این عملیات با توافق بین طرفین صورت می‌گیرد. اما به‌طور کل برای لوله‌ها با سایز بیشتر از "10، از هوا، ترکیب هوا و آب [۳]، Vacuum Pig، Air Jet و یا Hydro Jet استفاده می‌شود. از طرف دیگر، هرچه طول خط کمتر باشد، دست‌یابی به سرعت بیشتر عملی‌تر می‌باشد و درنتیجه در مدت زمان عملیات نیز صرفه جویی می‌شود؛ طبق تجربه، طول بهینه خط حداکثر باید 500 متر باشد. بنابر توضیحات داده شده، یک شبکه انتقال، بهتر است به بخش‌های کوچکتر تقسیم شده و عملیات Flushing به روش Unidirectional یا bloom Sweep انجام گیرد.

امروزه در صنایع پیشرفته از روش Hydrolyzing که به آن Aquablasting، Aqualyzing یا Hydroblasting نیز می‌گویند، برای عملیات Flushing برای خطوط با سایز بالا و طولانی مانند شبکه خطوط بخار و آب Cooling استفاده می‌شود. مزیت این روش کاهش مصرف آب، استفاده مجدد از آب برگشتی و متعاقب با آن کاهش مصرف سوخت، هزینه و زمان می‌باشد.

برای Water Flushing خطوط فولاد کربنی به‌دلیل نیاز به تکرار کردن عملیات تا تمیزی کامل خط و در نتیجه بالا بودن مصرف آب و هزینه، می‌توان مراحل اولیه تمیزکاری را با Raw Water و حداکثر 150 ppm ماده Corrosion Inhibitor انجام داد و فقط در مرحله آخر از آب با میزان کلراید کمتر از 15 ppm استفاده نمود؛ اما در خطوط

---

۱- Hose

۲- Temporary Pipe

۳- Surge Flushing

Stainless Steel به علت تأثیر بالای کلر بر روی خوردگی این خطوط، در تمام مراحل باید از آب با میزان کلراید کمتر از 15 ppm استفاده شود.

در این عملیات باید از ولوهای موقتی به‌جای ولوهای اصلی استفاده شود؛ در مواردی لازم است فلنج‌ها و سایر اتصالات باز شوند و یا Cap Weld انتهای Header بریده شود که در این حالت پس از پایان تست باید مجددا جوش شوند.

کلیه ولوهای کنترلی یا باید باز شوند و از اتصالات موقتی به‌جای آن‌ها استفاده شود و یا این‌که به‌طور کامل بسته شده و از جریان Bypass آن‌ها (در صورت وجود) برای برقراری جریان استفاده نمود.

همچنین کلیه تجهیزات شکننده و In-line شامل Flow Meter ها و RO ها باید قبل از فلاشینگ از خط جدا شوند تا در طول عملیات به‌واسطه کثیفی‌ها صدمه نبینند.

Flapper مربوط به ولوهای یک‌طرفه باید جدا شود. ولوهای توپی نیز به علت صدمه پذیر بودن Ball داخلی، باید جدا شده و به‌جای آن‌ها Spool موقت نصب شود.

## شرح عملیات Water Flushing خطوط فرایندی و جانبی

معمولاً خطوط Process و Auxiliary وابسته به مخزن و یا تانک به‌طور جمعی با پر کردن آن‌ها با آب، تمیز می‌شوند. همچنین Auxiliary مربوط به تجهیزات دوار با روغن فلاشینگ می‌شوند که توضیحات بیشتر در قسمت Oil Flushing ارائه شده است.

بهترین راه برای تمیز کردن خطوط این است‌که ابتدا شاخه اصلی (Main Header) را از ابتدا تا انتها تمیز کرده و شاخه‌های فرعی را از انتها به ابتدا، یک به یک فلاش کنیم.

پس از شستشوی مخازن و برای تخلیه آب، توجه شود که برای جلوگیری از خلاء داخلی، یک نقطه در بالای مخزن به عنوان نفس‌کش باز باشد.

معمولاً فلاشینگ از نقطه‌ی بالا به پایین صورت می‌گیرد و تخلیه از پایین‌ترین نقطه انجام می‌شود. در صورتی که درین اصلی موجود باشد، می توان از آن به عنوان نقطه تخلیه

استفاده کرد و در غیر این صورت لازم است فلنج و یا اتصالی باز شود. چنان‌چه از درین اصلی استفاده شود، برای گرفتن نتیجه بهتر از فلاشینگ، بسته به کثیفی خط بهتر است سایز آن نزدیک به خط اصلی باشد و در صورت عدم وجود درین، بهتر است تخلیه از پایین‌ترین نقطه و از خطی که هم‌سایز و یا سایز نزدیک به خط اصلی می‌باشد، صورت پذیرد. بنابراین برای حصول نتیجه بهتر لازم است‌که هیچ مانعی بر سر راه خروج سیال وجود نداشته باشد.

باید توجه شود در حالتی که نقاط فلاشینگ بیشتر از یک نقطه باشد، نباید فلاشینگ به‌صورت هم‌زمان از همه نقاط صورت پذیرد و همان‌طور که پیشتر توضیح داده شد باید از انتهای Header به نوبت تا ابتدای Header فلاش گردند. Air blowing نیز به همین صورت از انتهای Header تا ابتدای آن صورت می‌گیرد و در نقطه blowing ولوهای تست نصب شده، به‌صورت ناگهانی باز و کثیفی‌ها با فشار از خط خارج می‌شوند.

برای فلاشینگ خطوطی که به ورودی و خروجی پمپ‌ها و تجهیزات دیگر می‌رسند، توجه شود که باید مانع از ورود هرگونه آلودگی به این‌گونه تجهیزات شد و اگر لازم باشد باید ورودی آن‌ها را با Blind ایزوله کرد. نقطه خروج برای فلاشینگ در این حالت باید تا آن‌جا که مقدور است به تجهیز نزدیک باشد؛ البته اگر لازم باشد در مواردی خطوط به‌صورت دستی تمیز می‌شوند. مانند خط‌های اتصالی به تجهیزات دوار که از ولو ورودی تا ولو خروجی آن‌ها به‌صورت دستی تمیز می‌شوند.

لازم است Burner مربوط به Heater ها به‌جهت ممانعت از نفوذ ذرات ریز موجود در خط به درگاه های Burner، در زمان Blowing از خط Fuel Gas جدا شوند.

بعد از پایان عملیات فلاشینگ در هر نوع سیستمی، لازم است‌که آب به‌صورت کامل از سیستم تخلیه شود. معمولاً یک مرحله Dry-out از طریق Purge کردن هوای تمیز و کمپرس شده و یا نیتروژن برای سیستم‌های گاز صورت می‌گیرد و چنان‌چه فاصله در سرویس قرار دادن سیستم‌هایی که با آب فلاشینگ شده‌اند بعد از پایان فلاشینگ زیاد باشد، حتما باید Dry-out با هوای خشک انجام شود و تمهیدات لازم برای Preserve

کردن سیستم اندیشیده شود. خطوط فرآیندی گاز باید تا نقطه‌ی شبنم آب 20°C- در فشار اتمسفر خشک و توسط نیتروژن Inert گردند.

### ۲ – ۴ -۳ Air Blowing

در جاهایی که امکان استفاده از آب وجود نداشته باشد و همچنین برای خطوط فرآیندی که سرویس آن‌ها گاز می‌باشد، برای تمیزکاری از هوا استفاده می‌شود. هوای مورد استفاده باید عاری از روغن و خشک باشد. (مانند Instrument Air)

عموما دو روش برای Air Blowing قابل استفاده می‌باشد:

۱- Continuous Air Blowing:

در این روش هوای خشک پرفشار و با سرعت بالا از طریق کمپرسور هوا و یا منبع حاوی هوا مانند یک مخزن به داخل خط مورد نظر به‌صورت پیوسته دمیده می‌شود.

۲- Quick Decompression:

در این روش شبکه خطوط مورد نظر تا فشار مشخص شده در Rapture Disk با هوای کمپرس شده Pressurize می‌شود. زمانی که Rapture Disk پاره شد، هوا با سرعت خارج شده و خط را تمیز می‌نماید. به‌جای Rapture Disk از Quick Opening Valve نیز می‌توان در انتهای Header اصلی و Branch ها استفاده کرد. اصل مهم در رابطه با Air Blowing، عمل‌کرد سریع ولو در باز شدن و افزایش هرچه بیشتر Momentum برای خروج اشیاء خارجی و رسوبات داخل خط می‌باشد. بنابراین در این عملیات از ولوهای اصلی موجود در سایت استفاده نمی‌شود و ولوهای تست باید از نوع ولو پروانه‌ای یا توپی انتخاب شوند.

Momentum Ratio در واقع نسبت Cleaning Force یا هد سرعت جرمی سیال در طول Blowing به سرعت سرویس اصلی خط مورد نظر در حداکثر Flow rate می‌باشد.

بنابراین اگر این نسبت بیشتر از یک باشد، بعید است‌که رسوبی در طول بهره‌برداری و با حداکثر سرعت سیال فرآیندی، بتواند از داخل خط جدا شده و به سمت توربین، کمپرسور یا سایر تجهیزات برود.

$$CFR=Q^2_C\ V_C\ /Q^2_{max}\ V_{max}\ ,\ CFR \geq 1$$

CFR = Momentum or cleaning force ratio
$Q^2V$ = Momentum term
$Q_C$ = Calculated flow during cleaning (lb/hr)
$Q_{max}$ = Max air or steam flow (lb/hr)
$V_C$ = Specific volume at pipe segment inlet during cleaning (ft3/lb)
$V_{max}$ = Specific volume at pipe segment inlet at max air or steam flow (ft3/lb)

برای محاسبه میزان جریان هوای لازم برای عملیات Air Blowing، لازم است قوانین سر انگشتی زیر را در نظر بگیریم:

- برای خطوطی که سیال فرآیندی آن‌ها مایع می‌باشد، درصورت water flushing همان‌طور که قبلا گفته شد، حداقل مقدار سرعت آب باید بین 3 m/s و سرعتی معادل با 1.3 برابر حداکثر نرخ جریان سیال اصلی در حالت بهره‌برداری در نظر گرفته شود.
- برای خطوطی که سیال فرآیندی آن گاز می‌باشد، باید سرعت هوا را بین 30 m/s و 60 m/s در نظر گرفت.

جدول زیر رابطه بین سایز خط و میزان نرخ جریان هوا را با فرض سرعت 60 m/s در عملیات Air Blowing نشان می‌دهد:

جدول ۲-۴ رابطه بین سایز خط و میزان نرخ جریان هوا برای **Air Blowing**

| Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) | Size (Inch) | Flow Rate ($M^3$/Hr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3/4 | 62 | 8 | 7001 | 20 | 43757 | 44 | 211785 |
| 1 | 109 | 10 | 10939 | 24 | 63011 | 48 | 252042 |
| 2 | 438 | 12 | 15753 | 28 | 85764 | 52 | 295800 |
| 3 | 985 | 14 | 21441 | 32 | 112019 | 56 | 343057 |
| 4 | 1750 | 16 | 28005 | 36 | 141774 | 60 | 393816 |
| 6 | 3938 | 18 | 35443 | 40 | 175029 | | |

اگر از روش Quick Decompression استفاده شود، فشار شبکه باید به 6 barg برسد و سپس ولو تست باز شود. علاوه بر استفاده از گیج‌های مختص این‌گونه عملیات‌ها، می-توان با محاسبه حجم کل شبکه، زمان مورد نیاز برای رسیدن به فشار 6 barg را تخمین زد. (توجه شود که عدد 6 barg یک فشار معمول برای این عملیات می‌باشد و حتما باید قبل از انجام این عملیات نسبت به مقاومت خطوط و تجهیزات موجود در شبکه مورد نظر در برابر این فشار اطمینان حاصل نمود؛ در غیر این صورت باید عملیات در فشاری متناسب با حداکثر فشار قابل تحمل شبکه انجام شود).

برای خطوط با سایز بالا به‌دلیل عدم کنترل مناسب Quick Valve و احتمال خطرات زیان بار به‌دلیل حجم قابل توجه هوای خروجی، از Rapture Disk استفاده می‌شود. در محاسبه فشار Rapture Disk باید دقت شود تا انرژی حاصل از آزاد شدن هوای فشرده داخل لوله، سبب آسیب به افراد و تجهیزات مجاور نشود (به‌خاطر اثر Recoil Energy) Recoil Energy اشاره به نیروی جنبشی دارد که در هنگام تخلیه هوا از لوله و درجهت عکس جریان مطابق با قانون سوم نیوتن اعمال می‌شود.

$$K = m \times \frac{V^2}{2}$$

به عنوان یک قانون سر انگشتی، برای خطوط بالای "10 خصوصا در اولین Air Blowing، فشار شبکه نباید به بیشتر از 2-3 barg برسد.

برای اطمینان از تمیزی شبکه بعد از Air Blowing راه‌های زیر که غالبا بر پایه بازرسی چشمی [1] می‌باشند ارائه شده است:

۱- بررسی رنگ هوای خارج شده از لوله بعد از چندین بار Blowing

۲- بررسی قسمت‌های داخلی و در دسترس لوله

۳- استفاده از Target Plate

Target Plate یک صفحه فلزی صیقلی از جنس آلومینیوم یا یک فلز نرم می‌باشد که در انتهای خط برای صحت تمیزی خطوط مخصوصا خطوطی مانند ورودی کمپرسور و توربین بخار و خروجی بخار به شبکه اصلی و ... نصب می‌شود.

محل نصب Target Plate، زاویه قرارگیری نسبت به خط، جنس فلز، تایید تمیزی خط بر اساس تعداد و سایز اثرات مشخص شده روی صفحه، معمولاً توسط توافق صورت گرفته بین نفرات فنی تعیین می‌گردد. به‌طور کل Target Plate در بخش خروجی هوا و معمولاً بعد از چندین بار Blowing نصب می‌شود. بدین ترتیب که با هر بار Blowing، Plate تعویض شده و با دوره قبل مقایسه می‌شود. در این حالت اگر سطح Plate خورده شده و یا حفره حفره شود، بسته به تعداد حفره‌ها و همچنین فاصله بین آن‌ها، عملیات Blowing ادامه و یا خاتمه می‌یابد.

[1]- Visual Inspection

### Steam Blowing -۴ -۴ -۲

در عملیات Steam Blowing به‌دلیل گرم و سرد کردن خط، گرادیان حرارتی آهسته و یکنواختی ایجاد می‌شود که باعث کنده شدن رسوبات و زنگ‌های دیواره لوله می‌گردد.
قبل از انجام این عملیات باید انتهای خط بخار باز شده باشد. توجه به این نکته ضروری است‌که برای معرفی بخار به خطوط بخار، زمانی که خط سرد است، باید از طریق Warm up Line ابتدا توسط جریان کم بخار، خط را گرم نمود تا متریال خط لوله، تحت تنش-های سریع حرارتی قرار نگیرد.
یکی از راه‌های اطمینان از گرم شدن خط بخار عدم خروج میعانات از درین‌ها می‌باشد؛ بنابراین باز بودن کلیه درین‌ها در طول مسیر در زمان گرم کردن [۱] خط الزامی است. پس از حصول اطمینان از خروج کلیه میعانات، باید درین‌ها را بسته و شیر اصلی بخار را برای Steam Out باز نمود. توجه شود که در این روش 60% تا 80% حداکثر Load بویلر کفایت می‌کند.
کلیه Steam Trap ها در این مرحله باید ایزوله باشند و پس از اطمینان از تمیزی خط بخار می‌توان آن‌ها را در سرویس قرار داد. در بخش‌های بعدی نحوه در سرویس قرار دادن Steam Trap ها و انواع آن‌ها به تفصیل شرح داده شده است.
باید توجه شود که نرخ ورود بخار، از خروج میعانات تشکیل شده در طول خط به‌جهت جلوگیری از Water Hammering بیشتر نباشد. البته به‌دلیل باز بودن انتهای خط، احتمال وقوع Water Hammer برای خطوط مستقیم کم می‌باشد؛ اما احتمال حس کردن ضربه‌ها در مناطقی که دارای Elbow و یا Bend می‌باشند، وجود دارد.
با گرم شدن تدریجی خط بخار، نرخ خروج بخار از انتهای لوله نیز باید افزایش یابد. بعد از گرم شدن خط و افزایش نرخ بخار در ابتدای خط، بخار ورودی به خط لوله را قطع می‌کنیم و اجازه داده می‌شود تا خط سرد گردد. تحت این تنش‌های حرارتی گرم و سرد، رسوبات چسبیده به خط کنده شده و خارج می‌گردد. این عملیات باید حداقل سه بار

---

۱- Heating

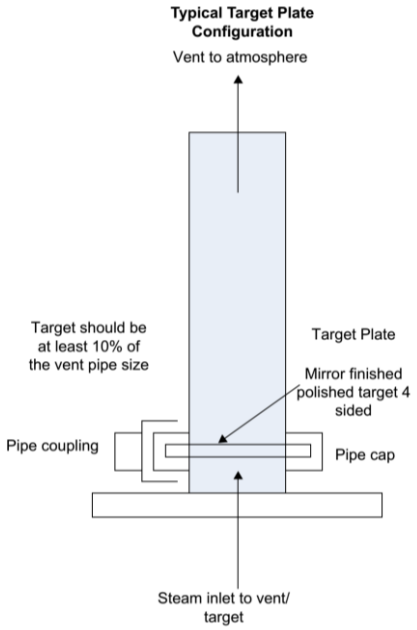
تکرار شود.

کیفیت آب مورد استفاده برای تولید بخار به منظور Steam Blowing باید هم کیفیت آبی باشد که در Normal Operation بویلر، مورد استفاده قرار می‌گیرد و آلکالینه کردن آب با مواد شیمیایی نظیر آمونیوم، هیدرازین یا آمین صورت می‌پذیرد. به عبارت دیگر میزان PH آب باید بیشتر از 9.5 باشد.

به‌دلیل خطر قرار گرفتن انسان در معرض قطرات آب و آلودگی محیط زیست، در طول عملیات Steam Blowing به Boiler Feed Water مواد جامدی مثل هیدروکسید سدیم و تری سدیم فسفات اضافه نمی‌شود. چرا که این مواد در قطرات میعان نشسته و همراه با بخار به محیط پراکنده می‌شوند.

برای اطمینان از تمیزی شبکه در این حالت نیز از Target Plate استفاده می‌شود. اما به این نکته توجه شود که بخار به‌واسطه مرطوب بودن، موجب پدیده Matting یا مات شدگی روی Plate می‌شود و تشخیص تمیزی خط از روی Target Plate را کمی دشوار می‌کند.

به‌طور کلی استاندارد دقیقی برای مشخصه‌های تمیزی یک خط یا شبکه برای تجمیع آنالیز مهندسی در این رابطه وجود ندارد. به عنوان مثال در Steam Blowing خط خروجی از بویلر فازهای ۱۲ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۶، مقرر شد که در Target Plate در بخش‌های 50*50 mm آن، بیشتر از دو حفره به شعاع 0.2 mm دیده نشود.




شکل ۲-۷ نحوه قرارگیری Target Plate

میزان اثربخشی Steam Blowing تحت تأثیر سه فاکتور زیر می‌باشد:

۱- Thermal Shock یا شوک حرارتی باعث انقباض رسوبات چسبنده می‌شود. به‌دلیل سرد کردن سیستم در زمان Cooling، گرادیان دما به حدود 70°C می‌رسد که همین اختلاف دما کافیست تا شوک حرارتی ایجاد شده رسوبات را از دیواره لوله جدا کند. به عنوان یک اصل تجربی باید اشاره شود که برای شوک حرارتی لازم خصوصا در ناحیه اتصالات، دمای فلز باید حداقل به 150°C برسد یا دمای بخار بیشتر از 300°C باشد تا بهترین اثربخشی عامل شوک حرارتی مشاهده گردد.

۲- Removal Force of Steam: میزان خروج اشیاء خارجی مانند گرد و غبار، رسوبات و ... از انتهای شبکه می‌باشد و به سرعت بخار در طول خط بستگی دارد.

۳- Cleaning Force of Steam: تجربه نشان داده است‌که Steam Blowing

تنها زمانی موثر خواهد بود که در سرعتی بالاتر از سرعت بخار در شرایط Full Load انجام پذیرد. سرعت بخار در بویلر و شبکه متصل به آن‌را می‌توان از طریق نسبت جرم به حجم جریان سیال به‌دست آورد. به نسبت جرم به حجم جریان سیال، همان‌طور که در بخش Air Blowing اشاره شد، CFR یا Disturbance Factor گفته می‌شود. بهترین نقطه برای محاسبه CFR خروجی Superheater یا ورودی شبکه بخار سراسری می‌باشد. در این نقطه برای بهترین میزان اثربخشی Steam Blowing، CFR باید بین 1.2 تا 1.7 باشد.

نتیجه نهایی Steam Blowing نیز باید توسط Target Plate بررسی گردد. جنس این فلز همانطور که پیشتر اشاره شد باید از یک فلز نرم باشد که میزان سختی آن 140 HB در دمای اتاق باشد. (HB واحد سختی یک فلز می‌باشد که آزمون سنجش این سختی به آزمون برینل معروف است‌که از راه اندازه‌گیری میزان تو رفتگی ایجاد شده در سطح فلز در اثر پرتاب شدید ساچمه فولادی به‌دست می‌آید.)

در مورد محل نصب Target Plate نظر کارشناسان فنی بسیار مهم می‌باشد. باید توجه نمود که Target Plate نباید در قسمت پایین دست [1] Elbow ها یا بلافاصله بعد از Bend ها قرار گیرد.

به‌طور کل دو مکان برای قرار گیری Target Plate مورد نظر می‌باشد:

نصب در داخل یک Spool موقت

نصب در قسمت خروجی خط بخار

در مورد بخار توجه کنید که حدود دو سوم گرمای کل بخار از تغییر حالت آب در حال جوش به بخار، گرفته شده است. بنابراین زمانی که بخار کندانس می‌شود، دو سوم حرارت کل بخار به جسمی که موجب کندانس شدن بخار می‌شود، منتقل می‌گردد. لذا لزوم رعایت موارد ایمنی چه در مقادیر کم بخار و چه مقادیر زیاد و سرعت بالای خروج بخار،

[1]- Down stream

بسیار ضروری می‌باشد.
برای این عملیات و شاخص‌های قابل قبول آن می‌توان به بخش 8 از NEMA 23 و NEMA 24 مراجعه کرد.

### ۲-۴-۵- Mechanical Cleaning

Mechanical Cleaning به سه دسته Manual Cleaning، Line Pigging و Sand Blasting تقسیم می‌شود:

۱- Manual Cleaning: زمانی که امکان ورود به یک سیستم یا بخشی از یک سیستم باشد (معمولاً خطوط بالای "18)، می‌توان دیواره داخلی لوله‌ها و مخازن را با برس‌های سیمی، جارو برقی و Blower های دستی تمیز نمود. دقت شود که برای لوله‌ها و مخازنی که جنسشان Stailess Steel می‌باشد از هر نوع برس و یا سنگ فرز استفاده نشود. در هر حال Stainless Steel ها به احتمال زیاد رسوب قابل توجه و یا اکسید سطحی ندارند.

۲- Line Pigging: در این روش از Pig و Pig رانی برای تمیز کردن خطوط استفاده می‌شود.

۳- Sand Blasting: برای مخازن بزرگ معمولاً از Sand برای تمیز کردن دیواره داخلی آن‌ها استفاده می‌شود.

### ۲-۴-۶- Reinstatement:

پس از Hydrotest، Flushing و Face cleaning و رفع پانچ‌های A و B، تمام آیتم‌های باز شده باید به‌درستی در جای خود نصب گردند.گسکت کلیه فلنج‌هایی که باز شده بودند باید تعویض گردد. Spring Support ها باید بعد از مرحله Flushing حتما از حالت Lock خارج گردند. Stuffing Box و Packing کلیه ولوهایی که در مسیر Flushing و Blowing بودند، باید بررسی شوند. Expansion Bellows ها باید بر اساس نظر Vendor مربوطه به اندازه کافی آزاد گردد و کلیه Spool ها و Blind های

موقت باید از سیستم جدا گردند.

در نهایت به منظور حفظ تمیزی سیستم‌های Flush شده، باید Preservasion انجام شود. معمولاً بعد از مرحله Drying و Reinstatement، چند بار سیستم را پرج [۱] کرده و تحت فشار مثبت نیتروژن بین 0.2 barg تا 0.5 barg قرار می‌دهند تا مانع از ورود هوا و رطوبت به داخل سیستم شوند.

## ۲ -۵ - فعالیت های پیش راه‌اندازی گروه مکانیک

مهمترین فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه مکانیک در این مرحله بررسی میدانی تجهیزات اعم از مطابقت تجهیز با داده‌های طراحی، نحوه و جهت نصب صحیح بر اساس General Arrangement و Body Drawing، و همین‌طور بررسی سایز نازل‌های تجهیزات ثابت، بررسی محل و اندازه Thermowell ها و مقایسه آن با سایز Leg ترنسمیتر می‌باشد. قبل از عملیات Pre-Box-up باید تاریخچه و اسناد قبلی تجهیز توسط کارشناسان مجرب به دقت مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال مناطقی که در مرحله جوشکاری مورد تعمیر قرار گرفته است، قطعا دارای حساسیت بیشتری در زمان بازرسی می‌باشند. در ادامه گروه مکانیک باید مدارک مربوط به Mechanical Completion، FAT [۲]،راه‌اندازی اولیه و مدارک Preservation تجهیزات را مطابق Purchase Order بررسی کنند.

در ادامه عمده‌ترین فعالیت‌های پیش راه‌اندازی مربوط به گروه مکانیک، به‌طوری که مناسب توسعه دیدگاه یک مهندس فرآیند باشد، توضیح داده شده است:

### ۲- ۵-۱- Pre-Box-up:

کلیه فعالیت‌ها اعم از تمیزکاری داخل و خارج مخازن و تانک‌ها، مطابقت جنس بدنه، شکل و نحوه نصب Tray ها، متریال Nut و Bolt ها، جنس و نحوه نصب Demister

[۱]- Purge

[۲]- Factory Acceptance Tests

ها، Defuser ها و Support ها، Vortex Breaker، جنس Packing، و کلیه تجهیزات داخلی باید به‌درستی با Drawing های مربوط به تجهیز، پیش از Box-Up موقتی بررسی شوند. Pre-Box-up به این دلیل انجام می‌شود که ممکن است مخزن یا تانک مورد نظر در مسیر تست‌هایی مانند Degreasing و ... در زمان راه‌اندازی قرار بگیرد و نیاز به بازرسی مجدد پس از این‌گونه تست‌ها وجود دارد؛ این عملیات برای این‌گونه تجهیزات باید به‌صورت موقتی و با گسکت‌های موقتی انجام شود. فعالیت‌های انجام شده در این مرحله فقط برای بررسی پانچ‌های A می‌باشد که طبق تعریف باید تا قبل از مرحله راه‌اندازی مرتفع شوند.

**۲- ۵- ۲- Alignment**:

این عملیات اشاره به هم‌تراز کردن خط مرکز شفت ماشین [۱] نسبت به خط مرکز شفت موتور [۲] مربوطه دارد، در حالتی‌که تجهیز در حال بهره‌برداری نباشد. این نوع هم‌ترازی که به هم‌ترازی سرد [۳] موسوم است، به‌طور مستقیم مشخص کننده موقعیت نسبی هر دو شفت (شفت Driver و Driven) و اساس Alignment در طول بهره‌برداری می‌باشد. این عملیات معمولاً در دوره ساخت با نام Pre-Alignment انجام می‌گیرد و اصولا نظارت بر این عملیات در این دوره بر عهده گروه پیش راه‌اندازی می‌باشد.

پیش از هم‌ترازی سرد، بررسی پیش نیازهای زیر ضروری می‌باشد:

۱- کلیه عملیات مربوط به پیش راه‌اندازی Piping بر روی خطوط مربوط به تجهیز مورد نظر اعم از اطمینان از درستی مکان و موقعیت نگهدارنده‌های خط مانند Guide ها، Anchor ها و Support ها و Hanger ها باید انجام شده باشد.

---

۱- Driven

۲- Driver

۳- Cold Alignment

۲- اطمینان از نصب Spring Hanger ها و Spring Support ها بر اساس Set Point های از پیش تعیین شده و Lock شدن Spring ها در حالت Cold Load.
۳- بررسی عدم وجود فاصله قابل مشاهده بین لوله و ساپورت‌های ثابت
۴- اتمام عملیات Reinstatement
۵- بررسی Tie Bolt ها در Expansion Joint ها
۶- بررسی Grouting در Base Plate مربوط به تجهیز
۷- اطمینان از محکم بودن Bolt های متصل کننده تجهیز به فونداسیون
۸- اطمینان از عدم چین خوردگی، کثیفی و خراش Shim ها؛ هر چه تعداد Shim های مورد استفاده کمتر باشد بهتر است؛ بنابراین تعویض تعداد زیادی Shim نازک با تعداد کم‌تری Shim ضخیم‌تر بهتر است. (به‌طور قطع استفاده از shim های Stainless Steel مشکلات هم‌ترازی را کاهش می‌دهد)
۹- اطمینان از نصب صحیح و روغنکاری بیرینگ‌ها

هم‌ترازی در تجهیزات دوار هم از لحاظ کاهش هزینه‌های تعمیراتی و هم از نقطه نظر ایمنی تجهیز و حتی بهره‌برداری حائز اهمیت می‌باشد و باید به‌درستی در زمان پیش راه اندازی تجهیزات دوار صورت پذیرد. هم‌ترازی درست منجر به جلوگیری از افزایش دمای بیرینگ‌ها و کوپلینگ، کاهش خرابی‌های بیرینگ‌ها، شفت و کوپلینگ، کاهش ارتعاش و حتی کاهش انرژی مصرفی می‌شود.
بنابراین اگر این عملیات بر روی تجهیزات دوار به هر دلیلی صورت نگیرد، به‌طور قطع مشکلات زیر به‌وجود خواهند آمد:

۱- ارتعاش و به‌دنبال آن ایجاد Noise
۲- خرابی بیرینگ‌ها و Gear ها، Seal ها و کوپلینگ
۳- اعمال بار اضافی به بیرینگ‌ها در هر دو سمت Driver و Driven به‌واسطه کاهش

و یا انقطاع فیلم روغن داخل بیرینگ‌ها و افزایش اصطکاک در آن‌ها

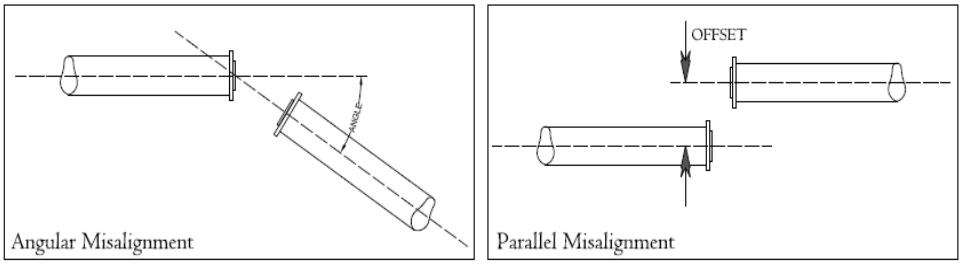
۴- مصرف بیش از حد انرژی (بین 2% تا 17%)

۵- سایش سیل مکانیکی یا Sleeve شفت و تولید گرما در داخل کوپلینگ

۶- کاهش Clearance بین اجزای دوار و ثابت داخلی Driven

با توجه به موارد فوق کاملا مشهود است‌که هم‌ترازی تا چه اندازه اهمیت دارد و در کاهش هزینه‌ها و زمان موثر خواهد بود.

در عملیات هم‌ترازی یک ماشین لازم است‌که خط مرکز هر دو شفت موتور و تجهیز در یک راستا باشند؛ در غیر این صورت دو حالت اصلی غیر هم‌ترازی (Offset) Parallel و Angular مفروض می‌باشد؛ البته حالت سومی هم به نام Skew وجود دارد که به ترکیب دو حالت فوق اشاره دارد.




شکل ۲-۸ حالات غیر هم ترازی

از آن‌جا که حالات فوق در همه جهات امکان‌پذیر می‌باشد، بنابراین هم‌ترازی باید در هر دو صفحه عمود و افق بررسی گردد. علاوه بر سه حالت فوق، حالت دیگری به نام Axial Misalignment نیز وجود دارد که اغلب از آن صرف نظر می‌شود. این حالت معمولاً در اثر Axial Thermal Growth و نیروهای محوری وارده به شفت ایجاد می‌گردد. همچنین در برخی از کوپلینگ‌ها ممکن است نیروهای محوری در اثر گشتاور و سرعت زیاد به شفت وارد شوند. برای تنظیم Axial Dimension یا تنظیم فاصله فلنج‌های متصل شده به کوپلینگ (منظور بدون چرخاندن کوپلینگ) فاصله بین فلنج‌های کوپلینگ در ساعت های 3:00، 6:00، 9:00 و 12:00 توسط کولیس اندازه‌گیری می‌شود و میانگین اعداد به‌دست آمده با محدوده مشخص شده توسط سازنده کوپلینگ (معمولاً بین -0.5 0.6 in) مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

راه‌های تشخیص Misalignment:

۱- ارتعاش بیش از حد Radial و Axial

۲- خرابی مکرر و زود هنگام بیرینگ‌ها، Seal و کوپلینگ

۳- سست شدن المان‌های کوپلینگ

۴- نشتی Seal

۵- سست شدن Bolt های پایه ماشین

۶- داغ شدن کوپلینگ در هنگام کار ماشین

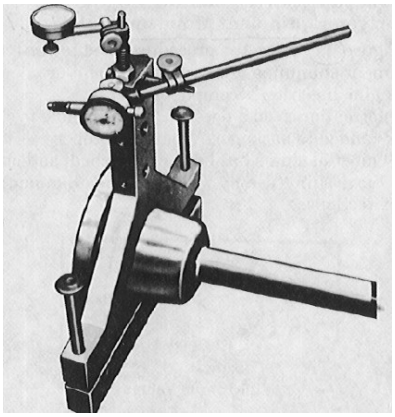
۷- دمای بسیار بالای Casing

از راه‌های علمی بررسی Misalignment نیر می توان به تجزیه و تحلیل طیف‌ها و فازهای ارتعاش و آنالیز ذرات Wear اشاره کرد که بیش از این در این مبحث نمی‌گنجد.

برای انجام هم‌ترازی Parallel و Angular چهار روش زیر امکان‌پذیر می‌باشد:

۱- روش Straight Edge که به‌وسیله Taper Gauge، Feeler Gauge، Twin Wire و یا کولیس انجام می‌شود. مهم‌ترین مشخصه این روش ساده، کم هزینه و سریع بودن آن است‌که برای انجام آن نیازی به ابزار ویژه‌ای نمی‌باشد و کافیست کاربر چشم‌های تیزبینی داشته باشد.

۲- روش Rim & Face که به‌وسیله Dial Indicator انجام می‌گیرد، و پرکاربردترین روش می‌باشد. این روش برای حالتی که فقط امکان چرخش یک شفت به‌صورت دستی می‌باشد نیز به‌کار می‌رود. در این روش Face، مشخص کننده تراز محوری [۱] می‌باشد و Rim تعیین کننده تراز شعاعی[۲]است که در مجموع می‌توان به زاویه و موقعیت یک شفت نسبت به شفت دیگر پی‌برد. نمونه‌ای از دستگاه Dial Indicator در شکل ۲-۹ نشان داده شده است.



شکل ۲-۹ - دستگاه Dial Indicator

۳- روش Reverse Dial Indicator روشی دقیق و مناسب می‌باشد و در آن با استفاده از Dial Indicator، تراز شعاعی دو بار به روش Rim، یک بار برای کوپلینگ و شفت Driven

[۱]- Axial

[۲]- Radial

و یک بار برای Driver اندازه‌گیری می‌شود. زمانی که از Dial Indicator استفاده می‌شود، لازم است‌که اختلاف عدد قرائت شده در موقعیت ساعت 12:00 و موقعیت ساعت 6:00 محاسبه شود. در این حالت دستگاه Dial مطابق با شکل زیر ابتدا روی شفت در موقعیت ساعت 12:00 روی "0" تنظیم می‌شود؛ سپس شفت را چرخانده به‌طوریکه دستگاه Dial در موقعیت ساعت 6:00 قرار گیرد. تفاوت جزیی (در حد 0.005) در این حالت به علت نیروی گرانش که سبب انحراف براکت Indicator می‌شود طبیعی است و باید از آن چشم پوشی کرد. شاخص خوانده شده در ساعت 6:00 همواره باید منفی باشد.

لازم به ذکر است که تفاوت این دو روش در طول Spacer یا همان فاصله دو Coupling hub از هم می‌باشد؛ به این طریق که اگر فاصله دو hub از هم بیشتر از قطر یکی از hub ها باشد، باید از روش Rim & Face استفاده شود.

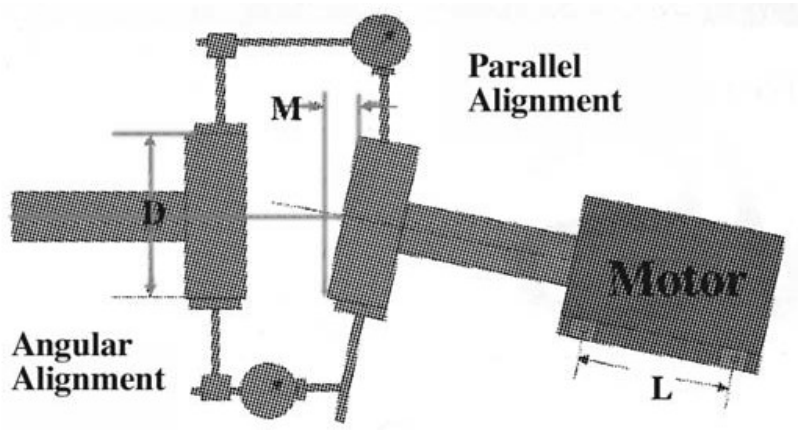



شکل ۲-۱۰ روش Reverse DI

۴- روش Laser که بهترین و دقیق‌ترین روش می‌باشد و در آن هر دو شفت باید با هم چرخانده شوند.

این‌که از کدام روش و در چه زمانی از هر یک از آن‌ها استفاده شود، فقط به میزان اهمیت و حساسیت هم‌ترازی بستگی دارد. از جمله مواردی که مشخص کننده میزان اهمیت هم‌ترازی می‌باشد، می‌توان به سرعت شفت اشاره کرد. بدین صورت که هرچه میزان سرعت شفت بیشتر باشد، درجه حساسیت هم‌ترازی بیشتر می‌شود. به عنوان مثال برای پمپی چهار قطبی با سرعت ثابت 1800 rpm معمولاً به‌خاطر درجه حساسیت پایین‌تر از روش Straight Edge استفاده می‌شود.

زمانی که دقت بالایی برای تراز کردن مد نظر باشد، از روش Dial Indicator استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای پمپی با موتور دو قطبی و سرعت 3600 rpm از این روش استفاده می‌شود. البته برای راحتی کار در این روش، پیش‌تر از طریق Taper Gauge نسبت به هم‌تراز کردن شفت اقدام می‌شود. در شکل ۲-۱۱ این روش نشان داده شده است:




شکل ۲-۱۱ روش Taper Gauge

در شکل فوق، برای اصلاح ناهم‌ترازی angular با توجه به رابطه زیر، میزان جابجایی موتور یا نیاز به Shim مشخص می‌گردد. (بدیهی است برای جابجایی موتور در راستای عمود از Shim استفاده می‌کنند و برای جابجایی موتور در راستای افق، لازم است موتور جابجا شود).

$$S = M \times \frac{L}{D}$$

S: فاصله‌ای که موتور برای تراز شدن باید جابجا شود

M: میزان ناهم‌ترازی بر حسب اینچ

L: فاصله بین پیچ جلویی و عقبی موتور بر حسب اینچ

D: اندازه قطر Coupler بر حسب اینچ

در صورتی‌که نیاز به دقت بالاتر باشد، از روش laser استفاده می‌شود که در این روش منبع لیزر بر روی یک نیمه از کوپلینگ نصب و بر روی نیمه دیگر، deflector را قرار می‌دهند. با چرخش 360 درجه‌ای شفت، میزان ناهم‌ترازی مشخص می‌گردد. معمولاً این داده‌ها به یک پردازشگر فرستاده می‌شوند و محاسبات مربوط به میزان هم‌ترازی و تعداد shim ها و میزان جابجایی موتور برای هم‌تراز شدن را پردازشگر تعیین می‌نماید. تنها ضعف این روش قیمت بالای این دستگاه می‌باشد.

نکته: توجه به Indicator Sag (میزان انحراف و خمیدگی ابزار نگهدارنده Indicator ها) و برطرف کردن و یا لحاظ آن در هم‌ترازی، باعث بالا بردن ضریب اطمینان سنسور و در نتیجه هم‌ترازی بهتر می‌شود.

**مراحل Alignment:**

۱- اطمینان از بی‌برق بودن ماشین و بررسی Coupling Hub و یا شفت از لحاظ Runout

Runout باید قبل از Pre-Alignment بررسی شود. اصولا Runout در سه حالت کلی زیر بررسی می‌شود:

- چنان‌چه Coupling hub و شفت هم مرکز نباشند
- شفت خمیده باشد
- اریب بودن Coupling hub نسبت به شفت

جدول زیر مقدار پیشنهادی قابل قبول و تجربی، برای بررسی Runout بر اساس سرعت چرخش شفت می‌باشد:

جدول ۲-۵ میزان Runout بر اساس سرعت چرخش

| Speed (RPM) | Maximum Allowable Total Indicated Runout (T.I.R) |
|---|---|
| 0-1800 | 4 Mils |
| 1800-3600 | 2 Mils |
| 3600 and Up | Less than 2 Mils |

۲- بررسی فونداسیون و baseplate و همچنین بررسی بیرینگ‌ها از لحاظ لقی و سست بودن

۳- بررسی چشمی شرایط هم‌محوری شفت‌ها نسبت به محور چرخش

۴- بررسی Soft Foot: بررسی پایه‌های ماشین از لحاظ کوتاهی، بلندی و کج بودن، زنگ‌زدگی و پیچ‌خوردگی Bolt های پایه

۵- بررسی Indicator SAG

۶- بررسی Coupling Gap و بررسی Axial Thermal Growth و Offset Thermal Growth

۷- حذف فشارهای وارده از طرف سیستم لوله‌کشی

۸- تراز تقریبی ماشین و سفت کردن Bolt های پایه

۹- اندازه‌گیری دقیق موقعیت شفت با استفاده از سنسورهایی مانند Dial Indicator، Laser، Proxy Probes و غیره. از اطلاعات به‌دست آمده تعیین کنید آیا ماشین در حد قابل قبول تراز می‌باشد یا خیر؟

۱۰- اگر ماشین در حد قابل قبول تراز نباشد، ابتدا موقعیت فعلی خط هم‌محوری چرخش ماشین را تعیین و سپس هرگونه محدودیت حرکتی روی ماشین را بررسی کنید و مشخص نمایید ماشین در کدام جهت و چه میزان باید جابجا شود و در نهایت ماشین را در جهت‌های عمودی، جانبی و محوری در صورت لزوم جابجا و مطابق بند ۹-۷ عمل کنید و زمانی‌که به محدوده تراز قابل قبول رسیدید، موقعیت هم‌ترازی نهایی

و تعداد Shim های استفاده شده را ثبت کنید (بهتر است از Shim های استیل و یا برنجی استفاده شود) و در صورت وجود Jack Screw، آن‌ها را در موقعیت نهایی خود ثابت نگه دارید.

۱۱- کوپلینگ و در نهایت Coupling Guard را نصب کنید

۱۲- ماشین را در شرایط عملیاتی در صورت امکان تست کنید [۱] و سطح Vibration، دمای بیرینگ‌ها و بقیه پارامترهای مرتبط عملیاتی ماشین را بررسی کنید.

در جدول زیر تلرانس‌های پیشنهادی و قابل قبول برای Alignment ارائه شده است:

جدول ۲-۶ تلرانس های پیشنهادی Alignment بر اساس سرعت چرخش شفت

| **Speed (RPM)** | **Offset (mm)** | **Angular(mm/100mm)** |
|---|---|---|
| 0-1000 | 0/13 | 0/10 |
| 1000-2000 | 0/10 | 0/08 |
| 2000-3000 | 0/07 | 0/07 |
| 3000-4000 | 0/05 | 0/06 |
| 4000-5000 | 0/03 | 0/05 |
| 5000-6000 | less than 0/03 | 0/04 |

[۱] - Mechanical Run Test

### هم‌ترازی گرم (Hot Alignment)

این عملیات در صورت لزوم و در مرحله راه‌اندازی و پیش از مرحله استارت‌آپ انجام می‌گیرد. اما با توجه به پیوستگی مطالب در این‌جا توضیح داده شده است.

اولین سوالی که در این‌جا پیش می‌آید این است‌که آیا ماشین زمانی که به سرعت و دمای عملیاتی برسد، باز هم تراز خود را حفظ خواهد کرد؟

اندازه‌گیری تغییرات شفت (افزایش قطر، انبساط طولی و هم‌ترازی اجزاء) به‌جهت تغییر در دمای ماشین در زمان کارکرد آن و یا بلافاصله بعد از کارکرد آن و آنالیز داده‌ها، می‌تواند منجر به انجام Hot Alignment شود. هم‌ترازی گرم به‌طور معمول برای همه ماشین‌ها انجام نمی‌گیرد و داده‌های به‌دست آمده در طول Mechanical Run Test ماشین باید آنالیز شوند.

همان‌طور که گفته شد، شرایط هم‌ترازی ماشین در حال کار می‌تواند تغییر کند که عمده دلایل این تغییرات عبارت است از:

۱- Thermal Growth

۲- انبساط حرارتی ساپورت بیرینگ‌ها

۳- تغییر در نیروهای شعاعی و محوری

۴- تغییر ضخامت لایه روغن در بیرینگ‌ها

۵- تغییر در فونداسیون یا ساپورت‌های Baseplate

۶- تغییر در نیروهای وارده از طرف سیستم لوله‌کشی (زمانی بر هم‌ترازی تاثیر می‌گذارد که Driver ماشین جابجا شود)

۷- Coupling Gap: باید مطابق آن‌چه سازنده قید کرده است باشد، چرا که میزان انبساط حرارتی محوری را در آن در نظر گرفته است.

بنابراین هم‌ترازی سرد لزوما شرط تراز پایانی ماشین نمی‌باشد.

معمولا مشخصات لازم برای هم‌ترازی سرد را شرکت سازنده ارائه می‌دهد و می‌توان Thermal Growth را در زمان هم‌ترازی سرد در نظر گرفت. با این‌حال برای محاسبه Offset Thermal Growth فرمول زیر می‌تواند کاربرد داشته باشد:

$$Dl = L.c.Dt$$

Dl = انبساط حرارتی

L= فاصله مرکز شفت تا پایه ماشین

C= ضریب انبساط حرارتی شفت

Dt= اختلاف دمای شفت در سرعت عملیاتی با دمای محیط

**۲- ۶- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه فرآیند**

با توجه به توسعه طراحی Plant، بررسی‌های کلیدی توسط گروه فرآیند در ادامه بررسی-های یاد شده در فصل اول انجام می‌شود. این بررسی‌ها به‌طور معمول شامل: بررسی Layout، بررسی P&ID، بررسی 3D Model، بررسی Isometric، بررسی و ارزیابی خطر در دوره ساخت [۱] و HAZOP می‌باشد. به‌علاوه گروه فرآیند باید در طی عملیات نصب تجهیزات و بررسی میدانی آن‌ها به همراه گروه مکانیک شرکت داشته باشد و مشکلات مورد انتظار را با دید راه‌اندازی و عملیاتی پیش‌بینی کند. نمونه‌ای از این مشکلات و بررسی‌ها به قرار زیر می‌باشد:

۱ - بررسی مطلوب بودن Drain ها و Vent های تجهیز از لحاظ سایز و موقعیت قرارگیری

۲- بررسی Isolation ها به منظور عملیات تعمیراتی از نقطه نظر کفایت و دسترسی

[۱]- HAZCON

۳- مطالعه و درک کامل سیستم‌های Interlock مکانیکی و کاربرد آن‌ها در فرآیند
۴- بررسی تعداد و موقعیت Utility Station ها و تجهیزات ایمنی نظیر Safety Shower ها و Fire Extinguisher ها بر اساس layout
۵- بررسی عدم وجود محدودیت برای خروجی‌های اضطراری از واحدها بر اساس Layout
۶- بررسی موقعیت راه پله‌ها و Ladder ها و دسترس‌پذیری به Isolation Valve های اصلی
۷- بررسی کنترل‌پذیری سیستم‌های کنترل در بهره‌برداری نرمال و در Turndown
۸- بررسی امکان ایزوله کردن تجهیزات ابزاردقیق برای انجام کارهای تعمیراتی
۹- بررسی وجود Bypass به منظور کارهای تعمیراتی و بازرسی‌های دوره‌ای
۱۰- بررسی Failure کنترل ولوها و جانمایی درست هوای ابزاردقیق
۱۱- بررسی موقعیت و شیوه کار آنالایزرها
۱۲- بررسی سیستم‌های Shutdown (اضطراری و برنامه‌ریزی شده)
۱۳- بررسی نحوه ایزوله کردن کل سیستم و موقعیت و نوع Vent ها و Drain ها
۱۴- بررسی تجهیزات Relief و هم‌خوانی فلسفه آن با فرآیند سیستم
۱۵- بررسی Line Number های اشاره شده در P&ID و مطابقت آن با الزامات طراحی
۱۶- بررسی صحت مراجع بین صفحه‌ای اشاره شده در P&ID
۱۷- بررسی مشخص بودن فصل مشترک بین مکانیک و ابزاردقیق در P&ID
۱۸- بررسی صحت حلقه‌های ESD
۱۹- بررسی تطابق مدارهای کنترلی و ESD
۲۰- بررسی جداول اطلاعات تجهیزات و اطمینان از کامل بودن آن‌ها
۲۱- مطابقت P&ID ها و Isometric های مربوطه
۲۲- بررسی Alarm ها و اقدامات لازم پس از آن‌ها: این بررسی مبنای کار مهندسین

فرآیند با دید راه‌اندازی و بهره‌برداری برای ارزیابی هرگونه Alarm، موارد فعال کننده آن‌ها و اقداماتی که لازم است اپراتورها بعد از آن انجام دهند، می‌باشد. این کار برای کسب تجربه عملیاتی اولیه بسیار مفید خواهد بود. این فرآیند دو مزیت دارد: اول این‌که دسته‌بندی Alarm ها و اقدامات لازم پس از آن به شکل یک مدرک، برای مدیریت روند کار در اتاق کنترل بسیار مفید خواهد بود. دوم این‌که این بررسی به خودی خود به شناسایی و از بین بردن Alarm های مزاحم که دارای اولویت پایین می‌باشند و اغلب در سیستم کنترل بی‌جهت هشدار می‌دهند مناسب می‌باشد.

۲۳- مستند سازی کلیه الزامات راه‌اندازی مطابق با استانداردهای پروژه و راهبرد گروه‌های ساخت بر اساس اولویت‌های راه‌اندازی و بهره‌برداری

۲۴- بررسی Operating Manual ها از نظر کامل بودن و کاربردی بودن آن‌ها

۲۵- بررسی و تسهیل روند Check List ها و Test Sheet ها و ثبت در سیستم‌های کارآمدی نظیر ICAPS

۲۶- کمک به تدوین برنامه‌های پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ

۲۷- تهیه کلیه دستورالعمل‌های مورد نیاز در فازهای پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی ، استارت‌آپ و Shutdown به همراه گروه‌های مرتبط

۲۸- مرور مدارک تولید شده و ارائه توصیه‌هایی در مورد قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداشت تجهیزات و نظارت بر روند Preservation

۲۹- بررسی و تحلیل Punch های ثبت شده گروه‌های مختلف و مشخص کردن حداقل نیازمندی‌ها برای ورود به فاز راه‌اندازی

۳۰ - تهیه Punch در صورتی که تکمیل مکانیکی یک سیستم به 80% رسیده باشد، برای شناسایی عدم انطباق‌های بین ساخت و P&ID جهت کمک به گروه ساخت باید صورت گیرد تا نقاطی که نیاز به اصلاح دارند را شناسایی و به گروه ساخت اعلام و پیگیری کنند.

دیدگاه مهندسین فرآیند در این دوره باید به گونه‌ای باشد که حداقل سوالات زیر را در بررسی‌ها و بازرسی‌های خود لحاظ کنند:

۱- آیا همه موارد ایمنی برای انجام فعالیت‌های ساخت و پیش راه‌اندازی مهیا شده است؟
۲- آیا تجهیز را جهت انجام فعالیت‌های تعمیراتی در زمان بهره‌برداری می‌توان آماده کرد؟
۳- آیا تجهیز قابلیت ایزوله شدن دارد؟
۴- آیا موارد لازم برای راه‌اندازی اولیه و فعالیت‌های پیش راه‌اندازی مهیا می‌باشند؟
۵- آیا تجهیزات ابزاردقیق به منظور راه‌اندازی بهتر و ایمن‌تر وجود دارند؟
۶- آیا لوپ‌های کنترلی در نظر گرفته شده کامل می‌باشند و باعث بروز مشکلات بالقوه در زمان بهره‌برداری نمی‌شوند؟
۷- آیا Vacuum Breaker برای نقاطی که احتمال ایجاد Siphone می‌رود در نظر گرفته شده است؟
۸- آیا سهولت انجام فعالیت‌های راه‌اندازی اعم از Leak Test در نظر گرفته شده است؟

## ۲- ۷- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه HVAC

۱- بررسی شرایط تجهیزات و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)
۲- تمیزکاری و انجام Leak تست Ductwork ها که معمولا با نور انجام می‌شود
۳- بررسی هم‌ترازی فن‌ها و موتورها و درایورها
۴- بررسی صحت Tension در درایورها
۵- بررسی چرخش آزادانه موتورها و فن ها به‌صورت دستی

۶- بررسی نصب صحیح Anti-Vibration Mounting
۷- اطمینان از صحت نصب Sealing Compound مربوط به Fire Damper ها
۸- اطمینان از صحت عمل‌کرد Linkage ها و Blade های Damper ها
۹- اطمینان از صحت جهت جریان هوا در Preheater ها

## ۲- ۸- فعالیت‌های پیش راه‌اندازی گروه Telecommunication

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)
۲- اطمینان از صحت نصب تجهیزات EX در محل‌های دقیق طبقه بندی شده
۳- بررسی اتصال آنتن‌ها، فیدرها، Radio Transceiver ها و کلیه ادوات وابسته
۴- بررسی نحوه عمل‌کرد دوربین‌ها و تجهیزات Pan-and-Tilt

## ۲ – ۹- بررسی میدانی تجهیزات

**۲- ۹- ۱- Air Fin Cooler:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- تمیزکاری اطراف Fin ها و اطمینان از تمیزی و عدم وجود آشغال در داخل Hood

۳- هم‌تراز کردن فن و Driver، تنظیم V-belt و بررسی Ring Clearance در فن

**۲- ۹- ۲- Furnace, Duct Work and Stacks:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- انجام و نظارت بر تست Hydrostatic مربوط به Coil های Furnace

۳- خارج کردن آب مربوط به هیدروتست و خشک کردن Coil ها

**۲- ۹- ۳- Vessels, Towers, Reactors and Drums:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- نصب Internal ها و انجام تست نشتی سینی برج ها

۳- تمیزکاری داخل این تجهیزات (خصوصا بررسی تمیزی سینی‌ها و ولوهای آن و آزادی عمل‌کرد ولوها)

۴- Box-up (موقت یا دائم با توجه به قرارگیری تجهیز در مراحل تست گروه فرآیند، یا نیاز به بازدید مجدد)

۵- بررسی آب‌بندی ناودان (بررسی فاصله بین لبه پایینی ناودان با سینی زیرین)؛ برای تضمین آب‌بندی ناودان، لبه پایینی ناودان باید ۰,۵ اینچ از لبه بالایی weir

پایین‌تر باشد.

**۲- ۹- ۴- Tankage:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- نصب متعلقات داخلی و خارجی مربوطه مانند Flame Arrestor و ...

۳- انجام تست هیدرواستاتیک، خشک کردن و تمیزکاری داخلی تانک در صورت لزوم

۴- Final Inspection و Box Up

**۲- ۹- ۵- Shell and Tube Exchanger:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

**۲- ۹- ۶- پمپ ها:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- تنظیم و هم‌ترازی سرد پمپ و Driver

۳- کوپل کردن پمپ و درایور به هم

۴- بررسی Coupling Guard

۵- نصب Strainer موقت (نصب مش در Strainer)

۶- اطمینان از صحت نصب و Tight بودن Piston Seal Packing در صورت وجود

۷- اطمینان از صحت نصب، مناسب بودن اتصالات و شارژ بودن Dampener در صورت وجود روی خط خروجی

**۲- ۹- ۷- Gas Turbines, Compressors and Expanders:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- Flange Paralle و هم‌ترازی سرد

۳- Oil Flushing (در فصل ۳ توضیح داده شده است)

۴- Oil Charging و برق‌دار کردن سیستم گردش روغن به منظور گردش دوره‌ای سیستم

**۲- ۹- ۸- Diesel Engine:**

۱- بررسی شرایط تجهیز و نظارت بر نحوه نصب مطابق با Drawing ها و دستورالعمل شرکت سازنده (از وظایف گروه مکانیک)

۲- هم‌ترازی سرد

۳- Oil Flushing and Charging و برق‌دار کردن سیستم گردش روغن به منظور گردش دوره‌ای سیستم

# فــصل ســوم

# راه‌انــدازی[1]

[1]-Commissioning

### ۳ – ۱ -مقدمه

بعد از انجام عملیات پیش راه‌اندازی، عملیات راه‌اندازی آغاز می‌شود. البته این بدان معنا نیست که در یک واحد صنعتی، برای انجام عملیات راه‌اندازی در انتظار پایان یافتن کامل پیش راه‌اندازی کل یک واحد باشیم و چنان‌چه با پایان یافتن عملیات پیش راه‌اندازی یک ساب‌سیستم شرایط انجام عملیات راه‌اندازی فراهم شود، عملیات راه‌اندازی به‌صورت موازی با سایر فعالیت‌های پیش راه‌اندازی در سایر ساب‌سیستم‌ها قابل اجرا می‌باشد. در این فصل ابتدا به فعالیت‌های عمومی در مبحث راه‌اندازی پرداخته می‌شود و سپس فعالیت های هریک از گروه‌های کاری، به‌طوری که مناسب با دیدگاه یک مهندس فرآیند باشد به تفصیل شرح داده خواهد شد. از آن‌جا که پمپ‌ها و کمپرسورها از نقطه نظر بهره‌برداری و پایداری تولید، جزء حساس‌ترین تجهیزات موجود در واحدهای صنعتی می‌باشند، سعی شده است‌که کاستی‌های موجود در این بخش‌ها بیشتر بررسی شود.

فعالیت‌های اجرایی راه‌اندازی یک واحد صنعتی در نگاهی جامع شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- نظارت بر پیش‌راه‌اندازی؛ شامل نظارت بر فعالیت‌های کلیدی پیش راه‌اندازی مانند:

- نظارت بر تنظیمات مربوط به PSV ها
- نظارت بر فعالیت‌های فلاشینگ و تمیزکاری خطوط
- نظارت بر هم‌ترازی سرد تجهیزات دوار
- نظارت بر تعیین تنظیمات مربوط به رله‌های محافظتی گروه الکتریکال
- نظارت بر کالیبره کردن تجهیزات ابزاردقیق و ...

۲- Preliminary Check: این فعالیت به عنوان اولین فعالیت اصلی مرحله راه‌اندازی در سایت می‌باشد که در واقع بعد از پایان پیش راه‌اندازی هر ساب‌سیستم و برای تایید مدرک

RFC[1] صورت می‌گیرد. مراحل این بررسی عبارتند از:

- تایید انجام کلیه فعالیت‌های پیش راه‌اندازی از طریق Test Sheet ها و Check List های موجود
- بررسی As-built Drawing ها
- بازرسی کلیه تجهیزات ساب‌سیستم(های) مورد نظر و مطابقت با مدارک مربوط به آن‌ها به‌صورت چشمی(در این مورد نیازی به باز کردن تجهیزات نیست مگر در مواردی که نوع گسکت قابل تشخیص نباشد).
- مشخص کردن و ثبت Punch ها

۳- Functional Tests: این تست جهت بررسی عمل‌کرد صحیح تجهیزات از منظر ابزاردقیق، برق و Telecommunication انجام می‌شود. Basic Function کوچک‌ترین آیتم از یک تجهیز در یک واحد صنعتی می‌باشد که بتوان آن را با دو دیدگاه مستقل running in normal operation و Energization مورد تست قرار داد. در این تعریف Functional Test، انجام بازرسی عمل‌کرد بر روی Basic Function یک تجهیز می‌باشد.

۴- فعالیت‌های پیش از استارت‌آپ: این فعالیت‌ها قبل از انجام Operational Test و یا وارد کردن خوراک به واحد صنعتی، بر روی خطوط و مخازن انجام می‌گیرد که به مجموع این فعالیت‌ها، فعالیت‌های پیش از استارت‌آپ می‌گویند. این فعالیت‌ها شامل موارد زیر می‌باشند که در بخش مربوطه هر کدام به تفصیل توضیح داده شده است.

- تست نشتی[2]: تست فشار برای اطمینان از عدم نشتی انجام می‌شود.

[1] -Ready For Commissioning

[2]- Leak Test

- تمیزکاری شیمیایی[۱]: شامل فعالیت‌های Degreasing, Pickling, Passivation می‌باشد که برای خطوط و تجهیزاتی که نیاز به درجه بالایی از تمیزی دارند (مثل مسیر ورودی و خروجی کمپرسورها) یا نیاز به مراقبت ویژه جهت پیشگیری از خوردگی دارند، کاربرد دارد.
- خشک کردن[۲]: این عملیات در جهت حذف آب و رطوبت از تجهیزات تا رسیدن به نقطه‌ی شبنم آب مورد نظر انجام می‌شود. این عملیات بر روی تمام تجهیزاتی که داخل آن‌ها با Refractory پوشیده شده باشد و همچنین تاسیساتی که برای دماهای پایین طراحی شده‌اند، به‌جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات انجام می‌شود.
- پر کردن مخازن با پکینگ و مواد شیمیایی یا کاتالیست‌ها[۳]: در این عملیات، مخازن با پکینگ و مواد شیمیایی یا کاتالیست‌ها پر می‌شوند.
- حذف اکسیژن با استفاده از یک گاز بی‌اثر[۴]: در این عملیات برای حذف اکسیژن از کلیه خطوط و مخازنی که اغلب با هیدروکربن‌ها در تماس می‌باشند، از یک گاز بی‌اثر مثل نیتروژن استفاده می‌شود.

۵- Operational Test: این عملیات بعد از انجام Functional Test و کلیه فعالیت‌های قبل از استارت‌آپ بر روی یک ساب‌سیستم با هدف تایید کارکرد درست تجهیزات اصلی از لحاظ مکانیکی و کل ساب‌سیستم از لحاظ عملیاتی صورت می‌گیرد.

---

۱-Chemical Cleaning

۲-Dry-out

۳-Chemical/Catalyst Loading

۴-Inerting

۶- فعالیت‌های پشتیبانی:[1] این عملیات فقط در زمینه تهیه و رفع پانچ‌هایی که مانع از انجام عملیات استارت‌آپ می‌شوند، فنی بوده و سایر موارد این بخش اعم از Logestic و تامین مواد و ... خارج از حوصله این کتاب می‌باشد.
در یک دسته‌بندی جامع، راه‌اندازی را می‌توان به دو دسته Dry Commissioning و Wet Commissioning تقسیم کرد.

۱ - Dry Commissioning

چنان‌چه تست‌ها و فعالیت‌های راه‌اندازی در حالی انجام شوند که هیچ ماده شیمیایی وارد فرآیند نشود؛ مانند تست Interlock ها، Emergency Shutdown ها، بررسی توالی سیستم‌های کنترل، استارت اولیه موتورهای اصلی در حالی‌که به Driven کوپل نشده اند و ...

۲- Wet Commissioning

چنان‌چه تست‌ها و فعالیت‌های راه‌اندازی با آب و برخی از مواد شیمیایی ایمن انجام گردد به‌طوری که مشابه مشخصات عملیاتی یا نزدیک به آن باشد. مانند MRT پمپ‌ها.

در هر واحد صنعتی، راه‌اندازی باید بر اساس و ترتیب اولویت‌ها صورت پذیرد به‌طوری که برای راه‌اندازی هر بخش، واحدهای تامین کننده و تاسیسات جانبی آن پیشتر راه‌اندازی شوند و همین طور برای تجهیزات باید توالی راه‌اندازی آیتم‌های آن برای راه‌اندازی رعایت شود. جدول ۳ -۱ اولویت‌های عام راه‌اندازی واحدهای صنعتی را نشان می‌دهد.

[1]-Support Activities

جدول ۳ -۱ اولویت بندی راه‌اندازی در واحدهای صنعتی

| Priority | Category/Service | Description |
|---|---|---|
| ***Power and Lighting System*** | | |
| 1 | Lights | Plant Lights |
| 2 | MCC/Power | General Power Supply to Plant and MCC Room |
| ***Control Systems and Dtata Highways*** | | |
| 3 | DCS | DCS and Operator Interfaces |
| 4 | PLC | PLC and Operator Interfaces |
| 5 | Devicenet/Controlnet/Ethernet | Various PLC Communication Systems |
| ***Utilities*** | | |
| 6 | IA | Instrument Air |
| 7 | FW | Fire Water System |
| 8 | GP Air | General Purpose Air |
| 9 | SW | Shower Water System |
| 10 | Pot. Water | Potable Water System |
| 11 | WM | Utility Water Main Supply |
| 12 | Seal W | Seal Water Supply System |
| 13 | CW | Cooling Water System |
| 14 | STM | Steam |
| 15 | Cond. | Condensate System |
| 16 | Nit. | Nitrogen |
| 17 | Hot Oil | Hot Oil Circulation System |
| 18 | Fridge | Refrigeration System |
| 19 | Cond. Store | Condensate Storage System |
| 20 | Acid Store | By-Product Acid Storage System |
| 21 | OOS Prod. Store | Out Of Specification Product Storage System |
| 22 | Prod. Store | Product Storage System |
| ***Core Process System*** | | |
| 23 | Prod. Trans. | Product Transfer System |
| 24 | Prod. Pol/ | Product Polishing System |
| 25 | Prod. Dist. | Product Distillation System |
| 26 | Prod. Scrubb. | Product Scrubbing System |
| 27 | RS | Reaction System |
| 28 | Feed A | Reactor Feed A |
| 29 | Feed B | Reactor Feed B |

| Priority | Category/Service | Description |
|---|---|---|
| ***Raw Material Feed System*** | | |
| 30 | Feed A | Feed A system |
| 31 | Feed B | Feed B system |
| ***Raw Material Storage System*** | | |
| 32 | A Store | Feed A Storage System |
| 33 | B Store | Feed B Storage System |

## ۳ -۲- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه برق

پس از انجام فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، بررسی‌هایی جهت راه‌اندازی تجهیزات گروه برق مورد نیاز است‌که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

### ۳- ۲ -۱ Preliminary Check

۱- بررسی مدارک مربوط به فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی و اطمینان از وجود As built مدارک

۲- بررسی سلامت موتورها، ترانسفورماتورها و Switchboardها و ژنراتورها و ... از لحاظ مکانیکی

۳- مطابقت تابلو مشخصات موتور و ... با Datasheet مربوط به آن

۴- بررسی صحت عمل‌کرد و مناسب بودن محل نصب دکمه روشن/خاموش در سایت بر روی LCP[۱] / UCP[۲] و بررسی شاخص Overload، در صورت وجود نشانگر آمپر روی LCP

۵- بررسی سطح روغن و میزان گریس موتور

۶- بررسی چشمی جعبه ترمینال و کابل ارت موتور و ... و نیز صحت نصب سیستم Pressurization در صورت وجود

[۱]-Local Control Panel

[۲]-Unit Control Panel

۷- بررسی سطح سیال موجود در ترانسفورماتورها و اطمینان از عدم نشتی آن
۸- بررسی موقعیت کلید تپ چنجر و قفل آن و شرایط رطوبت‌گیر[۱] در صورت وجود
۹- در Switchboard ها، اطمینان از سلامت Cubicle هر سیستم و بررسی سیستم ارت آن و اطمینان از نصب بودن هیتر Anti-Condensation
۱۰- در Switchboard ها ، اطمینان از درستی اتصال کابل‌ها در باسبارها[۲] با استفاده از Spot Check . (در این حالت لازم است Cover Plate جدا شود)
۱۱- در ژنراتورها، ثبت شماره کابل‌های HV و بررسی سیستم‌های خنک‌کننده و نصب هیتر.
۱۲- در Lighting ها اعم از نرمال و اضطراری، بررسی جهت و محل نصب، سیستم ارت و محل نصب آن‌ها خصوصاً روی Level guage ها.

### ۳- ۲- ۲- Energizing and Functional Test

هدف از این تست، بررسی عمل‌کرد تجهیزات با برق‌دار کردن[۳] و همچنین اطمینان از توانایی تجهیز برای برق‌دار شدن در شرایط ایمن و آمادگی برای انجام OT می‌باشد.
Functional Test شامل تست‌های مربوط به Electrical Protection ها، Interlock ها و Interface های تجهیز با سایر تجهیزات می‌باشد. برای این تست‌ها الزاماً برق‌دار کردن تجهیز ضروری نمی‌باشد. در این تست‌ها ضرورت توجه به دو نکته زیر الزامی می‌باشد:
نکته اول این‌که تست High Voltage باعث کاهش طول عمر تجهیز می‌شود؛ لذا انجام

---

[۱]-Desiccant

[۲]-Busbar

[۳]-Energizing

بی‌جهت آن توصیه نمی‌شود و نکته دوم این‌که در همه تست‌ها، قبل از برق‌دار کردن تجهیز، باید از ارت بودن آن اطمینان حاصل کرد.

جدول ۳-۲ لیست Function های برق و تست های Functional مرتبط

| | Electrical Basic Function | Electrical Functional Test Description |
|---|---|---|
| 1 | Power generator | HV generator |
| | | LV generator |
| 2 | UPS System | Instrument UPS |
| | | Other UPS |
| 3 | DC Systems | Dual Charger |
| | | Single Charger |
| 4 | Switchboard MCC | HV. Two incomers and bus section without auto transfer scheme |
| | | HV. Two incomers and bus section with auto transfer scheme |
| | | LV. One incomer (Bus duct connected) no bus section |
| | | LV. One incomer (cable connected) no bus section |
| | | Direct connected single Feeder, no bus section. Two sections per board |
| | | Direct connected single Feeder, no bus section. One section per board |
| | | LV. Three incomers and no bus section. |
| | | LV. Two incomers and bus section with auto transfer scheme (cable connected) |
| | | Emergency Load Centre |
| 5 | HV and earthing transformer | HV to LV transformer |
| | | Earthing transformer |
| | | Electrostatic Treater transformer |
| 6 | Distribution board | Distribution board transformer feed |
| | | Distribution board cable feed from distribution board |
| | | Distribution board (Trace Heating) |
| 7 | Electrical motor HV and LV | HV motor circuit breaker feed |
| | | HV motor contactor feed |
| | | LV motor above 20 kW |
| | | LV motor below 20 kW |
| | | DC motor |
| 8 | Heater | Directly fed from MCC or distribution board |

| | Electrical Basic Function | Electrical Functional Test Description |
|---|---|---|
| | | Controlled via step controller or Thryristor controlled |
| 9 | Lighting and small power | Lighting and small power (by distribution board) |
| | | Trace Heating (by circuit) |
| 10 | Trace heating | - |
| 11 | Panel associated feeder | - |
| 12 | Hoist | - |
| 13 | Pedestal Crane | - |
| 14 | Power earthing loop | - |
| 15 | PDC display | - |
| 16 | Cathodic Protection | - |

در این بخش فعالیت‌های راه‌اندازی مربوط به ترانسفورماتورها، سیستم‌های UPS، موتورهای القایی و سوئیچ‌گیر[1]ها توضیح داده شده است:

**۳- ۲- ۲- ۱- ترانسفورماتورها:**

۱- بررسی لیست فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی ترانسفورماتور که پیشتر در فاز مربوطه انجام شده است.

۲- تمیز نمودن ترانسفورماتور از گرد و غبار

۳- بررسی عمل‌کرد رله‌های بوخهولتس[2] وشیر فشارناگهانی و همچنین ارسال سیگنال آلارم و تریپ برای مدار حفاظتی با برق‌دار نمودن مدار کنترلی و تحریک میکروسویچ‌ها

۴- بررسی وضعیت سیلیکاژل که در حالت نرمال و سالم به رنگ آبی تیره می‌باشد و تعویض و یا احیای آن در صورت تغییر رنگ بیش از دو سوم آن

[1]-Swich Gear

[2]-Buchholtz

۵- بررسی عمل‌کرد سیستم کنترل فن‌ها با توجه به دمای مشخص شده در ترمومتر روغن

۶- اطمینان از باز بودن شیرهای پروانه‌ای نصب شده بر روی رادیاتورها

۷- موارد لازم برای بررسی مخزن روغن و تست روغن ترانس عبارت است از:

- اطمینان از ارت بودن تانک و رعایت شدن فواصل عایقی سیم‌پیچ MV به LV، سیم پیچ MV و LV به زمین.
- Crackle Test برای مشخص شدن میزان بخارات آب در روغن مطابق با استاندارد IEC 60422
- تست فشار برای تعیین میزان مقاومت شکست روغن
- تعیین میزان خاصیت اسیدی روغن
- انجام عملیات Drying Out (در صورت نیاز)
- سیستم روغن، پمپ خنک‌کاری و فن‌ها باید از لحاظ عمل‌کرد تست شوند.

(این تست‌ها در صورت امکان بهتر است در زمان پیش راه‌اندازی انجام گیرد).

۸- در آخر سیستم‌های حفاظتی ترانسفورماتورها باید بررسی و از عمل‌کرد آن‌ها در صورت نیاز اطمینان حاصل شود. این سیستم‌ها عبارت است از:

- Differential
- Restricted Earth Fault
- Overload and Earth Leakage as Back-up
- Buchholtz
- Temperature
- Sudden Pressure
- Standby Earth Relay

آزمایشات الکتریکی که باید قبل از برق‌دار کردن ترانس و به‌صورت دوره‌ای بر روی ترانسفورماتورها انجام گیرند عبارت است از:

۱- میزان مقاومت عایقی[۱] در سیستمNGR[۲] اندازه‌گیری شود. دقت شود که در این حالت NGR باید از سیستم ارت جدا باشد. در این تست، ولتاژ مورد نیاز که توسط دستگاه IR Tester (میگر)اعمال می‌شود، باید 1000 V (DC) باشد. حداقل مقدار قابل قبول 100 مگااهم است.

- میزان مقاومت عایقی سیم‌پیچ‌های فشارقوی نسبت به زمین با اعمال ولتاژ 5000 V (DC) توسط دستگاه میگر اندازه‌گیری شود. حداقل میزان قابل قبول در این تست 150 مگااهم است.
- میزان مقاومت عایقی سیم‌پیچ‌های فشارضعیف نسبت به زمین با اعمال ولتاژ 1000 V (DC) توسط دستگاه میگر اندازه‌گیری شود. حداقل میزان قابل قبول در این تست 100 مگااهم است.
- میزان مقاومت عایقی سیم‌پیچ‌های فشارقوی نسبت به سیم‌پیچ‌های فشار ضعیف با اعمال ولتاژ 2500 V (DC) توسط دستگاه میگر اندازه‌گیری شود. حداقل میزان قابل قبول در این تست 100 مگااهم است.

نکته : میزان ولتاژ اعمالی در تست مقاومت عایقی بسته به سطح ولتاژ و تعداد دور سیم پیچ‌ها مطابق با استاندارد متفاوت است.

۲- اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانسفورماتور در بی‌باری

نسبت تبدیل عبارت است از نسبت ولتاژ اولیه به ولتاژ ثانویه هنگامی که ترانسفورماتور بی‌بار باشد که در این حالت می‌توان از افت ولتاژ ناشی از جریان بی‌باری صرف نظر کرد.

---

[۱]-Insulation Resistance

[۲]-Neutral Grounding Resistor

(میزان ولتاژ در این تست 380 ولت می‌باشد). مقادیر به‌دست آمده باید با پلاک ترانسفورماتور تطبیق داده شود.

روش اندازه‌گیری نسبت تبدیل به این ترتیب است‌که می‌توان از دو ولت‌متر یکی در اولیه و دیگری در ثانویه ترانسفورماتور بی‌بار استفاده کرد و نسبت ولتاژهای خوانده شده توسط آن‌ها را نسبت تبدیل به حساب آورد.

۳- اندازه‌گیری مقاومت DC سیم‌پیچ‌ها

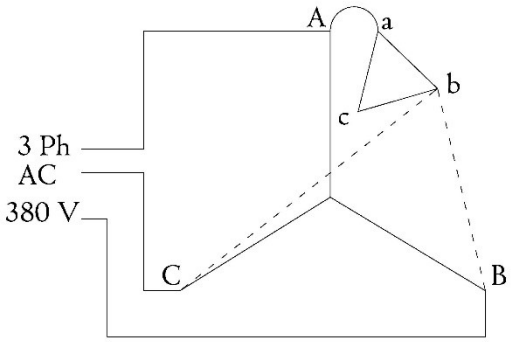
به منظور اندازه‌گیری مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها از روش ساده ولت‌آمپر استفاده می‌شود؛ تزریق جریال در این حالت با یک دستگاه منبع تغذیه DC(چون فرکانس دستگاه منبع تغذیه DC صفر است) انجام می‌شود.

با اتصال کلید، جریان DC از سیم‌پیچ عبور کرده و ولتاژ بر روی سیم‌پیچ تحت آزمایش اندازه گرفته می‌شود و با استفاده از رابطه R=V/I مقاومت اهمی سیم‌پیچ محاسبه می‌گردد. ثبت نمودن دمای آزمایش بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا همان طور که می‌دانیم، مقاومت تابعی از حرارت می‌باشد. همچنین باید دقت کرد تا کابل‌ها و اتصالات مدار آزمایش، مقاومت ناچیزی داشته باشند که در غیر این صورت موجب بروز خطا در اندازه گیری می‌شوند.

۴- کنترل گروه برداری

به اختلاف فاز بین ولتاژ اولیه و ثانویه در یک ترانس، گروه برداری می‌گویند. گروه برداری ترانس‌های تک فاز 0 یا 180 درجه می‌باشد و گروه برداری در ترانس‌های سه فاز، با اتصال اولیه و ثانویه یکسان نیز 0 یا 180 درجه می‌باشد. (اگر پیچش سیم‌پیچ اولیه و ثانویه در یک جهت باشد اختلاف 180، و اگر در جهت مخالف پیچیده شده باشد 0 یا 360 درجه خواهد بود). در حالت مثلث، اختلاف بین جریان خط و فاز 30 درجه و در حالت ستاره اختلاف بین ولتاژ خط و فاز 30 درجه خواهد بود.

برای این اندازه‌گیری، مطابق شکل ۳-۱، نقاط A و a را به یکدیگر اتصال داده و سپس ولتاژ متناوب 380 ولت را به طرف فشار قوی اعمال می‌کنیم. حال ولتاژ نقاط باقی مانده را نسبت به یکدیگر اندازه گرفته و با گروه برداری مقایسه می‌کنیم. چنان‌چه مقادیر برابر و یا با اختلاف ناچیز باشند، گروه اتصال تایید می‌گردد.




Vector Group

شکل ۳-۱ گروه برداری

۵- اندازه‌گیری شدت جریان و تلفات بی‌باری

هرگاه ترانسفورماتور تحت ولتاژ و فرکانس نامی قرار گیرد و طرف دیگر آن بی‌بار باشد، در این صورت گرمای حاصل در ترانسفورماتور ناشی از تلفات بی‌باری است. تلفات بی‌باری شامل چهار جزء به شرح زیر می‌باشد:

- تلفات جریان گردابی
- تلفات هیسترزیس
- تلفات ژولی
- تلفات دی‌الکتریک

از تلفات نامبرده، دو مورد آخر قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. جهت اندازه‌گیری بی‌باری از روش دو وات‌متری استفاده می‌شود؛ بدین ترتیب که جمع جبری مقادیر نشان داده شده در هر یک از وات‌مترها، با در نظر گرفتن ضرایب و ثوابت دستگاه‌ها، تلفات بی‌باری ترانسفورماتور را مشخص می‌کند.

روش اندازه‌گیری:

ترانسفورماتور در حالت بی‌باری از سمت فشار ضعیف تحت ولتاژ اسمی قرار داده می‌شود. در صورت مجهز بودن ترانسفورماتور به کلید تنظیم ولتاژ، لازم است این کلید هم در وضعیت اسمی باشد. این نکته ضروری است‌که چنان‌چه درصدهای خاصی از تحریک اسمی بنابر وضعیت خاص شبکه و درخواست مشتری در محاسبات و طراحی ترانسفورماتور در نظر گرفته شده باشد، اندازه‌گیری ابتدا از پایین‌ترین درصد مثلا 90 درصد آغاز شده و سپس میزان تحریک به 95 و 100 و 105 و 110 درصد می‌رسد. در کلیه این موارد شدت جریان و تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده و در جدول مخصوص به خود وارد می‌شود.

**۳- ۲- ۲- ۲- سیستم UPS:**

۱- بررسی لیست فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی که قبلاً انجام شده است.

۲- پاک کردن سیستم از گرد و غبار در صورت وجود آلودگی

۳- برق‌دار نمودن مدار کنترلی و فیدر مربوط به UPS

۴- بررسی سیگنال‌های آلارم، تریپ و وضعیت بین فیدر و تجهیز

۵- انجام تنظیمات حفاظتی بر روی رله‌های فیدر طبق مدارک

۶- برقرار نمودن مدار قدرت فیدر

۷- اطمینان از روشن بودن تمام نشانگرهای وضعیت عمل‌کرد در هنگام وصل کردن

کلید (LED Test)

۸- اتصال کلید AC-Input مربوط به ورودی یکسوساز[۱] و انجام مراحل بعدی برق-داری طبق روند درخواستی کارخانه سازنده.

۹- بررسی فن‌ها و نشان‌گرهای شارژر و توزیع ولتاژ خروجی

۱۰- قرار دادن باتری تحت ولتاژ شارژ اولیه با اتصال کلید مربوط به آن

۱۱- راه‌اندازی و در سرویس قرار دادن باتری‌ها طبق دستورالعمل کارخانه سازنده

**۳- ۲- ۲- ۳- موتورهای القایی:**

۱- بررسی لیست فعالیت‌های پیش‌راه‌اندازی که قبلاً انجام شده است.

۲- پاک کردن سیستم از گرد و غبار در صورت وجود آلودگی

۳- اندازه‌گیری مقاومت عایقی سیم‌پیچ‌های موتور، هیتر،کابل‌های قدرت و فرمان

۴- اندازه‌گیری مقاومت DC سیم‌پیچ موتور

۵- برق‌دار نمودن هیتر موتور و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان آن در جعبه ترمینال

۶- برق‌دار نمودن مدار کنترل موتور و اطمینان از صحت عمل‌کرد آن

۷- تطابق پارامترهای رله حفاظتی با آخرین مدارک

۸- بررسی سیگنال‌های ارتباطی بین موتور و فیدر تغذیه‌کننده

۹- آماده نمودن تجهیزات جانبی موتور جهت برق‌داری

۱۰- انجام تست جریان مصرفی[۲]: جریان مصرفی موتور را در دو وضعیت بدون بار و باردار اندازه می‌گیرند. جریان راه‌اندازی موتور نباید بیشتر از 7 برابر جریان نامی موتور باشد. برای الکتروموتورها با ولتاژ بالاتر از 380V این کار توسط شاخص روی LCP یا در شاخص روی تابلوی اصلی در substation انجام می‌شود و برای دستگاه‌های

---

[۱]-Rectifier

[۲]-Current Consumption

380V و کمتر، توسط دستگاه Clamp Meter اندازه گرفته می‌شود. جریان مصرفی در حالت بارکامل[1] باید همواره حداقل 5 درصد کمتر از جریان بارکامل ارائه شده در Datasheet تجهیز باشد. در حالت بدون بار، جریان مصرفی الکتروموتورهایی که اتصال ستاره دارند، معمولاً 1/6 تا 1/8 جریان بارکامل ارائه شده در Datasheet تجهیز و برای اتصال مثلث معمولاً 1/3 جریان بارکامل ارائه شده در Datasheet تجهیز می‌باشد.

**۳- ۲- ۲- ۴- سوئیچ گیر:**

۱- بررسی لیست کارهای پیش راه‌اندازی که قبلاً انجام شده است.

۲- پاک کردن سیستم از گرد و غبار در صورت وجود آلودگی

۳- بررسی پیوستگی باس‌بارها و اندازه‌گیری مقاومت DC و مقاومت عایقی آن‌ها

۴- اندازه‌گیری مقاومت DC و مقاومت عایقی کلیدهای قدرت

۵- برق‌دار نمودن هیترهای ضد رطوبت هر سلول و همچنین بررسی عمل‌کرد آن‌ها

۶- بررسی عمل‌کرد الکتریکی و مکانیکی کلید قدرت باس و اینترلاک‌ها و اینتر تریپ‌ها

۷- انجام تست‌های الکتریکی لازم بر روی CT ها و VT ها و مقایسه مقادیر به‌دست آمده با نقشه و دیاگرام‌های حفاظتی آن‌ها

۸- انجام تست‌های مربوط به رله‌های حفاظتی و مقایسه مقادیر به‌دست آمده با مدارک و دیاگرام‌های حفاظتی آن‌ها

۹- بررسی سیگنال‌های ارتباطی بین فیدر و مدار بالادست و پایین‌دست در وضعیت‌هایLocal و Remote

**۳- ۲- ۲- ۵- ژنراتور :**

[1]-Full Load

۱- بررسی لیست فعالیت‌های پیش راه‌اندازی دیزل ژنراتور که قبلاً انجام شده است.
۲- پاک کردن سیستم از گرد و غبار در صورت وجود آلودگی
۳- برق‌دار نمودن هیتر دیزل ژنراتور و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان آن در جعبه‌ترمینال (هیتر باید 72 ساعت قبل از انجام تست مقاومت عایقی در سرویس قرار گیرد).
۴- اندازه‌گیری مقاومت عایقی کابل‌ها و سیم‌پیچ‌های استاتور (در این تست ولتاژ مورد نیاز که توسط دستگاه میگر اعمال می‌شود، باید 5000V (DC) باشد و حداقل مقدار قابل قبول برای این تست 150 مگااهم می‌باشد. برای انجام تست مقاومت عایقی سیم‌پیچ استاتور لازم است نقطه صفر دیزل ژنراتور از ارت جدا شده و پس از انجام تست مجدداً نقطه صفر به زمین متصل گردد)
۵- اندازه‌گیری مقاومت عایقی استارتر دیزل ژنراتور (در این تست ولتاژ مورد نیاز که توسط دستگاه میگر اعمال می‌شود باید 500V (DC) باشد و حداقل مقدار قابل قبول برای این تست 10 مگااهم می‌باشد.)
۶- اندازه‌گیری مقاومت عایقی پل دیودی دیزل ژنراتور (در این تست ولتاژ مورد نیاز که توسط دستگاه میگر اعمال می‌شود باید 250V (DC) باشد و حداقل مقدار قابل قبول برای این تست 1 مگااهم می‌باشد.)
۷- برق‌دار نمودن مدار کنترلی دیزل ژنراتور، انجام تست‌های عمل‌کردی مدار کنترل و بررسی سیگنال‌های ارتباطی بین دیزل و فیدر
۸- انجام تست‌های مربوط به رله‌های حفاظتی و مقایسه مقادیر به‌دست آمده با مدارک و دیاگرام‌های حفاظتی
۹- بررسی و اطمینان از صحت عمل‌کرد آیتم‌های محافظتی ژنراتور قبل از برق‌دار شدن

این آیتم‌ها عبارت است از:

- Differential Protection
- NPA (Negative Phase Sequence)
- Overcurrent and Earth Leakage as Back-up

- Inter turn Protection to Machines with Windings
- Reverse Power
- Protection Against Exciter Field Earth Fault
- Over Temperature
- Overvoltage and Under voltage Protection
- Unbalance Load
- Generator Ground Relay

۱۰- انجام تست تریپ[۱]:

تست تریپ در چهار مرحله انجام می‌شود:

ابتدا باید Field Switch، Main Generator Switch و Earthing Circuit Breaker ها را Jumper نمود. سپس با فشردن کلید Emergency Push Button باید هر سه سوئیچ فوق تریپ بخورند. در مرحله دوم باید رله‌های Differential Protection و NPS را به‌صورت دستی فعال نمود. در این حالت نیز هر سه سوییچ فوق باید تریپ بخورند. در مرحله سوم رله Overcurrent به‌صورت دستی فعال می‌شود؛ در این حالت Breaker جریان Main generator تریپ می‌خورد. (البته اگر رله Overcurrent به عنوان پشتیبان Differential protection باشد، تأثیرات مربوط به آن را خواهد داشت). در مرحله آخر لازم است رله Fire Fighting فعال شود که در این صورت همه سوئیچ‌گیرها و سیستم‌های کنترلی مربوطه باید تریپ بخورند.

۱۱- انجامFault Test: این تست شامل Phase fault test، Earth fault test و Field fault می‌باشد.

۱۲- انجامStability Test

[۱]-Trip Test

### ۳- ۲- ۲- ۶- سولوران[۱]

سولوران برای تست جهت چرخش موتور قبل از این‌که به Driven کوپل شود و همچنین برای تعیین میزان لرزش، دمای بیرینگ و دور موتور می‌باشد.

در صورتی که از صحت جهت چرخش روتور اطمینان حاصل شد، موتورهای 400 ولت به مدت یک ساعت و برای موتورهای با ولتاژ 6 کیلو ولت به مدت 4 ساعت در حالت استارت قرار می‌گیرند تا موارد زیر مورد بررسی قرار گیرند:

۱- بررسی روغنکاری مناسب بیرینگ‌ها و عمل‌کرد صحیح سیستم روغنکاری
۲- بررسی نشتی سیستم روغنکاری به بیرون و به استاتور
۳- بررسی دما و صدای بیرینگ‌ها
۴- بررسی دمای سیم‌پیچ موتور
۵- بررسی صدا و ارتعاش موتور
۶- بررسی سرعت چرخش موتور و بار جریان موتور
۷- بررسی سیستم خنک کاری بیرینگ‌ها (در صورت وجود)
۸- بررسی رله‌های محافظتی موتور به‌صورت چشمی

**استارت اولیه موتور:**

موتورهای سرعت ثابت برای رسیدن از سرعت صفر به سرعت نامی، به شتاب نیاز دارند. از طرفی لازمه این شتاب، گشتاور می‌باشد. این گشتاور در واقع اختلاف بین گشتاور موتور و گشتاور بار می‌باشد. کاهش ولتاژ در زمان استارت موتور، باعث کاهش گشتاور و میزان جریان مورد نیاز برای استارت موتور می‌شود و اغلب سعی بر کاهش میزان جریان در هنگام استارت می‌شود.

[۱]-Solo Run or Free Run

جریان با توان 1 تا 1.1 ولتاژ نسبت مستقیم دارد. یعنی انتظار می رود در 80 درصد ولتاژ، جریان لازم در محدوده 78 تا 80 درصد جریان باشد. $(0.8^{1.1} = 0.78)$

از طرفی گشتاور با توان 2 تا 2.2 ولتاژ رابطه مستقیم دارد. یعنی در ولتاژ 80 درصد انتظار می رود 61 تا 64 درصد گشتاور نیاز باشد.

بنابراین با علم به موارد فوق به راحتی می‌توان منحنی بار تجهیزاتی مانند پمپ، کمپرسور، فن‌ها و ... را که بر اساس درصد گشتاور و درصد سرعت می‌باشند، تفسیر کرد.

**۳- ۲- ۲- ۷- تست فیدر**

جهت تست فیدر باید فعالیت‌های زیر انجام گیرند:

۱- اطمینان از انطباق محل نصب فیدر در سوئیچ‌گیر با محلی که درSLD [۱] مشخص شده است.

۲- اطمینان از انطباق مشخصات تجهیزات داخل فیدر شامل فیوز، کنتاکتور، بریکر، رله‌ها با مشخصات قید شده در SLD و مصرف‌کننده

۳- مطابقت وایرینگ انجام شده توسط سازنده فیدر با آخرین نسخه مدارک

۴- تنظیم بریکرها و رله‌های حفاظتی طبق توان مصرف‌کننده

۵- انجام تست تحمل جریان بریکرها و رله‌ها توسط دستگاه تزریق جریان، جهت اطمینان از مشخصات قید شده بر روی آن‌ها

۶- اطمینان از اتصال نداشتن فازها به یکدیگر و به بدنه فیدر از طریق انجام تست عایقی فیدر با دستگاه میگر

۷- انجام تست عمل‌کرد فیدر [۲]

---

[۱]-Single Line Diagram

[۲]-Function Test

### ۳- ۳- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه ابزاردقیق

فعالیت‌های گروه ابزاردقیق جزیی جدایی ناپذیر از کنترل فرآیندهای شیمیایی است و به همین جهت ارتباط بین گروه ابزاردقیق با گروه فرآیند و گسترش اطلاعات در هر دو زمینه برای هر دو گروه، از مراحل اولیه پروژه و در زمان بهره‌برداری، بسیار راه‌گشا و مفید خواهد بود. بنابراین لازم است پیش از پرداختن به فعالیت‌های این گروه، مروری بر ملزومات سیستم‌های کنترلی داشته باشیم و بنابر نیاز با دریافت کلید واژه‌های عنوان شده و بررسی بیشتر، به درک بهتری در این زمینه برسیم.

### o سیستم کنترل (کنترل فرآیند)

سیستم کنترل، یک جزء یا یک سیستم (مشتمل بر اجزایی که به‌صورت واحد کار می-کنند) می‌باشد که به‌صورت مکانیکی یا خودکار فعال می‌شود و هدف آن ایجاد یا حفظ عمل‌کرد فرآیند در محدوده مشخصات تعریف شده برای آن می‌باشد. سیستم‌های کنترل مجموعا تحت نام ICSS (Integrated Control and Safety Systems) شناخته می-شوند و شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- BPCS (Basic Process Control System)

۲- SIS (Safety Instrumentation System)

۳- F&G (Fire and Gas System)

### o حلقه کنترل[۱]

یک حلقه کنترلی مشتمل بر گروهی از تجهیزات ابزاردقیق می‌باشد که با هم برای حفظ متغیرهای فرآیند در میزان مقرر [۲] کار می‌کنند. حلقه کنترل شامل چهار جزء اصلی زیر می‌باشد:

۱- Process Variable

۲- Sensing/Measuring Device

۳- Controller

۴- Final Control Device

در یک سیستم کنترل فرآیند، دو نوع کلاس متغیر وجود دارد:

۱- متغیر ورودی[۳]: این متعیر نشان دهنده تاثیر عوامل بیرونی بر فرآیند می‌باشد و به‌طور

---

[۱]-Control Loop

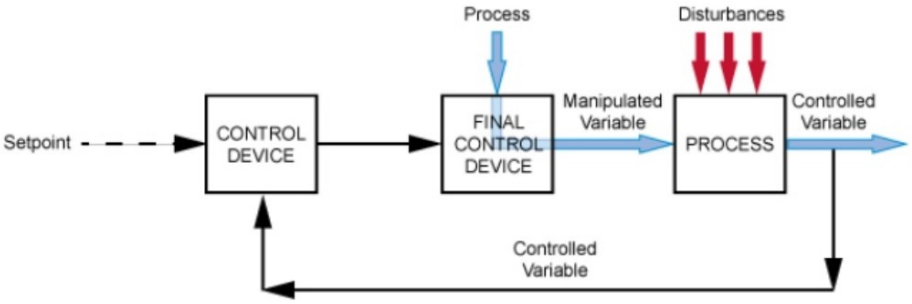
[۲]-Set Point

[۳]-Input Variable

معمول به فاکتورهایی اشاره دارد که بر فرآیند تاثیر می‌گذارند. به‌عنوان مثال میزان دبی بخار در یک مبدل حرارتی که مقدار انرژی وارده به یک فرآیند را تغییر می‌دهد. عوامل بیرونی اثراتی دارند که برخی قابل کنترل و برخی دیگر غیر قابل کنترل می‌باشند که بر این اساس متغیرهای ورودی خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- Manipulated Input: متغیرهایی که به‌وسیله اپراتور یا سیستم کنترل، قابل کنترل باشند.
- Disturbance: متعیرهایی از عوامل بیرونی که توسط اپراتور و یا سیستم کنترل قابل کنترل نباشند.

۲- متغیرهای خروجی[۱]: این متغیرها خروجی‌های فرآیند می‌باشند که بر عوامل بیرونی اثر می‌گذارند. برای نمونه می‌توان به میزان گاز $CO_2$ که از یک محفظه احتراق خارج می‌شود اشاره کرد که می‌تواند قابل اندازه‌گیری باشد یا نباشد.




شکل ۳-۲ فرآیند سیستم کنترل

- Controlled Variable یا Process Varable: پارامتری که باید کنترل شود می‌باشد. که معمولا شامل Pressure، Flow، Level، Temperature،

[۱]-Output Variable یا Control Variable

Density، Mass، PH و Conductivity می‌باشند.

- Measured Variable: سیگنال مقدار اندازه‌گیری شده Process Variable می‌باشد.
- Set point: میزان مورد نظر فرآیند می‌باشد.
- Error: اختلاف بین Measured Variable و Set point می‌باشد که می‌تواند منفی یا مثبت باشد.
- Offset: انحراف پایدار Process Variable از Set point می‌باشد.
- Manipulated Variable: میزان تغییر متغیر توسط کنترلر نهایی بر روی Process Variable برای دست‌یابی به اثر مد نظر می‌باشد.
- Disturbance (Upset): هرگونه تغییر در فرآیند که سبب شود Controlled Variable از set point خارج شود.
- Dead Time: مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک فرآیند بعد از Disturbance در سیستم آغاز شود.

- ساختار اصلی کنترل:

۱- SISO (Single Input/Single Output): برای هر متغیر خروجی، تنها یک متغیر ورودی وجود دارد که از آن برای اثر بر فرآیند استفاده می‌کند.

۲- MIMO (Multi Input/Multi Output): چندین متغیر خروجی وجود دارد که تحت تاثیر چندین متغیر ورودی در یک فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- انواع کنترلر:

۱- Distributed Control System (DCS)

کنترلرهایی هستند که علاوه بر کنترل، امکان پایش وضعیت فرآیند و حفظ پایگاه داده‌ها، رابط کاربری پیشرفته‌ای نیز می‌باشند. DCS به عنوان مغز سیستم کنترلی، برای

اتوماسیون فرآیند و مدیریت logic موجود برای عملیات واحد استفاده می‌شود. این سیستم در دسته BPCS قرار می‌گیرد.

۲- Programmable Logic Controllers (PLC)

PLC ها، کامپیوترهایی هستند که به تجهیزات I/O (Input/Output) متصل می‌باشند. کامپیوترها به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده اند که با ارسال خروجی‌ها، به ورودی‌ها پاسخ می‌دهند و تمام مراحل فرآیند را در میزان Set point حفظ می‌کنند.

۳- Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

به‌طور کلی این سیستم‌ها برای کنترل دارایی‌های پراکنده با استفاده از تمرکز داده‌ها و کنترل نظارت استفاده می‌شوند.

- حالات کنترل [۱]

چگونگی پاسخ یک کنترلر به Error را حالت کنترل یا پاسخ کنترلر می‌گویند. کنترل پیوسته (کنترلری که به‌صورت پیوسته سیگنال‌های Controlled Variable را دریافت و با Set point مقایسه می‌کند) حالات مختلفی می‌تواند داشته باشد. رایج‌ترین حالات کنترل عبارت است از:

۱- On-Off Control
۲- Proportional Control (P)
۳- Proportional plus Integral Control (PI)
۴- Proportional Plus Integral Plus Derivative Control (PID)

[۱]-Control Modes

و حالاتی که کمتر از آن‌ها استفاده می‌شود عبارت است از:

۵- (I) Integral

۶- (PD) Proportional Plus Derivative

- انواع طرح‌های کنترل[۱]

امروزه رایج‌ترین نوع طرح کنترل که در صنایع مختلف استفاده می‌شود، کنترلر PID Feedback می‌باشد. نظر به دینامیک‌های مختلف فرآیند، شاید کنترل PID برای کنترلی در سطح خوب مناسب نباشد؛ بنابراین طرح‌های دیگری بوجود آمدند تا جواب‌گوی فرآیند به آشفتگی‌های احتمالی[۲] باشند. برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از:

۱- Cascade Control

۲- Ratio Control

۳- Split Range

۴- Feed-forward Control

۵- Feed-backward Control

۶- Selectors، Overrides و Interlock ها

۷- Multivariable Control

۸- Adaptive Control

[۱] -Control Schemes

[۲]-Disturbance

### ○ روش طراحی کنترل فرآیند

۱- درک فرآیند واحد صنعتی

۲- تهیه لیستی از پارامترهای عملیاتی از قبیل دما، فشار، دبی و سایر متغیرهایی که برای کنترل فرآیند مورد نظر نیاز می‌باشند.

۳- شناسایی شرایط خطر؛ متغیرهایی که از لحاظ ایمنی موجب ایجاد خطرات بالقوه می‌شوند، باید شناسایی شوند و درصورت نیاز به کنترل اضافی باید مشخص گردند.

۴- مشخص کردن کمیت‌هایی که قابل اندازه‌گیری و مطابق با پارامترهای عملیاتی می‌باشند؛ شامل دما، فشار، دبی، PH، رطوبت، سطح، غلظت، ویسکوزیته، Conductivity، Turbidity، Redox Potential، قابلیت اشتعال‌پذیری و رفتار الکتریکی می‌باشند.

۵- مشخص کردن نقاط اندازه‌گیری؛ پس از شناسایی کمیت‌های اندازه‌گیری، مکان نصب آن‌ها برای اندازه‌گیری به‌جهت کنترل دقیق سیستم از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

۶- انتخاب روش اندازه‌گیری؛ انتخاب نوع مناسب دستگاه اندازه‌گیری با توجه به نوع فرآیند، باعث دقت بیشتر، پایداری بیشتر، قابلیت اطمینان بیشتر ابزاردقیق و کنترل بهتر هزینه‌ها می‌شود. در این حالت سیگنال‌های مختلف مورد استفاده در روش اندازه‌گیری، با توجه به قابلیت بهره‌وری مناسب تجهیزات و بر اساس طول عمر آن‌ها می‌تواند به‌صورت‌های الکتریکی، نیوماتیکی، نور، امواج رادیویی، مادون قرمز و یا حتی هسته‌ای باشد.

۷- انتخاب روش کنترل؛ به منظور کنترل پارامترهای عملیاتی، انتخاب روش کنترل برای کنترل موثر فرآیند بسیار مهم می‌باشد. به‌عنوان مثال استفاده از روش‌های On/Off و روش پیوسته شامل P، I، D و ترکیب آن‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد.

۸- انتخاب سیستم کنترل؛ انتخاب بین یک سیستم کنترل Local و DCS.

۹- تعیین و تعریف محدودیت پارامترهای قابل اندازه‌گیری در سیستم مورد نظر[۱].

[۱]-Set Control Limits

۱۰- تعریف منطق کنترل [۱]؛ بر اساس مشخصات طراحی و پارامترهای ایمنی قابل درک در یک سیستم، منطق کنترل تعریف می‌شود که شامل Feed-Forward، Feed-Backward، Cascade، Ratio و ... و یا ترکیب آن‌ها می‌باشد.

۱۱- ایجاد و تعیین دامنه قرارگیری سیستم افزونگی یا Redundancy؛ از آن‌جا که بهترین سیستم‌های کنترل نیز می‌توانند دارای ضعف باشند، بنابراین در طراحی یک سیستم کنترل، سیستم Redundancy برای جلوگیری از پیامدهای فاجعه بار حاصل از این ضعف‌ها به‌عنوان پشتیبان بسیار مهم می‌باشد.

۱۲- تعیین Fail-Safe؛ fail safe ها مانع از ایجاد شرایط خطرناک برای فرآیند می‌شوند. در واقع fail safe ها بعد از این‌که کنترل به هر دلیلی از کار افتاد، به سیستم اجازه می‌دهند تا به حالت امن برگردد.

۱۳- تنظیم معیارهای Lead/Lag؛ بسته به منطق کنترلی که انتخاب می‌شود و اهمیت ارتباط زمان تاخیر با اندازه‌گیری پارامترهای عملیاتی، تنظیم زمان Lead/Lag امکان کنترل دقیق را فراهم می‌کند.

۱۴- بررسی اثر تغییرات، قبل و بعد از اجرای سیستم کنترل به‌جهت شناسایی و اصلاح مشکلات احتمالی و پیش‌بینی نشده.

۱۵- یک‌پارچه‌سازی سیستم‌های کنترل

### o سیستم‌های کنترلی (ابزارهای اندازه‌گیری)

امروزه سیستم‌های کنترلی در صنایع مختلف کاربرد زیادی دارند که هدف مشترک همه آن‌ها حفظ نتیجه مطلوب در طی یک واکنش و یا فرآیند شیمیایی می‌باشد که ممکن است تحت شرایط مختلف دست‌خوش تغییر شود. رایج‌ترین نوع کنترل که امروزه در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، کنترل کننده PID می‌باشد؛ چرا که به اپراتور توانایی استفاده از تکنیک‌های مختلف کنترل را برای رسیدن به تنظیمات مختلف در یک فرآیند

[۱]-Control Logic

می‌دهد و شامل دو مکانیسم اصلی Feed-Forward و Feed-Backward می‌باشد.

۱- کنترل دما

با توجه به این‌که انسان درجه حرارت را در سه حالت گرم، معتدل و سرد احساس می‌کند، مهندسین شیمی برای کنترل دقیق یک فرآیند به اندازه‌گیری‌های دقیق و کمی دما نیاز دارند و این امر با استفاده از سنسورهای دما و تنظیم کننده‌های دما – که سیگنال‌های دریافت شده از سنسورها را پردازش می‌کنند – محقق می‌شود. از دیدگاه ترمودینامیک، دما به عنوان تابعی از متوسط انرژی جنبشی ملکول‌ها تغییر می‌کند؛ بدین صورت که با افزایش گرمای یک سیستم، جنبش ملکولی افزایش می‌یابد و باعث افزایش دمای سیستم می‌شود. با این‌حال اندازه‌گیری مستقیم انرژی حاصل از جنبش ملکولی دشوار می‌باشد و بنابراین سنسورهای دما خواصی را که در اثر پاسخ به تغییرات دما تغییر می‌کنند را اندازه می‌گیرند. به‌عنوان مثال سه نوع اصلی سنسورهای دما که Thermometer، RTD[۱] و Thermocouple می‌باشند، یک خاصیت فیزیکی (حجم یک مایع/ مقدار جریان گذرنده از یک سیم) را که تابعی از دما می‌باشند، اندازه‌گیری می‌کنند. در صنعت طیف وسیعی از سنسورهای دما قابل استفاده می‌باشند که به دو دسته تماسی [۲] و غیر تماسی[۳]تقسیم می‌شوند. در سنسورهای تماسی، شار حرارتی بین سنسور و جسم (ماده‌ای که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود) وجود ندارد؛ در واقع سنسور و جسم در تعادل حرارتی قرار دارند. از نمونه این سنسورها می توان به Thermocoupl ها، RTD ها، Thermometer ها و Bimetallic Thermometer ها اشاره کرد. در مقابل سنسورهای غیر تماسی اغلب انرژی تابش حرارتی اشعه مادون قرمز یا تابش نوری دریافت شده از بخشی از یک سطح و یا حجم مشخصی از یک سطح را اندازه‌گیری می‌کنند که نمونه آن Pyrometer ها

[۱]-Resistance Temperature Detector

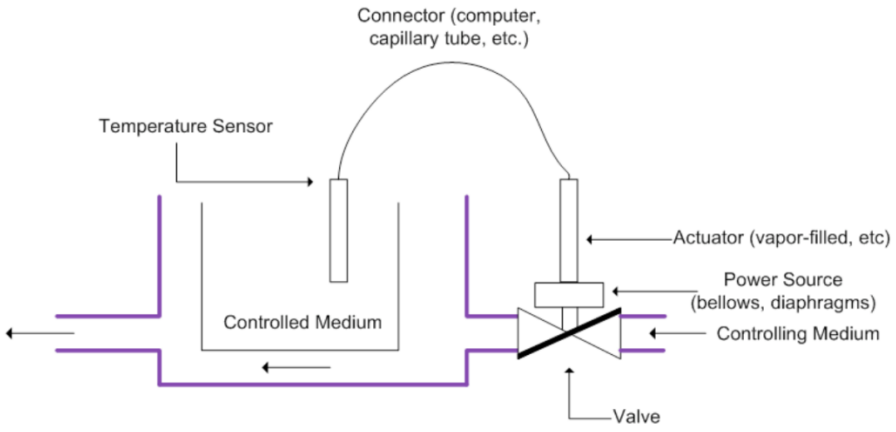
[۲]-Contact Sensors

[۳]-Non-Contact Sensors

می‌باشند که میزان گرمای تابش شده از جسم را اندازه می‌گیرند. ( نه میزان گرمای منتقل شده به سنسور). از انواع pyrometer ها می‌توان به Total Radiation و Photoelectric اشاره کرد.

در کنار سنسورهای دما، تنظیم کننده‌های دما و به عبارتی ولوهای کنترلی دما TCV[1]برای کنترل دما استفاده می‌شوند. TCV ها به‌طور مستقیم قادر به کنترل دما نمی‌باشند و در عوض با کنترل جریان (میزان باز و بسته شدن ولو) دما را کنترل می‌کنند. تنظیم کننده‌های دما دارای چهار بخش اصلی می‌باشند. عنصر تشخیص دما (که در اغلب موارد سنسور دما می‌باشد) که سیگنال‌های الکتریکی و یا مکانیکی را از طریق یک اتصال دهنده الکتریکی/مکانیکی به Actuator ارسال می‌کند و سپس actuator با این سیگنال موقعیت ولو را تعیین می‌کند.

در شکل ۳-۳ شماتیک ساختار یک تنظیم کننده دما نشان داده شده است.




شکل ۳-۳ ساختار تنظیم کننده دما

[1]-Temperature Control Valve

۲- کنترل فشار (Pressure Switch)

Pressure Switch وسیله‌ای است‌که سیستم‌ها را در برابر افت فشار و یا افزایش ناگهانی ولی مختصر فشار کنترل می‌کند. اکثر switch ها بر اساس On/Off کار می‌کنند اما در حالت PID نیز می‌توانند طراحی شوند. مبنای کار سیستم‌های کنترل فشار، تعیین میزان مقرر فشار می‌باشد؛ اگر در هر مرحله در طی فرآیند، فشار از میزان مقرر بالاتر رود، switch فعال شده و ولو کنترلی را می‌بندد. این switch ها به دو صورت هیدرولیکی و نیوماتیکی موجود می‌باشند و از کاربردهای آن می‌توان به استفاده در پمپ‌های جابجایی مثبت و محافظت آن‌ها در برابر افزایش ناگهانی فشار اشاره کرد.

به‌طور کلی سه نوع اندازه‌گیری فشار وجود دارد که شامل اندازه‌گیری فشار مطلق (مجموع فشار اتمسفر و فشار گیج می‌باشد)، اندازه گیری فشار گیج و اندازه گیری اختلاف فشار بین دو نقطه می‌باشند. انواع مختلفی از سنسورهای فشار جهت استفاده در صنعت وجود دارد که هر کدام در وضعیت خاصی می‌تواند عمل‌کرد بهتری داشته باشد. به منظور عمل‌کرد صحیح یک سیستم کنترل فشار و ارائه داده‌های دقیق، با در نظر داشتن هزینه‌های خرید و تعمیرات، عوامل زیر بر انتخاب سنسورهای فشار در یک فرآیند، تاثیرگذار می‌باشند:

- ویژگی موادی که در طی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا تشکیل می‌شوند.
- شرایط محیطی سیستم مانند میزان خورندگی، ارتعاش، دما و ...
- دامنه فشار عملیاتی فرآیند
- سطح دقت و حساسیت مورد نیاز در اندازه‌گیری فشار

- روش‌های اندازه‌گیری فشار

- ارتفاع ستون مایع: با دانستن ارتفاع ستون یک مایع و دانسیته آن و با استفاده از رابطه $P = \rho g h$، فشار گیج قابل محاسبه می‌باشد. به این وسیله‌های

اندازه‌گیری فشار در اصطلاح مانومتر می‌گویند. به‌طور معمول از آب و یا جیوه در این سنسورها استفاده می‌شود با این توضیح که در صورت نیاز به حساسیت بیشتر از آب استفاده می‌شود و از جیوه برای اندازه‌گیری فشارهای بالا و با حساسیت کمتر استفاده می‌شود. (دانسیته آب از جیوه بسیار کمتر می‌باشد؛ بنابراین با تغییر فشار، تغییرات ارتفاعی آن بیشتر خواهد بود).

- تغییر شکل الاستیکی[۱] : این روش مبتنی بر تناسب تغییر شکل مستقیم یک ماده الاستیک با فشار اندازه‌گیری شده می‌باشد. به‌طور عمده سه نوع سنسور Bourdon Tube، Diaphragm و Bellows از این روش برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌کنند. حسگرهای این دسته گران‌تر از مانومترها می‌باشند و علاوه بر شکننده بودن، در برابر لرزش نیز حساس می‌باشند.
- روش‌های الکتریکی: این روش مبتنی بر این عقیده است‌که تغییرات ابعادی یک سیم، بر مقاومت الکتریکی رسانا تاثیر می‌گذارد. به وسیله‌های اندازه‌گیری فشار که از تغییرات مقاومت سیم استفاده می‌کنند در اصطلاح Strain Gauge می‌گویند. از سنسورهای این دسته می‌توان به سنسورهای خازنی[۲] ، مبدل‌های فشار القایی[۳] ، مبدل‌های فشار اکتسابی[۴]، مبدل‌های پتانسیومتری[۵] ، مبدل‌های Piezoresistive و سنسورهای پیزوالکتریک[۶] اشاره کرد.

از انواع دیگر سنسورهای فشار می توان به D.P Cell ها اشاره کرد که در آن اندازه‌گیری فشار نتیجه اختلاف فشار حاصل از Orifice Plate ها، Flow Nozzle ها و Venturi ها می‌باشد. این سلول‌ها اختلاف فشار را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند و محل

---

۱-Elastic Destortion

۲-Capacitive Sensors

۳- Inductive Pressure Transducer

۴- Reluctive Pressure Transducer

۵- Potentiometric Transducer

۶- Piezoelectric Sensors

قرارگیری آن‌ها به ماهیت جریان سیال بستگی دارد. نوع دیگر سنسورهای فشار که باید به آن اشاره شود Vacuum Sensor ها می‌باشد که قادر به اندازه‌گیری فشارهای کم و یا خلاء (فشارهای کمتر از فشار اتمسفر) می‌باشند که از انواع آن می‌توان به Thermal Conductivity Gauge و Ionization Gauge اشاره کرد.

در جدول ۳-۳ انواع سنسورهای فشار، دامنه کاربرد آن‌ها، میزان حساسیت، مزایا و معایب آن‌ها لیست شده است.

جدول۳-۳ انواع سنسورهای فشار

| Type of elements | Press- Range | Sensitivity | Advantages | Disadvantages |
|---|---|---|---|---|
| Bourdon tube | 0.1-700 MPa | 0.03 MPa | Portable<br>Low- Maintenance | Static measurements<br>Low accuracy |
| Bellows | <0.2 MPa | 0.0012 MPa | Can be used at low press | Can only be connected to on/off<br>switch or potentiometer |
| Diaphragms | 0.1- 2.2 MPa | 0.01 MPa | Quick response time<br>Very accurate<br>Generally good linearity<br>Can be exposed to corrosives | Very expensive |
| Capacitive | 2.5 Pa – 70 MPa | 0.07 MPa | Use for low pressure or vacuum ranges Robust | Electronically complex<br>Capacitor plates can stick together |
| Inductive | 250 Pa- 70 MPa | 0.35 MPa | High sensitivity | Limited by elastic elements<br>More coarse than reluctive |
| Reluctive | 250 Pa- 70 MPa | 0.35 MPa | High Sensitivity | Requires external AC source |
| Piezoelectric | 0.021- 100 MPa | 0.1 MPa | Very rapid response time | Affected by high temp. and static forces |
| Potentiometric | 0.035-70 MPa | 0.07- 0.35 MPa | Can be made very small | Low sensivity and working range |
| Strain Gauge | 0-1400 MPa | 1.4 – 3.5 MPa | Very high sensitivity<br>Can be used on mobile parts | Extremely slow response time<br>Very small signal output |
| Differential | Depends on other elements | Depends on other elements | Used for pressure drop | Can only be used for press. drop |
| Thermal Conductivity | 0.4E.3-1.3E MPa | 6E-13 MPa | Measure vacuum ranges | Has linearity only at low pressures |
| Ionization | 1.3E-13-1.3E-8 MPa | 1E-13-1E-16 MPa | Highly sensitive<br>Can measure high and ultra- high<br>Vacuum ranges | Limited by photoelectric effect |
| Vibrating | 0.0035 MPa- 0.3 MPa | 1E-5 MPa | Very accurate, Not affected by temp. changes | Can't be used at high pressures |

### ○ کنترل سطح

کنترل کننده‌های سطح برای مشاهده و تنظیم سطح مایعات و جامدات در صنعت استفاده می‌شوند. اساس کار آن‌ها یا بر اساس نیروی بایونسی می‌باشد و یا به این صورت است‌که سنسور فاصله کف vessel تا بالای سطح ماده را با استفاده از امواج سونار یا پرتو لیزر اندازه‌گیری می‌کند؛ با توجه به مدت زمان لازم برای رسیدن موج یا بازگشت پرتو لیزر به منبع ساطع کننده، کنترلر اطلاعات را برای تغییر و یا حفظ سطح ارسال و یا اعمال

می‌کند. نصب سنسور سطح مناسب و در محلی مناسب باعث افزایش ایمنی با جلوگیری از سر ریز [1] مواد و یا خشک کار کردن تجهیزات دوار می‌شود. سنسورهای سطح یا در تماس با مواد فرآیندی می‌باشند و یا بنا به دلایلی چون خورندگی مواد فرآیندی و جلوگیری از شکستگی یا پارگی المان‌های سنسور سطح در اثر وزن مواد و ... به‌صورت غیر تماسی می‌باشند. به‌طور کلی در یک دسته‌بندی معمول سنسورهای سطح به موارد زیر تقسیم می‌شوند:

۱- Visual Type: ساده‌ترین و قابل اطمینان‌ترین نوع سنسور سطح می‌باشند که از آن دسته می‌توان به Dip Stick برای اندازه‌گیری سطح مخازن سر باز و Sight Tube Indicator برای مخازن سر بسته اشاره کرد.

۲- Float Type: این سنسورها بر اساس نیروی بایونسی کار می‌کنند که همان نیرویی است‌که توسط مایع به جسم فرو رفته در آن اعمال می‌شود. این نیرو برابر وزن مایع جابجا شده است. از انواع آن می‌توان به نوع Buoyancy و Static اشاره کرد. سنسورهای سطح نوع Float فقط باید در سیالات تمیز استفاده شوند؛ سیالاتی که حاوی ذرات جامد می‌باشند، روی عمل‌کرد آن‌ها تاثیر منفی دارد. در واقع هر چیزی که باعث افزایش اصطکاک در اتصالات مکانیکی این سنسورها شود، به‌دلیل نیروی مورد نیاز برای غلبه بر این اصطکاک، باعث افزایش احتمال وقوع پدیده dead band می‌شود و سنسور قادر به پاسخگویی سریع برای تغییر سطح نمی‌باشد. جا دارد این‌جا در مورد این نوع سنسورها دو نکته اساسی یاداوری شود.

نکته اول: عامل کنترل کننده در سنسورهای کنترل سطح نوع Float، در واقع حرکت شناور می‌باشد به‌طوری که تغییر موقعیت شناور در این‌گونه سنسورها به نسبت مشابه بر میزان opening ولو تاثیر می‌گذارد. حال اگر دبی حجمی مواد عبوری از ولو تحت تاثیر تغییراتی مانند تغییر در فشار سیستم، تغییر یابد، بر عمل‌کرد این سنسورها تاثیر منفی

[1]-overflow

می‌گذارد. در حالی‌که فشار سیستم و به دنبال آن دبی تغییر کرده است، جابجایی شناور و متعاقب آن میزان opening ولو، تغییری نکرده است.

$$Kc = \frac{Q}{K}$$

Kc: Proportional Sensitivity

Q: دبی

K: طول مسیری که شناور در محدوده عمل‌کرد ولو طی می کند

به عبارتی اگر فشار سیستم کاهش یابد، ولو برای جبران دبی باید بیشتر باز شود. این اختلاف میزان باز شدن ولو را Offset می‌گویند. در نتیجه در این حالت دست‌کاری پاسخ ولو نسبت به حرکت شناور (manipulate value) را Gain می گویند.

$$Gain = \frac{valve\ response}{float\ movement}$$

نکته دوم: تغییر در وزن مخصوص سیال (یا شناور) بر نیروی شناوری شناور و در نهایت بر میزان نیروی اعمال شده در سیستم تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثال دما یکی از معمول-ترین پارامترهایی است‌که بر وزن مخصوص سیال تاثیر می‌گذارد و اغلب با افزایش دما دانسیته مایعات کمتر شده و بنابراین سیال نیروی کمتری بر روی شناور برای جابجایی و در نهایت تغییر در سطح مایع ایجاد می‌کند.

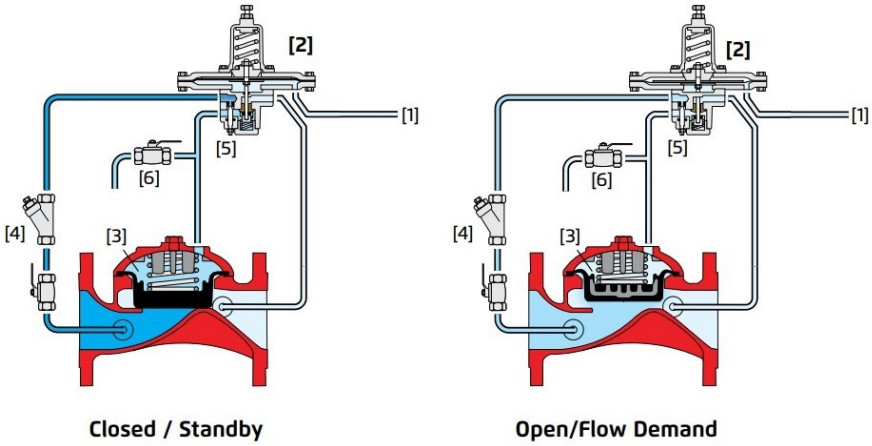
Zero Buoyant Force Level سطحی است‌که در آن وزن شناور دقیقا با نیروی شناوری بر آن از طرف سیال برابر است و از طریق فرمول زیر با تقریب خوبی قابل محاسبه می‌باشد.

$$Zero\ Buoyant\ Force\ Level = Diameter\ of\ float \times \frac{Sg(float)}{Sg(fluid)}$$

۳- Valve Based Level Sensors: این نوع سنسورها علاوه بر اندازه‌گیری سطح، باعث تغییر متناسب سطح سیالات نیز می‌شوند. از انواع این دسته می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

Altitude Valve: این ولو شامل یک ولو Pilot می‌باشد که در هنگام تغییر فشار استاتیک به‌خاطر تغییر سطح مایع، باز و بسته می‌شود. این ولوها معمولا در حالت On/Off طراحی و ساخته می‌شوند و بر روی خط خوراک اصلی ورودی به basin ها و تانک‌های آب قرار می‌گیرند. وظیفه اصلی این ولوها جلوگیری از سر ریز مایعات و نگه-داشتن سطح در میزان مشخص می‌باشد. یکی از مزایای این ولوها عدم نیاز به منبع انرژی برای عمل‌کردشان می‌باشد و توسط فشار سیال فرآیندی کنترل می‌شوند. نحوه کار این ولوها به این صورت است‌که ولو pilot فشار مخزن (فشار پایین دست Altitude Valve) را از طریق یک تیوب دریافت می‌کند. فرض کنید set point این ولو (ولو pilot) 55 Psig باشد؛ زمانی که فشار استانیک مخزن در نتیجه کاهش سطح مخزن، کاهش یابد و به عبارتی فشار مخزن از 55 Psig کمتر شود، ولو pilot باز شده و باعث باز شدن ولو اصلی ورودی (Altitude) می‌شود تا زمانی که سطح مخزن (فشار استاتیک) به میزان مقرر برسد. به محض رسیدن به فشار 55 Psig، ولو pilot بسته شده و فشار ورودی در محفظه کنترل [۱] ولو اصلی جمع شده و با فشار بر روی دیافراگم، ولو را بسته نگه می‌دارد. ولو pilot دارای یک needle valve برای تنظیم و یک ولو drain دستی، برای بار کردن دستی ولو Altitude در سایت می‌باشد.

[۱]-Control Chamber




شکل ۳-۴ ساختار Altitude Valve

جدول ۳- ۴ ساختار Altitude Valve

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Single Tube | 4 | Strainer |
| 2 | Pilot Valve | 5 | Needle Valve |
| 3 | Control Chamber | 6 | Drain Valve |

Diverter Valve: این ولو به یک Dip Tube که در تانک فرو برده شده است متصل است. زمانی که سطح تانک کاهش یابد، dip tube در معرض فشار اتمسفر قرار می‌گیرد. با ورود هوا به dip tube، مطابق با اثر Coanda، با توجه به وجود سطح خمیده، هوا تمایل دارد نزدیک به سطح منحنی عبور کرده و مایع را در جهت دیگری تحت فشار قرار دهد. بدین ترتیب هوا از طریق dip tube و از سطح منحنی شکل ولو به سمت تانک جریان می‌یابد و باعث می‌شود سیال از دیواره دیگر ولو به سمت تانک جریان یابد. این ولوها در عمق‌های کم استفاده می‌شوند و نیاز به منبع انرژی برای عمل‌کردشان ندارند. از این ولوها فقط در فشار اتمسفریک و مخازن سرباز بدون محدودیت دمایی استفاده می‌شود.

۴- Electrical Level Sensors: اساس کار این نوع سنسورها، تعیین سطح از طریق تغییر ولتاژ و یا تغییر ظرفیت خازن در اثر تماس مایع با رسانا می‌باشد. از انواع

این دسته می‌توان به سنسورهای سطح Conductive و Capacitance اشاره کرد.

۵- Radiation Based Level Sensors: این سنسورها بر اساس اصل توانایی مواد در جذب و یا بازتاب اشعه کار می‌کنند و انواع متداول آن Ultrasonic، Radar و Nuclear می‌باشند.

### ○ کنترل جریان

تجهیزاتی که به منظور اندازه‌گیری جریان استفاده می‌شوند Flowmeter نامیده می‌شوند و اجزای اصلی آن‌ها شامل سنسور، پردازنده سیگنال[۱] و فرستنده[۲] می‌باشد. سنسورهای جریان از امواج صوتی و میدان‌های الکترومغناطیسی برای اندازه‌گیری جریان از طریق مقادیر فیزیکی مانند شتاب، فرکانس، فشار و حجم گذرنده از مقطعی معین استفاده می‌کنند. در نتیجه بسیاری از فلومترها بر اساس مشخصه فیزیکی که برای اندازه‌گیری جریان استفاده می‌کنند، نام‌گذاری می‌شوند. مهم‌ترین فاکتورها در انتخاب فلومترها شناخت مکانیسم عمل‌کرد آن‌ها، قیمت، شناسایی اثراتشان بر سیستم (اعم از تلفات اصطکاک، افزایش آشفتگی جریان و اثرات شناوری ناشی از انتقال حرارت)، میزان دقت و حساسیت آن، راحتی تعمیرات و قابلیت اطمینان آن می‌باشد.

رابطه بین مشخصات فیزیکی و نرخ جریان، از اصول بنیادی جریان سیالات مانند معادله برنولی به‌دست می‌آید. بر این اساس انواع معمول فلومترها عبارت است از:

۱- Differential Pressure: مطابق با اصل برنولی، افت فشار در طول فلومتر با مجذور نرخ جریان متناسب می‌باشد. $\Delta P \propto V^2$

استفاده از افت فشار از سطح مقطع یک لوله، یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای اندازه‌گیری جریان می‌باشد که شامل Orifice Plate، Venturi Meter، Flow

[۱]-Signal Processor

[۲]-Transmitter

Nozzle و Pitot Tube می‌باشند.

۲- Direct Force: این نوع فلومترها با تعادل نیروی داخل سیستم کار می‌کنند که شامل Rotameter، Turbinmeter، Propeller Flowmeter، Paddle Wheel Sensor، Coriolis Mass Flowmeter می‌باشند.

۳- Frequency: این نوع فلومترها با استفاده از فرکانس و سیگنال‌های الکتریکی، نرخ جریان را محاسبه می‌کنند. مانند Vortex Shedding Flowmeter

۴-Ultrasonic: اساس کار این نوع فلومترها، پایش امواج اولتراسونیک در سیال می‌باشد که از یک میدان صوتی از پیش تنظیم شده عبور می‌کند و مبتنی بر امواج صوتی می‌باشد که تغییر می‌کند. از انواع آن می‌توان به Transit Time/Time of Flight Flowmeter و مدل های Doppler اشاره کرد.

۵- از انواع دیگر فلومترها می‌توان به Magnetic Flowmeter، Calorimetric Flowmeter، Gear Flowmeter و Thermal Flowmeter اشاره کرد.

پس از انجام فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، بررسی‌هایی جهت راه‌اندازی تجهیزات گروه ابزاردقیق مورد نیاز است‌که در زیر به اهم آن‌ها اشاره شده است:

### ۳- ۳- ۱- Preliminary Check

۱- بررسی انجام فعالیت‌های پیش راه‌اندازی و اطمینان از وجود As-built مدارک

۲- بررسی ولوهای کنترلی از نقطه نظر نصب، دسترس پذیری و مطابقت با نقشه‌های مهندسی

۳- بررسی قابلیت Reset دستی سلونوئید ولوها

۴- بررسی اتصال کابل ولوهای کنترلی و نصب درست ولوها در جهت مسیر جریان

۵- اطمینان از محکم بودن Stem Packing ولوها

۶- بررسی Tubing وسایل اندازه‌گیری از لحاظ شیب مناسب و سیستم درین آن‌ها و منیفولد مربوطه و اطمینان از صحت عمل‌کرد ولوهای آن

### ۳- ۳- ۱- ۱- بررسی سازگاری محدوده ابزاردقیق[۱]

برر سی بین تجهیزات سایت و سیستم کنترل جهت اطمینان از این‌که تمامی رنج‌های تعریف شده برای ابزاردقیق و واحدهای ا ستاندارد با هم سازگار می‌با شند. از مهم‌ترین مدارک در این بررسی Datasheet تجهیزات می‌باشد. برای سیستم‌های کنترلی پیچیده نظیر درایوهای سرعت متغیر[۲] بررسی سازگاری هم برای MCC و هم برای حلقه سیستم کنترل انجام می‌گیرد.

### ۳- ۳- ۲- Functional Test (loop Test)

به‌طور معمول مهم‌ترین فعالیت گروه ابزاردقیق در بخش راه‌اندازی Loop Test می‌باشد. هدف از این تست، تایید کارکرد درست هر یک از تجهیزات ابزاردقیق به‌صورت جداگانه (بجز آشکارسازهای عمومی[۳]) می‌باشد. این تست به‌طور جامع شامل تست‌های Loop و Logic می‌باشد. برای انجام این تست‌ها، تجهیزات ابزاردقیق به ۱۳ دسته مشخص به نام Basic Function تقسیم‌بندی می‌شوند که Functional Test برای هر کدام از آن‌ها مطابق با جدول ۳-۵ تعیین و تعریف می‌گردد.

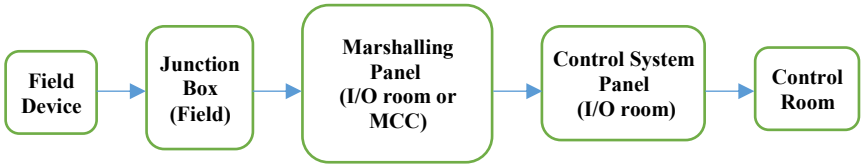
این تست مراحل مختلفی دارد؛ اما مرحله نهایی آن که از تجهیز داخل سایت تا DCS/PLC می‌باشد، مهم‌ترین بخش این فعالیت است‌که در آن باید تمام صفحات گرافیکی بررسی شوند. همچنین Alarm ها و Interlock ها از لحاظ کارکرد بررسی شده و Sequence Control Logic باید تست شود.

---

۱- Range Consistency

۲- Variable Speed Drive

۳- Local Indicator




شکل ۳-۵ حوزه Loop Test

جدول ۳-۵ Basic Function مربوط به تست‌های ابزاردقیق

| | Instrument Basic Function | Instrument Functional Test Description |
|---|---|---|
| 1 | Instrument Loop | Process Control Loop (DCS , Local , PCS) |
| | | Process Open or Closed Loop |
| | | ESD/F&G Digital Loop |
| | | ESD Analog Loop |
| | | Gas Detection |
| | | ESD , BDV , XV , MOV |
| 2 | Motor/Pump Digital Associated Input/Output | - |
| 3 | Data Communication Link | - |
| 4 | Single machine control logic | - |
| 5 | Selective operation control logic | - |
| 6 | F&G logic | - |
| 7 | F&G display | - |
| 8 | ESD logic | - |
| 9 | ESD display | - |
| 10 | Process display | - |
| 11 | Relief valve | - |
| 12 | Supervisory computer data base | - |
| 13 | Earthing segregation | - |

**۳- ۳- ۲-۱- Identification of indication, control and alarm signals**

در این مرحله سیستم‌های Alarm و Trip مورد بررسی قرار می‌گیرند. این تست‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- تست Logic Diagram و بررسی ترتیب زمانی Trip ها بر اساس Hierarchy

۲- تنظیم Set Point های Alarm و Trip بر اساس Project Specification

۳- بررسی سیگنال‌های مقدماتی برای Trip و بازخورد تجهیزات و تابلوهای اعلام کننده

۴- انجام Float Switches Test

۵- بررسی عمل‌کرد سیستم تشخیص، اعلام و اطفاء حریق نشت گاز (در این مورد برای اطمینان سیستم را شبیه سازی می‌کنند)

**۳- ۳- ۲- ۲- بررسی Interlock ها**

Interlock ممکن است در داخل سیستم کنترل به صورت نیوماتیک و یا تقویت کننده الکتریکی باشد و یا به‌صورت مکانیکی طراحی شود. در این قسمت هدف تبیین روش‌هایی برای آزمودن عمل‌کرد سیستم کنترل Interlock ها می‌باشد. چنان‌چه عنصری از Interlock را نتوان در حالت Dry (هیچ ماده شیمیایی در سیستم موجود نیست) راه‌اندازی کرد، مانند Interlock های مربوط به پمپ‌ها و کمپرسورها، در این موارد باید با شبیه سازی آن‌ها در حالت بهره‌برداری کارکرد Interlock ها مورد بررسی قرار گیرد. به‌طور کلی مراحل زیر باید در دستورالعمل بررسی Interlock ها گنجانده شود.

۱- بررسی مدارک مربوط به Hazard مانند HAZOP، FMECA[۱] و STPA[۲] و همچنین هدف آن‌ها و بررسی مدارک Logic Diagram و Cause and Effect های مربوطه

۲- Interlock ها به دو دسته SISO (Single Input/Single Output) و MIMO (Multi Input/Multi Output) تقسیم می‌شوند. برای مثال SISO فرض کنید HHL[۳] مربوط به یک تانک موجب بسته شدن ولو خوراک ورودی می‌شود و برای MIMO راکتوری را در نظر بگیرید که پارامترهای دما، فشار و دبی در آن قابل پایش باشند؛ هر یک از Interlock هایی که باعث بسته شدن ولو خوراک ورودی شوند، باعث باز شدن نیتروژن، بخار و یا مواد دیگر شود. برای SISO معمولا بهترین کار، اعمال فیزیکی ورودی و مشاهده خروجی Interlock می‌باشد. و برای MIMO، بهترین رویکرد برای تست این است‌که ابتدا همه ورودی‌ها را به‌صورت جداگانه و به‌طور فیزیکی اعمال کنیم؛ در واقع با نصب Jumper روی Switch ها و Simulator ها، مقدار لازم ورودی را برای تست هر قسمت اعمال می‌کنیم.

۳- بسته به کاربرد مورد نیاز Interlock ها، ممکن است بعضی از کنترلرها، سنسورها و یا Actuator ها توسط Hardwired Loop (Discharge Loop) به هم متصل باشند؛ که هر Discharge Loop شامل سه حلقه جریان مستقل می‌باشد به‌طوری که یک یا چند مصرف کننده را به‌صورت سری قبل از برگشت به PLC Master به هم وصل می‌کند. فقدان جریان در هر یک از حلقه‌ها به‌عنوان خطا تفسیر می‌شود. اگر دو حلقه از سه حلقه بدون جریان شوند، Discharge Loop مدار را سریعا تخلیه می‌کند. جهت اتصال همه Discharge Loop ها،

---

[۱]-Failure Modes Effects and Criticality Analysis

[۲]- System Theoric Process Analysis

[۳]-High High Level

جعبه‌ای به نام Discharge Loop Interface Box وجود دارد. Discharge Loop بخشی از سیستم کنترل Interlock می‌باشد.

این عملیات باید به‌صورت دوره ای و بر اساس قابلیت اطمینان تجهیز انجام گیرد.

**۳- ۳- ۲- ۳- بررسی سیستم ESD**

این سیستم‌ها، تنظیمات اضطراری در logic می‌باشند و جهت اطمینان از این است‌که فرآیند قابلیت مهار شدن دارد و از نظر زیست محیطی ایمن می‌باشد. این وظیفه DCS است‌که منطقی را برای سیستم shutdown در نظر بگیرد و قابلیت عمل‌کرد آن را در زمانی که فرآیند از حد مشخصی تجاوز کرد تضمین کند. قبل از معرفی خوراک به سیستم، باید نسبت به بررسی سیستم های ESD و عمل‌کرد آن‌ها در شرایط Dry اقدام شود. (برای توضیحات بیشتر در مورد سیستم‌های ESD به فصل چهار مراجعه شود).

**۳- ۳- ۳- ۴- تست توالی DCS (Sequence Test)**

همانند بررسی‌های اشاره شده Interlock ها و سیستم‌های ESD، همه sequence های کنترل ابتدا باید در حالت Dry و سپس در حالت Wet مورد آزمایش قرار گیرند تا عمل‌کرد صحیح آن‌ها مورد بررسی دقیق قرار گیرد. در حالت Dry، مانند آن‌چه پیشتر اشاره شد، اگر در sequence مورد نظر تجهیزی باشد که امکان تست آن در حالت Dry وجود نداشته باشد، سیستم را شبیه سازی می‌کنند.

**۳- ۳- ۲- ۵- بررسی جریان های Relief**

بررسی نصب صحیح و کالیبره بودن، صحت تمیزی ورودی و خروجی و تمییز کلاس فلنج‌های ورودی و خروجی از جمله موارد این بررسی می‌باشد.

## ۳- ۴- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه مکانیک

پس از انجام فعالیت‌های پیش راه‌اندازی، بررسی‌هایی جهت راه‌اندازی تجهیزات گروه مکانیک مورد نیاز است‌که در زیر به اهم آن‌ها اشاره شده است:

### ۳- ۴- ۱- بازرسی نهایی[۱]

در زیر به برخی از مهم‌ترین فعالیت‌های مربوط به بازرسی نهایی تجهیزات اشاره شده است. قطعا آیتم‌های بازرسی در موارد خاص بیشتر می‌باشد اما به‌طور جامع می‌تواند شامل موارد زیر باشد.

۱- بررسی نقشه‌های As-built و مطابقت آن‌ها با تجهیزات

۲- بررسی تابلو مشخصات تجهیز و مطابقت با نقشه‌ها و P&ID

۳- بررسی Ladder ها و Platform و اطمینان از قابلیت استفاده و ایمن بودن آن‌ها

۴- بررسی نازل‌ها و Manway ها و مطابقت با مدارک مهندسی

۵- بررسی عایق مخازن (در صورت وجود)

۶- اطمینان از درستی نصب آشکارسازهای آتش[۲]، سیستم‌های آبفشانی خودکار آتش نشانی[۳]، سیستم‌های Deluge و سیستم‌های فوم

۷- بررسی عدم وجود اجسام خارجی در مخازن و در Skirt آن‌ها

۸- بررسی نحوه نصب تجهیزات داخلی مخازن

۹- بررسی گسکت‌های مربوط به Manway از لحاظ سایز و موقتی نبودن آن‌ها

۱۰- مطابقت نوع سینی‌ها و ولوهای آن با مدارک مهندسی

۱۱- بررسی رینگ‌های نگهدارنده سینی‌ها و اندازه‌ی آن‌ها

۱۲- بررسی ولو سینی‌ها از نقطه نظر آزادی عمل‌کرد و عدم وجود علائم زنگ‌زدگی

---

۱-Final check

۲- Fire detector

۳-Sprinkler

۱۳- بررسی تراز بودن Downcommer ها و فاصله انتهای آن با Deckplate

۱۴- بررسی Overflow Weir ها از لحاظ اندازه و محکم بودن

۱۵- بررسی نحوه پیچ شدن و اتصال بخش‌های مختلف سینی به رینگ‌های نگهدارنده. در بعضی قسمت‌ها در نقشه‌ها، به استفاده از جوش، علاوه بر پیچ کردن اشاره شده است.

۱۶- تطابق جنس مواد به‌کار رفته اعم از سینی‌ها و پیچ‌ها و ... و همچنین سایز به‌کار رفته با مدارک مهندسی

۱۷-اطمینان از تراز بودن سینی‌ها به‌صورت افقی و با تلرانس حداکثر $\pm 0.5\%$ (برای این ارزیابی معمولاً با یک Spirit Level سطح سینی در چهار نقطه با فواصل مساوی اندازه‌گیری می‌شود.)

۱۸- اطمینان از نصب درست Splash Weir ها در برج‌های سینی‌دار و اطمینان از ثابت‌شدن آن‌ها توسط پیچ یا جوش با توجه به مدارک

۱۹-انجام هیدروتست مربوط به Chimney های برج‌ها

۲۰- بازرسی گسکت‌های سینی‌ها از لحاظ مناسب بودن جنس و مطابقت با نقشه

۲۱- بررسی کلیه نازل‌های داخلی مخازن از نظر تمیزی و باز بودن آن‌ها

۲۲- بررسی سیستم لوله‌کشی داخل تجهیز و اطمینان از انجام تست‌های پیش راه اندازی و راه‌اندازی آن‌ها

۲۳- بررسی ساپورت و Screen های مربوط به پر کردن کاتالیست‌ها در صورت وجود

۲۴- بررسی توزیع‌کننده‌ها و بافل[1]های داخلی تجهیز در صورت وجود

۲۵- بررسی اندازه و محل نصب Thermowell ها مطابق با مدارک تجهیز

۲۶- اطمینان از صحت نصب Level Transmitter ها

۲۷- اطمینان از صحت نصب Filter Element ها در صورت وجود

۲۸- بررسی Vortex Breaker و Wire mesh pad ها یا Demister pad در

[1]- Baffle

صورت نصب، مطابق با نقشه

۲۹- اطمینان از نصب صحیح اجکتورها و میکسرهای استاتیکی در ورودی و خروجی مخازن

۳۰- مطابقت سایز Weep Hole که در زیر Seal Pan ها در Reboiler ها ایجاد می‌شوند با نقشه

۳۱- در مورد Reboiler ها لازم است‌که نازل خوراک در سمت درستی از بافل باشد و نازل خروجی در سمت مخالف نازل ورودی باشد (مطابق با مدارک Drawing)

۳۲- بررسی دقیق محفظه احتراق بویلر و کوره‌ها و Refractory آن‌ها (برای اجرای برخی از Refractory ها معمولاً از قالب‌گذاری استفاده می‌شود؛ دقت شود این قالب‌ها بعد از انجام کار جا نمانده باشد؛ خصوصاً در قسمت Stack مربوط به این تجهیزات) و quarl های Burner (کانالی در دیواره بویلر که شعله Burner از داخل آن می‌گذرد)

۳۳- اطمینان از نصب درست Tube Hanger ها

۳۴- بررسی دمپر بالای Stack از نظر سهولت در بهره‌برداری

۳۵- اطمینان از انجام تست هیدرواستاتیک تیوب‌ها

۳۶- بررسی Deaerator ها در قسمت Scrubbing سینی‌ها و گسکت‌ها

۳۷- بررسی بندهای درین و لایه‌های محافظتی و آب‌بندی سقف در مورد تانک‌های سقف شناور از لحاظ مناسب بودن شرایط نصب و مطابقت نگه‌دارنده‌های سقف با مدارک

۳۸- بررسی پوشش خارجی مخازن کربنی در Sump ها

۳۹- خارج نمودن گریس و تمیز کردن تیوب‌ها در مبدل‌های پوسته و لوله[1] که با کشتی منتقل می‌شوند. (معمولاً برای حفاظت، فضای خارجی تیوب‌های آنها با گریس پر شده‌اند).

[1] -Shell & Tube Heat exchanger

۴۰- اطمینان از آزاد بودن و گریس‌کاری قسمت Sliding مربوط به Base Plate تجهیزات و انجام Anchor Bolt Tightening قسمت Fix در مبدل‌ها
۴۱- اطمینان از صحت عمل‌کرد مکانیزم باز شدن Pig Reciever/Launcher
۴۲- اطمینان از حرکت آزادانه‌ی شفت به‌صورت دستی در مورد تجهیزات دوار
۴۳- اطمینان از تمیزی و خارج نمودن کامل مواردی که برای حفاظت در هنگام نقل و انتقال و یا زمان ساخت برای آن‌ها به‌کار برده شده است.
۴۴- اطمینان از موجود بودن مقدار کافی روغن روانکار و روغن آب‌بند و کیفیت آن
۴۵- خارج نمودن کارتریج فیلترها پس از اطمینان از موجود بودن متریال مربوطه و نصب صحیح آن جهت جلوگیری از آسیب در زمان انجام فعالیت‌های راه‌اندازی

### ۳- ۴ -۲ Chemical and Catalyst Loading

نحوه پر کردن [۱] تجهیز از کاتالیست(ها)، میزان کاتالیست(ها)، نوع آن و ترکیب درصد مواد شیمیایی در فرآیند بر اساس دستورالعمل لایسنسور مشخص می‌شود. لذا در این بخش تنها به معرفی انواع معمول پر کردن تجهیز و پیش نیازها و بازرسی‌های لازم جهت انجام این عملیات می‌پردازیم.

پیش از اقدام به این کار لازم است برای آخرین بار نسبت به بازرسی نهایی و بررسی تجهیزات داخلی اقدام و متریال و سایز مواد با نقشه ها مطابقت داده شود. همچنین کلیه مراحل مربوط به بازرسی نهایی باید در این مرحله انجام گیرد.

در انجام عملیات، تجهیزات زیر ضروری می‌باشد:

جرثقیل مناسب (بر اساس وزن بسته‌های کاتالیست و ارتفاع محل تخلیه)، سکوی بارگیری و نظارت [۲] ، Funnel، Hopper، Loading Socks، نردبان جهت ورود به مخازن برای عملیات تسطیح کاتالیست، سیستم روشنایی و چراغ قوه، سیستم تهویه مطبوع، تجهیزات

[۱]- Loading
[۲]-Platform

حفاظتی ایمنی شامل Breathing Protection، Rain Protection، طناب و سطل[1].

به‌طور کلی روش‌های پر کردن تجهیز به شرح زیر است:

**۱- Hand Loading:** در این روش مواد با سطل و یا با استفاده از Hopper داخل تجهیز پر می‌شود و عمل تسطیح توسط یک کارگر صورت می‌پذیرد.

**۲- Sock Loading:** در این روش ابتدا یک قیف یا Funnel که در قسمت خروجی آن یک تیوپ برزنتی (Sock) نصب است، روی ورودی تجهیز قرار می‌دهند. سپس از طریق Hopper مواد به داخل Funnel ریخته می‌شود. برای جلوگیری از خرد شدن مواد لازم است از ریختن آن‌ها به‌طور آزاد داخل تجهیز خودداری شود. همچنین طول تیوپ باید به اندازه‌ای باشد که دهانه خروجی آن بیشتر از 20 سانتی‌متر با کف تجهیز فاصله نداشته باشد. از طرفی قطر تیوپ باید به اندازه‌ای باشد که مواد در داخل آن دچار گرفتگی نشود. (به‌طور معمول حداقل باید 30 سانتی‌متر باشد)

**۳- پر کردن با مخزن پر از آب:** این روش برای پر کردن تجهیز با راشینگ رینگ‌ها و رینگ‌های سرامیکی مورد استفاده در برج‌های Packed کاربرد دارد. باید به این نکته توجه کرد که این روش برای موادی که آب روی آن‌ها تأثیر منفی می‌گذارد مانند Molecular Sieve ها مناسب نمی‌باشد. در این روش مخزن با آب (معمولا حدود 30 درصد حجم مخزن) پر می‌شود و عملیات از نازل بالایی تجهیز انجام می‌گیرد. با این کار از شکستن مواد شکننده در هنگام انجام کار جلوگیری می‌شود. برای انجام این عملیات ابتدا باید میزان تحمل تجهیز در مقابل وزن و فشار استاتیک آب مورد بررسی قرار گیرد. میزان پر کردن در هر تجهیز بر اساس دستورالعمل لایسنسور و نقشه‌های Drawing و معمولاً بر حسب میلی‌متر مشخص می‌شود. قبل از انجام عملیات لازم است دیواره داخلی تجهیز اندازه‌گذاری و مارک شود تا بازرسی راحت‌تر انجام شود. برای بالا بردن دقت کار،

[1]-Bucket

پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن چگالی ماده مورد نظر، قبل از انجام عملیات مقدار کاتالیست مورد نیاز به‌صورت وزنی نیز محاسبه شود.

### ۳-۴- ۳- فلاشینگ با روغن[۱]

فلاشینگ با روغن فرآیندی است‌که برای تمیزی سیستم‌های روغن‌کاری و آب‌بندی روغنی پمپ‌ها و کمپرسورها انجام می‌گیرد. برای این کارابتدا روغن مخصوص فلاشینگ که روغنی غیر از روغن اصلی مورد استفاده در تجهیز می‌باشد، به مدت یک ساعت به گردش در می‌آید. سپس مش‌هایی در نقاط حساس -معمولاً در انتهای خروجی سیستم روغن- نصب می‌شود. معمولاً از مش شماره 100 که قطر سیم‌های فولاد ضدزنگ آن 0.005 in و سایز سوراخ های آن 0.0059 x 0.0059 اینچ مربع می‌باشد استفاده می‌شود. عملیات فلاشینگ آنقدر ادامه می‌یابد تا قطر ذرات جمع شده پشت مش، بیشتر از 0.01 in نباشد و با چشم غیر مسلح نتوان هیچ‌گونه ذره خارجی را در مش‌ها دید. در طول این عملیات با چکش به لوله‌ها و ولوهای سیستم ضربه می‌زنند تا رسوبات داخل آن‌ها جدا شوند.

در جدول ۳-۶ نمونه توافق شده در تعداد قابل قبول ذرات در مش در یکی از پالایشگاه‌های میشیگان، در عملیات فلاشینگ با روغن با توجه به سایز لوله نمایش داده شده است.

---

۱-Oil Flushing

جدول ۳-۶ تعداد قابل قبول ذرات در Mesh در عملیات Oil Flushing با توجه به سایز لوله

| Nominal Pipe Size (inch) | Schedule 40 or Less | Schedule 80 | Schedule 160 | Extra Strong |
|---|---|---|---|---|
| 1 or less | 6 | 3 | 4 | - |
| 1_1.5 | 13 | 11 | 9 | 6 |
| 2 | 21 | 18 | 14 | 11 |
| 3 | 46 | 41 | 34 | 26 |
| 4 | 80 | 72 | 58 | 49 |
| 6 | 180 | 163 | 132 | 117 |

### ۳- ۴- ۴- تنظیم فن[۱]

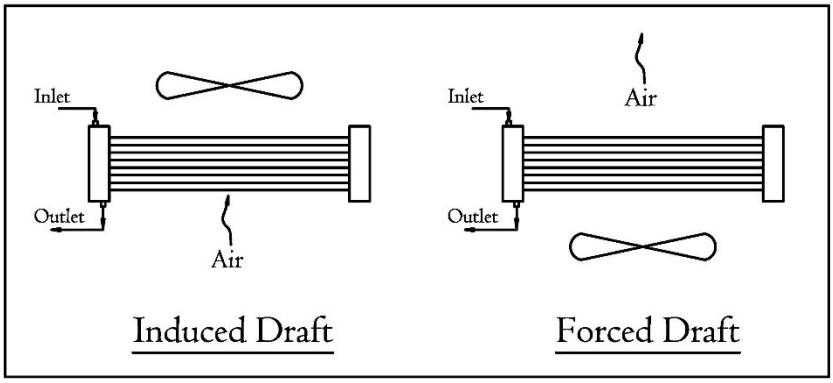
کولرهای هوایی[۲] به دو صورت مکش کششی[۳] و مکش اجباری[۴] مطابق با شکل ۳-۶ موجود می‌باشند.

۱- Fan Adjustment

۲- Air Cooler

۳- Induced Draft

۴- Forced Draft




شکل ۳-۶ انواع کولر هوایی

موارد زیر در بررسی کولرهای هوایی الزامی می‌باشد:

۱- در کولرهای هوایی ، نسبت سطح پره‌ها به سطح لوله‌ها 12 به 1 می‌باشد. به همین دلیل کولرهای هوایی را مبدل‌های حرارتی سطح گسترده می‌نامند.

۲- بعد از سولوران موتور و بررسی جهت چرخش موتور، کولرهای هوایی به موتور کوپل می‌شوند و هم‌ترازی و میزان لقی تسمه[1] تنظیم می‌شود. لقی تسمه برای کولرهایی که به‌صورت دائم در سرویس می‌باشند، معمولاً هر ۶ هفته یک بار باید بررسی گردد.

۳- اغلب فن‌ها دارای کاهنده سرعت به‌صورت تسمه‌ای و یا گیربکسی می‌باشند. روغن کاری بیرینگ‌ها در آن باید بررسی گردد.

۴- تسمه‌ها و چرخ‌دنده‌ها باید از لحاظ ساییدگی یا خوردگی دندانه‌ها بررسی گردند.

۵- کلیه پیچ و مهره‌ها و Clamp های Blade ها از لحاظ محکم بودن بررسی گردند.

۶- به‌صورت چشمی تیغه کلیه پروانه‌ها از لحاظ شکستگی، پریدگی و سایش بیش از حد، بررسی گردند.

[1]- Belt Tension

۷- آلودگی‌ها و رسوبات چسبیده به لوله‌ها و سطح پروانه‌ها باید پیش از راه‌اندازی و برق‌دار کردن موتور تمیز گردد. این رسوبات سبب کاهش سطح انتقال حرارت و همچنین بازگشت هوا می‌گردد که در نهایت روی بازده فن تأثیر نامطلوب می‌گذارد. در کولرهای FD، معمولاً سطح زیرین لوله‌ها در معرض آلودگی قرار می‌گیرد و با تجمع و رسوب آلودگی‌ها در این بخش، مقاومت در برابر جریان هوا افزایش می‌یابد. اما جریان هوای خروجی و فشار فن و آمپر موتور با وجود این رسوبات ثابت باقی می‌ماند. در این حالت مقداری از هوا از طریق توری سیمی زیر پروانه و از لبه‌های کناری آن برگشت داده می‌شود. بنابراین جهت تشخیص پدیده فولینگ در فن های FD از یک تکه کاغذ در لبه‌های توری زیر پروانه استفاده می‌شود. اگر کاغذ به توری نچسبد بیانگر این است‌که پدیده فولینگ اتفاق افتاده است. اما در فن های ID قضیه برعکس است و معمولاً جریان هوای معکوس در این‌گونه فن‌ها وجود ندارد. در این حالت برای تشخیص فولینگ کافیست به آمپراژ موتور توجه کنید. اگر آمپر موتور کم شد، می‌تواند دلیلی بر فولینگ باشد.

برای رفع فولینگ در زمان بهره‌برداری، قبل از بی‌برق کردن موتور و شستشو با آب و محلول‌های شیمیایی (همیشه برای شستشو با مایعات از پایین به بالا اقدام می‌شود)، از روش Norm Liberman استفاده می‌شود. در این روش با معکوس کردن قطبیت سرهای الکتریکی موتور، موتور را در جهت عکس استارت می‌کنند. در هنگام انجام این عملیات رعایت فاصله ایمن از کولر هوایی الزامی می‌باشد. در این حالت بخش عمده‌ای از رسوبات بیرونی لوله‌ها خارج خواهد شد.

۸- شیب تیغه پروانه‌ها باید مطابق با دستور شرکت سازنده تنظیم و بررسی گردد. شیب پره‌های پروانه تأثیر بسزایی در میزان جریان هوای خروجی دارد. معمولاً شیب 12 درجه برای جریان‌های کم و شیب 24 درجه برای جریان‌های زیاد تنظیم می‌شود. توجه شود که هرگونه افزایش در میزان جریان هوا، باعث افزایش بار جریان موتور می‌شود و ممکن است منجر به تریپ خوردن موتور گردد. بنابراین توجه به

دستورالعمل و datasheet شرکت سازنده برای تنظیم کردن فن‌ها الزامی می‌باشد. از طرف دیگر هر چه هوا سردتر باشد، وزن ملکولی هوا بیشتر می‌باشد؛ بنابراین در مناطق سردسیر در فصل زمستان برای جلوگیری از افزایش آمپر موتور، شیب پروانه‌ها را کم می‌کنند.

۹- جهت نصب و درستی نصب تیغه پروانه‌ها باید بررسی گردد.

۱۰- Tip Clearance تیغه‌ها باید مطابق با مدارک سازنده باشد و برای همه آن‌ها به یک اندازه در نظر گرفته شود.

۱۱- کارایی تجهیزات Anti-Rotation در فن‌ها- برای جلوگیری از خراب شدن تسمه‌ها- باید بررسی گردد.

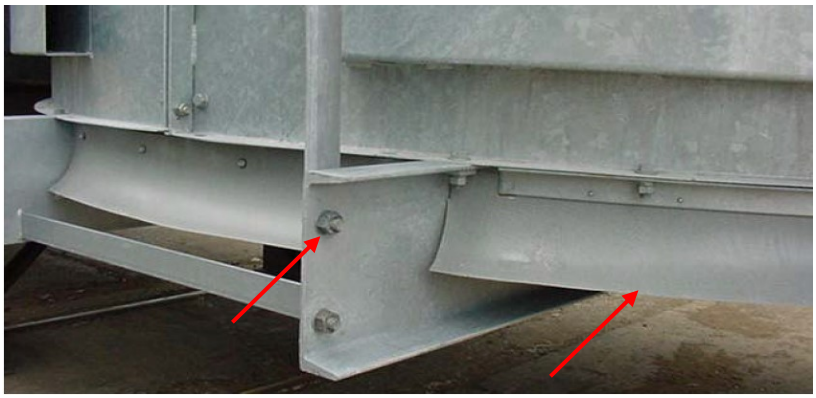
۱۲- چنان‌چه فن دارای دیسک آب‌بند[1] می‌باشد، نصب صحیح و سالم بودن آن باید بررسی گردد.



شکل ۳-۷ دیسک آب‌بند

۱۳- چنان‌چه فن دارای Inlet Bell می‌باشد، نصب صحیح و سالم بودن آن باید بررسی گردد.

[1]- Seal Disk



شکل ۳-۸ Inlet Bell

۱۴- میزان سرعت فن (در صورت اشاره شدن در datasheet)، میزان ارتعاش یا Pulsing آن باید به‌درستی اندازه‌گیری و بررسی گردد. (سرعت‌های پایین و شیب زیاد منجر به پدیده Stall می‌گردد).

۱۵- تمیزکاری داخل لوله‌های کولرهای هوایی کاری دشوار و زمان‌بر می‌باشد. برای این کار باید درپوش‌های لوله‌ها باز و لوله‌ها تمیز شوند. هر لوله دو درپوش دارد و برای کولری که دارای 1000 لوله می‌باشد، باید 2000 درپوش باز و بسته شود. غالباً این درپوش‌ها رزوه‌ای می‌باشند و باز و بسته کردن مکرر آن‌ها منجر به نشتی می‌شود. بنابراین در زمان راه‌اندازی معمولاً در این بخش تمیزکاری مکانیکی صورت نمی‌گیرد. بهره‌برداری نامناسب از کولرها منجر به توزیع نامتناسب جریان سیال فرآیند از درون لوله‌ها می‌شود. معمولاً بیشترین جریان از بانک لوله‌هایی که در نزدیکی خط ورودی اصلی قرار دارند گذر می‌کند و جریان‌های کمتر و سردتر از بانک‌های انتهایی عبور داده می‌شود. همین امر سبب رسوب و گرفتگی بانک‌های دورتر می‌شود که در نهایت بازده کولر کاهش می‌یابد. بهترین حالت بهره‌برداری برای توزیع متناسب جریان در بانک‌های کولر هوایی، حفظ اختلاف فشار ورودی و خروجی کولر و کاهش حداکثری این اختلاف فشار می‌باشد.

- راهکارهای افزایش جریان هوا در کولرهای هوایی:

۱- شیب پره‌ها: افزایش شیب پره‌ها تا جایی که فن با پدیده Stall مواجه نشود و قدرت موتور اجازه بدهد، باعث افزایش جریان هوا می‌شود. به‌طور تجربی ثابت شده است به ازای هر 10% افزایش میزان جریان هوا، 33% قدرت برای موتور لازم است.

۲- سرعت فن: افزایش سرعت فن تا جایی که قدرت موتور اجازه بدهد، منجر به افزایش جریان هوا و جلوگیری از بروز پدیده Stall می‌شود. از طرفی افزایش سرعت فن منجر به افزایش میزان صدا نیز می‌شود.

۳- Tip Clearence: هرچه میزان فاصله بین انتهای پره‌ها و بدنه کمتر باشد، میزان هوای بیشتری (به‌طور تجربی 6%-2) با قدرت ثابت و صدای کمتر جابجا می‌شود. در این حالت معمولاً از Seal Kit ها استفاده می‌شود. (API-661)

۴- Inlet Bell: استفاده از inlet bell میزان جریان هوا را تا 3% افزایش داده و میزان صدا را کاهش می‌دهد.

۵- Seal Disc: این وسیله باعث جلوگیری از برگشت جریان هوا به مرکز فن می‌شود و میزان جریان هوا را تا 3% بهبود می‌بخشد.

### ۳- ۴- ۵- بالانس (هم‌ترازی) نهایی[1]

پیشتر در بخش پیش‌راه‌اندازی راجع به هم‌ترازی سرد که عملیاتی برای تراز کردن شفت‌های درایور و تجهیز دوار در دمای محیط می‌باشد، توضیح داده شد. از طرفی تنظیم تجهیزات ممکن است تحت تأثیر افزایش دما باشد؛ به این ترتیب که افزایش دما در زمان بهره‌برداری، می‌تواند تأثیرات نامطلوبی در تجهیز ایجاد کند. بنابراین در این مرحله برای برخی از تجهیزاتی که سازنده به آن اشاره کرده باشد، نیاز است‌که هم‌ترازی گرم به‌طور خلاصه به دو طریق زیر روی تجهیز مورد نظر اعمال گردد:

[1]-Final Alignment

۱- از طریق محاسبه رشد حرارتی[۱] شفت و لحاظ کردن آن در هم‌ترازی سرد

۲- از طریق خاموش کردن تجهیز زمانی که دمای عملیاتی تثبیت شد و نصب نشانگر مدرج[۲] برای اندازه‌گیری میزان انحراف آن. (این روش زمانی که دسترسی به کوپلینگ و نصب نشانگر روی آن در زمان کوتاهی امکان‌پذیر باشد، کاربرد دارد).

حداکثر میزان ناهم‌ترازی مجاز با در نظرگرفتن دما و سرعت عملیاتی شفت، توسط شرکت سازنده اعلام می‌گردد؛ در غیر این صورت صرف‌نظر از نوع کوپلینگ حداکثر میزان ناهم ترازی شعاعی و محوری نباید از 0.05 mm TIR[۳] بیشتر باشد.

(برای جزییات بیشتر در مورد هم‌ترازی گرم به بخش پیش راه اندازی مراجعه شود)

### ۳- ۴- ۶- Breaking in Pumps

پمپ‌های هیدرولیکی به دو دسته‌ی گریز از مرکز[۴] یا سانتریفیوژ و پمپ‌های جابجایی مثبت[۵] تقسیم‌بندی می‌شوند. پمپ‌های گریز از مرکز از نوع پمپ‌های دینامیکی می‌باشند و اساس کار آن‌ها، افزایش فشار به‌وسیله شتاب‌دهی به سیال و تبدیل انرژی جنبشی به فشار است. دبی پمپ‌های سانتریفیوژ وابسته به سرعت و فشار خروجی می‌باشد.

---

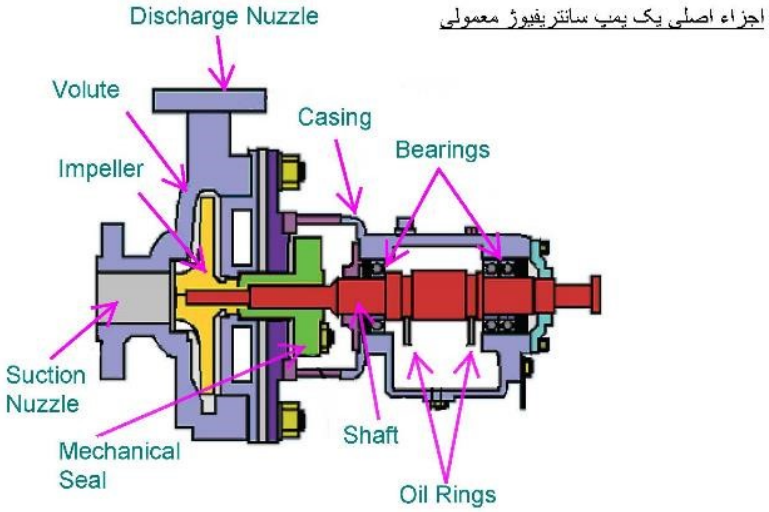
۱- Thermal Growth

۲-Dial Indicator

۳- Total Indicator Reading

۴- Centrifugal

۵-Positive Displacement




شکل ۳-۹ اجزاء پمپ سانتریفیوژ

در پمپ‌های جابجایی‌مثبت، دبی وابسته به سرعت و جابجایی بوده و به فشار خروجی وابسته نمی‌باشد. دبی در پمپ‌های جابجایی‌مثبت برابر است با:

$$Flow = Displacement \times Shaft\ Speed \times Volumetric\ Efficiency$$

پمپ‌های جابجایی‌مثبت نیز به‌طور ثابت و یکنواخت سیال را از داخل محفظه خود به بیرون می‌رانند. این پمپ‌ها به دو دسته پمپ‌های رفت و برگشتی[۱] و پمپ‌های دورانی[۲]تقسیم‌بندی می‌شوند. در پمپ‌های رفت و برگشتی محفظه اصلی پمپ ثابت و تقریباً به شکل یک سیلندر است‌که یک قطعه متحرک مانند پیستون در آن حرکت می‌کند. برخی از این نوع پمپ‌ها، از نوع پیستونی متغیر می‌باشند که در آن‌ها می‌توان جریان را در یک سرعت مشخص از شفت تغییر داد. این پمپ‌ها برای دبی‌های متغیر و یا

[۱]-Reciprocating
[۲]-Rotary

کاربردهای پر فشار استفاده می‌شوند و معمولاً بازده انرژی آن‌ها بیشتر است. پمپ‌های دورانی با توجه به وضعیت پروانه آن‌ها به شکل پمپ‌های دنده‌ای[۱]( شامل دو چرخدنده ساده می‌باشد) و پمپ‌های پره‌ای[۲] می‌باشند.

در پمپ‌های دبی‌ثابت، دبی اضافی از طریق شیرهای اطمینان[۳] تخلیه می‌شود. اما برخی پمپ‌های هیدرولیکی به شکل دبی‌متغیر طراحی می‌شوند که در آن‌ها پس از بالا رفتن فشار سیال در سیستم و رسیدن فشار سیستم به نقطه مورد نظر، به‌طور اتوماتیک و به‌واسطه فرمان هیدرولیک، دبی توسط Compensator محدود می‌شود تا مازاد دبی ایجاد نشود. Piston Pump Control ها شیرهایی انتگرالی هستند که در پاسخ به یک فشار، سیگنال الکترونیکی را به یک پیست لرزاننده منتقل می‌کنند و به این طریق میزان جابجایی مورد نظر در پمپ‌ها ایجاد می‌گردد. انواع مختلف این نوع ولوها شامل موارد زیر می‌باشند:

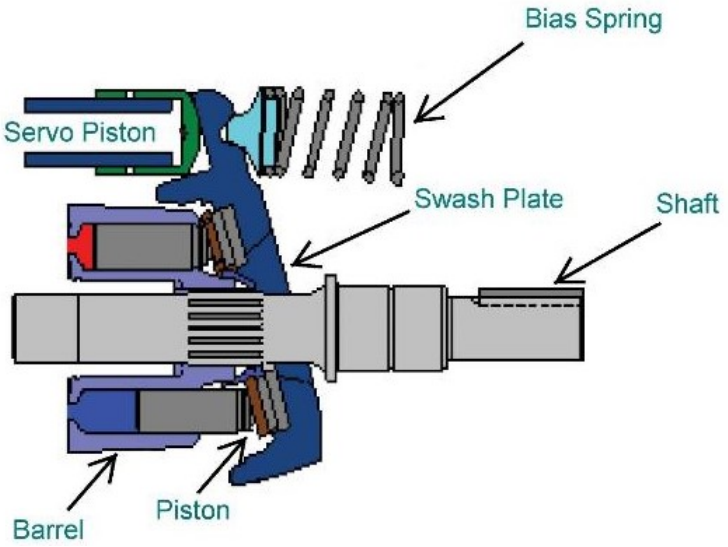
۱- Pressure Compensator: این دستگاه از طریق محدود کردن فشار خروجی پمپ به مقدار تعیین شده و تعریف شده از قبل، میزان دبی خروجی را تنظیم می‌کند. گاهی اوقات به آن Firing Pressure نیز می‌گویند. در واقع Compensator مانع Overload شدن پمپ در سیستم‌های هیدرولیکی می‌گردد. این دستگاه در کارخانه نصب می‌شود و قابلیت نصب آن در سایت وجود ندارد.

---

۱-Gear

۲-Vane

۳-Relief Valve




شکل ۳-۱۰ Pressure Compensator

۲- Load Sense Control: این دستگاه دبی خروجی را از طریق ثابت نگه‌داشتن افت فشار در طول یک اورفیس، تنظیم می‌کند.

۳-Torque Limit Control: این دستگاه با اعمال کنترل روی گشتاور پمپ، میزان جریان را تنظیم می‌کند.

۴-Electronic Displacement Control: این دستگاه میزان دبی خروجی را از طریق مقایسه با یک فرمان الکترونیکی تنظیم می‌کند.

میزان دبی خروجی در پمپ‌های دبی‌متغیر با تغییر سرعت چرخش شفت یا به‌وسیله تغییر زاویه Swash Plate تغییر می‌کند.

به‌طور کلی پمپ‌های نو باید با نصب Strainer همراه با مش‌های موقتی، در زمان راه‌اندازی استارت شوند تا از لحاظ مکانیکی کارایی آن‌ها تست شود و هرگونه نقصی قبل از استارت‌آپ واحد، مشخص و برطرف گردد. در این مرحله، کلیه ادوات ابزاردقیق اعم از

اوریفیس‌ها، فلومترها، گیج‌های فشار ورودی و خروجی پمپ، PSL[1] و PSH[2] پمپ باید نصب شده باشند. بنابراین این تست علاوه بر مشخص کردن صحت عمل‌کرد مکانیکی پمپ، به‌صورت غیرمستقیم، عمل‌کرد ادوات ابزاردقیق، شیرهای کنترلی در مسیر و همچنین نشتی‌های احتمالی در مسیر تست را مشخص می‌کند. سیال مورد استفاده برای این تست باید سیالی ایمن (معمولا آب) و غیر از سیال فرآیندی باشد. (مگر این‌که امکان تست پمپ فقط با سیال فرآیندی خود باشد که در این صورت باید تا زمان استارت‌آپ این تست را به تعویق انداخت). همچنین این کار به‌دلیل تخلیه کردن آب بعد از انجام تست، باعث تمیزکاری و فلاشینگ سیستم نیز می‌گردد. نکته قابل توجه این‌که این عملیات هم برای پمپ و هم برای کمپرسور باید بعد از مرحله تست نشتی صورت پذیرد. (در سیستم‌های بی‌خطر مانند سیستم‌های آب، تست نشتی همان Service Test می‌باشد و لذا در این حالت MRT[3]به منزله تست نشتی می‌باشد). دقت شود که قبل از استارت پمپ نباید هیچ‌گونه پانچ "A" وجود داشته باشد. قبل از شروع تست حتماً باید چک‌لیست مربوط به آماده بودن پمپ مورد نظر بررسی گردد.

همان‌طور که گفته شد، سیال معمول برای MRT، آب می‌باشد، اما چنان‌چه سیال سیستم، قابلیت جایگزینی با آب را نداشته باشد (مانند پروپان)، لازم است این تست، به عنوان OT به زمان استارت‌آپ موکول گردد.

در جدول ۳-۷ نمونه‌ای از چک‌لیست یک پمپ ارائه شده است:

[1]-Pressure Switch Low

[2]-Pressure Switch High

[3]- Mechanical RunTest

جدول ۳-۷ چک‌لیست پمپ

| No. | CHECK LIST ITEM | COMMENT |
|---|---|---|
| 1 | Precommissioning task completed. | |
| 2 | Commissioning functional tests completed. | |
| 3 | Driver running tests completed. | |
| 4 | Alignment verified. | |
| 5 | Seals status satisfactory. | |
| 6 | Oil level completed. | |
| 7 | Lube oil system safisfactory. | |
| 8 | Required overrides installed. | |
| 9 | Measurement and safety devices on line. | |
| 10 | Configuration established. | |
| 11 | Minimum flow requirements satisfied. | |
| 12 | Cooling flow established. | |
| 13 | Level in Suction vessel established. | |

موارد مورد بررسی در طول تست MRT یک پمپ:

۱- ابتدا جهت چرخش موتور پمپ بررسی می‌شود. جهت چرخش معمولاً روی بدنه موتور نشان داده شده است؛ اما به‌صورت تجربی با استفاده از یک مداد و با باز کردن حفاظ کوپلینگ[۱] و قراردادن مداد روی آن می‌توان جهت چرخش را تشخیص داد. اگر پمپ در جهت درست خود نچرخد، فشار لازم را در خروجی ایجاد نخواهد کرد. (لازم به توضیح است‌که پمپ وظیفه‌ی تامین فشار ورودی را ندارد و این وظیفه منبع تغذیه و مخزن در ورودی می‌باشد. بارها دیده شده است‌که با وجود فشار لازم در قسمت ورودی پمپ، گیج ورودی، فشاری را نشان نمی‌دهد. محتمل‌ترین مورد در این حالت وجود کپ پلاستیکی در ورودی منیفولد گیج می‌باشد که در هنگام نصب توسط نصب‌کننده جدا نشده است و

[۱]-Coupling Guard

بنابراین گیج، فشاری را نشان نمی‌دهد. در این حالت منیفولد گیج باید باز شود و مسیر آن بررسی و آزاد گردد).

۲- در پمپ‌هایی که توسط توربین به گردش درمی‌آیند، توربین باید از پمپ جدا شود و OverSpeed Trip و Governor آن بررسی گردد.

۳- قبل از استارت اولیه پمپ، casing پمپ باید به‌طور کامل هواگیری و Fill up گردد. در این حالت خط Priming پمپ را در حالی‌که شیر خروجی پمپ بسته است، باز کرده تا به آرامی محفظه پمپ پر شود. سپس ولو مربوط به drain پمپ را باز کرده و از خروج سیال از آن مطمئن شوید تا زمانی که جریان به‌صورت پیوسته از آن خارج گردد. چنان‌چه درین محفظه‌ی پمپ به‌صورت پنهان و بسته باشد [۱]، کافیست هواگیری از طریق شیرهای هواگیری روی منیفولد گیج‌های ورودی و خروجی پمپ انجام گیرد. در هر صورت Priming پمپ باید مطابق با دستور سازنده آن صورت پذیرد. برای سرویس‌های cryogenic، هواگیری از طریق باز کردن خط Flare متصل به casing و از طریق closed drain صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که باید خروج جریان سیال از طریق لمس سرما و یا مشاهده یخ زدگی لوله‌های Flare و Drain، بررسی شود.

۴- سطح روغن مربوط به محفظه‌ی بیرینگ‌ها[۲] در هر دو قسمت پمپ و موتور باید بررسی شود. در پمپ‌های رفت و برگشتی سطح روغن و عمل‌کرد روانکارهای دسته‌ی پیستون نیز باید بررسی گردد.

۵-آب cooling و سیستم روغن آب‌بند پمپ در صورت وجود باید بررسی شود.

۶-اگر از سیالی غیر از سیال فرآیندی پمپ برای تست استفاده می‌شود، باید شیر خروجی به نسبت ویسکوزیته و دانسیته سیال تست، تنظیم شود تا از Overload شدن موتور جلوگیری شود.

۷-از نصب مکانیکال سیل یا پکینگ باید اطمینان حاصل شود.

---

[۱]-Closed Drain

[۲]- Bearing Housing

۸-در پمپ‌هایی که دمای سیال فرآیندی آن‌ها بالا می‌باشد، در صورت وجود خط Warm up، باید محفظه‌ی پمپ با سرویس پمپ گرم شود. به‌عنوان مثال در Direct-acting Steam Pumps پس از بررسی لوله‌های بخار و سیلندر درین، محفظه‌ی پمپ با بخار، Warm up می‌شود.

در جدول ۳-۸ یک نمونهTest Sheet مربوط به پمپ‌های سانتریفیوژ برای آشنایی ارائه شده است:

جدول ۳-۸ نمونه Test Sheet پمپ سانتریفیوژ

| Designation | Units | Normal Value | Values Recorded During Test | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Suction Pressure | | | | | | | | | | |
| Discharge Pressure | | | | | | | | | | |
| Inlet Temperature | | | | | | | | | | |
| Outlet Temperature | | | | | | | | | | |
| Discharge Flow | | | | | | | | | | |
| Shut in Discharge Pressure | | | | | | | | | | |
| Mechanical: Bearing Temperature and Vibration Readings | | | | | | | | | | |
| Bearing Designation | Units | Normal Value | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Thrust Bearing Temperature | | | | | | | | | | |
| Vibration | | | | | | | | | | |
| Electrical | | | | | | | | | | |
| Motor Speed | Units | Normal Value | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Motor Voltage | | | | | | | | | | |
| Motor Intensity | | | | | | | | | | |
| Motor Power | | | | | | | | | | |
| Electrical Power | | | | | | | | | | |

**۳- ۴- ۶- ۱- منحنی مشخصه پمپ‌ها:**

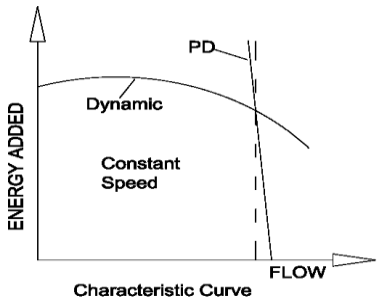
شکل ۳-۱۱ بر اساس دبی پمپ‌های دینامیکی و جابجایی‌مثبت در مقابل تغییرات مقاومت سیستم، می‌باشد. دبی پمپ‌های گریز از مرکز در مقابل تغییرات مقاومت سیستم، شدیداً تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. به‌همین جهت امکان تغییر ظرفیت این دسته از پمپ‌ها با تغییر مقاومت سیستم، قابل‌کنترل می‌باشد. از طرف دیگر دبی و به‌دنبال آن ظرفیت پمپ‌های جابجایی‌مثبت تقریباً ثابت می‌باشد (دبی این دسته از پمپ‌ها به سرعت دورانی و حجم هر سیلندر در هر کورس بستگی دارد) و ظرفیت آن با تغییر مقاومت سیستم قابل کنترل نمی‌باشد. اما در شرایطی که لازم باشد سیستم پمپاژ، با ظرفیت تقریباً ثابتی کار کند، به‌طوری که با تغییر شرایط موجود در سیستم، دبی پمپ تغییر چشم‌گیری نکند، مانند Chemical Injection Dosier Pump ها، باید از پمپ‌های جابجایی‌مثبت مانند پمپ‌های دیافراگمی استفاده کرد.

همان‌طور که از شکل ۳-۱۱ پیداست، اختلاف اندکی بین ظرفیت تئوریک (خط‌چین) و ظرفیت عملی در پمپ‌های جابجایی‌مثبت ملاحظه می‌شود. این اختلاف به‌خاطر نشتی داخلی در این‌گونه پمپ‌ها می‌باشد که از آن به عنوان نشتی[۱] و یا لغزش[۲] نام می‌برند. اغلب برای کاهش این نشتی، ویسکوزیته‌ی سیال و سرعت دورانی پمپ را افزایش می‌دهند تا متعاقب با آن، دبی نیز افزایش یابد. اما با این کار محدودیت دیگری نیز ایجاد می‌شود. مشکل این‌جاست‌که با افزایش راندمان در اثر کاهش نشتی، اصطکاک داخلی اجزاء افزایش می‌یابد که منجر به افزایش توان مصرفی موتور می‌شود.

---

۱-Leakage

۲-Slip




شکل ۳-۱۱ منحنی مشخصه پمپ‌های دینامیک و PD

شرکت‌های سازنده پمپ‌ها، منحنی مشخصه‌ی پمپ‌ها را طوری تهیه می‌کنند که به خواص فیزیکی سیال پمپ‌شونده بستگی نداشته باشد؛ به همین منظور منحنی عمل‌کرد پمپ‌ها را بر اساس دبی-ارتفاع ارائه می‌دهند.

برای تبدیل فشار به هد برای یک مایع با وزن مخصوص SG داریم:

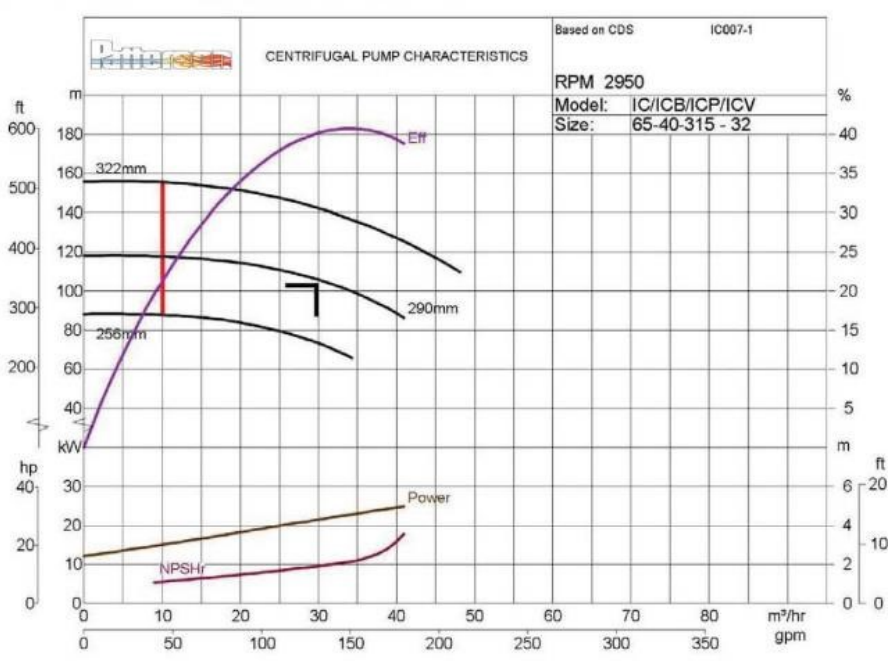
$$H = 10.2 \times \frac{P}{SG}$$

توجه به این نکته در مورد منحنی عمل‌کرد پمپ‌ها ضروری است‌که در صورت مغایرت ویسکوزیته‌ی سیال پمپ‌شونده با ویسکوزیته‌ی آب، منحنی مشخصه‌ی پمپ در همه نقاط غیر از Shutoff Point (Flow = 0) حالتی نزولی خواهد داشت.

در حالت کلی، منحنی مشخصه‌ی پمپ‌ها نمایانگر ویژگی‌هایی نظیر تغییرات هد، توان مصرفی، راندمان و $NPSH_R$ بر حسب دبی می‌باشد. اما همان‌طور که اشاره شد، برای پمپ‌های گریز از مرکز و دورانی منحنی Q-H و برای پمپ‌های رفت و برگشتی، منحنی

Q-Time یا Q-Speed اهمیت دارد. توجه شود که از پمپ‌های گریز از مرکز برای دبی بالا و ارتفاع کم تا زیاد استفاده می‌شود و از پمپ‌های جابجایی‌مثبت برای فشار بالا و دبی کم استفاده می‌شود.

نکته قابل‌تأمل دیگر این‌که در پمپ‌های PD، افزایش فشار -که به سبب کاهش حجم سیال می‌باشد- تا زمانی که پمپ بتواند بر نیروی مقاومت خود غلبه کند، همچنان افزایش می‌یابد. اما در پمپ‌های سانتریفیوژ حداکثر فشار محدود می‌باشد؛ چراکه انرژی جنبشی اعمال شده به سیال تابعی از سرعت دوران و قطر پروانه می‌باشد.




شکل ۳-۱۲ منحنی مشخصه یک پمپ سانتریفیوژ

با توجه به شکل ۳-۱۲، نکته‌ی قابل‌تأمل در مورد نمودار توان، این است‌که این نمودار به‌دلیل این‌که منحنی توان مصرفی با افزایش دبی، سیری صعودی دارد، به آن منحنی با

وضعیت بار اضافی[1] می‌گویند؛ به همین ترتیب اگر منحنی توان مصرفی در دبی‌های کم، شکل صعودی و بعد از رسیدن به بهترین نقطه راندمان[2](BEP) سیری نزولی داشته باشد، آنرا Non Overloading می‌نامند. بنابراین در هنگام انتخاب پمپ، به این نکته توجه شود که نوع Non Overloading نسبت به Overloading مناسب‌تر است. زیرا توان مصرفی نوع Non Overloading در هر شرایطی از یک حد معین تجاوز نمی‌کند. لذا فشاری به الکتروموتور پمپ از نظر بار وارده و توان مصرفی اعمال نمی‌شود.

از طرفی می‌توان علاوه بر نمودار P-Q، با استفاده از رابطه زیر توان مصرفی پمپ را محاسبه کرد و با توجه به آن الکتروموتور مناسب را بر مبنای حداکثر توان مصرفی در دامنه دبی مجاز تعیین نمود.

با استفاده از رابطه زیر، توان داده شده به شفت پمپ[3](BHP) قابل محاسبه است:

$P = (SG.Q.h)/368.\partial$

P = توان (kW)

Q = دبی (m3/hr)

h = ارتفاع (m)

$\partial$ = راندمان

SG = وزن مخصوص

| Power | Unit | Confidence Factor |
|---|---|---|
| 0-7.5 | kW | 20% |
| 7.5-40 | kW | 15% |
| >40 | kW | 10% |

[1]-Overloading

[2]-Best Efficiency Point

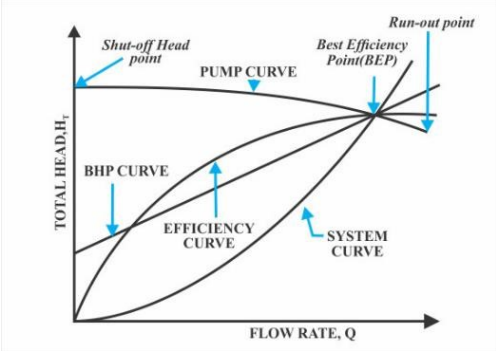
[3]-Break Horse Power

راندمان کلی پمپ‌های گریز از مرکز با توجه به میزان تلفات مطرح شده در زیر، متغیر است:

۱- بازده مکانیکی[۱]: تلفات ناشی از سیل مکانیکی ، Stuffing Box و بیرینگ‌ها را در نظر می‌گیرد.

۲- بازده حجمی[۲]: تلفات ناشی از Balancing Holes و Wear Rings را لحاظ می‌کند.

۳- بازده هیدرولیکی[۳]: تلفات ناشی از پروانه و Volute را در نظر می‌گیرد. به‌علاوه تلفات ناشی از اصطکاک سیال نیز در این مورد در نظر گرفته می‌شود. این بخش مؤثرترین بخش در تعیین راندمان کلی پمپ می‌باشد.




شکل ۳-۱۳ بررسی نقاط BEP و Shut-Off

[۱]- Mechanical Efficiency

[۲]- Volumetric Efficiency

[۳]-Hydraulic Efficiency

بهترین شرایط کارکرد یک پمپ گریز از مرکز که قابلیت اطمینان بالایی را تضمین می‌کند، همان نقطه BEP می‌باشد. در نقطه BEP، بار نامتوازن هیدرودینامیکی[1] در حداقل مقدار خود می‌باشد. اساساً هرچه نقطه‌ی کارکرد پمپ گریز از مرکز از نقطه BEP دورتر باشد، به همان نسبت بار نامتوازن نیز افزایش می‌یابد که نهایتاً موجب کاهش راندمان پمپ می‌گردد.

مطابق با شکل ۳-۱۳، بار نامتوازن در نقطه‌ی Shutoff در حداکثر مقدار خود می‌باشد. غالباً نقطه BEP در محدوده‌ای بین 80 تا 85 درصد Shutoff head point، قرار دارد و پمپ حداکثر راندمان را خواهد داشت. در این نقطه پروانه به حداقل اعمال نیروی شعاعی رسیده و بدون لرزش و صدا کار می‌کند و به اصطلاح پمپ روان کار می‌کند.

با دقت در شکل ۳-۱۳، Shutoff Point نقطه‌ای می‌باشد که منحنی عمل‌کرد پمپ در آن نقطه به‌صورت افقی بوده و میزان دبی برابر صفر می‌باشد. در واقع این نقطه بیانگر شرایطی است‌که شیر خروجی پمپ در زمان کار پمپ بسته باشد. در این شرایط، هد به حداکثر میزان خود در جریان صفر می‌رسد و حداقل انرژی مکانیکی به هیدرولیکی تبدیل می‌شود. به Shutoff Head Point گاهی Dead Heading نیز می گویند؛ عملکرد طولانی مدت پمپ در این نقطه باعث افزایش دمای اجزای داخلی پمپ مانند mechanical seal، Sleeveها و در نهایت موجب جام (Seizing) پمپ و خمیدگی یا شکستگی شفت می‌گردد.

تمام این موارد بیانگر کنترل راندمان پمپ‌های گریز از مرکز از طریق شیر خروجی پمپ و جریان minimum flow می‌باشد تا بهره‌بردار بتواند با پیش‌بینی (و نه از روی سعی و خطا) به نقطه کارکرد مناسب پمپ مورد نظر برسد.

[1]-Hydrodynamic Unbalanced Load

در زیر شرایطی که منجر به کاهش راندمان پمپ‌های گریز از مرکز می‌شوند، عنوان شده است:

۱-گرمای زیاد تولید شده توسط پکینگ

۲-سایش بین Wear Ring ها و پروانه‌ها در صورت وجود لقی بیش ازحد

۳-بالا بودن میزان minimum flow

۴-ضعیف بودن ولو خروجی

۵-خوردگی و فرسایش مجرای داخلی پمپ که منجر به اغتشاش در جریان سیال می‌شود

۶-روغنکاری بیش از اندازه بیرینگ‌ها

۷-وجود هرگونه مانع اعم از ذرات جامد و رسوبات که منجر به ایجاد محدودیت در جریان سیال شود.

**۳- ۴- ۶- ۲- نحوه‌ی راه‌اندازی پمپ‌ها:**

در پمپ‌های سانتریفیوژ، قبل از استارت، به‌خصوص در استارت‌های اولیه، لازم است شفت را به‌صورت دستی چرخاند تا از چرخش آزادانه آن اطمینان حاصل شود. اگر در این حالت شفت به راحتی نچرخید، پمپ باید باز شده و پکینگ آن بازرسی گردد. احتمال وجود شن‌های ریز در این حالت زیاد است. این حالت همچنین به علت Clearance ناکافی در روتور یا بیرینگ‌ها اتفاق می‌افتد. چنان‌چه شفت پمپ به سادگی چرخید، شیر ورودی آن را کامل باز کرده و casing آن را از طریق Bleed Point های گیج‌های ورودی و خروجی و همچنین محل تخلیه‌ی casing، کاملاً هواگیری کنید.در ابتدا با در نظر گرفتن قدرت پمپ برای رساندن فشار خروجی به فشار عملیاتی باید شیر خروجی بسته و یا خیلی کم باز شود. سپس پمپ را استارت کرده و با توجه به فشار خروجی،کم‌کم شیر خروجی را باز نموده تا در سرعت ثابت پمپ، فشار خروجی به فشار عملیاتی و جریان خروجی به میزان مورد انتظار برسد. اگر چنان‌چه پمپ بعد از استارت و با وجود بسته بودن شیر

خروجی به فشار عملیاتی نرسید، در حالی‌که پمپ در حال کار می‌باشد، باید اقدام به هواگیری پمپ نمود. اگر پس از هواگیری، باز هم مشکل حل نشد، پمپ را خاموش نموده و هواگیری را در حالت خاموش انجام دهید. ممکن است جهت چرخش پمپ معکوس شده باشد، لذا مجدداً جهت چرخش پمپ را بررسی نمایید. پس از رسیدن فشار خروجی به فشار عملیاتی، نیازی به باز کردن بیشتر شیر خروجی نمی‌باشد تا زمانی که شیر کنترلی مسیر minimum flow، به‌صورت اتوماتیک میزان جریان خروجی را تنظیم نماید. در این حالت می‌توان شیر خروجی را به‌طور کامل باز کرد.

در هنگام استارت ممکن است به علت مصرف انرژی بیشتر برای ایجاد شتاب اولیه، فشار ورودی پمپ کمتر از حد عملیاتی شود. اگر پس از گذشت مدت کوتاهی این فشار به حد عملیاتی خود باز نگردد، احتمال کثیف شدن Strainer پمپ وجود دارد. در این حالت فشار خروجی نیز دچار نوسان می‌گردد. اگر بعد از تمیز کردن Strainer پمپ باز هم مشکل حل نشد، باید NPSH پمپ بررسی گردد.

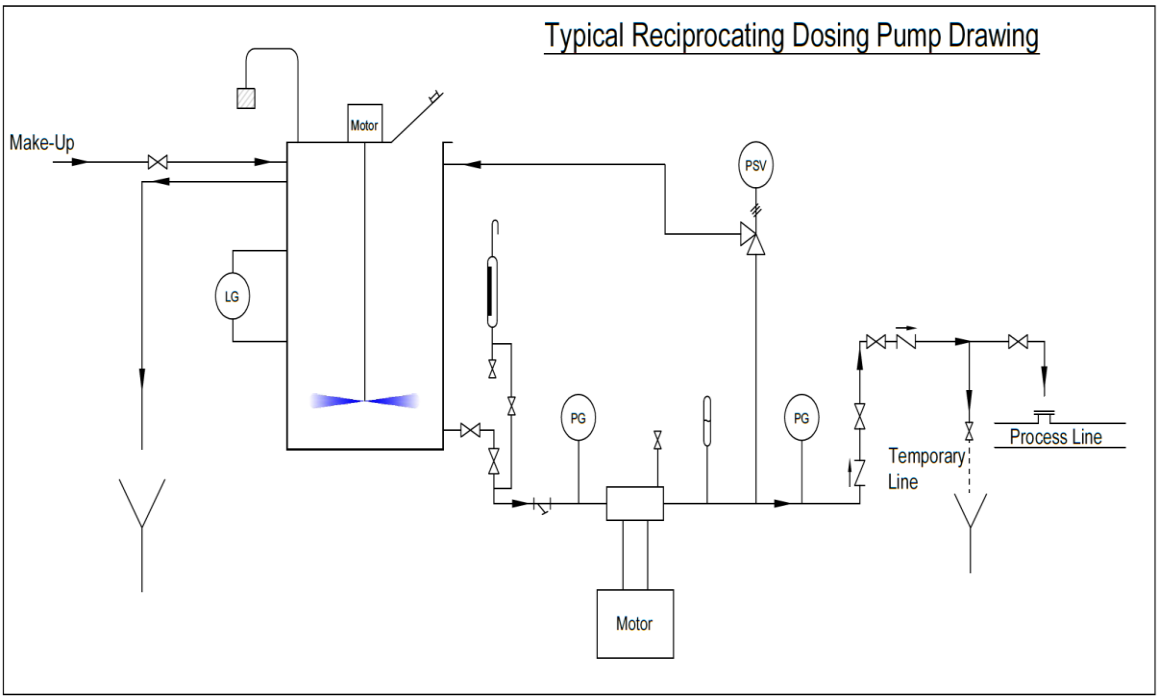
برای استارت‌کردن پمپ‌های رفت و برگشتی، شیرهای ورودی و خروجی باید به‌صورت کامل باز باشد.

اصولاً همه پمپ‌ها در مرحله MRT باید مورد بازرسی قرار بگیرند و در صورت مشاهده هر نوع نقص باید پمپ برای بررسی‌های بیشتر خاموش گردد.

برای جلوگیری از Overload پمپ،گروه الکتریکال باید جریان پمپ را از طریق Tong Type Ammeters اندازه‌گیری کند.

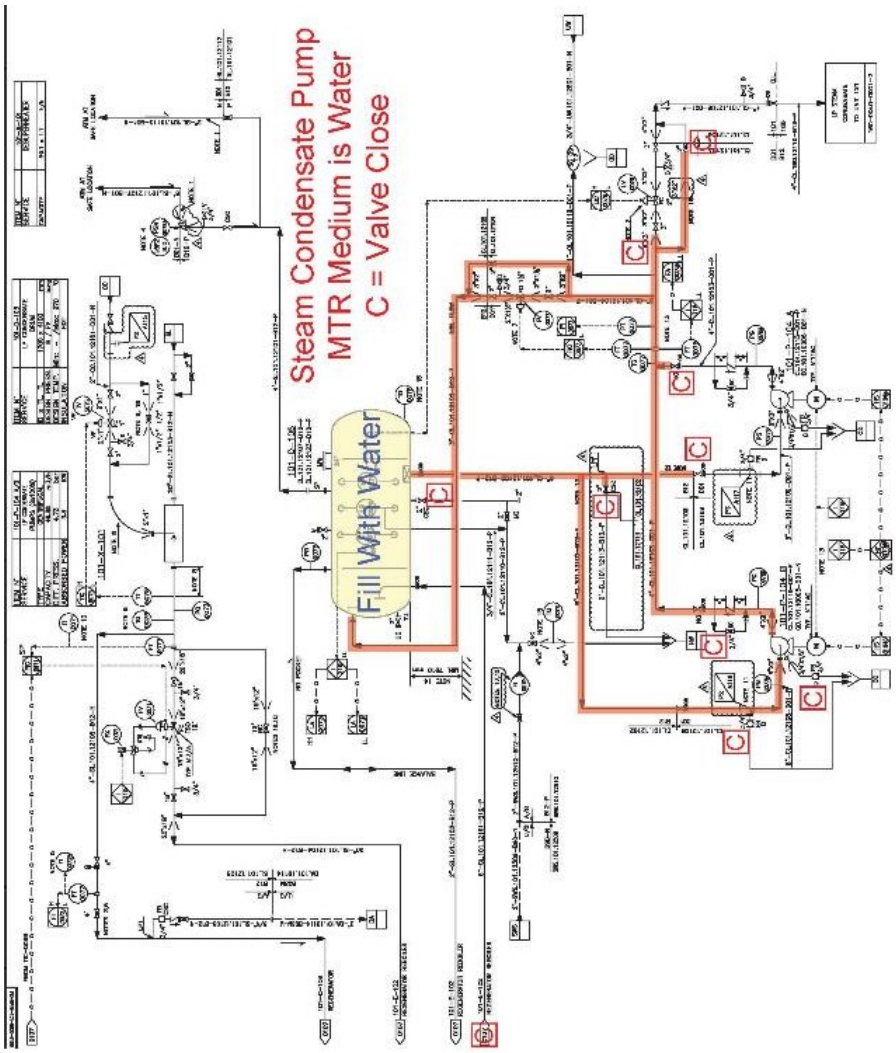
چنان‌چه فاصله زمانی بهره‌برداری از پمپ و تست مکانیکی آن زیاد باشد، بعد از انجام تست، پمپ باید تخلیه و خشک گردد و برای پمپ‌هایی که سیال آن‌ها هیدروکربن است، باید توسط روغن پر شوند تا سیل مکانیکی آن‌ها در برابر گرد و غبار محافظت شود.

در شکل ۳-۱۴ شماتیکی از یک پمپ جابجایی‌مثبت برای MRT نمایش داده شده است.




شکل ۳-۱۴ MRT پمپ جابجایی‌مثبت

در شکل ۳-۱۵ مسیر MRT یک پمپ سانتریفیوژ بر روی یک P&ID برای آشنایی با مسیر minimum flow مشخص شده است:




شکل ۳-۱۵ مسیر MRT یک پمپ سانتریفیوژ بر روی P&ID

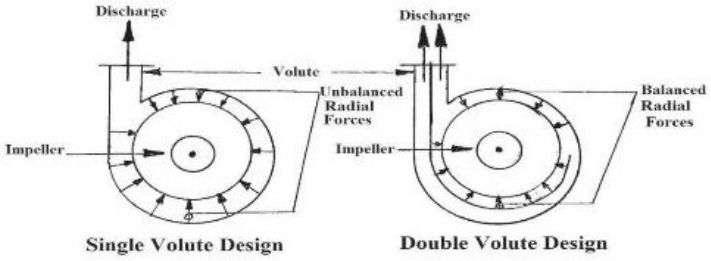
یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملیاتی برای یک پمپ سانتریفیوژ طول عمر بیرینگ آن می‌باشد که وابسته به دو نیروی هیدرولیکی به نام‌های Radial Thrust و Axial Thrusts می‌باشد که بر روی پروانه عمل می‌کنند؛ از این دو نیرو، Radial Thrust تنها به فشار تولید شده توسط پمپ بستگی دارد. در این حالت برای کاهش صدمات ناشی از

Radial Thrust از Double Volute Casing و یا Diffuser Type Casing استفاده می‌شود. در حالی‌که Axial Thrust به جنبه‌های مختلفی وابسته می‌باشد مانند:

۱- Head پمپ

۲- شکل پروانه و ...

در زمان کارکردن یک پمپ سانتریفیوژ، انرژی جنبشی سیال تبدیل به انرژی فشاری می‌شود. سیال پرفشار به‌صورت پیوسته در محدوده پروانه جریان می‌یابد؛ ضمن این‌که در محدوده بین پروانه و casing به دام انداخته می‌شود. این مایع پرفشار روی گذرگاه‌های خروجی و سقف پروانه فشار می‌آورد که منجر به تولید دو نیرو می‌شود؛ یکی به‌صورت جانبی و دیگری به‌صورت طولی با توجه به محور شفت. نیروی تولید شده در جهت جانبی[۱] به‌دلیل اختلاف فشار ایجاد شده در Volute می‌باشد که به آن Radial Thrust می‌گویند و نیروی طولی[۲] به‌دلیل فشار وارده به مناطق مختلف پروانه ایجاد می‌شود و به آن Axial Thrust می‌گویند.




شکل ۳-۱۶ نیروهای شعاعی در پمپ

همه پمپ‌های سانتریفیوژ را می‌توان از لحاظ تئوری به‌صورت یک مرحله‌ای طراحی کرد. ولی برای افزایش راندمان، کاهش توان مصرفی، کاهش هزینه تعمیرات، مشخصات بهره برداری، مخصوصاً زمانی که هد بالا مورد نیاز باشد، لزوم طراحی پمپ‌ها به‌صورت

[۱] - Lateral Direction

[۲] - Longitudinal Direction

چندمرحله‌ای بوجود می‌آید. با استفاده از پمپ‌های تک‌مرحله‌ای برای هدهای زیاد، راندمان پمپ به‌خاطر سرعت مخصوص پایین پمپ به شدت متأثر می‌گردد و متعاقب با آن توان مصرفی برای دست‌یابی به هد مورد نیاز و درنهایت METBF[1]افزایش می‌یابد. بنابراین زمانی که هد بالا مدنظر باشد، با صرف هزینه بیشتر برای ساخت و تعمیرات پمپ های چندمرحله‌ای، توان مصرفی و METBF (شامل خرابی بیرینگ‌ها، سیل مکانیکی، استهلاک قطعات داخلی و ...) کاهش می‌یابد.

**۳- ۴- ۶- ۳- تخمین‌های تجربی پمپ‌ها:**

در این بخش راه‌های تخمین برخی از اطلاعات پمپ‌ها جهت اطمینان و یا در صورتی که datasheet پمپ در دسترس نباشد توضیح داده شده است. بدیهی است این اطلاعات تخمینی و کاملاً تجربی بوده و فقط در مواقع ضروری می‌توانند راه‌کار مناسبی باشند.

**۱- تخمین Shutoff head**

برای پمپ‌ها، Shutoff head از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$Shutoff\ head = D^2 \times \left(\frac{new\ rpm}{1750}\right)^2$$

در این رابطه D قطر پروانه بر حسب اینچ می‌باشد.

**۲-تخمین میزان هد**

ابتدا طول شفت را بر حسب متر به‌دست آورید و سپس آن را به توان دو برسانید. برای پمپ‌های با دور 1450 rpm، عدد به‌دست آمده را ضرب در 3 کرده و 10 درصد به آن اضافه کنید و برای پمپ‌های با 3000 rpm ضرب در 12 کرده و 10 درصد به آن اضافه کنید.

[1]-Mean Ellapse Time Between Failure

اگر سرعت پمپ دو برابر شود، ظرفیت دو برابر، هد چهار برابر و توان مصرفی آن 8 برابر می‌شود. همچنین میزان لقی آن 4 برابر و میزان سایش آن 8 برابر می‌گردد.
رابطه بین هد - فشار و دبی حجمی-دبی جرمی در هر دو سیستم متریک و US به قرار زیر می‌باشد:

- سیستم متریک:

$$H = 10.2 * \frac{P(bar)}{Sg}$$

$$Q\left(\frac{m3}{hr}\right) = \frac{M\left(\frac{ton}{hr}\right)}{Sg}$$

- سیستم US:

$$H = 2.31 * \frac{P(Psi)}{Sg}$$

$$Q(Gpm) = \frac{M\left(\frac{lbm}{hr}\right)}{500 * Sg}$$

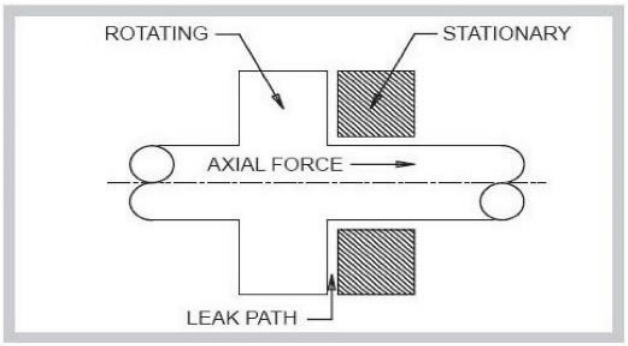
در این بخش برخی از مهم‌ترین آیتم های پمپ‌ها را بررسی می‌کنیم:

### ۳- ۴- ۶- ۴- سیل مکانیکی[۱]

در پمپ‌هایی که سیال آن‌ها، مایعات با ارزش مالی بالا و یا سمی باشند و یا پمپ‌هایی که لازم است میزان نشتی در آن‌ها بسیار کم باشد، از سیل مکانیکی به‌دور شفت استفاده

[۱]-Mechanical Seal

می‌شود. سیل مکانیکی شامل یک بخش چرخان به‌دور شفت[۱] و یک بخش ساکن[۲] که به محفظه‌ی پمپ متصل است، می‌باشند.




شکل ۳-۱۷ Mechanical Seal

زمانی که یک پمپ در حال کار است، سیال پمپ شونده ممکن است از جایی از پمپ، بین شفت در حال چرخش و محفظه پمپ نشت پیدا کند. زمانی که شفت در حال چرخش است، جلوگیری از این نشتی بسیار سخت می‌باشد و برای این منظور از آب بندهای مکانیکی استفاده می‌شود. پیشتر از پکینگ‌های مکانیکی[۳] برای آب‌بندی شفت استفاده می‌شد. در واقع سیل مکانیکی مانند یک شیر یک‌طرفه و یک بیرینگ متحرک عمل می‌کند و وظیفه اصلی آن ممانعت از نشتی سیال به بیرون و ممانعت از ورود هوا به داخل پمپ، زمانی که پمپ تحت خلاء کار می‌کند، می‌باشد.

انواع مختلفی از سیل‌های مکانیکی از Single Spring ها گرفته تا Cartridge Seal های پیچیده وجود دارند. به‌طور کلی جنس و طراحی سیل مکانیکی به دما، فشار، سرعت چرخش شفت و سیال فرآیندی بستگی دارد.

---

۱-Rotating Part

۲-Stationary Part

۳-Mechanical packing or Gland packing

به عنوان مثال در یک طراحی ساده، سیل مکانیکی مطابق شکل ۳-۱۹ شامل ۷ بخش زیر می‌باشد:

۱- جزء ثابت که معمولاً به آن Stationary و یا Seat می‌گویند.

۲- جزء نشت‌بند بخش Stationary[۱]

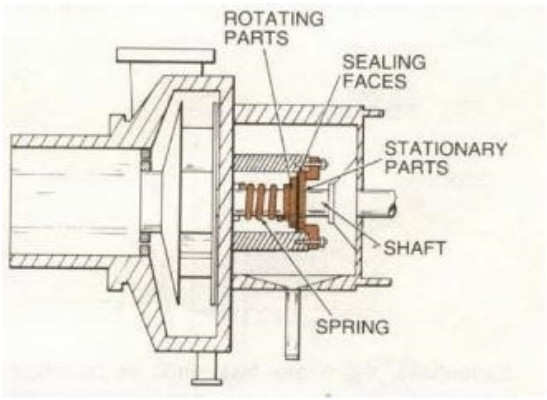
۳- جزء متحرک[۲]

۴- جزء نشت‌بند بخش متحرک [۳]

۵-فنر [۴]

۶-Gland Plate

۷- Clamp Ring




شکل ۳-۱۸ اجزاء Mechanical Seal

یک سیل مکانیکی دارای ۴ نقطه آب‌بندی می‌باشد که با دایره‌هایی در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است:

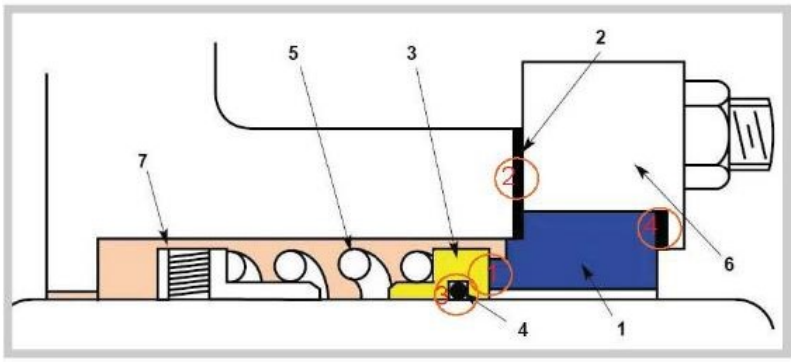
[۱]-Stationary Sealing Member

[۲]-Rotating Part

[۳]-Rotating Sealing Member

[۴]-Spring

۱- آب‌بند بین بخش متحرک و ثابت که به آن Primary Seal می‌گویند.
۲- آب‌بند بین بخش ثابت و Stuffing Box (معمولاً گسکت می‌باشد)
۳- آب‌بند بین بخش متحرک و شفت که به آن Secondary Seal می‌گویند (می‌تواند ’O‘ Ring،’V‘ ring،’Wedge‘ و یا هرگونه آب‌بند رینگی باشد)
۴- آب‌بند بین Gland Plate و Stuffing Box که معمولاً یک گسکت و یا ’O‘ Ring می‌باشد.



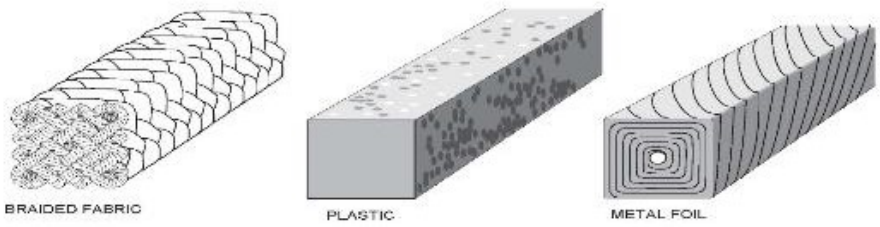

شکل ۳-۱۹ اجزاء و نقاط آب‌بند Mechanical Seal

جزء متحرک و جزء ثابت به یکدیگر به‌وسیله فشار یک فنر، فشرده می‌شوند. سطوح هر دو جزء به‌صورت بسیار مسطح ساخته شده‌اند که این صافی باعث آب‌بندی حداکثری می‌گردد. در واقع نشتی کمی بین این دو بخش وجود دارد که بسیار جزیی و به‌صورت بخار به نظر می‌رسد.

اگر بخش‌های متحرک و ثابت در برابر هم بدون هرگونه روانکاری بچرخند، سطوح آن‌ها به سرعت به دلیل اصطکاک و حرارت ایجاد شده فرسوده می‌شود و آب‌بندی دچار نقص می‌گردد. بنابراین برای روانکاری آن‌ها از سیال پمپ‌شونده استفاده می‌شود که با نام Fluid Film شناخته می‌شود.

محفظه‌ای که سیل مکانیکی (در پمپ و یا در کمپرسور) در آن قرار می‌گیرد، Stuffing box نام دارد.

برای آب‌بندی پمپ و ممانعت از ورود هوا به داخل محفظه پمپ از پکینگ مکانیکی استفاده می‌شود. این سیستم، در محفظه‌ی Stuffing Box قرار داده می‌شود و با وجود حرارت تولید شده از اصطکاک پکینگ و شفت، باید توانایی آب‌بندی را داشته باشد. پکینگ‌ها به سه دسته Compression، Automatic و Floating تقسیم می‌شوند که مورد استفاده دسته‌ی Compression از همه بیشتر است و از دو آیتم Bulk Material (که به شکل طناب می‌باشد و از بافتن رشته‌های گیاهی، حیوانی (مثل پشم گوسفند)، معدنی (مانند گرافیت)، فلزی یا مصنوعی (مانند فیبرهای پلیمری مثل تترا فلوئور اتیلن) درست می‌شود) و یک روانساز (مانند انواع گریس) می‌باشد، تشکیل شده است. در انتخاب نوع پکینگ باید به دما، فشار عملیاتی پمپ، سرعت چرخش شفت و نوع سیال پمپ شونده توجه شود. هرچه فشار و سرعت چرخش شفت بیشتر باشد، پکینگ باید محکم‌تر باشد. به‌عبارتی فشارهای بالا و دورهای بیشتر به‌طور معمول نیاز به فشار بیشتر بر روی گلند برای کنترل نشتی دارند؛ بدین ترتیب دمای بالاتری از اصطکاک بین پکینگ و شفت حاصل می‌شود. بنابراین در این شرایط باید از پکینگ‌هایی که در شرایط دمایی بالاتری کارایی دارند استفاده کرد.




Compression Packing

شکل ۳-۲۰ انواع Packing

نحوه‌ی انتخاب و محاسبه سایز پکینگ:

یکی از مشکلات عمده در نصب پکینگ‌ها، انتخاب سایز مناسب آن می‌باشد. سایز پکینگ معمولاً توسط شرکت سازنده تعیین می‌گردد، اما اگر اطلاعات سازنده در دسترس نباشد، سایز از طریق اندازه‌گیری Stuffing Box تعیین می‌شود. به‌طور معمول دو روش برای این کار وجود دارد:

۱- Snap Gauge: وسیله‌ای است‌که فضای بین شفت و Stuffing Box را اندازه می‌گیرد و بدین طریق سطح مقطع پکینگ مشخص می‌گردد.

۲- با استفاده از یک کولیس (Dial Caliper) با اندازه‌گیری قطر شفت و همچنین قطر داخلی Stuffing Box و محاسبه‌ی اختلاف آن‌ها، می‌توان سطح مقطع پکینگ را به‌دست آورد.

معمولاً در بیشتر موارد سایز پکینگ‌ها در ضرایب 1/16" و در حالت‌های کمتر در ضرایب 1/32" موجود می‌باشند.

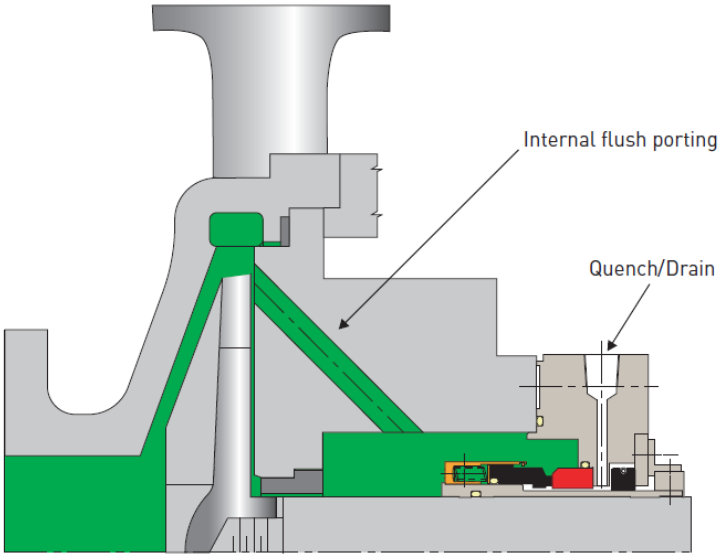
از طرف دیگر برای تعیین تعداد رینگ‌های پکینگ بهترین روش، اندازه‌گیری عمق Stuffing Box از طریق یک خط‌کش و تقسیم آن بر سطح مقطع پکینگ می‌باشد.

- **Flushing Seal System**

در محفظه‌ی سیل مکانیکی در اثر چرخش بخش متحرک حرارت ایجاد می‌شود و نیاز به خنک‌کاری دارد؛ بخش‌های متحرک و ثابت مربوط به سیل مکانیکی با لایه‌ای از روغن های روان‌ساز پوشیده می‌شوند تا اصطکاک و در نتیجه حرارت تولید شده را به حداقل برساند. با این‌حال حرارت تولیدی به هر نحو باید از سیستم خارج شده و محفظه خنک شود؛ در غیر این صورت در مرحله‌ی اول Oring های سیل مکانیکی تحت‌تأثیر حرارت قرار می‌گیرند و در نهایت موجب نشتی سیال از سیل مکانیکی می‌شوند. این وظیفه بر عهده سیستم Flushing Seal می‌باشد و برای خنک کردن سیال فلاش، در برخی سیستم‌ها از کولر استفاده می‌شود. در سیستم Seal Flush از Flow Control Orifice

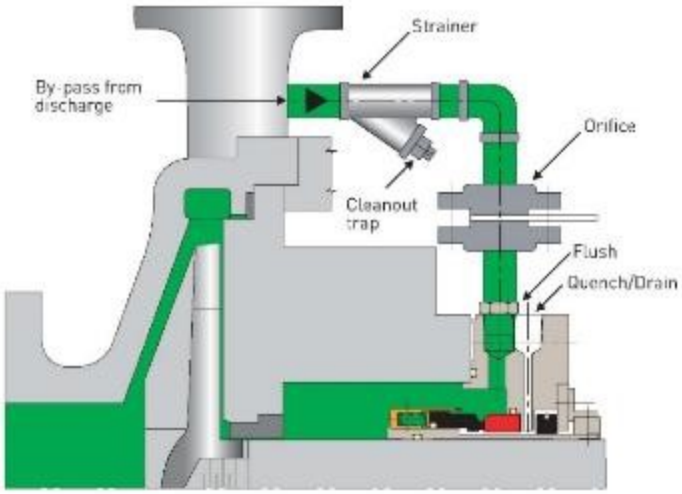
هم جهت محدود نمودن نرخ گردش سیال فلاش در سیل و کنترل فشار Seal Chamber می‌توان بهره گرفت. سازنده‌های مختلف روش‌های مختلفی را برای سیستم فلاشینگ بر اساس استاندارد API 682 به‌کار می‌برند. اما در اینجا به مهم‌ترین آن‌ها اشاره خواهد شد:

۱- Inboard Flush System یا Internal Flush Porting: در این روش از بازگشت جریان خروجی به محفظه Seal استفاده می‌شود و مزیت آن عدم به‌کار بردن سیستم لوله‌کشی در اطراف پمپ می‌باشد. از این سیستم برای سیالاتی استفاده می‌کنند که تمیز می‌باشند و موجب رسوب و گرفتگی مسیر داخلی نشوند. این سیستم در پمپ‌هایی که به‌صورت عمودی نصب می‌شوند، کاربرد ندارد.(چرا؟)

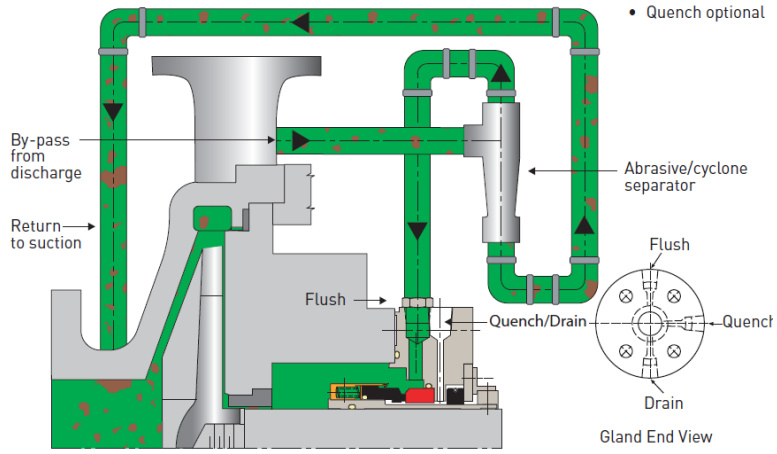



شکل ۳-۲۱ سیستم فلاش Inboard

۲- استفاده از سیال خط خروجی یا مراحل میانی که به Discharge recirculation Line موسوم است. کاربرد این روش به‌دلیل بالا بردن فشار سیل مکانیکی تا فشار خط خروجی، مرسوم می‌باشد و معمولاً برای سیالاتی که میزان سختی بالایی دارند و یا حاوی ذرات ریز جامد که چگالی آن‌ها حدوداً دو برابر سیال فرآیندی می‌باشد، همراه با Cyclone Separator استفاده می‌شوند. حال سوال این‌جاست‌که چرا افزایش فشار سیل مکانیکی یک مزیت به حساب می‌آید؟ افزایش فشار سیل مکانیکی سبب کاهش فشار بخار سیال شده و لذا مانع از تشکیل بخارهای پرفشار بین دو بخش ثابت و متحرک می‌شود. این بخار پرفشار به مرور باعث ایجاد فاصله‌ی بخش‌های سیل مکانیکی شده و نهایتاً سبب نشتی آن می‌شود. این سیستم از یک طرف به خط خروجی متصل است و سیال پس از خنک‌کاری، یا به‌طور مستقیم و یا از طریق سوراخ های متعادل‌کننده پروانه به ورودی برگردانده می‌شود. مزیت این سیستم ساده بودن و آلوده نشدن سیال فرآیندی توسط سیال دیگر می‌باشد.



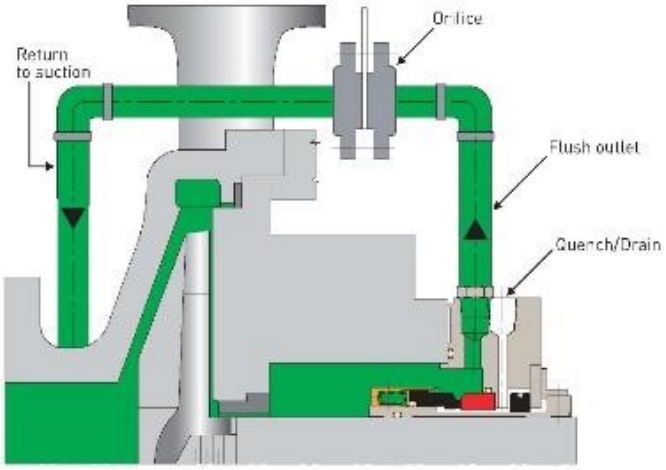

شکل ۳-۲۲ سیستم فلاش DR بدون Cyclone Separator




شکل ۳-۲۳ سیستم فلاش DR با Cyclone Separator

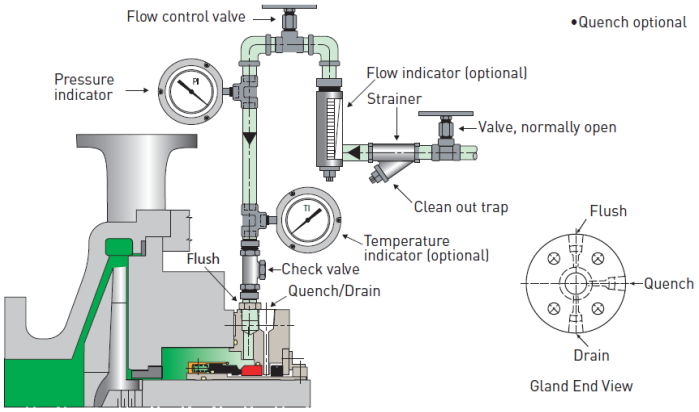
۳- استفاده از خط ورودی که به Suction Recirculation Line موسوم است. از آن‌جا که در پمپ‌های عمودی، فشار سیل مکانیکی برابر فشار خروجی می‌باشد، این سیستم در این نوع پمپ‌ها کاربرد فراوان دارد. در این پمپ‌ها سیال از دهانه خروجی، از فضای بین پروانه و casing، به پشت پروانه وارد می‌شود؛ از آن‌جا که پروانه‌ی پمپ‌های عمودی، Balancing Hole ندارند، فشار پشت پروانه، برابر فشار خروجی می‌گردد و سیال به داخل محفظه سیل مکانیکی نفوذ می‌کند و باعث افزایش دمای سیل مکانیکی و نشتی آن می‌شود. حال فرض کنید سیال هیدروکربن باشد، علاوه بر نشتی چه اتفاق مخرب دیگری خواهد افتاد؟

با همه این توضیحات و علم به این‌که خروجی در این‌گونه پمپ‌ها در بالا قرار دارد، (جایی که سیل قرار گرفته است) بدیهی است‌که استفاده از Discharge Recirculation Line به منظور فلاشینگ، منطقی نیست. چرا که در این حالت سیال از خط ورودی، به سیل مکانیکی منتقل نمی‌شود. این لاین از محفظه سیل مکانیکی خارج می‌شود و اگر سیالی به پشت پروانه نشت پیدا کرد، خنک‌کاری را انجام می‌دهد و از طریق خط بازگشتی به ورودی فرستاده می‌شود.



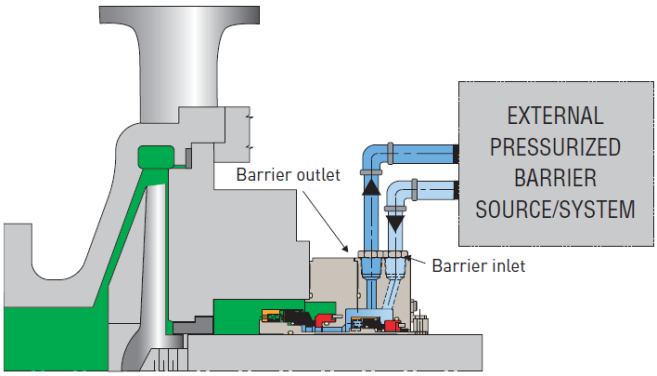

شکل ۳-۲۴ سیستم فلاش SR

۴- خنک‌کاری با استفاده از سیالی از یک منبع خارجی: مثل استفاده از آب یوتیلیتی یا آب کولینگ در برخی پمپ‌ها. در این حالت احتمالاً سیال پمپ‌شونده خورنده و یا حاوی مقدار زیادی مواد جامد می‌باشد. البته باید به این موضوع توجه شود که سیال فلاشینگ باید با سیال فرآیندی سازگار باشد.



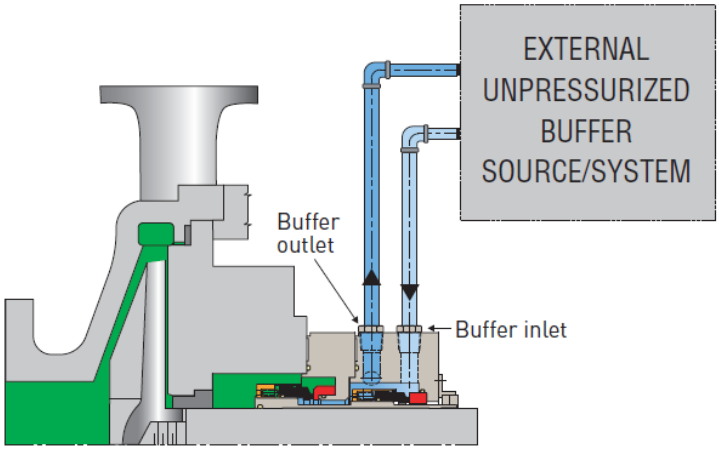

شکل ۳-۲۵ سیستم فلاش منبع خارجی

۵- استفاده از سیال Barrier یا Buffer: زمانی که سیال فرآیندی در معرض هوا آتش‌گیر باشد و یا به‌طور کلی انتشار آن در محیط خطرساز باشد، از سیل مکانیکی دوبل[۱] استفاده می‌شود. این نوع سیل مکانیکی از دو سیل داخلی و یک سیل خارجی به عنوان پشتیبان تشکیل شده است. از سیال فرآیندی برای روانکاری سیل داخلی و از سیال ثانویه برای روانکاری سیل خارجی استفاده می‌شود. این سیال ثانویه از Seal Pot تأمین می‌شود. حال اگر فشار این سیال ثانویه از فشار سیل مکانیکی بیشتر باشد، به آن Barrier Flow می‌گویند و اگر فشار سیال ثانویه از فشار سیل مکانیکی کمتر باشد، به آن Buffer Flow می‌گویند.




شکل ۳-۲۶ سیستم فلاش Barrier

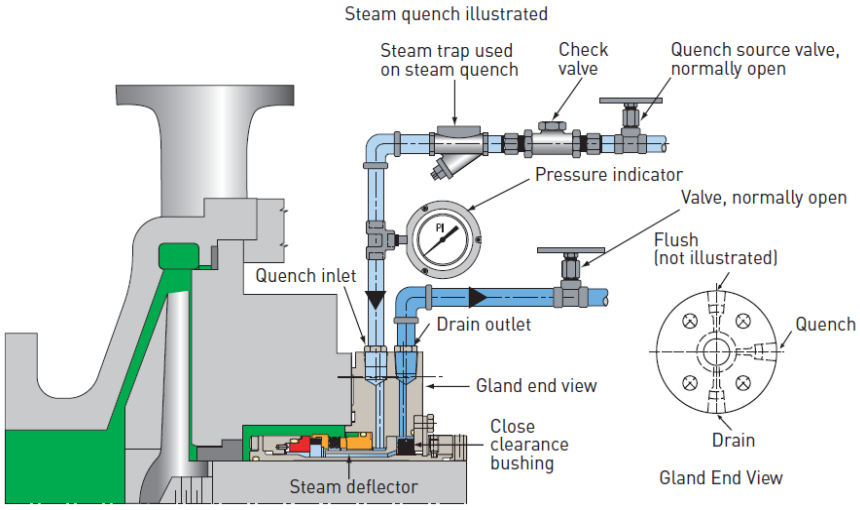
[۱] - Double Mechanical Seal




شکل ۳-۲۷ سیستم فلاش Buffer

۶- Jacketing: اگر دمای سیال فرآیندی زیاد باشد، سیال خنک‌کننده از داخل Jacket محیط بر محفظه سیل مکانیکی مبادرت به خنک‌کاری می‌کند. سیال خنک کننده نباید حاوی مواد رسوب‌دهنده در تنش‌های حرارتی باشد.

۷-Quenching: این سیستم یک مدل گزینشی به‌شمار می‌آید و در آن معمولاً از بخار در سرویس‌های دما بالا جهت کاهش تولید کک، از نیتروژن در سرویس‌های سرد و یا سیالات Cryogenic جهت جلوگیری از یخزدگی و از آب جهت جلوگیری از کریستالی شدن استفاده می‌شود. این سیستم می‌تواند همراه با Steam Deflector نیز باشد.




شکل ۳-۲۸ سیستم فلاش Quenching

### ۳- ۴- ۶- ۵- مشکلات رایج پمپ‌های سانتریفیوژ:

عمده مشکلات رایج پمپ‌ها اعم از ناکافی بودن Submergence، ناکافی بودن NPSHA و زیاد بودن Suction Lift، که منجر به مشکلاتی نظیر ارتعاش، کاویتاسیون، کاهش ظرفیت و کاهش بازده می‌شوند، مربوط به ورودی[۱] پمپ و متعلقات آن می‌باشد. اگر ورودی پمپ را یک سیستم در نظر بگیریم، می‌توان آن را به دو بخش خطوط ورودی[۲] و منبع ورودی[۳] تقسیم‌بندی کرد. بنابراین چه در مرحله‌ی طراحی و چه در مرحله‌ی عملیاتی، توجه به این سیستم اولین و مهم‌ترین گزینه برای دست‌یابی به بهره‌وری مناسب

[۱] Suction

[۲] Suction Piping

[۳] Suction Source

از پمپ می‌باشد. منظور از خطوط ورودی، لوله‌ها و اتصالات و متعلقات آن‌ها و موقعیت نسبی نازل ورودی می‌باشد و منظور از منبع ورودی، هندسه‌ی منبع ذخیره (اعم از Header یا تانک یا مخزن و ...)، موقعیت و نحوه‌ی قرارگیری ورودی(ها) نسبت به منبع و محدوده محصور منبع یا به عبارتی محدودیت فاصله منبع تا محل قرارگیری پمپ می‌باشد. در ادامه رایج‌ترین مشکلات پمپ‌های سانتریفیوژ بررسی شده است:

۱- عدم توازن هیدرولیکی

از مشکلات عمده پمپ‌ها در راستای جریان، اغتشاش جریان[۱]، جریان برگشتی چرخشی[۲]و جریان گردابی [۳]می‌باشند که اغلب زمانی که پمپ در دبی‌های کم (زیر 30 درصد BEP) کار می‌کند، اتفاق می‌افتد. متعاقب با این مشکلات، پدیده کاویتاسیون هیدرودینامیکی رخ می‌دهد. اثر مشهود عملیاتی این پدیده‌ها ارتعاش می‌باشد و اثر مخرب آن معمولاً خرابی سطح و لبه‌های پروانه و کاهش عمر بیرینگ‌ها و آب‌بند می‌باشد.

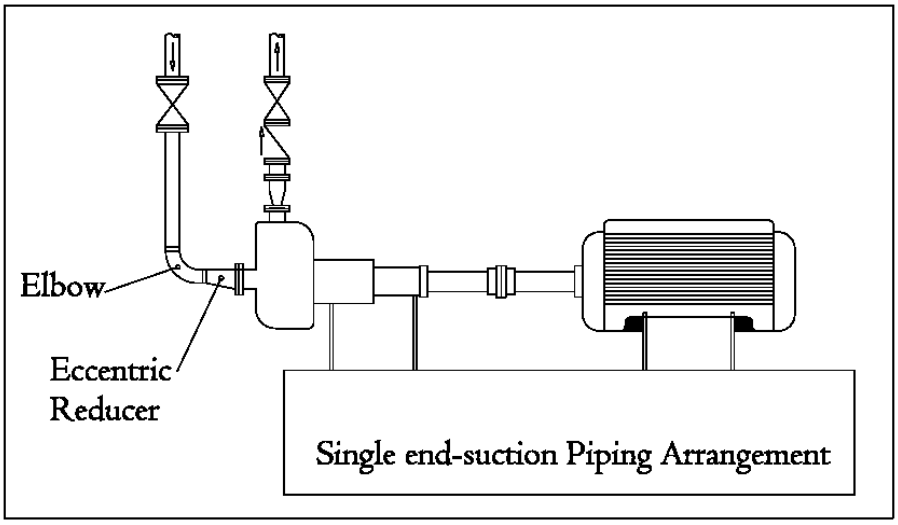
جهت کاهش و یا حذف این مشکلات لازم است در طراحی ورودی و متعلقات آن و خطوط منتهی به آن توجه ویژه‌ای شود. یکی از دلایل عدم توازن هیدرولیکی سیال، اتصال مستقیم Elbow به پمپ می‌باشد. در این حالت جریان محوری نامنظم سیال در طول شفت، سیال را به‌طور نامساوی یا ناپیوسته به چشمه‌ی پروانه هدایت می‌کند که نهایتاً منجر به عدم توازن Thrust در شفت می‌شود و به‌طور جدی بر روی بیرینگ و Bearing wear تأثیر می‌گذارد و منجر به خرابی سیل می‌شود. یکی از دلایل ایجاد جریان گردابی

[۱]-Turbulence

[۲]-Backflow Circulation

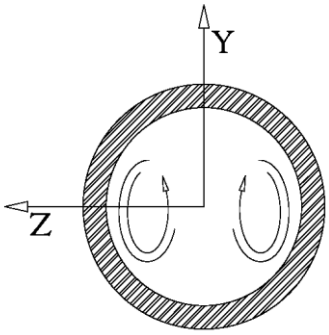
[۳]-Swirling Flow

در سیال، وجود Elbow در مسیر ورودی می‌باشد. جریان گردابه‌ای بر روی جریان اصلی و همراه با آن، با اعمال نیروی محوری به پروانه منتقل می‌شود.



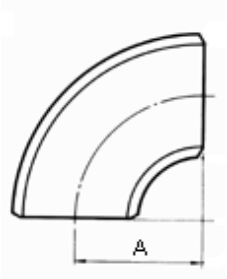

شکل ۳-۲۹ سیستم لوله‌کشی پمپ

مطابق با شکل ۳-۳۰، علاوه بر اعمال نیروی محوری در جهت محور X (مرکز دایره به سمت داخل صفحه)، به‌صورت ضمنی نیروهایی حول محورهای Y و Z اعمال می‌شوند. گاهی جریان گردابی یا ثانویه به‌وجود آمده در خلاف جهت چرخش پروانه، باعث خرابی های جبران‌ناپذیری به اجزای داخلی پمپ می‌شود.



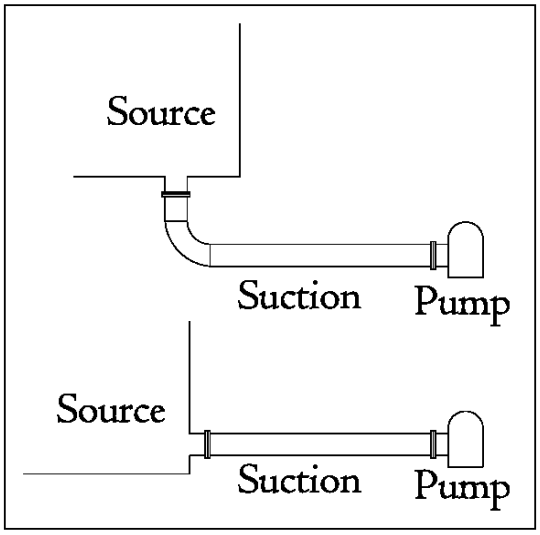

شکل ۳-۳۰ نیروهای محوری حول محورهای Y و Z

Elbow های 90 درجه در دو شکل کلی موجود می‌باشند. مدل اول Short Radius است‌که شعاع آن برابر قطر لوله می‌باشد و مدل دوم Long Radius است‌که شعاع آن ۱,۵ برابر قطر لوله می‌باشد. بدیهی است نوع Long Radius نسبت به Short Radius اغتشاش و عدم توازن هیدرولیکی کمتری به سیال اعمال می‌کند. بنابراین معمولاً در جاهایی که نیاز به استفاده از Elbow در ورودی پمپ باشد، از نوع Long Radius استفاده می‌شود.




شکل ۳-۳۱ شعاع Elbow

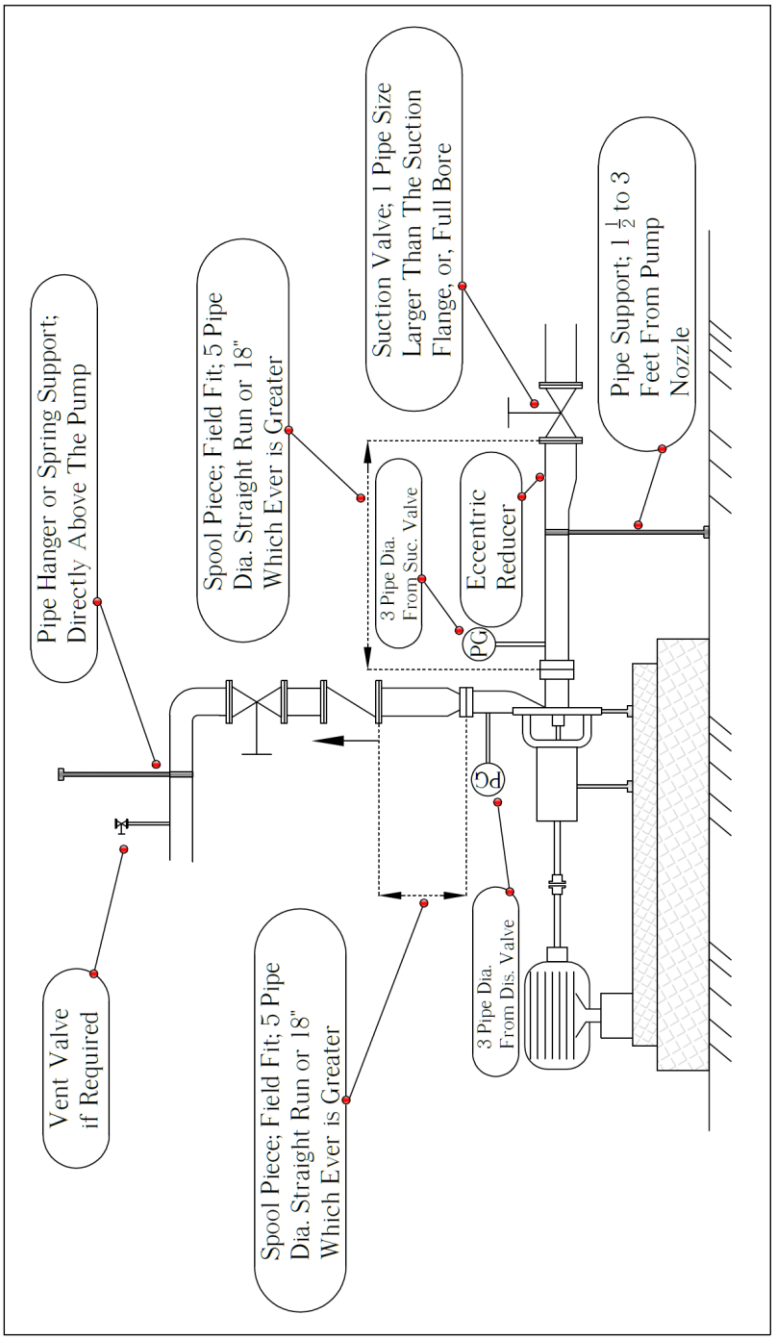
برای به حداقل رساندن تأثیر Elbow بر روی تلاطم جریان بهتر است در صورت امکان Elbow در فاصله دورتری از پمپ قرار گیرد و لوله ورودی نزدیک به چشمه پروانه، از فلنچ پمپ به فاصله 5-10D به‌صورت مستقیم باشد و مانعی بر سر جریان سیال وجود نداشته باشد. البته در پمپ‌هایی با دو ورودی[1]، در صورت محدودیت موقعیت هندسی و فضا، Elbow مستقیما به‌طوری‌که عمود بر شفت باشد، نصب می‌شود.




شکل ۳-۳۲ فاصله نصب Elbow در ورودی پمپ

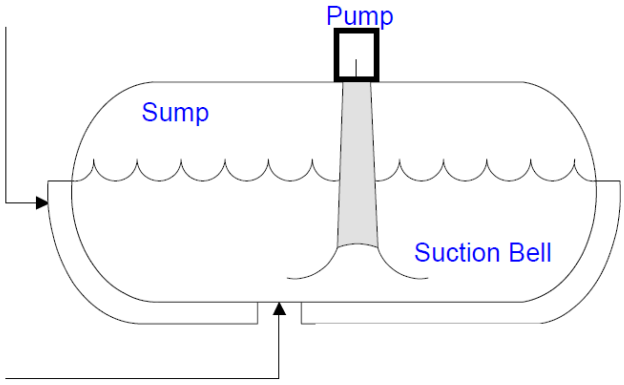
شکل ۳-۳۳ نحوه چیدمان پمپ و فاصله اتصالات را نشان داده است.

[1]-Double Suction



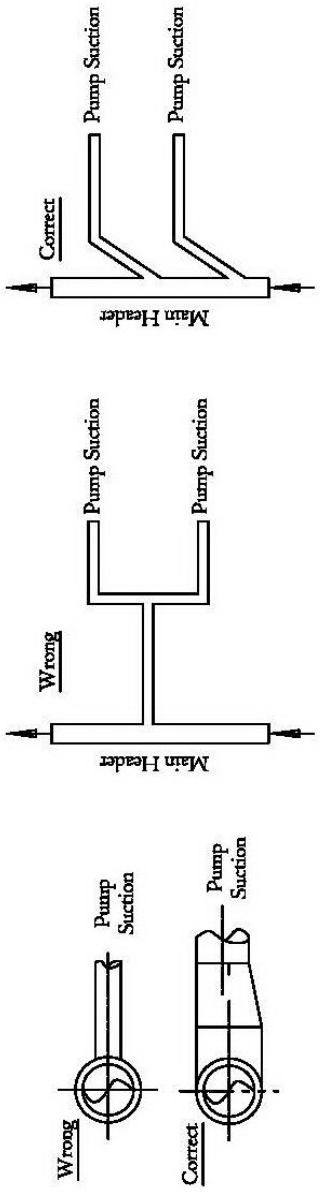

شکل ۳-۳۳ نحوه چیدمان پمپ و فاصله اتصالات

در پمپ Sump ها، مکش سیال منجر به ایجاد تلاطم در جریان ورودی می‌شود. برای ایجاد جریانی آرام در این نوع پمپ‌ها، اغلب از Suction Bell استفاده می‌شود. Suction bell قطعه مکانیکی است‌که در ابتدای لوله ورودی در داخل Sump نصب می‌شود که سبب کاهش سرعت سیال می‌شود و اصطکاک ناشی از مکش پمپ در ورودی را تا حدود 80 درصد کاهش می‌دهد. به‌علاوه از انقباض سیال در ورودی که باعث کاهش اختلاف فشار و نهایتاً کاهش جریان می‌شود، جلوگیری می‌کند.




شکل ۳-۳۴ Suction Bell

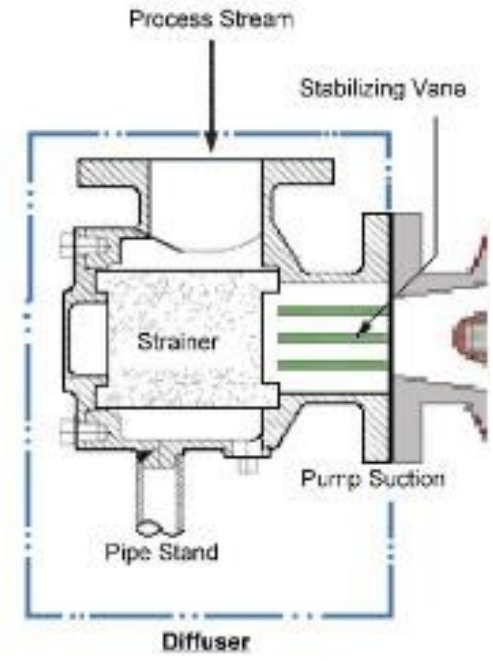
برای جلوگیری از تنش‌های هیدرولیکی در خط ورودی، زمانی که قرار است از یک Header انشعاب گرفته شود، باید قسمتی از خط ورودی هم‌سایز Header باشد و سپس از یک Eccentric Reducer استفاده شود. زمانی که بخواهیم برای دو یا چند پمپ انشعاب بگیریم، ورودی هر یک از پمپ‌ها باید مستقیماً به Header متصل شود و به‌صورت Y-Piece در جهت جریان Header باشد. شکل ۳-۳۵ نمایانگر نحوه اتصال درست و غلط می‌باشد.




شکل ۳-۳۵ نحوه اتصال انشعاب برای ورودی پمپ

اگر در ورودی پمپ‌ها Reducer نصب شده باشد، دقت شود که Reducer از نوع Eccentric باشد و نه از نوع Concentric؛ چرا که Reducer های Concentric هوا را در خودشان به دام می‌اندازند. از طرفی دقت شود که Reducer های Eccentric به‌صورت وارونه نصب نشده باشد؛ این مسئله اشتباه رایجی است‌که اغلب اتفاق می‌افتد.

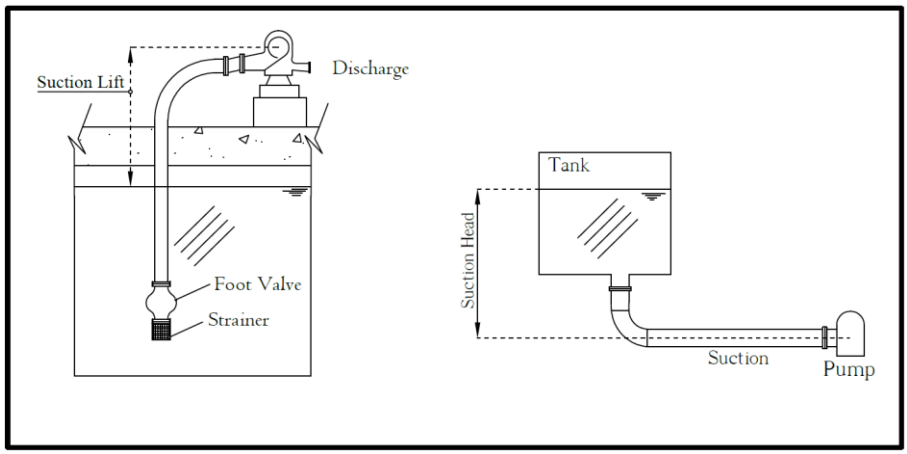
اگر به هر علتی امکان رعایت مسائل ذکر شده وجود نداشته باشد، یکی از انتخاب‌های شرکت‌های سازنده، نصب Diffuser (شامل Strainer و Stabilizing Vane)، در ورودی پمپ می‌باشد. این تجهیز باعث می‌شود جریان سیال روان و آرام به چشمه پروانه پمپ وارد گردد.




شکل ۳-۳۶ نصب Diffuser در ورودی پمپ

زمانی که پمپ‌های کف‌کش به هر علتی متوقف گردند، مایع از قسمت ورودی به منبع ذخیره برمی‌گردد و خط ورودی با هوا جایگزین می‌شود. راه‌اندازی مجدد پمپ در این حالت قطعا با مشکل همراه خواهد بود. زیرا منبع مکش پایین‌تر از پمپ می‌باشد و ممکن است پمپ توان لازم برای مکش سیال از عمق مورد نظر را نداشته باشد. زیرا مکش از عمیق‌ترین بخش صورت می‌گیرد که این عمق همان عمق استاتیک مکش می‌باشد. به اندازه فاصله سطح مایع منبع تا خط محور عرضی پمپ، Suction Lift گفته می‌شود. برای جلوگیری از این مشکل عملیاتی، معمولاً این‌گونه پمپ‌ها از نوع Self -priming انتخاب می‌شوند. این پمپ‌ها قادرند با وجود هوا در خط مکش عمل Lifting را انجام دهند. به‌علاوه در این‌گونه پمپ‌ها در خط خروجی، یک ولو یک‌طرفه برای جلوگیری از برگشت جریان سیال به داخل پمپ در هنگام تریپ خوردن نصب می‌شود. به‌طور مشابه معمولاً در قسمت ورودی پمپ‌های کف‌کش بعد از Strainer، یک Foot Valve که نوعی ولو یک‌طرفه می‌باشد، نصب می‌شود تا مانع بازگشت جریان از پمپ به خط ورودی گردد. در واقع این ولو باعث می‌شود که خط ورودی همیشه از سیال پر باشد و برای استارت‌های مجدد، پمپ حالت Priming خود را حفظ نماید.

در بعضی موارد، از یک مخزن به عنوان Suction Trap که ظرفیتی معادل ۳ برابر حجم خط مکش دارد، استفاده می‌شود؛ در این حالت زمانی که پمپ استارت می‌شود، فضای داخل مخزن با افت فشار مواجه می‌شود و اختلاف فشار بوجود آمده بین این مخزن و منبع مکش، باعث می‌شود مایع از منبع مکش به سمت مخزن جریان یابد. نکته‌ی مهم در این حالت این است‌که $NPSH_R$ پمپ باید توسط مخزن یا همان Suction Trap تأمین گردد. راه دیگری که برای تخلیه‌ی خط مکش از هوا وجود دارد، استفاده از Air Release System یا Air Ejector System می‌باشد.




شکل ۳-۳۷ نصب Foot Valve و Suction Trap در ورودی پمپ‌های کفکش

یکی دیگر از مواردی که منجر به ایجاد جریان گردابه‌ای در پمپ‌های سانتریفیوژ می‌شود، پدیده Vortexing می‌باشد. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که سرعت سیال در ورودی لوله مکش پمپ زیاد باشد. این امر باعث می‌شود هوای موجود در لوله به قسمت انتهایی لوله‌ی مکش پمپ و به داخل casing پمپ کشیده شود. وجود هوا در casing سبب می‌شود پمپ همراه با صدای اضافه کار کند. این صدا به علت ارتعاشات زیاد می‌باشد که در مدت زمان کوتاهی می‌تواند منجر به خرابی و یا حتی شکسته شدن شفت شود. اگر این پدیده به گونه‌ای باشد که هوا به‌طور کامل محفظه پمپ را پر کند، راه ورود مایع به پمپ به‌طور کامل مسدود می‌شود و پمپ اصطلاحاً خشک کار می‌کند که به شدت روی پروانه و Wearing Ring تأثیر مخرب دارد. اغلب بعد از وقوع چنین حوادثی به اشتباه نتیجه‌گیری می‌شود که شیر ورودی پمپ در هنگام استارت پمپ، بسته بوده است.

به‌طور کلی از دلایل مهم پدید آورنده Vortexing می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- سطح سیال در مخزن کم باشد (در مخازن همزن‌دار، سطح سیال حداقل باید به

اندازه 1.5 برابر قطر تیغه و بالای تیغه باشد)

۲- سطح سیال با نرخی بیشتر از 1 m/s در مخزن کاهش یابد.

۳- غلظت گازهای غیر محلول در سیال فرآیندی بالا باشد.

۴- سرعت خروج سیال از مخزن (در نقطه اتصال خط مکش به مخزن) بیشتر از 3 m/s باشد.

۵- فشار سیال نزدیک به فشار بخارش باشد.

۶- ناکافی بودن Submergence؛ با توجه به فرمول‌ها و گراف‌های موجود برای محاسبه حداقل میزان submergence، بهترین مقدار، عدد تعیین شده توسط شرکت سازنده پمپ می‌باشد. با این‌حال به‌دلیل حساسیت این موضوع نه به‌خاطر احتمال بالای وقوع بلکه به‌خاطر احتمال بالای خرابی‌های جبران ناپذیر آن درصورت وقوع، لزوم توجه به آن را بیشتر می‌کند.

برای سرعت‌های سیال بین 3-10 ft/sec و جریان بین 25-3000 gpm، رابطه‌ی بین (H) حداقل میزان submergence و (V) سرعت سیال ورودی به پمپ عبارت است از:

$$H(foot) = 0.96e^{0.184V}$$

یا

$$H(in) = D(in) + 0.574 \times Q(gpm) \times \frac{1}{D^{15}}$$

,

$$V\left(\frac{ft}{s}\right) = 0.4085 \times \left(\frac{Q(gpm)}{D(in)^2}\right)$$

درنهایت برای جلوگیری از ایجاد جریان گردابه‌ای معمولاً در خروجی مخازن از Vortex Breaker استفاده می‌شود و یا در مخازن استوانه‌ای که دارای میکسر می‌باشند، می‌توان از بافل‌های عمودی در دو طرف میکسر استفاده کرد تا اثر این پدیده در خط مکش پمپ

به حداقل برسد. هرچند در این رابطه انتخاب نوع Isolation Valve در قسمت ورودی مهم می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، ضمن رعایت قانون 5-10 D، استفاده از شیرهای توپی و دروازه‌ای که Full bore می‌باشند ارجح می‌باشد. از طرفی استفاده از شیرهای بشقابی و پروانه‌ای که CV آن‌ها کم می‌باشد، به‌دلیل ایجاد اغتشاش، برای این منظور توصیه نمی‌شود.

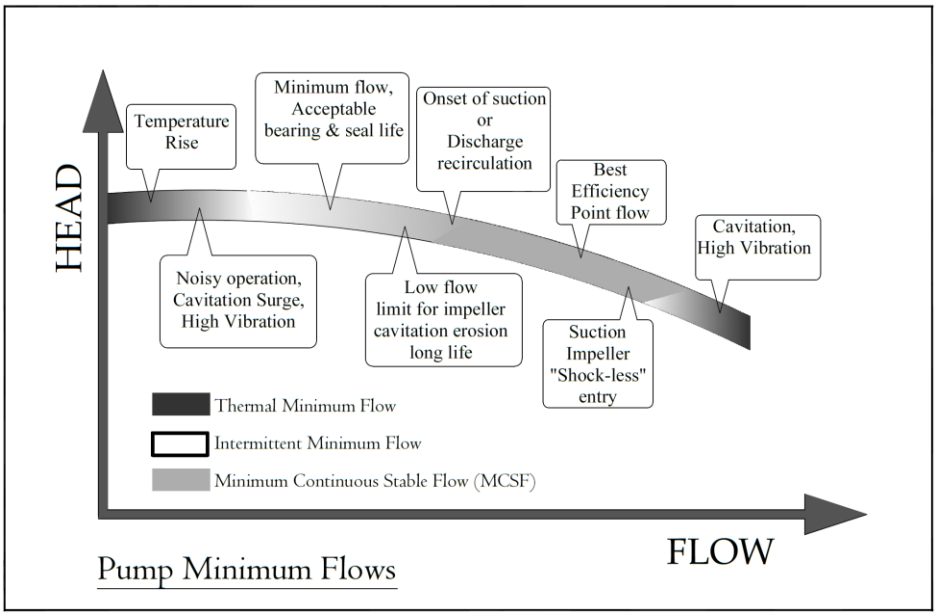
یکی دیگر از نمودهای عدم توازن هیدرولیکی سیال در پدیده Discharge Recirculation مشاهده می‌شود. البته این پدیده یک امر طبیعی در پمپ‌ها و کمپرسورها می‌باشد. زیرا همواره جریان خروجی به‌علت فشار بیشتر نسبت به ورودی تمایل دارد به سمت ورودی برگردد. برای جلوگیری از این امر از Wear ringها در فاصله بین پروانه‌ها استفاده می‌شود. در صورتی که به اختلاف فشار نرمال بین ورودی و خروجی از لحاظ عملیاتی توجه نشود و اختلاف فشار بالا باشد، و از طرفی لقی زیاد بین پروانه و casing زیاد باشد، سیال خروجی به پشت پروانه راه می‌یابد و فشار پشت پروانه رفته‌رفته با فشار خروجی برابر می‌شود. بنابراین با بیشتر شدن فشار پشت پروانه (Discharge Pressure) نسبت به فشار جلوی پروانه (Suction Pressure)، نیرویی محوری بر پروانه اعمال می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد مشکل باید به مقدار مجاز جریان در پمپ توجه نمود. در ادامه در رابطه با مقادیر حداقلی و حداکثری جریان و مقادیر مجاز آن توضیح داده شده است:

۱- حداقل‌جریان[۱]:

حداقل‌جریان در واقع حداقل میزان جریان پیوسته‌ی پمپ، بدون توجه به مدت زمان بهره برداری، سطح ارتعاش و ضوابط دیگر می‌باشد؛ با این هدف که از خرابی پمپ در نرخ‌های کمتر از این مقدار جلوگیری گردد.

[۱]-Minimum flow

اغلب شرکت‌های سازنده پمپ، مقدار minimum flow را برای جریان پیوسته، متناوب و برای میزان افزایش دمای مجاز در datasheet مربوطه ذکر می‌کنند.




شکل ۳-۳۸ مقادیر حداقل جریان در پمپ

با توجه به شکل ۳-۳۸ بهترین نقطه‌ی کارکرد پمپ در حداقل جریان، در محدوده MCSF[1]می‌باشد و پمپ نباید خارج از این محدوده و یا با جریانی کمتر از MCSF به‌صورت پیوسته کار کند. اغلب سازندگان محدوده MCSF را با در نظر گرفتن طول عمر بیرینگ‌ها و سیل مشخص می‌کنند.

در API 610، به‌طور مشخص مقدار MCSF برابر با حداقل میزان مجاز جریان در نظر گرفته شده است. (برای آگاهی بیشتر به جدولی با عنوان "Vibration Limits for Allowable Operation Range and Preferred Operation Range" در API 610 مراجعه شود).

[1]-Minimum Continuous Stable Flow

MCSF را با توجه به نوع پمپ، اندازه پمپ، سرعت چرخش پمپ، شکل پروانه، چگالی مایع و ... می‌توان تقریباً بین 10 تا 80 درصد جریان BEP در نظر گرفت. به‌عنوان مثال بر حسب تجربه و تحقیقات به عمل آمده، MCSF یک پمپ تک‌مرحله‌ای با خط خروجی "2، حدود 11 درصد جریان BEP می‌باشد و برای خروجی "3 و بالاتر MCSF اغلب بین 30 تا 60 درصد جریان BEP می‌باشد و برای پمپ‌های عمودی Mixed Flow و پمپ‌های چندمرحله‌ای با هد بالا حدوداً بیشتر از 60 درصد جریان BEP می‌باشد. برای پمپ‌های جریان محوری در نظر داشته باشید که میزان MCSF شدیداً تحت تأثیر میزان توان مربوط به محرک خود می‌باشد؛ چرا که میزان افزایش توان به سمت Shutoff Point و حداقل‌جریان میل دارد.

یک روش تجربی برای محاسبه میزان MCSF در پمپ‌هایی که فشار خروجی آن‌ها بیش از 50 barg می‌باشد، این است‌که در آن NPSH مد نظر قرار گیرد. بدین‌صورت که نقطه تلاقی $NPSH_A$ سیستم و $NPSH_R$ پمپ به‌عنوان حداقل جریان در نظر گرفته می‌شود. IMF[1]معمولاً 70 درصد MCSF می‌باشد و چنان‌چه در datasheet مربوط به پمپ ذکر شده باشد، باید برای استارت اولیه پمپ مطابق با آن عمل شود و MCTF بر اساس انرژی مکانیکی داده شده به سیال که باعث افزایش دمای آن می‌شود، محاسبه می‌گردد. MCTF[2]به تنهایی مسئله مهم و نگران کننده‌ای در پمپ‌ها نمی‌باشد، مگر برای پمپ‌هایی که فاصله $NPSH_A$ سیستم و $NPSH_R$ کم باشد و انرژی مکانیکی داده شده به سیال باعث تبخیر شدن سیال و پدیده کاویتاسیون گردد.

لازم به یادآوری است‌که توضیحات ارائه شده در این بخش با عنوان حداقل جریان با Recirculation Line اشاره شده در P&ID متفاوت است. خطوط Recirculation و یا Pressure Balancing Hole ها برای بالا بردن توانایی کارکرد پمپ در محدوده‌هایی تا کمتر از 50 درصد BEP می‌باشند.

---

[1]-Intermittent Minimum Flow

[2]-Minimum Continuous Thermal Flow

همچنین با توجه به سرعت چرخش نیز با تقریب مناسبی روابط زیر برقرار است:

$$@1750\ rpm. minimum\ flow = 15{\sim}20\%\ BEP\ flow$$

$$@3500\ rpm. minimum\ flow = 30{\sim}50\%\ BEP\ flow$$

۲- حداکثرجریان[۱]:

حداکثرجریان یا Pump Run out در واقع حداکثر میزان جریانی است‌که پمپ می‌تواند در خروجی تحویل دهد. منحنی مشخصه شرکت های سازنده پمپ معمولاً این نقاط را در هدهای مختلف نشان می‌دهند که معمولاً با نام AOR [۲]مشخص می‌شوند.

$$maximum\ flow = 110{\sim}115\%\ BEP\ flow$$

**۲- جریان خروجی کم یا صفر:**

از عمده مشکلات مربوط به جریان خروجی پمپ‌ها می‌توان به جریان خروجی کم و یا صفر اشاره کرد. این مشکل به دلایل زیر رخ می‌دهد:

**a)** پمپ به‌درستی هواگیری نشده و از سیال پر نشده باشد؛ به عبارتی پمپ Prime نشده است. هواگیری ورودی پمپ، محفظه پمپ و خروجی پمپ، بهبود قابل توجهی در قابلیت پمپاژ پمپ خواهد داشت. وجود مقدار کم هوا و سایر گازها در مایع به‌شدت بر روی جریان خروجی تأثیر نامطلوب می‌گذارد به نحوی که با افزایش مقدار هوا، حتی جریان مایع از خروجی پمپ متوقف خواهد شد. همچنین اگر هوا در مایع در قسمت ورودی پمپ وجود داشته باشد، هرگونه کاهش فشار در این بخش منجر به کاهش حلالیت هوا در مایع شده و به‌عبارت دیگر غلظت هوا در این ناحیه به‌خاطر

[۱]-Maximum Flow

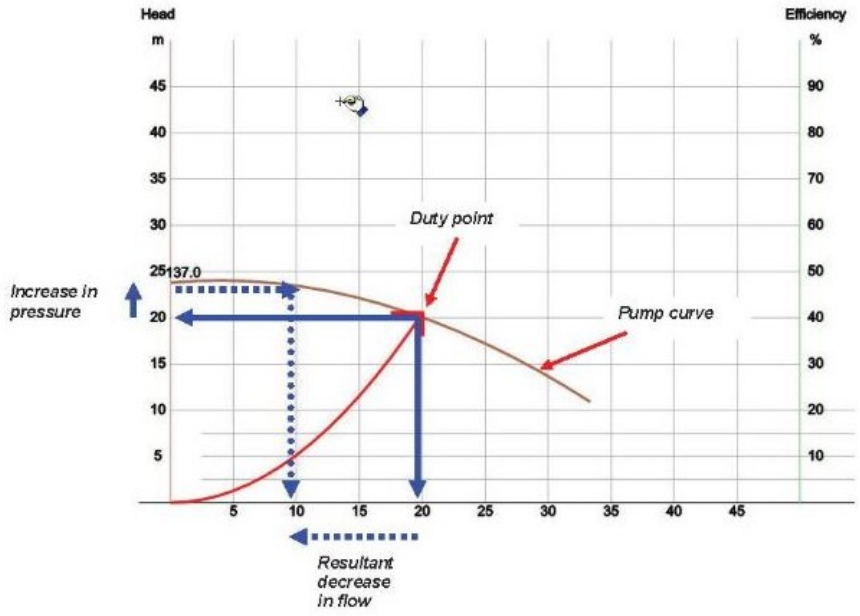
[۲]-Allowable Operating Range

خروج هوای موجود در مایع بیشتر می‌شود. این هوا که به‌صورت حباب از مایع جدا می‌شود، در مناطقی با فشار بیشتر می‌ترکد که به این پدیده Pseudo Cavitation می‌گویند. از طرف دیگر گسترش این حباب‌ها روی عمل‌کرد هیدرولیکی پمپ تأثیر می‌گذارد و با ایجاد منطقه‌ی خلاء، مانع جریان یافتن سیال به پمپ در نقطه‌ای موسوم به Breakoff Point می‌شود. از طرف دیگر در نرخ جریان‌های پایین و کم فشار، احتمال باقی ماندن هوا (Air Packet) در خط مکش بیشتر می‌شود و همین امر باعث Fluctuation در خروجی پمپ و پدیده‌ی ضربه قوچ می‌گردد. گاهی گاز موجود در ترکیب‌های دوفازی مانند پروپان مایع و یا سیالات با فشار بخار بالا منجر به بروز Gas lock می‌شود. پمپ‌های گریز از مرکز معمولاً تا 0.5% حجمی هوای همراه سیال قابلیت بهره‌برداری دارند، اما در ۶ درصد حجمی، دیگر قادر به پمپ کردن سیال نمی‌باشند و دچار Air lock یا Air bound می‌شوند. Gas lock می‌تواند به‌دلیل ورود هوا به خط ورودی به‌دلیل به‌وجود آمدن خلاء در قسمتی از خط مکش و یا به‌خاطر اغتشاش جریان در بخش ورودی اعم از خط مکش و یا حتی منبع متصل به آن نیز اتفاق بیفتد. مثال ساده این پدیده در سیالاتی مانند نوشابه‌های گازدار می‌باشد که گاز $CO_2$ در آن وجود دارد و یا حتی در آب که خود حاوی اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن محلول می‌باشد. در پمپ‌ها، تحت هر شرایطی که این گازها آزاد شوند، در قسمت‌های پر فشار پمپ، از داخل منفجر شده و انرژی زیادی آزاد می‌کنند. این انرژی گاهی باعث بالا رفتن دمای پمپ و سیال فرآیندی می‌شود. اما در اینجا زمانی را در نظر داریم که میزان گاز یا هوا به اندازه‌ای برسد که مانعی برای جریان مایع به داخل چشمه‌ی پروانه ایجاد نماید، تا جایی که منجر به قطع جریان خروجی پمپ شود که در دراز مدت سبب کاهش عمر بیرینگ‌ها و سیل پمپ می‌شود. در این حالت لازم است پمپ از سرویس خارج شود و بعد از آماده‌سازی پمپ و فراهم کردن شرایط سیال، اقدام به استارت مجدد گردد.

**b)**جهت چرخش موتور برعکس می‌باشد. در این حالت به‌دلیل چرخش پمپ در جهت اشتباه، درنتیجه چرخش اشتباه موتور، سیالی پمپ نخواهد شد. برای اطمینان از صحت جهت چرخش پمپ، آن را به‌صورت لحظه ای استارت کنید و به پروانه موتور پمپ توجه کنید که به‌صورت ساعت‌گرد بچرخد. از یک تکه کاغذ هم می توان استفاده کرد. بدین صورت که اگر جهت چرخش درست باشد، تکه کاغذ باید به محفظه فن پشت موتور بچسبد و اگر جهت چرخش معکوس باشد، جریان باد فن به سمت محیط بیرون می‌باشد و تکه کاغذ از محفظه فاصله می‌گیرد. در حالتی دیگر، چنان‌چه پیچ پروانه در جای خودش محکم نشده باشد، پمپ هم‌چنان با جهت چرخش درست کار می‌کند، اما جریان خروجی بسیار ناچیز می‌باشد.

**c)**شیرهای ورودی و یا خروجی بسته است و یا این‌که ورودی و یا خروجی پمپ و یا Strainer پمپ مسدود شده است. وجود ذرات ریز جامد در مایع پمپ شونده، درصورتی که پمپ بدین منظور طراحی نشده باشد، به‌خاطر لغزش ذرات جامد بین ذرات مایع و نوسان حرکت سیال و همچنین اصطکاک ناشی از برخورد ذرات جامد به یکدیگر، توان مصرفی پمپ به شدت افزایش می‌یابد و باعث کاهش هد پمپ و نهایتاً راندمان پمپ می‌شود. به‌عبارت دیگر، افزایش توان مصرفی پمپ در این حالت به‌خاطر هدر رفتن انرژی ناشی از اصطکاک و هدر رفت‌های هیدرولیکی می‌باشد.

**d)**هر عاملی که موجب افزایش فشار در خروجی پمپ گردد، متعاقباً باعث کاهش جریان در خروجی پمپ می‌شود. شکل ۳-۳۹ بیان‌گر این مسئله می‌باشد.




شکل ۳-۳۹ رابطه افزایش فشار در خروجی پمپ و کاهش جریان خروجی

**e)** NPSH ناکافی باشد:[1]

تعریف: فشار فیزیکی و واقعی پمپ در ورودی، منهای فشار بخار سیال در ورودی را NPSH می‌گویند. NPSH به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

- $NPSH_R$: فشاری که پمپ برای جبران کاهش فشار ناشی از افزایش شتاب در ورودی نیاز دارد. این پارامتر از طریق تست‌های هیدرودینامیکی در کارخانه مشخص می‌گردد و قابل محاسبه نمی‌باشد.
- $NPSH_A$: فشار واقعی که گیج فشار ورودی پمپ نشان می‌دهد. یعنی به میزان فشار سیال در ورودی اشاره دارد و توسط سیستم تعریف می‌شود و قابل محاسبه می‌باشد.
- $NPSH_S$: افت فشار واقعی در ورودی پمپ به‌دلیل افزایش شتاب می‌باشد.

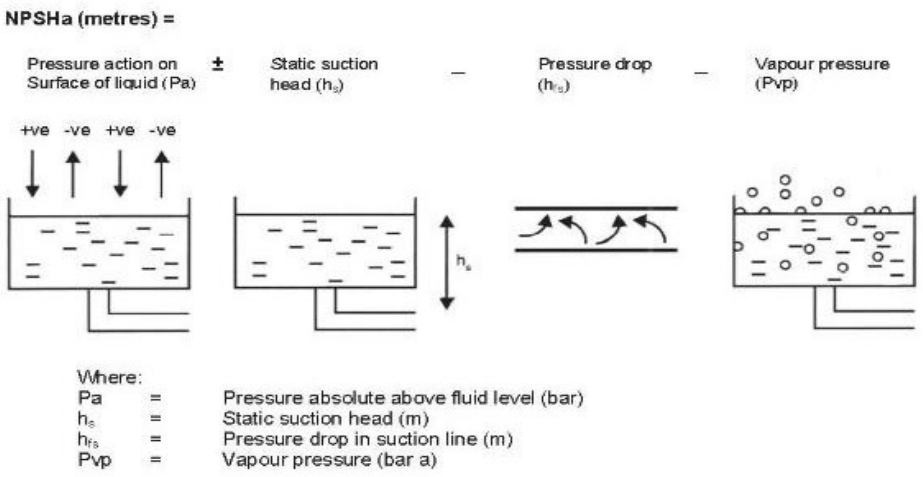
[1]-Net Positive Suction Head

**اگر $NPSH_A = NPSH_R + NPSH_S$+افت ناشی از اصطکاک ⟸ پمپ کاویته میشود**

این مسئله بسیار مهم است‌که $NPSH_A$ در ورودی پمپ بیشتر از $NPSH_R$ توسط پمپ باشد. $NPSH_A$ در سیستم وابسته به مشخصات سیالی که پمپ می‌شود، مسیر خط لوله ورودی به پمپ، محل قرارگیری مخزن و فشار عملیاتی آن می‌باشد.

در هنگام طراحی باید در نظر داشت که $NPSH_A >= NPSH_R + 0.5(m)$ باشد.

توجه به این نکته ضروری است‌که این ورودی سیستم است‌که شرایط ورودی را تنظیم می‌کند و نه پمپ. بنابراین $NPSH_A$ به طریق زیر محاسبه می‌شود و مطابق با آن پمپ طراحی می‌گردد:




شکل ۳-۴۰ نحوه محاسبه $NPSH_A$ در پمپ‌ها

مطابق با شکل ۳-۴۰ می‌توان روابط زیر را برای هر دو سیستم متریک و US نتیجه گرفت:

- در سیستم متریک:

$$NPSHa = \frac{10.2(Ps - Pv)}{Sg}$$

- درسیستمUS:

$$NPSHa = \frac{2.31(Ps - Pv)}{Sg}$$

Ps: فشار ورودی

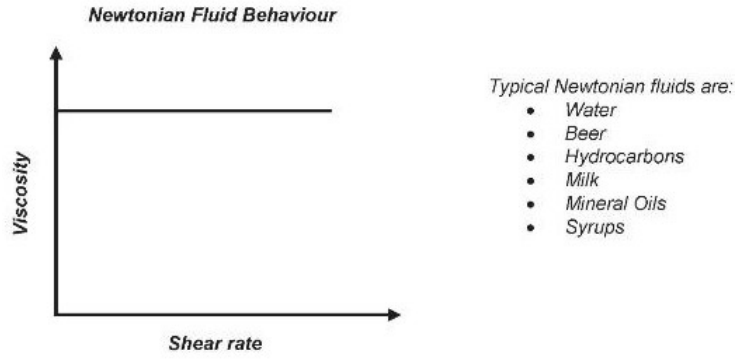
Pv: فشار بخار سیال

سایز خط مکش پمپ باید حداقل یک سایز از فلنج ورودی بزرگتر باشد و در پمپ‌های گریز از مرکز، سایز خط مکش همیشه بزرگتر از سایز خروجی نیست و درصورتی که $NPSH_A$ سیستم بتواند $NPSH_R$ را تأمین کند، می‌توانند هم سایز نیز باشند.

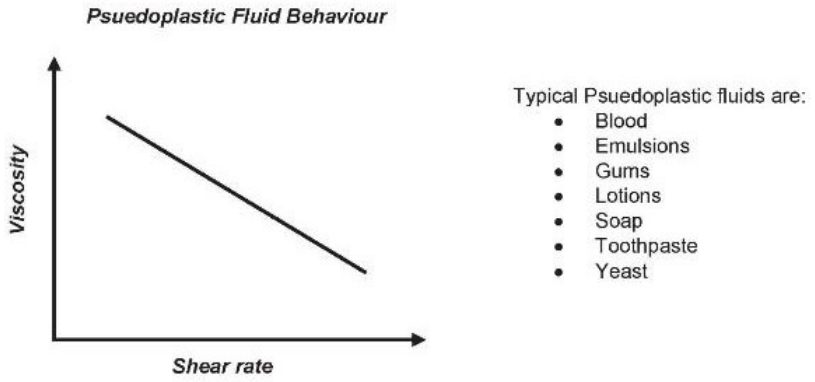
**f)**ویسکوزیته سیال پمپ شونده بیشتر از حد انتظار باشد:

پمپ‌های گریز از مرکز معمولاً سیالات با ویسکوزیته کم را پمپ می‌کنند (تا حداکثر 800 cP). بالاتر از این مقدار انرژی مورد نیاز از توان موتور خارج می‌باشد. بنابراین بازده پمپ به شدت تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت.

در برخی سیالات، ویسکوزیته صرف نظر از نیروهای برشی که به لایه‌های سیال اعمال می‌شود، ثابت است. اما در سیالات نیوتنی، ویسکوزیته حتی با وجود تغییر در نیروهای برشی در دمای ثابت، ثابت باقی می‌ماند.




شکل ۳-۴۱ رفتار سیالات نیوتنی




شکل ۳-۴۲ رفتار سیالات غیر نیوتنی

اما سیالات زیادی نیز وجود دارند که از قانون خطی فوق پیروی نمی‌کنند و به آن‌ها سیالات غیرنیوتنی[۱] می‌گویند. چنان‌چه وجود این‌گونه سیالات در هنگام طراحی پمپ در نظر گرفته نشود، تأثیرات منفی در عمل‌کرد پمپ خواهند داشت. در این‌گونه سیالات، ویسکوزیته با افزایش نیروهای برشی، کاهش می‌یابد. اما بالا بودن ویسکوزیته اولیه، مانع شروع جریان در یک سیستم پمپ ساده می‌شود. از طرفی هرگونه افزایش در ویسکوزیته

[۱]-Psuedoplastic

منجر به افت فشار بیشتر در سیستم و کاهش جریان مطابق با منحنی عمل‌کرد می‌گردد. برای حل این مشکل بهترین راه‌حل افزایش سرعت پمپ می‌باشد که این مسئله خود باعث افزایش $NPSH_R$ می‌شود و به‌دنبال آن بر روی $NPSH_A$ اثر می‌گذارد.

با توجه به توضیحات ارائه شده می‌توان گفت سیال نیوتنی با ویسکوزیته کم، بهترین سیال برای پمپ شدن در پمپ‌های گریز از مرکز و سیال غیرنیوتنی، بهترین سیال برای پمپ‌های جابجایی مثبت Rotary Lobe می‌باشد.

### ۳- کاویتاسیون[۱]

پمپ‌های گریز از مرکز، سرعت را به فشار یا هد تبدیل می‌کنند. انرژی لازم برای افزایش سرعت (یعنی شتاب) مایع در مسیر ورودی از فشار مایع در ورودی تأمین می‌شود. به محض این‌که شیر خروجی پمپ باز شود، سرعت در مسیر ورودی پمپ افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. هرچه شیر خروجی را با سرعت بیشتری باز کنیم، شتاب در مسیر ورودی پمپ بیشتر می‌شود و بنابراین افت فشار در ورودی بیشتر می‌گردد. چنان‌چه فشار ورودی پمپ تا نقطه حباب یا نقطه‌ی جوش سیال، کاهش یابد، سیال شروع به تبخیر خواهد کرد و باعث ایجاد حباب‌های ریزی در سیال می‌شود که به آن‌ها اصطلاحاً واکوئل[۲]می‌گویند. به این حالت کاویتاسیون گفته می‌شود. واکوئل‌ها توسط سیال حمل می‌شوند و زمانی که به نقاط پرفشارتر می‌رسند، فوراً از داخل منفجر می‌شوند و باعث ایجاد صدمه به اجزای پمپ می‌گردند. برای جلوگیری از این پدیده، اپراتور پمپ باید شیر خروجی را تا رسیدن به فشار مورد نظر در خروجی، به آرامی باز کند. باز کردن آرام شیر خروجی منجر به کاهش شتاب در مسیر ورودی می‌شود و نرخ تبدیل فشار به سرعت در ورودی کاهش می‌یابد. کاویتاسیون در همه انواع پمپ‌های سانتریفیوژ، دورانی و یا رفت

---

[۱]-Cavitation

[۲]-Vacuoles

و برگشتی به‌علت ناکافی بودن فشار سیستم در ورودی پمپ اتفاق می‌افتد که می‌تواند به‌دلیل وجود مانع در ورودی سیستم، ویسکوزیته بالای سیال و یا سرعت بیش از حد پمپ اتفاق بیفتد.

اگر دمای سیال از دمای طراحی کمتر باشد، ویسکوزیته‌ی آن ممکن است باعث ایجاد اصطکاک بیشتر و لذا افت فشار بیشتر در ورودی گردد و بالعکس اگر دمای سیال بیشتر از دمای طراحی باشد، خطر بخار شدن سیال بالاتر است.

پمپی که در حالت کاویتاسیون قرار دارد، ممکن است صدایی شبیه به بهم خوردن پیچ و مهره در داخل یک قوطی فلزی بدهد. در حالت کاویتاسیون، پمپ دچار افت شدید آمپر می‌گردد و این به‌دلیل افت جریان در خروجی می‌باشد. توجه شود که همیشه افت جریان در خروجی به معنای کاویتاسیون نیست، چون پمپ بدون سیال ورودی هم روان و آرام کار می‌کند.

واژه کاویتاسیون از لغت Cavity به معنای فضای خالی گرفته شده است. به‌طور کلی اگر افزایش دما باعث تبدیل مایع به گاز شود، به آن تبخیر[1] و اگر در اثر کاهش فشار سیال تا زیر فشار بخار سیال صورت گیرد، به آن خلاء زایی یا کاویتاسیون می‌گویند.

برای جلوگیری از پدیده کاویتاسیون راه‌های زیر پیشنهاد می‌شوند:

۱- افزایش $NPSH_A$ که عوامل زیر ممکن است منجر به انجام آن شوند:

- ممانعت از افت فشار در ورودی سیستم. مثلاً طول خط ورودی پمپ تا آن‌جا که ممکن است کوتاه گردد، قطر خط ورودی تا آن‌جا که ممکن است بزرگتر گردد و حداقل اتصالات مانند ولو و غیره در خط ورودی به‌کار رود.
- بالا نگه‌داشتن هد استاتیکی سیستم در ورودی پمپ تا حد امکان
- کاهش دما یا فشار بخار سیال. البته لازم است به این نکته توجه شود که کاهش

[1]-Evaporation

دما ممکن است سبب افزایش ویسکوزیته سیال و متعاقب با آن افزایش افت فشار در ورودی گردد.

۲- کاهش $NPSH_R$ که عوامل زیر ممکن است منجر به بروز آن شوند:

- کاهش سرعت دورانی
- استفاده از دو ورودی برای پمپ. پمپ‌هایی با دو ورودی تقریباً با 25 درصد NPSH کمتر و یا با 40 درصد سرعت بیشتر بدون بروز پدیده کاویتاسیون قابلیت کارکرد دارند. این کار باعث کاهش سرعت جریان سیال به درون پروانه و در نتیجه کاهش $NPSH_R$ می‌گردد.
- استفاده از پروانه با چشمه‌ی بزرگتر. این کار باعث افزایش سطح جریان سیال به داخل پروانه و کاهش سرعت جریان سیال به پروانه می‌شود.
- استفاده از Inducer (پروانه‌ای از نوع جریان محوری که در جلوی پروانه اصلی نصب می‌شود)

به‌طور کلی هرچه اختلاف بین $NPSH_A$ و $NPSH_R$ بیشتر باشد، احتمال وقوع کاویتاسیون کمتر می‌شود؛ بنابراین افزایش $NPSH_A$ برای آن دسته از سیالاتی که فشار ورودی پمپ به فشار بخارشان نزدیک است، می‌تواند یک راه‌حل مناسب برای کاهش احتمال قریب‌الوقوع کاویتاسیون باشد.

## ۴- ضربه قوچ[۱]

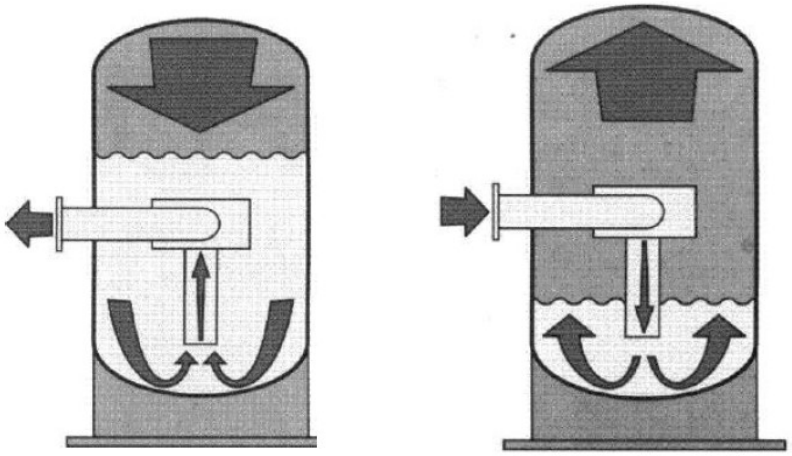
ضربه‌ی قوچ پدیده‌ای است که بیشتر در پمپ‌ها، ولوها، شبکه‌های توزیع مانند شبکه آب آتش‌نشانی وجاهایی که تغییرات زیاد ارتفاع وجود داشته باشد، رخ می‌دهد. این پدیده براساس قوانین فشار، تغییرات دبی یا تغییرات سرعت جریان و شرایط زمانی و مکانی حرکت سیال اتفاق می‌افتد. قدرت تخریبی این موج‌های فشار گاهی به حدی است که

[۱]-Water Hammering

نتایج وخیمی نظیر ترکیدن خطوط لوله، خرابی و شکسته شدن ولوها، دریچه‌های کنترل و پمپ‌ها می‌شود. در این‌جا به بررسی این پدیده بر اثر راه‌اندازی یا ازکار افتادن پمپ‌ها و توربین‌ها، بسته یا بازشدن ولوها و وجود تغییراتی در مسیر جریان مانند افزایش و یا کاهش قطر لوله می‌پردازیم.

فرض کنید پمپ شبکه‌ی آب آتش‌نشانی به‌صورت ناگهانی از کار بیافتد. در این حالت یک موج فشار از طرف پمپ با سرعتی معادل سرعت صوت به طرف شبکه لوله فرستاده می‌شود. این موج در طول شبکه، باعث کاهش فشار سیستم می‌شود تا به انتهای شبکه برخورد کند (Down Surge). سپس این موج با فشاری معادل فشار اولیه سیستم به سمت پمپ بازگشته و به چک‌ولو خروجی پمپ برخورد می‌کند که موجب افزایش فشار سیستم می‌شود (Up Surge). این سیکل به تناوب تکرار می‌شود تا به‌واسطه اصطکاک مقدار آن به صفر میل کند.

از اصلی‌ترین دلایل بروز این پدیده در سیستم‌های پمپاژ، تغییر ناگهانی سرعت می‌باشد. به‌عبارتی جریان داخل خط لوله به‌واسطه جرم و سرعت سیال دارای انرژی جنبشی می‌باشد که با تغییر ناگهانی سرعت سیال، این انرژی به موج فشار تبدیل می‌شود. به همین دلیل است‌که همواره توصیه می‌شود قبل از استارت پمپ‌های گریز از مرکز، ولو خروجی تا حد ممکن بسته و پس از استارت به آرامی باز شود و همچنین قبل از خاموش کردن پمپ، ابتدا شیر خروجی را به آهستگی بسته و سپس پمپ خاموش شود. گاهی مناسب‌ترین روش برای کنترل این پدیده استفاده از شیر اطمینان فشار و یا Surge Arrestor ها می‌باشد. در واقع Surge Arrestor یک تانک هیدرونیوماتیکی می‌باشد که در خروجی پمپ نصب می‌شود. زمانی که پمپ خاموش می‌شود و فشار سیستم کاهش می‌یابد، این تانک به سرعت با تزریق سیال به خط، مانع Down surge و عدم تعادل فشار می‌شود و در حالت Up Surge، با جذب انرژی توسط توده هوای داخل تانک، مانع از تناوب سیکل موج فشار می‌شود. در واقع انبساط و انقباض هوای داخل تانک موجب جذب انرژی و کنترل جریان ورودی و خروجی از تانک به سیستم و یا برعکس می‌شود.



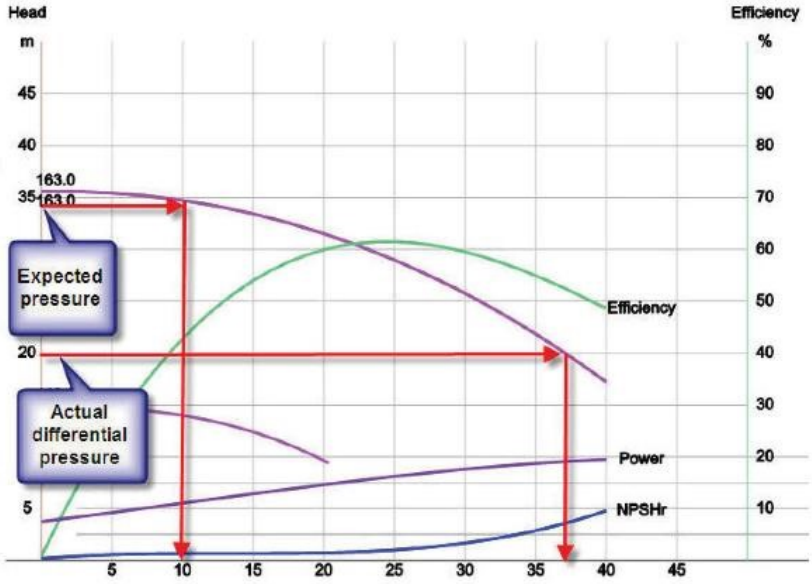
شکل ۳-۴۳ سیستم Surge Arrestor در خروجی پمپ

### ۵- وجود نشتی هوا در خط لوله ورودی:

نشتی هوا در ورودی پمپ یا ورود گاز در سیال، تأثیر منفی در کارایی پمپ داشته و علائمی مشابه کاویتاسیون ایجاد می‌کند. این حالت به طرق دیگری مانند زمانی که فشار خط ورودی پمپ تحت خلاء و کمتر از فشار اتمسفر باشد نیز اتفاق می‌افتد. این مورد کاملا مشابه زمانی است‌که هوا به خط ورودی از طریق اتصالاتی که به‌خوبی محکم نشده اند، درزهای محفظه‌ی پمپ، از طریق Stem ولو، گسکت‌های خراب و یا فلنج‌های صدمه دیده و یا فلنج‌هایی که به‌صورت دقیق با پمپ پارالل نشده‌اند، وارد می‌شود.

### ۶- فشار خروجی کم و یاصفر:

اگر جریان خروجی از پمپ بیشتر از میزان طراحی و یا بیشتر از منحنی عمل‌کرد پمپ باشد، می‌توان تصور کرد که فشار سیستم کمتر از فشار مورد انتظار، مطابق با منحنی عمل‌کرد پمپ می‌باشد.

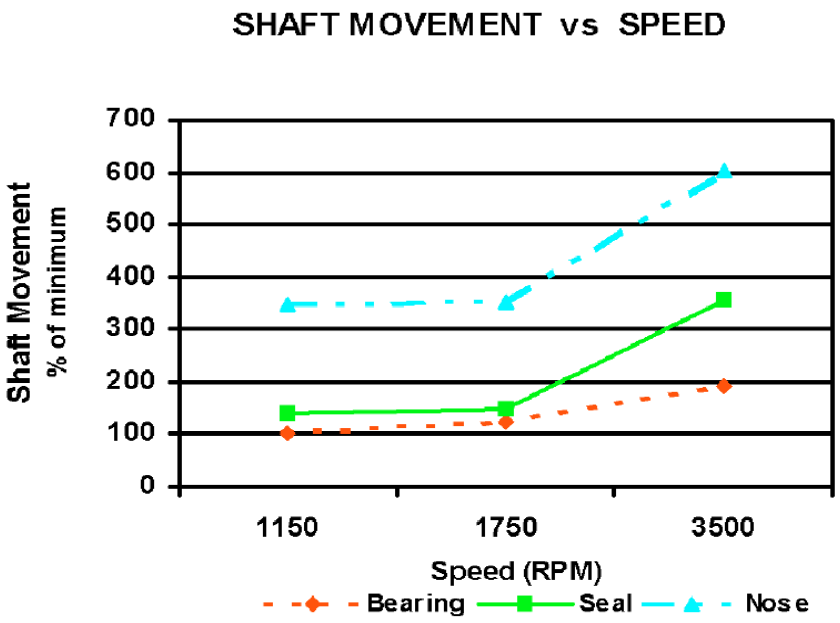



شکل ۳-۴۴ رابطه بین جریان و فشار خروجی پمپ

همچنین در مواردی که جریان خروجی از پمپ کم باشد نیز متعاقب با آن فشار کم خواهد شد. دلایل این امر قبلاً در بخش کم بودن جریان خروجی توضیح داده شد.

### ۷- سرعت بیش از حد گردش پمپ

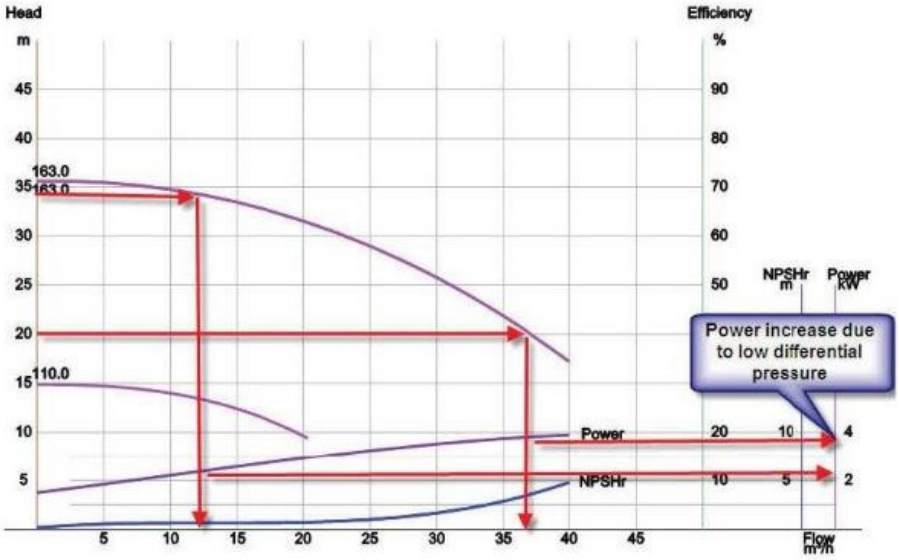
چنان‌چه سرعت گردش پمپ بیش از حد طراحی باشد، با توجه به منحنی‌های شکل ۳-۴۵ میزان صدا، نشتی سیل و لغزش بیرینگ باعث حرکت شعاعی و محوری شفت می‌گردد.




شکل ۳-۴۵ رابطه بین سرعت گردش پمپ و جابجایی شفت

### ۸- مصرف بالای برق:

چنان‌چه جریان خروجی بیشتر از حد انتظار و فشار خروجی کمتر باشد. افزایش نرخ جریان در خروجی در این حالت باعث افزایش مصرف برق می‌گردد. حفظ فشار در خروجی پمپ به‌وسیله نصب اوریفیس یا بستن ولو خروجی به اندازه‌ی کافی، می‌تواند باعث افزایش فشار خروجی و نهایتاً کاهش نرخ جریان و کاهش مصرف انرژی توسط پمپ گردد.




شکل ۳-۴۶ رابطه بین فشار خروجی و مصرف انرژی در پمپ

گاهی نیز ممکن است اجزای داخلی پمپ با محفظه پمپ تماس داشته باشند که منجر به بروز این مشکل می‌شود. این امر ممکن است به دلیل Clearance نادرست بین پروانه و Back Plate موتور، خرابی و یا نامناسب بودن بیرینگ‌های پمپ، وجود خمیدگی در شفت و یا بالانس نبودن روتور باشد. همچنین اگر ویسکوزیته سیال بسیار زیاد باشد، متعاقب با آن فشار سیستم کاهش یافته و باعث کاهش بازده پمپ و جذب انرژی بالا توسط پمپ می‌شود. مصرف انرژی بالا باعث Overload شدن موتور پمپ می‌گردد.

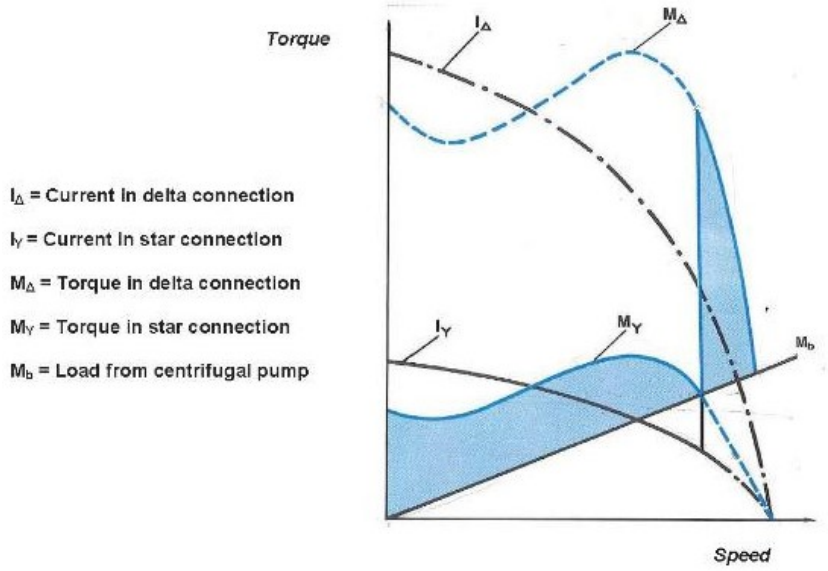
### ۹- بالا رفتن آمپر موتور پمپ:

یکی از دلایلی که آمپر موتور پمپ بالا می‌رود، وجود گرد و غبار روی صفحه محافظ پروانه خنک کننده موتور می‌باشد. آمپرسنج روی LCP پمپ، آمپری را که به‌وسیله موتور کشیده می‌شود، نشان می‌دهد. در مجاورت این آمپرسنج باید برچسب یا نوشته‌ای وجود داشته باشد که نشان‌دهنده حد نهایی آمپر[۱] FLA برای موتور می‌باشد. بالای نقطه FLA، موتور باید متوقف شود. در غیر این صورت سیم‌پیچ می‌سوزد. البته این توقف موتور به‌خاطر آمپر بالای FLA با تأخیر 15 تا 30 ثانیه‌ای انجام می‌شود. چرا که به‌طور معمول در زمان استارت موتور، آمپر زیادی کشیده می‌شود. به‌طور کلی زمانی که میزان جریان یا آمپراژ موتور بالا رود، ابتدا باید از درستی جهت چرخش مطمئن شد و سپس میزان آمپراژ موتور را زمانی که ولو خروجی کاملاً بسته است (فقط برای پمپ‌های گریز از مرکز) اندازه گرفت. اگر آمپر نرمال باشد، می‌توان نتیجه گرفت که دلیل افزایش بار آمپراژ، نرخ بالای جریان خروجی می‌باشد. در این حالت با استفاده از minimum flow و ولو خروجی، باید نرخ جریان خروجی را کنترل نمود. اما اگر میزان جریان با خروجی بسته در حد نرمال نباشد، احتمالاً ویسکوزیته یا وزن مخصوص سیال بالاتر از حد طراحی می‌باشد و یا قطعه‌ای از پمپ دچار خرابی شده است. در این حالت باید شفت پمپ را به‌صورت دستی چرخاند. اگر چرخش آن به سختی و با مقاومت همراه باشد، قطعاً یا بیرینگ پمپ یا روتور آن دچار آسیب شده است. البته لازم است احتمال وجود ذرات خارجی یا موادی که در اثر تنش های حرارتی احتمالی در اثر تماس سیال با قطعات گرم و داغ پمپ تشکیل شده است را نیز بررسی کرد.

[۱]-Final Limit Amps

**۱۰- کم بودن سرعت پمپ:**

اگر پمپ به روش استارت Star/Delta تجهیز شده باشد و نتواند بین اتصال Star و Delta تغییر وضعیت نماید، پمپ در وضعیت سرعت کم در اتصال Star خواهد ماند.




شکل ۳-۴۷ رابطه سرعت پمپ با اتصال Star/Delta

اگر استارت پمپ از لحاظ نرم‌افزاری به‌درستی برنامه‌ریزی نشده باشد، پمپ به سرعت طراحی‌اش نخواهد رسید. در این حالت از آن‌جا که جریان برق در زمان اولیه استارت پمپ محدود است و جریان مصرفی توسط پمپ به نیروی گشتاور استاتیکی پمپ در لحظه استارت و نیروی جرمی سیالی که باید شتاب بگیرد بستگی دارد؛ بنابراین این روش منجر به صرفه‌جویی در انرژی از طریق وفق اتوماتیک ولتاژ موتور با میزان واقعی جریان مورد نیاز خواهد شد و بسیار مهم است‌که موتور با بار سبک استارت شود.

### ۱۱- دمای بالای پمپ

بالا بودن دمای پمپ ممکن است علت‌های مختلفی داشته باشد. پدیده کاویتاسیون، وارد شدن هوا همراه سیال به پمپ، بالا بودن تنظیمات مربوط به شیر اطمینان، وجود بار اضافی بر روی پمپ، گرم شدن بیش از حد سیال به‌واسطه اضافه کردن کاتالیستی که منجر به ایجاد واکنش گرمازا در سیال می‌شود و در نهایت آسیب‌دیدگی پمپ از عوامل افزایش دمای پمپ می‌باشند.

بالا بودن دمای موتور می‌تواند به دلایلی نظیر گرم شدن بیش از حد سیال به‌واسطه اضافه کردن کاتالیستی که منجر به ایجاد واکنش گرمازا در سیال می‌شود، بالا بودن تنظیمات مربوط به شیر اطمینان، وجود بار اضافی بر روی پمپ و در نهایت آسیب‌دیدگی پمپ باشد.

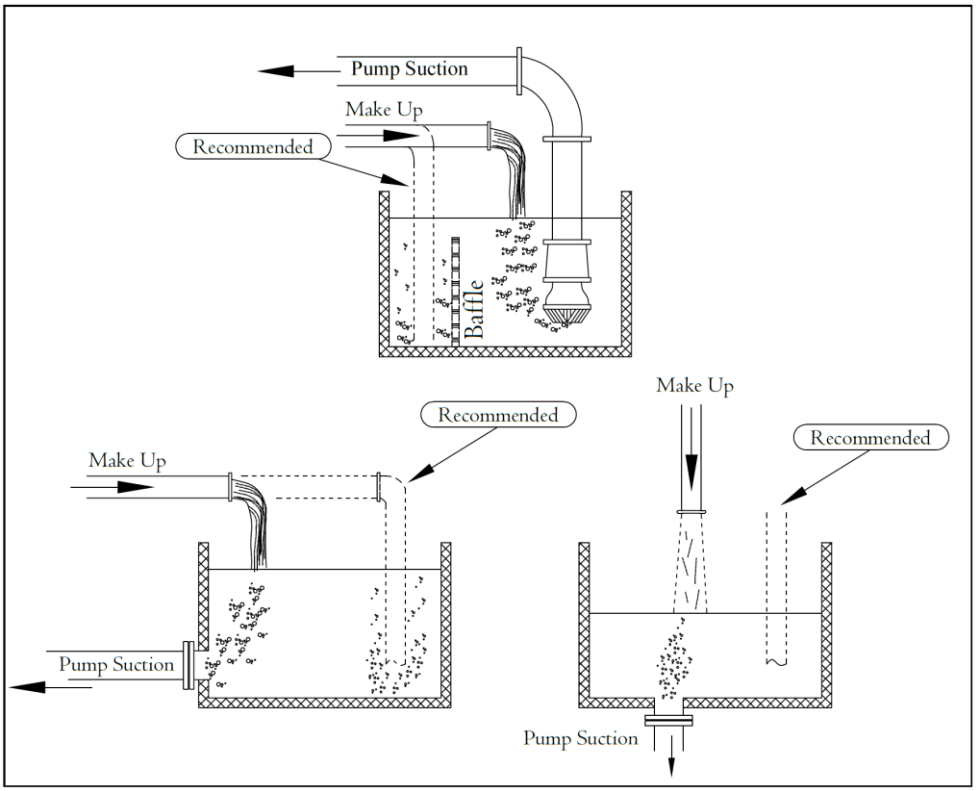
ممکن است دمای شیر اطمینان بالا باشد، که این امر به‌دلیل گرم شدن بیش از حد سیال به‌واسطه اضافه کردن کاتالیستی که منجر به ایجاد واکنش گرمازا در سیال می‌شود، اشتباه بودن تنظیمات مربوط به شیر اطمینان و آسیب‌دیدگی آن باشد.

بالا بودن دمای سیال خود دلایل مختلفی دارد. بالا بودن فشار سیستم، بالا بودن تنظیمات مربوط به Unloading valve، وجود مغایرت در ویسکوزیته سیال با منحنی عمل‌کرد پمپ و وجود نقص در سیستم خنک‌کاری سیال از جمله عوامل بروز این مشکل می‌باشند که در بخش‌های مختلف به تفصیل در مورد هریک توضیحاتی ارائه شده است.

لازم به توضیح است‌که رسانایی حرارت فولاد ضدزنگ نسبت به فولاد کربنی خیلی کمتر می‌باشد؛ بنابراین برای سیالات با دمای بالا، شفت از جنسی با رسانایی کمتر ساخته می‌شود تا انتقال حرارت از شفت به سیال خنک‌کننده کمتر انجام شود. از طرفی عمر مفید سیال خنک‌کننده، شدیداً به دمای آن وابسته است.

## Waterfall Effect -۱۲

مطابق با شکل ۳-۴۸ به‌طور واضح مشکلات این پدیده مشخص می‌باشند. در این شکل ها برای جلوگیری از اغتشاش جریان و نیز ورود حباب‌های هوا به داخل خط مکش پمپ، رعایت فاصله‌ی ریزش سیال، استفاده مناسب از بافل و فاصله نازل تا مخزن باید بررسی و رعایت گردد. روش‌های پیشنهادی برای حل مشکل در شکل ۳-۴۸ به‌صورت خط چین مشخص شده‌اند.




شکل ۳-۴۸ Waterfall Effects

### ۱۳- ارتعاش و صدای نامتعارف

از مهم‌ترین نشانه‌های تشخیص عیوب یک پمپ در حال عملیات، می‌توان به صدای غیرعادی و ارتعاش نامتعارف اجزای آن اشاره کرد. عدم دقت در نصب تجهیزات دوار از ابتدایی‌ترین و مهم‌ترین عوامل ایجاد ارتعاش و صدا در این‌گونه تجهیزات می‌باشند.

طی بررسی‌های صورت گرفته طی ۵ سال در مورد پمپ‌های یک واحد صنعتی، مشخص شد که پمپی با 0.178 in/Sec ارتعاش تنها ۶ ماه و پمپی با 0.071 in/Sec ارتعاش، بیشتر از ۶۰ ماه عمر داشته است.

معمولاً علت ایجاد صدای نامتعارف در پمپ‌ها، به‌دلیل وجود مشکل در پمپ، موتور و یا شیرهای اطمینان در مسیر خروجی پمپ می‌باشد. در مورد پمپ، صدای اضافی معمولاً به‌دلایل کاویتاسیون، ورود هوا همراه سیال، از تراز خارج شدن کوپلینگ و یا گرفتگی پمپ توسط مواد خارجی یا خودساخته سیال می‌باشد. اما در مورد صدای اضافی در موتور، از تراز خارج شدن کوپلینگ و یا کثیفی و گرفتگی موتور محتمل می‌باشد. درصورتی که صدای اضافی مربوط به شیرهای اطمینان در مسیر باشد، ممکن است Poppet و Seat ولو دچار گرفتگی شده باشد و یا این‌که نقطه تنظیم آن‌ها خیلی پایین بوده است.

### ۱۴- نشتی سیل مکانیکی

جهت روانکاری سیل‌های مکانیکی از سیال پمپ شونده استفاده می‌شود. بنابراین شرایط سیال پمپ‌شونده تأثیر زیادی بر خرابی سیل‌های مکانیکی دارد. به‌طور کلی خرابی سیل مکانیکی تاکنون از شایع‌ترین علل خرابی در پمپ‌های سانتریفیوژ بوده است و اصلی‌ترین علت خرابی سیل‌های مکانیکی وجود ذرات ریز ساینده موجود در سیال پمپ‌شونده می‌باشد.

برای کمک به شناسایی علت یا علت‌های نشتی سیل مکانیکی لازم است در وهله اول موارد زیر مورد بررسی قرار گیرند:

- چه مدت سیل مکانیکی در حال کار بوده است؟ و کارکرد به‌صورت پیوسته بوده و یا متناوب؟
- شرایط فرآیندی و تغییرات احتمالی مثل فشار، سرعت، دمای سیال باید بررسی شوند. گاهی افزایش دمای سیال و بخار حاصله ممکن است با نوع سیل مکانیکی سازگار نباشد و باعث نشتی شود.
- بررسی شود میزان نشتی تا چه حد است؟ نرخ نشتی ثابت است یا متغیر و آیا فقط در زمانی که شفت در حال چرخش است رخ می‌دهد یا خیر؟
- فشار Seal Pot و نرخ جریان آن بررسی شود. Single Flush یا Double Flush بودن سیل مکانیکی بررسی گردد.
- احتمال کاویتاسیون و همچنین میزان ارتعاش پمپ بررسی شود.

## ۱۵- زنگ زدن قطعات فولادی پمپ

Rouging یا زنگ زدن قطعات فولادی پمپ، در واقع یک نوع خوردگی در فولاد ضدزنگ می‌باشد. Rouging یک فیلم نازک قهوه‌ای مایل به قرمز یا طلایی رنگ از اکسیدآهن یا هیدروکسید می‌باشد که معمولاً بر روی قطعات فولاد ضدزنگ ایجاد می‌شود. کنتراست بین این فیلم و فلز براق باعث تشدید این مشکل می‌شود. معمولاً این فیلم نازک با یک پارچه تنظیف تمیز می‌شود، اما مجددا بعد از تماس با سیال فرآیندی تشکیل می‌شود. این مشکل در صنایع داروسازی در جاهایی که سطوح فولاد ضدزنگ در تماس با آب مقطر می‌باشند، بسیار شایع است. به‌طور کلی Rouge اکسید فلزی یا همان زنگ‌آهن می‌باشد، اما ممکن است تنها شامل آهن نباشد و دارای کروم و نیکل هم باشد؛ بنابراین با توجه به ترکیب درصد این اجزاء، فیلم زنگ ممکن است به رنگ‌های گوناگون و همچنین نسبت سختی‌های متفاوت باشد. زنگ‌آهن به‌طور کلی در فولاد ضدزنگ نوع 304 و 304 L نسبت به نوع 316 و 316 L بیشتر است و در سطوح فولاد ضدزنگ که به‌صورت الکتریکی پولیش شده‌اند، نسبت به سطوحی که به‌صورت مکانیکی پولیش شده‌اند، کمتر

است. این ذرات ممکن است از طریق سیال فرآیندی به سمت ورودی پمپ برده شوند و باعث گرفتگی Strainer پمپ شود. ولی از آن‌جا که اندازه‌ی آن‌ها ریز است، اگر کوچکتر از سایز مش Strainer باشد، از آن رد شده و وارد محفظه پمپ می‌شود. بر روی فولاد ضدزنگ یک فیلم نازک، محافظ، مقاوم و شفاف تشکیل می‌شود و آن را از عناصر خورنده و مخرب در محلول‌های آبی محافظت می‌کند. این فیلم مرکب از اکسیدکروم است و با تشکیل آن، فولاد در مقابل خوردگی، غیرفعال[1] می‌شود. قرار گرفتن در معرض هوای مرطوب، ظرف چند دقیقه این Passivation را فراهم می‌کند و فیلم به مرور زمان ضخیم تر می‌شود. لایه‌ی غیرفعال‌کننده روی سطح فولاد ضدزنگ می‌تواند با تعامل آب با خلوص بالا که عاری از یون‌هایی است‌که منجر به زنگ‌زدگی می‌شود، تجزیه گردد. کشش یونی آب به اندازه‌ی کافی قوی است تا نوار اکسیدکروم محافظ را از سطح فولاد ضدزنگ دور کند. در نتیجه فولاد ضدزنگ با لایه‌ای دیگر از اکسید کروم Re-Passivation می‌گردد و تغییر رنگ حاصل می‌شود. در زمان کوتاهی تا غیرفعال شدن مجدد، یک لایه‌ی نازک از فولاد ضدزنگ حل و یا ساییده می‌شود. عناصر اصلی ساخت فولاد ضدزنگ آهن، کروم و نیکل می‌باشد. یون‌های نیکل و کروم محلول هستند و به محلول جامد[2] وارد می‌شوند. با این‌حال، آهن با PH بالاتر از 3 به عنوان هیدروکسیدآهن به آسانی به اکسید ترکیبات آهنی، اکسید می‌شود و رنگ آن قرمز می‌باشد. اگر این روند به‌طور یکنواخت در سطح فولاد ادامه یابد و فرآیند De-Passivation و Re-Passivation، چندین بار تکرار شود، رنگ سطح فولاد وابسته به شرایط یونی لایه‌های مختلف اکسید و عمق لایه اکسید، از طلایی به قهوه‌ای تیره تبدیل می‌شود.

در سیستم‌های با خلوص بالای آب، زنگ‌آهن به سه علت زیر تشکیل می‌شود:

---

[1]-Passive

[2]-Bulk Solution

- کلاس I: زنگ‌آهنی که منشاء آن عوامل خارجی که معمولاً سایش یا کاویتاسیون سطوح داخلی پمپ می‌باشد.
- کلاس II: زنگ‌آهنی که ناشی از خوردگی ناشی از کلراید می‌باشد.
- کلاس III: زنگ‌آهن سیاه یا آبی که در سیستم‌های بخار با دمای بالا ایجاد می‌شود.

به‌طور کل زنگ‌آهن در سیستم‌های آب خالص، بخار، آب قابل شرب، آب فرآیندی تصفیه نشده ایجاد می‌شود.

**۱۶-مشکلات مربوط به پروانه**

اغلب سازندگان پمپ ترجیح می‌دهند جنس پروانه به‌جهت طول عمر بیشتر، از جنس برنز، چدن و یا آلیاژ چدن و نیکل باشد؛ مخصوصاً اگر مایع حاوی ذرات ریز مانند شن و ماسه باشد. در طول Overhaul یک پمپ، پروانه باید از لحاظ سایش، خوردگی و کاویتاسیون مورد بررسی دقیق قرار گیرد. علاوه بر این موارد، لقی پروانه به دور شفت نیز شایع می‌باشد که اغلب به‌دلیل عدم ریخته‌گری درست در طول ساخت و یا هرز و گشاد شدن جای خار متصله به شفت می‌باشد. در هر دوره تعمیرات اساسی مهم‌ترین اصل بررسی بالانس بودن پروانه و یا بالانس کردن پروانه بعد از نصب مجدد می‌باشد. بالانس کردن معمولاً به دو روش دینامیکی و استاتیکی انجام می‌شود اما به عنوان یک قانون سرانگشتی هرگاه نسبت قطر به عرض پروانه کمتر از 6 باشد و یا سرعت دورانی پروانه بیشتر از 3600 rpm باشد، پروانه باید به روش دینامیکی بالانس شود.

به تجربه ثابت شده است پروانه‌ای که به روش دینامیکی بالانس شده باشد، قطعا از لحاظ استاتیکی هم بالانس می‌باشد؛ اما نمی‌توان قطعاً ادعای عکس این قضیه را داشت.

به‌طور کلی Clearance پروانه باید توسط شرکت سازنده پمپ معین گردد که عددی بین ”0.015- ”0.008 می‌باشد. به‌علاوه توجه شود که به ازای هر ”0.002 اضافه شدن به

لقی پروانه، 1 درصد از ظرفیت پمپ کم خواهد شد؛ این مسئله ، اهمیت موضوع را برای نصب صحیح پروانه بیشتر مشخص می‌کند.

به‌طور کلی اندازه‌ی قطر و عرض پروانه رابطه مستقیم با دبی و هد پمپ دارد (قطر با هد، و عرض با دبی رابطه مستقیم دارد). بنابراین در طول تعمیرات این مشخصات نباید مخدوش گردند. (برای اطلاع بیشتر در مورد این مفهوم می‌توانید به نمودار سرعت مخصوص و مفهوم سرعت مخصوص مراجعه نمایید؛ پمپ‌هایی که سرعت مخصوص کم دارند مثل پمپ‌های جریان شعاعی، برای هد زیاد و دبی کم و از طرف دیگر پمپ‌های با سرعت مخصوص زیاد مثل پمپ‌های جریان محوری برای هد کم و دبی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند و از پمپ‌های با سرعت مخصوص متوسط مانند پمپ‌های جریان ترکیبی برای هد و دبی متوسط استفاده می‌شود).

**۳- ۴- ۶- ۶- مشکلات رایج در پمپ‌های جابجایی‌مثبت**

مشکلاتی که در مورد پمپ‌های گریز از مرکز عنوان شد، در اغلب موارد با پمپ‌های جابجایی‌مثبت مشترک می‌باشد. اما مسئله بسیار مهم عملیاتی که در پمپ‌های جابجایی مثبت وجود دارد، مبحث کنترل جریان می‌باشد. بنابراین در این بخش راه‌های کنترل جریان این نوع پمپ‌ها توضیح داده می‌شود.

برخلاف پمپ‌های گریز از مرکز که حتی با افزایش هد تا جایی که جریان قطع شود، باز هم می‌توانند به‌صورت دقیق کار کنند و با تغییر در میزان فشار ورودی و خروجی به راحتی می‌توان میزان دبی را تغییر داد، نرخ جریان در پمپ‌های جابجایی‌مثبت به فشارهای ورودی و خروجی پمپ وابسته نمی‌باشد. بنابراین نمی‌توان مانند پمپ‌های گریز از مرکز توسط یک کنترل ولو در خروجی پمپ انتظار کنترل جریان را داشت. ولو کنترلی در خروجی پمپ‌های جابجایی‌مثبت برای کنترل فشار خروجی پمپ می‌باشد.

جریان در پمپ‌های جابجایی‌مثبت یا از طریق تغییر Stroke (جابجایی مقدارهای متفاوت سیال)، یا تغییر سرعت پمپ و یا استفاده از خط جریان‌برگشتی[1] که می‌تواند داخلی یا خارجی باشد، قابل کنترل می‌باشد. استفاده از Stroke به دلایل اقتصادی و پیچیدگی مکانیکی در پمپ‌های بزرگ کاربردی نیست و فقط در پمپ‌های کوچک به منظور Injection کاربرد دارد. بنابراین اغلب در ظرفیت‌های بالا برای کنترل جریان از دو روش دیگر استفاده می‌شود.

پمپ‌های جابجایی‌مثبت معمولاً نسبت به محرک خود سرعت کمتری دارند؛ بنابراین از اتصالات مکانیکی نظیر Hydraulic Torque Converter، Hydro Viscous Drive و یا Eddy-Current Coupling برای اتصال موتور به پمپ استفاده می‌شود. همه این اتصالات می‌توانند سرعت پمپ را در سرعت ثابت موتور تغییر دهند، در حالی‌که می‌توان با VFD، Variable Frequency Drive، با قابلیت اطمینان بالاتری، مستقیماً سرعت موتورهایی که از Belt Drive و Gear Box استفاده می‌کنند، بهره جست.

تعیین نرخ جریان بر اساس تغییر سرعت به‌صورت دستی قابل تنظیم است و مطابق با جدول سرعت-جریان، سرعت پمپ یا موتور بر اساس میزان جریان مورد انتظار، قابل تنظیم می‌باشد. اغلب انتظارات مطابق جدول، برآورده نمی‌شوند و لازم است شرایط کل سیستمی که پمپ بخشی از آن است را نیز مورد توجه قرار داد. بنابراین برای رسیدن به جریان مورد نظر، لازم است شرایط Up Stream و Down Stream پمپ مثل دما و سطح مخزن در Down Stream پمپ لحاظ شود. البته این ملاحظات اغلب به‌صورت کنترلی و اتوماتیک صورت می‌گیرد.

در پمپ‌های جابجایی‌مثبت مثل Screw و دنده‌ای برای اندازه‌گیری میزان نرخ جریان در خروجی پمپ می‌توان یک ترنسمیتر جریان نصب کرد؛ اما در پمپ‌های رفت و برگشتی

[1]-Recycle Line

و دیافراگمی به‌دلیل نوسانات جریان و پایدار نبودن آن در Stroke های مختلف، استفاده از فلومتر نمی‌تواند قابل اطمینان باشد.

کنترل جریان به روش لوپ برگشتی[1] بهترین روش برای سیستم‌های فشار بالایی است‌که فشار Down stream پمپ تقریباً ثابت است. این جریان برگشتی یک شیر کنترلی دارد که نرخ جریان برگشتی را بر اساس اختلاف فشار ورودی و خروجی پمپ کنترل می‌کند. اما مشکل این روش این است‌که تغییرات ناگهانی سرعت در خروجی پمپ شدیداً روی $NPSH_R$ تأثیر منفی می‌گذارد و در نهایت ظرفیت پمپ کاهش می‌یابد. به‌علاوه نرخ بالای جریان برگشتی ممکن است باعث افزایش دمای جریان در ورودی پمپ و دو فازی شدن سیال و در نهایت از دست دادن Priming پمپ شود.

درست عمل نکردن سیستم‌های کنترلی، مخصوصاً در حالت کنترل سرعت موتور بر اساس سطح یا میزان جریان برگشتی بر اساس اختلاف فشار مشکلات عملیاتی متنوعی را سبب می‌شوند.

### ۳-۴-۷- Breaking in Cosmpressor:

کمپرسورها و درایورهای آن‌ها از هر نوعی که باشند، مشابه پمپ‌ها باید "Run-in" یا استارت اولیه شوند تا از لحاظ مکانیکی کارایی آن‌ها تست شود و هرگونه نقصی در آن‌ها قبل از استارت‌آپ واحد مشخص و برطرف گردد. غالباً دستور کار راه‌اندازی کمپرسورها باید مطابق با دستورالعمل سازنده تجهیز باشد. در تست کارایی کمپرسور، تطابق عمل‌کرد کمپرسور با طراحی سازنده در شرایط عملیاتی و تأیید شکل منحنی عمل‌کرد کمپرسور و میزان حداقل و حداکثر جریان در سرعت‌های مختلف بررسی می‌شود. غالباً این تست با گاز فرآیندی و در شرایط عملیاتی انجام می‌شود؛ اما بنا به ضرورت و محدودیت‌های ایمنی چنان‌چه این کار امکان‌پذیر نباشد، از یک گاز بی‌اثر (مثلاً نیتروژن) در این تست

[1]- Recycle Loop

استفاده می‌شود. مشخصات فیزیکی این گاز معمولاً با گاز فرآیندی متفاوت می‌باشد. بنابراین در چنین حالتی بررسی مشخصات ترمودینامیکی کمپرسور نظیر جریان، قدرت، دما، فشار و سرعت باید نسبت به این گاز در نظر گرفته شود.

اپراتور باید در نگاه اول به یک کمپرسور نصب شده، بعد از تشخیص نوع آن، سیال آن‌را از لحاظ سمی بودن، خورنده بودن، مسیرهای ورودی و خروجی و سیستم سرج[1]، تعداد مراحل، نوع سیستم آب‌بند، درایور کمپرسور و ... از طریق تابلو مشخصات و یا datasheet، P&ID و ... به‌دقت ردیابی و تحلیل نماید.

اگر درایور کمپرسور یک موتور برقی است، اتصالات الکتریکی آن باید چک شود. محل قرارگیری Breaker برق تجهیز برای قطع و UCP آن بررسی شود و از آزاد بودن دکمه Emergency Shutdown آن اطمینان حاصل شود.

سرعت چرخش موتور و کمپرسور و سایر اطلاعات مربوط به موتور از روی تابلو مشخصات موتور و یا datasheet مربوط به آن بررسی شود.

دقت شود که همه شیرها قابلیت دسترسی آسان داشته باشند و به وضوح قابل رویت باشند، حتی ولوهای کنترلی و ولوهای مربوط به Auxiliary ها.

بهره‌بردار تگ مربوط به ولوهای کنترلی را باید بداند و از مکان دقیق آن‌ها باخبر باشد. همچنین باید بداند در تابلوی UCP کمپرسور هر یک از چراغ‌ها با رنگ‌های مختلف چه معنایی دارد و نسبت به آلارم‌ها و صدای آن‌ها حساس باشد و آن‌ها را به‌درستی بشناسد. به‌علاوه با مقادیر مقرر شده برای تریپ خوردن کمپرسور و آیتم‌های تریپ دهنده کمپرسور مثل حد فشار بالا و پایین روغن، دمای بالای گاز خروجی از کمپرسور، سطح بالای مایع در درام ورودی کمپرسور به‌خوبی آشنا باشد.

[1]-Surge

در این مرحله موارد زیر باید پیش از تست یا در طول عملیات تست MRT[1]به‌درستی بررسی گردند:

۱- از نصب Screen Mesh مناسب در Strainer ورودی کمپرسور اطمینان حاصل شود.
۲- از روغنکاری بیرینگ‌ها از طریق بررسی سطح روغن در محفظه آن‌ها اطمینان حاصل شود. (برخی از محفظه‌ها با آب کولینگ خنک می‌شوند. در این مورد از در سرویس بودن آن اطمینان حاصل شود).
۳- در کمپرسورهای هوا Inlet Filter از لحاظ تمیزی از طریق PDP یا به‌صورت چشمی بررسی شود.
۴-در سرویس بودن کلیه یوتیلیتی‌های لازم و سیستم درین بررسی شود.
۵-از در سرویس بودن سیستم purge موتور کمپرسور اطمینان حاصل شود.
۶- از در سرویس بودن سیستم DGS (Dry Seal Gas) اطمینان حاصل شود. ورودی این سیستم اغلب یک گاز بی اثر مانند نیتروژن می‌باشد که جهت نگهداری و preserve کردن اجزای داخلی کمپرسور باید به‌صورت مداوم و قبل از استارت کمپرسور در سرویس باشد.
۷- سیستم روغن روانکار[2] در قسمت کمپرسور و درایور بررسی شود. دقت شود که روغنی که برای عملیات فلاشینگ روغن استفاده شده است، حتماً خارج شده و با روغن تمیز جایگزین گردد. ابتدا فیلتر روغن بررسی شود و از تمیزی آن اطمینان حاصل گردد و سپس اقدام به استارت پمپ کمکی روغن مربوط به آب‌بند و روغن روانکار شود. در صورت وجود Space Heater، برای گرم کردن روغن، باید قبل از

[1]-Mechanical RunTest

[2]-Lube Oil System

استارت پمپ روغن، دمای روغن را از این طریق به میزان مقرر و پیشنهادی سازنده رساند. قبل از استارت کمپرسور همان‌طور که گفته شد، حتماً سیستم آب‌بند باید در سرویس قرار گیرد.

به‌طور کلی به منظور کاهش اصطکاک، خنک‌کاری سیال کمپرس‌شونده و همچنین به عنوان آب‌بند (در کمپرسورهای قدیمی) از روغن استفاده می‌شود. به کل سیستم روغن که حداقل شامل مخزن روغن، پمپ، فیلتر، خنک کننده روغن و یک جدا کننده می‌باشد، سیستم کمکی (فرعی) روغن[1] می‌گویند. این سیستم حداقل دو نوع تریپ بر روی کمپرسور اعمال می‌کند. یکی به‌واسطه کاهش فشار روغن و دیگری دمای روغن که باید در بازه مشخصی قرار داشته باشد. توجه شود که سرد شدن بیش از اندازه روغن نیز به‌دلیل بالا رفتن ویسکوزیته آن، ممکن است موجب تریپ کمپرسور گردد.

۸- در کمپرسورهایی که درایور آن‌ها توربین می‌باشد، زمانی که توربین و کمپرسور از هم جدا می باشند، باید Over Speed Trip و Governor توربین بررسی شود. در کمپرسورهایی که درایور آن‌ها موتورهای گازسوز می‌باشد، سیستم گاز و هوای ورودی بررسی شود.

۹- در کمپرسورهای رفت و برگشتی حتماً باید عمل‌کرد Valve Unloader ها (Unloader باید بر اساس میزان بار مشخص شده تنظیم گردد) و Clearance Pocket ها بررسی گردند.

۱۱- Intercooler و Inter Stage Knock out Drum ها بررسی گردند.

۱۲- درصورتی که تست مکانیکی کمپرسور با گازی غیر از گاز اصلی که کمپرسور بر مبنای آن طراحی شده است انجام شود، به تفاوت مشخصات گاز تست با گاز اصلی توجه شود. چنان‌چه این تفاوت فاحش باشد باید در هنگام عملیات و استارت

[1]-Auxiliary Oil System

کمپرسور در نظر گرفته شود و با شرکت سازنده در این باره مشورت گردد.

۱۳-بررسی شود که حداقل تجهیزات ابزاردقیق لازم در ورودی و خروجی کمپرسور نصب شده باشد.

۱۴- چنان‌چه کولرهای موجود اعم از Oil Cooler, Inter Cooler, After Cooler با آب کولینگ، خنک می‌شوند، نسبت به در دسترس بودن آن اطمینان حاصل شود.

۱۵-نحوه نصب Strainer ها بررسی شود و از تمیزی آن پیش از استارت اطمینان حاصل گردد.

۱۶- سیستم آنتی‌سرج بررسی شود.

۱۷-کمپرسورهای رفت و برگشتی در استارت اولیه باید بدون بار استارت شوند، تا بتوان روغنکاری، لقی پیستون و عمل‌کرد اجزای متحرک آن را بدون صدای اضافی و سایش بررسی کرد.

۱۸-کمپرسورهای گریز از مرکز را در صورت امکان بدون بار استارت می‌کنند تا با حداقل جریان برق به‌کار بیفتند. این عمل باعث افزایش طول عمر موتور می‌شود. بنابراین در صورت امکان، دمپرهای ورودی باید بسته باشند.

۱۹-از صحت جهت چرخش کمپرسور با استارت لحظه‌ای کمپرسور و بررسی گیج فشار جریان خروجی اطمینان حاصل شود. در این تست اگر فشار افزایشی بود، جهت درست و اگر در حالت خلاء قرار گرفت، جهت نادرست می‌باشد.

۲۰-صحت عمل‌کرد LPS و HPS (سوییچ‌های فشار بالا و پایین) بررسی شود.

۲۱-در زمان کارکرد کمپرسور، تمام آیتم‌های کنترلی مربوط به سیستم روانکاری، باید به‌صورت دقیق مورد بررسی قرار گیرد.

۲۲-در زمان کارکرد، ارتعاشات قسمت‌های مختلف و همچنین دمای بیرینگ‌ها بررسی گردد.

۲۳-از عدم وجود صدای ناهنجار کمپرسور بعد از استارت آن اطمینان حاصل شود. کم بودن فشار روغن کمپرسور می‌تواند باعث ایجاد صدا گردد. (فشار روغن حداکثر

باید psig 10-20 کمتر از فشار عملیاتی خروجی باشد)

۲۴-از برق‌دار بودن ولوهای سلنوییدی بعد از استارت اطمینان حاصل شود. این ولوها عبارت است از Oil Solenid Valve، Economizer Solenoid Valve، De-Superheating Solenoid Valve، Motor Solenoid Valve و ...

در ادامه به برخی از اصول تئوری و مفید کمپرسورها برای درک بهتر و بهره‌برداری اصولی از این تجهیزات با ارزش اشاره شده است:

**نرخ حجمی جریان**: جریان حجمی یک سیستم، اندازه‌گیری حجم سیال در واحد زمان می‌باشد که حاصل‌ضرب سطح مقطع جریان در میانگین سرعت جریان می‌باشد.
معمولاً داده‌های نرخ جریان در مدارک شرکت سازنده به دو صورت نرمال و استاندارد ذکر می‌شود. منظور از نرمال حالتی است‌که در آن نرخ جریان در فشار 1.013 bar(a) و دمای 0 درجه سانتی‌گراد محاسبه شود و حالت استاندارد حالتی است‌که نرخ جریان در فشار 1 bar(a) و دمای 20 درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است.

رابطه بین هر دو حالت ذکر شده به‌صورت زیر می‌باشد:

$$qs = qn * \frac{Ts}{Tn} * Pn/Ps$$

$$qs = qn * \frac{273 + 20}{273} * 1.013/1$$

$qs$ = نرخ جریان در حالت استاندارد

$qn$ = نرخ جریان در حالت نرمال

$Ts$ = دمای استاندارد ورودی (20 Cd)

$Tn$ = دمای نرمال ورودی (0 Cd)

$Ps$ = فشار استاندارد ورودی (1 bara)

$Pn$ = فشار نرمال مرجع (1.013 bara)

تغییر حالت در گازها با توجه به نمودار P-V (حجم-فشار) قابل بررسی می‌باشد. برای موارد واقعی‌تر، نمودار سه محوره P,V,T مناسب‌تر می‌باشد.

به‌طور کلی پنج نوع تغییر حالت زیر در گازها اتفاق می‌افتد:

۱- فرایند ایزوکور[۱] (حجم ثابت)

۲- فرایند ایزوبار[۲] (فشار ثابت)

۳- فرایند ایزوترم[۳] (دما ثابت)

۴- فرایند آیزنتروپیک[۴] (بدون تبادل حرارت با محیط)

۵- فرایند پلی‌تروپیک[۵] (فرایند برگشت‌پذیر گازها در کمپرسور)

در تحول ایزوترم، درجه حرارت گاز ثابت می‌ماند و در تحول آدیاباتیک (تحولی که در طول آن سیستم با اطراف هیچ‌گونه تبادل حرارتی نداشته باشد) -در واقع در کمپرسورها فرآیند آدیاباتیک برگشت‌پذیر همان فرآیند آیزنتروپیک (آنتروپی‌ثابت) می‌باشد- گاز هیچ‌گونه تبادل حرارتی با پیرامون ندارد. در تراکم گاز در کمپرسور با وجود این‌که سعی می‌شود تا حرارت ایجاد شده در مراحل تراکم گاز گرفته شود، با این وجود گاز به هنگام خروج از کمپرسور دمای بیشتری از ورودی کمپرسور دارد. به‌عبارت دیگر فرآیند تراکم

---

[۱] Isochoric process

[۲] Isobaric process

[۳] Isothermal process

[۴] Isentropic process

[۵] Polytropic process

گاز در کمپرسور از نوع ایزوترم و آدیاباتیک نیست، چرا که هم درجه حرارت تغییر می‌کند و هم مقداری از حرارت توسط گاز از سیستم خنک‌کن گرفته می‌شود (یعنی سیستم با محیط اطراف تبادل حرارت دارد). بنابراین در عمل تراکم در کمپرسور تحولی بین دو حالت ایزوترم و آیزنتروپیک می‌باشد که به آن تحول پلی‌تروپیک می‌گویند.
رابطه فشار-حجم در فرآیند پلی‌تروپیک عبارت است از:

$$P.V^n = C$$

P = Absolute Pressure (Pa)
V = Volume (m3)
n = 0 in Isobaric Process
n = 1 in Isothermal Process
n = k , k = Cp/Cv in Isentropic Process
n = ∞ in Isochoric Process
1<n<k in Polytropic Process
هد پلی‌تروپیک یا هد مربوط به نقطه عمل‌کرد در منحنی عمل‌کرد کمپرسور عبارت است از:

$$\text{head} = \text{Zav}.\text{R}.\frac{\text{Ts}}{\text{Mw}.\text{Q}} * [\left(\frac{\text{Pd}}{\text{Ps}}\right)^{\text{Q}} - 1]$$

Zav = ضریب تراکم پذیری میانگین
R = ثابت گازها
Ts = دمای ورودی
Mw = وزن ملکولی گاز عبوری
Q = ضریب پلی‌تروپیک
Ps = فشار ورودی

Pd = فشار خروجی

Pd/ Ps = نسبت تراکم

از طریق رابطه‌ی فوق، تأثیر هریک از پارامترها روی هد و جریان مشخص می‌گردد. (هر آن‌چه باعث افزایش هد شود، جریان را کاهش می‌دهد و برعکس هر آن‌چه باعث افزایش جریان گردد، هد را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال اگر Ts افزایش یابد، هد افزایش یافته و جریان حجمی کاهش می‌یابد.

نکته مهم این‌که رابطه‌ی فوق هم برای کمپرسورهای گریز از مرکز که هد آن‌ها، هد پلی تروپیک است و هم برای کمپرسورهای رفت و برگشتی مناسب می‌باشد. با این تفاوت که مقدار Q در دو نوع کمپرسور باهم متفاوت است. در کمپرسورهای گریز از مرکز ضریب پلی‌تروپیک یا همان Q از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{n-1}{n}$$

در حالی‌که در کمپرسورهای رفت و برگشتی مقدار Q از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = (K-1)/K$$

K = Cp/CV , میانگین ورودی و خروجی لحاظ شود

و

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\frac{K-1}{K}}{Polytropic\ Efficiency}$$

برای کمپرسورهای رفت و برگشتی فرآیند تراکم آیزنتروپیک به دو دلیل زیر در نظر گرفته نمی‌شود:

۱- بازده تراکم بسیار بالا و در حدود 90 درصد می‌باشد. بنابراین حرارت اضافی به‌خاطر ناکارآمدی کمپرسور کم می‌باشد.
۲- سیلندرها توسط جکت‌های دورشان با آب، خنک می‌شوند که باعث کاهش دمای گاز در هر Stroke می‌شود و گرمای حاصل از ناکارآمدی کمپرسور را جبران می‌کند.

بازده پلی‌تروپیک[۱]: بیان‌گر رفتار هر کمپرسور می‌باشد و برابر با کار برگشتی تقسیم بر کل کار انجام شده روی گاز می‌باشد.

$$Polytropic\ Efficiency = \frac{Reversible\ Work}{Total\ Work\ Applied\ to\ the\ Gas}$$

برای کمپرسورهای گریز از مرکز، بازده پلی‌تروپیک بین 60 تا 85 درصد می‌باشد که در منحنی عمل‌کرد شرکت سازنده ذکر شده است و در دورهای مختلف و نرخ جریان‌های مختلف، مقدار آن متفاوت می‌باشد. اما اگر دسترسی به این مدارک وجود نداشت با تقریب مناسبی می‌توان از فرمول زیر که برای نقطه بهترین عمل‌کرد کمپرسور یا همان BEP می‌باشد، استفاده کرد:

$$Polytropic\ Efficiency\ =\ 0.0109\ ln(ACFM)\ +\ 0.643$$

ACFM = Actual cubic feet per minute at Suction condition

برای محاسبه دمای خروجی کمپرسور نیز می‌توان از روابط زیر برای هر دو نوع کمپرسور گریز از مرکز و رفت و برگشتی استفاده کرد:

[۱]-Polytropic Efficiency

در کمپرسور گریز از مرکز:

$$Td = Ts \times (\frac{Pd}{Ps})^{(\frac{n-1}{n})}$$

فرمول فوق تقریب خوبی از دمای خروجی کمپروسور به‌دست می‌دهد، مگر زمانی که ضریب تراکم کمپرسور برابر با 1 باشد. چرا که تراکم گاز باعث افزایش دمای گاز می‌شود. اگر تراکم کمتر از یک باشد، دمای محاسبه شده کمتر از دمای واقعی خواهد بود.

در کمپرسور رفت و برگشتی:

$$Td = Ts \times (\frac{Pd}{Ps})^{(\frac{K-1}{K})}$$

فرمول فوق در اکثر مواقع نتیجه‌ی تقریباً درستی به‌دست می‌دهد. اما در مواردی بازده کمپرسور رفت و برگشتی اندکی کاهش می‌یابد و دمای خروجی از آن‌چه از رابطه بالا محاسبه می‌شود، بیشتر خواهد شد. در کمپرسورهای رفت و برگشتی درصورتی که نسبت تراکم بین 1 تا 2 باشد و یا در کمپرسورهای سرعت بالا که سوپاپ‌هایشان به نسبت قابل توجهی دچار خرابی می‌شوند، بازده کاهش می‌یابد.

از آن‌جا که کمپرسورها در اغلب واحدهای فرآیندی به‌صورت مستقیم و در واحدهای فرآیندی دیگر به‌صورت غیر مستقیم اثرگذار می‌باشند، لذا می‌توانند به عنوان قلب هر واحد صنعتی به شمار آیند و جزء تجهیزات ضروری در مبحث تعمیر و نگهداری قرار گیرند. بنابراین نگهداری درست از این‌گونه تجهیزات به‌جهت تعمیرات پیشگیرانه ضروری

می‌باشد و به‌صورت دوره‌ای و منظم باید مورد بازرسی قرار گیرند. در مورد تعمیرات پیشگیرانه[1] یک کمپرسور موارد زیر باید بررسی گردند:

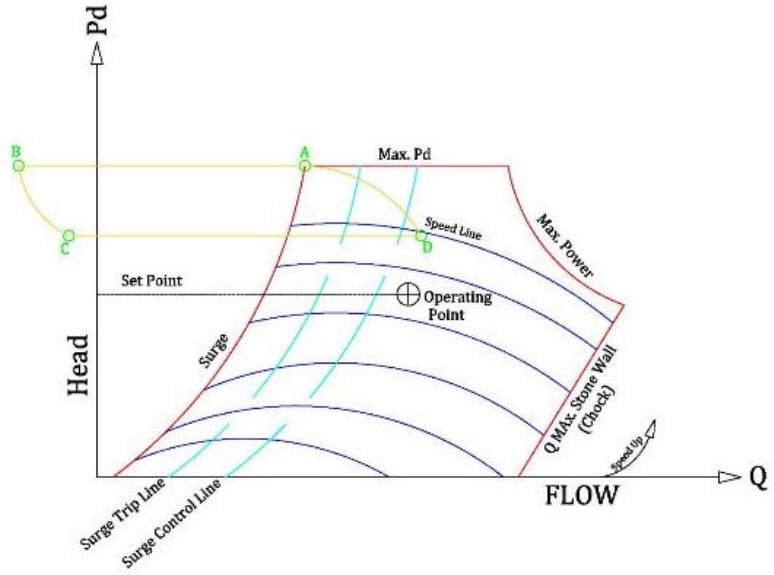
۱- کویل‌ها مرتباً تمیز گردند. (بر اساس دستورالعمل سازنده)
۲- فیلترها بعد از دوره‌ی مشخص شده توسط سازنده تعویض گردند.
۳- افت فشارها در دو طرف Strainer ها و فیلترها بررسی گردد. (کلیه PDG/PDT ها مهم می‌باشند)
۴- میزان ارتعاشات به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و ثبت شود.
۵- روغن‌ها طبق دستور سازنده و مطابق با زمان ذکر شده در مدارک تعویض گردد.
۶- دمای بیرینگ‌ها بررسی شود.
۷- فشار سیستم روغن‌کاری بررسی گردد.

در زیر اطلاعاتی در مورد راه‌اندازی کمپرسورهای گریز از مرکز ارائه شده است:

**۳- ۴- ۷- ۱- تحلیل منحنی عمل‌کرد کمپرسور**

اصلی‌ترین پارامترهای بهره‌برداری از یک کمپرسور، جریان و اختلاف فشار می‌باشند. منحنی عمل‌کرد کمپرسور در داخل یک نمودار با دو محور افقی (جریان) و عمودی (هد) می‌باشد که دسته منحنی‌های درون آن بیان‌گر عمل‌کرد کمپرسور در دورهای مختلف می‌باشد.

[1]-Preventive Maintenance




شکل ۳-۴۹ منحنی عمل‌کرد کمپرسور

در دیاگرام شکل ۳-۴۹ خطوط speed line، معرف منحنی سرعت ثابت می‌باشند و (Max. Pd، Max. Power و Q Max.) حداکثر حد عملیاتی می باشند.

تعاریف:

۱- Stone Wall: نقطه حداکثر ظرفیت کمپرسور می‌باشد که در این حالت سرعت گاز درون کمپرسور به سرعت صوت نزدیک شده و مانع از هرگونه افزایش ظرفیت آن می‌گردد و اصطلاحاً کمپرسور دچار خفگی می‌شود.

۲- Surge: سرج در واقع نقطه حداقل ظرفیت کمپرسور می‌باشد و زمانی اتفاق می‌افتد که کمپرسور قادر به تولید هد کافی برای غلبه بر مقاومت پایین‌دست خود نمی‌باشد. یا به‌طور ساده‌تر فشار خروجی تولیدی توسط کمپرسور کمتر از فشار پایین دست آن است. در این حالت یک حرکت رفت و برگشتی به‌صورت سیکل بسته در

جریان گاز ایجاد می‌شود که به آن سیکل سرج می‌گویند. پدیده سرج به‌دلیل کمبود جریان ورودی نیز اتفاق می‌افتد که متعاقب آن جریان خروجی نیز کاهش می‌یابد.

مشخصه‌های سرج در کمپرسور عبارت است از:

- معکوس شدن سریع جریان خروجی کمپرسور در حد 20 تا 50 میلی‌ثانیه
- نوسانات شدید فشار
- افزایش سریع دمای گاز عبوری و دمای داخلی کمپرسور (افزایش دمای گاز به‌خاطر سیکل سرج و عبور گاز از خروجی و بازگشت آن ظرف چندین بار در ثانیه می‌باشد)
- نوسان شدید اجزای کمپرسور
- صدای ناهنجار و شدید

برای کنترل سرج می‌توان سرعت کمپرسور را کم کرد. این یک روش سنتی است‌که در آن همان‌گونه که در منحنی شکل ۳-۴۹ مشاهده می‌شود، می‌توان با کاهش دور کمپرسور، از خط سرج فاصله گرفت. اما در اغلب موارد پاسخ کمپرسور به کاهش دور آن‌قدر سریع نیست که بتوان از این طریق جلوی سرج را گرفت. روش دیگر استفاده از شیر آنتی‌سرج می‌باشد. در زمان راه‌اندازی کمپرسور شیر آنتی‌سرج، مانند یک شیر Bypass، جریان گاز خروجی را به ورودی آن برگشت می‌دهد. (به آن Spillback Line هم می‌گویند) چرا که در زمان راه‌اندازی، خروجی کمپرسور از پایین‌دست خود ایزوله است و قبل از آن‌که گاز فشرده شده بتواند به سمت پایین‌دست برود، کمپرسور باید به یک فشار یا هد معین برسد. زمانی که فشار خروجی به حد کافی رسید، ولو خروجی کمپرسور را باز کرده و گاز به سمت پایین‌دست جریان می‌یابد و هم‌زمان ولو آنتی‌سرج بسته می‌شود. اشکال استفاده از این ولو این است‌که در زمان عمل‌کرد نرمال کمپرسور، سبب اتلاف انرژی می‌گردد.

۳- تحلیل سیکل سرج:

مطابق شکل ۳-۴۹ فرض کنید کمپرسور در نقطه‌ی پایدار D در حال کار می‌باشد. با کاهش تقاضای گاز در پایین‌دست کمپرسور، نقطه عملیاتی به سمت نقطه‌ی A که همان حد سرج است، میل می‌کند. با گذشتن از نقطه‌ی A، کمپرسور دیگر توانایی افزایش فشار خروجی را نخواهد داشت و در نتیجه فشار خروجی، کمتر از فشار پایین‌دست خواهد شد و سبب معکوس شدن جهت جریان می‌گردد و نقطه عملیاتی به نقطه‌ی B می‌رسد. یعنی جایی خارج از منحنی عمل‌کرد کمپرسور. هنگامی که جریان معکوس اتفاق می‌افتد، فشار پایین‌دست از طریق کمپرسور افت پیدا می‌کند و هم‌زمان جریان به سمت مثبت شدن یعنی بازگشت به منحنی عمل‌کرد کمپرسور خواهد رفت تا این‌که به نقطه‌ی C برسد. در نقطه‌ی C، جریان به اندازه‌ای نیست که بتواند جریان مورد نیاز برای بازگشت نقطه‌ی عمل‌کرد به نقطه‌ی A را فراهم کند. در نتیجه نقطه عملیاتی کمپرسور به نقطهD، جایی که میزان جریان تولیدی کمپرسور بیشتر از حدی است‌که بار تقاضا دارد، می‌رود. بنابراین در خروجی کمپرسور مجدداً فشار ایجاد می‌شود تا این‌که به نقطه‌ی A برسد. این عمل به‌صورت یک سیکل، مدام تکرار می‌شود و به چندین بار در ثانیه می‌رسد و صدمات جبران ناپذیری به‌واسطه نوسانات شدید به‌وجود می‌آورد.

۴- کنترل عمل‌کرد کمپرسور[۱]

هدف از این کنترل‌کننده، نگه‌داشتن نقطه‌ی کارکرد در نقطه‌ی تنظیم شده‌ی بهینه می‌باشد، بدون این‌که محدودیت‌های دیاگرام کمپرسور مثل تغییر سرعت را برای آن کمپرسور نقض کند.

[۱]-Compressor Performance Control

اگرچه پاسخ کنترل‌کننده‌ی سرعت[1] برای توربین گازی آهسته می‌باشد و حتی برای موتورهای الکتریکی نیز به اندازه‌ی کافی سریع نمی‌باشد، اما محدوده‌ی عمل‌کرد ولو آنتی سرج باید در حدود 100 میلی‌ثانیه باشد. با همه این تفاسیر، معمولاً به عنوان یک استراتژی اساسی، برای داشتن زمان لازم و کافی از جانب ولو آنتی‌سرج و جلوگیری از هرگونه سرج، خصوصاً در زمان استارت‌آپ اولیه، معمولاً نقطه‌ی کارکرد را در فاصله‌ی مناسبی از خط سرج در نظر می‌گیرند تا ولو، فرصت کافی برای جبران سرج را داشته باشد. از طرفی میزان شدن این نوع ولوها به گونه‌ای است‌که با رسیدن به خط تریپ، سریعاً جهت جلوگیری از Surge، سریع پاسخ داده و باز می‌شوند.

در راه‌اندازی و بهره‌برداری از کمپرسورها، توجه به این نکته ضروری است‌که باز شدن ولو آنتی‌سرج و Recirculation در کمپرسور، موجب اتلاف انرژی، ساییدگی و خرابی ولو آنتی‌سرج می‌گردد.

[1]-Speed Control

۵- استراتژی‌های لازم برای کنترل عمل‌کرد کمپرسور:

- Set Point Adjustment: به‌عنوان مثال اگر تغییرات سریع بار وجود داشته باشد که موجب عمل کردن ولو آنتی‌سرج شود، بهتر است با جابجا کردن نقطه‌ی تنظیم، حاشیه سرج[۱] را افزایش دهید.
- Equal Margin: معمولاً نقطه تنظیم برای کمپرسورهای مشابه و با شرایط عملیاتی یکسان، برابر می‌باشد. لذا برای تعیین نقطه کارکرد یک کمپرسور می‌توان از نقطه تنظیم‌های کمپرسور مشابه آن در ردیف‌های دیگر بهره گرفت.
- Model Based Control: یک مدل پیش‌بینی‌کننده سرج می‌باشد که قبل از این‌که کمپرسور به مرحله سرج یا خط کنترل سرج برسد، آن را پیش‌بینی کرده و متناسب با آن به ولو آنتی‌سرج فرمان می‌دهد.

۶- برخی از مهم‌ترین سیستم‌های کنترلی پرکاربرد در کمپرسور به شرح زیر می‌باشند:

- Load Management: به آن Load Sharing, Load Shedding و Load Balancing هم می‌گویند و برای میزان کردن بار میان چند کمپرسور در یک ردیف (Train) و یا بین چند ردیف کاربرد دارد و سیستم کنترلی کمپرسورها را از طریق آن به یک الگوریتم مجهز می‌کنند. (به ویژه در کمپرسورهای گریز از مرکز)
- ارتعاش: بهترین مشخصه بروز مشکل در کمپرسور، ارتعاش نامتعارف می‌باشد که توسط ارتعاش‌سنج[۲] در اجزای مختلف کمپرسور اندازه‌گیری می‌شود و به‌وسیله سیستم مونیتور ارتعاشات، ثبت و آنالیز می‌گردد.

---

[۱]-Surge Margin

[۲]-Accelerometer

- Speed Governor: این کنترلر وظیفه کنترل سرعت حرکت چرخشی کمپرسور را بر عهده دارد. اگر درایور کمپرسور توربین باشد، این کنترلر از طریق کنترل Fuel Valve و سایر پارامترهای کنترلی توربین، سرعت حرکت چرخشی کمپرسور را کنترل می‌کند؛ حال آن‌که برای موتورهای الکتریکی این عمل به عهده‌ی یک VFD[1]می‌باشد.

۷- پدیده Stall: اگر سرعت عبوری سیال از پره‌های کمپرسور در حدی باشد که سیال از پشت پره جدا شده و باعث ایجاد جریان‌های گردابی در پشت پره‌ها شود و به تبع آن کمپرسور در خروجی نتواند فشار لازم را فراهم کند، پدیده Stall رخ می‌دهد. به‌دنبال پدیده Stall، همیشه سرج اتفاق می‌افتد. پدیده Stall با تغییر زاویه پره‌ها قابل کنترل می‌باشد و فقط در کمپرسورهای محوری و آن هم در مرحله‌ی میانی مشهود است.

۸- پدیده Creep: به ازدیاد طول پره‌های توربین در اثر تنش‌های حرارتی و کششی گفته می‌شود.
راه‌های جلوگیری از این پدیده عبارت است از:

- نصب سیستم کنترل حرارت
- نصب سیستم کنترل دور
- استفاده از سیستم خنک‌کننده پره (یک جریان سیال برگشتی از خروجی کمپرسور محوری و تزریق آن به ریشه پره)

۹- مفهوم دور در کمپرسورهای گریز از مرکز:
دور کمپرسورهای گریز از مرکز با توجه به جرم حجمی گاز متراکم شونده طراحی می‌شود. بدین ترتیب که هر چه دانسیته گاز کمتر باشد، سرعت چرخش کمپرسور باید بیشتر

[1]-Variable Frequency Drive

باشد تا بتواند ملکول‌های آن گاز را از پروانه به سمت خروجی پرتاب کند. برای بالا بردن راندمان کمپرسور، علاوه بر در نظر گرفتن دور کمپرسور، باید شکل پروانه، زاویه پیچش پروانه، تعداد پره‌ها و زاویه دیفیوزر را نیز مد نظر قرار داد.

موارد اشاره شده و موارد زیر، ارتباطات ساده و اولیه در یک کمپرسور گریز از مرکز می‌باشند. همیشه و هر زمان که خرابی برای کمپرسور اتفاق افتاد، ابتدا علائم و نشانه هایی که به ذهن می‌رسد از قبیل نرخ جریان کم یا زیاد، فشار، دما، نشتی آب‌بند، ارتعاش و ... باید لیست شوند و با شناخت و بررسی کامل، هرگونه نقص و بهره‌برداری نامناسب از تجهیز باید تجزیه و تحلیل شود و به اصطلاح RCA[1] گردد.

- در صورتی که فشار ورودی ثابت باشد، فشار خروجی با نرخ جریان، رابطه‌ی عکس خواهد داشت.
- اگر دور کمپرسور افزایش یابد، جریان و فشار خروجی افزایش می‌یابند. از طرفی افزایش دور باعث افزایش توان کمپرسور و در نتیجه افزایش آمپر برای الکتروموتور کمپرسور یا سوخت و یا بخار برای سایر درایورهای کمپرسور خواهد شد.
- در زمان استارت‌آپ و Shutdown یا بهره‌برداری نامناسب از کمپرسور، احتمال تغییر Gas Composition وجود دارد. اگر وزن ملکولی گاز افزایش یابد، فشار خروجی افزایش خواهد یافت و در نتیجه توان کمپرسور نیز افزایش خواهد یافت.
- اگر فشار ورودی افزایش یابد، فشار خروجی و توان لازم نیز چند برابر افزایش خواهند یافت.

[1]-Route Cause Analyse

■ دمای Balance Line کمپرسور اهمیت ویژه‌ای دارد و حتی کوچک‌ترین تغییر در طول زمان کارکرد کمپرسور می‌تواند به معنی مشکلات آب‌بندی مربوط به Balance Piston باشد که قطعاً منجر به خرابی Thrust Bearing ها می‌شود.

**۳- ۴- ۷- ۲- راه‌اندازی کمپرسورها:**

کمپرسورها تجهیزات حساس و فوق‌العاده گران‌بهایی از لحاظ اقتصادی و فرایندی برای اغلب واحدهای فرایندی به شمار می‌آیند. لذا شناخت، اصول کار، بهره‌برداری مناسب، تشخیص، حل به موقع و درست مشکلاتی که برای این تجهیزات اتفاق می‌افتد، در افزایش طول عمر آن‌ها تأثیر بسزایی خواهد داشت. قبل از راه‌اندازی هر وسیله‌ای، خصوصاً کمپرسورها، حتما باید نسبت به خواندن دستورالعمل ارائه شده از طرف شرکت سازنده آن اقدام شود. فعالیت‌هایی که در ادامه توضیح داده شده است باید قبل از راه اندازی کمپرسور انجام گیرند.

۱- همه واحدهای تعمیراتی باید از انجام عملیات راه‌اندازی کمپرسور مطلع باشند و تیم مکانیک باید پیش از راه‌اندازی، شرایط را از دید مکانیکی و همان‌طور که در ابتدای این بخش اشاره شد، بررسی نماید.

۲- مطمئن شوید که کلیه ولوهای کنترلی Stroke Test شده باشند و سایر ولوهای دستی در دسترس بوده و باز و بسته شدن آن‌ها به راحتی صورت بگیرد.

۳- با توجه به P&ID مربوطه، ولوهای CSC (Car Seal Closed) و CSO (Car Seal Open) را بررسی و آن‌ها را با اطمینان از موقعیت قرارگیری به‌صورت بسته و یا باز مارک نمایید.

۴- برای سرویس‌های سمی و آتش‌گیر، گروه آتشنشانی را مطلع کنید تا در محل مناسبی نسبت به تجهیز قرار گیرند. بررسی کنید که Fire Water Ring حول

واحد مربوطه در سرویس باشد و Deluge System هم پیشتر تست شده و آماده استفاده اتوماتیک در شرایط اضطراری باشد.

۵- از در سرویس بودن سیستم DGS، مطابق با فشارهای عملیاتی آن و سیستم purge موتور اطمینان حاصل گردد.

۶- دقت کنید که مدار نمایان‌گر میزان آمپر روی UCS سالم باشد و در هنگام استارت کمپرسور به عقربه قرمز که حد بالای آمپر می‌باشد توجه کنید.

۷- در سرویس بودن سیستم‌های ESD و F&G جزء ملزومات می‌باشند.

۸- از کارکرد درست سیستم روغن‌کاری اطمینان حاصل نمایید و سطح روغن را در مخزن روغن آب‌بند و روغن روانکار بررسی کنید و پمپ آن را در سرویس قرار دهید تا از فشار و جریان روغن مطمئن شوید. سپس میزان افت فشار در فیلترهای روغن را پایش نمایید. کلیه درین‌ها را برای تخلیه مایعات احتمالی موجود در casing کمپرسور در طول خوابش تجهیز باز کنید. با توجه به درجه حرارت مورد نیاز برای روغن روانکاری، کولر یا هیتر آن را در سرویس قرار دهید تا به دمای مورد نظر برسد.

۹- در هنگام راه‌اندازی، برای ممانعت از Overload شدن درایور کمپرسور که باعث افزایش آمپر مصرفی درایور و خسارت به آن می‌شود، (به علت نیروی زیاد مورد نیاز برای شتاب اولیه) باید کمپرسور را بدون بار راه‌اندازی نمود و بعد از این‌که کمپرسور به دور مورد نظر رسید و نیروی درایور بر نیروهای اینرسی و اصطکاک غلبه کرد، کمپرسور را بارگذاری نمایید. برای این کار در کمپرسورهای گریز از مرکز، کنترل ولو ورودی کمپرسور را در حد 20 تا 30 درصد باز می‌گذارند و بعد از این‌که درایور به دور نامی خود رسید، به تدریج مسیر گاز را به ورودی کمپرسور باز می‌کنند تا فلوی گاز به فلوی مورد نظر برسد.

اگر درایور کمپرسور، الکتروموتور باشد، موارد زیر را در نظر بگیرید:

۱- قدرت لازم برای شتاب دادن به کمپرسور به چگونگی و مدت زمان شتاب دادن به درایور بستگی دارد. جهت جلوگیری از صدمه دیدن الکتروموتورها، همان‌طور که پیشتر اشاره شد، باید آن‌ها را سریعاً به سرعت عملیاتی‌شان برسانیم؛ به همین دلیل است‌که کمپرسورها را بدون بار و یا با بار کم راه‌اندازی می‌کنند. برای این منظور در کمپرسورهای گریز از مرکزی که درایور آن‌ها الکتروموتور است، دو روش برای این کار پیشنهاد می‌شود:

**a)** ولو ورودی کمپرسور را 20 تا 30 درصد باز نگه دارید. بستن کامل ولو ورودی پیشنهاد نمی‌شود، مگر برای کمپرسورهایی که از لحاظ عمل‌کردی درایور آن‌ها کند می‌باشند. چرا که بستن کامل ولو ورودی و عدم جریان گاز در کمپرسور، سبب افزایش دمای کمپرسور می‌شود و می‌تواند منجر به خاموشی ماشین شود.
**b)** بستن ولو خروجی کمپرسور و باز کردن Hot Bypass Line (مسیر خروجی به ورودی کمپرسور).
۲- در مورد سایر درایورها مانند توربین‌های بخار و گاز، مدت زمان رسیدن دور درایور به دور عملیاتی، برخلاف درایورهای الکتروموتوری اهمیت چندانی ندارد.
۳- در مورد کمپرسورهایی که با توربین‌های بخار گردانده می‌شوند، به سرعت بحرانی که کارخانه سازنده اشاره کرده است، توجه ویژه‌ای داشته باشید. (سرعت بحرانی سرعتی است‌که دامنه نوسان ارتعاشات برابر دامنه نوسانات طبیعی شده باشد. اگر کمپرسور از این دور سریعاً عبور داده نشود، لرزش شدیدی ایجاد خواهد شد و باعث خسارت‌های جبران‌ناپذیر می‌شود.)
بنابراین به‌طور خلاصه برای راه‌اندازی کمپرسورهای گریز از مرکز با گرداننده الکتروموتوری لازم است موارد زیر انجام گیرند:

۱- باز گذاشتن ولو ورودی در حالت 20 تا 30 درصد

۲- باز کردن ولو خروجی. برای کمپرسورهای موازی حتماً در نظر داشته باشید که ولو خروجی کمپرسور Stand-by بسته باشد. هرچند در مسیر، ولو یک‌طرفه هم وجود دارد، اما همان‌طور که می‌دانید هیچ‌گاه یک ولو یک‌طرفه به عنوان Isolation قابل اعتماد نیست.

۳- باز کردن Hot Bypass Line

۴- استارت کردن الکترو موتور

۵- باز کردن ولو ورودی کمپرسور تا دست‌یابی به جریان مورد نظر

۶- قرار دادن مسیر Hot Bypass line در حالت اتوماتیک

برای انجام بعضی از بازرسی‌ها و تعمیرات دوره‌ای، لازم است‌که تجهیز مورد نظر را طبق برنامه از سرویس خارج نماییم. اغلب آیتم‌های بحرانی یک تجهیز، دارای پشتیبان یا جایگزین هستند و لذا از سرویس خارج کردن آن‌ها نیازی به توقف تولید و یا موکول کردن انجام تعمیرات به زمان Overhaul ندارد.

### ۳- ۴- ۷- ۳- از سرویس خارج کردن کمپرسورها:

مهم‌ترین مسئله در نحوه از سرویس خارج کردن یک کمپرسور، فشار سیستم پایین‌دست کمپرسور و یا همان میزان فشار بعد از خروجی آن می‌باشد. این مسئله متأثر از نقش کمپرسور بر پایین‌دست خود می‌باشد که به دو صورت است. در حالت اول کمپرسور به عنوان تأمین‌کننده فشار سیستم پایین‌دست خود می‌باشد که در این حالت با خاموش شدن کمپرسور، سیستم پایین‌دستی هم به مرور با کاهش فشار مواجه می‌شود و به موازات آن، کم کردن دور کمپرسور باعث کاهش جریان و نهایتاً صفر شدن آن می‌شود و مشکلی پیش نخواهد آمد. اما در حالت دوم فشار سیستم پایین‌دست کمپرسور زیاد بوده و کمپرسور فقط افزاینده فشار بالادست خود می‌باشد و با خاموش شدن کمپرسور، فشار سیستم بالادست همچنان زیاد است. در این حالت وقتی کمپرسور خاموش می‌شود، ولو

یک‌طرفه خروجی کمپرسور به‌دلیل اختلاف فشار بسته خواهد شد و فلوی گاز از سیستم پایین‌دست به سمت کمپرسور برگشت نخواهد داشت. همچنین جریان خروجی کمپرسور به کلی قطع خواهد شد. از طرفی دور کمپرسور هنوز به صفر نرسیده است و همچنان گاز را متراکم می‌کند. این گازهای متراکم شده پشت ولو یک‌طرفه تجمع کرده و رفته رفته باعث افزایش فشار نسبت به پایین‌دست خود می‌شود و ولو یک‌طرفه را باز می‌کنند. این همان مسئله ای است‌که در سیکل سرج پیشتر توضیح داده شد و باعث آسیب شدید می‌شود. لذا برای جلوگیری از این مشکل باید از باز بودن شیر آنتی‌سرج به‌طور کامل در هنگام خاموشی کمپرسور اطمینان حاصل کرد تا گازهای متراکم شده در اثر دورهای باقیمانده کمپرسور به اتمسفر یا ورودی کمپرسور بازگردانده شوند. نکته‌ی مهم دیگر، مبحث تنظیم کردن کنترلر شیر آنتی‌سرج می‌باشد. پیشنهاد می‌شود و بهتر است‌که کنترل این ولو حیاتی برای کمپرسورها را روی مقدار فلوی گاز خروجی و نه فشار خروجی از کمپرسور تنظیم کنید. این کار باعث می‌شود که وقتی ولو یک‌طرفه بسته می‌شود، شیر آنتی‌سرج به‌طور اتوماتیک باز شود. اما اگر سیستم کنترل روی فشار خروجی باشد، شیر آنتی‌سرج به‌طور اتوماتیک باز نمی‌شود و باید به‌صورت دستی از اتاق کنترل و با فرمان باز شود.

پس از خارج کردن کمپرسور از سرویس، پمپ‌های روغن روانکار و روغن آب‌بند را تا خنک شدن کامل کمپرسور در سرویس نگه دارید و اگر کمپرسور با جریان گردش آب کولینگ خنک می‌شود، جریان را تا خنک شدن کمپرسور زنده نگه دارید.

### نحوه از سرویس خارج کردن کمپرسورهای گریز از مرکز:

۱- ابتدا درایور از سرویس خارج می‌گردد.

۲- شیرهای ورودی و خروجی بسته شوند.

۳- شیرهای درین باز شوند.

۴- مسیر گاز به سمت فلر[۱] یا اتمسفر باز گردد.

۵- پس از کاهش دمای کمپرسور، سیستم کمکی روغن باید از سرویس خارج گردد. البته این امر باید به‌صورت اتوماتیک صورت بگیرد و سلونوئید ولو روغن، باید به‌صورت خودکار بسته شود.

**نحوه از سرویس خارج کردن کمپرسورهای رفت و برگشتی:**

کمپرسورهای رفت و برگشتی با حجم ثابت مکش یا به عبارتی با دور ثابت اغلب دارای یک ولو برگشتی برای کنترل ظرفیت کمپرسور می‌باشند که گاز را به ورودی برمی‌گرداند و مانند آن‌چه در کمپرسورهای سانتریفیوژ اتفاق می‌افتد، در صورت بالا بودن دمای گاز برگشتی، آن را از یک سیستم خنک‌کن می‌گذرانند. برای از سرویس خارج نمودن این نوع از کمپرسورها هم‌زمان با کاهش بار روی سیلندرها، شیرهای برگشتی را باز کرده و سپس در حالی‌که سیستم کمکی روغن در سرویس است، درایور کمپرسور را از سرویس خارج می‌نماییم. چنان‌چه درایور کمپرسور با دور متغیر باشد، لازم است دور آن را به آرامی کاهش داده و سپس به‌طور کلی از سرویس خارج نمود.

پس از خارج شدن موتور کمپرسور از سرویس، می‌توان ولوهای ورودی و خروجی کمپرسور را به‌طور کامل بست. زمانی که فشار casing به بازه ایمن رسید، به آرامی شیرهای درین را باز کرده تا میعانات از سیستم کمپرسور خارج شوند. بعد از این کار به آرامی Bypass مربوط به PSV های سمت فلر را باز کنید تا گازهای باقیمانده در سیستم خارج گردند. با توجه به نوع عملیات تعمیرات، به تشخیص ناظر فرآیند، در صورتی که سیستم نیاز به پرج کردن با گازهای بی‌اثر مانند نیتروژن را داشته باشد، این کار از طریق اتصال Hose به اتصالات یوتیلیتی موجود، انجام شده و به سمت فلر هدایت می‌شود. سپس سیستم کمکی روغن را از سرویس خارج نموده و ولو سایر اتصالات یوتیلیتی به

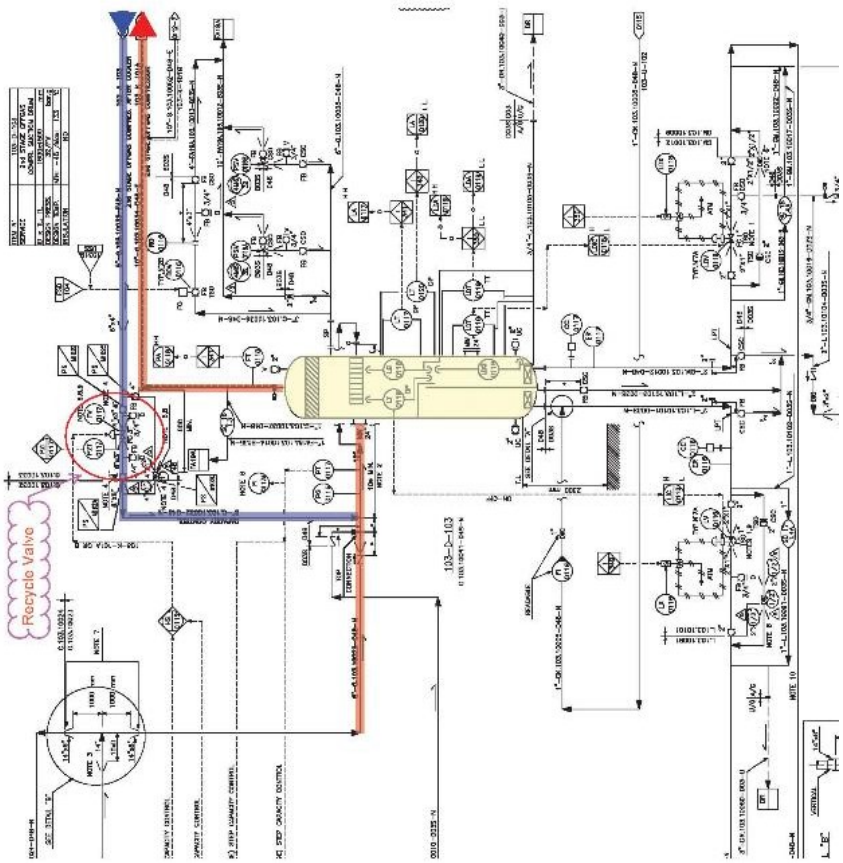
[۱]-Flare

کمپرسور را ببندید. چنان‌چه محرک کمپرسور توربین گازی باشد، باید ولو گاز سوختی را نیز ببندید. در این زمان بهره‌بردار در اتاق کنترل باید تاریخ و زمان از سرویس خارج شدن تجهیز و مدت زمان صرف شده برای انجام کارهای تعمیراتی را ثبت نماید. از طرفی نفر تعمیرات نیز با ثبت این موارد باید تعداد نفرات تعمیراتی به همراه عنوان شغلی آن‌ها و مدت زمان صرف شده برای نقل و انتقال، باز و بسته‌کردن تجهیز و زمان کل خوابش تا در سرویس قرار گرفتن مجدد کمپرسور را به دقت ثبت و به موارد نقص اشاره کند. مسئول فرآیند نیز موظف به تحلیل نقص و ارائه گزارشی می‌باشد که به عنوان تاریخچه تعمیرات تجهیز در بایگانی تجهیز قرار می‌گیرد.

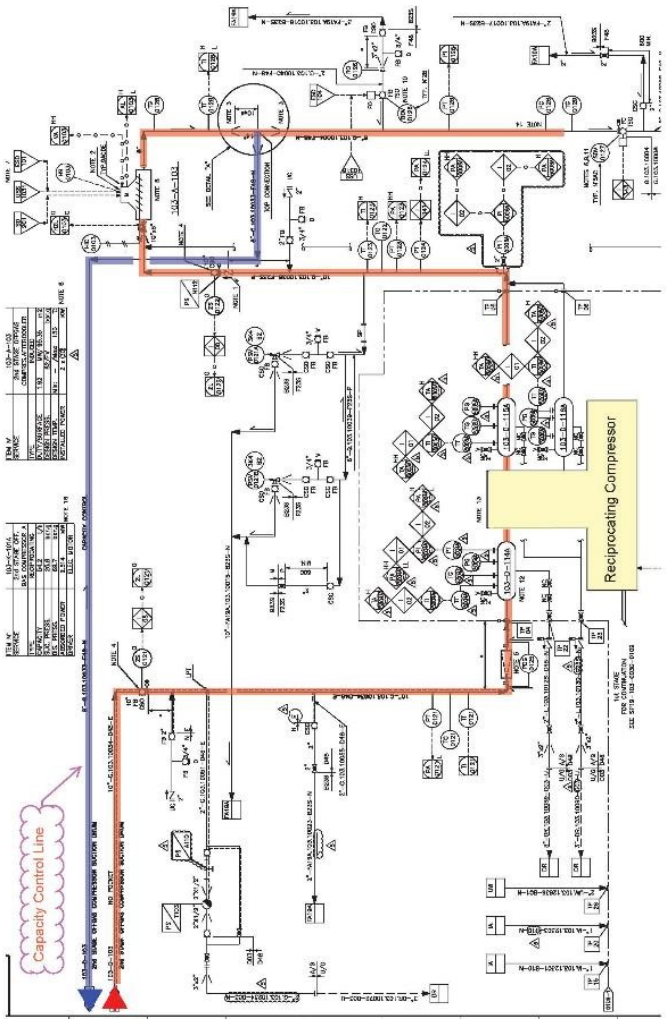
بهره‌بردار بعد از انجام کار تعمیراتی و نصب مجدد تجهیز، باید کلیه اتصالات را بررسی و از محکم بودن کلیه پیچ و مهره‌ها اطمینان حاصل کند و سپس سیستم را تا 7 barg، Gross Leak Test نماید. توجه شود که اگر سرویس کمپرسور گاز اسیدی و یا گازهای سمی‌باشد، باید تست نشتی را در کمپرسور تا 1.5 برابر فشار عملیاتی انجام داد. سپس کمپرسور برای راه‌اندازی مجدد آماده شود. بهره‌بردار در هنگام کارکرد کمپرسور باید تمرکز بیشتری بر روی آیتم‌های تعمیر شده داشته باشد.

در شکل‌های ۳-۵۰ و ۳-۵۱ شماتیکی از P&ID مربوط به یک کمپرسور رفت و برگشتی در واحد Condensate Stabilization در یک پالایشگاه گازی نشان داده شده است‌که مسیرهای ورودی، خروجی، مسیر کنترل ظرفیت[1] و شیر برگشتی برای درک بهتر در آن مشخص شده است.

[1]-Capacity Control




شکل ۳-۵۰ مسیر جریان کمپرسور رفت و برگشتی ۱/۲




شکل ۳- ۵۱ مسیر جریان کمپرسور رفت و برگشتی ۲/۳

## ۳- ۵- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه Piping

### ۳- ۵- ۱- Preliminary Check:

این بخش از فعالیت راه‌اندازی در بخش Piping، شامل فعالیت‌های زیر می‌باشد:

۱- بررسی مدارک انجام پیش راه‌اندازی و As-built های تولید شده

۲- بررسی خطوط لوله مطابق با مدارک و مشخصات پروژه مانند As-built P&ID ها و نقشه‌های آیزومتریک

۳- بررسی جهت درست نصب ولوهای یک‌طرفه، ولوهای کنترلی و برخی از ولوهای بشقابی و همچنین بررسی تگ مربوط به‌جهت جریان روی بدنه ولوها

۴- بررسی پکینگ مربوط به ولوها، اطمینان از عمل‌کرد (باز و بسته شدن) آسان ولوها، بررسی وضعیت ولوهای CSC/CSO و این‌که تجهیزات کنار ولو مانع باز و بسته شدن ولو نمی‌شوند.

۵- بررسی محل نصب Sample Connection ها (Sample Connection ها نباید در Dead-Point ها نصب شوند)، مطابقت مدل Sample Connection نصب شده با P&ID و بررسی وجود فضای مناسب و کافی برای نصب Sample Bottle برای نمونه‌گیری

۶- بررسی Strainer پمپ‌ها و خطوط درین و Depressurization آن از لحاظ امکان بیرون کشیدن Strainer، عدم برخورد خط درین با اجسام دیگر در هنگام باز کردن Strainer، بررسی عدم گرفتگی Funnel مربوط به درین (درصورتی که Open Drain باشد)، بررسی گسکت مربوط به Strainer و خط متصل به درین

۷- بررسی چرخش آسان Spectacle Blind ها و مطابقت کلاس آن با کلاس خط و حالت باز یا بسته بودن آن با P&ID

۸- بررسی Low Point ها و High Point ها و شیب خط مطابق با P&ID و ایزومتریک؛ همچنین نوع Sealing (Plug/Seal Weld/Valve) مربوط به درین‌ها

و Vent ها باید بررسی گردد.

۹- بررسی Spring Support ها و اطمینان از Release بودن آن‌ها.

۱۰- بررسی Slipper Pad ها و گریس کاری آن‌ها؛ بررسی قرارگیری آن‌ها در جای درست و اطمینان از این‌که با خال جوش به Guide خود متصل نشده باشند.

۱۱- بررسی استحکام و سفت بودن Clamp خطوط

۱۲-بررسی جهت و محل درست نصب Steam Trap ها، محل درست Blow down و اطمینان از صحت عمل‌کرد Trap ها و ولوهای آن و همچنین بررسی گسکت‌ها

۱۳- بررسی شیرهای اطمینان (اگر پایین‌دست آن‌ها به سمت اتمسفر می‌باشد، نگهدارنده‌ی آن و قابلیت تخلیه شدن Low Point (در صورت وجود) بررسی شود). اگر این ولو دارای سیستم Key Lock می‌باشد، از وجود کلید و برچسب خورده بودن آن اطمینان حاصل شود. در نهایت Block Valve های مربوط به Safety Valve ها از نظر وضعیت CSC/CSO بررسی شوند.

۱۴- بررسی عایق‌های سرد و گرم و مطابقت با P&ID (دقت شود که در برخی نقاط، عایق باید در زمان استارت‌آپ تکمیل شود) و اطمینان از عدم برخورد با تجهیزات اطراف، خصوصاً عایق ولوها که در برخی موارد باعث ایجاد مشکلاتی برای کارایی ولوها می‌شوند.

۱۵- بررسی صحت نصب سیستم Earth به زمین در فلنج‌هایی که مجهز به این سیستم می‌باشند.

۱۶- بررسی Face فلنج‌ها مخصوصاً Ring Joint ها که اغلب در سرویس‌هایی با دمای بالا استفاده می‌شوند.

۱۷- بررسی کلیه گسکت‌ها و اطمینان از اصلی بودن آن‌ها. خصوصاً گسکت‌های Spiral مانند Metaflex و .... (در این مورد دقت شود که گسکت‌های Spiral یک‌بار مصرف می‌باشند و با باز شدن فلنج‌ها باید تعویض شوند.)

۱۸- بررسی Blind List و جدا نمودن Blind های غیر ضروری. (در مرحله‌ی پیش

راه‌اندازی لیستی از Blind هایی که باید نصب شوند آماده می‌شود؛ این لیست بنا به نیازهای فرآیندی و به منظور استارت‌آپ واحدها می‌باشد و نباید با Blind هایی که در مرحله ساخت یا پیش راه‌اندازی به منظور تست نصب می‌شوند اشتباه گرفته شود. به همین دلیل این‌گونه Blind ها باید با رنگ و شماره خاصی مشخص شوند تا در لیست مربوطه و همچنین در سایت قابل تشخیص و شناسایی باشند. همچنین لیستی از کلیه Blind های Battery Limit ها باید تهیه و وضعیت فعلی آن‌ها برای مدیریت بهتر و ایمن‌تر استارت‌آپ در آن لیست مشخص گردد و یک تیم مسئول بررسی و به روز رسانی آن باشد. Blind List باید حداقل شامل موارد زیر باشد:
Line Number، Blind Number، Blind Size، Blind Rating، Installed/Remove Date

۱۹- بررسی در دسترس بودن ولوها و تجهیزات. به‌علاوه برای ولوهایی که در Pipe rack و یا در Valve Pit نصب می‌شوند؛ چنان‌چه ولوها از لحاظ عملیاتی پر کاربرد باشند اغلب برای راحتی بهره‌بردار از Chain Wheel (برای ولوهای در ارتفاع) و یا Long Spindle (برای ولوهای داخل Pit)استفاده می‌کنند.



شکل ۳-۵۲ Chain Wheel و Long Spindle

۲۰- بررسی محل قرارگیری گیج‌ها و قابلیت خوانده شدن آن‌ها هم‌زمان با تنظیم

ولو مربوطه توسط بهره‌بردار. مانند گیج فشار خروجی پمپ ها و یا Level Gauge مربوط به مخازن که باید قابلیت رؤیت از موقعیت ولو درین را داشته باشند.

### ۳- ۵- ۲- Chemical Cleaning

به‌عنوان یک قانون عمومی، Chemical Cleaning شامل اسیدشویی[۱]، چربی‌زدایی[۲] و Passivation می‌باشد و در سیستم‌هایی اجرا می‌شود که نیاز به تمیزکاری ویژه به‌جهت جلوگیری از مشکلات عملیاتی و یا از بین بردن خوردگی‌های سطحی دارد.

شاید اغلب عملیات Passivation و اسیدشویی را به‌جهت این‌که با روش‌هایی تقریباً مشابه و با مواد شیمیایی هم خانواده انجام می‌شوند، یکی بپندارند. اما به واقع عمل‌کرد هر یک از این دو عملیات با هم متفاوت می‌باشد. اسیدشویی اصولاً برای زدایش لایه اکسید سطح داخلی فلز به‌کار می‌رود؛ این لایه‌ی اکسید به‌واسطه تنش‌های حرارتی در طول دوره‌ی ساخت، به‌دلیل وجود عناصری مانند نیکل و کروم به‌وجود می‌آید. اما Passivation با هدف تغییر ساختار سطح داخلی فلز، مقاومت فلز در برابر خوردگی را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب که با استفاده از محلول‌هایی نظیر اسید نیتریک یک لایه محافظتی به ضخامت تقریبی 2 میکرون از اکسید کروم در سطح داخلی فلز ایجاد می‌کنند. مدت زمان گردش و غلظت این محلول بسیار مهم می‌باشد چرا که درصورت کاربرد غیر اصولی آن حتی باعث کاهش مقاومت فلز در برابر خوردگی نیز می‌شود.

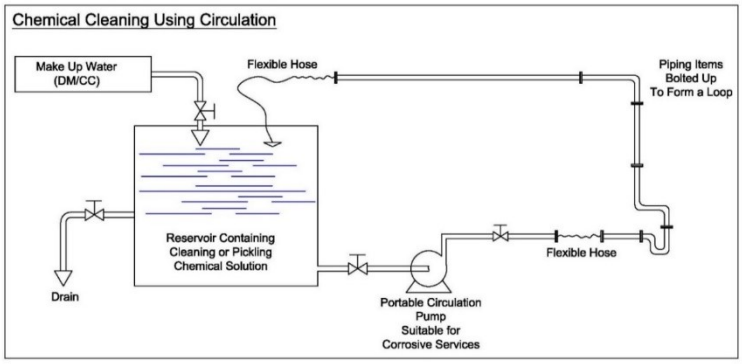
به‌طور کل دو روش Static Cleaning و Circulation Cleaning برای Chemical Cleaning وجود دارد. روش Static زمانی کاربرد دارد که بخشی از یک خط لوله مد نظر باشد، به‌طوری که بتوان به راحتی آن را با مواد شیمیایی مورد استفاده پر کرد و یا این‌که آن را در داخل یک تانک حاوی محلول شیمیایی به مدت حدود 10 ساعت قرار

---

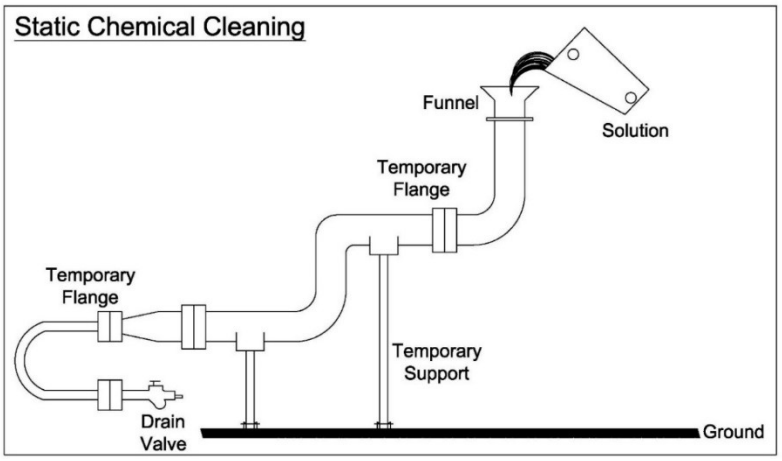
[۱]-Pickling

[۲]-De-Greasing

داد. اما روش Circulation برای لوله‌های بلند و حتی تجهیزات وابسته به آن کاربرد دارد. در این حالت حداقل به یک تانک به عنوان منبع ذخیره محلول شیمیایی، یک پمپ و تعدادی Flexible Hose یا لوله در سایزهای مناسب نیاز می‌باشد. در روش Circulation همان‌طور که از نامش پیداست، لوله‌هایی که شستشو می‌شوند، باید تشکیل یک حلقه بسته را با مخزن و پمپ بدهند تا محلول شیمیایی بتواند در طول مدار بسته توسط پمپ جریان داشته باشد و به مخزن بازگردد. روش Circulation به‌خاطر حرکت سیال شیمیایی مسلماً بسیار مؤثرتر از روش Static می‌باشد. بعد از Chemical Cleaning باید خطوط را با آب باکیفیت یا آب DM به‌عنوان اولین مرحله Rinsing شستشو داد و در نهایت بعد از شستشو پساب‌های باقیمانده در سیستم را خارج کرد. دقت شود که این پساب‌ها باید خنثی شوند و PH آن حداقل 7 باشد. سپس نوبت به مرحله خنثی‌سازی و Passivation می‌رسد؛ بدین منظور یک محلول یک درصد اسید سیتریک یا معادل آن را در آب (ترجیحاً آب DM) حل می‌کنیم و به آن یک Inhibitor (برای انتخاب Inhibitor با توجه به نوع اسید برای تمیزکاری به پیوست ج مراجعه شود) برای Passivation اضافه می‌شود و به مدت 2 ساعت در سیستم به گردش در می‌آید. بعد از آن برای خنثی سازی محلول در گردش، آمونیاک اضافه می‌شود تا PH آن به 9 تا 9.5 برسد. برای Passivation به میزان حداکثر 10 g/l ماده $NaNO_2$ اضافه می‌شود و به مدت سه ساعت در دمای 45 درجه سانتی‌گراد به گردش در می‌آید (در روش Static حدود 5 ساعت لوله در این محلول غوطه‌ور می‌شود). در مرحله Effluent Disposal بایدPH محلول را قبل از این‌که به محیط وارد شود به 7 برسانید. دقت شود اگر محلول شامل مواد کلوییدی زیاد و همچنین مواد روغنی باشد باید به سیستم تصفیه پساب واحد صنعتی مورد نظر فرستاده شود. Final Rinsing به عنوان مرحله‌ی آخر باید با آب DM تا تأیید چشمی تمیزی خط، ادامه یابد و در نهایت سیستم را با هوای خشک (مثلا IA) خشک کرد و تحت فشار مثبت 0.3-0.5 barg نیتروژن تا زمان استارت‌آپ نگه‌داری کرد.




شکل ۳-۵۳ شستشوی شیمیایی به روش Circulation




شکل ۳-۵۴ شستشوی شیمیایی به روش Static

توجه به نکات زیر قبل از انجام عملیات Chemical Cleaning ضروری است:

۱- کلیه عملیات جوشکاری بر روی خطوطی که باید شستشوی شیمیایی شوند باید پیش از آن تمام شده باشد؛ بعد از عملیات Chemical Cleaning هرگونه جوشکاری روی خطوط و تجهیزات ممنوع می‌باشد، مگر عملیات جوشکاری برای Seal Weld اتصالات 1 اینچ و کم‌تر از آن.

۲- خطوطی که Chemical Cleaning می‌شوند باید از تجهیزات مکانیکی ایزوله شوند. هرگز نباید محلول شیمیایی به بیرینگ‌ها، کارتریج فیلترها و تجهیزات ابزار-دقیق و مخصوصاً قسمت‌های دوار تجهیزات برسد. البته در مواردی با نسبت‌های مشخص و طبق دستور سازنده تجهیز، می‌توان محفظه‌ی پمپ‌ها و کمپرسورها را با مواد شیمیایی مجاز شستشو داد. مانند شستشوی محفظه‌ی داخلی پمپ‌های گریز از مرکز با محلول Soda Ash 2%.

۳- در روش Circulation، در زمان ایجاد لوپ دقت شود تا جای ممکن سیکل، Dead Point نداشته باشد تا در هنگام درین کردن تمام مواد به‌راحتی خارج شوند.

۴- در قسمت Strainer ورودی پمپ گرداننده محلول شیمیایی و یا ورودی مخزن، حتماً از سایز مناسب مش استفاده کنید، به‌طوری‌که مانع از ورود مجدد ذرات با قطر ۴ میکرون و بالاتر به سیکل شود. معمولاً از مش‌هایی با سایز 80 استفاده می‌شود.

۵- برای درست کردن محلول‌های اسیدی، برای انجام عملیات Acid Pickling، خطوط فولاد کربنی یا Low Alloy Steel، Fresh Water (مثل آب شرب) کفایت می‌کند. اما توجه داشته باشید که برای Acid Pickling در خطوط Stainless Steel حتماً از آب Demineralized استفاده شود.

۶- هرگز از پمپ فرآیندی برای گردش محلول‌های اسیدی استفاده نکنید.

۷- بلافاصله بعد از فرایند خنثی‌سازی، عملیات Passivation باید انجام گردد.

۸- کلیه ابزار و تجهیزات روی خطوط مانند تجهیزات ابزاردقیق و Corrosion Coupon ها که در تماس با محلول اسیدی آسیب می‌بینند، باید از سیستم جدا شوند.

۹- برای فرآیند اسیدشویی، در نقاط Vent و درین باید از ولوهای بشقابی مقاوم به اسید به‌جای ولوهای فرآیندی استفاده شود.

۱۰- پیشنهاد می‌شود کلیه‌ی ولوهای کنترلی در مسیر سیکل در هر نوع فرآیند Chemical Cleaning از سیکل جدا شده و به‌جای آن از Spool های مناسب

استفاده شود. مرسوم است برای بازرسی، داخل این Spool ها را به مقداری گریس آغشته می‌کنند تا نتیجه مطلوب شستشو از این طریق پس از پایان عملیات بررسی شود.

۱۱- مسئله مهم و قابل توجه، سرعت سیال در سیکل می‌باشد. دقت داشته باشید که سرعت سیال در سیستم برای مراحل Flushing، Rinsing، Acid cleaning، Neutralization و Passivation بین 90-150 Cm/Sec باشد. بدین‌ترتیب می‌توانید نسبت به سایز خطوط و ظرفیت و توان پمپ برای این عملیات دید کافی داشته باشید و تصمیم مناسب‌تری اتخاذ نمایید.

۱۲- پیش از انجام عملیات حجم سیکل باید به‌دقت محاسبه شود و بر اساس آن میزان مورد نیاز مواد شیمیایی و حجم آب مورد نیاز و محلول باید محاسبه گردد. چنان‌چه از تانک موقتی به‌عنوان مخزن ذخیره محلول شیمیایی استفاده می‌کنید، حجم عملیاتی آن حداقل باید 10 درصد از حجم سیکل بیشتر باشد.

۱۳- پیش از شروع کار، سیکل مورد نظر باید در P&ID مشخص شده باشد و نقاط نمونه‌برداری در آن تعیین شده باشد. بهتر است این نقاط نزدیک به ورودی و خروجی سیکل انتخاب شوند.

۱۴- Chemical Cleaning فقط برای لوله‌هایی از جنس فولاد کربنی و فولاد ضدزنگ قابل انجام است. لوله‌ها و قطعات مسی یا برنجی، چنان‌چه در مسیر Chemical Cleaning باشند، باید از سیستم موقتاً حذف گردند. در هر صورت یک متخصص خوردگی باید نسبت به میزان و شدت خوردگی و ریسک آن در این زمینه مشاوره‌های لازم را بدهد. (ممکن است نیاز به استفاده از Corrosion Inhibitor باشد)

۱۵- مدرک RFC برای کلیه ساب‌سیستم‌های درگیر در عملیات Chemical Cleaning صادر شده باشد.

۱۶- Isolation ها در P&ID مشخص و در سیستم اعمال گردد.

۱۷- کلیه Functional Test های تجهیزات درگیر ساب‌سیستم مربوطه باید انجام شده باشد.

۱۸- کلیه سرویس‌های یوتیلیتی اعم از هوای ابزاردقیق، نیتروژن، بخار و آب و همچنین سیستم روشنایی فراهم باشد.

۱۹- واحد دفع فاضلاب پسماند درصورت وجود آماده دریافت باشد در غیر این صورت تمهیدات لازم برای دفع پسماند اعم از ذخیره سازی و انتقال آن به محیط مناسب برای امهاء اندیشیده شود.

۲۰- برگه مجوز کار از واحد ایمنی گرفته شده باشد.

۲۱- سیستم درین تجهیزات و شبکه درین آماده انتقال به واحد پسماند باشد.

۲۲- بررسی شود کلیه ولوهای کنترلی Stroke Test شده و از اتاق کنترل قابل کنترل باشند. (ولوهای کنترلی که قابلیت ایزوله شدن و Bypass دارند و همچنین در طی فرآیند شستشوی شیمیایی قابلیت کنترل دستی دارند، باید جدا شده و جای آن Spool نصب شود)

۲۳- کلیه تجهیزات ابزاردقیق Inline مانند Orifice Plate ها باید از سیستم خارج و کلیه‌ی تجهیزات ابزاردقیق غیرکاربردی در این عملیات، باید ایزوله شوند.

۲۴- در صورت وجود Plate Exchanger در مسیر، برای جلوگیری از خرابی و رسوب بین Plate های آن، بهتر است از مسیر Bypass آن استفاده شود و یا در صورت نبود این مسیر، به‌صورت موقت مسیری ایجاد شود.

۲۵- مطمئن شوید که سیستم ESD در مدار می‌باشد.

۲۶- برای ایجاد Circulation در سیستم، گاهی لازم است پیش از شروع عملیات، تجهیزات Pressurize شوند. این کار با نیتروژن انجام می‌شود و لازم است محاسبات آن پیشتر برای حفظ گردش محلول پاک کننده صورت گرفته باشد. (از آن‌جا که طراحی سیستم بر اساس Normal Operation می‌باشد و خاصیت فشار و دمایی De-Greasing با حالت نرمال ممکن است‌که تفاوت داشته باشد، لذا افت فشار در

سیستم باید محاسبه شود و حداقل فشار لازم برای ایجاد گردش منظم و ثابت محلول در سیستم با فشار نیتروژن تأمین گردد)

۲۷- برای ایجاد محلول همگن De-Greasing لازم است از یک Short Circulation استفاده شود که پس از همگن سازی، محلول وارد سیستم گردد.

۲۸- برای De-Greasing عموماً از کربنات سدیم (Soda Ash) استفاده می‌شود که با آبی که عاری از کلر و هدایت الکتریکی آن زیر 0.4 MS/cm می‌باشد، محلولی با غلظت 2 تا 3 درصد وزنی کربنات سدیم درست می‌کنند.

۲۹- برای مرحله‌ی Rinsing از آب DM استفاده می‌شود و چنان‌چه هدایت الکتریکی آب Cold Condensate مطلوب و زیر 0.4 MS/cm باشد، می‌توان از آن هم استفاده کرد.

تست‌هایی که در هر نمونه برداری باید در طول و بعد از انجام Chemical Cleaning صورت پذیرد، به‌طور عام شامل موارد درصد آهن (شامل $Fe^{++}$ و Total Iron)، Silica، Carbonates، Phosphates، Hydrocarbons، غلظت ماده شیمیایی در محلول، Turbidity و PH می‌باشند، اما درصورت درخواست گروه مهندسی می‌تواند کمتر و یا بیشتر هم شوند.

درصد دقیق آیتم‌های فوق با توجه به استاندارد روش‌های تست ASTM D-887 مشخص می‌گردد و بر اساس نتایج خواسته شده از این تست‌ها، نوع و غلظت ماده شیمیایی برای عملیات Chemical Cleaning مشخص می‌گردد.

به‌طور کلی Chemical Cleaning خطوط فولاد کربنی شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- Flushing

۲- De-Greasing

۳- Rinsing

۴- Acid Wash (در صورت نیاز)

۵- Final Rinsing

۶- Pre Neutralization, Neutralization, Passivation

۷- Conservation

**۳- ۵- ۲- ۱- Flushing:**

در این مرحله شستشوی اولیه با آب تمیز صورت می‌پذیرد (مثلا Potable Water). همان‌طور که پیشتر بیان شد، سرعت آب باید بین 90-150 cm/sec باشد. پیشنهاد می‌شود سرعت را در صورت امکان به 150 cm/sec برسانید. این مرحله به نوعی تست نشتی هم به‌شمار می‌آید و در طول این مرحله می‌توان نسبت به بر طرف کردن نشتی های موجود اقدام کرد. این مرحله را به مدت 2 تا 3 ساعت ادامه دهید، به‌طوریکه با نمونه گیری، میزان Turbidity کمتر یا مساوی 15 NTU باشد و چنان‌چه آب اولیه در این مرحله حاوی هیدرازین یا $N_2H_4$ باشد، میزان آن در نمونه‌گیری پس از 2 تا 3 ساعت باید کوچکتر یا مساوی 100 ppm باشد. در این مرحله بهتر است در نمونه‌های گرفته شده در هر ساعت، تست Oil Content هم گرفته شود و میزان آن نسبت به نمونه‌ی قبلی به مرور باید کمتر و کمتر گردد؛ هدف از این تست در این مرحله تعیین میزان گریسی بودن خطوط و تجهیزات در مسیر De-Greasing می‌باشد.

**۳- ۵- ۲- ۲- De-Greasing:**

هدف از De-Greasing و یا Chemical Cleaning در این بخش، چربی‌زدایی و حذف دوده از مخازن، که ممکن است از زمان ساخت باقیمانده باشد، به‌جهت به حداقل رساندن احتمال تشکیل فوم در برج‌های جذب و دفع می‌باشد. اصولاً از این عملیات در جاهایی که از انواع محلول آمین با آب که نسبت به چربی حساس می‌باشند استفاده می‌شود. عموماً موارد زیر در محلول‌ها باعث ایجاد فوم می‌شوند:

۱- محلول‌هایی که در آن‌ها ذرات معلق جامد[1] و مواد ضد خوردگی وجود داشته

[1]-Suspended Solids

باشد.

۲- هیدروکربن‌های مایع

۳- اسیدهای آلی که به‌طور طبیعی در گاز ورودی پالایشگاه تشکیل می‌شوند.

۴- مواد فعال سطحی[1] موجود در روغن کمپرسور، پمپ و روان‌کننده‌های ولو و ...

۵- زیاد بودن آنتی‌فوم زمانی که تمایل به تشکیل فوم، کم و میزان تزریق زیاد باشد.

در زمان استارت‌آپ به‌واسطه وجود چربی‌های به‌جا مانده از زمان ساخت و همچنین وجود هیدروکربن‌های سنگین در بالادست و احتمال ورودشان به سیستم و آلوده‌کردن حلال، احتمال تشکیل فوم زیاد می‌باشد.

بدین‌منظور محلولی از Soda Ash با ترکیب درصد 2 تا 3 درصد حجمی (یا هیدروکسید سدیم با ترکیب درصد 10 درصد وزنی در دمای 65 تا 80 درجه سانتی‌گراد درصورتی که میزان گریسی بودن خط خیلی زیاد باشد) تهیه می شود و بعد از همگن‌سازی محلول آن را در سیکل مورد نظر به چرخش در می‌آورند. لازم به ذکر است‌که در تهیه‌ی این محلول بهتر است 0.05 درصد حجمی از Penetrating Agent و 0.5 درصد حجمی از تری سدیم فسفات نیز استفاده شود. در زمان گردش محلول در سیکل، دمای محلول باید بین 65 تا 80 درجه سانتی‌گراد بسته به میزان گریسی بودن سیستم، باشد. هرچند واکنش انحلال Soda Ash در آب گرمازا می‌باشد، اما دمای محلول به 70 درجه نمی‌رسد. لازم به توضیح است‌که یکی دیگر از روش‌های تمیزکاری در این مرحله این است‌که محلول را به مدت دو تا سه ساعت در دمای مورد نظر در سیکل به گردش درآورده و سپس سیکل را به‌مدت 10 تا 12 ساعت متوقف می‌نماییم و در مرحله‌ی بعد مجدداً سیکل را به‌مدت 2 تا 3 ساعت برقرار و اقدام به نمونه‌برداری برای تأیید این مرحله می‌کنیم. به‌هر حال در

[1]-Surface active agents

طول عملیات De-Greasing تست‌های Oil Content، Turbidity، Soda Ash Concentration و میزان PH باید مرتب هر یک ساعت روی نمونه‌ها انجام گیرد.

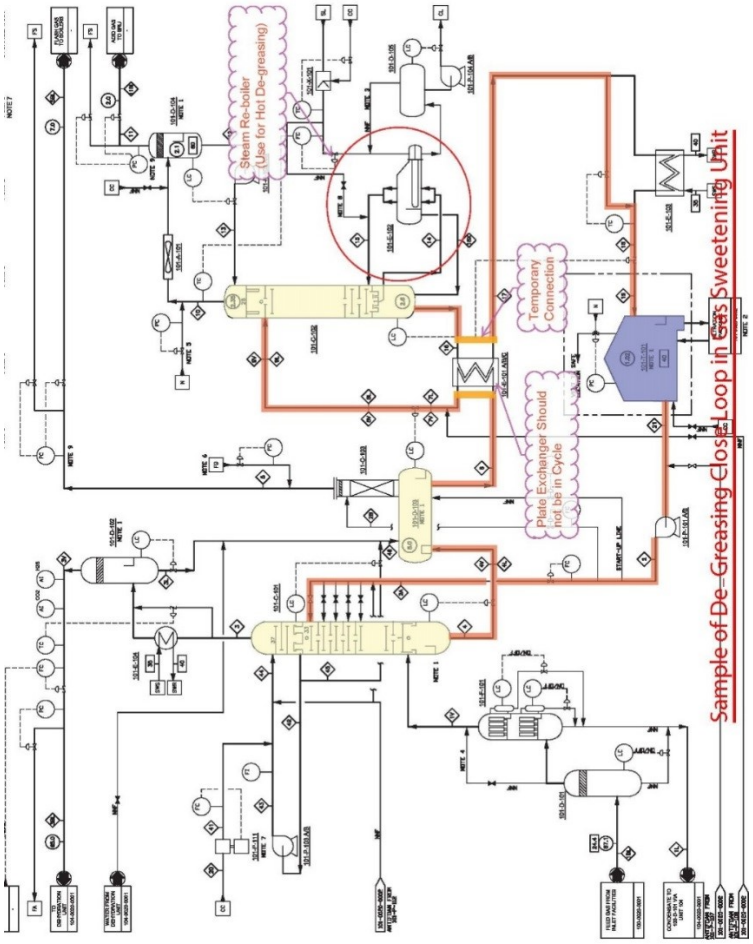
با توجه به تست‌های انجام شده، درصورت رسیدن به نتایج زیر می‌توان پایان این مرحله را تأیید کرد:

۱- میزان Oil Content و Turbidity در نمونه‌ها به تدریج افزایشی باشد تا جایی که این میزان در دو یا سه نمونه اخیر ثابت بماند.

۲- میزان PH محلول در نمونه‌ها باید حدود 13 و با کاهش اندک در حدود 1 تا 1.5 واحد باشد.

۳- غلظت Soda Ash در محلول باید ثابت و اندکی کاهشی (حداکثر 0.5 درصد) باشد.

شکل ۳-۵۵ نمونه‌ای از یک سیکل گردش De-Greasing را نشان می‌دهد.




شکل ۳-۵۵ نمونه‌ای از یک سیکل گردش De-Greasing

**۳- ۵- ۲- ۳- Rinsing:**

پس از اتمام مرحله‌ی De-Greasing باید کل سیستم را درین کرده و با آب (Potable و یا Demineralized) مطابق با آن‌چه در مرحله فلاشینگ مطرح شد، سیکل را به گردش درآوریم. این عملیات باید تا جایی تکرار شود که PH نمونه با PH آب اولیه برابر گردد. به‌عنوان مثال اگر از آب Potable استفاده شود PH نمونه باید بین 6.5 تا 8.5 و اگر از آب Demineralized استفاده شود، PH باید بین 6.5 تا 7.5 گردد. به‌محض دست‌یابی به نتیجه مورد نظر، کل سیستم را درین می‌کنیم. برای سرعت بخشیدن به این مرحله صرف‌نظر از هزینه، می‌توانیم از روش Feeding and Bleeding استفاده کنیم. بدین‌صورت که در هر ساعت مقداری از آب موجود در سیکل را با رعایت شرایط زیست محیطی تخلیه کرده و از آب تازه به‌جای آن در سیکل استفاده کنیم. توصیه می‌شود در این مرحله از هیدرازین محلول در آب به مقدار 100 ppm استفاده شود. برای کسب نتیجه‌ی مطلوب بهتر است دمای آب 40 تا 50 درجه سانتی‌گراد باشد.

چنان‌چه در این مرحله بخواهید علاوه بر میزان PH تست‌های بیشتری را با توجه به درجه حساسیت سیکل مورد نظر اتخاذ کنید، باید Turbidity زیر 15 NTU و Oil Content کمتر از 0.5 ppm باشد.

**۳- ۵- ۲- ۴- Acid Cleaning:**

Compressor Lines Acid Cleaning:

بر خلاف تصور، Acid Pickling برای زدایش چربی، گریس و روغن موجود در خط نمی‌باشد و صرفاً این مرحله برای زدایش رسوبات باقی مانده در لایه درونی خطوط می‌باشد تا به کمپرسور و یا سایر تجهیزات دوار راه پیدا نکنند.

Acid Cleaningدر موارد زیر انجام می‌شود:

۱- کلیه‌ی خطوط گاز ورودی و خروجی کمپرسور شامل Anti surge line یا Spillback line

۲- Suction Drum کمپرسور در صورتی‌که عملی باشد

۳- Gas coolers و Intercoolers

۴- خط Fuel Gas به برنرهای توربین گازی

دستورالعمل‌های انجام این فرآیند بسته به نوع تجهیز و اسید مورد استفاده و غلظت آن می‌تواند متفاوت باشد اما در زیر اشاره‌ای به یک دستورالعمل عمومی در این باره شده است:

پیش‌نیازها:

۱- ابتدا لیستی از فشارهای عملیاتی سیستم مورد نظر تهیه کنید و مطمئن شوید در طول عملیات Acid Wash فشار سیستم از فشار عملیاتی بالاتر نرود. اگر بیم آن وجود دارد که فشار سیستم در عملیات Acid Wash بیشتر از فشار عملیاتی شود، حتماً از مجری کار بخواهید در ادوات مربوطه از شیر اطمینان استفاده نماید.

۲- به‌جای Turbine Meter ها و ولوهایی که نباید در معرض محلول اسیدی قرار بگیرند مانند ولوهای کنترلی، از Spool های موقتی استفاده نمایید (ولوهایی که با Spool جایگزین می‌شوند باید جداگانه تمیز گردند).

۳- Orifice Plate ها باید از مسیر خارج گردند. (در این حالت فضای خالی ایجاد شده را معمولاً با کشیدن خطوط به هم می‌رسانند)

۴- تمام تجهیزات ابزاردقیق که داخل خط کار شده‌اند باید خارج و سایر آن‌ها باید ایزوله گردند و شیر تخلیه ادوات ابزاردقیق که منیفولد آن‌ها Double Block and Bleed می‌باشد، باید باز باشد تا درصورتی که Block Valve اولی نشتی داشت از طریق آن متوجه نشتی شویم و برای آن‌ها که Single Block می‌باشند، در صورت نشتی Block Valve، محلول اسید به تجهیز ابزاردقیق سرایت نکرده و از درین آن خارج شود.

۵- تمام Level Gauge ها اعم از Displacer و Gauge Glass باید ایزوله شده و شیر تخلیه آن‌ها باز باشد.

۶- بهتر است Thermowell ها از سیستم باز شوند و جای آن‌ها Blind گردد.
۷- همه Strainer های داخل لاین باید از سیستم خارج گردند.
۸- کلیه‌ی ولوهای Vent در بالاترین نقطه در سیستم باید در طول عملیات Acid Wash به‌طور مرتب با حفظ شرایط ایمنی برای خروج بخارات اضافی باز شوند. (این کار در صورت نیاز باید انجام شود)
۹- Pulsation Dampener ها باید Blind شوند.

## اجرای عملیات Acid Pickling:

کل سیستم باید با محلول اسید (برای انتخاب نوع اسید به پیوست د مراجعه شود) پاک‌سازی شود تا هر آن‌چه روی سطح داخلی خطوط چسبیده است، اعم از زنگ و رسوبات زدوده شود. انواع مختلفی از محلول‌های اسیدی مانند محلول اسید هیدروکلریک یا اسید فسفریک یا اسید سیتریک ۳ تا ۵ درصد برای این منظور قابل استفاده می‌باشند. معمولاً انتخاب نوع محلول اسیدی بر اساس نوع فلز به‌کار رفته در تجهیزات انتخاب می‌شود. مدت زمان مرحله اسیدشویی نباید آن‌قدر طولانی باشد که بیشتر از 5 میکرون یا 0.2 mil باعث خورگی سطح داخلی لوله شود. نتیجه‌ی خوردگی را می‌توان از طریق نصب Corrosion Coupon و یا یک Thickness Measurement بر روی بدنه لوله پایش کرد.

دقت شود که در این مرحله اختلاف یون‌های آهن ($Fe^{++}$) قبل و بعد از اسیدشویی بیشتر از 150 gr/lit نشود. بیشتر شدن این اختلاف بدین معنی است‌که اسید مناسبی انتخاب نشده است و یا غلظت محلول اسیدی مناسب نبوده است و باعث خورگی فلز شده و فلز را در خود حل کرده است. در این حالت که به اصطلاح می‌گویند خط دچار سوختگی شده است، باید بلافاصله سیکل را متوقف کرده و با آب DM شروع به شستن سیستم نماییم تا جایی که PH به 6.5 تا 7.5 برسد. بنابراین در زمان انتخاب اسید و غلظت آن باید به این نکته توجه شود که غلظت

باید به اندازه‌ای باشد که 80 تا 95 درصد رسوبات داخلی خط لوله ظرف مدت حداکثر 6 ساعت در اسید حل شود. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، سرعت محلول اسیدی در سیکل باید بین 90-150 cm/sec باشد. نمونه‌گیری‌ها در ساعات اولیه باید هر یک ساعت انجام شود. چنان‌چه نتایج مورد نظر حاصل نشد و این مرحله بیشتر از 6 ساعت به‌طول انجامید، لازم است از آن پس نمونه‌گیری هر نیم ساعت تکرار شود. تست‌هایی که بر روی نمونه‌ها در این مرحله انجام می‌گیرد عبارت است از:

۱ -میزان PH (به‌صورت افزایشی و در صورت ثابت شدن قابل قبول است)

۲- غلظت اسید (به‌صورت نسبتاً کاهشی و در صورت ثابت شدن قابل قبول است)

۳- مقدار $Fe^{++}$ و Total Iron (باید کمتر از 0.4% wt باشد)

نکته‌ی ایمنی در مورد کار با اسید و باز:

اگر محلول اسیدی با پوستتان تماس پیدا کرد، ناحیه‌ی مربوطه را با 10 g/l محلول کربنات‌سدیم شستشو دهید و اگر محلول بازی روی پوستتان ریخت، منطقه‌ی مربوطه را با 20 g/l محلول اسیدسیتریک شستشو دهید.

به‌طور قطع برای فولاد ضدزنگ اسیدشویی پیشنهاد نمی‌شود. اما اگر شرایط به گونه‌ای بود که الزام به اجرای این عملیات برای سیستم‌های فولاد ضدزنگ داشتید لازم است به نکات زیر توجه کنید:

۱- تمامی مراحل باید با آب مقطر یا آب Demineralized انجام گردد.

۲- برای اسید شویی فقط از اسیدهای فسفریک، سولفوریک و یا اسیدهای آلی استفاده کنید و به هیچ عنوان از اسید هیدروکلریک استفاده نکنید.

۳- میزان کلراید محلول در هیچ مرحله‌ای نباید بیشتر از 1 mg/kg یا 1 ppm باشد.

**۳- ۵- ۲- ۵- Final Rinsing:**

این مرحله از Rinsing بر خلاف مرحله‌ی قبل شامل سه بخش می‌باشد:

۱- Rinsing توسط Potable Water (آب شرب) و یا نیتروژن گازی جهت بیرون راندن محلول اسیدی باقیمانده می‌باشد. در صورتی که از آب در این مرحله استفاده می‌کنید، سیکل را تا جایی باید بگردانید که PH برابر PH آب اولیه و در حدود 7 گردد و اگر از نیتروژن استفاده می‌کنید، باید از بالاترین نقطه نیتروژن را وارد (Vent) و از پایین‌ترین نقطه در Close Drain خارج نمایید تا جایی که تمام محلول خارج گردد.

۲- Rinsing با یک اسید آلی؛ بعد از Rinsing توسط آب یا نیتروژن، احتمال وجود یون‌های آهن در سیستم می‌باشد؛ لذا در این مرحله یک محلول 1% اسیدسیتریک را در سیستم به مدت 1 تا 3 ساعت و در دمای محیط به گردش درمی‌آوریم.

۳- در این مرحله همانند Rinsing مرحله‌ی اول سیستم را با آب یا نیتروژن شسته و از محلول عاری می‌نماییم.

**۳- ۵- ۲- ۶- Pre Neutralization, Neutralization:**

جهت خنثی کردن پسماندهای احتمالی محلول اسیدی در سیستم دو روش پیشنهاد می‌گردد:

۱- باید سیستم توسط یک محلول خنثی‌کننده (معمولاً Soda Ash) خنثی گردد. غلظت محلول خنثی‌کننده باید بر اساس غلظت محلول اسیدی تعیین گردد. ( معمولاً 1 تا 3 درصد وزنی Soda Ash به همراه 0.5 تا 1 درصد وزنی تری‌سدیم‌فسفات یا 1 درصد وزنی NaOH یا 0.6 درصد نیترات‌سدیم استفاده می‌شود. البته نیترات سدیم به سایر مواد اضافه شونده به Soda Ash ترجیح داده می‌شود) در این حالت سیکل را به مدت 2 تا 4 ساعت در دمای 50 تا 60 درجه سانتی‌گراد می‌چرخانیم. این روش در واقع تلفیقی از Neutralization و Passivation می‌باشد.

۲- در این مرحله ابتدا سیستم را پس از درین کردن، با آب DM پر می‌کنیم و سیکل

را در دمای بین 70 تا 85 درجه سانتی‌گراد به گردش درمی‌آوریم. به محض رسیدن به دماهای ذکر شده، مقداری اسیدسیتریک برای رسیدن به PH حدود 3 تا 4 به سیستم اضافه می‌کنیم و در این حالت سیکل را به مدت 2 تا 3 ساعت دیگر می‌چرخانیم. سپس با اضافه کردن آمونیاک به سیستم، PH را به 9 تا 10 می‌رسانیم و سیکل را در این حالت به مدت 2 تا 3 ساعت به گردش در می‌آوریم. در مرحله‌ی بعد 0.05% یا 500 ppm هیدرازین به سیکل اضافه کرده و سیکل را به مدت 2 تا 3 ساعت به همین منوال ادامه می‌دهیم. در این حالت هم‌چنان PH باید بین 9 تا 10 بماند. در نهایت سیکل را متوقف کرده و کل سیستم را تحت فشار نیتروژن درین می‌کنیم.

**۳- ۵- ۲- ۷- Passivation:**

چنان‌چه در مرحله‌ی فوق از روش دوم استفاده شود، لازم است جهت ایجاد یک لایه محافظ در برابر تماس مستقیم اکسیژن و گرد و غبار با سطح داخلی لوله و تجهیزات شستشو شده با اسید، یک محلول محافظ مانند Sodium nitrite در کل سیستم تزریق و گردش داده شود و در نهایت درین شود و قبل از استارت‌آپ باید با آب مناسب از سیستم فلاش گردد.

**۳- ۵- ۲- ۸- Conservation:**

Conservation به دو روش خشک[۱] و تر[۲] انجام می شود:

۱- Dry Conservation: در این روش ابتدا کل سیستم را با هوای خشک دو تا سه بار توسط دمنده هوا خشک می‌کنیم. نقطه‌ی شبنم هوای خشک باید کمتر از حداقل دمای محیط باشد. سپس سیستم را تحت فشار مثبت نیتروژن در حدود

[۱]-Dry

[۲]-Wet

0.5 barg نگه می‌داریم.

۲- Wet Conservation: در این روش کل سیستم را توسط آب Demineralized حاوی 200 ppm هیدرازین تا مرحله استارت‌آپ نگه می‌داریم. در این حالت اگر PH محلول کمتر از 9.5 بود، با اضافه کردن آمونیاک PH را به 9.5-10 می‌رسانیم.

مطابق با استاندارد NACE نرخ خوردگی بعد از Chemical Cleaning نباید بیشتر از 0.1 mg/cm2/hr باشد.

### ۳- ۵- ۳- Leak Test (Tightness Test):

تست نشتی بر روی تمامی سیستم‌ها و ساب‌سیستم‌ها بعد از اتمام کلیه‌ی مراحل فلاشینگ اعم از تمیزکاری و Reinstatement انجام می‌شود تا نسبت به موارد زیر پیش از استارت‌آپ اطمینان حاصل گردد:

۱- اطمینان از جانمایی و تناسب گسکت‌ها و اتصالات برای عدم نشتی

۲- اطمینان از packing ولوها

۳- Tight Shutoff Test، بر روی ولوهای ESD

۴- اطمینان از عدم نشتی و مونتاژ درست خطوط و تجهیزاتی که بنا به‌دلایلی در طول مراحل مختلف تا این مرحله باز و بسته شده‌اند.

بنابراین تست نشتی باید در کلیه‌ی خطوط، مخازن، تجهیزات فرآیندی و یوتیلیتی و همه اتصالات مربوطه انجام شود. اما تجهیزاتی مثل Flare Stack، Ventها، Heater Casing، CO2 Piping، Atmospheric Storage Vessel ها و تجهیزات مربوط به پکیج‌هایی که پیشتر توسط سازنده در کارخانه تست نشتی و استارت‌آپ شده‌اند، نیازی به این عملیات ندارند.

عایق‌های حرارتی باید بعد از تست نشتی نهایی، بر روی سیستم نصب شوند.

معمولاً از هوا و یا نیتروژن و یا ترکیب آن‌ها و در برخی شرایط حساس (از نقطه نظر عدم وجود نشتیهای ریز) از هلیوم برای انجام این تست استفاده می‌شود.

فشار تست بسته به میزان بحرانی بودن سیستم، (از نقطه نظر میزان خطر سیال فرآیندی برای انسان و محیط زیست) بین 1.2 تا 1.5 برابر فشار عملیاتی، برابر با حداکثر فشار عملیاتی و یا 90% تا 95% فشار طراحی می‌باشد. در هر حال فشار تست باید کمتر از فشار مقرر PSV های موجود در سیستم باشد. (چنان‌چه سیستم تحت تست شامل چندین PSV باشد، کمترین فشار مقرر PSV باید لحاظ گردد).

فشار تست اولیه (Gross Leak Test) معمولاً با توجه به فشار هوای ابزاردقیق Plant در نظر گرفته می‌شود و برای سیستم‌هایی که فشار تست آن‌ها بالاتر از فشار هوای ابزاردقیق می‌باشد، ابتدا با هوای ابزاردقیق تا فشار موجود تست اولیه انجام می شود و در صورت عدم وجود نشتی، فشار را به‌وسیله گاز نیتروژن تا فشار عملیاتی، مرحله به مرحله بالا برده و در هر مرحله زمان ماند[1] به سیستم داده می‌شود.

سیستم را مرحله به مرحله ابتدا تا 25% سپس 50% و 75% و نهایتاً تا 100%فشار تست فشارگیری می‌کنیم و در هر مرحله 1 ساعت زمان ماند به سیستم می‌دهیم و در صورت عدم کاهش فشار به مرحله‌ی بعد می‌رویم و در مرحله‌ی آخر 4 ساعت زمان ماند به سیستم می‌دهیم.

قبول و یا رد تست از طریق افت فشار سیستم مشخص می‌شود و در بهترین حالت سیستمی موفق به گذراندن این تست است‌که افت فشار تست آن کمتر از 1 درصد در 2 ساعت باشد. (اگر سیستم از لحاظ عملیاتی ویژه تشخیص داده شود، می توان شرایط تست و میزان افت فشار را کمترنیز در نظر گرفت).

تست نشتی اصولاً بر اساس نوع سیال مورد استفاده برای تست به چهار دسته تقسیم

[1]-Holding Time

می‌شود:

**۳- ۵- ۳- ۱- Air Leak Test:**

کلیه سیستم‌هایی که فشار تست آن‌ها کمتر یا برابر فشار هوای ابزاردقیق واحد صنعتی می‌باشد را با هوا تست می‌کنند. به‌علاوه تست مرحله اول تا فشار هوای ابزاردقیق برای سیستم‌هایی که فشار تست آن‌ها بالاتر از فشار هوای ابزاردقیق می‌باشد، نیز با هوا انجام می‌گیرد که به آن Gross Leak Test می‌گویند. توجه گردد، برای سیستم‌های حساس به رطوبت که از هوا برای تست استفاده می‌شود، حتماً هوا خشک باشد و در پایان حتماً میزان Dew Point در هنگام Vent کردن هوا به اتمسفر اندازه گرفته شود. این مقدار باید کمتر از منفی 20°C در فشار اتمسفر باشد. در غیر این صورت حتماً باید نسبت به Dry out این سیستم‌ها اقدام شود.

**۳- ۵- ۳- ۲- Nitrogen Leak Test:**

استفاده از گاز بی‌اثر نیتروژن برای تست در صورتی که فشار تست بالا بوده و امکان سرویس تست (تست نشتی با سیال فرآیندی) وجود نداشته باشد.

**۳- ۵- ۳- ۳- Service Test:**

برای کلیه‌ی سیستم‌های یوتیلیتی بعد از این‌که تجهیزات مربوط به آن سیستم استارت‌آپ شدند و در Normal Operation انجام می‌گیرد.

**۳- ۵- ۳- ۴- Vacuum Test:**

این تست برای سیستم‌هایی اعمال می‌شود که در شرایط خلاء بهره‌برداری می‌شوند. در این سیستم‌ها تست در دو مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا کل سیستم را توسط هوا یا نیتروژن تا 90 درصد فشار طراحی تست می‌کنند. مرحله‌ی بعدی تست در شرایطی است‌که توسط وسایل خلاءساز مانند پمپ خلاء در سیستم تا فشار عمل‌کرد، خلاء ایجاد کرده و در این

حالت هرگونه افزایش فشار در سیستم گواه بر نشتی می‌باشد. به عبارتی از دست دادن خلاء در هر ساعت نباید بیشتر از 15 mm Hg یا 0.02 barg باشد.
در زیر ساده ترین روش تخمین میزان نیتروژن مورد نیاز برای حجم مشخصی از یک سیستم و فشار تست معلوم به اختصار شرح داده شده است:

ابتدا لازم است حجم سیستم تحت تست را محاسبه کنید. چنان‌چه سیستم مورد نظر تجهیزات مکانیکی ثابت مانند تانک و مخزن داشته باشد، برای محاسبه حجم خطوط موجود در سیستم می‌توانید حجم سایزهای مختلف را جدا حساب کرده و با هم جمع کنید (معمولا از مدرکی به نام Line List می‌توانید احجام خطوط را به‌دست آورید)؛ اما پیشنهاد می‌شود بر اساس یک قانون سرانگشتی، حجم خطوط را 20 درصد مجموع حجم کل تجهیزات آن سیستم در نظر بگیرید.
لازم است برای به‌کار بردن قانون گاز ایده‌آل برای نیتروژن، شرایط استاندارد را در نظر بگیریم. بنابراین ابتدا تعداد مول‌های نیتروژن را در فشار تست محاسبه می‌کنیم؛ اما می‌دانیم در فشارهای زیاد، نیتروژن دیگر یک گاز ایده‌آل نیست. پس باید از ضریب Z در معادله قانون گاز ایده‌آل استفاده کنیم. بدین منظور باید از گراف Hemmelblau (شکل۳-۵۶) استفاده شود و مقدار Z را به‌دست آوریم.
بنابراین تعداد مول‌های نیتروژن را در فشار تست نشتی، حجم معلوم سیستم و دمای لوله در شرایط تست که در این‌جا $T = 273 + 5 = 278°K$ فرض شده است و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌نماییم:

$$n = \frac{P.V}{Z.R.T}$$

سپس حجم نیتروژن مورد نیاز را در فشار 1.013 barg، دمای استاندارد 273°K و تعداد مول محاسبه شده از طریق رابطه فوق به‌صورت زیر محاسبه می‌نماییم:

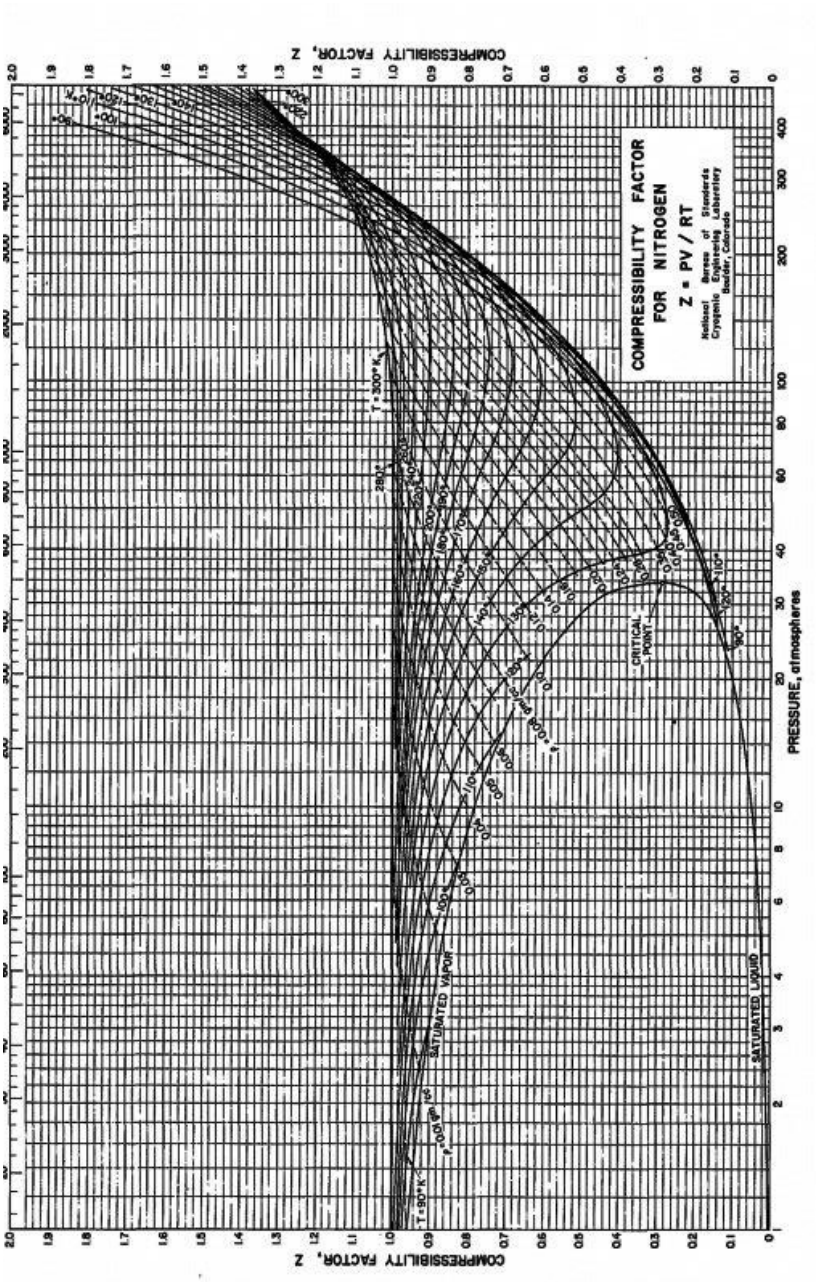
$$V = (n.R.T)/P$$

این حجم به‌دست آمده، حجم نیتروژن به‌صورت گاز می‌باشد و برای حجم نیتروژن مایع موردنیاز کافیست عدد به‌دست آمده از رابطه فوق را در 674 تقسیم نماییم و برای تبدیل حجم نیتروژن مایع به وزن کافیست حجم مورد نظر را در دانسیته نیتروژن مایع (808 kg/m3) ضرب نماییم.

Liquid Nitrogen $\rho = 808\ kg/m3$

Gasous Nitrogen $\rho = 1.2\ kg/m3$

$$\frac{\rho(liq)}{\rho(gas)} = 674$$




شکل ۳-۵۶ گراف Hemmelblau

### Inerting -۴ -۵ -۳

پرج کردن یا عاری‌سازی خطوط و تجهیزات در تماس با مواد هیدروکربنی از هوا، توسط یک گاز بی‌اثر را Inerting می‌گویند. این عملیات جهت جلوگیری از خطر انفجار به‌واسطه ترکیب اکسیژن با گازهای هیدروکربنی صورت می‌گیرد. در بعضی موارد هم این عملیات برای خروج هوا یا هوای مرطوب به منظور خشک‌کردن (مثلا برای سیستم‌های تبرید) و یا برای کاتالیست‌هایی که به هوا حساس می‌باشند صورت می‌گیرد.

Inerting باید بلافاصله بعد از انجام موفقیت‌آمیز عملیات تست نشتی انجام گیرد. در عملیات Inerting سیستم را با یک گاز بی‌اثر مانند نیتروژن Pressurize و سپس از بزرگترین Vent موجود در سیستم به اتمسفر می‌فرستند. هدف اصلی از این عملیات کاهش محتوای اکسیژن سیستم به درصد مشخصی می‌باشد. توجه به این نکته ضروری است‌که سیستم‌هایی که آلوده به هیدروکربن‌ها نمی‌شوند نیازی به Inerting ندارند مگر این‌که لایسنسور آن پیشنهاد دهد.

دو روش برای انجام عملیات Inerting استفاده می‌شود:

در روش اول کل سیستم را تا فشار مشخص (معمولاً 2 barg) فشارگیری کرده و از انتهای دیگر از یک Vent یا یک درین در انتهای یک Header تا فشار مشخص (معمولاً 0.2 barg) بی فشار می‌کنیم. این عملیات را تا رسیدن به میزان محتوای اکسیژن مورد نظر ادامه می‌دهیم. توجه شود که برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن موجود در سیستم، لوله‌ی دستگاه اندازه‌گیر اکسیژن را داخل Vent یا درین قرار داده و این کار را در فشارهای 0.2 barg و کمتر از آن انجام دهید تا بهترین و دقیق‌ترین نتیجه حاصل گردد. در نهایت سیستم را تحت فشار مثبت نیتروژن 0.1-0.2 barg نگه‌داشته و Box Up نمایید. این روش برای سیستم‌هایی که فشار عملیاتی آنها زیر 7 barg می‌باشد کارایی دارد.

در روش دوم بلافاصله بعد از عملیات تست نشتی، در حالی‌که سیستم هم‌چنان تحت فشار این تست می‌باشد،کل فشار را تا فشار 0.2 barg به اتمسفر یا سیستم یا سیستم های دیگر منتقل می‌کنیم. این روش برای سیستم‌هایی که فشار عملیاتی آن‌ها بیشتر از 7 barg می‌باشد کاربرد دارد.

به‌طور کلی پیش از این مرحله باید مسیر و نقطه(های) Purging بر روی P&ID مشخص شده و از صحت عمل‌کرد درست ولوهای مسیر پیش از فشارگیری سیستم اطمینان حاصل شود. سرعت Purging باید بین 7-10 m/s باشد.

محاسبه‌ی مقدار مورد نیاز نیتروژن برای عملیات Inerting:

از جمله مصارف عمده نیتروژن در صنعت، پرج کردن تجهیزات، Blanketing تانک‌ها و مخازن می‌باشد. به‌همین منظور غلظت اکسیژن موجود در نیتروژن خصوصاً در مورد Purging و Blanketing بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین در صنایع حداکثر 0.5% اکسیژن را در Inert Gas مجاز دانسته‌اند. جهت جلوگیری از احتراق، میزان اکسیژن در سیستم‌های حاوی هیدروژن باید زیر 2 درصد و در سیستم‌های هیدروکربنی زیر 5 درصد باشد. از طرفی برای حصول اطمینان از سلامت و جلوگیری از خطر تنفس در محیط هایی که پرسنل باید حضور داشته باشند (مثلاً Confined Space) میزان اکسیژن باید بالای 19 درصد باشد.

برای محاسبه‌ی میزان نیتروژن مورد نیاز برای پرج کردن تجهیزی که حاوی بخارات خطرناک و منفجره می‌باشد، با فرض استفاده از روش اول ( Pressure/Depressure Cycle)، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{C1 - C0}{C2 - C0} = \left(\frac{P2}{P1}\right)^N$$

$C_0$ = درصد $O_2$ در Inert Gas

$C_1$= درصد اولیه $O_2$ در سیستم

$C_2$ = درصد خواسته شده $O_2$ در سیستم

$P_1$ = حداقل فشار سیستم (atm)

$P_2$ = حداکثر فشار سیستم (atm)

N = تعداد دفعات Pressure/Depressure Cycle

به‌عنوان مثال فرض کنید یک مخزن در فشار 1 atm حاوی میزان اکسیژن اولیه 19% می‌باشد. از شما خواسته شده تا غلظت اکسیژن را به 5 درصد با نیتروژنی حاوی 0.5 درصد اکسیژن و در فشار 100 psig برسانید. در این حالت داریم:

$$C_0 = 0.5\% \text{ , } C_1 = 19\% \text{ , } C_2 = 5\% \text{ , } P_1 = 1 \text{ atm , } P_2 = (100/14.7) + 1 = 7.8 \text{ atm}$$

بنابراین:

$$(19\text{-}0.5)/(5\text{-}0.5) = [7.8/1]^N$$
$$7.8^N = 4.11$$
$$N = 0.688 \text{ cycle}$$

یعنی کمتر از یک بار؛ از طرف دیگر برای امتحان صحت عدد به‌دست آمده داریم:

$$(19\text{-}0.5)/(C_2\text{-}0.5) = [7.8/1]^1$$
$$C_2 = 2.87\ \%\ O_2$$

این بدان معنی است‌که با مفروضات مسئله ، بعد از یک بار پرج کردن، محتوای اکسیژن تجهیز به 2.87% می رسد.

از طریق فرمول زیر نیز می‌توان برای محاسبه مقدار Inert Gas یا نیتروژن مورد نیاز

برای پرج کردن یک مخزن به منظور کاهش غلظت اکسیژن استفاده کرد:

$$C2 = \left(\frac{C1 - C0}{e^V}\right) + C0$$

V = نسبت حجم گاز مورد نیاز برای Purge کردن تا رسیدن به $O_2\%$ مورد نظر می-باشد.

بنابراین با فرض داده‌های مسئله قبل داریم:

$$5 = [(19\text{-}0.5) / e^V] + 0.5$$
$$e^V = 4.11$$
$$V = 1.415$$

این بدان معنی است‌که 1.415 برابر حجم مخزن نیتروژن برای رسیدن درصد اکسیژن به 5% لازم است.

در نهایت لازم است بدانیم که Purge کردن به زدایش سیستم به هر منظوری و با هر سیالی مانند هوا، بخار، روغن و گازهای بی اثر و ... اشاره دارد و Inerting به زدایش رطوبت و میزان اکسیژن در یک سیستم با گازهای بی اثر اشاره دارد.

## ۳- ۶- فعالیت‌های راه‌اندازی گروه فرآیند

### ۳- ۶- ۱- Dry-Out

در پایان فعالیت ساخت و در پی انجام فعالیت‌های مربوط به پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی مانند Water Flushing، اغلب مقداری آب در خطوط و تجهیزات باقی می‌ماند که علاوه بر وارد آوردن صدمه به تجهیزات و لوله‌ها بر اثر رسوب و ایجاد خوردگی، موجب مشکلات فرآیندی در زمان استارت‌آپ و بهره‌برداری نیز می‌گردد. بنابراین برای جلوگیری از بروز

چنین مشکلاتی، عملیات Dry Out باید انجام گیرد.

دلایل مختلفی برای Dry Out تجهیزات بسته به نوع و سرویسشان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به حذف رطوبت از پوشش داخلی Heater ها و مخازن، جلوگیری از تشکیل هیدرات[1] در تجهیزات فرآیندی، جلوگیری از خوردگی در خطوط دریایی و ... اشاره کرد.

در این‌جا هدف اصلی عملیات Dry-out به هر شکلی، جلوگیری از تشکیل هیدرات می‌باشد. همان‌طور که می‌دانید، گاز طبیعی و نفت خام در مخازن زیرزمینی خود با آب در تماس می‌باشند. الزاماً این آب به آن شکل مایعی که مد نظر ما است، نمی‌باشد و ملکول‌های آب در واقع با پیوند هیدروژنی خود تشکیل یک شبه شبکه را در گاز می‌دهند که به شبکه هیدرات خالی شناخته می‌شود. این شبکه به‌دلیل توخالی بودن پایدار نیست؛ اما در حضور گاز (به‌علت قطر ملکولی کوچکتر گاز) حفره‌های این شبکه ناپایدار با ملکول های گاز از طریق نیروی واندروالس پر شده و تبدیل به یک شبکه پایدار می‌شود. این شبکه‌ها در کنار هم یک ماده‌ی کریستالی شبیه به یخ به‌وجود می‌آورند که به آن هیدرات می‌گویند. ($M_n\ H_2O$ فرمول عمومی هیدرات‌ها می‌باشد که در آن M ملکول اصلی تشکیل‌دهنده هیدرات می‌باشد).

از آن‌جا که هیدرات‌ها در درجه حرارت بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند، بنابراین فرض مشابه بودن هیدرات با یخ و یخزدن آب موجود در گاز به‌طور کل منتفی می‌شود. از طرف دیگر هیدرات را فقط هیدروکربن‌های پارافینی مثل متان، اتان، پروپان و ایزو بوتان تشکیل می‌دهند و پایداری شبکه هیدرات با وزن ملکولی هیدروکربن نسبت مستقیم دارد و طی بررسی‌های انجام شده هیدروکربن‌های سنگین‌تر از نرمال بوتان در هیدرات‌ها مشاهده نشده است. بنابراین هیدرات که ساختاری برف مانند دارد، اگر در فضای آزاد قرار بگیرد، هیدروکربن‌های آن آزاد شده و به سرعت مشتعل می‌شود.

لازم به یادآوری است‌که از تشکیل هیدرات‌ها در برخی فرآیندها مانند Seawater

[1]-Hydrate

Desalination، Extraction گازهای چند جزیی و مخلوط مایعات و حتی ذخیره سازی گازها می‌توان بهره مناسب و مفید هم برد.

به یاد داشته باشیم که:

۱- شرایط تشکیل هیدرات در فشارهای بالا و دماهای پایین مناسب ارزیابی می‌شود.

۲- تعیین نقطه‌ی شبنم گازهای ترش به‌خاطر حلالیت بالای $CO_2$ و $H_2S$ در آب، بسیار پیچیده‌تر از گاز شیرین می‌باشد. به همین ترتیب هرچه فشار گاز ترش بیشتر شود، مقدار آب موجود در گاز ترش نیز بیشتر می‌شود.

۳- اصولاً باید نقطه‌ی شبنم هیدروکربنی گازهایی که از طریق خط لوله انتقال می‌یابند، خصوصاً خطوطی که از مناطق سردسیر عبور می‌کنند، $10°F$ کمتر از حداقل درجه حرارت لوله باشد.

در زیر نمونه‌ای از عملیات Dry-out با ملاحظه به بخش عملیاتی آن توضیح داده شده است:

### ۳- ۶- ۱- ۱- Fired Heater Dry-Out:

قبل از این‌که یک هیتر برای اولین بار در سرویس قرار گیرد، به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت لازم است رطوبت موجود در Refractory و یا عایق داخلی آن را- که از طریق محفظه هیتر جذب شده است- از طریق افزایش تدریجی دما کاهش داد. این کار باید مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده هیتر صورت پذیرد.

به‌طور کلی پوشش‌های داخلی هیترها از انواع Refractory Breakwork، Refractory Lining و Ceramic Fibers می‌باشند که همه این انواع می‌بایست از طریق روشن کردن هیتر و با نرخ مشخص افزایش دما -مطابق با منحنی دمای شرکت سازنده- Dry out گردند. در این مورد به منظور جلوگیری از آسیب تیوب‌های سیال فرآیندی، لازم است سیال مورد نظر با دبی متناسب با میزان بهره‌برداری در سرویس قرار گیرد؛ در غیر اینصورت، چنان‌چه سیال فرآیندی در زمان Dry-Out در دسترس نباشد و یا امکان

معرفی آن به سیستم وجود نداشته باشد، باید سیال یا ترکیب سیال‌هایی متناسب جهت معرفی به سیستم در طول عملیات مورد نظر فراهم گردد. مانند استفاده از نیتروژن و بخار آب و یا ترکیب آن‌ها برای رسیدن به دبی مورد نظر.

**۳- ۶- ۱- ۲- Reactor Section Dry-Out:**

قبل از Catalyst Loading در رکتورها، لازم است‌که خطوط و تجهیزات مرتبط به‌خوبی خشک شوند و از هرگونه آب و رطوبت به‌جا مانده از دوره ساخت و یا water flushing عاری گردند؛ چرا که رطوبت در این حالت ممکن است باعث واکنش‌های فرعی و مضر با کاتالیست‌ها، در زمان بهره‌برداری و یا مشکلات عملیاتی گردد. ممکن است برای خروج آب‌های موجود از دمیدن هوا در حالی‌که کلیه درین‌ها باز است استفاده شود. هرچند این کار پیش از عملیات Dry-out توصیه و بعد از عملیات water flushing اکیدا توصیه می‌شود، اما نمی‌توان آن را به‌عنوان عملیات Dry-out در این مرحله مدنظر قرار داد. برای این هدف معمولاً مطابق با خواسته لایسنسور، از یک گاز بی اثر مانند نیتروژن، Fuel Gas و یا ترکیب هیدروژن و Fuel gas می‌توان استفاده کرد. چنان‌چه از گاز سوختی Fuel Gas برای این منظور استفاده می‌کنید، دقت داشته باشید که باید شیرین، دارای حداقل برش‌های سنگین‌تر از متان و عاری از هرگونه آلاینده‌ای باشد که باعث تشکیل کک و یا باعث مسمومیت کاتالیست‌ها می‌شود.

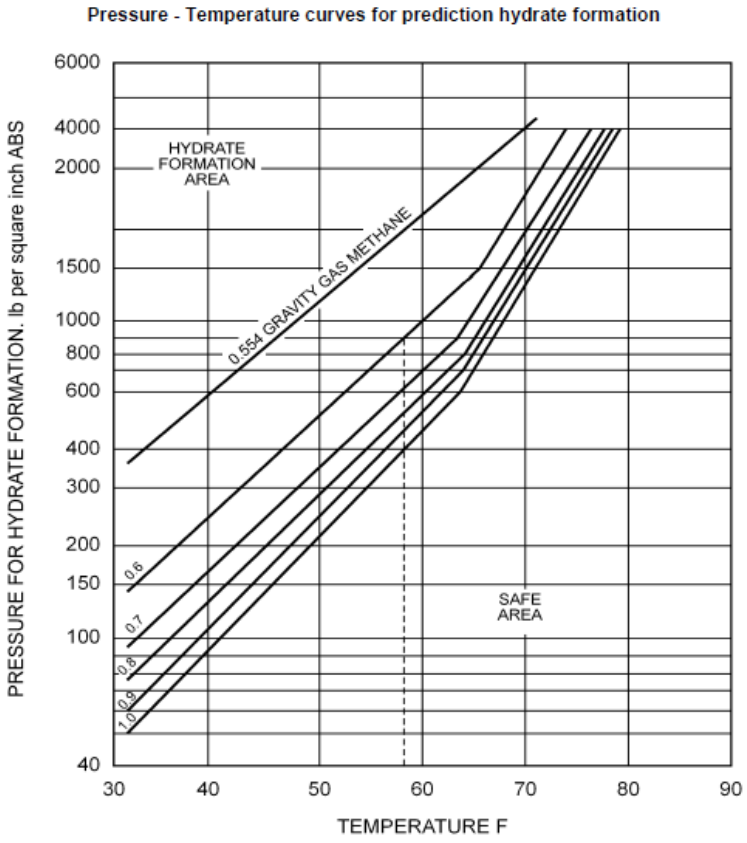
**۳- ۶- ۱- ۳- Petrolume Processing Equipment Dry out:**

وجود رطوبت در این‌گونه تجهیزات حتی به میزان کم، باعث تشکیل هیدرات می‌شود. همان‌طور که گفته شد، هیدرات‌ها ترکیبات شیمیایی جامدی هستند که در داخل تجهیزات فرآیندی گاز، زمانی که هیدروکربن‌های سبک و آب [۱] موجود باشند تشکیل می‌شوند. هیدرات‌ها رفته رفته تا مسدود کردن کامل تجهیز رشد می‌کنند و موجب

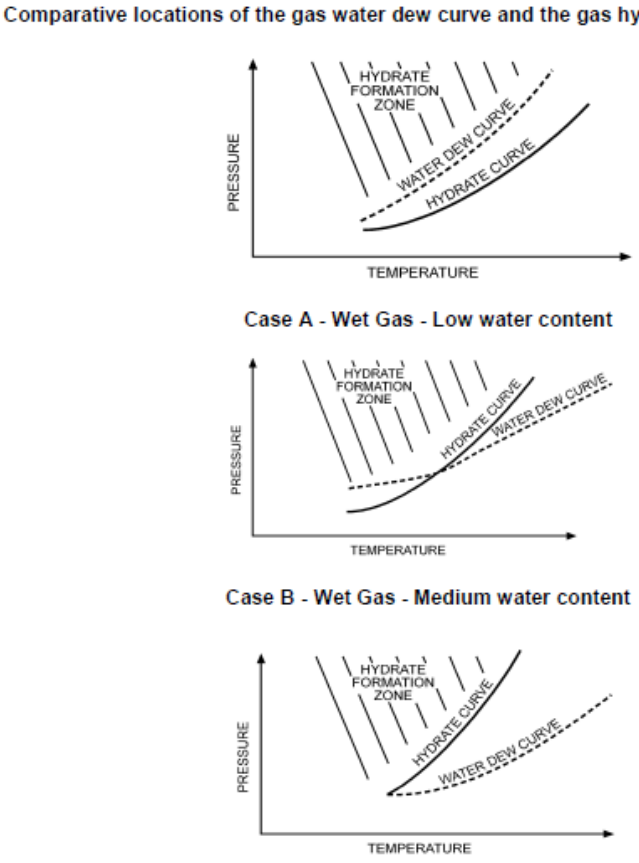
[۱]-Free Water

صدمات جبران ناپذیری به تجهیز می‌گردند. از لحاظ شیمیایی، هیدرات‌ها به‌عنوان یک ماده ملکولی گاز در داخل یک ساختار دو بعدی ملکول‌های آب تعریف می‌شوند. از لحاظ بصری، هیدرات‌ها بسیار شبیه به کریستال‌های یخ می‌باشند، اما در واقع همان‌طور که توضیح داده شد، از لحاظ ساختار شیمیایی با کریستال‌های یخ بسیار متفاوت می‌باشند.
همان‌طور که می‌دانید، برای یک گاز، دمای نقطه‌ی شبنم در یک فشار مشخص، دمایی است‌که در آن اولین قطره مایع با کاهش دما تشکیل می‌گردد. اگر چنان‌چه در داخل گاز بخارات آب موجود باشد، اولین قطره‌ی تشکیل شده در نقطه شبنم می‌تواند آب ( Free Water) باشد.

لازمه تشکیل هیدرات وجود آب (Free Water) می‌باشد. این دقیقاً همان چیزی است‌که میزان اهمیت نقطه‌ی شبنم آب را در هیدروکربن‌های گازی درحالتی‌که خطر تشکیل هیدرات وجود دارد، می‌رساند. البته تشکیل هیدرات به عواملی چون ترکیبات گاز، دما و فشار گاز نیز مرتبط است. در زیر نمودارهایی برای نشان دادن منطقه تشکیل هیدرات با توجه به شرایط گاز ارائه شده است.




شکل ۳-۵۷ منحنی فشار-دما برای پیش‌بینی تشکیل هیدرات




شکل ۳-۵۸ منحنی‌های فشار-دما بر اساس موقعیت تشکیل هیدرات

بنابر منحنی‌های شکل ۳-۵۸، هرگاه شرایط عملیاتی سیستم در ناحیه تشکیل هیدرات باشد، لازم است ریسک Free Water را از بین ببریم تا از تشکیل هیدرات جلوگیری شود. راه‌حل عملیاتی این است‌که آب آزاد موجود در گاز را تا جایی که نقطه‌ی شبنم آب به مراتب کمتر از شرایط عملیاتی گاز باشد، از سیستم حذف نماییم.

به بیان عملیاتی‌تر و برای درک بهتر، ما به‌دلیل خطر تشکیل هیدرات در زمان استارت‌آپ است‌که مبادرت به انجام عملیات Dry out می‌کنیم تا آب را تا جایی که نقطه‌ی شبنم گاز زیر دمای عملیاتی برسد، از سیستم حذف کنیم.

عملیات Dry out عملیاتی پرهزینه می‌باشد و تنها در جایی که خطر تشکیل هیدرات بالا باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در جایی که خطر کمی وجود داشته باشد، معمولاً به استفاده از مواد از بین برنده هیدرات مثل متانول بسنده می‌کنند.

در زیر به اختصار مراحل عملیاتی Dry out خطوط لوله و Sealine ها و تجهیزات فرآیندی آمده است:

**(a** Pipelines/Sealines Dewatering and Drying Out:

خطوط لوله را بعد از عملیات ساخت به منظور انجام Hydrostatic Test پر از آب می‌کنند. از طرفی بعد از درین کردن آب، باز هم در نقاطی آب و رطوبت باقی می‌ماند. حال فرض کنید این خط یک خط طولانی زیر دریایی باشد. اگرچه برای این‌گونه خطوط عملیات Pig رانی صورت می‌پذیرد اما با این‌حال همیشه مقدار قابل ملاحظه‌ای آب در خط لوله باقی می‌ماند که باعث تشکیل هیدرات خواهد شد. خصوصاً در Low Point ها، بدنه‌ی داخلی ولوها و ... اما مهم‌ترین آبی که در خط لوله عامل ایجاد هیدرات می‌باشد، لایه‌ی آبی است‌که در فواصل مختلف در دیواره داخلی لوله به عنوان نم و رطوبت باقی می‌ماند. ضخامت این لایه با توجه به میزان زبری سطح داخلی لوله [1] بین 50 تا 100 میکرون متغیر است. در هرصورت وجود این لایه آب در خط لوله اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و حتی با بررسی‌های انجام شده در خطوط لوله کوتاه نیز میزان قابل‌ملاحظه‌ای از این لایه مشاهده شده است (عموما $g/m^2$ 60-100).

[1]-Roughness

به‌طور کلی دو روش زیر برای De-Watering و Drying-Out خطوط لوله معمول می‌باشد:

۱- Vacuum Dry-Out

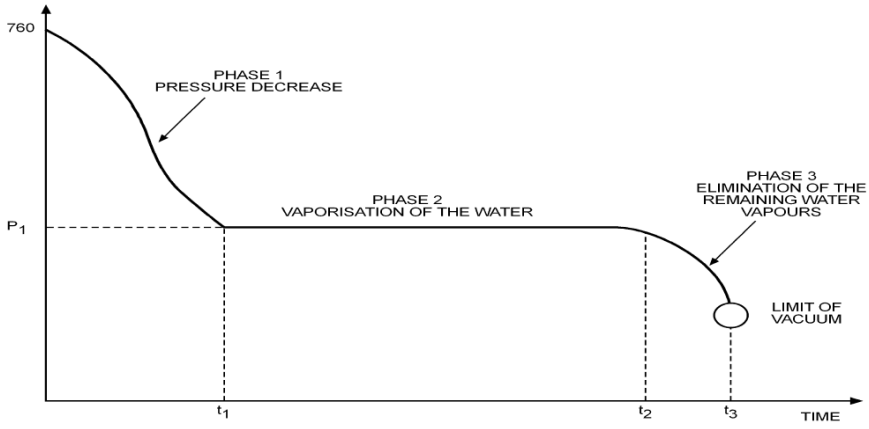
این روش علاوه بر خطوط لوله، برای کلیه سیستم‌های فرآیندی شامل سردسازی یا فرآیندهای برودتی بسیار پرکاربرد و عملیاتی می‌باشد. در این روش، فشار سیستم را تا زیر فشار اتمسفر کاهش می‌دهند تا خلاء ایجاد گردد. هدف از این کار کاهش نقطه‌ی جوش آب می‌باشد؛ بنابراین آب موجود در سیستم در دمای محیط به‌جوش آمده و بخار آن از سیستم خارج می‌گردد.

شرح این عملیات به قرار زیر است:

برای ایجاد خلاء در این روش هم می‌توانیم از پمپ خلاء (که اغلب رفت و برگشتی می باشد) و هم از اجکتور خلاء (که عملگر –Motive Gas- آن می‌تواند هوا یا بخار باشد) استفاده کرد.

قبل از شروع به‌کار، سیستم را از لحاظ مشخصات طراحی و میزان مقاومت در برابر خلاء بررسی کنید و سیستم مورد نظر را از سیستم‌های دیگر ایزوله نمایید. سپس تست نشتی را بر روی سیستم مورد نظر انجام دهید.

مطابق با شکل ۳-۵۹، این عملیات شامل سه فاز می‌باشد که به ترتیب توضیح داده شده است:




شکل ۳-۵۹ فازهای عملیات Vacuum Dry-Out

- فاز اول: در این فاز با اعمال خلاء به سیستم، هوا را از سیستم خارج می‌نماییم تا آب موجود در سیستم به نقطه‌ی جوش خود برسد. در هر بار خلاء در این فاز، زمان ماندی در حدود یک تا دو ساعت به سیستم می‌دهیم. چنان‌چه فشار سیستم افزایش نیافت، مطمئن می‌شویم که در سیستم هوای مرطوب وجود ندارد و سپس وارد فاز بعدی می‌شویم.
- فاز دوم: در این فاز سیستم را تحت خلاء نگه می‌داریم تا تمام آب موجود در سیستم تبخیر گردد. این فاز را به نام فاز "Hold" می‌شناسند. (مدت زمان این فاز حداقل 24 ساعت می‌باشد)
- فاز سوم: در این فاز با اطمینان از تبخیر تمام آب موجود در سیستم، با ورود گاز خشک که معمولاً گاز فرآیندی همان سیستم می‌باشد، خلاء را می‌شکنیم. از نیتروژن و گازهای خنثی دیگر نیز می‌توان در این مرحله برای شکستن خلاء استفاده کرد. از هوای خشک درصورتی که ترکیب انفجاری با گاز فرآیندی نسازد نیز می‌توان استفاده کرد. به‌هرحال لازم است‌که سیستم را تحت فشار مثبت Box Up نگه داریم تا از ورود مجدد هوای مرطوب به سیستم جلوگیری شود.

برای راهنمایی می‌توانید از جداول فشار بخار آب جهت نقطه‌ی جوش آب در فشارهای مختلف استفاده کنید.

۲-Methanol Swabbing:

به‌طور خلاصه این روش شامل شارژ متانول در خط لوله می‌باشد. تزریق بدین منظور معمولاً از طریق Pig Launcher در بخش فراساحل صورت می‌گیرد. به‌دنبال تزریق متانول معمولاً نیتروژن هم به خط تزریق می‌شود تا غلظت ترکیبات گازی منفجر شونده را کاهش دهد. متانول بین شیارهای فنجانی شکل Pig ها تزریق می‌شود و Pig ها به آرامی با سرعتی حدود 10 km/hr و فشار 7 barg در خط لوله حرکت می‌کنند، بنابراین به خوبی آب باقیمانده را جذب می‌کنند. در انتهای مسیر، در قسمت Pig Reciever، مخلوط آب و متانول خارج شده از خط آزمایش می‌شود تا از میزان آب جذب شده از ترکیب درصد متانول مشخص گردد.

**b) Process Systems Dry-Out:**

روش‌های مختلفی برای این عملیات وجود دارد که در زیر به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود.

**۱- Dry Air Sweeping:**

زمانی که فشار و دمای هوا مشخص باشد، حداکثر مقدار بخار آبی که می‌تواند در حجم مشخصی از هوا موجود باشد را می‌توان به‌درستی محاسبه کرد. زمانی که این مقدار آب موجود در هوا به مقدار ماکزیمم خود برسد، هوا توسط آب اشباع شده است. از طرفی هوایی که با آب اشباع نشده باشد، در مجاورت آب، تا زمان اشباع شدنش آب را جذب می‌کند.

نکته‌ی مهم این‌که هرگونه تغییر نامطلوب در شرایط هوای اشباع، مثل کاهش دما یا افزایش فشار، موجب میعان آب می‌شود. بنابراین هوای اشباع در نقطه‌ی شبنم آب محتوی

خود قرار دارد. به همین ترتیب هوای خشک بعد از عبور از تجهیز اشباع شده و به اتمسفر فرستاده می‌شود. بدیهی است هرچه این عملیات بیشتر انجام شود، آب بیشتری از تجهیز حذف و سیستم رفته رفته عاری از آب می‌شود.

میزان آبی که توسط حجم مشخصی از هوای خشک حمل می‌شود به موارد زیر بستگی دارد:

- نقطه‌ی شبنم آب هوای خشک. به‌طور حتم هر چه نقطه‌ی شبنم کمتر باشد، میزان آب بیشتری جذب می‌شود.
- دمای هوای خشک. هرچه دمای هوای خشک بیشتر باشد، میزان آب در هوای اشباع شده بیشتر است.
- فشار هوای خشک. هرچه فشار هوای خشک کمتر باشد، میزان آب در هوای اشباع بیشتر خواهد بود.
- میزان دبی هوای خشک. هر چه دبی هوای خشک بیشتر باشد، میزان آب هم بیشتر خواهد بود.

چنان‌چه سیستمی که باید Dry-Out شود حجم زیادی داشته باشد، به‌کار بردن یک سیستم گرمایی موقت می‌تواند گزینه‌ی مناسبی برای کاهش زمان و همچنین میزان هوای خشک مصرفی باشد.

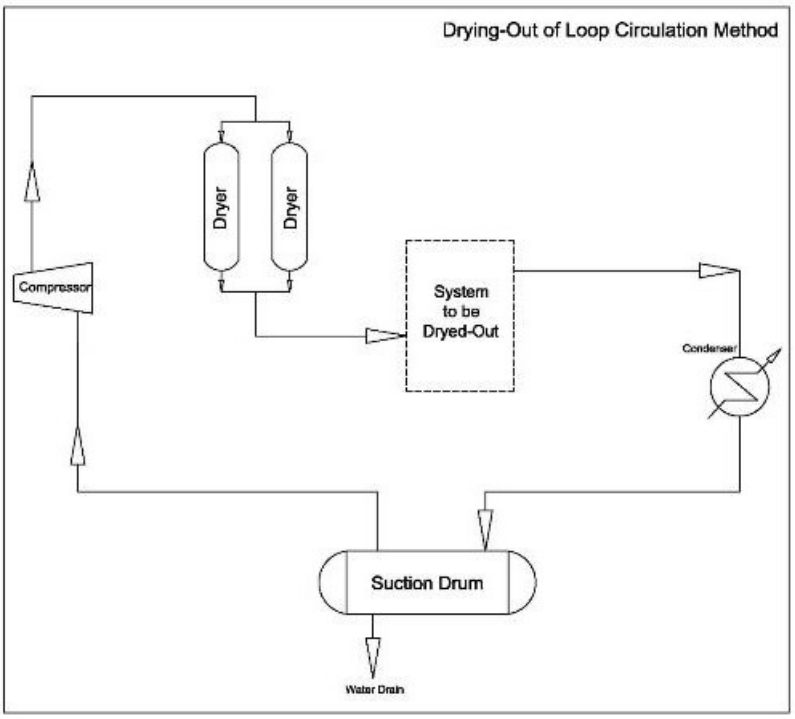
در طی این عملیات کلیه درین‌ها باید برای خروج آب باز باشند. عملیات زمانی با موفقیت به سرانجام خواهد رسید که نقطه‌ی شبنم آب هوای خروجی از همه نقاط برابر میزان مقرر باشد. این مقدار به نوع سیستم و میزان نقطه‌ی شبنم آب هوای خشک اولیه وابسته است. در پالایشگاه، نقطه‌ی شبنم هوای ابزاردقیق مرطوب 15°C- است و زمانی که Dryer ها در سرویس باشند به 60°C- می‌رسد. بنابراین استفاده از این هوای خشک می‌تواند عملیات Dry Out را با سرعت قابل ملاحظه‌ای پیش ببرد.

**۲- Nitrogen or Inert Gas Sweeping:**

این روش کاملاً مشابه روش اول می‌باشد. فقط نکته‌ی قابل‌تأمل در این روش، سیال قابل استفاده برای این عملیات می‌باشد. در حالت استاندارد گازی بی اثر با نقطه‌ی شبنم آب 30°C- برای این عملیات استفاده می‌شود. برخی از گازها نیز نقطه‌ی شبنم آب کمتر از 60°C- دارند. استفاده از نیتروژن خالص که نقطه‌ی شبنم آب آن حدود 80°C- می‌باشد، گزینه‌ی بسیار خوبی برای انجام این عملیات می‌باشد.

**۳- Drying-Out by Loop Circulation:**

همان‌طور که از شکل ۳-۶۰ پیداست، در این روش از یک لوپ برای انجام عملیات Drying استفاده می‌شود. این روش بسیار کارآمد می‌باشد و می توان به نقطه‌ی شبنم آب 100°C- دست یافت (بسته به میزان کارایی Dryer). از این روش در سیستم‌های تبرید استفاده می‌شود.




شکل ۳-۶۰ Drying-Out به روش Circulation Loop

### ۳- ۶- ۲- Boiler Cleaning/Chemical Boil-out

اصولاً تمیزکاری بویلرها به بخش‌های زیر مربوط می‌شود:

۱- Boiler وEconimizer

۲- خطوط Condensate برگشتی و خط BFW

۳- Superheater و Reheater

از طرفی Boiler Cleaning در مواقع زیر انجام می‌شود:

۱- قبل از استارت‌آپ بویلر، با استفاده از Alkaline، اسید یا Chelant

۲- معمولاً سالی یک بار (بسته به میزان رسوبات و یا نظر واحد بازرسی) بعد از زمان بهره‌برداری، با اسید یا Chelant

پارامترهای مشخص کننده Cleaning که گروه بازرسی باید بر آن نظارت داشته باشند و آن‌ها را پایش کنند عبارت است از:

۱- روند افزایش رسوب که از طریق " پایش دمای دیواره Tubeها، میزان انبساط[۱] Tubeها، X-Ray، Priming[۲] و Surging[۳]" صورت می‌گیرد.

۲- بررسی خوردگی‌هایی نظیر خوردگی با اکسیژن، هیدروژن و ...

## نحوه انجام عملیات

### ۱- Chemical Boil Out

این کار جهت تمیزکاری بخشی از یک سیستم به‌وسیله‌ی ترکیب مواد شمیایی و آب داغ صورت می‌گیرد تا روغن و هرآن‌چه کثیفی در طول دوره ساخت و نصب تجهیزات آن بخش از سیستم در مخازن و Tube ها به‌جای مانده است، حذف شود. نکته حائز اهمیت عملیاتی برای اجرای این کار این است‌که هرگونه روغن، گریس و یا رسوبات روغنی داخل بخش‌های پرفشار باید زدوده شود تا در هنگام بهره‌برداری از Foaming و Priming و تشکیل ترکیبات کربنی در داخل دیواره Tube ها که مانع انتقال حرارت و حتی Hot Spot می‌شود جلوگیری شود. معمولاً این عملیات در قدم آخر قبل از این‌که واحد مورد نظر در سرویس قرار بگیرد انجام می‌شود. با توجه به نوع بویلر، امکان انجام هم‌زمان عملیات‌های Boil out و Refractory Dry out وجود دارد.

---

[۱]-Creep

[۲]-پدیده ای ا ست‌که در آن به‌علت وجود ر سوبات و مواد ناخالص در آب بویلر، باعث ایجاد فوم و ورود آب به داخل بخار می‌شود

[۳]-وجود ناخالصی و رسوب در آب بویلر منجر به عدم یا سختی خروج ملکول‌های بخار از سطح آب شده و با تجمع در سطح آب منجر به بروز پدیده سرج می‌شود

به منظور Chemical Boil Out، گاهی برای تمیزکاری بهتر ممکن است از ترکیب چند ماده شیمیایی استفاده گردد. مواد و روشی که در زیر به آن اشاره شده است صرفاً جنبه آگاهی دارد و برای این عملیات تقدم با پیروی از دستورالعمل شرکت سازنده می‌باشد.
دو مورد از مناسب‌ترین ترکیبات شیمیایی به شرح زیر می‌باشند:

- ترکیب Soda Ash ($Na_2CO_3$) و کاستیک (NaOH) در نسبت مساوی به اندازه ۶ کیلوگرم برای هر متر مکعب آب داغ.
- ترکیب تری سدیم‌فسفات و Soda Ash در نسبت مساوی به اندازه‌ی 8 کیلوگرم برای هر متر مکعب آب داغ.

مواد شیمیایی باید ترکیب و به‌خوبی در آب داغ حل شوند و به Steam drum از طریق اتصال مخصوص مواد شمیایی تزریق شود. چنان‌چه برای تزریق از پمپ استفاده نشود، می‌توان با در نظر گرفتن شرایط ایمنی به‌واسطه بخارات مواد شمیایی، از نازل‌های دیگر مانند Man way نیز مواد شیمیایی را به داخل درام قبل از Boil Out تزریق کرد. در بعضی جاها ترجیح بر این است‌که بخشی از ترکیب مواد شیمیایی را نیز جهت تمیز کردن کویل‌های Preheater مربوط به Boiling Feed Water استفاده کنند. زمان در نظر گرفته شده برای عملیات Boil Out معمولاً بین 24 ساعت تا 72 ساعت بسته به میزان کثیفی سیستم، غلظت مواد شیمیایی، دما و فشار عملیاتی متغیر است. طبق تجربه 24 تا 36 ساعت Boil Out نتیجه مطلوبی به‌دست داده است. مهم‌ترین شاخص در درک این‌که آیا Boil Out به‌خوبی انجام شده است یا نه این است‌که در هنگام blow down به کدورت آب و میزان روغنی بودن آن توجه شود و بر این اساس می‌توانید زمان اتمام عملیات را اعلام کنید و در نهایت بهترین راه برای اطمینان از میزان بازدهی مطلوب عملیات Boil Out بازرسی Steam Drum، بعد از اتمام عملیات می‌باشد. بعد از عملیات Boil Out، اجازه دهید سیستم خنک شود و با باز کردن Vent ها فشار سیستم تا فشار اتمسفر کاهش یابد؛ سپس کل سیستم باید درین شود و توسط آب تازه (Fresh Water) دو تا سه بار تا سطح بالای درام (HL) پر شود و از طریق درام مربوط به Blow down،

خطوط درین و کویل‌های تولید بخار فلاش شود. این کار باعث می‌شود که تمام مواد شیمیایی باقیمانده و لجن‌های باقیمانده از سیستم خارج شوند. در پایان به یاد داشته باشید که کلیه گیج‌های متصل به سیستم تحت Boil Out باید باز شوند و از لحاظ وجود مواد شیمیایی و کثیفی بررسی و درصورت نیاز تمیز گردند. به‌علاوه باید گسکت Man Hole و اتصالات دیگر نیز با گسکت اصلی جایگزین شود و در نهایت تجهیزات Final Box Up گردند.

دستورالعمل زیر در این مرحله برای استفاده از تری‌فسفات‌سدیم ($Na_3PO_4$) از لحاظ کاربردی و عملیاتی بسیار مؤثر می‌باشد:

ابتدا محلول 1% از $Na_3PO_4$ که شامل Surfactant[1] می‌باشد درست می‌شود. می‌توان NaOH نیز به این محلول برای بالا بردن ضریب دفع روغن و گریس اضافه کرد. چنان‌چه برای کاهش سختی آب بویلر از کربنات‌سدیم استفاده می‌شود، گاهی برای جلوگیری از رسوب محلول هیدروکسید (زمانی که آب در بویلر بخار می‌شود، غلظت کربنات‌سدیم افزایش یافته و پس از هیدرولیز تبدیل به هیدروکسیدسدیم می‌شود که منجر به حل کردن آهن و ضعف کششی ورق‌های بویلر در دمای 200-250°C می‌شود) می‌توان از نیترات‌سدیم استفاده کرد. به‌علاوه برای جلوگیری از خوردگی اکسیژن می‌توان از سولفیت سدیم نیز استفاده کرد.

بعد از پر کردن بویلر از محلول فوق، بویلر را روشن کرده و فشار آن را به حدود نصف فشار عملیاتی می‌رسانیم و چندین بار Blow Down می‌کنیم. این عملیات معمولاً بین 10 تا 48 ساعت در دمای بین 80-100°C ادامه می‌یابد. سپس اجازه دهید بویلر سرد

[1]-ترکیباتی برای کاهش تنش سطحی بین سیالات یا بین مایع و جامد به‌کار می‌روند تا با لغزنده کردن ملکول‌ها، تمایل آن‌ها برای تعامل و ایجاد پیوند با روغن‌ها و گریس‌ها را بالا ببرند که نمونه‌ای از آن Sodium Stearate می‌باشد

شده و کل محلول را درین کنید و سیستم را با آب DM تا جایی‌که هدایت الکتریکی کمتر از 80 µmhos/cm و غلظت فسفات کمتر از 8 ppm در نمونه‌ها شود ادامه دهید.

### ۲- Boiler Acid Cleaning

روند شستشو با اسید در بویلرها برای حذف براده‌های آهن و رسوبات سخت صورت می‌پذیرد. در این حالت یا محلول اسیدی را در یک سیکل بسته به گردش درمی‌آورند (Acid Circulation) و یا این‌که برای مدت مشخصی محلول اسیدی را در بویلر و خطوط وابسته نگه می‌دارند (Fill and Soak). معمولاً برای شستشوی بویلرها از اسید 5% HCl و یا اسیدهایی نظیر آن مانند $H_3PO_4$، $H_2PO_4$ و اسید سولفامیک نیز استفاده می‌شود. اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک، ترکیب (hydroxyacetic + formic acid) نیز در این عملیات قابل استفاده و کاربردی می‌باشند.

دستورالعمل این عملیات برای حالت Acid Circulation بدین صورت است‌که ابتدا سیستم را با آب داغ پر می‌کنند (دمای آب باید زیر نقطه degradation ماده Corrosion inhibitor مورد استفاده در محلول اسیدی باشد). سپس آب را در سیستم به گردش درمی‌آورند. اگر امکان روشن کردن بویلر باشد، این عملیات را تا رسیدن دمای آب به مقدار مورد نظر ادامه می‌دهند. سپس Inhibitor و اسید را در غلظت تعیین شده به سیکل اضافه می‌کنند (غلظت باید بر اساس میزان و نوع رسوبات تعیین گردد). در طول عملیات در زمان‌های مشخص با نمونه‌گیری، میزان آهن و غلظت اسید باید پایش گردد. غلظت اسید را با اضافه کردن اسید ثابت نگه می‌دارند. این عملیات را تا جایی که میزان آهن رفته‌رفته سیر کاهشی داشته باشد و در جایی که میزان آن بعد از چند نمونه‌گیری ثابت بماند، ادامه می‌دهند. کل سیستم پس از خنک شدن، درین شده و با آب DM شستشو می‌دهند. سپس توسط $Na_2CO_3$، NaOH یا $Na_3PO_4$ عملیات خنثی سازی را انجام داده و با کاهش دمای بویلر، فشار را تا barg 5 کاهش می‌دهند. در نهایت final rinsing را با آب گرم در دمای بین 60 تا 70 درجه سانتی‌گراد انجام می‌دهند.

در استفاده از اسید برای شستشو در هر حالتی باید به میزان گاز هیدروژن تولیدی و نحوه خروج آن در سیستم توجه ویژه شود.

### ۳- Boiler Chelant Cleaning

این روش نسبت به استفاده از اسید راحت‌تر و ایمن‌تر می‌باشد. این روش اصولاً برای حذف رسوبات آهن، رسوبات نمک و رسوبات مس (از طریق اکسید کردن مس توسط تزریق هوا یا مواد شیمیایی نظیر کلرات‌سدیم، پرسولفات آمونیوم و Ammonium EDTA) به‌کار می‌رود.

برای این عملیات دستورالعمل زیر را اجرا کنید:

a ) بویلر را توسط آب DM پر کنید و با روشن کردن آن دمای آب را به 150°C (با توجه به محدودیت دمایی Corrosion Inhibitor) برسانید.

b) Corrosion Inhibitor را به سیستم اضافه کنید.

c) بین 3% تا 6% ماده Chelant به سیستم اضافه نمایید.

d) دمای سیستم را بعد از حدود 2 ساعت گردش از 150°C به 90°C کاهش دهید. این کار را تا زمانی که میزان آهن کاهش یابد و به مقدار ثابتی برسد ادامه دهید.

e) دمای سیستم را تا 70°C کاهش دهید و هوا را به سیستم برای اکسید کردن مس تزریق نمایید. (یون‌های مس معمولاً در آب condensate برگشتی از سایر واحدها بسته به فرآیند آن‌ها وجود دارد که باعث Pitting می‌شود و باید در بازرسی‌های مشخص میزان تشکیل آن و روند زدودن آن توسط تیم بازرسی برنامه‌ریزی گردد).

f) زمانی که مقدار مس تثبیت شد، پس از خنک شدن سیستم، آن را درین نمایید.

g) در نهایت کل سیستم را با آب DM شستشو دهید.

مثال: چه مقدار اسید HCl خالص برای زدودن 70 Kg رسوب $CaCO_3$ مورد نیاز می‌باشد؟

وزن ملکولی $CaCO_3$ برابر 100.09 g/mol و وزن ملکولی HCl برابر 36.47 g/mol می‌باشد.

$$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

مطابق با واکنش فوق، هر 100.09 gr از $CaCO_3$ با 2 x (36.47) = 72.94 gr از HCl واکنش می‌دهد. بنابراین اگر 70 kg رسوب $CaCO_3$ داشته باشیم، میزان اسید مورد نیاز برابر است با:

$$(70 \times 72.94) / 100.09 = 51\ kg\ HCl$$

**۳- ۶- ۳-تست های عملیاتی**

بعد از این‌که تست‌های عمل‌کردی [۱] و کلیه‌ی فعالیت‌های پیش از استارت‌آپ، مانند تست نشتی و... که پیشتر توضیح داده شد، بر روی یک ساب‌سیستم به پایان رسید، برای برخی از ساب‌سیستم‌ها نیاز است‌که تست عملیاتی [۲] روی آن‌ها انجام گیرد.

در واقع تست عملیاتی، تجهیز یا تجهیزات آن ساب‌سیستم را در شرایطی هرچه نزدیک‌تر به شرایط عملیاتی در یک بازه زمانی مشخص مورد بررسی قرار می‌دهد؛ این بررسی‌ها شامل بررسی کنترلرها، کارکرد اتوماتیک توالی عملیاتی (در صورت وجود) و کارکرد نرمال آن‌ها می‌باشد. به‌علاوه این تست‌ها مشخص‌کننده خرابی‌های مکانیکی و الکتریکی از قبیل ارتعاش، گرم شدن بیش از حد و بار بیش از حد و ... نیز می‌باشند.

---

[۱]-Functional Test

[۲]-Operational Test

بنابراین هدف تست عملیاتی اطمینان از آمادگی تجهیز یا تجهیزات یک ساب‌سیستم از لحاظ مکانیکی، ابزاردقیقی و الکتریکالی برای عمل‌کرد نرمال، پیش از ورود خوراک به سیستم می‌باشد. (زمانی که OT با سیال تست برای تجهیزی قابل اجرا نباشد، این عملیات به زمان استارت‌آپ موکول می‌گردد). در واقع مهم‌ترین و اصلی‌ترین بخش فعالیت‌های راه‌اندازی، بخش تست عملیاتی می‌باشد که شامل تهیه دستورالعمل‌های مربوطه، آماده‌سازی و انجام تست و تهیه کلیه وسایل لازم برای این منظور می‌باشد. به‌عنوان یک قانون عمومی، کلیه تجهیزات اصلی یک ساب‌سیستم مانند پمپ‌ها، کمپرسورها، دیزل ژنراتورها و ... و همچنین تعدادی از ساب‌سیستم‌هایی که اگرچه جزء تجهیزات دوار نمی‌باشند، اما برای عمل‌کرد یک واحد صنعتی ضروری می‌باشند؛ مانند سیستم‌های ESD و F&G، سیستم‌های Hydraulic و Deluge ها باید OT گردند.

## مراحل تست عملیاتی:

### ۱- آماده سازی مکانیکی تجهیزات

زمانی که تجهیز یا تجهیزات یک ساب‌سیستم از دید ابزاردقیق، برق و تلکام آماده و تست های عمل‌کردی آن‌ها انجام شده باشد، اولین فعالیت در این زمان، آماده‌سازی تجهیزات دوار از لحاظ مکانیکی می‌باشد که شامل موارد زیر می‌باشد:

- بازرسی چشمی تجهیر و بررسی صحت و تمیزی ظاهری تجهیز
- اطمینان از حذف موارد فیزیکی که به‌جهت Preservation روی تجهیز نصب بوده است. مواد شیمیایی غیر فرار مانند گریس (در صورت استفاده) باید از سیستم پاک شوند. مواد شیمیایی فرار VCI ها[1] نیاز به زدودن ندارند.
- بررسی چرخش آزادانه شفت

[1]-Volatile Corrosion Inhibitor

- بررسی مجدد Alignment (درصورتی که مدت زمان زیادی از آن گذشته باشد و با نظر کارشناسان مربوطه)
- بررسی سیستم روغنکاری و آنالیز روغن سیستم درصورت نیاز و یا حتی نیاز به oil flushing مجدد
- پر کردن موارد مصرفی مانند سیال سیستم Flushing Seal، پر کردن bearinh housing از روغن و یا گریس درصورت نیاز
- بررسی فیلترها و کارتریج‌های روغن
- اطمنان از در سرویس بودن سیستم DGS (در صورت وجود) و بررسی فشارهای سیستم
- اطمینان از فراهم بودن utility های مورد نیاز مانند آب cooling (در صورت نیاز)
- حذف اتصالات موقتی از سیستم مانند jumper های خط oil در زمان oil flushing
- نصب مش 100 در ورودی کمپرسورهای جابجایی مثبت
- تایید تنظیم درست دستگاه‌های محافظ ارتعاش هم از نظر میزان ارتعاش و هم مدت زمان مجاز ارتعاش (برای جزییات به API 670 مراجعه شود)
- استارت سیستم auxiliary و سیستم Oil Mist
- Spring support/hanger ها باید در زمان در سرویس بودن تجهیز و در دمای عملیاتی تنظیم شوند.

**۱- آماده‌سازی کل ساب‌سیستم :**

- صدور مجوز انجام کار (PTW)
- پر کردن سیستم مورد نظر از سیال تست
- نصب jumper و blind درصورت لزوم
- اطمینان از برقراری مدارها و حلقه‌های کنترلی ابزاردقیق

- انجام CSC/CSO ولوها مطابق با برنامه فرآیند و P&ID
- اطمینان از در سرویس بودن همه سرویس‌های utility
- اطمینان از در سرویس بودن تجهیزات ایمنی نظیر safety shower و سیستم deluge
- فشارگیری سیستم توسط گاز بی اثر (نیتروژن) درصورت لزوم

## ۲- استارت‌آپ اولیه و رفع اشکال (Debugging و Tuning)

در این مرحله با شروع عملیات تجهیز یا تجهیزات یک ساب‌سیستم، بررسی‌های مکانیکی و ابزاردقیق و الکتریکی به‌درستی انجام و رفع اشکال می‌گردد. از موارد مهمی که در این مرحله باید مد نظر قرار بگیرند بررسی Sequence ها، Interlock ها و سیستم‌های کمکی می‌باشد. سایر موارد قابل بررسی عبارت است از:

- نحوه start/stop نرمال sequence
- بررسی سیستم های ESD [۱]
- بررسی سیستم های EDP [۲]
- بررسی سیستم های F&G
- استارت سرد و گرم موتورهای الکتریکی و پایش دمای بیرینگ ها و سیم پیچ
- بررسی Actuator ولوها و فرمان‌پذیری آن‌ها در حلقه‌های کنترلی
- بررسی تجهیزات در هر دو حالت Remote و Local
- بررسی سیستم‌ها در هر دو حالت Duty و Stand-by
- بررسی کارکرد سیستم‌های auxiliary

[۱]-Emergency Shutdown

[۲]-Emergency De-Pressurization

- هماهنگ‌سازی توالی فرآیند
- بررسی کنترلرهای پارامترهای عملیاتی از قبیل دما، فشار و ...
- بررسی Load Sharing برای ژنراتورها و کمپرسورها
- بررسی Anti-Surge کمپرسورها
- بررسی Noise، ارتعاش، دما، فشار و ... تجهیزات دوار
- بررسی دمای محفظه احتراق و سیستم exhaust در صورت وجود
- بررسی نشتی‌های احتمالی در سیستم و تجهیز (نشتی سیستم آب‌بند)
- بررسی ارتعاش لوله‌ها
- بررسی strainer ها و فیلترها
- بررسی میزان مواد شیمیایی مصرفی
- انجام Hot Alignment درصورت لزوم
- بررسی عمل‌کرد تجهیز و یا سیستم و مقایسه با عمل‌کرد مورد انتظار
- بررسی Interlock ها و سیستم‌های shutdown تجهیز (برای تجهیزات دوار مهم مانند Turbo Compressor ها اعمال این‌گونه Shutdown های متعدد ابداً پیشنهاد نمی‌شود؛ چرا که طول عمر مفید تجهیز را به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین در این‌گونه موارد برای تست عمل‌کرد آیتم‌های اعمال‌کننده تریپ روی تجهیزات، تأثیر تریپ روی تجهیز را Bypass می‌کنند تا فقط عمل‌کرد آن تست شود و عملاً روی تجهیز Shutdown اعمال نشود مگر برای آیتم‌های کلیدی)

### ۳- ۶- ۳- ۱- OT سیستم‌های ESD و F&G

سیستم‌های ESD و F&G از لحاظ تکنیکی به سه دسته Input Loops، Logic Unit (PLC/Relay) و Output Loops تقسیم می‌شوند. همچنین حالت‌های پیکربندی این سیستم‌ها به سه صورت زیر می‌باشد:

۱- Master/Slave

۲- Coincident

۳- Two out of Three

سیستم‌های ESD طوری طراحی شده‌اند که اثرات آن‌ها سلسله‌وار می‌باشد؛ سلسله ارتباطات بین ESD های مختلف را می‌توان در مدرکی به نام Hierarchy مشاهده کرد. فرض کنید بالاترین سطح ESD که مربوط به Plant Shutdown می‌باشد با Level-1 نام‌گذاری شود؛ بنابراین هریک از Level های 2 و 3 و 4 نسبت به سطح بالاتر، روی تجهیزات کمتری تأثیر می‌گذارند.

در زمان تست عمل‌کردی، کلیه‌ی تست‌های مربوط به Input و Output و System Logic تست می‌شوند. اما OT سیستم‌های ESD و F&G شامل تست کل سیستم از Input Element ها مثل Transmitter ها، Detector ها، Pushbutton ها و ... گرفته تا تجهیزات فرمان‌پذیر آن‌ها از جمله ولوهای ESD، ولوهای Blow down و ... می‌باشند.

#### a) سیستم های ESD

سطح Shutdown کلیه ESD ها با شروع از پایین‌ترین سطح تا بالاترین سطح تست می‌شود. از بین همه ورودی‌هایی که تأثیر مشخصی روی سیستم Logic مربوط به ESD می‌گذارد، یک ورودی به‌طور تصادفی انتخاب و Shutdown را بررسی می‌کنند؛ بدین صورت Output های مورد انتظار از سیستم تأیید و از عمل‌کرد سیستم مطابق با داده های ورودی اطمینان حاصل می‌شود. سایر داده‌ها بدون این‌که داده‌های تست قبلی را

روی تجهیزات Reset کند، به‌صورت سیستمی تست می‌شوند. بدین صورت از فعال شدن سطوح Shutdown پایین‌تر، از طریق سطوح Shutdown بالاتر اطمینان حاصل می‌شود. تست همه سیستم‌های ESD پیش از استارت‌آپ مربوط به Plant باید انجام شود؛ بنابراین بررسی عمل‌کرد سیستم‌های ESD روی تجهیزات خاموش امکان‌پذیر نیست (مانند موتورهای الکتریکی). در این حالت از عمل‌کرد آیتم فعال‌کننده سیستم ESD آن تجهیز و یا تریپ تجهیز اطمینان حاصل می‌کنند. (مانند رله Trip دهنده موتورهای برقی). برخی از تست‌های ESD نیز در زمان بهره‌برداری تست می‌شوند. مدرک مرجع برای انجام تست ESD، ماتریکس Logic Diagram می‌باشد.

**b) سیستم های F&G**

تست OT مربوط به سیستم‌های F&G نیز مانند سیستم‌های ESD می‌باشد؛ ولی در این سیستم‌ها مدار منطقی مربوط به موارد زیر بررسی می‌شود:

۱- Detector ها: در یک حلقه فقط یک Detector به‌صورت تصادفی انتخاب و دامنه‌ی عملیاتی را روی آن اعمال می‌کنند و به‌صورت واقعی تست می‌شود و مابقی Detector های آن حلقه به همان ترتیب در فضای شبیه‌سازی شده تست می‌شوند.

۲- CO2: فقط عمل‌کرد آخرین سلنوییدِ ولو چسبیده به کپسول $CO_2$ را در حالی‌که کپسول جدا شده است، تست می‌کنند.

۳- Deluge valves: بعد از تأمین و توزیع مناسب فشار در خطوط آب آتش‌نشانی این تست انجام می‌شود و مدرک مرجع آن F&G Matrix Logic Diagram می‌باشد.

۴- Dehydration: برای سیستم هایی که با refrigerant ها در ارتباط می‌باشند، برای تنظیم نقطه‌ی شبنم و از طریق پمپ‌های خلاء صورت می‌گیرد. (در بخش Dry-Out انواع روش‌ها توضیح داده شد)

### ۳- ۶- ۴- بررسی های عملیاتی:

در این قسمت سعی شده است تا مواردی از نکات عملیاتی برای آن دسته از آیتم‌هایی که در موارد فوق نمی‌گنجیدند، توضیح داده شوند.

### ۳- ۶- ۴- ۱- خط لوله:

در پروژه‌ها مدرکی وجود دارد به نام PMC [۱] و یا PMS [۲] که اطلاعات فنی متریال لوله ها، اتصالات، فلنج‌ها، گسکت‌ها، پیچ و مهره‌ها، شیرها و همه اجزای Piping استفاده شده در plant را در اختیار کاربر قرار می‌دهند. Pipe Class در واقع نشان‌دهنده میزان استحکام لوله می‌باشد. استحکام لازم بسته به فشار و دمای عملیاتی می‌باشد و بر اساس Pound Pressure بیان می‌گردد.

شماره‌گذاری کلاس خط با یک حرف بزرگ شروع می‌شود (نشان‌دهنده ASME Flange Rating) و بعد از آن یک عدد دو رقمی (نشان‌دهنده ماده اصلی استفاده شده در ترکیب ساخت لوله) می‌باشد.

به عنوان مثال داریم: B01N که در آن B نمایانگر متریال Carbon Steel، 01 پسوند اختیاری و N نمایانگر Flange Rating #150 می‌باشند.

رابطه بین حروف و Rating مطابق با جدول زیر می‌باشد:

| **Rating** | 125 | 150 | 250 | 300 | 400 | 600 | 900 | 1500 | 2500 | Tracing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Letter** | A | B | C | D | E | F | G | H | J | Y |

نکته این‌که #400 , #250 , #125 Rating معمولاً استفاده نمی‌شوند..

[۱]-Piping Material Class

[۲]-Piping Material Specification

رابطه‌ی بین اعداد و نوع متریال به ترتیب زیر می‌باشد:

۱- 01 تا 30 معرف Carbon Steel می‌باشد. (ارقام "X"1 تا "X"6 میزان مجاز خوردگی برای carbon steel ها می‌باشد)
۲- 31 تا 45 معرف Alloy Steel می‌باشد.
۳- 46 تا 70 معرف Stainless Steel می‌باشد.
۴- 71 تا 85 معرف آلیاژهای ویژه مانند Monel، Hastelloy و ... می‌باشد.
۵- 89 تا 99 مربوط به متریال‌های دیگر از جمله Cast-Iron، Copper Alloy، GRP و ... می‌باشد.

پسوندهای اختیاری که استفاده می‌شود به ترتیب زیر می‌باشد:

D = Jacketed Piping
R = Refrigerated Piping
S = Sour Wet Service (SSCC and HIC)
T = High Temperature Service
N = Sour Wet Service (SSCC only)
P = Indicates pipeline classes derived from the present document but entirely governed by a pipeline code and not complying with the ASME B31.3 code.

W = Sea Water
X = Special requirements or Material (Cooling Sea Water)
L = Specific Pipe Class from Licensor

- Pipe Grade:

نشان‌دهنده قدرت مواد سازنده لوله می‌باشد. برای مثال Grade B جزء لوله‌های فولادی ضعیف می‌باشد و یا Grade X-60 با استرس عمل‌کرد $60,000\ lb/in^2$ است.

**• نحوه‌ی محاسبه افت‌فشار در یک سیستم مستقیم و تک‌فازی:**

برای محاسبه‌ی افت‌فشار در یک سیستم با جریان تک‌فازی از قانون Darcy استفاده می‌شود. اگرچه این قانون برای محاسبه افت‌فشار ناشی از اصطکاک لوله‌ها کاربرد دارد، اما به واقع با استفاده از مفهوم طول معادل ($L_{eq}$) برای سایر اتصالات و ولوها در این فرمول، می‌توان کل افت فشار سیستم را به‌جهت اصطکاک محاسبه کرد. دو فرم معمول این قانون به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\triangle P_f = 3.36.[\ (f.L_{eq}.W^2)\ /\rho.d^5]$$

یا

$$\triangle P_f = 2.16 \times 10^{-4}.[\ (\rho\ f.L_{eq}.Q^2)\ /d^5]$$

$\triangle P_f$ = افت فشار به‌دلیل اصطکاک پوسته لوله، ولو و اتصالات (psi)

f = ضریب اصطکاک Darcy

$L_{eq}$ = طول کل معادل (طول لوله + طول معادل ولوها و اتصالات) برای قطرهای کوچک (ft)

$\rho$ = دانسیته سیال (lb/ft3)

W = دبی سیال، 1000 lb/hr

Q = نرخ حجمی سیال (gpm)

d = اندازه قطر داخلی لوله (in)

مثال: فرض کنید پمپی سیالی با دانسیته 33 $lb_m/ft^3$ و ویسکوزیته 0.55 cP را با نرخ جرمی 118,000 $lb_m/hr$ از نقطه A به نقطه B پمپ می‌نماید. اگر مجموع طول لوله‌های بین نقاط A و B را 500 ft لوله 4 in با Schedule 40 در نظر بگیریم و در این مسیر یک ولو یک‌طرفه، یک ولو دروازه‌ای و تعداد 10 عدد elbow 90° نصب شده باشد، افت فشار این سیستم را محاسبه نمایید.

با استفاده از قانون Darcy داریم:

$$\triangle P_f = 3.36.\ (f.L_{eq}.W^2) / \rho.d^5$$

با توجه به استاندارد لوله‌ها (پیوست ر) قطر داخلی لوله 4 اینچی با schedule 40 برابر 4.026 in می‌باشد؛ بنابراین برای عدد رینولدز داریم:

$$Re = 6310\ (W/d\mu)$$

ویسکوزیته سیال=$\mu$

$$Re = 6310 \times 118/(4.026 \times 0.55) = 3.36 \times 10^5$$

سپس از طریق Moody Diagram (پیوست ب) و با در نظر گرفتن Surface Rougness به مقدار 0.00017 ft، Friction Factor را تعیین می‌نماییم:

$$\varepsilon = 0.00017 \text{ ft}$$

$$\text{Relative Rougness, } \varepsilon /D = 0.00017 / (4.026 \text{ in}/12 \text{ in/ft}) = 0.00051$$

در نتیجه از دیاگرام moody داریم:

$$f = 0.018$$

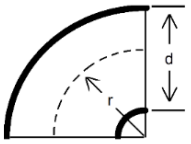
در این‌جا طول معادل ولوها و اتصالات را محاسبه می‌نماییم:

Representative Resistance Coefficients for Valves and Fittings

| Valve or Fitting | K Resistance Coefficient |
|---|---|
| Gate Valve (full open wedge, disc, double disc, plug disc) | 8 $f_T$ |
| Globe Valve (full open plug type seat) | 340 $f_T$ |
| Swing Check | 100 $f_T$ |
| Butterfly Valves | |
| 2 in. to 8 in. | 45 $f_T$ |
| 10 in. to 14 in. | 35 $f_T$ |
| 16 in. to 24 in. | 25 $f_T$ |

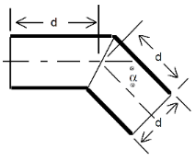
90° Pipe Bends and Flanged or Buttwelded 90° elbows

(Standard underlined)




| r/d | K | r/d | K |
|---|---|---|---|
| 1 | 20 $f_T$ | 8 | 24 $f_T$ |
| 1.5 | 14 $f_T$ | 10 | 30 $f_T$ |
| 2 | 12 $f_T$ | 12 | 34 $f_T$ |
| 3 | 12 $f_T$ | 14 | 38 $f_T$ |
| 4 | 14 $f_T$ | 16 | 42 $f_T$ |
| 6 | 17 $f_T$ | 20 | 50 $f_T$ |

Miter Bends




| α | K |
|---|---|
| 0° | 2 $f_T$ |
| 15° | 4 $f_T$ |
| 30° | 8 $f_T$ |
| 45° | 15 $f_T$ |
| 60° | 25 $f_T$ |
| 75° | 40 $f_T$ |
| 90° | 60 $f_T$ |

| | |
|---|---|
| Standard Tees | |
| Flow through Branch | 60 $f_T$ |
| Flow through Run | 20 $f_T$ |
| Pipe Exit | 1.0 |
| Pipe Entrance (sharp edged) | 0.5 |

شکل ۳-۶۱ Resistance Coefficient for Valves and Fittings

جدول ۳-۹ Friction Factor لوله‌ها

Pipe Friction Data for Clean Commerical Steel Pipe
With Flow in Zone of Complete Turbulence

| Nominal Size | 1/2 in | 3/4 in | 1 in | 1 1/4 in | 1 1/2 in | 2 in | 2 1/2, 3 in | 4 in | 5 in | 6 in | 8-10 in | 12-16 in | 18-24 in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Friction Factor($f_T$) | 0.027 | 0.025 | 0.023 | 0.022 | 0.021 | 0.019 | 0.018 | 0.017 | 0.016 | 0.015 | 0.014 | 0.013 | 0.012 |

از جدول ۳-۹ و شکل ۳-۶۱ داریم:

$$fT = 0.017$$

Check Valve: $K = 100\ fT = 100 \times 0.017 = 1.7$

Gate Valve: $K = 8\ fT = 8 \times 0.017 = 0.14$

10-90° elbow (r/d = 1.5): $K = 10 \times 14\ fT = 10 \times 14 \times 0.017 = 2.38$

Total K = 4.22

در نتیجه برای طول معادل داریم:

$$Leq = KD/f$$

$$Leq = (4.22 \times 4.026) / (0.018 \times 12) = 78.6\ ft$$

طول معادل کل برابر است با:

$$Total\ Leq = 500 + 78.6 = 578.6$$

با جای‌گذاری اعداد به‌دست آمده در فرمول Darcy داریم:

$$\Delta P_f = 3.36 \times [(0.018 \times 578.6 \times (118)2) / (33 \times (4.026)5)] = 13.96\ psi$$

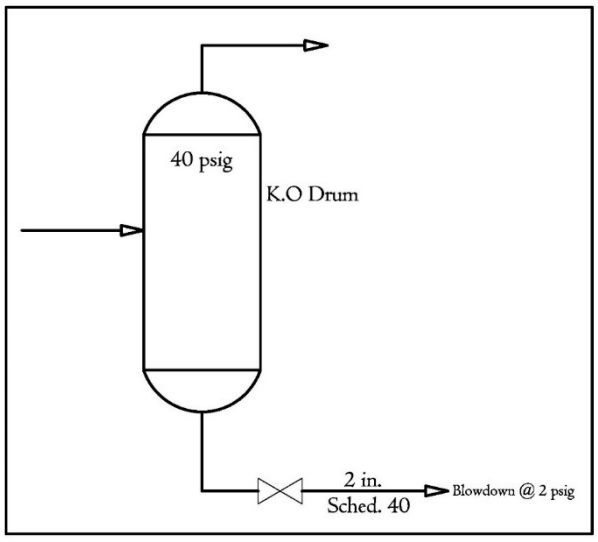
در ادامه با توجه به این‌که در خیلی از موقعیت‌ها دانستن میزان دبی عبوری از یک سیستم برای یک بهره‌بردار ضروری می‌باشد، شکل دیگری از فرمول Darcy ارائه شده است:

$$W = 0.548\sqrt{\frac{\rho d^5 \Delta P_f}{f L_{eq}}}$$

یا

$$Q = 68\sqrt{\frac{\Delta P_f d^5}{\rho f L_{eq}}}$$

مثال: مطابق با شکل ۳-۶۲، می‌خواهیم بررسی کنیم آیا ولو درین قادر به تخلیه مایع جمع شده در Knockout Drum در مدت زمان قابل قبول می‌باشد؟




شکل ۳-۶۲ بررسی قابلیت درین ولو

برای حل این مسئله از آن‌جا که جریان نامشخص می‌باشد، باید ابتدا جریان را به‌طور کامل مغشوش در نظر بگیریم ($f_T = f$)؛ سپس باید عدد Re را برای درستی فرض مقدار f حساب کنیم. معمولاً با یک یا دوبار تکرار محاسبات به نتیجه درست می‌رسیم.

مفروضات و داده‌های مسئله :

$\Delta Pf = 28$ psi
Density = 45 lbm/ft3
Viscosity = 0.2 cP
Pipe Length = 1500 ft
Total resistance Coefficient (for Fittings) , K = 9.7
Pipe Inside Dia. = 2.067 in.

از جدول ۳-۹ و شکل ۳-۶۱ برای خط 2 in داریم:

$$fT = f = 0.019$$

$$e/D = 0.00017 / (2.026 \text{ in}/12 \text{ in/ft}) = 0.00099$$
$$Leq = KD/f = (9.7 \times 2.067) / (0.019 \times 12) = 88 \text{ ft}$$
$$\text{Total Leq} = 88 + 1500 = 1588 \text{ ft}$$

$$Q = 60 \text{ gpm}$$

بررسی عدد رینولدز و Friction Factor:

$$Re = 50.6 (Q\ r/d\ m)$$

$$Re = (50.6 \times 60 \times 45) / (2.067 \times 0.2) = 330480$$

از طریق دیاگرام Moody: $f = 0.021$

با توجه به f به‌دست آمده، مقدار $L_{eq}$ را مجدداً محاسبه می‌نماییم:

$$Leq = KD/f = (9.7 \times 2.067) / (0.021 \times 12) = 80 \text{ ft}$$

$$\text{Total } L_{eq} = 80 + 1500 = 1580 \text{ ft}$$

با محاسبه مجدد مقدار Q داریم:

$$Q = 57.2 \text{ gpm}$$

محاسبات را تا جایی که Friction Factor مفروض با Friction Factor در نرخ جریان محاسبه شده برابر یا نزدیک گردد ادامه می‌دهیم. در مثال فوق به‌دلیل نزدیکی $f = 0.019$ و $f = 0.021$ ادامه محاسبات لازم نمی‌باشد.

برای محاسبه ظرفیت یک لوله برای انتقال گاز از فرمول Weymouth استفاده می‌کنیم:

$$Q = 1.06507 \times D\text{^}2.667\left(\frac{P1^2 - P2^2}{TSL}\right)\text{^}0.5$$

Q: نرخ جریان حجمی در شرایط استاندارد (Sm3/day)

D: قطر داخلی لوله (mm)

T: میانگین دمای گاز (K)

S: وزن مخصوص گاز نسبت به هوا (بی‌بعد)

L: طول خط لوله (Km)

P1: فشار گاز در ورودی خط لوله (Bara)

P2: فشار گاز در خروجی خط لوله (Bara)

در معادله فوق،کلیه ضرایب فشردگی[1] برابر یک (1) قرار داده شده است‌که یک ساده‌سازی برای یک گاز پرفشار است.

در یک فرض مشابه مفروضات بالا اما برای خطوط لوله بسیار طولانی، برای محاسبه‌ی ظرفیت انتقال گاز یک خط لوله از رابطه Panhandle استفاده می‌شود:

$$Qs = 3.18073 \times D\text{^}2.53 \left( \frac{P1^2 - P2^2}{(ZTSL)^{0.960}} \right)^{0.510} E$$

Qs: نرخ جریان حجمی در شرایط استاندارد (Sm3/day)

D: قطر داخلی لوله (mm)

T: میانگین دمای گاز (°K)

S: وزن مخصوص گاز نسبت به هوا (بی بعد)

L: طول خط لوله (Km)

P1: فشار گاز در ورودی خط لوله (Bara)

P2: فشار گاز در خروجی خط لوله (Bara)

E: بازده خط لوله (بی بعد)

Z: ضریب فشردگی گاز در شرایط میانگین حمل و نقل

پیشنهاد می شود محاسبه‌ی خصوصیات متوسط مربوط به گاز را در فشار متوسط به طریق زیر به‌دست آورید:

$$Pm = 2/3(\frac{P1^3 - P2^3}{P1^2 - P2^2})$$

[1]-Compressibility Coeficient

### ○ راه اندازی خطوط لوله

برای آن دسته از خطوط لوله که طولانی می‌باشند، مانند Sea Line، برای تمیزکاری و فلاشینگ خط از هوای خشک و Foam Pig استفاده می‌شود. در وهله‌ی اول با استفاده از Low Density Polyurethane Foam Pig با هوای خشکی که دمای نقطه‌ی شبنم 68- درجه سانتی‌گراد در فشار اتمسفریک دارد اقدام به خشک کردن خط می‌کنند. Pig سبب خروج آب می‌شود و همچنین هوای خشک پشت Pig نیز آب باقیمانده در خط را جذب و از انتهای خط لوله خارج می‌کند. این عملیات را تا جایی ادامه می‌دهند که Pig دریافتی کاملاً خشک باشد.

مرحله بعد حذف زنگ آهن، رسوبات به‌وجود آمده در دوره ساخت و نصب خط لوله و هرگونه آلودگی به‌جا مانده که به سبب تست Hydrostatic تشکیل شده است می‌باشد. این عملیات این بار توسط یک Pig که دارای برس‌های فولادی است ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که دیگر هیچ ماده‌ای در لابه‌لای برس گیر نکرده باشد.

برای خطوط فراساحل نیز Vacuum drying به‌صورت جدی پیشنهاد می‌شود. اساس کار بر مبنای تغییر نقطه‌ی جوش آب با فشار می باشد.کاهش فشار خط لوله به زیر فشار اتمسفریک، باعث رسیدن ذرات باقیمانده آب به نقطه جوششان می‌شود و در نهایت آب باقیمانده در این شرایط به شکل بخار از خط لوله خارج می‌شود. این عملیات تا زمانی که به نقطه‌ی شبنم مورد نظر برسیم ادامه می‌یابد. این روش از لحاظ اقتصادی گران و برای خطوط لوله طولانی بسیار زمان‌بر می‌باشد اما عموماً این روش می‌تواند منجر به کسب نتایج رضایت‌بخش شود. به‌هرحال همانند سایر تجهیزات، راه‌اندازی خطوط لوله نیز باید بر اساس اولویت‌های نصب و ساخت، پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی مورد بهره‌برداری واقع شوند. بدین منظور بعد از تکمیل بخش قابل توجهی از فعالیت‌های ساخت، فاز پیش راه‌اندازی با هدف اطمینان از تکمیل مکانیکی خط بر اساس مشخصات پروژه و اصول ایمنی آغاز می‌گردد. در فاز پیش راه‌اندازی، بر اساس آن‌چه پیشتر در فصل ۲ عنوان شد، فعالیت‌های مهم شامل موارد زیر می باشند:

۱- بررسی انطباق (Conformity Check): بر روی هر یک از تجهیزات خط لوله و یا اجزاء آن مانند ابزار اندازه‌گیری، کابل‌ها، ولوها و ... به منظور بررسی چشمی شرایط تجهیزات، کیفیت نصب، انطباق با نقشه‌ها، مشخصات پروژه، دستورالعمل‌های شرکت سازنده تجهیز، کدها و استانداردها و موارد ایمنی می‌باشد. در واقع لزوم تایید موارد زیر در این مرحله الزامی می‌باشد:

- تایید اتمام مکانیکی خط لوله از لحاظ جانمایی لوله‌ها، جوش‌ها، اتصالات و ساپورت‌ها
- تایید اتمام کلیه تست‌های دوره ساخت اعم از رادیوگرافی جوش، هیدروتست و یا تست نیوماتیک و همچنین بررسی مستندات مربوط به این تست‌ها
- تایید نصب تجهیزات الکتریکی و کنترلی و بررسی مستندات آن‌ها
- تایید اتمام سیستم‌های حفاظت کاتدیک و کارکرد آن‌ها و همچنین بررسی مستندات مربوط
- مشخص کردن و جداسازی خطوط لوله پر فشار بر روی زمین

۲- تست سرد تجهیزات (Cold Test): این تست‌ها بیشتر مربوط به تجهیزات ابزاردقیق می‌باشد که شامل کالیبره کردن، تنظیم ولوهای ایمنی، تست فشار تیوپ‌های ابزاردقیق و تست پیوستگی کابل‌ها می‌باشد.

۳- تایید اتمام De-Watering و Drying خط لوله بعد از عملیات هیدروتست، Flushing و Pigging مطابق با مشخصات پروژه و دستورالعمل‌های تایید شده. (اغلب برای خطوط لوله، عملیات Flushing بعد از عملیات هیدروتست و با همان سیال تست انجام می‌گیرد).

در نهایت مجموعه کاملی از مستندات، نقشه‌ها و داده‌های فنی زیر باید تهیه و در اختیار گروه راه‌انداز قرار گیرد:

۱- نقشه‌های As-Built و اطلاعات فنی راجع به جانمایی لوله و موقعیت vent ها ، سایز، ضخامت دیواره و گرید لوله‌ها و همچنین داده‌های فنی در مورد متریال ساخت لوله، اتصالات و ولوها و ...

۲- Rout Map: نقشه‌های مسیریابی می‌باشند که مشخص کننده مسیر خطوط، عمق خط، مسیرهای دسترسی به ولوها و موقعیت ایستگاه‌های پرفشار، ایستگاه‌های Scraper، یک‌سو کننده‌های حفاظت کاتدیک و پست‌های metering می‌باشد.

۳- مدارک وندوری تجهیزات اعم از دستورالعمل‌های نصب، بهره‌برداری و تعمیرات

۴- مستندات QC مربوط به تست‌های فاز ساخت و پیش راه‌اندازی و همچنین دستورالعمل‌های اضطراری و برنامه‌های عملیاتی.

- **حفظ و نگهداری خط لوله (Preservation)**

یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین مراحل Preservation، حفظ و نگهداری خط لوله بعد از فعالیت‌های پیش راه‌اندازی می‌باشد. برای حفاظت خط لوله بعد از فعالیت‌های پیش راه-اندازی تا دوره راه‌اندازی و در سرویس قرار دادن خط، دو نوع عملیات زیر انجام پذیر می‌باشد:

۱- preservation با هوای خشک: اگر بنا بر راه‌اندازی و در سرویس قرار دادن خط، با فاصله زیاد بعد از اتمام فعالیت‌های پیش راه‌اندازی باشد، (عموما بیشتر از چهار ماه) بهتر است preservation با هوای خشک انجام گیرد. معیارهای استفتاده از هوای خشک جهت preservation به شرح زیر می‌باشد:

- دمای نقطه شبنم هوا باید کمتر یا مساوی 20- درجه سانتی‌گراد در فشار اتمسفریک باشد

- فشارگیری خط توسط هوای خشک باید 1 barg باشد و در این حالت نقطه شبنم هوا در زمان‌های منظم باید پایش گردد. در این حالت میزان قابل قبول دمای شبنم کمتر و یا مساوی 10- درجه سانتی‌گراد در فشار 1 barg می‌باشد.

۲- Preservation با نیتروژن: اگر بنا بر حفظ خط با نیتروژن باشد، معیارهای استفاده از نیتروژن برای این منظور به شرح زیر می‌باشد:

- Inerting خط تا رسیدن به درصد نیتروژن 98%
- حداقل فشار خط باید 2 barg باشد و فشار باید در دوره‌های زمانی مشخص پایش گردد.

پیش از وارد شدن به فاز راه‌اندازی خطوط لوله، موارد زیر باید توسط گروه راه‌انداز، بررسی و تهیه گردند:

۱- بررسی وجود وسائل اطفاء حریق و در صورت لزوم ماشین‌های آتش نشانی

۲- تهیه Punch و بررسی مدارک مربوط به فعالیت‌های پیش راه‌اندازی وساخت در صورت لزوم

۳- تعیین و محاسبه میزان گاز (گاز بی اثر) مورد نیاز برای عملیات purging و یا inerting (در صورت نیاز) و مراحل فشارگیری خط توسط سیال فرآیندی و فشار هر مرحله

۴- بررسی مسیر(های) فرار و اطمینان از تمیزی و آزاد بودن آن(ها)

۵- اطمینان از قابلیت کارکرد سیستم‌های F&G و ESD

- فعالیت‌های راه‌اندازی خط لوله

برای توضیح فعالیت‌های این فاز، خط لوله را در دو حالت Dry و Wet بررسی می‌کنیم.

۱- راه اندازی خطوط لوله Dry: در این فاز عمده فعالیت انجام Leak Test و Inerting می‌باشد. Leak Test مطابق با دستورالعمل ارائه شده توسط گروه راه‌انداز و بر اساس آن‌چه پیشتر توضیح داده شد انجام می‌گیرد. پس از انجام Leak Test، Inerting با نیتروژن به عنوان سیال Leak Test انجام می‌پذیرد. (دقت شود خطوط لوله مورد بحث، خطوط با سرویس‌های هیدروکربنی می‌باشد). Inerting را در فشار 0.5 barg خط و یا کمتر، از نقاط مشخص اندازه گرفته و در صورتی که در سه بار اندازه‌گیری (توسط دو دستگاه اندازه‌گیر مختلف)، میزان نیتروژن موجود در خط 98% بود، مورد قبول می‌باشد. سرعت Inerting باید حدودا بین 3-7 m/s باشد تا نتیجه مطلوب به سرعت حاصل گردد.

۲- راه‌اندازی خطوط لوله Wet: در این فاز قبل از انجام Inerting و پیش از معرفی سیال فرآیندی به خط، در صورت لزوم و با توجه به نوع سرویس (ترکیب درصد هیدروکربن‌های سیال)، لازم است خط لوله از رطوبت و آب عاری گردد. عملیات Drying، خصوصا برای سرویس‌های گاز، به‌جهت این‌که در فشار و دمای خاص گاز، رطوبت باعث تشکیل هیدرات می‌گردد، ضروری می‌باشد. دامنه فشار و دمایی که در آن هیدرات‌ها تشکیل می‌شوند، حدودا 6 barg و 0 در جه سانتی‌گراد می‌باشد و تجزیه هیدرات‌های گازی با افزایش دما یا کاهش فشار تسریع می‌شود. معمولا برای خشک کردن خطوط لوله از روش‌های زیر استفاده می شود:

۱- Drying با هوای خشک
۲- جذب آب های باقیمانده توسط متانول (استفاده از Foam Pig)
۳- حذف آب های باقیمانده توسط Vacuum Pig برای خطوط لوله زیر دریایی و استفاده از گازهای خنثی برای لوله هایی که قابل رویت و روی زمین باشند.

### ۳- ۶- ۴- ۲- تله‌ی بخار[1]

تله‌ی بخار را می‌توان یک نوع ولو اتوماتیک به‌حساب آورد که به Condensate، هوا و سایر گازهای غیر قابل تراکم اجازه خروج می‌دهد؛ در حالی‌که بخار را در سیستم نگه داشته و به دام می‌اندازد.

برای هر سیستم بخاری که بخواهد به‌طور دقیق عمل کند، باید گازهای غیر قابل تراکم مانند $CO_2$ و هوا و Condensate از آن خارج شود. این وظیفه به عهده‌ی تله‌ی بخار می‌باشد.

هوا در همه خطوط بخار، مخصوصاً قبل از استارت‌آپ، زمانی که سیستم هنوز سرد است وجود دارد. هوای موجود در این سیستم، هم مانع ورود بخار به سیستم می‌شود و هم این‌که هوا یک عایق برای انتقال حرارت محسوب می‌شود و انتظارات فرآیندی که باید از میزان حرارت یک سیستم بخار داشت را نمی‌تواند مرتفع نماید. حتی در زمان عمل‌کرد نرمال هم از طریق سیستم Feed Water، Vacuum Breaker ها و Air Vent ها وارد سیستم بخار می‌شود. بنابراین لزوم حذف این هوا در سیستم بخار از اهمیت بالایی برخوردار است.

از طرف دیگر، گازهای غیر قابل تراکم مثل $CO_2$ در سیستم بخار، علاوه بر ممانعت از ورود بخار و توزیع مناسب بخار در خط لوله و همچنین کاهش سطح انتقال حرارت، باعث خوردگی نیز می‌شود.

ظرفیت یک تله‌ی بخار به سایز اورفیس و اختلاف فشار در طول تله‌ی بخار بستگی دارد. بنابراین با تغییر هریک از این دو مشخصه، ظرفیت تله‌ی بخار نیز تغییر می‌کند. از طرفی هدف ما در طراحی تله‌ی بخار این است‌که حداکثر Condensate را از خود عبور بدهد و حداقل اختلاف فشار را ایجاد کند. تله‌های بخار بر اساس نوع عمل‌کردشان جهت حذف هوا، Condensate و گازهای غیرقابل‌تراکم، به سه دسته Thermodynamic، Density و Thermostatic تقسیم‌بندی می‌شوند.

[1]-Steam Trap

Thermostatic Traps:

اساس کار این نوع تله‌های بخار، اختلاف دمای سیالاتی است‌که وارد آن‌ها می‌شوند. این تله‌های بخار به گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای سیال سرد (میعانات سرد و هوا) باز و برای سیال گرم (بخار و میعانات گرم) بسته می‌شوند و مانع از خروج بخار از سیستم می‌شود.

این نوع تله‌های بخار بر اساس دما به سه گونه Expansion، Balanced Pressure و Bi-Metal تقسیم می شوند:

Expansion:

شامل المان‌هایی می‌باشند که توسط موادی منبسط شوند[1]پر شده‌اند. این مواد در حضور گرما تبخیر نمی‌شوند، بلکه افزایش حجم آن‌ها در اثر گرما باعث فعال شدن ولو می‌شود. مواد منبسط شونده نوعی واکس مخصوص می‌باشد که در حالت سرد به حالت سفت و در حضور گرما منبسط می‌شوند. غیر از واکس مایعی با پایه نفتی نیز وجود دارد که در سرما، مایع و در حضور گرما منبسط می‌شود.

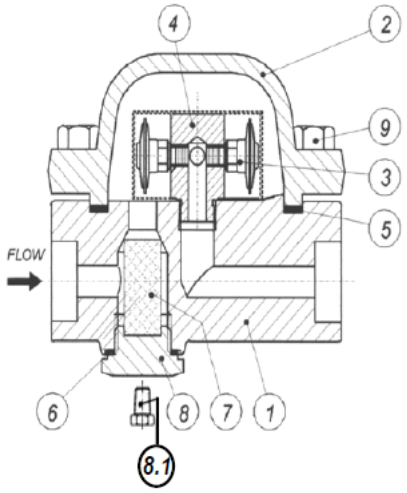
Balanced Pressure:

این نوع تله‌های بخار شامل المان‌هایی می‌باشند که با ترکیبی از آب و نوعی الکل معدنی پر شده‌اند که در مجاورت بخار، تبخیر شده و در حالت سرد به شکل مایع می‌باشند. این نوع تله‌های بخار براساس شکل و نوع المان به ۵ دسته زیر تقسیم می‌شوند:

Drum یا Barrel، Spiral Belows، Edge-Welded، Encapsulated Belows، Encapsulated Diaphragm

در شکل ۳-۶۳ یک نمونه از تله‌های بخار نوع Balanced Pressure برای آگاهی بهتر شما تشریح شده است:

[1]-Expandable




شکل ۳-۶۳ اجزاء تله بخار نوع Balanced Pressure

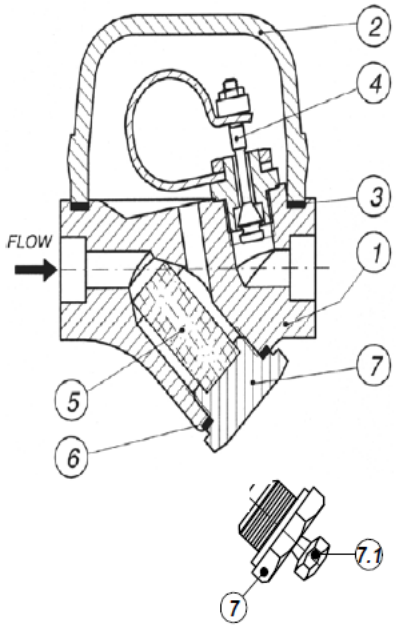
جدول ۳-۱۰ اجزاء تله بخار نوع Balanced Pressure

| POS. | Description |
|---|---|
| 1 | Body |
| 2 | Cover |
| 3 | Valve Assembly |
| 4 | Support |
| 5 | Cover Gasket |
| 6 | Gasket |
| 7 | Screen |
| 8 | Plug |
| 8.1 | Drain Plug |
| 9 | Bolts |
| 10 | Flange |

:Bi-Metal

المان‌های این تله‌ی بخار نوارهای فلزی با دو جنس متفاوت می‌باشند؛ تغییرات دما سبب انحراف جهت یکی از آن‌ها شده که باعث فعال کردن ولو تله‌ی بخار می‌شود. این نوع تله های بخار بر اساس شکل و نوع فلزهای به‌کار رفته در آن‌ها به ۴ دسته زیر تقسیم می‌شوند:

Single Strip،Contelevier Strip ،Irregular Plate ،Circular Plate




شکل ۳-۶۴ اجزاء تله بخار نوع Bi-Metal

جدول ۳-۱۱ اجزاء تله بخار نوع Bi-Metal

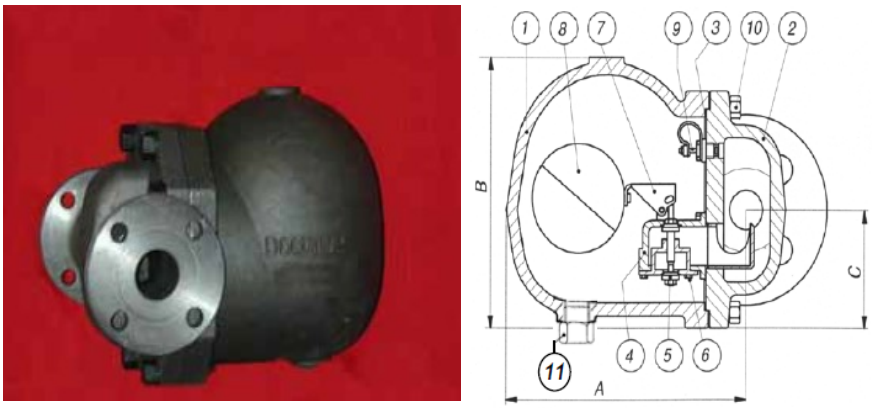
| POS. | Description |
|---|---|
| 1 | Body |
| 2 | Cover |
| 3 | Gasket |
| 4 | Valve |
| 5 | Screen |
| 6 | Gasket |
| 7 | Strainer Cap |
| 7.1 | Drain Plug |
| 8 | Bolts |
| 9 | Flange |

Density:

این نوع تله‌های بخار بر اساس اختلاف دانسیته سیالات ورودی به تله‌ی بخار کار می‌کنند. به آن‌ها تله‌های بخار مکانیکی[1] نیز گفته می‌شود و طوری طراحی می‌شوند که برای سیالات با دانسیته بیشتر باز شوند و برای سیالات با دانسیته کمتر بسته شوند. بدیهی است با این اوصاف هدف آن تخلیه Condensate و حفظ بخار می‌باشد.

مکانیزم باز و بسته شدن ولو این تله‌ی بخار با استفاده از ویژگی شناوری[2] یک جسم شناور اتفاق می‌افتد. این جسم شناور به شکل کروی یا مستطیلی می‌باشد که یا به‌صورت سطل معکوس[3] و یا سطل باز[4] می‌باشند.

در شکل ۳-۶۵ نمونه‌ای از نوع Ball Float نمایش داده شده است:




شکل ۳-۶۵ اجزاء تله بخار نوع Ball Float

[1]-Mechanical Trap
[2]-Buoyancy
[3]-Inverted Bucket
[4]-Open Top Bucket

جدول ۳-۱۲ اجزاء تله بخار نوع Ball Float

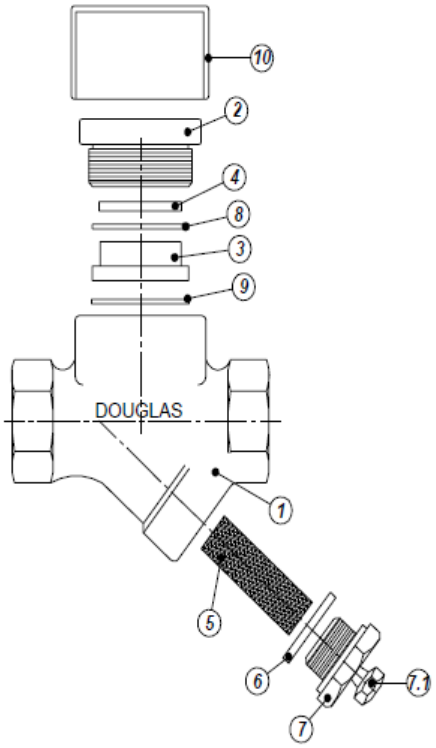
| POS. | Description | POS. | Description |
|---|---|---|---|
| 1 | Body | 7 | Lever |
| 2 | Cover | 8 | Ball Float |
| 3 | Gasket | 9 | Air Vent |
| 4 | Seat | 10 | Bolts |
| 5 | Valve | 11 | Drain Plug |
| 6 | Screws | 12 | |

Thermodynamic:

این نوع تله‌ی بخار بر اساس سرعت سیالات ورودی به تله‌ی بخار کار می‌کند و به آن‌ها Impulse Trap، نیز می‌گویند.

این تله‌های بخار به گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای سیالاتی که سرعتشان پایین است باز و برای سیالات با سرعت بالا مثل بخار بسته می‌شوند. مکانیزم عمل بر اساس افت فشار ایجاد شده در سرعت بالا می‌باشد و هرچه سرعت بیشتر باشد، افت فشار بیشتر شده و ولو تله‌ی بخار بسته می‌شود.

این نوع تله‌های بخار به دو دسته Disk و Piston دسته‌بندی می شوند.




شکل ۳-۶۶ اجزاء تله بخار نوع Thermodynamic

جدول ۳-۱۳ اجزاء تله بخار نوع Thermodynamic

| POS. | Description |
|---|---|
| 1 | Body |
| 2 | Cover |
| 3 | Seat |
| 4 | Disc |
| 5 | Screen |
| 6 | Gasket |
| 7 | Strainer Cap |
| 7.1 | Drain Plug |
| 8 | Gasket |
| 9 | Cover Gasket |
| 10 | Flange |

- خرابی تله‌های بخار

تله‌های بخار به دو طریق باز و بسته، دچار خرابی می‌شوند[1].

۱- حالت بسته: در این حالت Condensate از خروجی تله‌ی بخار بیرون نمی‌آید. یعنی انتقال گرمای نهان متوقف شده است.

۲- حالت باز: در این حالت بخار به‌صورت پیوسته از خروجی تله‌ی بخار بیرون می‌آید که در این حالت گرمای نهان را از دست داده‌ایم. البته کل بخار، گرمای نهان خود را از دست نداده است و فقط بخشی از بخار می‌تواند به گرمای فرآیند کمک کند.

خرابی باز از نظر اقتصادی و اتلاف انرژی به مراتب بدتر از خرابی بسته می‌باشد؛ چراکه در حالت باز، آب Treat شده از سیستم خارج می‌شود و برای جبران آن علاوه بر آب به حرارت نیز نیاز می‌باشد.

یکی دیگر از مشکلاتی که خرابی باز ایجاد می‌کند این است‌که مانع خروج Condensate از سایر تله‌های بخار سالم می‌شود. چطور؟

به یاد دارید که ظرفیت یک تله‌ی بخار به اندازه اورفیس و اختلاف فشار ایجاد شده در طول تله‌ی بخار بستگی داشت؛ لذا اگر هیچ اختلاف فشاری در طول یک تله‌ی بخار نداشته باشیم، ظرفیت تله‌ی بخار صفر می‌شود. در این حالت بخار بدون هیچ افت فشاری وارد خط Condensate برگشتی می‌شود و بنابراین خط Condensate برگشتی با خط بخار هم فشار می‌شود و لذا برای بقیه تله‌های بخار موجود در سیستم، فشار دو طرف تله‌ی بخار باهم برابر می‌شود و این بدین معنی است‌که ظرفیت تله‌های بخار صفر می‌شود.

- پدیده ضربه قوچ در تله‌های بخار

تله‌های بخار Condensate را پمپ نمی‌کنند؛ بلکه اختلاف فشار بین ورودی و خروجی تله‌ی بخار باعث بالا رفتن Condensate در خط برگشتی می‌شود. توجه داشته باشید که به ازای بالا بردن Condensate به اندازه 2 ft، 1 Psi افت فشار خواهیم داشت. ضمن

[1]- Fail open & Fail Close

این افت فشار، احتمال تبدیل میعانات داغ به بخار بیشتر و بیشتر می‌گردد. اگر Condensate نتواند به‌درستی Lift شود، در یک نقطه سقوط [1] می‌کند و باعث ایجاد ضربه قوچ می‌شود.

- نحوه تشخیص خرابی تله‌های بخار:

۱- بررسی اختلاف دمای دو طرف تله‌ی بخار:

برای بررسی اختلاف دمای دو طرف تله‌ی بخار از حس لامسه و یا نوعی واکس یا در صورت در دسترس بودن از تکه‌های سولفور جامد و در حالت تکنیکی‌تر از سنسورهای حرارتی استفاده می‌شود.

اگر دمای دو طرف تله‌ی بخار یکسان باشد، به احتمال زیاد تله‌ی بخار دچار خرابی باز شده است و اگر اختلاف دمای دو طرف تله‌ی بخار زیاد بود به‌طوری که پایین‌دست آن تقریباً سرد باشد، به احتمال زیاد تله‌ی بخار دچار خرابی بسته شده است.

نکته: از آن‌جا که تله‌های بخار ترمواستاتیک، بر اساس اختلاف دما کار می‌کنند و باعث Sub-cooling سیال خروجی می‌گردد، لذا تست دمای دو طرف تله‌ی بخار برای این نوع همواره جوابگو نیست. اما همان‌طور که می‌دانید، سایر تله‌های بخار ،Condensate را در دمای اشباع ($T^{Sat}$) خارج می‌کنند و اختلاف دمای بین بخار ورودی و Condensate خروجی خیلی زیاد نمی‌باشد. لذا این روش مناسبی برای تشخیص خرابی تله‌های بخار نمی‌باشد.

۲- از طریق مشاهده خروجی تله‌ی بخار

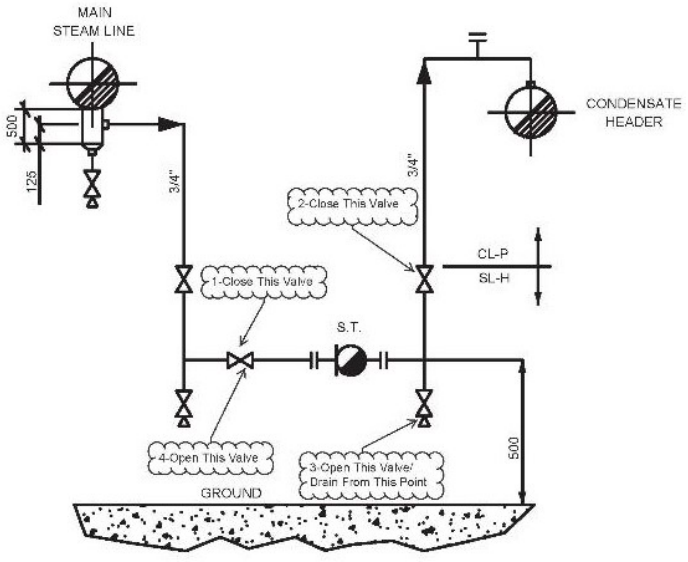
در این روش ولو مربوط به خط برگشتی condensae را ببندید و ولو تست یا شیر درین بعد از تله‌ی بخار را باز کنید. اگر بخار خارج شد، تله‌ی بخار دچار خرابی باز و اگر چیزی

[1]-Collapse

خارج نشد، تله‌ی بخار دچار خرابی بسته شده است و اگر Flash Steam بیرون آمد نشانه صحت عمل‌کرد تله‌ی بخار می‌باشد.

فرق Steam و Flash Steam این است‌که Steam به‌صورت مستقیم و با کمی سرعت از درین خارج می‌شود اما Flash Steam به آرامی خارج شده و به‌صورت ابر پر پشت می‌باشد.

نکته: زمانی که با یک تله‌ی بخار مواجه شدید که خروجی ندارد یا به عبارتی دچار خرابی بسته شده است؛ به‌طور قطع دلیل بر معیوب بودن تله‌ی بخار نمی‌باشد. زیرا اگر حتی یک تله‌ی بخار که در آن سیستم دچار خرابی باز شده باشد، مانع خروج Condensate از سایر تله‌های بخار موجود در آن سیستم می‌شود؛ البته در خروجی تله‌های بخار معمولاً ولو یکطرفه نصب می‌کنند تا زمانی که فشار خط برگشتی بالا رفت مانع از ورود آن به تله‌ی بخار گردد.




شکل ۳-۶۷ شماتیک لوله‌کشی و موقعیت نصب تله بخار در خطوط بخار

۳- تشخیص درستی تله‌ی بخار از روی صدا:

تشخیص کارکرد تله‌ی بخار از روی صدا نیاز به تجربه بالایی دارد و برای این منظور از دستگاه‌های الکترونیکی که اغلب گران‌قیمت می‌باشند استفاده می‌شود. با این‌حال صداهای زیر می‌تواند در تشخیص عمل‌کرد برخی از تله‌های بخار کارآمد باشد.

Thermodisc Trap ها معمولاً صدای تق‌تق و به‌صورت پالسی می‌دهند و Inverted Bucket Trap ها صدای جلنگ جلنگ می‌دهند.

- کاربردهای تله‌های بخار:

a) Drip Application:

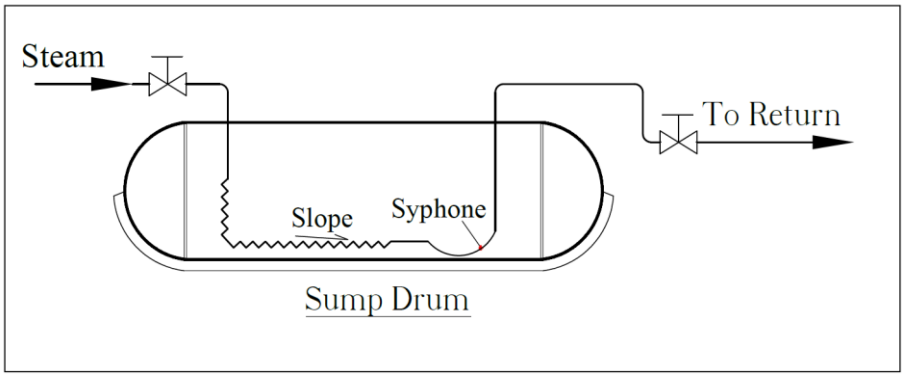
به این نوع تله‌های بخار، Drip Trap گفته می‌شود و برای خروج Condensate از خط می‌باشد؛ یعنی زمانی که بخار انرژی خود را در طول خط لوله از طریق Radiation از دست بدهد، این نوع تله‌های بخار در انتهای خط استفاده می‌شوند. در این حالت بیشتر از نوع Inverted Bucket استفاده می‌شود چراکه در همه انواع تله‌های بخار، این مدل از مقاومت بالاتری نسبت به رسوبات و کثیفی‌ها برخوردار بوده و کمتر دچار ازکار افتادگی می‌شود.

b) Process Application:

معمولاً برای حذف هوا و Condensate از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. در این حالت بیشتر از تله‌های بخار نوع Float & Thermostatic استفاده می‌شود. توجه داشته باشید که Process Trap ها باید 2 تا 3 فوت زیر تجهیز قرار بگیرند تا حداقل اختلاف فشار یا هد 1 Psi را ایجاد کنند.

شاید مثال نقض جمله‌ی بالا در مورد محل قرارگیری این نوع تله‌های بخار در زیر تجهیز برای شما تداعی‌گر تله‌های بخار به‌کار رفته در Sump ها باشد. مکانیزم عمل در این نوع تله‌های بخار کمی متفاوت می‌باشد که در اینجا به بررسی آن می‌پردازیم. درحالتی‌که تله های بخار در Sump ها و یا برای خروج Condensate و هوا از درون Coil های تانک‌ها

استفاده شود، نمی‌توان آن‌ها را پایین‌تر از کف تجهیز نصب کرد؛ لذا در این حالت Condensate به‌واسطه نیروی جاذبه خارج نمی‌گردد. در این حالت با ایجاد Syphone Lift خروج Condensate را میسر می‌نمایند.




شکل ۳- ۶۸ شماتیک نصب تله بخار در Sump

در چنین مواردی امکان Gas Lock کردن تله‌ی بخار شایع می‌باشد، اما برای جلوگیری از این حالت دو راه وجود دارد:

۱ - استفاده از SLR (Steam Lock Release): بدین صورت عمل می‌کند که اجازه می‌دهد حتی کوچکترین قسمت از بخار به دام افتاده و از سیستم خارج گردد تا Condensate به‌خوبی درین گردد.

۲- پر کردن قسمت Lift Fitting (لوله‌ای که برای انتقال Condensate به تله ی بخار می‌باشد) با آب.

c) Tracing Application:

کاربرد آن‌ها برای خروج هوا و Condensate از Steam Jacket ها و Steam Tubing ها می‌باشد و به آن‌ها Tracing Trap هم می‌گویند و اغلب از نوع ترمواستاتیک می‌باشند.

- انواع خوردگی در تله‌های بخار

۱- LDI Erosion چیست؟ LDI مخفف Liquid Droplet Impingement می‌باشد که به ایجاد سایش و خوردگی توسط Steam Condensate در جاهایی مثل زانویی‌ها بر اثر جرم وزنی و سرعت سیال اشاره دارد.

۲- Flash Erosion چیست؟ تبدیل Condensate داغ به بخار بعد از تله‌ی بخار در داخل خط برگشتی Condensate که به‌دلیل افت فشار اتفاق می‌افتد را گویند. در این حالت مقدار زیاد این بخار -Steam Flash- باعث ساییدگی خط برگشتی می‌شود. دو عامل مهم در این مورد نقش اساسی دارند. اگر سایز خط برگشتی Condensate کم باشد، به‌طوری‌که ظرفیت لازم برای هر دو فاز مایع و بخار را نداشته باشد، باعث افزایش سرعت بخار شده و ساییدگی شدت و احتمال بیشتری پیدا خواهد کرد. همچنین چنان‌چه بخار داخل خط حاوی CO باشد که این امر اجتناب ناپذیر می‌باشد، اسیدکربنیک تشکیل شده همراه با Condensate موجب سایش و خوردگی می‌گردد.

۳- Cavitation Erosion چیست؟ بر اثر تأثیرات مداوم و یا گه‌گاه ضربه موج های ناگهانی [۱] که از طریق انفجار یا Implosion ناحیه‌های آزاد مایع[۲] در داخل ناحیه Condensate اتفاق می‌افتد می‌باشد. دلیل آن این است‌که بخار نسبت به Condensate حجم بسیار بیشتری را اشغال می‌کند؛ از طرفی بخار به سرعت با از دست دادن حرارت خود تبدیل به Condensate می‌شود. این حرارت به خط لوله یا به Condensate منتقل می‌گردد. به‌دلیل اختلاف حجم قابل توجه بین بخار و Condensate، میعان سریع بخار باعث ایجاد یک فضای خالی بزرگ می‌شود که به سرعت انتظار می‌رود توسط مایع متراکم پر شود که همین دلیل اصلی ایجاد ضربه موجی یا همان Shock Wave می‌باشد که به آن Water

[۱]-Sudden Shock Wave

[۲]- Liquid-Free Zones

Hammer می‌گویند. برای حل این مشکل خط برگشتی Condensate را باید به اندازه‌ی کافی بزرگ در نظر گرفت تا ظرفیت پذیرش بخار و Condensate را به‌صورت دوفازی داشته باشد. اما راه‌کارهای دیگری هم وجود دارد مثل نصب تله های بخار در فواصل معین با توجه به میزان محتوای انرژی بخار تولید شده و نصب تله‌ی بخار در زیر همه Riser ها و Drop ها و کلیه نقاطی که احتمال تجمع Condensate می‌باشد.

تا این‌جا با انواع تله‌های بخار و کاربردهایشان آشنا شدید. در ادامه به نکاتی کاربردی در مورد تله‌های بخار و برخی مفاهیم مهم پرداخته شده است.

- باید توجه داشته باشید که برای جلوگیری از Heat Lost بهتر است تله‌های بخار نزدیک Main Header نصب شوند. اما از آن‌جا که معمولاً Header اصلی در سطحی بالاتر از زمین قرار داده می‌شود که دسترسی به آن مشکل می‌باشد، لذا تله‌های بخار را برای راحتی دسترسی جهت بازرسی و کارهای تعمیراتی در نزدیک‌ترین فاصله به سطح زمین نصب می‌کنند و خط ورودی به تله‌ی بخار را با عایق می‌پوشانند.

- نصب کردن تله‌های بخار به‌صورت عمودی یا افقی در کارایی آن‌ها تأثیری ندارد. فقط در حالت نصب عمودی، فضای کمتری اشغال می‌شود. ولی از طرفی میزان متریال به‌کار گرفته شده برای مهار آن بیشتر و از لحاظ اقتصادی نسبت به نصب افقی پرهزینه‌تر می‌باشد. به‌علاوه در حالت نصب عمودی کارهای تعمیراتی روی آن دشوارتر می‌باشد. بنابراین بهتر است به همان حالت معمول افقی بسنده کنیم. با این‌حال توجه داشته باشید که برای نصب تله‌های بخار به شکل عمودی حتماً با شرکت سازنده آن مکاتبه نمایید مخصوصاً برای نوع Floating.

- یکی از راه‌های تشخیص عمل‌کرد تله‌های بخار کل Plant، محاسبه میزان بازیافت کندانس می‌باشد.

$$CR = 100\% - 100 * SP/RW$$

CR: درصد Condensate برگشتی
RW: کل جریان آب ورودی به بویلر برای تولید بخار
SP: کل بخار تولیدی
بدین ترتیب:
اگر CR>=70% باشد، نتیجه می‌گیریم که همه تله‌های بخار به‌درستی کار می‌کنند.
اگر CR<=30% باشد، ناشی از عمل‌کرد ضعیف بازیافت کندانس می‌باشد.

برای بهبود بهره‌وری و قابلیت اطمینان سیستم بخار، مهندسین غالبا در سمت تامین بخار تمرکز می‌کنند و دنبال دلایلی چون نشت بخار از سیستم، نشتی و خرابی تله‌های بخار و مشکلات عایق می‌گردند و به‌طور معمول بیشتر به تامین بخار و گرمای لازم برای واحدهای فرآیندی فکر می‌کنند و متاسفانه به سیستم برگشت condensate کمتر توجه می‌شود؛ حال آن‌که میزان condensate برگشتی تاثیر زیادی بر بهره‌وری، راندمان انرژی و در نهایت قابلیت اطمینان کل plant دارد چراکه نه تنها موجب صرفه جویی در انرژی می‌شود، به‌دلیل دمای بالاتر آن نسبت به آب makeup، موجب کاهش load بخار در بویلر نیز می‌شود.

- استفاده از Vacuum Breaker ها در سیستم بخار: زمانی که یک سیستم بسته و پر فشار مانند سیستم بخار، سرد گردد، فقط دمای سیستم کاهش نمی‌یابد، بلکه فشار سیستم نیز کاهش می‌یابد که می‌تواند حتی به فشار کمتر از اتمسفر و فشار خلاء نیز برسد و یا condense شدن بخار نیز می‌تواند منجر به ایجاد خلاء در

سیستم گردد. در این حالت با استفاده از یک Vacuum Breaker، مانع از بروز چنین اتفاقی می‌شویم. در واقع Vacuum Breaker یک ولو یک‌طرفه می‌باشد که به سمت فشار داخلی (به‌واسطه فشار داخل تجهیز) بسته می‌ماند و به محض این‌که فشار سیستم کمتر از فشار اتمسفر گردد، باز شده و فشار سیستم را هم‌فشار اتمسفر می‌گرداند. در برخی سیستم‌ها از Rapture Disc، Bursting Disc و یا Burst Diaphragm نیز استفاده می‌شود که در اصطلاح به آن‌ها non-reclosing pressure relief device می‌گویند و برای محافظت یک سیستم یا اغلب یک تجهیز تحت فشار در مقابل پر فشار شدن و خلاء مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۳- ۶- ۴- ۳- سیستم‌های Deluge

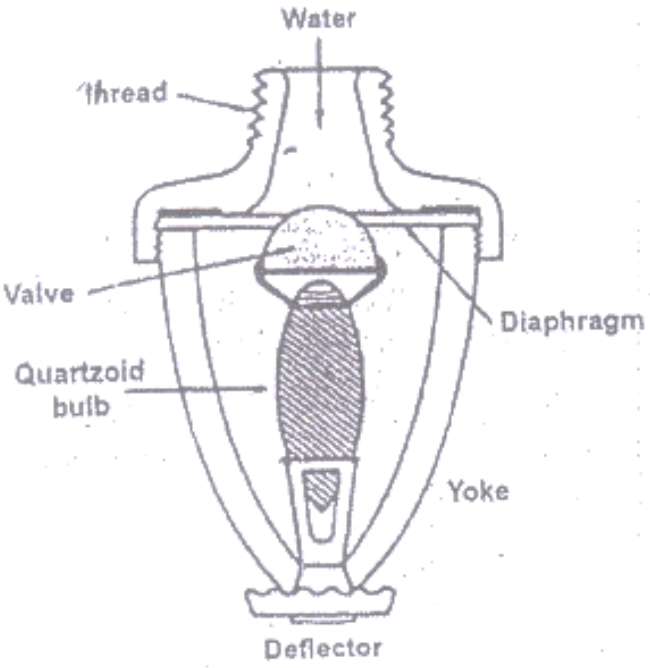
سیستم‌های deluge در شرایط اضطراری که نیاز به استفاده سریع از حجم زیاد آب باشد، استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها در مناطقی که آتش‌سوزی می‌تواند به سرعت گسترش یابد استفاده می‌شوند. از طرفی برای خنک کردن سطح تجهیزات برای جلوگیری از تغییر شکل یا collapse کردن و حفاظت از مخازن، ترانسفورماتورها و خطوط فرآیندی از انفجار نیز کاربرد دارند. (برای اطلاعات بیشتر می توانید به API 2030 و API 2001 مراجعه نمایید)

Deluge ها جزء سیستم‌های ثابت آتش‌نشانی به‌شمار می‌روند که به‌صورت دستی از طریق Hand Switch (در سایت و یا در اتاق کنترل) و یا توسط سیستم F&G و به‌وسیله روش‌های زیر فعال می‌شوند:

۱- الکتریکالی: سیستم F&G با ارسال سیگنال به Solenoid Valve، موجب باز شدن Deluge Valve می‌شود. این سیستم تحت تأثیر عواملی نظیر heat، smoke، UV و IR عمل می‌کند.

۲- هیدرولیکی: کاهش فشار آب در Priming Chamber موجب باز شدن Deluge

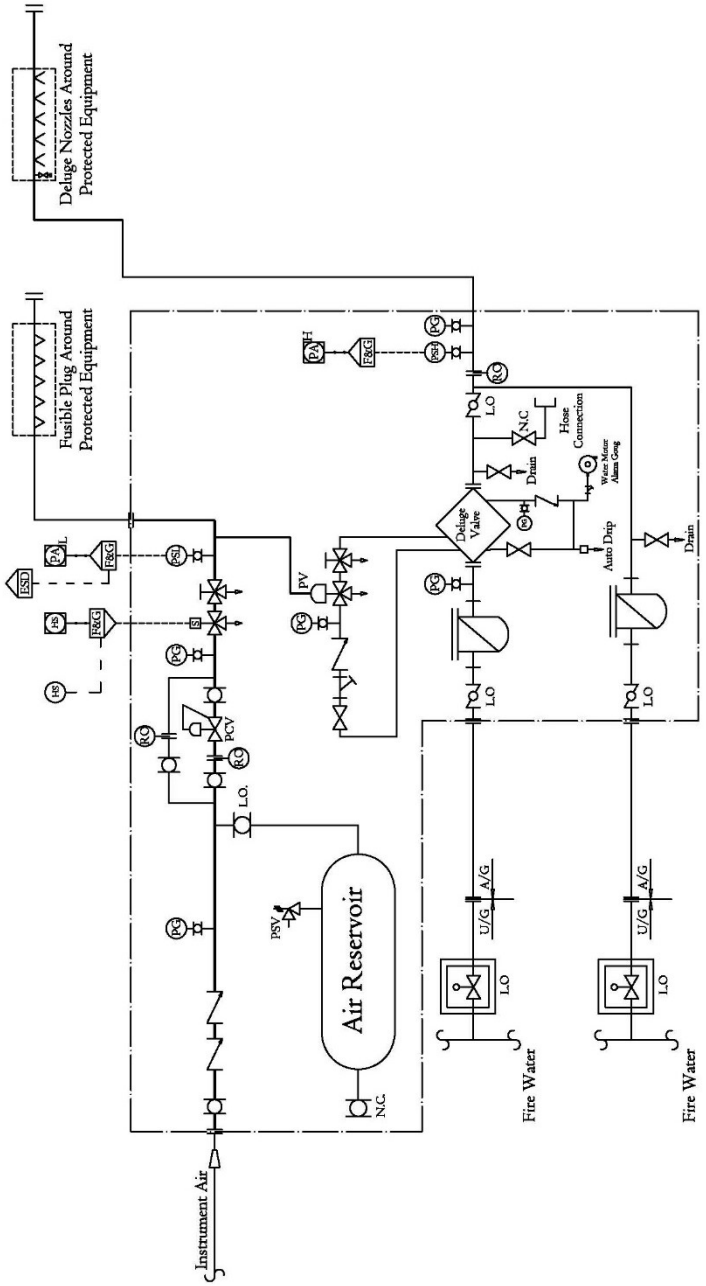
Valve می‌شود. در این حالت حباب‌های کوارتزیتی[1] در انتهای Sprinkler ها نصب می‌شود که معمولاً حاوی مایعی با پایه گلیسیرین می‌باشند. این حباب‌ها تحت تأثیر حرارت شکسته می‌شوند و آب از Sprinkler ها خارج می‌شود.




شکل ۳-۶۹ نمونه‌ای از یک Sprinkler

۳- نیوماتیکی: کاهش فشار هوای ابزاردقیق موجب جریان یافتن آب از Priming Chamber به Open Drain و نهایتاً باز شدن Deluge Valve می‌شود. در این حالت خطوط هوا به دور تجهیز مجهز به Fusible Plug هایی می‌باشند که با حرارت ذوب شده و موجب کاهش فشار خط هوای سیستم Deluge می‌گردد. در شکل ۳-۷۰ نمونه‌ای از یک سیستم Deluge نشان داده شده است.

[1]- Hydraulic Quartzoid Bulb




شکل ۳-۷۰ سیستم Deluge

در زمان پیش راه‌اندازی و پس از نصب، بر روی کلیه‌ی خطوط مربوط به این سیستم باید هیدروتست، فلاشینگ، خشک کردن و تست نشتی انجام گیرد. از طرفی تست عمل‌کردی این سیستم‌ها باید مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده صورت پذیرد. در این تست باید صحت و درستی عمل‌کرد بازخوردهای سیستم F&G بر روی سیستم Deluge مورد بررسی قرار گیرد. در انتها با فعال کردن سیستم Deluge، باید تست جریان انجام پذیرد. در این تست بررسی موارد زیر الزامی می‌باشد:

- فشار خط Fire Water
- بررسی مدت زمان فعال شدن سیستم
- بررسی Sprinkler های دور تجهیزات و اطمینان از موقعیت صحیح نصب و میزان جریان خروجی از آن‌ها
- بررسی الگوی اسپری شدن آب از نازل‌های دور تجهیزات

**۳- ۶- ۴- ۴- خوردگی:**

هر مهندس فرآیندی باید اطلاعات کافی جهت تشخیص، نحوه به‌وجود آمدن و جلوگیری از خوردگی در صنعت نفت و گاز، خصوصاً در زمان بهره‌برداری را داشته باشد.

خوردگی عموماً به تغییرات مخرب خواص فیزیکی یک فلز از طریق واکنش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی گفته می‌شود. در واقع می‌توان گفت خوردگی فرآیندی است‌که طی آن فلز میل دارد به حالت پایدارتر خود شبیه سنگ معدنی که از آن تولید شده است باز گردد.

خوردگی انواع مختلفی دارد اما در زیر معمول‌ترین آن‌ها در صنعت نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته شده است:

۱- Sweet Corrosion: این نوع خوردگی در نتیجه‌ی گاز $CO_2$ یا اسیدهای آلی حل شده در آب می‌باشد و در تماس فلز با آب روی می‌دهد.

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \text{ (Carbonic acid)}$$
$$Fe + H_2CO_3 \longrightarrow FeCO_3 + H_2$$

عواملی که بر حلالیت $CO_2$ و در نتیجه افزایش شدت این نوع خوردگی تأثیر می‌گذارند عبارت است از:

- غلظت $CO_2$: این غلظت با فشار جزئی $CO_2$ (Partial Pressure) نشان داده می‌شود. فشار جزیی $CO_2$ از طریق حاصل‌ضرب فشار کل در درصد $CO_2$ به‌دست می‌آید. فشار جزئی بیشتر از 30 psi نشان‌دهنده خوردگی، فشار جزئی بین 30-7 psi نمایانگر احتمال خوردگی و فشار جزئی $CO_2$ کمتر از 7 psi به عنوان غلظت خورنده به شمار نمی‌آید.
- فشار: افزایش فشار موجب افزایش حلالیت $CO_2$ در آب می‌شود.
- دمای آب: افزایش دما موجب کاهش حلالیت $CO_2$ در آب می‌شود. از طرفی هرچه PH محلول بیشتر باشد، با افزایش دما، نرخ خوردگی کاهش می‌یابد.
- ترکیب آب: بسیاری از مواد معدنی در آب مانع از کاهش PH و حلالیت $CO_2$ در آب شده و بدین ترتیب بر کاهش نرخ خوردگی موثر می‌باشند.

۲- Sour Corrosion: این نوع خوردگی در نتیجه واکنش بین سولفید هیدروژن و فولاد در حضور آب اتفاق می‌افتد.

$$Fe + H_2S \longrightarrow FeS + 2H \quad (\text{in } H_2O)$$

این نوع خوردگی باعث ایجاد رسوبات سیاه سولفیدآهن و حفره‌های زیاد در سطح فلز

می‌شود. در ادامه یک واکنش گالوانیک بین سولفیدآهن و خود فلز (فولاد) صورت می‌گیرد؛ در این واکنش فولاد به‌عنوان آنود و رسوبات سولفیدآهن به‌عنوان یک کاتد عمل می‌کنند. (آند نقطه‌ای است‌که در آن اتم‌های فلز الکترون از دست داده و یون‌های مثبت حاصل شده در داخل محلول حل می‌شوند). الکترون‌ها از فلز به سمت کاتد مهاجرت می‌کنند. از طرفی در کاتد، یون‌های محلول، این الکترون‌ها را حذف کرده و به این ترتیب واکنش خوردگی را کامل می‌کنند. یک جریان الکتریکی کوچک و قابل اندازه‌گیری تولید شده و از طریق الکترولیت از آند به کاتد و سپس از طریق فلز از کاتد به آند جریان می‌یابد. اندازه‌گیری میزان جریان گذرنده از سیکل فوق با میزان فلز خورده شده نسبت مستقیم دارد. جریان 1 Amp در سال معادل تقریباً 450 گرم فولاد می‌باشد.

**Anode**

$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$ (**Oxidation**)

**Cathode**

$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$ (**Reduction**)

این نوع خوردگی عموماً در تانک‌ها، Sump های مواد هیدروکربنی و Knockout Drum ها اتفاق می‌افتد.

سولفید آهن در حضور اکسیژن و با گذشت زمان تبدیل به اکسید آهن می‌شود.

۳- Stress Corrosion Cracking: عامل ایجاد این نوع خوردگی همان‌طور که از نامش پیداست، ترکیب نیروهای فشاری و خوردگی با هم بر روی یک آلیاژ می‌باشد. اگر هریک از دو عامل استرس و خوردگی وجود نداشته باشند، هیچ شکستی رخ نخواهد داد. بهترین مثال برای این نوع شکست در صنایع نفت و گاز می‌توان به تردشدگی[۱] فلز توسط هیدروژن اشاره کرد. عمل تردشدگی توسط آزاد سازی هیدروژن از سولفید هیدروژن یا برخی دیگر

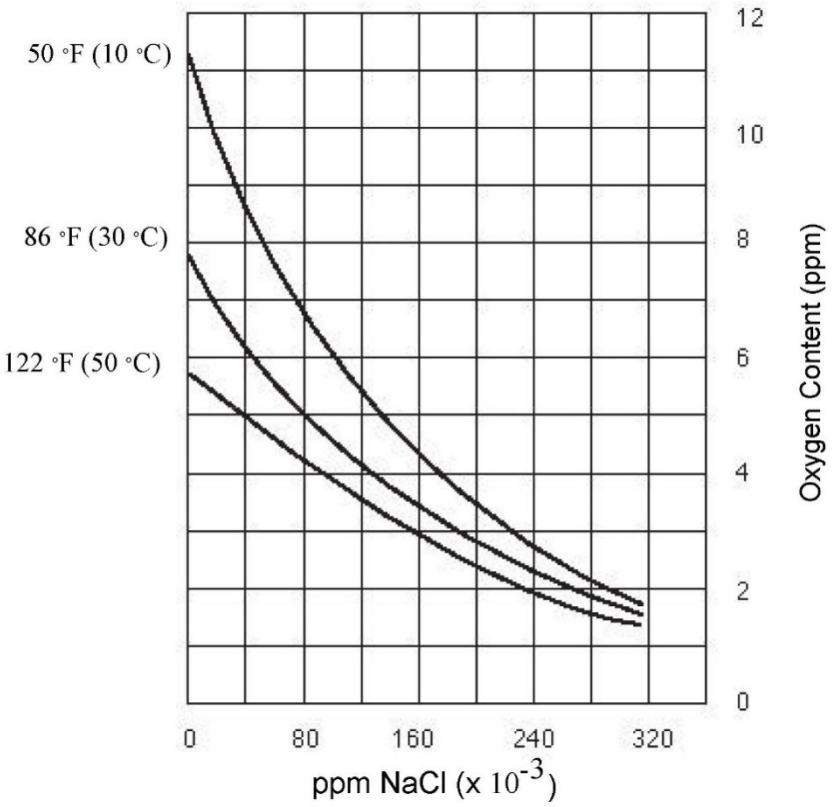
۱- Embrittling

از فرآیندهای خوردگی ایجاد می‌شود. هیدروژن آزاد شده که به هیدروژن اتمی موسوم است، بر روی سطح فلز جذب شده و به مرزهای دانه فلز[1] منتقل می‌شوند. در این قسمت اتم‌های هیدروژن باهم ترکیب می‌شوند و تشکیل ملکول‌های هیدروژن می‌دهند و یا با اتم‌های کربن ترکیب می‌شوند. این ملکول‌های تشکیل شده که از اتم‌های هیدروژن[2] بزرگتر می‌باشند، در داخل فلز به دام می‌افتند و باعث ایجاد فشار مضاعف در شبکه فلز می‌شوند. در نتیجه فلز ترد و شکننده می‌شود. به این عملیات Hydrogen Blistering نیز می‌گویند.

۴- Oxygen Corrosion: همان‌طور که گفته شد، در واحدهای صنعتی که خوراک آن‌ها مواد هیدروکربنی می‌باشد، غلظت اکسیژن در خطوط و تجهیزات بسیار کم و در حد ناچیز می‌باشد. اما به‌هرحال اکسیژن ار طریق اتصالات، Sealing پمپ، سیستم‌هایی که در فشار خلاء کار می‌کنند، تانک‌هایی که از Blanket استفاده نمی‌کنند و ... می‌تواند وارد سیستم شود. وجود مقدار ناچیز اکسیژن (1 ppm) تا حد زیادی اثرات سایر خوردگی‌ها را افزایش می‌دهد. مقدار کم اکسیژن معمولاً با حمله به شکاف‌ها، پشت موانع موجود در مسیر جریان و در سایر مناطق دور از دسترس جریان سیال، باعث خوردگی می‌شود. حذف هیدروژن توسط اکسیژن، واکنش کاتدی را افزایش می‌دهد. بنابراین مکان‌هایی که اکسیژن ندارند، تمایل دارند که آنودایز شوند. لذا هرچه میزان اکسیژن در سیستم بیشتر باشد، به همان نسبت خوردگی سطح داخلی فلز نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۳-۷۱ می‌توانید اثر میزان NaCl بر حلالیت اکسیژن در آب در دماهای مختلف را ببینید.

[1]- Grain Boundaries

[2]- Liberated Hydrogen




شکل ۳-۷۱ اثر میزان NaCl بر حلالیت اکسیژن در آب در دماهای مختلف

۵- Galvanic Corrosion: این نوع خوردگی حاصل جاری شدن جریان بین دو فلز مختلف و یا بین مناطقی از همان فلز با ویژگی‌های مختلف می‌باشد. این نوع خوردگی به این دلیل اتفاق می‌افتد که فلزهای مختلف، تمایلات مختلفی به خوردگی دارند. در واقع و در عمل برای ایجاد این نوع خوردگی نیاز به دو فلز غیر مشابه نمی‌باشد. به عنوان مثال رسوبات سولفید آهن زمانی که سطح فلز را می‌پوشانند به عنوان کاتد عمل کرده و باعث افزایش سرعت خوردگی فلز می‌شوند. این نوع خوردگی بسیار سریع اتفاق می‌افتد.

۶- Bactrial Corrosion: به‌طور کل سه گروه از این باکتری‌ها در صنایع نفت و گاز شامل باکتری‌های به‌وجود آورنده لجن، باکتری‌های کاهنده سولفات و باکتری‌های آهن می‌باشند. باکتری‌ها به‌طور کل باعث ایجاد دو مشکل اساسی می‌شوند؛ اول: گرفتگی از طریق ایجاد لجن و رسوب مواد شیمیایی. مثل باکتری‌های کاهنده FeS و $Fe(OH)_3$ و دوم: خوردگی از طریق تولید مواد خورنده ($H_2S$)، تسریع فرآیند خوردگی و Depolarization[1] کاتد سلول خوردگی به‌واسطه باکتری FeS. از علائم خوردگی باکتریایی می‌توان به سیاه شدن سیال فرآیندی، کاهش فشار، تجمع لجن در فیلترها و افزایش میزان سولفید اشاره کرد. از طرفی مکان‌های زیر می‌تواند برای رشد و تکثیر باکتری‌ها مناسب باشد:

- فضای داخلی لوله‌ها و دیواره تانک‌ها
- بستر فیلترها
- نقاط راکد در یک سیستم شامل ته تانک‌ها، پلاگ Sample Connection ها، درین گیج‌ها، شکاف‌ها و ....

### ۳- ۶- ۴- ۵- Deaerator (هوا زدا)

فرآیند Deaeration آب خوراک بویلر، فرآیندی است‌که طی آن گازهای محلول در آب

[1] - حذف لایه هیدروژن از کاتد و Polarization: اضافه کردن هیدروژن به یک فلز و کاهش یا توقف جریان بین آند و کاتد.

از آن جدا می‌شوند؛ و به تجهیزی که به این منظور استفاده می‌شود، Deaerator می‌گویند. وظیفه اصلی سیستم Deaerator محافظت از بویلر و سیستم کندانس برگشتی در برابر خوردگی با حذف اکسیژن و دی اکسید کربن از آب خوراک بویلر و همچنین افزایش دمای آب خوراک بویلر می‌باشد. محتوای اکسیژن محلول در آب در صورتی‌که حذف نشود، بسته به میزان PH، دما و فشار، در اکونومایزر منجر به خوردگی، Stress Assisted Corrosion، Pitting و موجب خرابی تیوب‌های اکونومایزر می‌شود. دی اکسید کربن نیز به بویلر وارد شده و با بخار فرار می‌کند و احتمال خوردگی سیستم کندانس را افزایش می‌دهد.

آب در 20ºC حاوی 8.6 ppm اکسیژن و در 65ºC حاوی 4.3 ppm اکسیژن می‌باشد. مطابق با استاندارد ASME، محتوای اکسیژن 7 ppb برای آب خوراک بویلر قابل قبول می‌باشد؛ اما نظر نهایی با سازنده بویلر می‌باشد که چه سطحی از اکسیژن برای بویلر قابل قبول می‌باشد. Deaerator ها معمولا به گونه‌ای طراحی شده‌اند که محتوای اکسیژن را به کمتر از 7 ppb بدون نیاز به مواد شیمیایی مانند Oxygen Scavenger برسانند.

متداول‌ترین روش برای از بین بردن محتوای اکسیژن آب، حرارت دهی می‌باشد. در فرآیند Deaeration برای بویلرهای کوچک از اسپری و یا ترکیب اسپری و سینی برای حذف اکسیژن استفاده می‌کنند. آب خوراک بویلر برای انتقال حرارت بهتر و حذف اکسیژن به جریان بخاری با 0.35 barg اسپری می‌شود. میعانات برگشتی نیز جهت تولید Flash Steam روی سینی‌ها توزیع می‌شوند و Flash Steam تولیدی به حذف هرگونه اکسیژن باقی‌مانده در میعانات برگشتی و همچنین آب ورودی خوراک بویلر کمک می‌کند. در بویلرهای بزرگ با دبی زیاد آب خوراک، از سیستم‌های خلاء که معمولا در دمای 100ºC یا کمتر کار می‌کنند استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها از پمپ خلاء یا اجکتور بخار برای بیرون کشیدن گازهای غیرقابل کندانس استفاده می‌شود. این سیستم‌ها در دیگ‌های بخار بسیار بزرگی که در فشارهای بالا برای تولید برق با توربین بخار کار می‌کنند معمول است.

یکی از موارد مهمی که به عنوان یک مهندس فرآیند در رابطه با بهره‌برداری از Deaerator باید به آن دقت داشته باشید این است‌که از میزان کندانس برگشتی مورد انتظار آگاه باشید؛ به این ترتیب در هر لحظه می‌دانید چه مقدار آب Make-Up جهت اضافه شدن به سیستم مورد نیاز است.

در زیر به مواردی که در مورد راه‌اندازی و بهره‌برداری Deaerator ها باید به آن‌ها توجه کنید اشاره شده است.

۱- تمیزکاری و شستشوی داخل Deaerator با آب DM و اطمینان از Internal Cleaning و نصب تجهیزات داخلی پیش از Box-Up نهایی آن

۲- فنرهای روی نازل‌های اسپری باید از لحاظ صحت و سلامت بررسی شوند چرا که هرگونه خرابی آن‌ها به شدت بر کارایی حذف اکسیژن تاثیر منفی می‌گذارد.

۳- بررسی کنید سینی ها به طور ایمن نگه داشته شده باشند و نازل ها گرفتگی نداشته باشند.

۴- quill تزریق مواد شیمیایی را بررسی کنید که تمیز و فاقد هر نوع گرفتگی باشد. quill مربوط به تزریق oxygen scavenger باید در مرکز drop leg قرار گرفته باشد. اگر oxygen scavenger به مخزن ذخیره تزریق می‌گردد، بررسی کنید که توسط quill یا یک لوله در فاصله‌ای مناسب از دیواره مخزن ذخیره تزریق گردد.

۵- بررسی جهت درست نصب اورفیس خط Vent؛ خط Vent باید به‌صورت عمودی از سقف Deaerator امتداد داشته باشد. توجه شود که ساختار افقی خط Vent مجاز نمی‌باشد. به عنوان یک قانون تجربی، ارتفاع ستون بخار باید بین "30-"15 و با فاصله کمی نسبت به دهانه خروجی لوله vent باشد.

۶- Oxygen Scavenger ها معمولا به آب خوراک بویلر در drop leg مربوط به Deaerator تزریق می‌شود. در صورت تزریق آمین به آب خوراک بویلر، باید از سازگاری نوع آمین با Oxygen Scavenger اطمینان حاصل شود. تناسب مواد شیمیایی که تزریق می‌شوند بسیار مهم می‌باشد؛ به عنوان مثال از یک quill نباید هم oxygen

scavenger و هم آمین تزریق گردد تا quill دچار گرفتگی نشود.

۷- اگر کنترل سطح مخزن ذخیره سازی به درستی انجام نگردد و یا فشار بخار به‌طور ناگهانی تغییر کند، سینی های Deaerator می‌توانند جدا شوند.

۸- پس از در سرویس قرار دادن Deaerator، دما و فشار آن را بررسی کنید؛ Deaerator باید در دمای 105-110ºC و فشار barg 0.35-0.45 بهره‌برداری گردد.

۹- فشار بخار در Deaerator باید به آرامی و با حوصله تنظیم گردد. کاهش ناگهانی فشار بخار باعث جوش آمدن آب و افزایش میزان خروجی بخار از Vent می‌گردد.

۱۰- معمولا سازنده ها فاصله زمانی بازرسی Deaerator را هر 5 سال یک بار قرار می‌دهند اما پیشنهاد می‌شود در هر دوره overhaul نسبت به بازرسی آن اقدام گردد.

۱۱- میزان TDS و اکسیژن محلول آب خوراک بویلر و کندانس برگشتی در زمان استارت‌آپ باید هر دو ساعت بررسی شود.

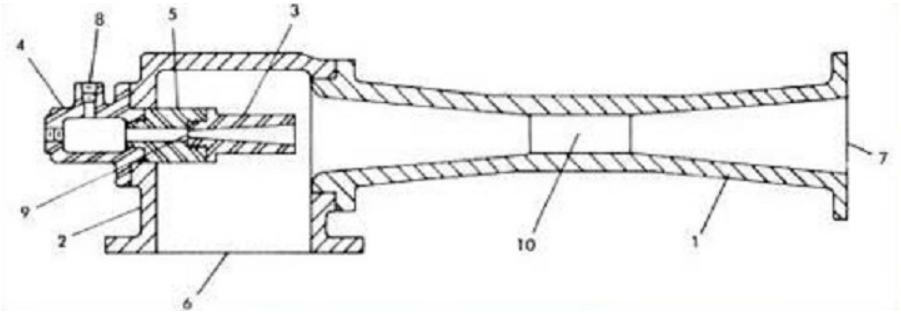
سخن پایانی این‌که حتی با حفظ اکسیژن محلول و TDS در حد نرمال و توصیه شده، غلظت مواد جامد و واکنش‌های شیمیایی به‌طور طبیعی با گذشت زمان افزایش می‌یابند و اگر آن‌ها را به‌صورت دوره‌ای یا پیوسته از سیستم حذف نکنید، در سیستم متمرکز شده و مشکلات فراوانی به بار می‌آورند. به این ترتیب اهمیت Continuous Blow Down (CBD) و Intermittent Blow Down (IBD) و در مواردی Blow Off مشخص می‌گردد که میزان آن‌ها به کیفیت آب کندانس برگشتی و آب خوراک بویلر بستگی دارد.

## Steam Jet Ejector -۶

از اجکتورها به‌طور معمول برای ایجاد و گسترش خلاء در کندانسورهای سطحی، برج‌های خلاء، تبخیر کننده‌ها (خصوصا تبخیر کننده‌های multi-effect) استفاده می‌شود. در برخی موارد نیز از آن‌ها برای ایجاد تراکم مجدد بخار آب و بخار هیدروکربن فشار پایین استفاده می‌شود.

مطابق با شکل ۳-۷۲ بخار High Pressure به عنوان Motive Gas در نازل همگرا-واگرا (Converging-Diverging Nozzle) منبسط می‌شود و انرژی فشاری آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. بخار کم فشار از قسمت Suction وارد Suction/Mixing Chamber، جایی که فشار کم و سرعت زیاد است می‌شود و اختلاط صورت می‌گیرد. بخش Diffuser همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، مجددا انرژی جنبشی مخلوط را به فشار تبدیل می‌کند. در نهایت فشار جریان خروجی، فشاری بین فشار Motive Gas و فشار بخار پایین می‌باشد که بر اساس نسبت تراکم[1] تعیین می‌شود. (به عنوان مثال نسبت lb/hr مربوط به Motive Gas به lb/hr بخار فشار پایین در Suction).

در شکل ۳-۷۲ یک steam jet ejector به همراه اجزای آن نشان داده شده است.




شکل ۳-۷۲ اجزای اصلی یک اجکتور

[1]- Compression Ratio

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | Diffuser | **6** | Suction/Waste Gas/Secondary Flow |
| **2** | Suction/Mixing Chamber | **7** | Discharge |
| **3** | Primary Nozzle | **8** | Motive Gas Inlet |
| **4** | Steam Chest | **9** | Nozzle Throat |
| **5** | Extension (if used) | **10** | Diffuser Throat/Constant Area |

سوال: چرا بخار اغلب به عنوان سیال محرک [1] در اجکتورها نسبت به هوا و سایر گازها ترجیح داده می‌شود؟

تا آن‌جا که به تولید خلاء مربوط می‌شود، هر سیال محرک اگر از طریق نازل سرعت یابد، فشار منفی ایجاد می‌کند.

همان‌طور که می‌دانیم، بخار قادر به تولید خلاء 755 mm Hg و بیشتر می‌باشد و هوا و اغلب گازهای دیگر قادر به تولید خلاء به این اندازه نمی‌باشند.

بخار اشباع دو مزیت عمده دارد: اول اینکه در فشار کمتر از 10 bar مانند یک گاز ایده‌آل رفتار می‌کند و بنابراین PV تقریبا ثابت می‌باشد. این بدان معنی است‌که در یک فرآیند آدیاباتیک مانند اجکتورها، مصرف انرژی داخلی آن بسیار کم می‌باشد. از طرفی می‌توان ادعا کرد که هوا نیز در چنین فشاری (کمتر از 10 bar) مانند یک گاز ایده‌آل رفتار می‌کند. بنابراین چه چیزی تفاوت بین هوا و بخار را به عنوان سیال محرک ایجاد می‌کند؟

مزیت دوم:

$\Delta H$ بخار اشباع در یک فرآیند همسان بیشتر از هوا می‌باشد و $\Delta H_f$ هوای خشک صفر می‌باشد. ($\Delta H_f (N_2 , O_2) = 0$) در واقع آنتالپی هوا مربوط به رطوبت موجود در آن می‌باشد.

- اجکتور یا ترموکمپرسور؟

استفاده از اجکتورهای جت بخار یا ترموکمپرسورها برای کاهش یا جلوگیری میزان هدر رفت بخار فشار پایین:

کارخانه‌های بزرگ صنعتی غالبا مقادیر قابل توجهی بخار فشار پایین را به اتمسفر vent

[1]- Motive Fluid

می‌کنند که باعث اتلاف انرژی، آب DM و مواد شیمیایی می‌شود که در تصفیه آب و جهت جلوگیری از خوردگی بویلر استفاده می‌شوند.

بازیابی حرارت نهان [1] بخار فشار پایین موجب کاهش بار بویلر و در نتیجه صرفه جویی در انرژی و مصرف سوخت می‌گردد. از کاربردهای محتمل بخار فشار پایین می‌توان به استفاده در فرآیندهای تبخیر و تقطیر، تولید آب گرم، گرمایش محیط، تولید خلاء و ... اشاره کرد. چنان‌چه فشار بخار برای کاربرد مورد نظر کم باشد، می‌توان از یک ترموکمپرسور جت بخار برای افزایش میزان فشار و دمای بخار به میزان مورد نظر استفاده کرد. ترموکمپرسورها و اجکتورها با اصل ترمودینامیکی و فیزیکی مشابهی کار می‌کنند. به این صورت که انرژی موجود در بخار فشار بالا می‌تواند به بخار یا گاز فشار پایین منتقل شود و در خروجی مخلوطی از هر دو جریان را با فشار متوسط تولید کند.

اگر هدف بازیابی حرارت نهان بخار فشار پایین باشد، و یا به بیان دیگر زمانی که Motive Gas و Suction Gas، هر دو Steam باشد، به این دستگاه ترموکپرسور و اگر هدف ایجاد خلاء در یک تجهیز فرآیندی باشد به آن اجکتور می‌گویند.

با مراجعه مجدد به شکل ۳-۷۲، ترموکمپرسور متشکل از یک نازل همگرا-واگرا (Convergent-Divergent) می‌باشد که به آن Primary Nozzle می‌گویند که در داخل shell یا casing قرار دارد. بخار فشار بالا (Motive Flow) از طریق Primary Nozzle وارد TVC (Thermal Vapor Compression) می‌شود و یک منطقه با فشار استاتیک پایین در mixing chamber ایجاد می‌کند. بنابراین بخار فشار پایین (Secondary Flow) وارد محدوده convergent شده و تحت تاثیر مومنتوم بالای جریان اولیه (Motive Flow) تا سرعت صوت، شتاب می‌گیرد. جریان مخلوط از یک موج قوی در منطقه constant area عبور می‌کند و در diffuser به فشار استاتیکی بیشتر منبسط می‌گردد.

ظرفیت ترموکمپرسور را میزان Motive Steam در دسترس، فشار Motive Steam و

[1]- Latent Heat Content

Suction Steam و میزان فشار مورد نیاز Discharge تعیین می‌کند.

مثال: فرض کنید یک واحد صنعتی 10,000 lb/hr بخار با فشاری نزدیک به فشار اتمسفر و در حدود 0.3 Psig و دمای 212.9ºF و انرژی حرارتی 1150.7 Btu/lb را به اتمسفر تخلیه می‌کند.

این بخار در صورتی که به فشار 15.3 Psig در شرایط دمایی 250.3ºF با انرژی حرارتی 1164.1 Btu/lb برسد، قابلیت استفاده در برخی از واحدهای فرآیندی را خواهد داشت.

از طرفی در این کارخانه بخار اشباع با فشار 200 Psig، دمای 387ºF و انرژی حرارتی 1199.7 Btu/lb در دسترس می‌باشد.

می‌خواهیم بدانیم نسبت تراکم و میزان مورد نیاز بخار فشار بالا (200 Psig)، برای تبدیل بخار 0.3 Psig به بخار 15.3 Psig چقدر است؟ همچنین میزان انرژی که به واسطه این تبدیل و استفاده از این بخار فشار پایین صرفه جویی می‌شود را بدست می‌آوریم.

P: Atmospheric Pressure (absolute) = 14.7 Psi
Pm: Motive Steam Pressure (absolute) = gauge + atmospheric
PS: Suction Steam Pressure (absolute) = gauge + atmospheric
Pd: Discharge Steam Pressure (absolute) = gauge + atmospheric
Mm: Motive Steam Flow rate
MS: Suction Steam Flow rate
Md: Discharge Steam Flow rate = Mm + MS
E: Expansion Ratio = $P_m / P_S$ (should be over 1.4)
C: Compression Ratio = $P_d / P_S$ (normally less than 1.8)
R: Entrainment Ratio = $M_S / M_m$

$$C = \frac{15.3 + 14.7}{0.3 + 14.7} = 2$$

$$E = \frac{200 + 14.7}{0.3 + 14.7} = 14.31$$

با توجه به داده های بدست آمده (C,E)، با استفاده از گراف شکل ۳-۷۳ مقدار R برابر است با 1.1

بنابراین 1.1 lb بخار motive به ازای هر lb بخار فشار کم (Suction) لازم است. بنابراین:

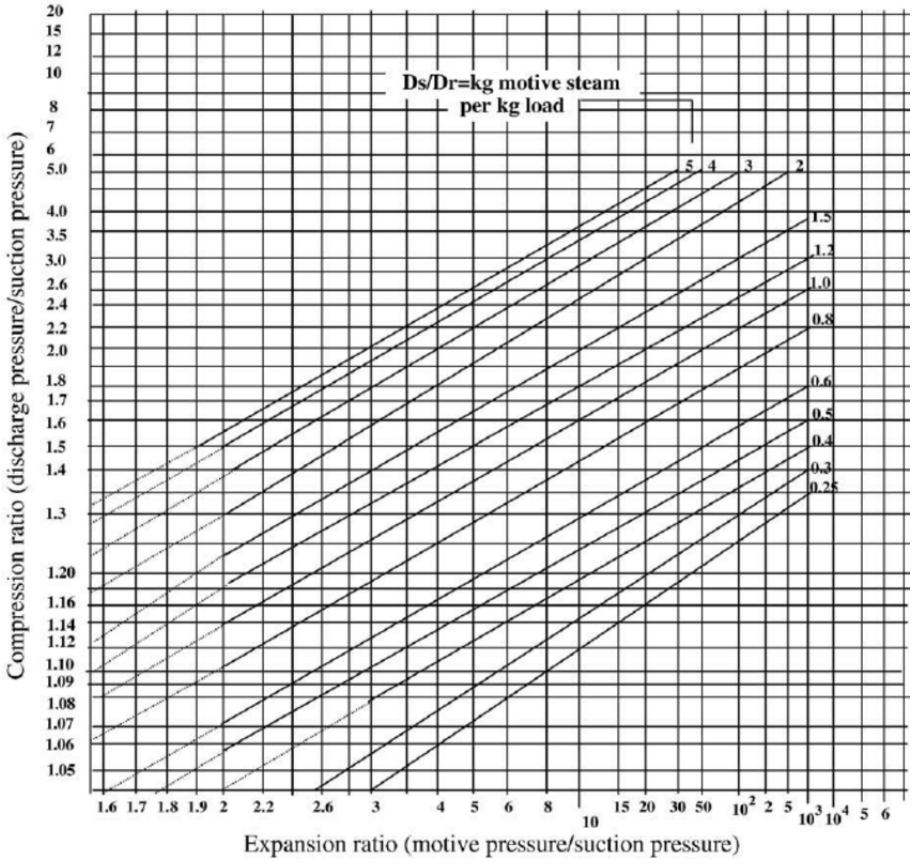
$$M_m = 1.1 \times 10{,}000 = 11{,}000 \text{ lb}$$

در نتیجه ترموکمپرسور به 11,000 lb بخار با فشار بالا برای تولید 21,000 lb بخار فشار متوسط 15.3 Psig در خروجی نیاز دارد.

در نهایت با جلوگیری از هدر رفت 10,000 lb بخار فشار پایین، میزان انرژی که ذخیره می‌شود برابر است با:

$$\boldsymbol{Energy\ Saving = vent\ flowrate \times (enthalpy\ of\ vented\ system - enthalpy\ of\ make\ up\ water)}$$

$$ES = 10{,}000 \times \frac{1150.7 - 77}{10^6} = 10.7 \frac{MMBtu}{hr}$$




شکل ۳-۷۳ تعیین Entrainment Ratio

یکی از پارامترهای مهم ارزیابی عملکرد سیستم‌های فرآیند desalination، پارامتر GOR (Gain Output Ratio) می‌باشد و برابر است با نسبت کل آب شیرین تولید شده (D) به کل Motive Steam وارد شده به TVC ($M_m$)

$$GOR = D / M_m$$

- اجکتورهای تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای ( Single and Multistage Ejectors)

هنگامی که تراکم مورد نظر فقط در یک diffuser منفرد انجام شود، دستگاه به عنوان

اجکتور تک مرحله‌ای شناخته می‌شود. همانند سایر دستگاه‌های فشرده سازی گاز، در بعضی موارد، ممکن است با تاثیر بر فشار در چندین مرحله، در انرژی صرفه جویی شود. عملکرد اجکتورهای چند مرحله‌ای مانند این است که چند اجکتور به صورت سری عمل کنند.

در اجکتورها معمولا از یک کندانسور کوچک در خروجی هر diffuser با هدف کاهش گازهای قابل کندانس استفاده می‌کنند و به این ترتیب در مراحل بعدی کار فشرده سازی روی گازهای غیر قابل کندانس صورت می‌گیرد. به این کندانسورها Inter condenser می‌گویند و به کندانسورهایی که به خروجی diffuser مرحله آخر نصب می‌شوند، After condenser می‌گویند. هر دو نوع این کندانسورها می‌توانند بارومتریک ( Direct Contact) یا Shell & Tube باشند.

برای اجکتورهای تک مرحله‌ای، inter condenser معنی ندارد ولی ممکن است بسته به شرایط after condenser در نظر گرفته شود.

برای اجکتورهای دو مرحله‌ای معمولا یک inter condenser بین مراحل در نظر می-گیرند و ممکن است بسته به شرایط after condenser در نظر گرفته شود. جایی که ظرفیت اجکتور کم باشد، مصرف بخار مهم نباشد یا جایی که فضا برای نصب inter condenser کافی نباشد، خروجی مرحله اول مستقیما به ورودی مرحله دوم متصل می‌شود.

برای اجکتورهای سه مرحله‌ای (به جز در شرایط خاص) دو inter condenser و After condenser در صورت نیاز در نظر گرفته می‌شود. در جایی که ظرفیت کم و خلاء به صورت غیرمعمول زیاد مدنظر باشد، یا دمای آب کندانس شده نسبتا بالا باشد، Inter condenser بین مراحل اول و دوم را حذف می‌کنند و خروجی مرحله اول مستقیم به ورودی مرحله دم نصب می‌شود. و در جایی که ظرفیت ها کم باشد و مصرف بخار مهم باشد هر دو inter condenser حذف می‌شوند.

اجکتورهای ۴ مرحله‌ای برای خلاء زیاد استفاده می‌شوند. در این اجکتورها از inter

condenser بین مراحل اول و دوم استفاده نمی‌شود.
اجکتورهای ۵ مرحله‌ای برای خلاء های بسیار زیاد استفاده می‌شود. در این اجکتورها از inter condenser بین مراحل اول و دوم و بین مراحل دوم و سوم استفاده نمی‌شود.

- بازرسی اجکتورها

- بررسی شود که کلیه مهاربندها، پوشش‌ها و کلیه وسایل محافظتی تجهیز از زمان نقل و انتقال به سایت، باز و خارج شده باشند.
- قبل از نصب اجکتور، پیچ و مهره فلنج‌های آن از لحاظ کفایت سفتی بررسی شوند. جمع‌شدگی و خراب شدن گسکت‌ها و ارتعاشات در حمل و نقل ممکن است باعث شل شدن پیچ و مهره ها شده باشد.
- اگر اجکتور قبل از سفت کردن پیچ و مهره‌ها در سرویس قرار گیرد، نشتی هوا از طریق فلنج‌ها به اجکتور ، باعث کارکرد نامطلوب آن می‌شود و یا احتمال دارد گسکت قسمت steam chest پاره شود.
- بررسی مدارک FAT؛ معمولا برای اجکتورها تست Hydrostatic در سایت با موافقت سازنده و گروه فنی جهت اطمینان از عدم نشتی سیستم انجام می‌گیرد.
- زمانی که قطر نازل motive fluid کمتر از "3/8 باشد، یک strainer در نزدیک-ترین محل ممکن به اجکتور در روی خط ورودی برای جلوگیری از گرفتگی نازل در نظر می‌گیرند. این strainer ها معمولا یک blow off valve نیز دارند که خروجی آن به سیستم drain متصل می‌باشد و strainer به راحتی با باز کردن این ولو تمیز می‌شود. قبل از استارت اجکتور این ولو باید برای چند دقیقه جهت خالی کردن خط بخار از کندانس‌های احتمالی و تمیز کردن strainer باز باشد. به محض این‌که بخار عاری از قطرات آب بود، blow off valve بسته می‌شود. پیشنهاد می‌شود strainer را به صورت مرتب در دوره‌های مشخص در زمان بهره‌برداری نیز تمیز کنید. معمولا هر ۶ ماه basket این strainer ها تعویض می‌شود. با این‌حال

اگر پاره، خورده و یا گرفته شده بود، در صورت نیاز تعویض گردد.

- اندازه‌گیری فشار مطلق: بر روی air chamber هر اجکتور معمولا نقطه‌ای برای نصب مانومتر در نظر گرفته شده است. فشار مطلق در اجکتورها بر اساس میلی‌متر یا اینچ جیوه می‌باشد. برای اندازه‌گیری فشار مطلق اجکتور فشارسنج باید از لحاظ دما و ارتفاع نصب آن نسبت به سطح دریا تصحیح شود. فشار بارومتریک تحت تاثیر شرایط آب و هوایی می‌باشد و تقریبا یک اینچ به ازای هر 1000 ft ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد.
- Wet Steam: از آن‌جا که wet steam به صورت جدی بر عمل‌کرد اجکتور تاثیر می‌گذارد، یک steam separator یا steam trap باید در مسیر خط بخار در نزدیکی اجکتور برای اطمینان از بخار خشک نصب شود. نکته مهم این‌که بخار ورودی به اجکتور باید از بالای خط اصلی بخار انشعاب گرفته شود. کلیه خطوط بخار و steam chest باید به خوبی عایق شده باشند. بخار مرطوب همیشه نامطلوب می‌باشد. زیرا باعث شکسته شدن یا نوسان خلاء در اجکتور می‌شود. حتی اگر این شرایط جدی نباشد، یا به طور موردی قابل اغماض باشد، بخار مرطوب باعث کاهش عمر مفید اجکتور می‌شود و به طور جدی موجب سایش diffuser می‌شود به طوری که بعد از مدت زمان کوتاهی مجبور به جایگزین کردن آن می‌شوید. یکی از راه‌های بررسی شرایط بخار، سنجش دمای بخار در هر مرحله از اجکتور می‌باشد. هرچند در این مورد تفسیر نتایج قابل اطمینان نیست. به عنوان مثال اگر ترمومتر دمای اشباع و یا حتی superheat را نشان دهد باز هم امکان وجود رطوبت در بخار وجود دارد. (چرا؟) باید به خاطر داشت که مقادیر جدول بخار در شرایط تعادل اندازه‌گیری می‌شود. به عبارت دیگر این امکان وجود دارد که جریان بخار superheat مقداری آب راکد موجود در خط را همراه خود حمل کند بدون این‌که در فاصله‌ای به تعادل برسد. این مورد بیشتر در زمان startup و یا سرویس‌های دوره‌ای اتفاق می‌افتد. بنابراین بهترین راه برای بررسی شرایط بخار از لحاظ کیفی می‌باشد. به این صورت

که از یک bleed point در نزدیکی اجکتور، فوران بخار را مشاهده و تفسیر نمایید. بخار superheat تا مقداری فاصله از دهانه bleed نامعلوم می‌باشد. بخار نزدیک به دمای اشباع، در فاصله کمی از دهانه bleed به صورت بخار آبی رنگ در حال تغییر به سفید می‌باشد. آب و رطوبت موجود در بخار اشباع یا superheat به صورت ابر پشته‌ای سفید رنگ مشخص می‌باشد.

- بخار Superheat: مهم‌ترین مزیت قابل اشاره در عمل‌کرد اجکتورها به خاطر بخار superheat، از بین بردن مشکلات ناشی از wet steam می‌باشد. هرچند دمای superheat بیشتر، در صورتی‌که اجکتور برای آن دما طراحی نشده باشد، خود می‌تواند ایجاد مشکل نماید. یک اجکتور برای استفاده مقدار مشخصی بخار جهت اعمال بر مقدار مشخصی گاز یا بخار طراحی شده است. دمای superheat بیشتر از شرایط طراحی موجب کاهش دبی بخار از طریق نازل اجکتور می‌شود.
- فشار پایین بخار: یکی از دلایل مکرر عمل‌کرد نامطلوب اجکتورها فشار کم بخار می‌باشد؛ معمولا این اتفاق به‌دلیل اندازه‌گیری نامناسب و معیوب فشار اتفاق می‌افتد. برای رفع این مشکل حتما باید یک گیج کالیبره شده و تا جای ممکن نزدیک به steam chest نصب شود. هرگونه اتصال یا طول زیاد لوله بین گیج فشار و اجکتور، باعث کاهش فشار شده و فشار بخاری که به اجکتور می‌رسد کمتر از فشار بخاری می‌باشد که گیج نشان می‌دهد.
- دقت شود برای اندازه گیری خلاء از گیج های spring-type به علت دقت پایین در تشخیص این شرایط استفاده نکنید. مانومترهای روعنی یا جیوه ای برای این شرایط مناسب‌تر می‌باشند.
- نحوه تشخیص نشتی هوا در اجکتورها: در قدم اول باید نشتی هوا تعیین شود و با شرایط طراحی مقایسه گردد. ساده‌ترین راه برای تعیین نشتی هوا در سرویس قرار دادن مرحله نهایی اجکتور به تنهایی و استفاده از منحنی عمل‌کرد این مرحله جهت اندازه‌گیری میزان نشتی هوا می‌باشد. اندازه‌گیری فشار suction این مرحله با یک

گیج خلاء دقیق امکان محاسبه مستقیم میزان نشت هوا از طریق منحنی عمل‌کرد را می‌دهد. چنان‌چه منحنی عمل‌کرد مرحله آخر در دسترس نباشد، با استفاده از روش drop test و فرمول زیر می‌توان با تقریب مناسبی میزان نشتی هوا را بدست آورد. در این روش ابتدا با در سرویس قرار دادن اجکتور، فشار را تا نصف فشار بارومتریک تخلیه می‌کنیم. سپس سیستم را از اجکتور ایزوله کرده و اجکتور را از سرویس خارج می‌نماییم. میزان افزایش فشار را در هر دقیقه پایش نموده و با استفاده از فرمول زیر میزان نشتی را محاسبه نمایید:

$$Leakage\left(\frac{lb}{hr}\right) = 0.15 * V * \frac{dP}{T}$$

V: حجم سیستم بر حسب $ft^3$

dP: میزان افزایش فشار بر حسب inch Hg

T: مدت زمان افزایش فشار بر حسب دقیقه

در drop test شرایط زیر باید برقرار باشد:

- فشار سیستم باید کمتر از 0.53 برابر فشار بارومتریک باشد.
- سیتم باید عاری از هرگونه مایع در طول تست باشد.
- تجهیزات متحرک مانند mixer نیز در طول تست برای تقویت نشتی احتمالی هوا در صورت وجود باید در سرویس قرار گیرند.

- Start-Up:

قبل از در سرویس قرار دادن اجکتور، کلیه کندانس‌های احتمالی موجود در اجکتور و قسمت خلاء باید تخلیه گردد و خط بخار باید blow down شود تا هرگونه کندانس خارج شده و خط پیش گرم شود. مراحل start-up به قرار زیر می‌باشد:

۱- باز کردن مسیر آب به after condenser (در صورت وجود)
۲- باز کردن بخار به آخرین مرحله اجکتور (Atmospheric Discharge). در این مرحله سیستم را تا فشار "8-4 جیوه فقط با استفاده از مرحله آخر تخلیه می‌کنیم.
۳- باز کردن مسیر آب به inter condenser بین دو مرحله آخر
۴- باز کردن بخار به مرحله قبل از آخرین مرحله
۵- تکرار موارد ۳ و ۴ تا اینکه همه مراحل در سرویس قرار بگیرند.

- Shutdown:

برای shutdown کلیه مراحل start up را از آخر به اول اعمال کنید. ابتدا مرحله اول اجکتور و سپس به ترتیب مراحل بعد از سرویس خارج می‌شوند. اگر آخرین مرحله به اتمسفر تخلیه می‌شود، خلاء توسط کشیده شدن هوا از طریق مراحل اجکتور به داخل سیستم شکسته می‌شود.

# فـــصل چـــهارم

# استارت‌آپ[1]

[1] - Start-up

## ۴-۱- مقدمه

فعالیت‌های استارت‌آپ با پایان عملیات مکانیکی و کلیه فعالیت‌های راه‌اندازی به منظور ورود خوراک به واحد صنعتی آغاز می‌شود و شامل سلسله تست‌هایی می‌باشد که در طول به سرویس آوردن واحد صنعتی انجام می‌پذیرد. هدف از این تست‌ها اطمینان از عمل‌کرد درست و ایمن همه تجهیزات و متعاقب با آن عمل‌کرد مورد انتظار واحد در تولید محصول با کیفیت می‌باشد. در واقع استارت‌آپ فصل مشترک عملیات راه‌اندازی و بهره‌برداری می‌باشد، به‌طوری که در آن سیال فرآیندی تحت شرایط فرآیندی و با هدف تولید محصول وارد چرخه فرآیند می‌شود.

بنابراین فعالیت‌های استارت‌آپ شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- عملیات قبل از Feed-in: Line Up و بررسی نهایی مخازن، ولوها، PSV ها، Interlock ها و همچنین بررسی کلیه Isolation ها مطابق با مدارک و دستورالعمل‌های ایمنی

۲- عملیات بعد از Feed-in: انجام Performance Test کلیه تجهیزات به‌جهت اثبات عمل‌کرد واحد مطابق با Specification های مورد نظر و ظرفیت طراحی واحد برای تولید محصول با کیفیت.

در این بخش به اولویت استارت‌آپ واحدهای یک پالایشگاه می‌پردازیم. اگر به‌طور کل واحدهای یک مجتمع صنعتی نفت و گاز و پتروشیمی را به دو بخش Utility و Process تقسیم‌بندی کنیم، اولویت راه‌اندازی و استارت‌آپ واحدهای پروسس به نوع فرآیند و ماهیت کلی Plant بستگی دارد. اما برای واحدهای Utility به‌طور جامع قابلیت اولویت بندی در این راستا وجود دارد. اساس اقدام برای استارت‌آپ هر واحد، تکمیل فعالیت‌های مکانیکی[۱] و به‌دنبال آن اجرای فعالیت‌های پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی با اولویت عنوان

[۱]- Mechanical Completion

شده در جدول ۳ -۱ بخش راه‌اندازی همین کتاب می‌باشد.

بنابراین عمده فعالیت‌های گروه راه‌اندازی بعد از تکمیل فعالیت‌های مکانیکی که بر عهده تیم ساخت می‌باشد، به ترتیب زیر است:

۱- نظارت بر پیش راه‌اندازی

۲- راه‌اندازی

۳-استارت‌آپ

۴- بهره‌برداری در زمان Transition تا تایید Performance Test

۵- انجام Performance Test

## ۴- ۲- فعالیت‌های قبل از استارت‌آپ

موفقیت یک پروژه در گرو راه‌اندازی و استارت‌آپ موفق آن می‌باشد و در این بین هشت اصل: برنامه‌ریزی، ایمنی، محیط زیست، کیفیت محصول، میزان محصول، هزینه استارت-آپ، تأثیرات استارت‌آپ بر بهره‌برداری و کارایی و توانمندی تیم استارت‌آپ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تاکنون بررسی‌های انجام شده بر اساس شاخص عمل‌کرد کلیدی KPI [۱] نشان دهنده این است‌که اجرای عملیات استارت‌آپ اغلب با موارد قابل انتظار با معیارهای [۲] صنعتی مطابقت نداشته و اصولا در اجرای برنامه‌ریزی شده این مهم کمبودهایی وجود داشته است. بنابراین صنایع مختلف به راهنمای موثر و برنامه‌ریزی اصولی در زمینه راه‌اندازی و استارت‌آپ با در اختیار گرفتن افراد با تجربه نیاز دارند. از طرفی درک نکات کلیدی مربوط به راه‌اندازی، استارت‌آپ و بهره‌برداری اولیه در کنار دانش فرآیندی آن واحد و همچنین شناسایی فاکتورهای بحرانی و پیش‌بینی و برنامه‌ریزی آن‌ها می‌تواند مسیر سبز رسیدن و دست‌یابی به هشت اصل فوق باشد.

---

۱- Key Performance Indicator

۲ - Benchmark

استارت یک واحد و قرار دادن آن در شرایط بهره‌برداری به روش‌های مختلف، به نوع تجربه متخصصین بهره‌برداری وابسته است. به‌دلیل تنوع در نوع فرآیندها و تاسیسات به‌کار رفته در واحدهای مختلف صنعتی، یک دستورالعمل واحد و استاندارد، قابل برنامه-ریزی و تدوین نمی‌باشد. اما نکاتی که در استارت‌آپ هر واحد صنعتی بدون توجه به نوع فرآیند، عمومیت دارند، در این کتاب اشاره شده است. بدیهی است در کلیه فازهای یک پروژه، ایمنی از اصول اولیه بوده و انجام همه فعالیت‌ها باید بر مبنای این اصل باشد. از آن‌جا که یکی از مهم‌ترین مراحل اجرایی، مرحله استارت‌آپ می‌باشد، لازم است پیشتر نسبت به خطرات احتمالی آن آگاهی کامل داشته و بهره‌برداری را بدون حادثه و با کم‌ترین هزینه به سرانجام برسانید. در این راستا دستورالعمل PSSR [۱]کلیه الزامات مورد نیاز برای اجرایی شدن استارت‌آپ را در بر می‌گیرد. این دستورالعمل که توسط تیمی متشکل از متخصصین طراحی، راه‌اندازی و متخصصین HSE [۲] تدوین می‌شود، به‌عنوان تایید نهایی عملیات راه‌اندازی بوده و مبین این است‌که کلیه فازهای پیشین به‌درستی برای رسیدن به محصول با کیفیت همراه با ارزیابی ریسک انجام شده‌اند. این دستورالعمل با توجه به نوع پروژه و مخاطرات موجود در فرآیند و همچنین زمان توقف و برگشت به‌کار واحد صنعتی می‌تواند در سطوح مختلف باشد. پایه و اساس PSSR در واقع چک لیست‌هایی است‌که نتیجه آن یک برنامه زمان‌بندی [۳] برای اقدامات اصلاحی می‌باشد.

به‌طور کلی PSSR نه فقط برای استارت‌آپ اولیه واحدها، بلکه برای در سرویس قرار دادن واحدها بعد از تعمیرات اساسی و یا هر نوع تغییری در سیستم که به نوعی بر شرایط فرآیند تأثیرگذار باشد، لازم و ضروری است. برای ارزیابی و تدوین PSSR، مطالعه مستنداتی نظیر نقشه‌های فرآیندی و مکانیکی، مدارک ارزیابی ریسک مانند PHA [۴]،

---

[۱]- Pre-Start-up Safety Review

[۲]- Health, Safety and Environment

[۳] Action Plan

[۴]- Process Hazard Analysis

HAZOP [۱]، FMEA [۲]، Logic Diagram ها، Cause and Effect ها، ERP [۳] ها، HAZMAT [۴] و مطالعه History Note های زمان راه‌اندازی ضروری می‌باشد. توجه داشته باشید که مستندات و مطالعه PSSR مربوط به یک زمان نبوده و باید در طول بهره‌برداری نیز برای استارت‌آپ‌های آتی به روز رسانی گردند.

برای تهیه PSSR ابتدا باید آیتم‌های بحرانی[۵] و حیاتی[۶] آنالیز و برای آن‌ها چک لیست تهیه شود و بر اساس پانچ‌های تهیه شده، اقدامات ضروری، مشخص و اولویت‌بندی شوند و بر اساس یک برنامه‌ریزی عملیاتی نسبت به رفع موانعی که مانع استارت‌آپ می‌شوند، اقدام نمود. بنابراین چک لیست مربوط به PSSR باید حداقل شامل اطلاعات ایمنی فرآیند، نتایج مطالعات ارزیابی ریسک، دستورالعمل‌های استارت‌آپ به‌صورت گام به گام، P&ID های مارک شده، مسیر اصلی ورود خوراک تا خروج محصول به‌همراه Isolation List مکانیکی و فرآیندی و برگه‌های تایید کننده رفع پانچ‌های راه‌اندازی، MSDS [۷]، مدارک RFC [۸] و RFSU [۹] باشد.

به‌علاوه برای هر واحد صنعتی اعم از فرآیندی و تاسیسات جانبی، دستورالعمل منحصر به‌فردی باید تدوین شود و پیش از استارت‌آپ مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در این دستورالعمل باید شرایط آماده سازی واحد برای دریافت خوراک، ترتیب مراحل ورود خوراک به تجهیزات و تعیین پروفیل‌های دمایی و فشاری تا رسیدن به محصول نهایی هر

---

۱- Hazard & Operability
۲- Failure Mode & Effect Analysis
۳- Emergency Response Plan
۴- Hazardous Materials
۵- Critical
۶- Vital
۷ Material Safety Data Sheet
۸- Ready For Commissioning
۹ -Ready For Start Up

تجهیز و در نهایت به واحد مربوطه، به‌صورت گام به گام شرح داده شود. این دستورالعمل باید به همراه P&ID های مارک شده واحد که مسیر ورود و خروج خوراک در آن مشخص شده است به‌همراه لیستی از Isolation های مکانیکی و پروسسی باشد. همچنین پیش‌بینی‌های لازم برای تغییر شرایط برای ورود به فاز Shutdown، علل احتمالی Shutdown به‌همراه راه‌کار و نحوه استارت‌آپ مجدد بعد از Shutdown باید ذکر شده باشد.

در طول دوره راه‌اندازی و شروع استارت‌آپ، مهندس فرآیند باید در امر نوشتن و یا بازنویسی دستورالعمل‌های بهره‌برداری بر اساس Design Basis و اطلاعات پایه طراحی، مشارکت کند. به این دستورالعمل معمولاً "Operating Manual" می‌گویند. با توجه به پیچیدگی فرآیندهای شیمیایی و واحدهای صنعتی، بروز مشکلات جزئی در طول استارت-آپ نظیر عدم وجود جریان کافی در خروجی پمپ به‌علت گردش اشتباه پمپ، دور از انتظار نیست؛ البته مشکلات بزرگتری هم درصورت اطلاعات اشتباه طراحی ممکن است به‌وجود بیاید. مهندسان طراحی فرآیند در این مرحله باید انتظارات طراحی واحد را مطابق با مدارک Design Basis و آن‌چه در بهره‌برداری اولیه واحد عملا اتفاق افتاده است مقایسه و درصورت لزوم اقدام به بازنویسی Operating manual کنند تا تصویری واضح از عمل‌کرد هرچه بهتر و نزدیک‌تر واحد به معیارهای مورد انتظار را برای بهره‌برداران ارائه دهند.

بررسی‌های لازم قبل از استارت‌آپ به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- اطمینان از صحت عمل‌کرد صحیح کلیه تجهیزات ابزاردقیق و صحت set point ها

۲- اطمینان از صحت عمل‌کرد کنترل پنل‌ها

۳- اطمینان از آماده بودن سیستم Emergency Shutdown

۴- اطمینان از تنظیم درست Interlock ها، زمان تاخیر رله‌ها و آلارم‌ها

۵- ارائه دستورالعمل مجوز کار[۱] و ورود به فضاهای محدود[۲] و برچسب زدن بر روی ولوها و قفل کردن آن‌ها

۶- اطمینان از در سرویس بودن کلیه سرویس‌های یوتیلیتی و بررسی سیستم Inert Gas

۷- اطمینان از در سرویس بودن کلیه تجهیزات Fire Fighting اعم از Deluge System و Fire Hydrant و Safety Shower ها

۸- باز نمودن کلیه داربست‌ها درصورت امکان و خارج نمودن آن‌ها از واحد

۹- اطمینان از تست شدن کلیه ESDV ها، SDV ها و BDV ها (باید قبلاً تست شده و آماده استفاده باشند) و همچنین De-Isolate نمودن BDV ها

۱۰- اطمینان از در سرویس بودن سیستم F&G

۱۱- باز نمودن تمامی Blind های غیر ضروری از سیستم

۱۲- اطمینان از تست شدن تمام Relief Valve ها و De-Isolate شدن آن‌ها. (برای تجهیزاتی که Relief Valve آن‌ها Spare دارد، ولو Spare باید ایزوله باشد)

۱۳- خارج نمودن تمامی خطوط موقتی و Hose های موقتی از سیستم

۱۴- بررسی پرج شدن خطوط Flare و آماده سرویس بودن آن‌ها

۱۵- اطمینان از آماده سرویس بودن کلیه Sewer ها و شبکه‌های drain و واحد disposal

۱۶- اطمینان از بسته بودن کلیه درین‌ها و ونت‌ها

۱۷- بررسی و تایید کلیه ولوهای CSC و CSO و عدم مغایرت با P&ID

۱۸- اطمینان از بسته بودن مسیر Bypass ولوهای کنترلی

۱۹- تست کلیه کنترل ولوها به‌صورت ریموت استروک؛ بدین صورت که با تعریف درصدهای مختلف Opening و یا Closing (معمولا 0،25،50،75، 100 و بالعکس) در

---

۱- Permit To Work

۲- Confined Space

اتاق کنترل و در Face Plate مربوط به ولو مورد نظر، توسط بهره‌بردار در سایت و از روی Indicator و Scale Bar ولو بررسی و صحت عمل‌کرد ولو توسط اپراتور در سایت تایید شود.

۲۰- اطمینان از آماده بودن پکیج مواد شیمیایی درصورت وجود و مطابقت دوز تزریق و میزان غلظت محلول شیمیایی با شرایط بهره‌برداری

۲۱- اطمینان از در سرویس بودن خطوط Fuel Oil و یا Fuel Gas

۲۲- اطمینان از روشن بودن Pilot هیتر (درصورت موجود بودن و غیر الکتریکی بودن)

۲۳- توجه شود که قبل از ورود هیدروکربن به واحد،کلیه تجهیزات و خطوط تحت تماس با آن باید با یک گاز خنثی (مانند نیتروژن) پرج گردند و تا حد مجاز LEL پایین بیاید. معمولاً این عملیات در انتهای عملیات Leak Test زمانی که بخواهند نیتروژن ساب‌سیستم تست شده را به ساب‌سیستم دیگر و یا به اتمسفر منتقل کنند صورت می‌گیرد. در این حالت سیستم مورد نظر را بعد از پرج کردن، تحت فشار مثبت نیتروژن (0.3-0.5 barg) قرار می‌دهند تا مانع نفوذ هوا به داخل سیستم گردد. (برای اطلاعات بیشتر به بخش Inerting فصل ۳ مراجعه شود).

۲۴- یک مخزن ممکن است به منظور خارج کردن هوا، پیش‌گرم کردن و بالا بردن دمای مخزن، رفع انسدادهای احتمالی و یا حتی جهت تست نشتی مخزن، با بخار پرج شود. در زمان Shutdown یک مخزن را با بخار از مواد شیمیایی و گازهای کشنده عاری می‌کنند تا ایمنی نفرات را برای ورود به آن‌ها تضمین کنند. البته توجه شود که پرج کردن با بخار غالبا زمانی که استفاده از نیتروژن امکان‌پذیر نباشد، صورت می‌گیرد و در جاهایی که Heat up، تبخیر هیدروکربن‌های سنگین و رفع انسداد نیز علاوه بر پرج کردن مد نظر باشد، نیتروژن کارایی ندارد. همچنین بخار از لحاظ اقتصادی نسبت به نیتروژن مقرون به صرفه بوده و سرعت پرج با آن به مراتب سریعتر از نیتروژن می‌باشد. اما در استفاده از بخار در پرج کردن باید موارد مهم زیر را مد نظر قرار داد:

۱- برخی از تجهیزات برای حالت خلاء طراحی نشده‌اند و لازم است برای جلوگیری از خلاء ونت‌های آن‌ها پس از Steaming باز گردند. چنان‌چه کلیه خروجی‌های تجهیز بسته باشد، بخار به سرعت باعث ایجاد فشار در تجهیز شده و پس از کندانس شدن بخار، کاهش فشار باعث Collapse شدن و Imploding می‌شود. بنابراین در این حالت باید ونت‌ها باز باشند و در حالتی‌که آماده سازی جهت عملیات استارت‌آپ می‌باشد، بلافاصله بعد از Steam Out، باید با Fuel Gas و یا با نیتروژن سیستم را پرج کرده و با فشار مثبت Box Up نمایید و اگر آماده سازی جهت Shutdown می‌باشد، باید فقط با Inert Gas پرج شود.

۲- انبساط حرارتی اتصالات در اثر گرم شدن توسط بخار و وجود کثیفی در بین فلنج‌ها باعث ایجاد نشتی می‌شود و لذا بعد از Steam Out باید Bolt Tightening انجام شود. ضمنا توجه شود که دمای فلز تجهیز از دمای تعریف شده ایمن آن بالاتر نرود.

۳- در زمان Steam Purging یک سیستم، احتمال وقوع پدیده ضربه قوچ وجود دارد. در ابتدا که مخزن و تجهیزات داخلی آن سرد است، باعث میعان سریع بخار می‌شود و در ادامه بخار بیشتر، توده میعان تشکیل شده را در مسیر خود حرکت می‌دهد و میعانات را به جلو می‌راند که سبب خرابی اتصالات و ادوات داخلی مخزن می‌گردد.

۴- تجهیزات ابزاردقیقی که در تماس با بخار، احتمال خرابی آن‌ها وجود دارد باید از سیستم خارج گردند.

۵- این عملیات زمانی که وجود مواد شیمیایی داخل مخزن با میعانات بخار، تشکیل اسید دهد باید ممانعت گردد.

۶- کلیه کولرهای هوایی را پیش از این عملیات خاموش و ونت‌ها را در بالاترین نقاط و درین‌ها را در پایین ترین نقطه از سیستم یا تجهیزی که در حال Steam Purging می‌باشد، باز کنید. دقت داشته باشید فقط زمانی که مواد شیمیایی خطرناک در مخزن

وجود ندارد می‌توانید قبل از عملیات Steaming کلیه درین‌ها و ونت‌ها را باز کنید. چنان‌چه مواد شیمیایی خطرناک وجود داشته باشد، بخار باید به سمت فلر، تا زمانی که سیستم از مواد شیمیایی عاری گردد هدایت شود و در این حالت اقدام به باز کردن درین نمایید.

۷- بخار را از قسمت پایین تجهیز به آن تزریق کنید و تزریق در صورت لزوم از چند نقطه از پایین تجهیز صورت پذیرد. توجه به این نکته ضروری است‌که تجهیزات دوار و تجهیزات ابزاردقیق نباید Steam Out شوند.

۸- مدت زمان Steam Out نباید کمتر از 12 ساعت باشد.

۹- برای استارت‌آپ، زمانی که عملیات پرج تمام شد، همه ونت‌ها و درین‌ها را بسته و شروع به تزریق Fuel Gas نمایید و مسیر بخار ورودی را ببندید. دقت کنید که بستن خط بخار و باز کردن ولو مربوط به Fuel gas باید متناسب باهم باشد به‌طوری- که فلوی کم گاز باعث افت شدید فشار مخزن سیستم مورد نظر نشود و از طرفی فلوی زیاد آن باعث کاهش فشار کلی Fuel Gas در plant نگردد.

۱۰- در نهایت برای استارت‌آپ باید تجهیزات را تحت فشار 80 kPa یا 0.8 barg Box Up کرد.

حال با در نظر گرفتن الزامات ایمنی می‌توانید خوراک را به واحد با حداقل میزان مجاز طراحی آن [۱]وارد نمایید و با نمونه‌برداری و تست‌های آزمایشگاهی نسبت به درست انجام شدن فرآیند و تولید محصول با کیفیت مطابق با خواسته‌های تجاری اطمینان حاصل نمایید.

محوریت اصلی فعالیت‌ها و بررسی‌های پیش از استارت‌آپ، بررسی موارد ایمنی و انجام فعالیت‌ها بر پایه اصول ایمنی می‌باشد. در واقع مطالعه و بررسی دقیق واحد

[۱]- Turndown Ratio

پیش از استارت‌آپ و در حین ورود خوراک به واحد تلویحا تایید کننده موارد زیر می‌باشد:

۱- ساخت تجهیزات مطابق با مشخصات طراحی

۲- ایمنی واحد در حد استانداردهای لازم

۳- بهره‌برداری ایمن و اطمینان از کارایی سیستم‌های F&G و ESD

۴- تجزیه و تحلیل Process Hazard مانند بررسی عمل‌کرد fire protection ها، fire prevention ها و فرآیند Air freeing واحد

۵- اطمینان از کارایی و کفایت کلیه دستورالعمل‌های ایمنی، بهره‌برداری، تعمیراتی و فعالیت‌های Emeregency

۶- بررسی HAZOP

### Early Production -۳ -۴

ممکن است در موقعیتی لازم باشد برای تولید زود هنگام با توجه به شرایط پروژه، تنها بخشی از واحدهای یوتیلیتی و Offsite و قسمتی از واحدهای فرآیندی که برای کسب محصول با کیفیت ضروری هستند، استفاده شوند. در این حالت لازم است سناریوی مربوط به Early Production که شامل تعیین واحدهای اساسی برای تولید محصول با کیفیت، Schedule ها و بخش‌های ضروری واحدهای فرآیندی، Mechanical Isolation List ها و ... می‌باشد، تدوین شود. این نگرش باعث اجرای منظم و برنامه‌ریزی شده عملیات‌های پیش راه‌اندازی، راه‌اندازی و استارت‌آپ با جهت‌گیری و سرعت مناسب می‌شود. این تفکر برگرفته از دستورالعمل OPERCOM شرکت TOTAL می‌باشد که برای برنامه‌ریزی، کنترل و نظارت بر عملیات راه‌اندازی تا مرحله تولید، از نرم افزار ICAPS بهره می‌جوید.

### Flare Start-up -۴ -۴

فلرها بخش جدایی‌ناپذیر واحدهای صنعتی شیمیایی می‌باشند. مطابق با استاندارد API 521، کاربرد اصلی فلرها، احتراق بخارات آتش زا، سمی و خورنده و تبدیل آن‌ها به

ترکیباتی با آسیب کمتر به محیط زیست می‌باشد. بنابراین از آن‌جا که نیاز به فلرها یک نیاز همیشگی است، این تجهیز باید از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. از طرف دیگر چون فلرها به ندرت از سرویس خارج می‌شوند، لذا امکان بازرسی دوره‌ای، خصوصا بازرسی تیپ فلر امکان‌پذیر نمی‌باشد و اغلب در Turn around ها با مشکلات زیادی در تیپ فلر مواجه می‌گردیم. به‌طور معمول سه نوع جریان به سیستم فلر وارد می‌شود:

۱- Emergency: جریان‌های Pressure Relife ها و جریان‌های حاصل از Emergency Depressurization

۲- Episodic یا دوره‌ای: جریان حاصل از Venting در زمان تعمیرات یا Regeneration و همچنین جریان‌های مربوط به عملیات Shutdown و استارت‌آپ

۳- Continious: معمولاً 99 درصد جریان فلر به‌صورت پیوسته است‌که شامل Sweep Gas، جریان‌های مربوط به venting آنالایزرها و Gas Seal ها و برخی از انواع PCV ها و همچنین نشتی Reliefe Valve و ولوهای کنترلی مسیر فلر می‌باشد.

لازم به یادآوری است‌که در هر حال، گازهای ارسالی به سمت فلر به معنی کاهش تولید و تأثیر مخرب بر محیط زیست می‌باشد و همواره سعی بر آن است تا میزان Flaring به حداقل برسد. بهترین کار برای کاهش میزان Flaring در درجه اول رفع نشتی داخلی ولوهای مسیر فلر و در درجه بعد با توجه به تنوع زیاد نوع فلر، Root Cause Analysis (RCA) می‌باشد.

امروزه بیشتر صنایع سعی دارند گازهای فلر را تا حد ممکن به خوراک ورودی واحد تزریق کنند یا از آن به عنوان سوخت یا استفاده در فرآیندهای دیگر بهره جویند و از فلر فقط به عنوان Backup، در شرایط اضطراری و تعمیرات استفاده کنند.

بدین ترتیب در این بخش سعی بر آن است تا به مواردی با محوریت بهینه‌سازی و افزایش کارایی مناسب فلر پرداخته شود.

احتراق کامل در شعله فلر [۱] به دمای شعله، زمان ماند بخارات احتراقی در منطقه شعله

[۱] - Flame

(سرعت سیال)، میزان اکسیژن برای تشکیل رادیکال‌های آزاد و میزان اختلاط ترکیبات سیال برای اکسیداسیون بستگی دارد. در واقع احتراق کامل زمانی به‌وقوع می‌پیوندد که همه ترکیبات آلی فرار موجود در سیال به دی اکسید کربن و آب تبدیل شوند. از طرف دیگر احتراق ناقص در نتیجه عدم تغییر بعضی از همین ترکیبات آلی یا تبدیل به سایر ترکیبات آلی مانند آلدهیدها یا اسیدها می‌باشد. از جمله محصولات فرعی که به‌واسطه احتراق در فلر اجتناب ناپذیرند اکسیدهای سولفور ($SO_x$)، اکسیدهای نیتروژن ($NO_x$) و مونوکسید کربن ($CO$) می‌باشد که با طراحی مناسب، می‌توان میزان این ترکیبات را به حداقل رساند. به‌عنوان مثال چنان‌چه ترکیب درصد مواد هالوژنی و سولفور در بخارات فلر زیاد باشد، به شدت باعث کاهش طول عمر تیپ فلر می‌شوند و با تولید $SO_2$ منجر به آلودگی محیط زیست می‌گردند؛ این‌گونه ترکیبات را در Incinerator می‌سوزانند. در این مورد باور عموم بر این است چون شمایلی از این ترکیبات را در هوا به وضوح نمی‌بینند، بنابراین نسبت به وجود آن مشکوک و حتی گاهی منکر وجود آن می‌شوند و باید یادآور شد که اگر در جنگلی ببر نمی‌بینید، دلیل بر عدم وجود ببر در جنگل نیست.

یکی دیگر از مشکلات در تیپ فلر بروز پدیده Cracking می‌باشد که اغلب به‌واسطه برخورد ذرات داغ کربن رخ می‌دهد که اصلی‌ترین عامل درخشندگی شعله نیز همین ذرات کوچک و داغ کربن می‌باشند. چنان‌چه اکسیژن به اندازه کافی برای احتراق وجود نداشته باشد و یا ذرات کربن به هر دلیلی تا زیر نقطه احتراقشان سرد شوند، دود یا دوده تشکیل می‌شود.

واضح است‌که در تمامی فرآیندهای احتراق، هوای کافی و اختلاط مناسب دو اصل لازم برای احتراق کامل و کاهش دود می‌باشند.

مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر راندمان احتراق شعله فلر عبارت است از:

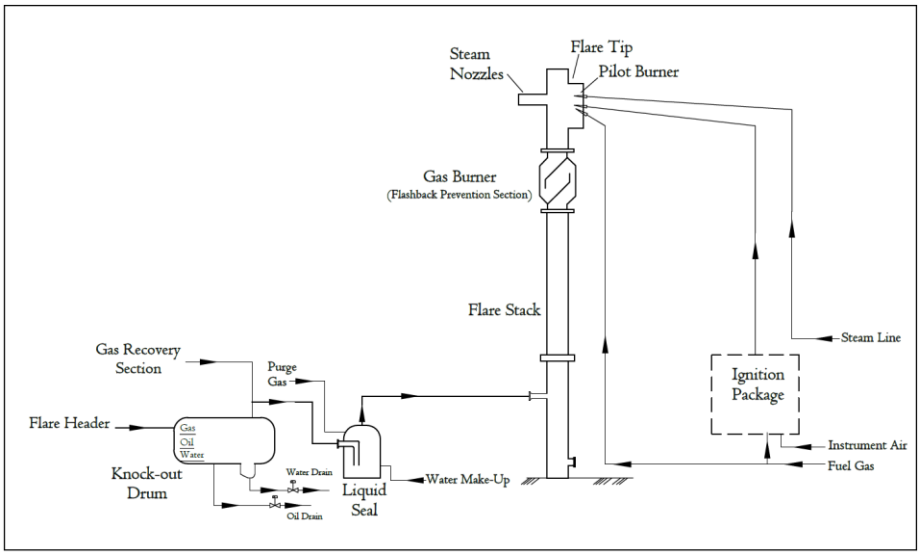
۱- اشتعال پذیری گاز فلر: حد پایین اشتعال (LFL) حداقل غلظت سوخت در اکسیژن برای احتراق و حد بالای اشتعال (UFL) حداکثر غلظت سوخت در اکسیژن برای احتراق

می‌باشد. این عامل تأثیر به‌سزایی در پایداری شعله دارد و به‌عنوان حداقل و حداکثر استوکیومتری میزان ترکیب اکسیژن-سوخت تعبیر می‌شود. به‌عبارت دیگر، گازها باید در حد قابل اشتعال خود در فشار و دمای مشخص باشند تا بتوانند محترق شده و بسوزند. زمانی که حد اشتعال کم باشد، فضای داخلی شعله ممکن است حاوی میزان اکسیژن کافی برای سوختن نباشد. از طرفی سوخت‌هایی مانند هیدروژن، با گستره اشتعال‌پذیری وسیع، راحت‌تر می‌سوزند.

۲- ارزش حرارتی: برای بیشتر جریان‌های فلر، میزان ارزش حرارتی نیز در پایداری، انتشار و ساختار شعله موثر می‌باشد. ارزش حرارتی کمتر، منجر به وجود شعله سردتر می‌شود که سینتیک احتراق را بهم می‌زند و خیلی زود خاموش می‌شود. همچنین هر چه دمای شعله کمتر باشد، نیروهای شناوری یا بایونسی نیز کاهش می‌یابند که در نهایت منجر به کاهش اختلاط می‌شود.

۳- دانسیته: این فاکتور نیز از طریق تأثیر بر روی نیروهای بایونسی و میزان اختلاط، در ساختار و پایداری شعله موثر می‌باشد. در فلرهایی که سرعت گاز پایین باشد، بیشتر ساختار شعله بر اساس نیروهای شناوری است‌که شکل می‌گیرد؛ بنابراین گازهای سبک‌تر تمایل بیشتری به بهتر سوختن دارند و علاوه بر نوع طراحی تیپ فلر، دانسیته به‌طور مستقیم بر روی میزان لازم Purge gas برای جلوگیری از Flash back موثر می‌باشد؛ به‌طوری‌که برای گازهای سبکتر، میزان بیشتری Purge Gas لازم است.

۴- اختلاط محدوده شعله: اختلاط کم در محدوده تیپ فلر علت اصلی دود کردن فلر می‌باشد. جریان‌هایی با نسبت بالای کربن به هیدروژن ( بیشتر از 0.35) تمایل بیشتری به دودزایی دارند و نیاز به اختلاط بهتر برای کاهش این عامل مزاحم می‌باشد. به همین دلیل ممکن است میزان بخاری که تاکنون به منظور کاهش دود استفاده می‌شد، در این مرحله جواب‌گو نباشد.




شکل ۴-۱ شماتیک کلی فلر نوع Steam Assisted

شکل ۴-۱ شمای کلی یک فلر از نوع Steam Assisted می‌باشد که اجزای معمول آن به ترتیب زیر می‌باشد:

۵- Knock-out Drum: وجود مایعات در گازهای ارسالی به فلر علاوه بر این‌که باعث ایجاد دود در شعله می‌شوند، احتمال انتشار شعله در Stack را نیز افزایش می‌دهند؛ لذا ممانعت از سوزاندن آن‌ها در فلر امری ضروری است.

۶- Liquid Seal: معمولاً بعد از Knock-out drum و قبل از ورود جریان گاز به Stack و یا این‌که در خود Knock-out drum گنجانده می‌شود و هدف آن جلوگیری از Flash back شعله می‌باشد. برگشت شعله زمانی رخ می‌دهد که هوا وارد سیستم فلر شود و شعله را به سمت داخل Stack بکشاند. به‌علاوه Liquid Seal برای حفظ فشار مثبت سیستم بالا دست خود و به‌عنوان یک دمپر مکانیکی در مقابل ضربه‌های انفجاری احتمالی که در Stack رخ می‌دهد نیز عمل می‌کند. تجهیزات دیگری نظیر Flame Arrester و ولو یک‌طرفه هم می‌توانند همراه با Liquid Seal یا به‌جای آن به‌کار برده شوند. البته برای جلوگیری از برگشت شعله همان‌طور که پیشتر اشاره شد، می‌توان از Purge gas

هم به تنهایی و بسته به میزان فلوی گاز استفاده کرد. هزینه تعمیرات Liquid Seal ها عموما بالا می‌باشد و استفاده از Gas Seal در تیپ فلر و یا Purge Gas ترجیح داده می‌شود.

۷- Gas Seal: جریان هوای اطراف تیپ فلر در اثر باد یا در اثر انقباض حرارتی [۱] گازها، تمایل دارد به داخل Stack وارد شود که در نهایت می‌تواند منجر به انفجار گردد. به این منظور و برای جلوگیری از ورود هوا، از Gas Seal در زیر تیپ فلر استفاده می‌شود. نام دیگر این سیل ها، Flare Seal، Stack Seal، Labyrinth Seal یا Gas Barrier نیز می‌باشد. همچنین سیل‌هایی نیز وجود دارند که شبیه یک اوریفیس می‌باشند و با کاهش حجم مورد نیاز Purge gas و افزایش سرعت آن، مانع از ورود هوا به داخل Stack و کاهش مصرف Purge gas می‌شوند؛ به این نوع سیل ها، Fluidic Seal یا Arrestor Seal می‌گویند.

۸-Burner Tip یا Flare Tip: این بخش برای احتراق گازهای خروجی از فلر و حتی بیشتر از ظرفیت سیستم فلر می‌باشد (البته این ظرفیت توسط فشار عملیاتی گاز برای غلبه بر افت فشار سیستم محدود می‌شود. چرا که در این‌گونه فلرها قطر فلر باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که سرعت خروج گاز از آن در حداکثر بازده حدود 50 درصد سرعت صوت باشد). در طراحی تیپ فلر، پایداری شعله، قابلیت اطمینان Ignition و کاهش Noise از مسائل اساسی می‌باشند.

۹- Steam Jets: اکسیژن مورد نیاز برای احتراق، از هوای محیط تامین می‌شود. چنان‌چه حجم گازهای فلر به حدی باشد که اکسیژن مورد نیاز از هوای اطراف تامین نشود و به عبارت دیگر جریان هوا به اندازه‌ای زیاد نباشد که اکسیژن لازم برای اختلاط و احتراق مناسب فراهم گردد، همان‌طور که از شکل ۴-۱ پیداست، از طریق نازل‌های بخار، بخار با سرعت بالا به تیپ فلر تزریق می‌شود تا موجب آشفتگی بیشتر گاز در محدوده شعله شود و هوای بیشتری برای اختلاط در آن منطقه فراهم آید. در این حالت بخار با بالا بردن

[۱]- Thermal Contraction

مومنتم، باعث اختلاط بیشتر و بهتر هوا و گاز می‌شود. تزریق مستقیم بخار به شعله یا به تیپ فلر موجب کاهش دود نیز می‌شود. چگونگی انجام این امر به دو طریق توجیه پذیر است‌که به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود. نظریه اول این‌که بخار ملکول هیدروکربن را جدا کرده و بنابراین موجب کاهش پلیمریزاسیون و تشکیل ترکیبات اکسیژن‌دار می‌شود که با نرخ کمتری سوخته و دما منجر به بروز پدیده Cracking نمی‌شود. به عبارتی بخار هسته مرکزی شعله را سرد می‌کند و مانع از بروز پدیده Cracking می‌شود. نظریه دوم این‌گونه مطرح می‌شود که بخار آب با ذرات کربن واکنش می‌دهد و CO، $CO_2$ و $H_2$ تشکیل می‌شود. بنابراین کربن پیش از آن که سرد گردد و دود تولید شود، حذف می‌شود. در فلرها مفهومی وجود دارد به‌نام ظرفیت دود کنندگی [1] که اشاره به حجم گازی که در فلر بدون دود کردن می‌تواند بسوزد دارد و همین موضوع دقیقا میزان استفاده از بخار را در فلر محدود می‌کند. فرض کنید ظرفیت Smokeless فلر شما 20 ton/hr باشد و میزان Flaring واحد شما 15 ton/hr می‌باشد. بنابراین شما حداکثر می‌توانید 5 ton/hr بخار تزریق کنید.

میزان لازم جریان بخار به ترکیبات گازی که فلر می‌شوند، به سرعت بخار در injection nozzle ها و قطر تیپ فلر بستگی دارد. میزان بخار لازم، به شدت تحت تأثیر وزن ملکولی گاز و اشباع یا غیر اشباع بودن آن می‌باشد. برای مثال الفین‌ها مانند پروپیلن که گازهای غیر اشباع می‌باشند، برای کاهش دود ناشی از سوختنشان نیاز به بخار بیشتری نسبت به هیدروکربن‌های پارافینی دارند. اما در هر صورت، شرکت سازنده فلر وظیفه دارد حداقل میزان بخار لازم برای تیپ فلر را ارائه دهد. با این‌حال به‌طور تجربی به ازای هر تن گاز 0.1 تا 0.5 تن در ساعت بخار لازم است. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده، برای تیپ فلرهایی با قطر کمتر از 20 اینچ حدود 0.1 تن بخار به ازای هر تن گاز در پالایشگاه های گازی و 0.5 تن بخار به ازای هر تن گاز در مجتمع های پتروشیمی (به‌خاطر وجود میزان زیاد هیدروکربن‌های غیر اشباع) معمولاً تزریق می‌شود.

[1] - Smokeless Capacity

از معایب قابل توجه استفاده از بخار در فلرها می‌توان به بالا رفتن سطح Noise و هزینه اشاره کرد. البته معمولاً میزان Noise ایجاد شده توسط فلر را از طریق اضافه کردن و کوچک کردن سایز نقاط تزریق یا استفاده از پوشش آکوستیک می‌توان کاهش داد. کنترل میزان تزریق بخار معمولاً به‌صورت دستی توسط بهره‌بردار و بر اساس مشاهده شعله انجام می‌گیرد. اما برای تشخیص رفتار شعله و میزان دود آن به‌صورت کنترلی، از سنسورهای مادون قرمز یا کنترل کننده‌های سریع‌تر و دقیق‌تری که بر اساس میزان نرخ جریان گاز و میزان تشعشع شعله عمل می‌کنند، نیز می‌توان بهره جست.

- Purge Gas: کنترل نرخ جریان Purge gas برای جلوگیری از Flash back شعله و هوا در زمان استارت‌آپ و Turn around بسیار مهم می‌باشد. (سرد شدن گاز در زمان خاموش شدن فلر، باعث ایجاد خلاء و مکش هوا به سیستم فلر می‌شود). برای این منظور معمولاً از گاز طبیعی شیرین، نیتروژن یا دی اکسید کربن استفاده می‌شود تا حداقل جریان مثبت در سیستم به‌صورت مداوم وجود داشته باشد. نقطه تزریق Purge gas باید در دورترین فاصله در سیستم فلر باشد تا کل سیستم برای جلوگیری از تشکیل ترکیبات انفجارزا به‌خوبی از هوا عاری گردد. مطابق با گراف Ternary، میزان LOC[1] برای متان باید کمتر از 12 درصد باشد. اما اصولا برای انجام کارهای گرم میزان LEL (کمترین میزان غلظت بخار یا گاز برای ترکیب با هوا و ایجاد انفجار) باید زیر 4 درصد باشد. معمولاً برای اطمینان، میزان LOC برای خطوط هیدروکربنی کمتر از 2 درصد در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱-۴ میزان LEL و UEL جریان‌های مختلف بر اساس درصد حجمی آن‌ها در هوا نشان داده شده است:

[1] -Limited Oxygen Concentration

جدول ۴-۱ میزان LEL و UEL برای سیالات مختلف

| | Vol% in Air | |
|---|---|---|
| **Gas or Vapor** | **Lower** | **Upper** |
| Hydrogen | 4.00 | 75.0 |
| Carbon Monoxide | 12.50 | 74.0 |
| Ammonia | 15.50 | 26.60 |
| Hydrogen Sulfide | 4.30 | 45.50 |
| Carbon Disulfide | 1.25 | 44.0 |
| Methane | 5.30 | 14.0 |
| Ethane | 3.00 | 12.5 |
| Propane | 2.20 | 9.5 |
| Butane | 1.90 | 8.5 |
| Iso- butane | 1.80 | 8.4 |
| Pentane | 1.50 | 7.80 |
| Iso-pentane | 1.40 | 7.6 |
| Hexane | 1.20 | 7.5 |
| Heptane | 1.20 | 6.7 |
| Octane | 1.00 | 3.20 |
| Nonane | 0.83 | 2.90 |
| Decane | 0.67 | 2.60 |
| Dodecane | 0.60 | - |
| Tetradecane | 0.50 | - |
| Ethylene | 3.1 | 32.0 |
| Propylene | 2.4 | 10.3 |
| Butadiene | 2.00 | 11.50 |
| Butylene | 1.98 | 9.65 |
| Amylene | 1.65 | 7.70 |
| Acerylene | 2.50 | 81.00 |
| Allylene | 1.74 | - |
| Benzene | 1.4 | 7.1 |
| Toluene | 1.27 | 6.75 |
| Styrene | 1.10 | 6.10 |
| o-Xylene | 1.00 | 6.00 |
| Naphthalene | 0.90 | - |
| Anthracene | 0.63 | - |
| Cyclo- propane | 2.40 | 10.4 |
| Cyclo- hexane | 1.22 | 4.81 |
| Cyclo- hexane | 1.30 | 8.0 |
| Methyl cyclo- hexane | 1.20 | - |
| Gasoline- Regular | 1.40 | 7.50 |
| Gasoline- 73 Octane | 1.50 | 7.40 |
| Gasoline- 92 Octane | 1.50 | 7.60 |
| Gasoline- 100 Octane | 1.45 | 7.50 |
| Naphtha | 1.10 | 6.00 |

انجام برخی از فعالیت‌ها در زمان راه‌اندازی یا پیش از شروع استارت‌آپ یک واحد، مانند تست محصول فراساحل و خط انتقال گاز به ساحل و همچنین تست سیستم‌های ایمنی مربوطه، نیاز به معرفی گاز در این سیستم‌ها دارد. لذا در این مرحله این گازها باید از طریق فلر دفع شوند؛ بنابراین لازم است برای Hot Flaring حتما پیش از انجام این‌گونه تست‌ها، اقدام به روشن نمودن فلر کرد. به این ترتیب از آن‌جا که در زمان استارت‌آپ فلر به گاز شیرین برای روشن کردن آن نیاز است، معمولاً خطی به نام Start-up Fuel Gas به این منظور و برای واحدهایی که برای استارت‌آپ نیاز به گاز دارند در نظر گرفته می‌شود که توسط واحدهای در سرویس مجاور در مجتمع های صنعتی یا خطوط سراسری گاز تامین فشار می‌گردد. در زمان معرفی این گاز به پالایشگاه، تنها، واحدهای یوتیلیتی در سرویس می‌باشند که تاکنون نیاز به گاز سوختی برای بهره‌برداری نداشته‌اند. همچنین از آن‌جا که سیستم فلر یک‌پارچه و به‌هم پیوسته می‌باشد، لازم است پیش از معرفی این گاز، ابتدا Isolation List مکانیکی و پروسسی مربوطه به همراه P&ID های مارک شده، تهیه و بالادست شبکه فلر سایر واحدهایی که در آینده قرار است در سرویس قرار بگیرند، به‌صورت مکانیکی و پروسسی ایزوله شوند و سپس ولوها و blind های Battery Limit این واحدها به جهت عدم بهره‌برداری و باز نشدن برچسب‌گذاری شوند. سپس کل سیستم را با یک گاز خنثی مانند نیتروژن purge می‌کنند و میزان LEL و LOC را در سیستم و به‌خصوص در جاهایی که امکان حبس هوا وجود دارد (Battery Limit) اندازه می-گیرند. زمانی که LEL کمتر از 4 درصد و LOC کمتر از 2 درصد برسد، در حالی‌که کل سیستم هم‌چنان با گاز خنثی از Stack فلر Purge می‌شود، گاز را وارد سیستم می‌کنند و به محض رسیدن گاز به تیپ فلر، اقدام به روشن نمودن Pilot از طریق Ignition Pannel می‌شود. البته از طریق bottle های گازی که در Ignition Package تعبیه شده است می‌توان پیشتر اقدام به روشن کردن Pilot کرد. در این صورت باید از طریق نقطه‌ای که در سیستم فلر به منظور Purging در نظر گرفته شده است، پایین دست[1]

[1] -Downstream

آن‌را Purge و بالادست [1] آن را تا Purge کامل ایزوله کرد. این سیستم Purge همان‌طور که در شکل ۴-۱ نیز نشان داده شده است، به‌صورت پیوسته به منظور جلوگیری از ورود هوا در فلوهای کم جریان گاز و همچنین افزایش طول عمر تیپ فلر و جلوگیری از بازگشت شعله باید در سرویس باشد.

بررسی مکانیزم ورود هوا به Stack:

۱- وجود باد در اطراف تیپ فلر باعث افزایش سرعت گاز خروجی از تیپ فلر می‌شود و در نتیجه یک منطقه کم فشار در تیپ فلر ایجاد می‌شود که منجر به مکش هوا به این منطقه می‌گردد. هرچه سرعت باد بیشتر باشد، نرخ هوای ورودی به این منطقه نیز بیشتر می‌شود.

۲- اگر وزن ملکولی گازی که برای Purging استفاده می‌شود کمتر از وزن ملکولی هوا باشد، هوا جایگزین گاز سبک‌تر در Stack می‌شود. در حالتی که جریان گاز در Stack آرام باشد، گاز سبک تمایل به عبور از هسته مرکزی لوله Stack دارد، در حالی‌که هوا از دیواره Stack به داخل نفوذ می‌کند. از طرفی اگر این گاز گرمتر از هوا نیز باشد، نیروی بایونسی گاز ممکن است فشار Stack را تا کمتر از فشار اتمسفر در پایه Stack برساند.

### ۴- ۵- Furnace و Boiler

Furnace یا Fired Heater یک محفظه عایق‌بندی شده می‌باشد که از گرمای تولید شده از احتراق سوخت، برای گرم کردن سیالات درون کویل‌ها استفاده می‌کند. پیکربندی Furnace و Coil ها با توجه به نوع سازنده و نوع کاربرد آن‌ها بسیار گسترده می‌باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر در این مورد می‌توان به API 560 مراجعه نمایید. ملزومات و نحوه کار کوره‌ها و بویلرها در بخش محفظه احتراق با هم مشترک می‌باشند. ملزومات و نحوه استارت‌آپ محفظه‌های احتراق و همچنین نکاتی راجع به بهره‌برداری و نگهداری

[1]- Upstream

مناسب Furnace ها و بویلرها در این بخش شرح داده شده است:

- گرمای احتراق:

میزان محتوای گرمای گازهای سوختی از طریق واکنش‌های شیمیایی جدول ۴-۲ قابل محاسبه می‌باشد. همان‌طور که از واکنش‌ها پیداست، جایی که محصول واکنش آب نباشد، مقدار **HHV** [۱] و **LHV** [۲] (حد بالا و پایین محتوای گرما) با هم برابر می‌باشند. با در نظر گرفتن ترکیب درصد هوا به‌صورت 21% $O_2$ و 79% $N_2$، معادلات جدول ۴-۲ برای محاسبه مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق کامل مفید می‌باشد.

جدول ۴-۲ میزان محتوای گرمای گازهای سوختی و واکنش‌های شیمیایی

| | **Heating Value (Btu/lb)** | |
|---|---|---|
| | **HHV** | **LHV** |
| $H_2+1/2\ O_2 = H_2O$ | 61,100 | 51,600 |
| $C+\ O_2 = CO_2$ | 14,093 | 14,093 |
| $C+1/2\ O_2 = CO$ | 4,440 | 4,440 |
| $CO+1/2\ O_2 = CO_2$ | 4,345 | 4,345 |
| $S+\ O_2 = SO_2$ | 10,160 | 10,160 |
| $CH_4+2\ O_2 = CO_2+2H_2O$ | 23,885 | 21,500 |
| $C_2H_6+3\ 1/2\ O_2 = 2CO_2+3H_2O$ | 22,263 | 20,370 |
| $C_3H_8+5\ O_2 = 3CO_2+4H_2O$ | 21,646 | 19,929 |
| $C_4H_{10}+6\ 1/2\ O_2 = 4CO_2+5H_2O$ | 21,293 | 19,665 |

مثال: LHV گاز سوختی با ترکیب درصد حجمی زیر را محاسبه نمایید.

۱- Higher Heating Value

۲- Lower Heating Value

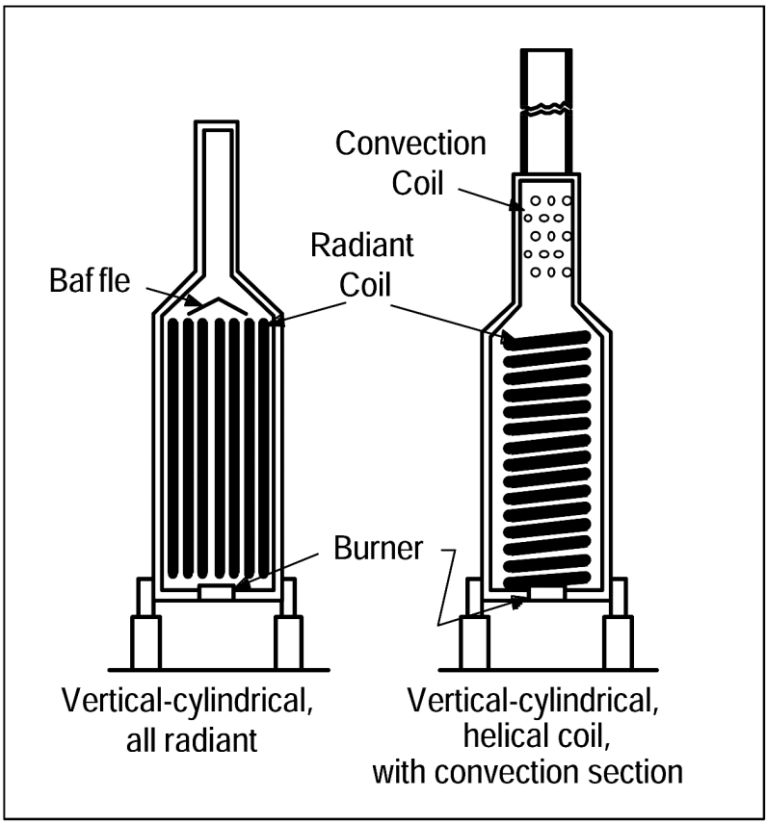
| Component | Vol. % |
|---|---|
| Hydrogen, $H_2$ | 5.1 |
| Methan, $CH_4$ | 86.4 |
| Ethan, $C_2H_6$ | 8.3 |
| Propane, $C_3H_8$ | 0.2 |
| Total | 100 |

برای گازها درصد حجمی و درصد مولی با هم برابر می‌باشد:

| Component | Moles | MW | $lb_s$ (Moles x MW) | $W_t$ % ($lb_s$/1651.2) x100 | LHV (BTU/lb) | ($W_t$%xLHV)/100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2$ | 5.1 | 2.0 | 10.2 | 0.62 | 51600 | 319.9 |
| $CH_4$ | 86.4 | 16.0 | 1382.4 | 83.72 | 21500 | 17999.8 |
| $C_2H_6$ | 8.3 | 30.1 | 249.8 | 15.13 | 20370 | 3082 |
| $C_3H_8$ | 0.2 | 44.1 | 8.8 | 0.53 | 19929 | 105.6 |
| Total | 100 | 16.51 | 1651.2 | 100 | 113399 | 21507.3 |

Mixture LHV = 21507.3 Btu/lb

Furnace ها به‌طور کلی به دو دسته Direct Fired (شعله بیرون Tube ها) و Fire Tube (شعله داخل Tube ها) تقسیم‌بندی می‌شوند. از آن‌جا که اغلب Furnace ها و هیترها در واحدهای پالایشگاهی از نوع Direct Fired می‌باشند، در این کتاب به بررسی این نوع از Furnace ها می‌پردازیم. این نوع Furnace ها به دو صورت Cylindrical و Cabin می‌باشند که پیکربندی‌های مختلفی دارند. برخی از آن‌ها به شکل ساده و تماما به‌صورت Radiant و بدون بخش Convection می‌باشند و برخی دیگر دارای بخش Convection می‌باشند. واضح است‌که نوع Cylindrical و Radiant ساده‌ترین و ارزان-ترین نوع Furnace می‌باشند که معمولاً بازده آن‌ها 60% و دمای Stack در آن‌ها حدود 650°C می‌باشد، در حالی‌که با اضافه کردن بخش Convection بازده به 80% افزایش و دمای Stack تا 400°C کاهش می‌یابد.




شکل ۴-۲ Direct Fired Furnace

بخش‌های اصلی یک کوره شامل Radiant Section (Fire Box)، Convection Section، Stack، سیستم Burner و کویل‌های سیال فرآیندی می‌باشند. در بخش Radiant، بالاترین سطح حرارت به کویل‌ها منتقل می‌شود. از طرفی گازهای حاصل از احتراق، بخش Radiant را با دمایی در حدود 800-1200°C ترک می‌کنند و وارد بخش Convection می‌گردند. در این بخش، دمای گازهای حاصل از احتراق با انتقال حرارت به کویل‌های ورودی، به حدود 400°C کاهش می‌یابد. (کویل‌ها ابتدا وارد بخش Convection شده و سپس به بخش Radiant وارد می‌شوند).

Stack در واقع نیروی محرک لازم برای غلبه بر اصطکاک گازهای سوختی را برای خروج

مهیا می‌کند. از طرفی در صورت بلند بودن Stack (برای رعایت شرایط زیست محیطی) از یک Damper برای افزایش درفت [۱] استفاده می‌شود.

به‌طور کلی ۴ نوع Burner در Direct Fired Heater ها استفاده می‌شود:

۱- Burner های پیش آمیخته (Aspirating Premix Burners) که در آن Fuel Gas توسط یک ونتوری با هوای احتراق مخلوط می‌شود. این نوع Burner ها شعله-های کوتاه و متراکم ایجاد می‌کنند که جریان‌های باد روی آن‌ها بی‌تأثیر است.

۲- Raw Gas Burner که در آن بخشی از هوا توسط یک ونتوری با Fuel Gas مخلوط می‌شود و بقیه هوای مورد نیاز از طریق یک تثبیت کننده هوا [۲] تامین می‌شود. در این نوع Burner ها فشار گاز کمتری مورد نیاز است و صدای کمتر و شعله‌های بزرگتری دارند.

۳- Low $NO_x$ Burners که در آن با تعبیه کردن سومین Air Register، میزان اکسیدهای نیتروژن در Fuel Gas را کاهش داده‌اند. این نوع burner ها نسبت به دو نوع قبل نیاز به هوای اضافی [۳] کمتری دارند.

۴- Burner های دو منظوره سوخت گاز و مایع که در حالت استفاده از سوخت مایع حدودا 0.1 kg بخار به ازای هر کیلوگرم سوخت برای atomizing سوخت در آن‌ها لازم است.

معمولاً طول شعله Burner باید حدود 60% طول بخش Radiant باشد.

### هوای اضافی Excess Air:

هر میزان هوا یا اکسیژن مازاد بر نیاز برای دست‌یابی به احتراق کامل را Excess Air (Oxygen) می‌گویند. همه کوره‌ها به مقداری Excess Air برای اطمینان از احتراق

---

۱- Draught

۲ - Air Register

۳- excess air

کامل نیاز دارند. این مقدار معمولاً چیزی حدود 20% برای کوره‌هایی که سوخت آن‌ها گاز است و حدود 30% برای آن‌ها که سوخت مایع دارند، می‌باشد. از طرفی باید به یاد داشته باشید که اضافه نمودن excess air منجر به کاهش بازده کوره می‌شود؛ چرا که این هوای اضافی باید از دمای محیط به دمای Stack برسد. بنابراین سعی بر این است‌که از حداقل میزان ممکن Excess Air تا جایی که شرایط بهره‌برداری کوره ثابت بماند، استفاده شود. نتیجه این‌که یکی از آیتم‌های مهم در بهره‌برداری مناسب از کوره‌ها، توانایی در تعیین میزان Excess Air می‌باشد. برای این کار به روش زیر عمل می‌شود:
ابتدا ترکیب درصد گازهای حاصل از احتراق را که عموما شامل CO، $CO_2$، $N_2$ و $O_2$ می‌باشد را به‌دست می‌آوریم. سپس با توجه به درصد $N_2$ میزان کل $O_2$ داخل کوره را محاسبه می‌نماییم. در مرحله بعد میزان $O_2$ مورد نیاز را با کم کردن میزان اکسیژن داخل گازهای حاصل از احتراق از میزان اکسیژن لازم برای سوختن CO و تبدیل به $CO_2$ کم می‌نماییم. در نهایت درصد Excess $O_2$ را به‌طریق زیر محاسبه می‌نماییم:

Percent Excess O2 = [(Excess O2)/(Required O2)] x 100 = [(Excess O2)/(Total - Excess O2)] x 100

مثال: فرض کنید ترکیب درصد گازهای حاصل از احتراق مقادیر زیر باشد؛ میزان Excess O2 را محاسبه نمایید:

| Component | Percent |
|---|---|
| $CO_2$ | 9.5 |
| CO | 1.8 |
| $O_2$ | 2.0 |
| $N_2$ | 86.7 |
| Total | 100 |

می‌دانیم ترکیب درصد هوا به‌صورت $O_2$ 21% و $N_2$ 79% می‌باشد.
میزان $O_2$ در داخل Furnace برابر است با:

$O_2 = 86.7 \times (0.21/0.79) = 23\text{mole}$

23 mole اکسیژن در هر 100 mole گاز حاصل از احتراق موجود است.

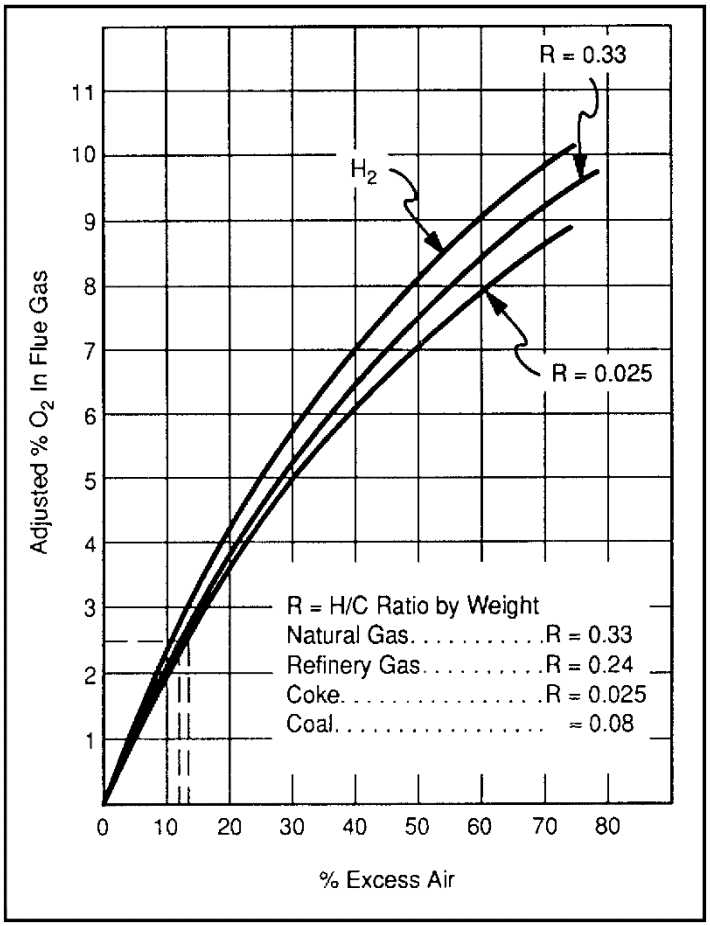
$$1.8\ CO + 0.9\ O_2 \longrightarrow 1.8\ CO_2$$

معمولاً میزان CO بسیار کم و در حد PPM می‌باشد؛ بنابراین این بخش معمولاً محاسبه و در نظر گرفته نمی‌شود.
حال میزان اکسیژن خالص را محاسبه می‌نماییم:

$\text{Net } O_2 = 2.0 - 0.9 = 1.1 \text{ mole / 100 mole flue gas}$

$\text{Excess } O_2\% = [1.1 / (23-1.1)] \times 100 = 5.02\%$

از طریق نمودار شکل ۴-۳ نیز می توان میزان Excess Air را با توجه به درصد $O_2$ برای احتراق کامل به‌دست آورد. همان‌طور که پیداست، برای 1.1% $O_2$، میزان 5% هوای اضافی لازم است. لازم به ذکر است‌که Excess Air و Excess $O_2$ از لحاظ عددی با هم برابر می‌باشند و درصد اکسیژن در گاز حاصل از احتراق، Excess $O_2$ نمی‌باشد.




شکل ۴-۳ میزان Excess Air برحسب درصد $O_2$

به‌طور کل بازده یک کوره به دو عامل دمای گازهای خروجی حاصل از احتراق (دمای Stack) و میزان Excess Air بستگی دارد؛ هرچه دمای Stack بیشتر باشد، بازده کمتر است؛ چرا که حرارتی که باید به کویل‌ها و سیال فرآیندی منتقل شود، هدر می‌رود. (معمولاً به ازای هر 5°C کاهش دمای Stack، بازده 1% افزایش می‌یابد). افزایش میزان Excess Air نیز باعث کاهش بازده می‌شود؛ چرا که سوخت بیشتری لازم است تا دمای هوای اضافی را به دمای Stack برساند.

امروزه تنوع و پیچیدگی کوره‌ها، به گونه‌ای است‌که برای استارت‌آپ آن‌ها نیاز به دستورالعمل اختصاصی سازنده و یا حضور مشاور سازنده برای راه‌اندازی می‌باشد. مشاور به همراه متخصصین برق، ابزاردقیق و مکانیک باید جزء به جزء قطعات و اتصالات کوره را بررسی کنند. بعد از اتمام این بررسی‌ها و رفع نواقص احتمالی، اقدام به Refractory Dryout می‌شود که پیشتر راجع به آن در فصل ۳ توضیح داده شده است. یادآوری این نکته ضروری است‌که اگر انجام عملیات Dryout سریع و بدون رعایت دستورالعمل سازنده انجام شود، بخار آب در داخل لایه‌های Refractory محبوس می‌شود و به مرور زمان، باعث ایجاد لجن، خوردگی و ریزش Refractory می‌گردد. در زمان Dryout و پس از آن باید کارایی Burner ها، میزان کک (Coke) و گرفتگی Burner، جابجایی حرارتی Tube ها، میزان جابجایی Sliding Saddle (درصورت وجود) و Tube support ها و شرایط Refractory ها و همچنین میزان کثیفی‌های کف محفظه احتراق بررسی گردد.

بررسی‌های لازم پیش از استارت‌آپ و نحوه در سرویس قرار دادن کوره:

۱- بررسی سیستم Pilot، Energize بودن Power Distribution Panel برای Ignition
۲- بررسی بسته بودن کلیه ونت‌ها و درین‌های مسیر Fuel Gas و سیستم Pilot
۳- بررسی کارکرد صحیح کلیه سیستم‌های ابزاردقیق و سیستم‌های Shutdown
۴- Steam Out و پیش گرم کردن Tube ها درصورت پیشنهاد شرکت سازنده
۵- بررسی میزان فلوی Snuffing Steam به محفظه احتراق
۶- باز کردن کامل Damper
۷- باز کردن ولوهای سیستم Pilot و Purge کردن Inert Gas
۸- Purge کردن محفظه احتراق با Inert Gas
۹- برقراری جریان خط Fuel Gas و راه‌اندازی Heat/Steam Tracing مربوط به

آن در صورت وجود

۱۰- روشن کردن Pilot و بررسی Flame Scanner ها

۱۱- معرفی بخار جهت Atomizing به Burner

۱۲- باز کردن آهسته ولو Fuel Gas به Burner (به Burner اول درصورت محفظه-های چند طبقه) و بررسی احتراق آن

۱۳- تنظیم نسبت هوا و سوخت برای ایجاد شعله‌ای استوار. (آتش را در حداقل میزان آن تنظیم کنید).

۱۴- در صورت تعدد Burner ها، سایر Burner ها را نیز روشن نمایید.

۱۵- زمانی که همه Burner ها روشن شدند، شعله Burner ها و Pilot ها را بررسی کنید.

۱۶- دمای کویل‌های خروجی کوره را مطابق با منحنی شرکت سازنده افزایش دهید.

در زمان استارت‌آپ اولیه، موارد زیر باید به‌دقت بررسی و با انتظارات طراحی و عملیاتی کوره، مقایسه گردد:

۱- میزان جابجایی کویل‌ها و لوله های بیرونی

۲- شرایط پوشش Refractory، در زمانی که دمای کوره به دمای عملیاتی رسیده باشد

۳- میزان جریان ورودی و خروجی سیال فرآیندی و دمای خروجی

۴- دمای Tube و Tube Hot Spots

۵- دمای Bridge Wall

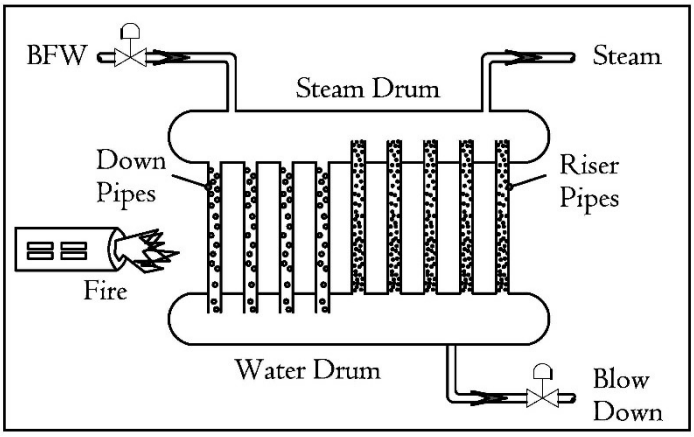
۶- رنگ شعله (آبی کمرنگ با نور کم) و اندازه شعله (شعله نباید Tube ها را لمس کند)، ایستایی و میزان دود شعله Burner

۷- میزان صدای Burner

۸- فشار هوای احتراق

۹- لرزش Expansion Joint ها
۱۰- موقعیت Damper
۱۱- میزان ارتعاش مربوط به Stack
۱۲- میزان صدا و ارتعاش Draft Fan

استفاده از بویلرها خصوصا در صنایع گاز برای تولید بخار بسیار مرسوم می‌باشد. برای تولید بخار در بویلرها، محفظه احتراق برای افزایش دمای آب وجود دارد. موارد مهم مربوط به احتراق و محفظه احتراق پیشتر بحث شد و در این‌جا هدف بررسی عمده مشکلات نگهداری و تعمیرات مربوط به بویلرها می‌باشد که در این بین می‌توان به اصلی‌ترین عامل به‌وجود آورنده خرابی و کاهش عمر بویلرها یعنی Boiler Feed Water اشاره کرد. در این قسمت سعی شده است علل اصلی ایجاد رسوب داخل Tube ها و دیواره بویلر بررسی گردد.




شکل ۴-۴ شماتیک بویلر

در بهترین شرایط عملیاتی و استفاده از مناسب‌ترین آب در بویلرها، باز هم همواره در بویلرها به‌دلیل تغییرات ناگهانی دما و فشار، رسوب تشکیل می‌شود؛ به‌همین دلیل

بازرسی‌های منظم و دوره‌ای و تمیزکاری و Overhaul بویلر در زمان‌های مشخص ضروری می‌باشد. به‌طور عمده طی بررسی‌های انجام شده، موارد زیر از عمده دلایل ایجاد رسوب در بویلر می‌باشند:

۱- سختی آب BFW به‌دلیل وجود یون‌هایی مانند $Ca^{++}$ و $Mg^{++}$ (آب بویلر از واحد Demineralized Water تامین می‌شود، در این واحد معمولاً از رزین برای جذب این‌گونه یون‌ها و Softening آب استفاده می‌شود. معمولاً بروز پدیده channeling در بستر این رزین‌ها و یا degrade شدن رزین‌ها باعث عدم جذب این یون‌ها می‌شود). به‌علاوه هرچه فشار عملیاتی بویلر بیشتر باشد، باید غلظت یون‌های سخت کننده آب و به‌طور کلی TDS [۱] کمتر باشد. بنابراین در فرآیند softening آب بویلر باید کاتیون‌های دو طرفه نظیر $Fe^{++}$، $Mn^{++}$ و $Co^{++}$ نیز حذف شوند. البته لازم به ذکر است‌که یون‌های $Fe^{++}$ توسط رزین‌ها جدا نمی‌شوند؛ چرا که فرآیند جذب این یون‌ها توسط رزین، برگشت ناپذیر است. بنابراین اگر آب حاوی میزان زیادی یون‌های آهن باشد، لازم است توسط فرآیند جداگانه‌ای میزان این یون‌ها کاهش یابد.

۲- Drain کردن بویلر بعد از خاموشی به منظور انجام کارهای تعمیراتی در شرایطی که هنوز بویلر داغ است.

۳- استارت‌آپ بویلر با آب سرد و حاوی اکسیژن محلول [۲]؛ حذف اکسیژن از BFW به اندازه کاهش سختی آب مهم می‌باشد. اکسیژن محلول منجر به عدم تشکیل لایه محافظ $Fe_3O_4$ در بویلر، ایجاد حفره [۳] و ایجاد رسوبات آهن می‌شود. برای حذف اکسیژن برای بویلرهایی که فشار عملیاتی بالایی دارند از De-aerator استفاده می‌شود. (برای توضیحات تکمیلی به فصل ۳ مراجعه شود). De-aerator ها مدل‌های

---

۱- Total Dissolved Solids

۲- Aerated Water

۳- Pitting

مختلفی از جمله Tray Type De-aerator وHorizontal Spray De-aerator دارند. در این تجهیزات آب در فضای Steam در دمایی نزدیک به دمای جوش اسپری می‌شود؛ این کار باعث کاهش حلالیت اکسیژن در آب شده و اکسیژن به همراه steam از De-aerator به اتمسفر vent می‌شود. نوع سینی دار آن میزان اکسیژن محلول آب را تا کمتر از 1 ppb و نوع Horizontal به حدود 0.1 ppm می‌رساند. بنابراین در جاهایی که از Horizontal De-aerator استفاده می‌شود، یک ماده شیمیایی مانند Hydrazine ($N_2H_4$) به نام Oxygen Scavenger برای کاهش بیشتر اکسیژن، به آب BFW اضافه می‌شود. نوع دیگری از این تجهیزات با نام Vacuum De-aerator می‌باشد که بر اساس قانون Henry با کاهش فشار جزیی اکسیژن محلول در آب با ایجاد خلاء، باعث جدا شدن اکسیژن می‌شوند. در این مدل میزان اکسیژن تا 0.5 ppm کاهش می‌یابد. سایر گازهای محلول در آب نظیر $CO_2$ و $NH_3$ بسته به میزان آلکالینیتی آب در De-aerator حذف می‌شوند. مواد شیمیایی که با عنوان Oxygen Scavenger برای آب بویلر استفاده می‌شوند، به‌طور کل از Sulfite (برای بویلرهایی با فشار عملیاتی کمتر از 70 barg) و Hydrazine (برای بویلرهایی با فشار عملیاتی بیشتر از 70 barg) استفاده می‌شود. مطابق با واکنش‌های زیر، به ازای هر 7.88 ppm سولفیت سدیم، 1 ppm اکسیژن و به ازای 1 ppm هیدرازین، 1 ppm اکسیژن از آب حذف می‌شود.

$Na_2SO_3 + 1/2O_2 \rightarrow Na_2SO_4$ 7.88 ppm/ppm $O_2$

$N_2H_4 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O + N_2$ 1 ppm/ppm $O_2$

سولفیت‌ها به‌خاطر سرعت بالاتر واکنش و فراوانی نسبت به هیدرازین ارجح می‌باشند. سولفیت‌ها در قالب های زیر کاربرد دارند:

Sodium Bisulfit ($Na_2SO_4 + H_2SO_4$) ، Sodium Solfite ($Na_2SO_4$)

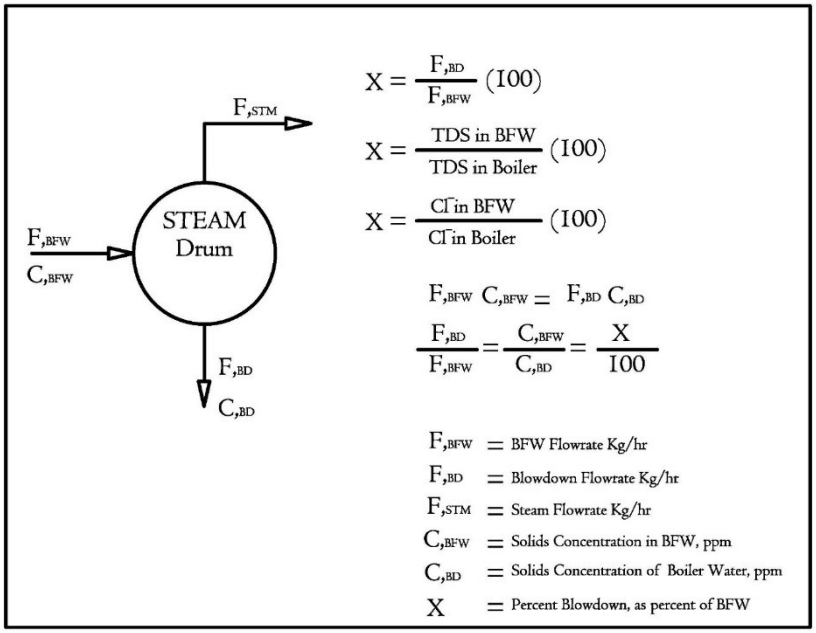
Ammonium Bisulfite ، Ammonium Sulfite ($(NH_4)_2SO_4$) ، Sulfur Dioxide ($H_2SO_4$) ، ($(NH_4)_2SO_4 + H_2SO_4$)

۴- استفاده بیش از حد از سوخت و تقاضای بیش از ظرفیت تولید بخار که منجر به Over firing در محفظه احتراق می‌شود.
۵- وجود مشکل در عمل‌کرد Burner
۶- خوردگی خطوط BFW

پیشتر در مورد کوره‌ها عنوان شد که بازده به دو عامل دمای Stack و میزان Excess Air بستگی دارد؛ در مورد بویلرها علاوه بر دو مورد اشاره شده، کاهش نرخ Blow Down نیز برای افزایش بازده بویلر مناسب می‌باشد. در واقع کاهش Blow Down با تأثیر بر میزان سوخت مصرفی منجر به افزایش بازده می‌شود.
آب در بویلر تا زمانی تبدیل به بخار می‌شود که غلظت مواد جامد (Suspent و Dissolved) در آن در حدود 20 برابر غلظت اولیه در آب خوراک به بویلر (BFW) باشد؛ برای جلوگیری از انباشته شدن مواد جامد و تشکیل رسوب و همچنین جلوگیری از ایجاد foaming، بخشی از آب به‌صورت پیوسته یا در مدت زمان‌های مشخص درین می‌شود. حجم Blow Down به عنوان درصدی از حجم BFW بیان می‌شود. یعنی وقتی عنوان می‌شود BD 3%، یعنی Blow Down به اندازه 3% از حجم BFW. به عبارت دیگر اگر نرخ جریان ورودی 5 $m^3/hr$ باشد، B.D 3% برابر با 0.15 $m^3/hr$ می‌شود. نرخ Blow Down را معمولاً بر اساس میزان TDS آب بویلر نیز تعیین می‌کنند. TDS به‌وسیله هدایت الکتریکی آب بویلر و BFW پایش می‌شود. اما هدایت الکتریکی میزان دقیقی از TDS، خصوصا زمانی که PH و Alkalinity متغیر باشد، به‌دست نمی‌دهد و از طرفی اندازه‌گیری میزان TDS بر اساس بخار شدن حجم مشخصی از آب نیز زمان‌بر می‌باشد و اگر محدوده TDS کم باشد، نتیجه دقیق نمی‌باشد. بنابراین کنترل نرخ Blow Down در بویلرها اغلب با استفاده از یک یون، مثلا $Cl^-$ یا $Na^+$ انجام می‌شود. از لحاظ اقتصادی هرچه میزان B.D کمتر باشد، به‌خاطر حفظ بیشتر حرارت، بهتر است. B.D معمولاً در یک درام به همین نام ابتدا Flash می‌شود و سپس تخلیه می‌گردد. Blow

Down به دو صورت پیوسته[1] از Steam Drum جهت کنترل TDS و یا در مدت زمان های مشخص [2] از Water Drum جهت خروج گل و لای و رسوبات ته نشین شده انجام می‌شود.

شکل ۴-۵ نحوه محاسبه میزان Blow Down را نشان می‌دهد:




شکل ۴-۵ نحوه محاسبه میزان Blow Down

مثال: فرض کنید مقرر شده است‌که میزان TDS آب بویلری با فشار عملیاتی 40 barg، 2100 ppm باشد. TDS آب BFW در حدود 200 ppm است. اگر میزان فلوی BFW

[1]- Continuous Blow Down/Surface Blow Down

[2]- Intermittent Blow Down/Bottom Blow Down

حدود 5 $m^3/hr$ باشد، میزان B.D را حساب کنید.

(200/2100) x 100 = 9.5%

B.D = 5 x 0.095 = 0.45 $m^3/hr$

**۴- ۶- Shut down Study:**

**۴- ۶- ۱- Turnaround/Overhaul یا Shutdown های برنامه‌ریزی شده:**

واحدهای صنعتی اغلب فرآیند تولید پیچیده‌ای دارند که در آن انواع مختلف واحدها برای تبدیل خوراک به محصولات مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعد از مدتی، کارایی این واحدهای فرآیندی کاهش می‌یابد و یا به‌طور کل دچار از کار افتادگی می‌شوند. لذا واحدهای صنعتی برای تثبیت عمل‌کردشان و افزایش طول عمر با توجه به بالا بردن قابلیت اطمینان کلیه تجهیزات و اجزای اصلی آن‌ها، نیاز به تعمیرات دوره‌ای دارند. این بدان معنی است‌که واحدهای صنعتی مختلف نیاز دارند که تمام یا بخشی از آن‌ها به‌صورت دوره‌ای برای عملیاتی شامل تعویض قطعات، تعمیر، تمیزکاری و یا حتی تغییر و اصلاح قسمت‌های مختلف داخلی، shutdown گردند. به‌عبارتی در یک دوره چند ماهه بهره-برداری، بخشی از واحد صنعتی یا کل واحد به منظور انجام فعالیت‌های نگهداری و بازرسی و یا تعمیرات پیشگیرانه از سرویس خارج می‌شوند. اکثر این فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در حالت بهره‌برداری از واحدها قابل اجرا نمی‌باشد و shutdown واحد یا تجهیز مورد نظر ضروری می‌باشد. گاهی این بازرسی‌های دوره‌ای شامل تجهیزی می‌شود که حتی خاموش بودن آن، تأثیری در کل فرآیند واحد و کمیت و کیفیت محصول نهایی نخواهد گذاشت و یا این‌که تجهیز standby مشابهی وجود دارد که وظیفه آن تجهیز را به عهده می‌گیرد که در این حالت سطح خاموشی تجهیز صرفا به منظور کارهای تعمیراتی کفایت می‌کند. این دوره‌های نگهداری و تعمیراتی را در صنعت Turnaround (T/A) و یا Shutdown می‌گویند.

در مفهوم Turnaround و Shutdown برنامه‌ریزی شده از لحاظ دوره‌های زمانی و مدت زمان برنامه‌ریزی و انجام آن با هم تفاوت دارند. به‌همین علت به Shutdown برنامه‌ریزی شده اصطلاحا mini-turnaround نیز می‌گویند.

مسلما در این دوره به‌دلیل توقف تولید، هزینه زیادی نیز متحمل واحد صنعتی می‌شود. بنابراین تعیین زمان این دوره‌ها از اهمیت استراتژیکی برخوردار می‌باشد و برای هر واحد صنعتی نیاز به بررسی و مطالعه دقیق دارد.

در زیر برخی از مزایای Turnaround یا Overhaul بیان شده است:

۱- مجتمع صنعتی از لحاظ زیست محیطی با خطر کمتری مواجه می‌شود.
۲- بالا رفتن قابلیت اطمینان [۱] عملیاتی برای تولید محصول با کیفیت‌تر
۳- بالا رفتن قابلیت اطمینان و عمر مفید تجهیزات
۴- افزایش میزان تولید و بهره‌وری بهتر از انرژی
۵- کاهش خطر shutdown های برنامه‌ریزی نشده به‌خاطر نقص‌های مکانیکی

در طی فرآیند shutdown، سه هدف اصلی باید در نظر گرفته شود: کیفیت، هزینه و زمان.

اصل اولیه در موفقیت یک پروژه shutdwon، برنامه‌ریزی، تعیین سطح مشخصی از کیفیت [۲]و بودجه‌بندی صحیح آن می‌باشد. بنابراین در مرحله shutdown چهار فاز زیر مد نظر قرار می‌گیرند:

۱- برنامه‌ریزی[۳]: فاز اول فاز برنامه‌ریزی می‌باشد. این فاز معمولاً به معنی فرمول‌بندی

---

۱- Reliability
۲- KPI
۳ - Planning

مدت زمان و ترتیب انجام هر یک از فعالیت‌ها در طول دوره shutdown می‌باشد. اصل اساسی در برنامه‌ریزی این است‌که از منابعی مانند نیروی انسانی، مواد مصرفی، زمان و مانند آن به‌طور بهینه استفاده شود. در این فاز مشخص می‌شود که چه نوع تعمیرات پیشگیرانه‌ای [۱] و در چه مدت باید انجام گردد.

۲- زمان‌بندی[۲]: برنامه‌ریزی در فاز قبل به عنوان خوراک این فاز در نظر گرفته می‌شود. بنابراین زمانی که زمان‌بندی شروع می‌شود، به‌طور واضح از پیش مشخص است‌که کدام یک از واحدها باید shutdown شوند، مدت زمان shutdown چقدر است و چه تعداد نیروی انسانی برای انجام کار لازم است. اما باید توجه داشت چون برنامه‌ریزی یک فرآیند تکراری می‌باشد و توسط افراد مختلف صورت می‌گیرد، لذا اطلاعات مرحله برنامه‌ریزی ممکن است توسط افراد دارای تجربه اجرایی و یا در نظر نگرفته شدن فاکتور شرایط غیر منتظره، تغییر کند. این برنامه زمان‌بندی که معمولاً به آن Frequency تجهیز یا Package نیز گفته می‌شود بر اساس دستور شرکت سازنده اعلام می‌شود و با نظرات کارشناسان مربوطه و مطابق با RCA، احتمال تغییر آن وجود دارد؛ در نتیجه scheduling پیش از زمان بهره‌برداری تعیین و در زمان بهره‌برداری قابلیت تغییر خواهد داشت. به‌طور کلی scheduling مشخص کننده برنامه‌ای مدون برای بازرسی و تعمیر بر اساس زمان کارکرد تجهیز یا دوره‌های مشخص حتی در شرایط غیر کارکرد می‌باشد. در عمل اجزای واحدهای صنعتی به‌صورت جداگانه برنامه‌ریزی می‌شوند. در این زمان لازم است قطعات یدکی لازم برای تجهیزات vital و critical [۳] خریداری شود و از وجود مواد مصرفی در طی عملیات در انبار اطمینان حاصل گردد. همچنین با توجه به پیچیدگی فرآیندهای

---

۱- Preventive Maintenance (PM)

۲- Scheduling

۳ - در مبحث Criticality Assessment نگهداری و تعمیرات، تجهیزات به سه دسته Secondary، Critical و Vital تقسیم می‌شوند

یک واحد صنعتی و لزوم هماهنگی بین گروه‌های مختلف در طول کارهای تعمیر و نگهداری، این فاز به‌خوبی می‌تواند فعالیت‌ها را پردازش کند و با ارائه یک برنامه کلی از موازی کاری جلوگیری به‌عمل آورد. از این‌رو باید برای فعالیت هر یک از گروه‌های مرتبط و مدت زمان اختصاص کار آن‌ها جهت بهره‌وری مناسب از زمان، برنامه زمان-بندی تبیین گردد.

۳- بهره‌برداری[۱]: در این فاز برنامه زمان‌بندی به‌درستی اجرا می‌شود. از آن‌جا که معمولا فرآیندهای shutdown و production به‌طور هم‌زمان در یک واحد صنعتی (نه الزاما در یک واحد مشخص) انجام می‌شوند، لذا توجه به موارد ایمنی و همچنین اخذ PTW ضروری می‌باشد. نظارت در این بخش نقش به‌سزایی دارد و ارائه KPI های مربوط به انجام کار و مقایسه با آن‌چه پیشتر برنامه‌ریزی شده بود بسیار مهم می‌باشد. در واقع بازرسی در این فاز رایج‌ترین روش برای نظارت بر عمل‌کرد shutdown می‌باشد. از جمله فعالیت‌های اساسی در این فاز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بازرسی تجهیزات بر اساس انومالی‌های ارائه شده در زمان بهره‌برداری برای شناسایی و رفع مشکلات
- نصب قطعات جدید تجهیزات بر اساس مدت زمان کارکرد یا تاریخ مصرف که شامل تعویض المان فیلترها و کاتالیست‌ها نیز می‌شود
- انجام کارهای تعمیراتی و بازرسی برنامه‌ریزی شده

۴- ارزیابی[۲]: در طول عملیات shutdown بعضی مسایل ممکن است اشتباه باشند که می‌تواند دلایل زیادی داشته باشد. برای مثال زمانی که یک واحد در حال عملیات

۱- Operation

۲- Evaluation

shutdown بوده و مشخص می‌شود نیاز به زمان بیشتر از انتظار برای تعمیرات دارد. برای پیشگیری از چنین اشتباهاتی در آینده، معمولاً برای هر فعالیتی یک ارزیابی انجام می‌دهند که این ارزیابی قطعا نمی‌تواند به عنوان ارزیابی برای تجهیزی مشابه در ترین یا واحد مشابه باشد. این ارزیابی می‌تواند برای shutdown های بعدی بسیار مفید باشد و حتی به عنوان مرجعی برای RCA نیز لحاظ گردد.

Shutdown یک یا چند واحد در یک مجتمع صنعتی، فرآیندی پیچیده و پر هزینه-ای می‌باشد. بنابراین برای انجام این فعالیت‌ها لازم است دو هدف اساسی ۱-کاهش هزینه که اصولا به معنی کاهش دوره shutdown می‌باشد [۱]۲- اهداف عملیاتی که به معنی تعمیرات با حداکثر بهره‌وری [۲] از تجهیزات و بر اساس حفظ و یا افزایش قابلیت تجهیزات باشد. (قابلیت اطمینان در واقع توانایی یک تجهیز برای کارایی مناسب و با بازده مناسب برای تولید محصول با کیفیت می‌باشد).

بر اساس benchmark های موجود، رسیدن هم‌زمان به هر دو هدف فوق کاری بس دشوار است و در مواردی حتی هر یک می‌توانند دیگری را نیز نقض کنند.

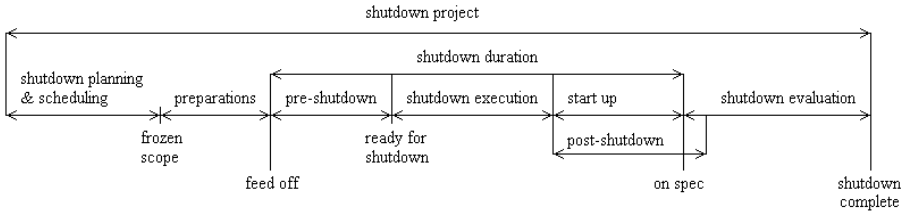
به‌طور کلی در تعریف یک پروژه shutdown سه مرحله Pre-shutdown شامل تخلیه واحد، Shutdown شامل تمیزکاری محیط، بازرسی و تعمیرات و در نهایت Post Shutdown که شامل استارت‌آپ مجدد واحد، در نظر گرفته می‌شود.

در شکل ۴-۶ الگوریتم فعالیت‌های shutdown نشان داده شده است:

[۱] -هزینه از دو طریق قابل محا سبه می‌با شد. اول درآمد از د ست رفته مثل عدم تولید مح صول و دوم هزینه‌های مربوط به تعمیرات و یا تعمیرات پیشـــگیرانه می‌باشـــد. مانند هزینه‌های مربوط به کارگران و یا هزینه ذخیره مواد تولیدی در مخازن که قابلیت انتقال و فروش ندارند

[۲] - منظور از بهره‌وری در سرویس نگهداشتن واحد تا زمان استفاده و برنامه‌ریزی برای از سرویس خارج کردن آن واحد در مواقعی است که حداقل نیاز به آن واحد وجود دارد

شکل ۴-۶ الگوریتم فعالیت‌های shutdown




Shutdown duration در واقع مدت زمانی است‌که کل فعالیت‌های مربوط به shutdown به‌طول می‌انجامد و باید در زمان scheduling پیش‌بینی گردد. همان-طور که در شکل ۴-۶ نیز پیداست، زمان لازم برای در سرویس قرار دادن واحد نیز در دوره shutdown در نظر گرفته می‌شود.

زمانی که یک واحد shutdown می‌شود، مطابق با اثر دومینو، سایر واحدهای بالا دستی و پایین‌دستی نیز ممکن است از سرویس خارج گردند. (برای واحدهای پایین دستی به‌خاطر نبود خوراک و برای واحدهای بالا دستی به‌خاطر تکمیل نشدن فرآیند لازم بر روی خوراک این واحدها). در این حالت برای جلوگیری از shutdown ناگهانی کل مجتمع و دفع اثر دومینو معمولاً از ذخایر موجود برای در سرویس نگهداشتن واحدهای پایین‌دستی استفاده می‌کنند و به تدریج و بر حسب برنامه، سطح خاموشی را بالا می‌برند. همچنین اگر یک واحد دارای ردیف‌های مشابهی باشد، عملیات Shutdown را با قطع خوراک در یک ردیف و افزایش ظرفیت ردیف مشابه تا جای ممکن ادامه می‌دهند تا هزینه‌های مربوط به خوابش تولید به حداقل مقدار خود برسد. به این کار اصطلاحا Re-Routing می‌گویند.

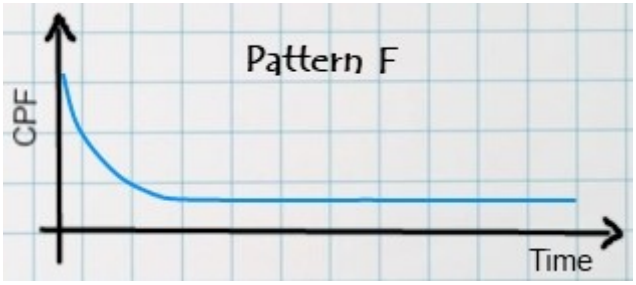
**۴ – ۶- ۲- Shut down برنامه‌ریزی نشده:**

این نوع shutdown ها معمولاً به دلایلی از قبیل نقص در تجهیزات، خطای انسانی، بروز وضعیت‌های اضطراری که منجر به ESD نشود و یا ممکن است به‌واسطه دستورات سازمانی از جانب مدیر plant بنا به دلایل امنیتی اتفاق بیافتد. به‌هرحال کاهش این مسئله از نقطه نظر بالا بردن میزان Availability و کاهش حوادث ناشی از استارت‌آپ مجدد واحد بعد از shutdown بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این نوع shutdown ها باید علت ریشه‌ای [۱] و علت مستقیم [۲] مشخص و بررسی شود. برای درک بهتر نسبت به علت‌های ریشه‌ای و مستقیم فرض کنید یک کمپرسور trip خورده است؛ پس از بررسی مشخص می‌شود که علت بالا رفتن دمای روغن بوده است. این همان Direct Cause می‌باشد. از طرفی بررسی‌های بیشتری برای دلیل بالا رفتن دمای روغن باید انجام شود که ممکن است خود دلایل مختلفی داشته باشد و بررسی لایه‌های مختلف از دلایل ریشه‌ای را Root Cause می‌گویند. به‌هر حال مطابق با بررسی‌های به‌عمل آمده در پنج مجتمع شیمیایی مشخص شده است‌که بیش از 50 درصد shutdown های برنامه‌ریزی نشده به‌خاطر خطاهای انسانی، 10 درصد به‌خاطر مسائل و مشکلات زمان راه‌اندازی و استارت‌آپ و بهره‌برداری نادرست ازتجهیزات و 40 درصد به‌خاطر عدم انجام PM تجهیزات می‌باشد. آمار ارائه شده به‌خوبی با الگوی شکست نوع F از شش الگوی شکست موجود مطابقت دارد.

---

۱- Root Cause

۲- Direct Cause




شکل ۴-۷ الگوی شکست F

کلی‌ترین نوع Shutdown های برنامه‌ریزی نشده، Black Shutdown می‌باشد:

**Black Shutdown:** زمانی که بحث جریان برق به میان می‌آید، با قطع جریان برق همه چیز تاریک و سیاه در نظر گرفته می‌شود. به‌طور حتم با این توضیح متوجه مفهوم Black Shutdown شده‌اید. در واقع با قطع کامل برق، کلیه تجهیزات به غیر از آن‌هایی که برای شرایط اضطراری از UPS استفاده می‌کنند، (مانند حلقه‌های کنترلی و ابزاردقیق ضروری)، از سرویس خارج شده و تولید به‌طور کامل متوقف می‌شود. (متاسفانه استفاده از UPS برای همه تجهیزات به‌خاطر هزینه بالای آن از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نمی‌باشد). در این هنگام دیزل ژنراتورها برای تامین برق تجهیزات و ادوات ایمنی مانند پمپ‌های Fire Water و سیستم‌های telecommunication و همچنین به‌عنوان پشتیبان برای سیستم UPS (در زمان طولانی بی‌برقی) استارت می‌شوند. به این حالت Power Outage، Power Blackout نیز می‌گویند. دلایل زیادی برای قطع شبکه اصلی برق یک مجتمع صنعتی وجود دارد که نمونه‌هایی از آن شامل آسیب به سیستم توزیع برق، آسیب ایستگاه‌های برق و یا عمل کردن سنسورهای ایمنی shutdown این ایستگاه-ها به‌خاطر شرایط بسیار بد آب و هوایی، اتصال کوتاه یا اضافه بار می‌باشد.

به‌هرحال پس از قطع کامل جریان برق و توقف تولید، مهم‌ترین استراتژی یافتن علت یا

علل این امر با استفاده از تکنیک[1] RCFA می‌باشد. هرچند شناسایی و بررسی این علل مشکل به‌وجود آمده را بر طرف نمی‌کند، اما به‌طور بسیار موثری از وقوع مجدد آن در آینده جلوگیری خواهد کرد.

در این بخش سعی شده است مراحل استارت‌آپ مجدد یک واحد صنعتی پس از Blackout شرح داده شود. به این نوع استارت‌آپ اصطلاحا Black Start-up گفته می‌شود. موارد زیر پیش از انجام Black Start-up مفروض می‌باشند:

- کل پالایشگاه De-Pressurize شده است
- واحدها به‌طور کامل از افراد تخلیه شده و همگی در Muster Poit جمع شده‌اند
- کلیه واحدهای utility و فرآیندی depressure شده و همه BDV ها در حالت open می‌باشند
- ESDV خط اصلی ورودی خوراک به plant بسته شده و بالادست این خط Pressurize می‌باشد. (در صورتی که خوراک از Offshore تامین شود، خط sea line باید pressurize بوده و چاه‌ها بسته و سکو آماده بهره‌برداری باشد)
- کلیه تجهیزات برقی به‌خاطر قطع برق خارج از سرویس می‌باشند
- مخازن ذخیره هوای ابزاردقیق (Air Receiver) خالی می‌باشند
- مخازن ذخیره نیتروژن مایع به‌طور کامل خالی می‌باشند
- کلیه سیستم‌های کنترلی و Safety از قبیل ESD، F&G، DCS، PDCS و سیستم‌های Telecommunication در سرویس نمی‌باشند.
- کل Plant عاری از هیدروکربن و گازهای سمی بوده و پمپ‌های Fire Water خاموش می‌باشند

در نگاهی کلی با توجه به مفروضات فوق، ابتدا لازم است واحد تولید هوای

[1]- Root Cause Failure Analysis

ابزاردقیق با تامین برق از طریق EDG در سرویس قرار گرفته شود و برای Pressurize کردن سریع خط IA و صرفه جویی در مصرف گازوییل، Air Reciever ها Bypass شوند. سپس واحد تولید نیتروژن در سرویس قرار گیرد تا جهت Sweeping مسیر فلر و همچنین Purge کردن خطوط لازم استفاده شود. (البته پیشتر می‌توان نسبت به level گیری مخازن نیتروژن مایع از طریق ماشین‌های حامل نیتروژن مایع اقدام نمود).

مراحل Black Start-up به قرار زیر است:

۱- برقراری ایمنی مناطق عملیاتی از طریق استارت پمپ‌های آتش‌نشانی دیزلی و pressurize کردن شبکه مربوطه

۲- آماده سازی اتاق کنترل و فراهم کردن شرایط برای استارت ژنراتور برق و تامین برق PDCS به‌وسیله UPS

۳- استارت EDG برای تامین برق Substation مرکزی و اتاق کنترل و سیستم HVAC مربوط به آن‌ها

۴- برقراری ارتباط بین ITR ها

۵- باز گرداندن سیستم DCS و Reset کردن سیستم‌های ESD و F&G

۶- استارت کمپرسور تامین هوای ابزاردقیق

۷- آماده سازی و راه‌اندازی واحد Waste Effluent Disposal در صورت وجود

۸- تامین نیتروژن و انجام Sweeping شبکه فلر و Inerting واحدهای فرآیندی

۹- روشن نمودن فلر با استفاده از Start-up Gas

۱۰- تامین برق از شبکه اصلی و خاموش کردن EDG

۱۱- راه‌اندازی واحدهای utility تامین آب و بخار و ...

۱۲- ورود خوراک و Feed in

**Emergency Shutdown: -۳ -۶ -۴**

سیستم ESD برای کاهش پیامدهای اضطراری غیرقابل کنترل و غیرقابل تشخیص، مانند نشت مواد هیدروکربنی سمی و جلوگیری از وقوع یا گسترش آتش‌سوزی به‌کار می‌روند.

تعاریف:

۱- Shutdown (SD): اقدامات کنترل شده برای توقف کارکرد تجهیزات و یا یک سیستم را shutdown می‌نامند. در واقع این عبارت بر بسته شدن چاه‌ها، توقف ماشین‌ها، بسته شدن ولوها و damper ها، باز شدن برخی ولوها، electrical isolation تجهیزات برقی و خاموش شدن Burner ها دلالت دارد. این عملیات می‌تواند به‌صورت خودکار و یا دستی انجام پذیرد.

۲- Emergency Shutdown (ESD): اقدامات کنترل شده برای توقف کارکرد تجهیزات و یا یک سیستم در وضعیت خطرناک می‌باشد.

۳- Blow Down Valve (BDV): ولوهایی با عمل‌کرد FO می‌باشند که از راه دور توسط سیستم ESD جهت تخلیه فشار یک واحد یا یک تجهیز فعال می‌شوند.

۴- Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE): فرض کنید که یک مخزن و یا یک سیستم محتوی ترکیبات دو فازی (مانند مخزن پروپان مایع) آتش‌گیر باشد و در معرض حرارتی بیش از نقطه جوش مایع داخل سیستم، قرار بگیرد؛ در این حالت فشار سیستم افزایش یافته و فلش مایع به بخار سبب ایجاد موج‌های انفجاری در داخل سیستم می‌گردد. این موج‌های انفجاری نهایتا سبب شکستن نقطه یا نقاطی از سیستم می‌شود و افزایش مخلوط Fuel-Air منجر به احتراق بسیار شدید می‌شود. پر خطرترین نقطه از یک مخزن قسمت فوقانی آن می‌باشد که اگر در معرض حریق قرار بگیرد، حتی در زیر فشار طراحی مخزن نیز می تواند منجر به پدیده BELVE شود. به‌همین دلیل است‌که در این‌گونه مخازن

از رینگ‌های آتش نشانی به دور آن‌ها استفاده می‌شود.

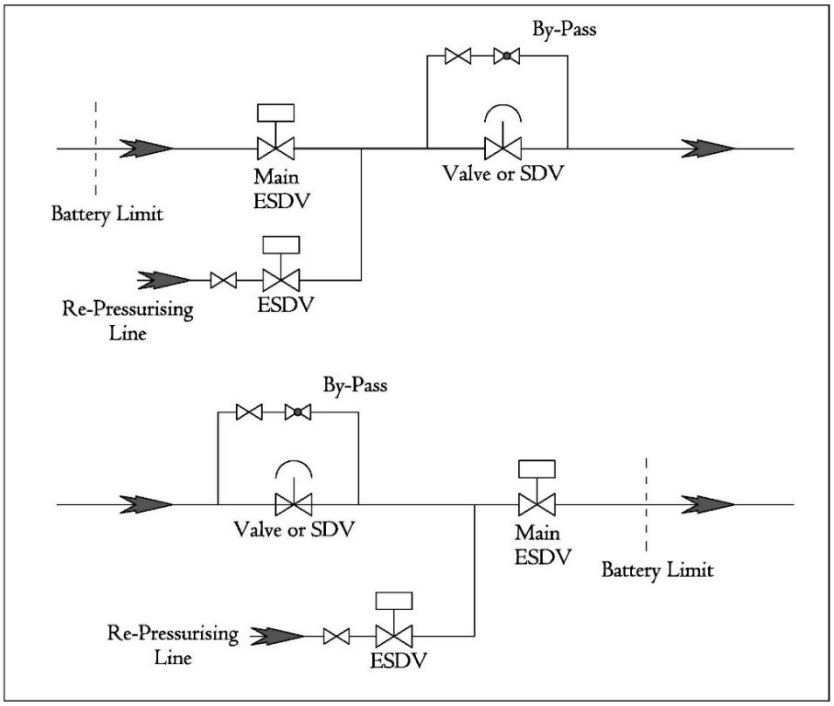
۵- Emergency De-Pressurization (EDP): اقدامی کنترلی در شرایط اضطراری جهت تخلیه فشار (De-Pressurization) تجهیز یا یک سیستم تا فشاری مشخص (7 barg یا 50% فشار طراحی؛ هر کدام که دقیقتر باشد) و در مدت زمان معلوم (حداکثر 15 دقیقه / 3 دقیقه به ازای هر 5 میلیمتر ضخامت دیواره مخزن) ، می‌باشد. EDP تا جایی که فشار سیستم به فشار اتمسفر برسد ادامه پیدا می‌کند. این سیستم توسط سیستم ESD فعال می‌شود. وجود سیستم EDP روی طراحی و تعداد سیستم‌های deluge در یک واحد صنعتی تأثیر می‌گذارد به‌طوری که طراحان معمولاً در جاهایی که سیستم EDP قرار دارد از سیستم deluge استفاده نمی‌کنند. دقت داشته باشید که نصب BDV برای Piping و مخازنی که قابل ایزوله شدن نداشته باشند و یا این‌که ایزوله شده اما در معرض آتش قرار نمی‌گیرند، ضروری نیست. همچنین برای هیدروکربن‌های مایع از PSV یا TSV استفاده می‌کنند و نیازی به نصب BDV نمی‌باشد. نکته قابل توجه در مورد سیستم EDP این است‌که برای کنترل فلوی خروجی depressurization، BDV ها باید با یک تاخیر زمانی مشخص باز شوند تا قبل از آن، ابتدا کلیه ESDV ها بسته شوند. همچنین بعد از BDV ها برای کنترل فلو می‌توان از اورفیس استفاده کرد.

جدول ۴-۳ مدت زمان افت فشار Pipe/Vessel بر اساس فشار طراحی

| • مدت زمان معمول برای رسیدن به فشار 7 barg بر حسب دقیقه | • فشار طراحی Pipe/Vessel |
|---|---|
| • 4-5 | • 20 barg |
| • 7-8 | • 50-100 barg |
| • 15 | • > 100 barg |

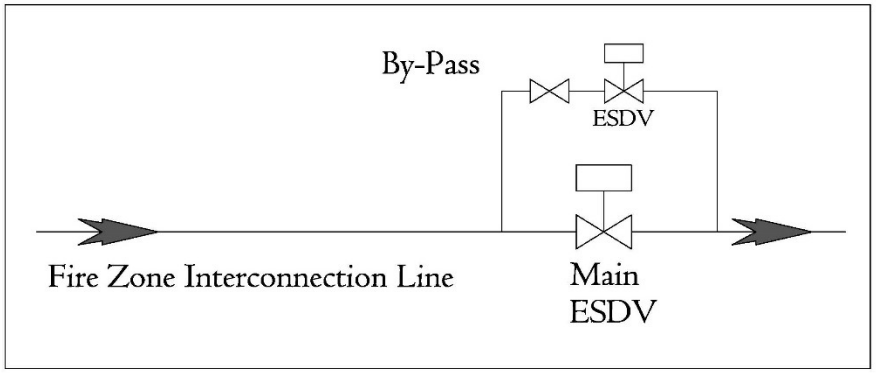
۶- Emergency Shutdown Valve (ESDV): ولوهایی با عمل‌کرد FC می‌باشند که توسط سیستم ESD جهت ایزوله کردن یک Fire Zone و یا بخشی از یک Fire Zone فعال می‌شوند. مسئله قابل توجه در مورد ESDV ها، بحث bypass آن‌ها می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، ESDV ها یا در Battery Limit ها نصب می‌شوند و یا در فاصله بین دو Fire Zone.

- در مورد اول (ESDV های نصب شده در .B.L) به‌طور کل استفاده از bypass ممنوع می‌باشد، اما استفاده از Equalizing Line در شرایط زیر امکان‌پذیر می‌باشد:
  - نصب bypass برای block valve:
  - استفاده از Re-Pressurizing Line: این خط شامل یک ولو دستی و یک ESDV می‌باشد که از یک منبع پر فشار تامین می‌شود.




شکل ۴-۸ شرایط Bypass برای ESDV های .B.L

- در مورد دوم (ESDV های نصب شده بین دو Fire Zone) منعی برای خط bypass وجود ندارد به شرط این‌که در خط bypass نیز یک ESDV نصب شود به‌طوری که با بسته شدن ESDV اصلی، آن نیز بسته شود.




شکل ۴-۹ شرایط Bypass برای ESDV های بین دو Zone

۷- Shutdown Valve (SDV): ولوهایی با عمل‌کرد FC می‌باشند که توسط سیستم PSS (Process Shutdown System) برای ایزوله کردن یک واحد یا یک تجهیز فعال می‌شوند. به این ولوها گاهی PSDV (Process Shutdown Valve) نیز می‌گویند. زمان پاسخ Safety Valve ها (مدت زمان دریافت سیگنال تا بسته شدن) باید کمتر از 15 ثانیه باشد. (در offshore این زمان برای SSV [۱] و WV [۲] 10 ثانیه می‌باشد). هرچند برای ولوهای با سایز بیشتر از ۲۰ اینچ، بسته به مطالعات HAZID و HAZOP می‌تواند بیشتر نیز باشد.

۸- Fire and Gas[۳]: در واقع سیستم SIS[۴] می‌باشد که دما، شار انرژی (آتش)، غلظت گازهای قابل اشتعال و سمی را پایش و نسبت به آن‌ها موجب عمل‌کردهایی نظیر Alarm، ESD، EDP، فعال کردن سیستم Fire Fighting، EIS و ... در سطوح تعریف شده می‌شود.

---

[۱]- Surface Safety Valve

[۲]- Wing Valve

[۳] - F&G

[۴] - Safety Instrumented System

۹- Fire Zone: محدوده‌ای که در آن غالبا تجهیزاتی هم‌سطح از نقطه نظر ریسک نصب می‌شوند. پارتیشن‌بندی یک Plant به Fire Zone های مختلف، موجب کاهش چشم‌گیر میزان خطرات می‌شود. بدین ترتیب که درصورت نشت، انفجار و آتش‌سوزی در یک Fire Zone، به سایر zone ها سرایت نمی‌کند و آن‌ها را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

۱۰- High Integrity Protection System (HIPS): نوعی سیستم SIS مستقل می‌باشد که برای محافظت بخشی خاص در مقابل افزایش شرایط عملیاتی (مانند فشار، دما، جریان، سطح) بیشتر از حد مجاز طراحی، تعبیه می‌شود. این سیستم همان‌طور که گفته شد مستقل می‌باشد و تحت تأثیر PSS یا ESD نمی‌باشد اما در کنار این سیستم‌ها، یک لایه مضاعف حفاظتی به شمار می‌آید. این سیستم باید از قابلیت اطمینان بالا و سرعت پاسخی سریعتر از شرایط عملیاتی ذکر شده برخوردار باشد.

۱۱- Process Safety System (PSS): نوعی سیستم SIS که مختص shutdown واحدها یا تجهیزات، با حفظ شرایط ایمن می‌باشد.

۱۲- Redundancy: استفاده از ابزارهایی مشابه و مضاف بر ابزارهایی که در یک سیستم برای عمل‌کرد یا نشان دادن برخی توابع وجود دارند، با هدف افزایش قابلیت اطمینان سیستم را redundant آن ابزار می‌گویند.

۱۳- Safety Instrument System: SIS یک سیستم شامل سنسور(ها) ، توابع منطقی و عناصر کنترلی نهایی می‌باشد که هدف آن هدایت خودکار و ایمن فرآیند در مواقعی است‌که حدود از پیش تعیین شده شرایط عملیاتی از حد معمول خود خارج شوند و یا شرایط عملیات ایمن نباشد. معمولاً در یک واحد عملیاتی چند سیستم SIS مستقل مانند PSS، ESD، F&G، HIPS و ... وجود دارند که همگی آن‌ها باهم "Safety Shutdown System" را شکل می‌دهند. هر سیستم SIS، به‌صورت مستقل از سیستم کنترل فرآیند (PCS) و سایر SIS ها می‌باشد و هر

یک، سنسور، توابع منطقی و عناصر کنترل نهایی جداگانه‌ای دارند.

۱۴- Safety Integrity: سطح قابل کارایی و اجرای مطلوب یک SIS در تمام شرایط و مدت زمان اعلام شده می‌باشد که دارای چهار سطح از 1 تا 4 می‌باشد که سطح 4 آن بالاترین سطح SI و 1 کمترین آن را دارد. (برای اطلاعات بیشتر به فصل ۳ مراجعه شود).

۱۵- Temperature Safety Valve (TSV): این نوع ولوها برای مایعات و در جاهایی استفاده می‌شوند که سیال تحت تأثیر یک منبع حرارتی در یک فضای مشخص قرار داشته باشد (مثلا داخل خط لوله‌ای که سیال آن از یک منبع حرارتی خارج می‌شود) که هدف آن حفظ فشار سیال زیر فشار طراحی سیستم می‌باشد. این ولوها اصولا نسبت به PSV ها در سایزهای کوچک و بر خلاف آن‌ها فقط برای مایعات به‌کار برده می‌شوند.

۱۶- Ultimate Safety System (USS): یک نوع سیستم SIS اختیاری می‌باشد که به‌صورت موازی با یک سیستم ESD به‌عنوان پشتیبان کار می‌کند.

- بررسی ساختار سیستم‌های SD:

همان‌طور که گفته شد، Safety Shutdown System ها دارای اجزایی مانند PSS، ESD، F&G، USS (اختیاری) و HIPS (اختیاری) و به‌عنوان حلقه‌های ایمنی می‌باشند که در واقع مکملی برای سیستم‌های کنترل فرآیند (PCS) می‌باشند. این سیستم بر اساس اولویت سطوح خاموشی طبقه بندی شده است‌که ساختار و مراتب آن در مدرکی به نام ESD Hierarchy قابل بررسی می‌باشد. این سطوح هر یک عمل‌کرد متفاوتی بر اساس هدف تعریف شده برای آن‌ها، برای محافظت از پرسنل، محیط زیست و دارایی‌های فیزیکی دارند. تعداد و تعریف هر یک از این سطوح به تناسب فاکتورهای ایمنی و شرایط واحد صنعتی بستگی دارد. به‌طور کل چهار سطح خاموشی Level-0 (خاموشی کلیه تاسیسات)، Level-1 (خاموشی کلیه تاسیسات یک fire zone)، Level-2 (خاموشی

یک واحد در یک fire zone) و Level-3 (خاموشی یک تجهیز یا یک Package در یک واحد) تعریف می‌شود. سطوح 0 و 1 را سطوح ESD و سطوح 2 و 3 را سطوح SD می‌نامند. برای هر plant یک ESD/SD Logic Diagram تعریف می‌شود که اساس این logic همان‌طور که گفته شد، ESD/SD Hierarchy می‌باشد به‌طوری که سطح N موجب فعال شدن سطح N+1 می‌گردد.

۱- ESD-0 (Total Shutdown)

بالاترین سطح خاموشی ESD می‌باشد که به‌صورت دستی برای تخلیه کل Plant و به‌صورت خودکار درصورتی‌که سیستم‌های ESD و F&G در داخل ساختمان (جایی مثل CCR) حضور مواد قابل اشتعال را حس کنند اتفاق می‌افتد. زمانی‌که ESD-0 اتفاق می‌افتد، ESD-1 و EDP کلیه fire zone ها در محدوده تعریف شده ESD-0 نیز فعال می‌شوند و کلیه سیستم‌های فرآیندی و تاسیسات جانبی Shutdown می‌خورند. (ESD-0 موجب خاموشی موتورهای دیزلی، برخی از پمپ‌هایی که باید برای روان‌سازی ماشین-های دوار بعد از خاموشی هم در سرویس باشند و emergency lighting نمی‌شود). در این حالت همه تجهیزات و سیستم‌هایی که بعد از ESD-0 باید در سرویس باشند، باید در Zone-1 قرار گرفته و برای آن‌ها UPS جداگانه‌ای در نظر گرفته شود.

۲- ESD-1 (Fire Zone Emergency Shutdown)

برای هر fire zone، یک سیستم ESD-1 تعریف می‌شود. در واقع ESD-1 بالاترین سطح shutdown می‌باشد که در آن پرسنل اجازه حضور در سایت را دارند.

از جمله دلایل بروز ESD-1 می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. البته این موارد می‌توانند با توجه به سطح ایمنی در نظر گرفته شده برای واحد صنعتی و یا شرایط فرآیندی کمتر یا بیشتر باشند.

- فعال شدن ESD-0
- به‌صورت دستی از طریق Push button و یا از طریق اتاق کنترل (بر اساس احتمال وقوع وضعیت خطرناک)
- از طریق سیستم F&G

  - Flammable Gas Detection در Fire Zone
  - Gas Detection در سیستم HVAC داخل ITR های Fire Zone ( Fire Detection در این حالت فقط باعث ایزوله شدن سیستم HVAC شده و منجر به ESD-1 نمی‌شود)
  - Gas Detection در هوای ورودی به محفظه‌های احتراق در یک Fire Zone
  - Fire Detection در Fire Zone

- زمانی‌که PSLL مربوط به Sweeping Gas فلر فعال گردد
- زمانی‌که برق مربوط به سیستم‌های ESD و F&G تامین نشود (UPS Low Voltage)

پیامدهای ESD-1 عبارت است از:

- Shutdown کلیه واحدهای فرآیندی و utility در Fire Zone مربوطه
- بسته شدن کلیه ESDV های Fire Zone مربوطه
- فعال شدن (Electrical Isolation System) EIS و در نتیجه trip خوردن همه موتورهای الکتریکی در fire zone مربوطه
- فعال شدن سیستم EDP و باز شدن همه BDV های fire zone مربوطه (باز شدن BDV ها به‌صورت اتوماتیک، همان‌طور که گفته شد، با یک تاخیر از پیش تعریف شده اتفاق می‌افتد که این زمان معمولاً بین 30 تا 60 ثانیه می‌باشد). اگر

BDV ها به هر دلیلی به‌صورت خودکار باز نشدند، لازم است از طریق push button های تعبیه شده در CCR نسبت به باز شدن آن‌ها با در نظر گرفتن زمان تاخیر تعریف شده اقدام شود.

- ESD-1 منجر به Shutdown واحد بالا دستی خود که خارج از fire zone مربوطه می‌باشد نیز می‌گردد.
- چنان‌چه مورد ESD-1 از طریق Fire Detection باشد، منجر به فعال شدن deluge system در آن fire zone می‌شود.
- منجر به فعال شدن Alarm و نشانه‌های نوری برای آگاهی پرسنل سایت و خروج آن‌ها از واحد به سمت muster point می‌شود.

۳- SD-2 (Unit Shutdown)

برای هر واحد یک سیستم SD-2 وجود دارد. در واقع SD-2 منجر به shutdown یک واحد (فرآیندی، utility) در یک fire zone می‌گردد. در این سطح از shutdown هیچ‌گونه سیستم F&G دخیل نمی‌باشد. همان‌طور که گفته شد، سیستم F&G منجر به ESD-1 یا SD-3 می‌شود.

از جمله دلایل بروز SD-2 می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. البته این موارد می‌توانند با توجه به سطح ایمنی در نظر گرفته شده برای واحد صنعتی و یا شرایط فرآیندی کمتر یا بیشتر باشند.

- فعال شدن ESD-1 مربوط به Fire Zone که واحد مربوطه در آن باشد.
- فعال شدن ESD-1 مربوط به Fire Zone دیگری که واحد مربوطه به عنوان گیرنده یا دهنده خوراک به واحد یا واحدهای آن fire zone باشد.
- به‌صورت دستی از طریق push button (بر اساس تشخیص خرابی احتمالی در واحد)

- از طریق کنترلرهای فرآیندی به‌طوری که کل فرآیند واحد تحت تأثیر قرار گیرد؛ مانند کاهش میزان خوراک ورودی به واحد زیر میزان تعیین شده یا کاهش فشار هوای ابزاردقیق در واحد (PSLL هوای ابزاردقیق)

پیامدهای SD-2 عبارت است از:

- فعال شدن SD-3 همه تجهیزات و Package های آن واحد و بسته شدن کلیه SDV ها
- بسته شدن خروجی ESDV خط لوله که دچار نشتی شده است (PSLL)
- درصورت فعال شدن SD-2، Permissive برای سیستم EDP آن واحد صادر می‌شود.

۴- SD-3 (Equipment Shutdown)

برای هر یک از تجهیزات در یک واحد (فرآیندی و utility) یک سطح خاموشی SD-3 وجود دارد که هدف آن محافظت از تجهیز و جلوگیری از تشدید سطح خاموشی (SD-2,ESD-1) می‌باشد.

از جمله دلایل بروز SD-3 می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. البته این موارد می‌توانند با توجه به سطح ایمنی در نظر گرفته شده برای واحد صنعتی و یا شرایط فرآیندی کمتر یا بیشتر باشند.

- فعال شدن SD-2
- به‌صورت دستی از طریق push button در اتاق کنترل یا روی LCP (بر اساس تشخیص خرابی احتمالی تجهیز)
- از طریق سیستم F&G داخل واحد

پیامدهای SD-3 عبارتند از:

- بسته شدن SDV (های) مربوطه
- بسته شدن ESDV های مربوط به مسیر ورودی خوراک به یک تجهیز
- توقف موتور
- توقف تولید در مورد تجهیزات Vital
- فعال کردن سیستم deluge درصورت fire detection

# مـــراجـــع

- American Petroleum Institute (API), Recommended Practice 521, Second Edition, September 1982
- Handbook of Chemistry and Physics, 55th Edition, CRC Press, 1974-1975
- Niebel, B.W., Engineering maintenance management, Industrial Engineering/18, Second edition, Marcel Dekker, Inc., 1994
- Oddi, C.A., Smith, S.F., A constrained-based method for project scheduling with time windows, Journal of Heuristics, 8, pp. 109-136, 2002
- Ansoff, H.I., Corporate Strategy, McGraw Hill, New York, 1965
- American Petroleum Institute (API), RP 55, Recommended Practice for Oil and Gas Producing and Gas Processing Plant Operations Involving Hydrogen Sulfide
- American Petroleum Institute (API), Std 610, Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries
- International Electrotechnical Commission (IEC), 60079-14, Explosive atmospheres – Part14: Electrical Installations Design, Selection and Erection
- International Electrotechnical Commission (IEC), 61557, Electrical safety in low voltage distribution systems, Equipment testing
- American Petroleum Institute (API), STD 521, Pressure-relieving and Depressuring Systems, Sixth Edition, January 2014
- GS EP SAF 312, Fire and Gas Detection Systems
- GS EP SAF 332, Water mist and gaseous fixed fire extinguishing systems
- American Petroleum Institute (API), Std 607, Fire Test for Soft-Seated Quarter Turn Valves, Fourth Edition, API, Washington, D.C., 1993
- Center for Chemical Process Safety (CCPS), Guidline for Safe Automation of Chemical Process, AIChE, New York, NY, 1994
- National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 79, Electrical Standard of Industrial Machinery, NFPA, Quincy, MA, 1991
- Daa book on hydrocarbons, j.b. Maxwell (hydrocarbon physical properties)

- Engineering daa book, gas processor suppliers association, 10th Edition, 1987.
- Furnace Operations, Robert Reed, 1981
- API RP J30, Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refining
- American Petroleum Institute, "Air Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service", 7th Ed., Standard 661, API, Washington DC (July 2013)
- Dearden, H. T. (2017).Professional engineering practice(2nd ed.). CreateSpace Independent Publishing Platform
- Azapagic, A. (2002).Sustainable development progress metrics recommended for use in the process industries. London: Institution of Chemical Engineers
- Kletz, T. (1999).Hazop and Hazan. London: Institution of Chemical Engineers. Sinnott, R., & Towler, G. (2009). (5th ed.). Chemical engineering: chemical engineering design, (Vol. 6). Oxford: Butterworth-Heinemann/Elsevier.
- Alder, M. (2004). Newton's Flaming Laser Sword, or: Why mathematicians and scientists don't like philosophy but do it anyway.
- Institution of Chemical Engineers. (2013). Chemical engineering matters. Rugby: Institution of Chemical Engineers.
- Whyte, J., Ewenstein, B., Hales, M., & Tidd, J. (2008). Visualizing knowledge in project-based work.
- Wilde, G. L. (1983). The skills and practices of engineering designers now and in the future.

# پـیوستهـا

## پیوست الف: تعاریف

- Stud Bolt: پیچی که دو سر آن رزوه شده باشد به‌طوری‌که با پیچاندن یک مهره از یک سمت بتوان به سمت دیگر رسید.
- Machine Bolt: یک میله فلزی با سر آچارخور گرد یا چند وجهی در یک سمت و قسمت رزوه‌ای در سمت دیگر می‌باشد که معمولاً بین سایزهای ¼ تا 3 اینچ موجود می‌باشند.
- دسته‌بندی punch ها در این کتاب: Punch A: تا قبل از مرحله راه‌اندازی باید برطرف شود و باید برای دریافت گواهی RFC رفع شوند. Punch B: مانع شروع بهره-برداری می‌شود و قبل از RFSU باید رفع گردد. Punch C: می‌تواند پس از بهره‌برداری نیز رفع گردد.
- Mechanical Completion: تکمیل مکانیکی به منزله پایان فعالیت‌های ساخت، نصب و پیش راه‌اندازی و آماده بودن واحد برای شروع فعالیت‌های راه‌اندازی می‌باشد. این عبارت اغلب معادل RFC (Ready For Commissioning) نیز می‌باشد. در واقع mechanical completion از شروع نصب تجهیزات تا شروع استارت‌آپ را شامل می‌شود.
- Dew Point: در هر فشار و دمای معینی-دما در فشار معین و فشار در دمای معین- که اولین قطره میعان از گاز یا بخار تشکیل شود را نقطه‌ی شبنم می‌گویند. به‌طور ویژه دمایی که در آن بخار آب داخل یک مخلوط گازی شروع به کندانس شدن می‌کند را Water Dew Point و دمایی که در آن هیدروکربن‌ها در یک مخلوط گازی شروع به کندانس شدن می‌کند را Hydrocarbon Dew Point می‌گویند.
- HC Dew Point: تنظیم نقطه‌ی شبنم هیدروکربن در گاز طبیعی به منظور کاهش میزان آب و هیدروکربن‌های سنگین، جهت انتقال مناسب گاز بدون یخزدگی (تشکیل Hydrate) و افت فشار در خط لوله انجام می‌شود. این فرآیند نباید با عملیات Dry-Out در تجهیزات و خطوط لوله که در بخش مربوطه توضیح داده شد اشتباه گرفته

شود. باید بدانیم که وجود هیدروکربن‌های سنگین همراه گاز، موجب کاهش فشار و دما می‌شود و متعاقب با آن ماندگاری مایعات گازی در خطوط لوله، افت فشار را به تدریج بیشتر می‌کنند. از طرفی حمل این مایعات توسط گاز موجب کاهش کیفیت سوخت در مصرف کننده‌ها و همچنین باعث ایجاد ترکیبات نا مطلوب در واحدهای صنعتی می‌شود.

- Vapor Pressure: فشاری که بخار در دمای معین با مایع خود در حال تعادل است را فشار بخار گویند. در حالتی‌که تعداد ذراتی که از فاز مایع وارد فاز بخار می‌شوند، با تعداد ذراتی که از فاز بخار وارد فاز مایع می‌شوند، برابر باشد، بخار با مایع خود در حال تعادل است. با افزایش درجه حرارت همواره فشار بخار به‌صورت لگاریتمی افزایش می‌یابد. در حالتی‌که فشار بخار سطح مایع برابر فشار محیط گردد، مایع شروع به جوشیدن می-نماید.
- Normal Boiling Point: نقطه جوش نرمال، نقطه جوش در فشار محیط یک اتمسفر است
- Evaporation: فرآیند تبدیل یک مایع به بخار در هر دمایی زیر نقطه جوش آن مایع می باشد. در این فرآیند حباب تشکیل نمی‌شود و فرآیندی کندتر از فرآیند جوش (Boiling) می‌باشد.
- Bubble Point: دمایی است‌که در آن اولین قطره از فاز مایع وارد فاز بخار می‌شود و از این لفظ برای بیان نقطه جوش مخلوط‌ها استفاده می‌کنند.
- Lower Heating Value (LHV): LHV یا گرمای خالص، گرمای آزاد شده از 1 پوند از یک ماده سوختی است که در دمای 60°F سوزانده می‌شود و محصولات احتراق به 60°F سرد می‌شوند. در این اندازه‌گیری گرمای نهان آب در نظر گرفته نمی‌شود.
- Higher Heating Value (HHV): کل گرمای آزاد شده از احتراق است که شامل گرمای نهان مقدار بخار آب موجود در محصولات احتراق نیز می‌باشد.
- Jule-thomson Effect: تغییر دمای گاز که به سبب انبساط آن از فشار بیشتر

به فشار کمتر ، در آنتالپی ثابت صورت می‌گیرد را اثر ژول-تامسون گویند. این اثر در اغلب گازها به‌جز هیدروژن و هلیوم موجب سرد شدن گاز در فشار نرمال می‌شود.

- Saturated Liquid: مایعی که در نقطه جوش خودش باشد یا با فاز بخار در ظرف محتوی خودش در حال تعادل باشد را مایع اشباع می‌گویند.
- Saturated Vapor: بخار در نقطه‌ی شبنم خودش را بخار اشباع می‌نامند.
- Bonding: هم پتانسیل کردن از طریق هم‌بندی در تجهیزات برقی را Bonding می‌گویند.
- Breaker: وسیله قطع و وصل مدارهای قدرت از یکدیگر یا از شبکه برق می‌باشد. نام دیگر آن دژنکتور نیز می‌باشد.
- ولتاژهای استاندارد در ایران عبارت است از:

| دسته‌بندی | ولتاژ | کاربرد |
|---|---|---|
| شبکه فوق فشار قوی | 230 KV , 400 KV | خطوط فوق فشار قوی |
| شبکه فشار قوی | 63 KV , 132 KV | خطوط انتقال |
| شبکه فشار متوسط | 11 KV , 20 KV , 33 KV | خطوط توزیع |
| شبکه فشار ضعیف | 220 V , 380 V | خطوط فشار ضعیف |

- PPM: برای محلول‌های خیلی رقیق، PPM مناسب‌ترین روش برای بیان غلظت است:

$$PPM = \frac{X}{M} \times 10^6$$

X: وزن ماده حل شده

M: وزن محلول

با توجه به فرمول فوق، PPM بدون بعد می‌باشد و چون PPM برای محلول‌های خیلی رقیق که دانسیته آن‌ها در حدود 1 g/ml است به‌کار می‌رود و از طرفی یک لیتر برابر 1000 ml و هر ml برابر 1000 mg است، لذا برای راحتی PPM به‌صورت mg ماده

حل شده به L محلول تعریف می‌شود.
زمانی که دانسیته نا معلوم باشد، از رابطه زیر برای محاسبه PPM استفاده می‌شود:

$$PPM = \frac{X(mg)}{M(L)}$$

- Performance test: تست‌هایی که به منظور تایید کارکرد یک Plant و یا یک تجهیز بر اساس ظرفیت طراحی آن‌ها و همچنین رسیدن به مشخصات مورد قبول محصول صورت می‌پذیرد را گویند. این تست برای یک ردیف (Train) به‌صورت پیوسته و به مدت 72 ساعت و برای کل Plant به مدت 48 ساعت با هدف تایید کارکرد درست تجهیزات در Train (ها) و یا Plant و ارتباط صحیح بین آن‌ها بر اساس پارامترهای طراحی و رسیدن به مشخصات و میزان محصول مورد نیاز صورت می‌گیرد.
- Functional Test: از تست‌های پایه دوره راه‌اندازی می‌باشد و برای اطمینان از عمل‌کرد تجهیزات ابزاردقیق، الکتریکال و Telecommunication است.
- Burner Air Register: مجراهایی در burner که مجهز به تجهیزات تنظیم فشار برای تزریق هوا به سوخت می‌باشند.
- Corbeled Wall: به دیواره نامنظم بخش Convection یک Furnace اشاره دارد که این دیواره مانع از عبور گازهای سوختی از اطراف tube ها می‌شود و سطح تماس برای انتقال حرارت را زیاد می‌کند.
- Furnace Bridgewall: اشاره به قسمت بالایی بخش Radiant جایی که گازهای حاصل از احتراق وارد بخش Convection می‌شوند دارد.
- Turbidity: کدورت مربوط به مواد کلوییدی موجود در آب می‌باشد که نور تابیده شده به آب را جذب و یا پراکنده می‌کند و از عبور آن جلوگیری می‌کند. واحدهای کدورت عبارت است از:
JTU (Jackson Turbidity Unit)

NTU (Nephlometric Turbidity Unit)
FTU (Formazin Turbidity Unit)

- Conductivity: میزان املاح هادی موجود در آب می‌باشد یا به عبارتی غلظت املاح محلول در آب است و واحد آن $ohm^{-1}$ یا mho (موس) می باشد. واحد هدایت الکتریکی ویژه آب μ moh/cm (میکرو موس بر سانتی‌متر) می‌باشد که در سیستم SI به‌صورت μs/cm (میکرو زیمنس بر سانتیمتر) نمایش داده می‌شود.
- $NO_X$: در واقع محصول فرعی احتراق می‌باشد که موجب آلودگی شدید محیط زیست و تخریب لایه اوزون می‌گردد. این محصول فرعی معمولاً در دماهای بالای 1000°C تشکیل می‌شود. برای احتراق به ماده سوختی، هوا ($O_2 + N_2$) و حرارت یا جرقه نیازمندیم. بنابراین:

$$CH_4 + O_2 + N_2 \rightarrow H_2 + CO_2 + N_2 + O_2 + Heat$$

در دماهای بالای 1000°C:

$$N_2 + O_2 + Heat = NO_X$$

برای حذف این محصول فرعی از روش‌های SCR (Selective Catalyst Reduction) – محفظه‌ای حاوی کاتالیست می‌باشد که قبل از Stack قرار می‌گیرد- و FGR (Flue Gas Recirculation) استفاده می‌شود.

- BOD: (Biological Oxygen Demand): اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی به‌وسیله تخریب میکروبی آب‌های صنعتی در طول مدت مشخص می‌باشد.
- COD (Chemical Oxygen Demand): اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی به‌وسیله اکسیداسیون مواد آلی و غیر آلی می‌باشد.
- Actuator: وسیله‌ای برای عمل کردن ولو با استفاده از ابزار برقی، نیوماتیکی یا هیدرولیکی.
- CWP (Cold Working Pressure): حداقل فشار کارکرد یک تجهیز (اغلب برای

ولوها) در شرایط نرمال و دمای محیط (5-37°C)

- Cv: ضریب جریان که بیان‌گر میزان جریان سیال گذرنده از یک ولو ظرف مدت یک دقیقه و تحت اختلاف فشار 1 psi می‌باشد.
- IBBM: واژه‌ای است‌که برای ولوهایی که بدنه و bonnet آن‌ها چدنی و Trim (Seating، Stem و Bushing) آن‌ها برنزی باشد به‌کار می‌رود و مخفف Iron Body, Bronze Mounred می‌باشد.
- Gland یا Gland Bushing: بخشی از یک ولو می‌باشد که Stem Packing را در Stuffing Box نگه می‌دارد.
- Stuffing Box: در ولوها به محفظه‌ای حلقه‌ای شکل به دور Stem گفته می‌شود که Packing در آن قرار داده شده و توسط Gland محکم می‌شود. گاهی به آن Packing Chamber نیز گفته می‌شود.
- Throttling: تنظیم دستی جریان سیال به‌وسیله باز یا بسته کردن جزیی یک ولو می-باشد.
- Valve Positioner: کنترل کننده‌هایی هستند که با استفاده از بازخورد موقعیت ولو، ولو را به اندازه میزان فرمان داده شده باز یا بسته می‌کنند. Positioner ها به‌جهت حذف اثرات فشار خط و نیروهای اصطکاکی Stem/Seat ولو، بسیار مطلوب می‌باشند و باعث افزایش دقت در موقعیت‌یابی ولو می‌شوند و Limit Switch به سیستم اعلام می‌کند که ولو در موقعیت خود قرار گرفته است.
- Gas Chromatography (GC): تکنیکی تحلیلی است‌که می‌تواند اجزای شیمیایی مخلوط‌های بسیار پیچیده از ترکیبات مختلف را تجزیه و تحلیل کند. این تکنیک با نمونه‌ای از یک ترکیب قابل تحلیل می‌باشد. از این تکنیک حتی می‌توان غلظت هر یک از اجزای ترکیب را نیز به‌دست آورد.
- EDTA: Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid که معمولاً با نام Chelant نیز به‌کار می‌رود.

- NTA: Nitrilotriaacetic Acid که وزن ملکولی کمتری نسبت به EDTA دارد.
- Chelant: به موادی مانند EDTA و NTA گفته می‌شود که برای شستشوی بویلرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. EDTA به‌خاطر مقاومت حرارتی و مقاومت فشاری بیشتر نسبت به NTA مورد استفاده بیشتری دارد.
- Mercaptan: مرکاپتان‌ها در واقع ترکیباتی آلی می‌باشند که محتوی یک اتم سولفور و با فرمول عمومی RSH می‌باشند.

| Bond Formula | Thiol Group | Alkyl Group |
|---|---|---|
| R-S-H | -SH | R- |

$H_2S$ از آب و مرکاپتان‌ها اسیدی‌تر و مرکاپتان‌ها نیز از الکل‌ها (ROH) اسیدی‌تر می‌باشند. هرچه وزن ملکولی RSH بیشتر باشد، میزان خورندگی آن برای فلزات بیشتر می‌شود. به‌علاوه $H_2S$ و RSH نمک‌های بسیار قوی تشکیل می‌دهند.

$$RSH + NaOH \rightarrow RSNa + H_2O$$
$$H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O$$

RSH با وزن ملکولی کم به شدت بودار و سمی است. به‌طوری که یک حجم از ethyl mercaptan در 50 بیلیون حجم از هوا توسط بینی انسان قابل تشخیص می‌باشد. به همین ترتیب هر چه وزن ملکولی مرکاپتان افزایش یابد، بوی ناراحت کننده مرکاپتان کاهش می‌یابد و بوی بد در ترکیباتی شامل 9 اتم کربن به بالا حتی دل‌پذیر هم می‌شود.

- Reid Vapour Pressure (RVP): روشی است برای تعیین فشار بخار بنزین، نفت خام و سایر مواد فرار نفتی. این روش برای تعیین فشار بخار گازهای مایع شده یا سوخت‌های اکسیژن‌دار (Oxygenated Fuels) مناسب نمی‌باشد. RVP با فشار بخار واقعی یک نمونه متفاوت می‌باشد. این اختلاف به‌خاطر بخار شدن مقداری از نمونه و وجود آب و هوا در مخزن می‌باشد. RVP در واقع فشار بخار مطلق در دمای (100°F) 37.8°C می‌باشد که بر اساس $lb/in^2$ بیان می‌شود. به عنوان مثال فشار بخار یکی از مشخصاتی است‌که تعیین کننده میزان فراریت بنزین می‌باشد. فراریت بنزین با توجه به رفتار بخار بنزین در مصرف

کننده و با در نظر گرفتن کارایی بهینه مصرف کننده باید به‌درستی تعیین گردد. اگر بنزین بسیار سریع بخار شود، سبب Vapor Lock در پمپ‌ها، خطوط انتقال و در کاربوراتور اتومبیل می‌شود. از طرفی اگر بنزین به راحتی بخار نشود، باعث دردسرهایی مثل بد روشن شدن اتومبیل، توزیع نا مناسب سوخت در سیلندرها و ... می‌شود. بنابراین، فشار بخار به عنوان یک عنصر در تنظیم فراریت بنزین برای تغییرات فشار و دما بر اساس تغییرات جوی و جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- Flash Point: کم‌ترین درجه حرارتی است‌که در آن بخارات یک نمونه تحت شرایط تست، آتش می‌گیرند. این درجه حرارت معمولاً در فشار 760 mmHg اصلاح می‌شود. از این داده در ارزیابی‌های ریسک استفاده زیادی می‌شود.
- Pour Point: کم‌ترین درجه حرارتی است‌که در آن Oil قادر به جریان یافتن تحت شرایط تست می‌باشد. این درجه حرارت معمولاً 3°C بالای نقطه انجماد Oil می‌باشد.
- COC (Critical Oxygen Concentration): حداقل میزان اکسیژن برای پایداری احتراق می‌باشد. در واقع ترکیبی از بخارات قابل اشتعال با اکسیژن کمتر از COC باعث احتراق نمی‌شود. در زیر لیستی از COC برای بخارات مختلف نمایش داده شده است:

LIST OF TYPICAL CRITICAL OXYGEN CONCENTRATIONS (%)

| | |
|---|---|
| Acetaldehyde | 12 |
| Acetone | 11.6 |
| Allyl chloride | 12.6 |
| Ammonia | 15 |
| Benzene | 11.2 |
| 1, 3 Butadiene | 10.4 |
| Butane | 12.1 |
| 1-Butene | 11.4 |
| Ethane | 11 |
| Ethanol | 10.6 |
| Ethylene | 10 |
| Gasoline (octane 100) | 11.6 |
| Heptane | 11.6 |
| Hexane | 11.9 |
| Isobutane | 12 |
| Methane | 12.1 |
| Methanol | 9.7 |
| Pentane | 12.1 |
| Propane | 11.4 |
| Vinyl chloride | 9 |

- Refractory: عایق های ضد آتشی که داخل هیتر نصب می‌شود که دیواره داخلی هیتر را در برابر دمای زیادی محافظت می‌کند. همچنین باید طوری طراحی شود که دمای

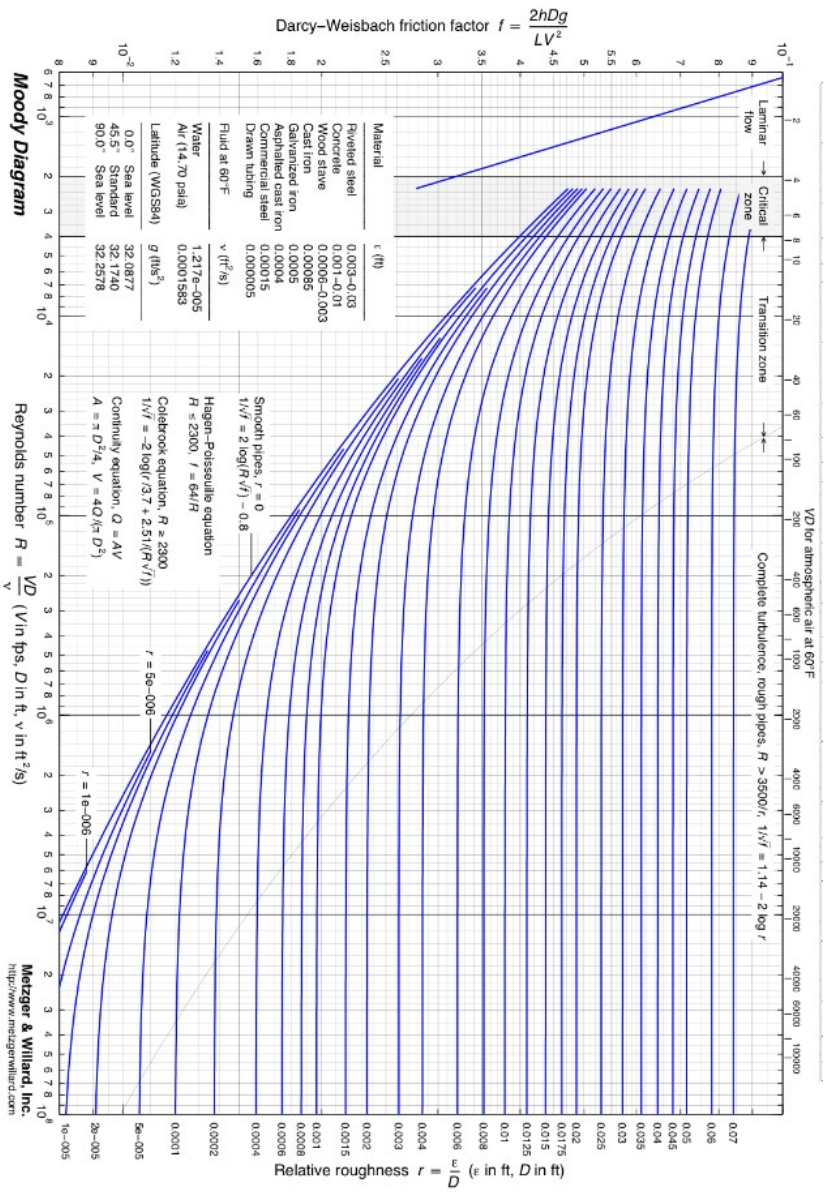
فلز دیواره خارجی هیتر را تا 180 درجه فارنهایت کاهش دهد (مطابق با API 560).

انواع مختلفی Refractory موجود می‌باشد که معمول‌ترین آن‌ها عبارت است از:

RCF (Refractory Ceramic Fiber): عایق نسوز فیبرداری می‌باشد که در دو مدل MMVF (Man-made Vitreous Fiber) و Ceramic Fiber موجود می‌باشد. اشکال رایج آن هم معمولاً به شکل فله ای، پتو، تخته‌ای و ماژول می‌باشد.

Castable: بتن عایقی می‌باشد که در محل روی دیواره داخلی هیتر پاشیده می‌شود تا پس از مدتی سفت و محکم گردد.

## پیوست ب: Moody Diagram



## پیوست ج: انتخاب Corrosion Inhibitor برای عملیات Acid Cleaning

**CORROSION INHIBITORS FOR ACID CLEANING**

| | MANUFACTURER | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ACID** | **AMCHEM** | **ARMAK** | **AQUANESS** | **DOWELL** | **HALLIBURTON** |
| **HCL** | *Rodine 213* | *Armohib 28* | *Cronox 230* | *A 120*<br>*A196***** | *Hal-50***<br>*Rodine 213* |
| **H2SO4** | *Rodine 95*<br>*Rodine 31A** | *Armohib 31* | *Cronox 240* | *A196* | *OSI-1*<br>*Rodine 31A** |
| **CITRIC** | *Rodine 31A**<br>*Rodine 95* | *Armohib 31* | *Cronox 240* | *A196*<br>*A152**** | *HIB 98*<br>*Rodine 31A** |
| **SULFAMIC** | *Rodine 95*<br>*Rodine 31A** | *Armohib 31* | *Cronox 240* | *A196* | *OSI-1*<br>*Rodine 31A** |
| **PHOSPHORIC** | *Rodine 95*<br>*Rodine 31A** | *Armohib 31* | *Cronox 240* | *A196* | *OSI-1*<br>*Rodine 31A** |
| **HYDROFLUORIC** | *Rodine 241* | - | - | - | - |
| **EDTA** | *Rodine 241* | - | - | *A222* | - |

***- contain less than 100 ppm chlorides; recommended when cleaning stainless steel**
****-surfactant must be added**
*****-for ammoniated citric acid**
******-if using copper complexing agents**

# پیوست د: انتخاب نوع ماده شیمیایی برای Cleaning با توجه به ساختار فلز لوله

**GUIDE TO THE COMPATIBILITY OF SOLVENTS AND MATERIALS OF CONSTRUCTION**

| MATERIAL OF CONSTRUCTION | $H_2SO_4$ | HCl | CITRIC $+NH_3$ | SULFAMIC | CHELANTS | ALKALIES |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CARBON STEEL | A | A | A | A | A | C |
| CAST IRON | C | C | A | C | C | A |
| AUSTENITIC STAINLESS STEEL | C | NR | C | C | A | C |
| BRASS | A | A | C | A | C | C |
| ALUMINUM | NR | NR | A | A | C | NR |
| ZINC (INCLUDING GALVANIZED STEEL) | NR | NR | NR | C | NR | NR |
| TITANIUM | C | C | A | C | A | C |
| REFRACTORY | C | NR | A | NR | A | C |
| GALVANIC COUPLES: | | | | | | |
| CS/AUSTENITIC SS | C | NR | C | C | A | C |
| CS/FERRITIC SS | A | C | A | A | A | C |
| CS/BRASS | C | C | C | C | C | A |

KEY

A = Acceptable under normal range of concentration and temperature. Acid must contain metal corrosion inhibitor. Corrosion should be monitored to ensure that equipment being cleaned is not exposed to high corrosion rates.

C = Acceptable only under certain conditions. Some corrosion may occur even under ideal conditions.

NR = Not recommended. Other solvents or cleaning methods should be used.

## پیوست ر:

### STANDARD PIPE SCHEDULE & INNER DIA DIMENSIONS (INCHES / METRIC)

| SIZE OD INCH OD MM | SCHEDULE (SCH) | INCHES W.T | INCHES I.D. | METRIC (mm) W.T | METRIC (mm) I.D. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1/4 0.540" 13.7mm | 10S | .065 | .410 | 1.65 | 10.41 |
| | 40STD, 40S | .088 | .364 | 2.24 | 9.25 |
| | 80XS, 80S | .119 | .302 | 3.02 | 7.67 |
| 3/8 0.675" 17.1mm | 10S | .065 | .545 | 1.65 | 13.84 |
| | 40STD, 40S | .091 | .493 | 2.31 | 12.52 |
| | 80XS, 80S | .126 | .423 | 3.20 | 10.74 |
| 1/2 0.840" 21.3mm | 5S | .065 | .710 | 1.65 | 18.03 |
| | 10S | .083 | .674 | 2.11 | 17.12 |
| | 40STD, 40S | .109 | .622 | 2.77 | 15.80 |
| | 80XS, 80S | .147 | .546 | 3.73 | 13.87 |
| | 160 | .188 | .464 | 4.78 | 11.79 |
| | XXS | .294 | .252 | 7.47 | 6.40 |
| 3/4 1.050" 26.7mm | 5S | .065 | .920 | 1.65 | 23.37 |
| | 10S | .083 | .884 | 2.11 | 22.45 |
| | 40STD, 40S | .113 | .824 | 2.87 | 20.93 |
| | 80XS, 80S | .154 | .742 | 3.91 | 18.85 |
| | 160 | .219 | .612 | 5.56 | 15.54 |
| | XXS | .308 | .434 | 7.82 | 11.02 |
| 1 1.315" 33.4mm | 5S | .065 | 1.185 | 1.65 | 30.10 |
| | 10S | .109 | 1.097 | 2.77 | 27.86 |
| | 40STD, 40S | .133 | 1.049 | 3.38 | 26.64 |
| | 80XS, 80S | .179 | .957 | 4.55 | 24.31 |
| | 160 | .250 | .815 | 6.35 | 20.70 |
| | XXS | .358 | .599 | 9.09 | 15.21 |
| 1 1/4 1.660" 42.2mm | 5S | .065 | 1.530 | 1.65 | 38.86 |
| | 10S | .109 | 1.442 | 2.77 | 36.63 |
| | 40STD, 40S | .140 | 1.380 | 3.56 | 35.05 |
| | 80XS, 80S | .191 | 1.278 | 4.85 | 32.46 |
| | 160 | .250 | 1.160 | 6.35 | 29.46 |
| | XXS | .382 | .896 | 9.70 | 22.76 |
| 1 1/2 1.900" 48.3mm | 5S | .065 | 1.770 | 1.65 | 44.96 |
| | 10S | .109 | 1.682 | 2.77 | 42.72 |
| | 40STD, 40S | .145 | 1.610 | 3.68 | 40.89 |
| | 80XS, 80S | .200 | 1.500 | 5.08 | 38.10 |
| | 160 | .281 | 1.338 | 7.14 | 33.99 |
| | XXS | .400 | 1.100 | 10.16 | 27.94 |
| 2 2.375" 60.3mm | 5S | .065 | 2.245 | 1.65 | 57.02 |
| | 10S | .109 | 2.157 | 2.77 | 54.79 |
| | 40STD, 40S | .154 | 2.067 | 3.91 | 52.50 |
| | 80XS, 80S | .218 | 1.939 | 5.54 | 49.25 |
| | 160 | .344 | 1.687 | 8.74 | 42.85 |
| | XXS | .436 | 1.503 | 11.07 | 38.18 |
| 2 1/2 2.875" 73.0mm | 5S | .083 | 2.709 | 2.11 | 68.81 |
| | 10S | .120 | 2.635 | 3.05 | 66.93 |
| | 40STD, 40S | .203 | 2.469 | 5.16 | 62.71 |
| | 80XS, 80S | .276 | 2.323 | 7.01 | 59.00 |
| | 160 | .375 | 2.125 | 9.53 | 53.98 |
| | XXS | .552 | 1.771 | 14.02 | 44.98 |
| 3 3.500" 88.9mm | 5S | .083 | 3.334 | 2.11 | 84.68 |
| | 10S | .120 | 3.260 | 3.05 | 82.80 |
| | 40STD, 40S | .216 | 3.068 | 5.49 | 77.93 |
| | 80XS, 80S | .300 | 2.900 | 7.62 | 73.66 |
| | 160 | .438 | 2.624 | 11.13 | 66.65 |
| | XXS | .600 | 2.300 | 15.24 | 58.42 |
| 4 4.500" 114.3mm | 5S | .083 | 4.334 | 2.11 | 110.1 |
| | 10S | .120 | 4.260 | 3.05 | 108.2 |
| | 40STD, 40S | .237 | 4.026 | 6.02 | 102.3 |
| | 80XS, 80S | .337 | 3.826 | 8.56 | 97.2 |
| | 120 | .438 | 3.624 | 11.13 | 92.0 |
| | 160 | .531 | 3.438 | 13.49 | 87.3 |
| | XXS | .674 | 3.152 | 17.12 | 80.1 |
| 5 5.563" 141.3mm | 5S | .109 | 5.345 | 2.77 | 135.8 |
| | 10S | .134 | 5.295 | 3.40 | 134.5 |
| | 40STD, 40S | .258 | 5.047 | 6.55 | 128.2 |
| | 80XS, 80S | .375 | 4.813 | 9.53 | 122.3 |
| | 120 | .500 | 4.563 | 12.70 | 115.9 |
| | 160 | .625 | 4.313 | 15.88 | 109.6 |
| | XXS | .750 | 4.063 | 19.05 | 103.2 |
| 6 6.625" 168.3mm | 5S | .109 | 6.407 | 2.77 | 162.7 |
| | 10S | .134 | 6.357 | 3.40 | 161.5 |
| | 40STD, 40S | .280 | 6.065 | 7.11 | 154.1 |
| | 80XS, 80S | .432 | 5.761 | 10.97 | 146.3 |
| | 120 | .562 | 5.501 | 14.27 | 139.7 |
| | 160 | .719 | 5.187 | 18.26 | 136.7 |
| | XXS | .864 | 4.897 | 21.95 | 124.4 |
| 8 8.625" 219.1mm | 5S | .109 | 8.407 | 2.77 | 213.5 |
| | 10S | .148 | 8.329 | 3.76 | 211.6 |
| | 20 | .250 | 8.125 | 6.35 | 206.4 |
| | 30 | .277 | 8.071 | 7.04 | 205.0 |
| | 40STD, 40S | .322 | 7.981 | 8.18 | 202.7 |
| | 60 | .406 | 7.813 | 10.31 | 198.5 |
| | 80XS, 80S | .500 | 7.625 | 12.70 | 193.7 |
| | 100 | .594 | 7.437 | 15.09 | 188.9 |
| | 120 | .719 | 7.187 | 18.26 | 182.5 |
| | 140 | .812 | 7.001 | 20.62 | 177.8 |
| | XXS | .875 | 6.875 | 22.23 | 174.6 |
| | 160 | .906 | 6.813 | 23.01 | 173.1 |
| 10 10.750" 273.1mm | 5S | .134 | 10.482 | 3.40 | 266.2 |
| | 10S | .165 | 10.420 | 4.19 | 264.7 |
| | 20 | .250 | 10.250 | 6.35 | 260.4 |
| | 30 | .307 | 10.136 | 7.80 | 257.5 |
| | 40STD, 40S | .365 | 10.020 | 9.27 | 254.5 |
| | 60XS, 80S | .500 | 9.750 | 12.70 | 247.7 |
| | 80 | .594 | 9.562 | 15.09 | 242.9 |
| | 100 | .719 | 9.312 | 18.26 | 236.5 |
| | 120 | .844 | 9.062 | 21.44 | 230.2 |
| | 140, XXS | 1.000 | 8.750 | 25.40 | 222.3 |
| | 160 | 1.125 | 8.500 | 28.58 | 215.9 |
| 12 12.750" 323.9mm | 5S | .156 | 12.438 | 3.96 | 315.9 |
| | 10S | .180 | 12.390 | 4.57 | 314.7 |
| | 20 | .250 | 12.250 | 6.35 | 311.2 |
| | 30 | .330 | 12.090 | 8.38 | 307.1 |
| | STD, 40S | .375 | 12.000 | 9.53 | 304.8 |
| | 40 | .406 | 11.938 | 10.31 | 304.2 |
| | XS, 80S | .500 | 11.750 | 12.70 | 298.5 |
| | 60 | .562 | 11.626 | 14.27 | 295.3 |
| | 80 | .688 | 11.374 | 17.48 | 288.9 |
| | 100 | .844 | 11.062 | 21.44 | 281.0 |
| | 120, XXS | 1.000 | 10.750 | 25.40 | 273.1 |
| | 140 | 1.125 | 10.500 | 28.58 | 266.7 |
| | 160 | 1.312 | 10.126 | 33.32 | 257.2 |
| 14 14.000" 355.6mm | 10 | .250 | 13.500 | 6.35 | 342.9 |
| | 20 | .312 | 13.376 | 7.92 | 339.8 |
| | 30, STD | .375 | 13.250 | 9.53 | 336.6 |
| | 40 | .438 | 13.124 | 11.13 | 333.3 |
| | XS | .500 | 13.000 | 12.70 | 330.2 |
| | 60 | .594 | 12.812 | 15.09 | 325.4 |
| | 80 | .750 | 12.500 | 19.05 | 317.5 |
| | 100 | .938 | 12.124 | 23.83 | 308.0 |
| | 120 | 1.094 | 11.812 | 27.79 | 300.0 |
| | 140 | 1.250 | 11.500 | 31.75 | 292.1 |
| | 160 | 1.406 | 11.188 | 35.71 | 284.2 |
| 16 16.000" 406.4mm | 10 | .250 | 15.500 | 6.35 | 393.7 |
| | 20 | .312 | 15.376 | 7.92 | 390.6 |
| | 30, ST | .375 | 15.250 | 9.53 | 387.4 |
| | 40, XS | .500 | 15.000 | 12.70 | 381.0 |
| | 60 | .656 | 14.688 | 16.66 | 373.1 |
| | 80 | .844 | 14.312 | 21.44 | 363.5 |
| | 100 | 1.031 | 13.938 | 26.19 | 354.0 |
| | 120 | 1.219 | 13.562 | 30.96 | 344.5 |
| | 140 | 1.438 | 13.124 | 36.53 | 333.3 |
| | 160 | 1.594 | 12.812 | 40.49 | 325.4 |
| 18 18.000" 457.2mm | 10 | .250 | 17.500 | 6.35 | 444.5 |
| | 20 | .312 | 17.376 | 7.92 | 441.3 |
| | STD | .375 | 17.250 | 9.53 | 438.1 |
| | 30 | .438 | 17.124 | 11.13 | 434.9 |
| | XS | .500 | 17.000 | 12.70 | 431.8 |
| | 40 | .562 | 16.876 | 14.27 | 428.7 |
| | 60 | .750 | 16.500 | 19.05 | 419.1 |
| | 80 | .938 | 16.124 | 23.83 | 409.5 |
| | 100 | 1.156 | 15.688 | 29.36 | 398.5 |
| 18 (cont.) | 120 | 1.375 | 15.250 | 34.93 | 387.3 |
| | 140 | 1.562 | 14.876 | 39.67 | 377.9 |
| | 160 | 1.781 | 14.438 | 45.24 | 366.7 |
| 20 20.000" 508mm | 10 | .250 | 19.500 | 6.35 | 495.3 |
| | 20, STD | .375 | 19.250 | 9.53 | 488.9 |
| | 30, XS | .500 | 19.000 | 12.70 | 482.6 |
| | 40 | .594 | 18.812 | 15.09 | 477.8 |
| | 60 | .812 | 18.376 | 20.62 | 466.8 |
| | 80 | 1.031 | 17.938 | 26.19 | 455.6 |
| | 100 | 1.281 | 17.438 | 32.54 | 442.9 |
| | 120 | 1.500 | 17.000 | 38.10 | 431.8 |
| | 140 | 1.750 | 16.500 | 44.45 | 419.1 |
| | 160 | 1.969 | 16.062 | 50.01 | 408.0 |
| 22 22.000" 559mm | 10 | .250 | 21.500 | 6.35 | 546.3 |
| | 20, STD | .375 | 21.250 | 9.53 | 540.0 |
| | 30, XS | .500 | 21.000 | 12.70 | 533.6 |
| | 60 | .875 | 20.250 | 22.23 | 514.5 |
| | 80 | 1.125 | 19.750 | 28.58 | 501.8 |
| | 100 | 1.375 | 19.250 | 34.93 | 489.1 |
| | 120 | 1.625 | 18.750 | 41.28 | 476.4 |
| | 140 | 1.875 | 18.250 | 47.63 | 463.7 |
| | 160 | 2.125 | 17.750 | 53.98 | 451.0 |
| 24 24.000" 609.6mm | 10, 10S | .250 | 23.500 | 6.35 | 596.9 |
| | 20, STD | .375 | 23.250 | 9.53 | 590.5 |
| | XS | .500 | 23.000 | 12.70 | 584.2 |
| | 30 | .562 | 22.876 | 14.27 | 581.1 |
| | 40 | .688 | 22.624 | 17.48 | 574.6 |
| | 60 | .969 | 22.062 | 24.61 | 560.4 |
| | 80 | 1.219 | 21.562 | 30.96 | 547.7 |
| | 100 | 1.531 | 20.938 | 38.89 | 531.8 |
| | 120 | 1.812 | 20.376 | 46.02 | 517.6 |
| | 140 | 2.062 | 19.876 | 52.37 | 504.9 |
| | 160 | 2.344 | 19.312 | 59.54 | 490.5 |
| 26 26.000" 660.4mm | 10 | .312 | 25.376 | 7.92 | 644.6 |
| | STD | .375 | 25.250 | 9.53 | 641.3 |
| | 20, XS | .500 | 25.000 | 12.70 | 635.0 |
| 28 28.000" 711.2mm | 10 | .312 | 27.376 | 7.92 | 695.4 |
| | ST | .375 | 27.250 | 9.53 | 692.4 |
| | 20, XS | .500 | 27.900 | 12.70 | 685.8 |
| | 30 | .625 | 26.750 | 15.88 | 679.4 |
| 30 30.000" 762mm | 10S, 10 | .312 | 29.376 | 7.92 | 746.1 |
| | STD | .375 | 29.250 | 9.53 | 743.0 |
| | 20, XS | .500 | 29.000 | 12.70 | 736.6 |
| | 30 | .625 | 28.750 | 15.88 | 730.2 |
| 32 32.000" 813mm | 10 | .312 | 31.376 | 7.92 | 797.2 |
| | STD | .375 | 31.250 | 9.53 | 794.0 |
| | 20, XS | .500 | 31.000 | 12.70 | 787.6 |
| | 30 | .625 | 30.750 | 15.88 | 781.2 |
| | 40 | .688 | 30.624 | 17.48 | 778.0 |
| 34 34.000" 864mm | 10 | .312 | 33.376 | 7.92 | 848.2 |
| | STD | .375 | 33.250 | 9.53 | 845.0 |
| | 20, XS | .500 | 33.000 | 12.70 | 838.6 |
| | 30 | .625 | 32.750 | 15.88 | 832.2 |
| | 40 | .688 | 32.624 | 17.48 | 829.0 |
| 36 36.000" 914.4mm | 10 | .312 | 35.375 | 7.92 | 898.2 |
| | STD | .375 | 35.250 | 9.53 | 894.9 |
| | 20, XS | .500 | 35.000 | 12.70 | 888.6 |
| 42 42.000" 1.067mm | STD | .375 | 41.250 | 9.53 | 1048 |
| | 20, XS | .500 | 41.000 | 12.70 | 1042 |
| 48 48.000" 1219mm | STD | .375 | 47.250 | 9.53 | 1200 |
| | XS | .500 | 47.000 | 12.70 | 1194 |

ABBREVIATIONS

I.D. : INNER DIA
O.D : OUTER DIA
W.T : WALL THICKNESS
N.P.S : NOMINAL PIPE SIZE
N.P.T : NOMINAL PIPE THREADS
B.E : BEVEL END
P.E : PLAIN END
STD : STANDARD