نکاتی در مورد موتورخانه های بخار – بخش اول

مهندس فرهنگ مطّلبی

منبع: **Process steam systems, a practical guide for operators, maintainers, and designers**

موتورخانه بخار همانطور که از نام آن پیداست مکانی جهت تولید بخار و انتقال آن به بخش های مختلف مجموعه است. یک طراحی کارآمد و مناسب موتورخانه بخار شامل انتخاب دیگ بخار مناسب، تعیین درست میزان هوای کافی برای احتراق، تخلیه گازهای حاصل از احتراق از طریق دودکش و همچنین انتخاب سایر تجهیزات موردنیازمی‌باشد. در این مجموعه مقالات به هریک از موارد فوق پرداخته خواهد شد و همچنین نکات لازم برای راه‌اندازی دیگ بخار و حفظ شرایط ایمن موتورخانه بخار ارائه خواهد شد.

انتخاب دیگ بخار

برای انتخاب دیگ بخار چهار ملاک اصلی بایستی در نظر گرفته شود:

۱. استانداردها و کدهای طراحی

۲. حجم بخار موردنیاز و نوسانات مصرف

۳. عملکرد مناسب شبکه بخار

۴. ملاحظات زیست‌محیطی

Saman Paya Ideh

کدهاواستانداردها

ضوابط و مقررات موردنیاز جهت طراحی سیستم‌های بخار و تجهیزات مربوطه در استانداردهای متعددی بیان شده است که نقطه اشتراک تمامی آنها تاکید بر اهمیت مساله ایمنی است. برخی از مهمترین این مقررات عبارتند از:

- استاندارد طراحی دیگ های بخار با جزئیات کامل توسط انجمن مهندسان مکانیک آمریکا (ASME) و کدهای ASME تعیین و تنظیم‌شده است. در این استاندارد شیوه طراحی، بازرسی و تضمین کیفیت مخزن تحت‌فشاردیگ تعیین می گردد. مطابق این استاندارد، دیگ بخار و سایر تجهیزات تحت فشار همچون دی اریتور و اکونومایزر می بایست دارای پلاک مشخصات بوده و اطلاعاتی همچون نام سازنده، حداکثر فشار و دمای کارکرد، روش جوشکاری و شیوه تست نقاط جوش، شماره سریال تولید و سال تولید را منتقل نمایند.

- استاندارد ASME همچنین الزامات لوله‌کشی را نیز تدوین نموده است که به عنوان نمونه می توان به استاندارد ASME B31.1 در خصوص لوله‌کشی نیروگاهی و استاندارد ASME B31.3 در خصوص لوله‌کشی فرآیندی اشاره نمود. در طراحی سیستم‌های فرایندی بخار از این دو استاندارد به کرات استفاده می شود.

- در مواردی ممکن است دیگ بخار ساخته شده نیاز به کسب تائیدیه استانداردهایی نظیر CE و یا TUV داشته باشد. در این صورت ممکن است طراحی و ساخت این تجهیزات نیازمند رعایت الزامات دیگری نیز باشد.

- استاندارد NFPA 85 مربوط به انجمن ملی آتش‌نشانی آمریکا به راهکارهای جلوگیری از انفجار دیگ‌ها می پردازد. در این استاندارد، منطق سیستم مدیریت مشعل ها شرح داده شده و مدت زمان لازم جهت دمیدن هوای اولیه (Purging) به درون کوره تعیین می شود. علاوه بر این، استانداردهای NFPA 54 و NFPA 31 الزامات تهویه تجهیزات گازسوز و گازوئیل سوز را ارائه می نمایند.

- انجمن مهندسین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) استانداردهایی را برای طراحی سیستم‌های بخار و سیستم‌های گرمایشی تنظیم کرده است. بسیاری از این مقررات و رهنمودها را می توان در طراحی شبکه های بخار فرآیندی در صنایع مختلف نیز بکار برد.

- برخی از صنایع همچون صنایع غذایی، نوشیدنی و داروسازی الزامات فراتری را در خصوص کیفیت بخار تولیدی مطالبه می نمایند که در نتیجه تأثیر مستقیمی بر نحوه عملکرد دیگ خواهد داشت. بطور مثال می توان به استاندارد 3A که در خصوص کیفیت بخار مورد نیاز در صنایع غذایی است اشاره نمود.

Saman Paya Ideh

- در بسیاری از کشورها بیشینه دمای آب تخلیه شده به سیستم فاضلاب محدود بوده و آب خروجی از دیگ در زمان زیرآبزنی می بایست در مخزن بلودان خنک شده و سپس وارد شبکه فاضلاب شود. همچنین با توجه به محدودیت برخی از صنایع در ارتباط با میزان آلودگی مجاز آب تخلیه شده به محیط زیست، استانداردهایی در این خصوص تدوین شده است.

- بسته به ظرفیت، فشار و حجم آب دیگ ممکن است نیاز به یک یا چند کاربر تمام‌وقت در موتورخانه باشد. این در حالی است که می توان با راهکارهایی همچون استفاده از تجهیزات کنترلی جهت تحت نظر گرفتن شبکه از اتاق کنترل و یا جایگزینی دیگ های ظرفیت بالا با دیگ های ظرفیت پایین، لزوم حضور کاربر در موتورخانه را به حداقل رساند.

در بسیاری از کشورها، دیگ های بخار می بایست حداقل یک بار در سال توسط شرکت های ذی صلاح مورد بازرسی قرار گیرند. در برخی مناطق، این قاعده در مورد شبکه لوله‌کشی نیز پابرجاست.

نمودار مصرف بخار

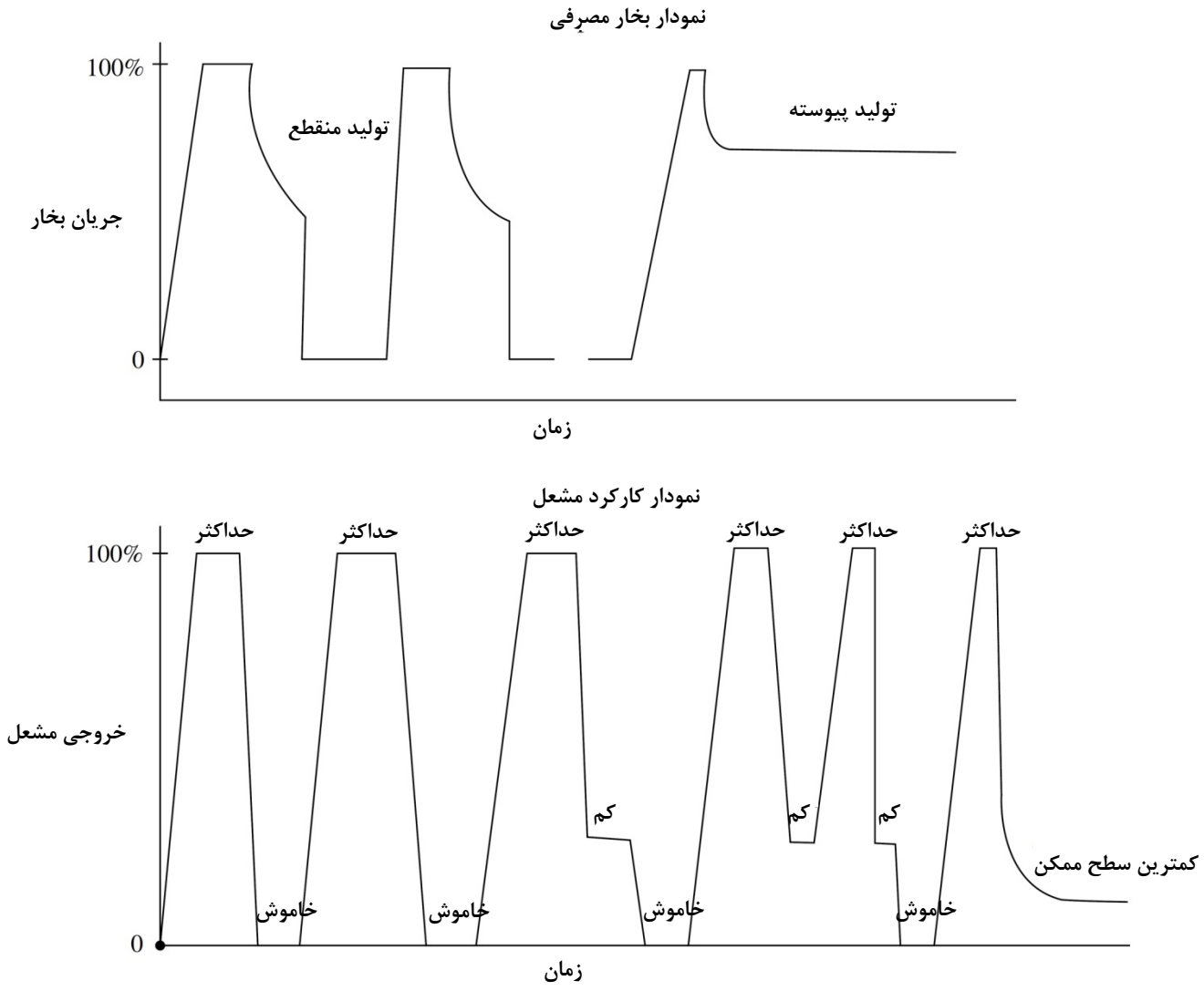
نمودار مصرف بخار نشان دهنده میزان مصرف بخار (در یک فشار و دمای مشخص) در بازه های زمانی مختلف است. این نمودار ترکیبی از حجم بخار مورد نیاز در زمان راه اندازی، بیشینه و کمینه مصرف بخار در حال کارکرد پایدار و مصارف بخار بینابینی است. در عمل، بدون اطلاع از مصارف بخار در بازه های زمانی متفاوت، تعیین نوع و ظرفیت دیگ بخار عملا غیرممکن است. جهت روشن تر شدن موضوع، نوسانات مصرف بخار را می‌توان با رانندگی در ترافیک شهری مقایسه نمود. در این حالت، موتور اتومبیل تحت بارهای مختلفی قرار گرفته و می بایست خروجی خود را با آنها تطبیق دهد. شبکه بخار نیز دقیقا به همین شکل تحت نوسانات مصرف بخار مختلف قرار می گیرد. در این صورت، دیگ بخار و تجهیزات جانبی شبکه بخار می بایست توانایی پاسخگویی به مصارف را دارا باشند. بطور کلی، نمودار مصرف بخار حاوی اطلاعات زیر است:

- بازه های زمانی با مصرف حداکثری بخار، شامل راه‌اندازی شبکه و مصرف صد درصدی بخار
- بازه های زمانی با مصرف حداقلی بخار
- نرخ و تعداد دفعات تغییر حجم بخار موردنیاز
- بازه های زمانی بی باری

Saman Paya Ideh

- بازه دمایی یا فشاری مجاز جهت انجام مناسب فرآیندهای انتقال حرارت

تصویر زیر یک نمودار نمونه از مصارف بخار در بازه های زمانی مختلف را نشان می دهد.



شکل ۱- نمودار نوسانات مصرف بخار و کارکرد مشعل

به‌طورمعمول، به بخار پرفشار مورد نیاز فرآیند تولید که در آن حرارت از بخار به فرآیند در حال انجام منتقل می شود، بخار فرآیندی گفته می شود. مصرف بخار فرآیندی می‌تواند بصورت منقطع(batch) و یا پیوسته باشد که تقاضا برای بخار در حالت پیوسته تقریباً در طول زمان ثابت و در حالت منقطع در بازه های زمانی کوتاهی رخ می دهد. به عنوان مثال، می توان به مصرف پیوسته بخار در یک ری بویلر (reboiler) پالایشگاهی اشاره نمود که در آن جهت انجام فرآیند تقطیر نیاز به تامین پیوسته بخار است. از طرفی، در مخازنی که از سیال فرآیندی پرشده و سپس به کمک بخار حرارت داده شده و در انتها تخلیه می شوند از بخار فرآیندی بصورت منقطع استفاده می شود. به عنوان مثالی دیگر از کاربرد منقطع بخار می توان به ورود حجم زیادی از بخار به دستگاه اتوکلاو (Autoclave) و تحت فشار

قرار گرفتن آن اشاره نمود. به هر روی، بار کلی وارده به شبکه در فرآیندهای منقطع بصورت لحظه ای بوده و ممکن است از توان تولید دیگ بسیار فراتر رود. لذا، تاثیر عوامل فوق می بایست در طراحی موتورخانه های بخار در نظر گرفته شده و در صورت وجود فرآیندهای تولید منقطع ظرفیت دیگ های بخار با حساسیت بیشتری تعیین شده و حتی لزوم تعبیه باتری های بخار (accumulator) نیز بررسی گردد. بطور کلی، نیاز لحظه ای و با حجم زیاد بخار را بهتر می توان به کمک دیگ های با ظرفیت بالا برآورده نمود. در این صورت، در زمانی که نیاز به بخار از ظرفیت تولیدی دیگ تجاوز کند، افت فشار موجب تولید بخار فلاش (flash steam) در دیگ می‌گردد. در این حالت هرچه ظرفیت آبگیری دیگ بیشتر باشد بخار فلاش بیشتری تولید خواهد شد.

علاوه بر شرایط فوق، دیگ بخار می بایست قادر به پاسخگویی به شرایط کم باری نیز باشد. گستره تولید بخار دیگ و قابلیت تولید حداقلی بخار از معیارهای طراحی بسیار مهمی است که عمدتا مورد غفلت قرار می‌گیرد. در صورت محدودیت گستره تولید، دیگ بخار جهت تامین حجم بخار کم به کرات روشن و خاموش خواهد شد. این در حالیست که در صورت جایگزینی یک دیگ بخار بزرگ با چند دستگاه دیگ کوچکتر، گستره کلی تولید بخار به طور چشمگیری ارتقاء خواهد یافت. به‌طور مثال، با نصب یک دیگ بخار با ظرفیت ۱۴ میلیون کیلوژول بر ساعت و گستره تولید بخار واقعی ۸:۱، دیگ قادر خواهد بود بخار مورد نیاز جهت تامین انرژی حرارتی به میزان ۱/۷۵۰ میلیون کیلوژول را نیز تامین نماید. حال اگر این دیگ با دو دیگ بخار با ظرفیت ۷ میلیون کیلوژول بر ساعت و گستره تولید بخار مشابه جایگزین گردد، دیگ‌های جایگزین شده قادر خواهند بود بخاری جهت تامین ۸۷۵۰۰۰ کیلوژول بر ساعت را نیز تأمین و تولید کنند. بنابراین همانطور که ملاحظه می شود توجه به گستره کاری دیگ می تواند مهم ترین دلیل جهت جایگزینی دیگ های ظرفیت بالا با دستگاه های با ظرفیت کمتر باشد. لازم به توضیح است که امروزه به کمک سیستم کنترل PLC، BMS یا DCS، می توان به دقت خروجی های موتورخانه بخار را زیر نظر گرفته و نیاز به بخار شبکه را با در مدار قرار دادن خودکار یک یا چند دیگ بصورت موثری مرتفع نمود.

ملاحظات مربوط به عملکرد شبکه بخار

به‌صورت کلی، تامین کامل ظرفیت بخار مورد نیاز شبکه بخار اساسی ترین دغدغه می باشد. در عین حال، نکات دیگری همچون مدت زمان لازم جهت راه اندازی اولیه شبکه بخار، کنترل انتشار آلاینده ها، لزوم استفاده از اکونومایزر، لزوم کنترل موضعی یا از راه دور، در نظر گیری رزرو جهت تجهیزات و کیفیت بخار نیز در کارایی سیستم بخار مؤثر می‌باشند. در هر صورت در زمان طراحی یک موتورخانه می بایست به تمام موارد فوق توجه نمود.

Saman Paya Ideh

ظرفیت شبکه بخار

ممکن است تصور شود جهت تعیین حجم کل بخار مورد نیاز می توان تمام مصارف را با یکدیگر جمع نمود. اگرچه این تصور صحیح است، اما می بایست در این برون یابی و در نتیجه تعیین ظرفیت دیگ بخار به این نکته دقت نمود که ظرفیت اعلامی توسط سازندگان دیگ در شرایط ۰ بار و ۱۰۰ درجه سانتیگراد قابل دستیابی است. این شرایط ایده آل بوده و در عمل هیچگاه بدست نمی آید. در واقعیت، ابتدا می بایست انرژی حرارتی صرف بالا بردن دمای آب تغذیه تا دمای جوش در فشار کارکرد دیگ گردد. علاوه بر این می بایست اتلافات حرارتی شبکه، آب تخلیه شده از دیگ در زمان زیرآبزنی و رطوبت موجود در بخار را نیز در نظر داشت. بصورت سر انگشتی می توان پیشنهاد کرد که جهت لحاظ نمودن عوامل فوق، حجم کلی محاسبه شده بخار بهتر است در ضریب ٪ ۱۳۳ ضرب گردد.

مثال ۱ - فرض کنید قرار است دیگ بخاری جهت تامین بخار یک دستگاه مبدل حرارتی، چهار دستگاه هواساز و یک دستگاه مخزن دو جداره انتخاب شود. مصرف بخار هر یک از دستگاه ها که بر روی پلاک مشخصات آنها درج شده است به شرح زیر می باشد. ظرفیت دیگ بخار مطلوب چقدر است؟

مبدل حرارتی- ۲۵۰۰lb/h بخار با فشار ۶۵ psig

هواساز-۴۵۰lb/h بخار با فشار ۱۵ psig

مخزن دو جداره-۱۸۵۰lb/h بخار با فشار ۹۰ psig

پاسخ- بار کلی بخار برابر است با ۶۱۵۰lb/h =۲۵۰۰lb/h +۴*۴۵۰lb/h+۱۸۵۰lb/h. دیگ بخار بایستی توانایی تولید ۸۱۸۰ lb/h = ٪۱۳۳*۶۱۵۰ بخار یا ۲۳۷ hp= ۳۴/۵ ÷lb/h ۸۱۸۰ انرژی را داشته باشد. بهترین گزینه انتخاب دو دستگاه دیگ بخار به ظرفیت ۱۱۰-۱۲۰ اسب بخار به‌جای یک دستگاه دیگ ۲۳۷ اسب بخار است.

تعیین صحیح ظرفیت دیگ مسلما بر روی ابعاد موتورخانه و فضای موردنیاز جهت استقرار تجهیزات تأثیر مستقیمی خواهد داشت.

راه اندازی اولیه

برای برخی از صنایع، سرعت عمل دیگ در تولید بخار مورد نیاز از اهمیت بالایی برخوردار است. در صورتیکه از دیگ بخار جهت تامین بخار فرآیندهای منقطع استفاده شود، مدت زمان پاسخگویی می تواند در مدت زمان انجام فرآیندها تاثیر گذار باشد. معمولا سازنده‌های دیگ بخار راه اندازی سریع دیگ را جزو ابزارهای بازاریابی خود به حساب می آورند. بطور کلی، مدت زمان لازم جهت گرم کردن آب موجود در دیگ های بخار با ظرفیت بالا طولانی است، اما از طرف دیگر این آب به مدت طولانی تری نیز گرم خواهد ماند. در هر روی، این عامل نیز بر روی ظرفیت دیگ بخار و حجم دی اکسید کربن تولیدی اثرگذار می‌باشد.

Saman Paya Ideh

کنترل انتشار آلاینده‌ها

این مورد مربوط به مشعل دیگ بخار و طراحی سیستم کنترل احتراق آن می باشد. سیستم احتراق دیگ می تواند مجهز به فن آوری کاهش NOX و سیستم کنترل اکسیژن مازاد در دودکش باشد. در سیستم‌های مجهز به فن آوری کاهش NOX، گازهای در حال خروج از دودکش به کمک لوله کشی مجددا به مسیر هوای ورودی به مشعل منتقل می شوند. در سیستم کنترل اکسیژن مازاد، یک سنسور اکسیژن در دودکش نصب شده و به تابلو کنترل مشعل متصل می شود. علاوه بر این، دیگ‌های بخار با ظرفیت بالا عمدتا مجهز به سیستم کنترل پیوسته آلاینده های خروجی هستند. در این سیستم نیز اطلاعات گازهای خروجی به کمک تعدادی سنسور به تابلوی کنترل جهت بررسی منتقل می شود. مکان نصب این سنسورها غالبا در ارتفاع بالاتری از دیگ است، لذا جهت تعمیر و نگهداری می بایست مسیر دسترسی به آنها فراهم گردد.

اکونومایزر

تقریباً تمامی مجموعه های با مصرف بخار بالا از دیگ های بخار مجهز به اکونومایزر بهره می برند. اکونومایزر یک مبدل حرارتی است که در مسیر خروجی دودکش قرار گرفته و حرارت موجود در گازهای خروجی را جهت پیش گرمایش به هوای مورد نیاز جهت احتراق یا آب تغذیه دیگ منتقل می کند. جهت نصب اکونومایزر، سقف موتورخانه می بایست بلند بوده و نیاز به لوله کشی و کانال کشی بیشتری نیز می باشد.

سیستم کنترل موضعی و یا از راه دور

دیگ های بخار بطور سنتی نیازمند حداقل یک نیروی بهره بردار مقیم می باشند اما این روند در حال حاضر در حال تغییر بوده و موتورخانه های بیشتری را می توان یافت که دارای تجهیزاتی هستند که به کمک سیستم PLC یا DCS از اتاق کنترل راهبری می شوند. همانطور که می دانید اطلاعاتی همچون دمای محیط، میزان مونوکسید کربن، اعلام حریق، خاموشی دیگ، خرابی پمپ ها و غیره ممکن است به سرعت قابل تشخیص نباشند. بنابراین، وظیفه یک طراح استفاده از سنسورهای مختلف و ایجاد الگوریتم جایگزینی تجهیزات است بصورتیکه بطور مثال با از کار افتادن یک دیگ یا پمپ، دیگ یا پمپ جایگزین وارد مدار گردد.

تجهیز رزرو

تعبیه تجهیزات رزرو در یک موتورخانه بخار از نکات ضروری است. بطور مثال در موتورخانه یک بیمارستان می بایست چه از نظر تامین سوخت مشعل ها و چه از نظر دیگ های بخار در حال کار مبحث جایگزینی را در نظر داشت. در صنایع فرآیندی، غالبا به علت ارزش بسیار بالاتر زمان انجام فرآیندها نسبت به هزینه تامین تجهیزات رزرو، بحث در نظر گیری جایگزین بسیار متداول است. البته لازم به توضیح است تجهیزاتی همچون مخازن بلودان و تجهیزات فرآوری آب نیازی به جایگزین ندارند؛ در حالیکه دیگ بخار و پمپ های تغذیه

Saman Paya Ideh

از اجزاء کلیدی شبکه بوده و می بایست دستگاه رزرو جهت آنها در نظر گرفته شود. بطور کلی تعبیه یک دستگاه رزرو در مرحله طراحی آسانتر از سفارش آن در پروژه های بازسازی و نوسازی موتورخانه است.

کیفیت بخار

کیفیت بخار به عنوان یکی از الزامات مهم نباید مورد غفلت و چشم پوشی قرار گیرد. بخار تمیز در برخی از فرآیندها همچون پخت مواد غذایی، استریلیزاسیون، تولید دارو، تولید قطعات الکترونیکی و رطوبت زنی مورد استفاده قرار می گیرد. به صورت کلی، ضریب خشکی بخار جهت فرآیندهایی که مستقیما با بخار برخورد داشته و مورد مصرف انسان واقع می شوند می بایست بیش از ۹۹٪ باشد. استفاده از سپراتورهای بخار یا فیلترهای بخار تمیز بهترین راهکار جهت نیل به کیفیت بخار مورد نظر می باشد. در مجموعه هایی که نیازمند کیفیت بالای بخار هستند می بایست از دیگ بخار با فضای بخار زیاد، سرعت پایین خروجی بخار و طراحی با دوام جهت کاهش نیاز به فرآوری آب استفاده نمود. در صورت لزوم ممکن است در فرآیند طراحی جهت جلوگیری از افت سریع فشار شبکه بخار و تبعات مخرب آن نیازمند طراحی و تعبیه باتری های بخار شد. به طور مشابه، تامین و نصب یک باتری بخار در زمان بهسازی یک موتورخانه بخار بسیار پیچیده تر و پرهزینه تر از در نظرگیری و نصب آن در زمان ساخت اولیه موتورخانه است.

علاقه مندان می توانند جهت دریافت اطلاعات بیشتر و یا هماهنگی جهت بازدید از مجموعه با شرکت سامان پایا ایده به شماره تلفن ۴-۲۶۲۱۸۵۲۳-۰۲۱ و یا پست الکترونیک info@spi-ir.com تماس حاصل فرمایند.

Saman Paya Ideh