

نمونه‌ای از یک نیروگاه زباله‌سوز

مهندس علیرضا راشدی
مهندس رضا رسولی

شرکت **Renova** واقع در سوئد، زباله‌هایی را که قابل استفاده برای غنی‌سازی خاک می‌باشند جدا نموده و باقی آن را برای تولید گرما و برق استفاده می‌نماید. انرژی تولیدی در این نیروگاه در صورتی که زباله قابل احتراق استفاده گردد، معادل انرژی حاصل از ۱۲۰۰۰۰۰ تن نفت در سال می‌باشد. این نیروگاه دارای سه خط احتراقی بوده و هر خط شامل یک مشعل برای سوزاندن سوخت، یک بویلر، یک جداساز الکترواستاتیک و یک سیستم چگالشی برای پاک‌سازی گاز خروجی است. این نیروگاه سالانه ۴۰۰۰۰۰۰ تن زباله را در سال می‌سوزاند. روزانه بیش از ۳۰۰ کامیون زباله به این نیروگاه وارد شده که بعد از تخلیه وزن‌کشی شده و به قسمت‌های جداسازی و سپس سوخت برده می‌شوند. زباله قابل سوزاندن بر دو قسم می‌باشد: زباله حاصل از صنایع کوچک و زباله‌های خانگی که مستقیماً به محل‌های سوزاندن فرستاده می‌شوند و زباله‌های در ابعاد بزرگ که ابتدا باید پروسه‌ای را قبل از فرستاده شدن توسط نقاله به محل‌های سوزاندن را طی نماید.



گرمای حاصل از سوزاندن زباله برای تولید سال 150000 mwh انرژی برق استفاده می‌شود. $2/3$ برق تولیدی به شبکه رفته و $1/3$ باقی برای استفاده در برق منازل می‌باشد. سال 1000000 mwh گرمای تولید شده نیز به شبکه گرمایی شهر منتقل می‌گردد. الکتریسیته از دو توربوژنراتور تولید می‌شود و عمده گرما نیز از خنک‌سازی گاز خروجی و نیز حاصل از آب مربوط به پروسه چگالش گاز خروجی به‌دست می‌آید.

به منظور حصول سوختی هر چه تمیزتر، در قسمت پیش از سوزاندن زباله، زباله‌های غیر قابل سوزاندن را جدا نموده و تا حد امکان له می‌نمایند تا با این کار به سوختی تمیزتر دست یابند. ظرفیت این بخش 5000 تن زباله در سال می‌باشد. زباله‌های نامناسب مانند مواد غیر قابل سوزاندن، مواد مضر برای طبیعت و اجناس بزرگ و یا مخازن منفجره جدا می‌گردند. بعد از جداسازی مواد نامناسب، مواد مناسب برای سوزاندن توسط نقاله به بخش کوچک‌سازی فرستاده می‌شوند، در مرحله‌ای نیز توسط بخش مغناطیس، فلزات آهنی جدا می‌گردند. زباله‌ها با 26 چکش گردنده با سرعت 700 RPM کروزن روتور که 12 تن است، له می‌شوند. اگر زباله‌ها با وجود چنین فشار عظیمی له نشوند به قسمت ویژه‌ای حمل می‌گردند. زباله‌های ریز شده را از یک درام استوانه‌ای گردان با سوراخ‌های یک سانتی‌متری عبور می‌دهند. در این قسمت قطعات ریز شده سنگین مانند شیشه جدا می‌گردند و به لندفیل منتقل می‌شوند. زباله‌های ریز شده را بار دیگر از قسمت مغناطیس برای جداسازی آهن آلات عبور می‌دهند. بعد از تمام این اقدامات حدود 80 درصد زباله به سوختی با ارزش تبدیل شده که توسط نقاله به محل سوزاندن منتقل می‌گردد. به این ترتیب 10 m^3 زباله به 0.5 m^3 نقاله آن تبدیل می‌شود. برای سوزاندن زباله به‌طور ساده باید زباله‌ها را در کوره‌ها ریخته و به آن هوا دمید.

هوا از سه قسمت تعیین می‌شود: یکی از مخزن زباله، یکی از مخزن نقاله آن و دیگری هوای بازگشتی از گاز خروجی. عمل بازگشت دادن گاز خروجی باعث کاهش تشکیل اکسیدهای نیتروژن می‌شود و این مساله به نوبه خود حجم کلی گاز خروجی را تشکیل می‌دهد. لازم به ذکر است که دمای درون کوره‌ها 1000°C می‌باشد. حجم کلی مخازنی که زباله‌ها در آن‌ها ذخیره می‌شود، 10000 تن یا 220000 m^3 می‌باشد که برای کار یک هفته هر سه کوره کافی است. حمل زباله به محل تغذیه توسط گیره‌ای انجام می‌گیرد که قابلیت حمل باری حدود 3 تن زباله را در هر بار حمل جابه‌جا می‌کند. یک دستگاه فشارنده نیز زباله را به درون کوره می‌فرستد. به منظور حصول بهترین حالت احتراق، صفحه‌ای که کف کوره را تشکیل می‌دهد به صورتی عمل می‌کند که زباله را به سمت پایین و جلو حرکت داده و در عین حال در گردش به‌حول خود می‌باشد. برای سوزاندن هر تن زباله به 5000 m^3 هوا نیاز می‌باشد. بیشتر هوای مورد نیاز از مخزن زباله گرفته می‌شود که به آن هوای اولیه گویند. تمام اجزای دارای بوی زباله در دمای بالاتر از 850°C سوزانده می‌شود. به منظور خشک نمودن زباله و حصول احتراق بهتر، هوای اولیه ذکر شده را با استفاده از 7 بار بخار خشک کرده و از دمای 20°C به 130°C می‌رسانند. این واحد نیروگاهی به‌طور 24 ساعته در سال کار می‌کند و پروسه به‌طور کامپیوتری کنترل می‌گردد. پروسه‌های تغذیه زباله به کوره، تنظیم مقدار

هوای فرستاده شده به مقاطع مختلف، دما و ... در شرایط مختلف به منظور دستیابی به بهترین حالت احتراق تحت کنترل می‌باشند. آنچه از سوزاندن زباله باقی می‌ماند اسلاگ نامیده می‌شود و بعد از این که زباله سوزانده شد، ابتدا از مسیری می‌گذرد تا با آب سرد شود و بعد به مخزن اسلاگ فرستاده می‌شود. اسلاگ در واقع $1/5$ (۲۰ درصد وزنی) از زباله‌ای است که به کوره فرستاده می‌شود و بیشتر شامل خاکستر، مواد غیر قابل سوزاندن مانند تکه‌های آهنی، فلزات و شیشه می‌باشند. برای سوزاندن کامل گازهای خروجی، هوای ثانویه و گاز خروجی برگشت داده شده به بالای مرکز آتش دمیده می‌شوند. این کار به منظور اضافه نمودن اکسیژن به گاز خروجی، به گازهای خروجی نسوخته و حصول یک مخلوط اضافه می‌گردد. بازگشتی گاز خروجی ۲۰ درصد حجمی کل حجم گاز خروجی می‌باشد. در عین این عمل مقدار اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در گازهای خروجی تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. برای تزریق نمودن آمونیاک ($ammonia$) به این مخلوط نیز می‌توان اکسیدهای نیتروژن را به گاز نیتروژن و آب تبدیل نمود. در آغاز عملیات احتراق، کوره‌ها را با گرمای حاصل از سوخت‌های نفتی روشن می‌سازند و این کار در هنگام وجود وقفه‌های عملیاتی در کار به منظور حفظ فشار و گردش در بویلر نیز انجام می‌شود. در هنگام عمل احتراق معمولی، کوره‌ها تنها توسط زباله‌های جدا شده و قابل سوزاندن که حاوی ۷۵-۸۵ درصد سوخت بیو (bio) است تغذیه سوختی می‌گردند. در طی عمل احتراق آب موجود در زباله‌ها بخار شده و در واقع ۱۸-۱۶ درصد حجمی گازهای خروجی را تشکیل می‌دهد. در مرحله کندانس از عملیات پاک‌سازی گاز خروجی این رطوبت تبدیل به آب داغ شده و انرژی آن بازیافت می‌شود. مراحل جمع‌آوری و باز پس‌گیری در سایت لندفیل اسلاگ در کاهش حجم زباله در لندفیل نقش دارد.

تولید الکتریسیته برای ۶۰۰۰۰ خانه

بخار تولید شده برای چرخاندن توربین و ژنراتور استفاده می‌شود. الکتریسیته تولیدی در جهت رفع نیازهای واحد نیروگاهی و نیز فرستادن آن به شبکه برق می‌باشد. هنگامی که بخار از توربین عبور می‌کند، به یک کندانسور می‌رود که در آن گرمای آن را به شبکه گرمایشی مجزایی می‌فرستند. بعد از این قسمت آب را از طریق تانک‌هایی به نام تانک‌های آب تغذیه به بویلر پمپ می‌کنند. همچنین مقداری از بخار حاصله را در درون واحد برای گرمایش پروسه‌های دیگر به کار می‌برند. آب تغذیه در فشار بالایی به درام بویلر پمپ می‌شود. در طی راهی که این آب به سمت درام طی می‌کند، از ۱۴۰ تا ۲۰۰ درجه پیش‌گرم می‌شود. گازهای داغ خروجی حاصل از سوزاندن زباله بخار را در فشار ۴۰ بار گرما داده و بعد از عبور این بخار از یک سوپر هیتر دمای آن $400^{\circ}C$ خواهد بود. فشار و دمای بالا کارایی بالایی به توربین می‌دهد. گازهای خروجی بعد از عمل گرمادهی وارد اولین مرحله پاک‌سازی یعنی جداساز الکتروستاتیک می‌شوند. بخار حاصل شده در مراحل پیشین از یک steam chest عبور نموده و بعد به سمت توربین پیش می‌رود. مقداری از جریان بخار گذرنده از روی steam chest به ۷bar کاهش فشار می‌یابد که این کاهش فشار در ۷ و $3/5$ بار را می‌توان مستقیماً با عبور از توربین نیز به دست آورد. این بخار برای احتیاجات داخلی برای عملکرد پمپ‌های گرمایش جذبی، برای



گرمایش مجدد گازهای خروجی از ۴۰ تا ۹۰ °C، برای گرما دادن بیشتر به هوای اولیه و نیز به عنوان بخار propellant برای سیستم SNCR مورد استفاده می شود. بخار باقی مانده از کندانسور توربین عبور نموده تا گرمای آن گرفته شود. اگر قرار بر تولید الکتریسیته نباشد، تمام بخار مستقیماً برای تولید گرما به کندانسور فرستاده می شود. در این واحد نیروگاهی یک توربین دیگر موجود می باشد که به بویلر ۱ که دارای دما و فشار کمتری است وصل بوده و اگر این بویلر در خط در حال کار نباشد، با کاهش فشار بویلر دیگر از ۴۰ بار به ۲۰ بار می توان با این توربین برق تولید نمود. در مواردی که در کار واحد توقفی بوده و یا توربین به تعمیر احتیاج پیدا کرده باشد، بخار را می توان مستقیماً به یک کندانسور dump فرستاد که در آن بتوان از انرژی گرمایی بخار استفاده نمود. در کندانسور، مبدل حرارتی توسط واحد آب گرم کننده مجزای ورودی بخار را تقطیر می کند. آب به دست آمده در این قسمت بعد از گذشتن از پیش گرم کن و جمع آوری در یک condensate chest به مخزن آب تغذیه پمپ شده و از آنجا به بویلر باز گردانده می شود. تانک های مذکور با استفاده از فشار تنظیم شده ۷ باری بخار کار می کنند. در صورت نیاز آب به این بخش اضافه خواهد شد. البته این آب قبل از اضافه شدن در مورد نداشتن هیچ گونه املاح نمکی مورد آزمایش قرار می گیرد. ماکزیمم مقدار تولید الکتریسیته ۲۶MW می باشد که ۶MW آن صرف نیازهای داخلی واحد می شود و بقیه الکتریسیته به شبکه برق فرستاده می شود. حاصل کلی الکتریسیته به نیاز ۶۰۰۰۰ پارتمان یعنی ۱۰۰۰۰۰MWh در سال پاسخ می دهد.

پاک سازی آلودگی ها و تبدیل انرژی

در حدود ۹۹ درصد ذرات موجود در گاز خروجی در جداسازی الکترواستاتیک، جداسازی می شوند و باقی ذرات توسط آب جدا می شوند. همزمان با این پروسه گرمای موجود در گاز خروجی برای استفاده در شبکه مجزای گرمایی گرفته می شود. پاک سازی گازهای خروجی تا ۲۵ درصد افزایش می دهد. اعمال گرمایش مجدد در مورد گاز خروجی ما در مورد عدم تشکیل قطرات آب از طریق میعان در موقع خروج این گاز از دودکش مطمئن می سازد.

جداساز (precipitator)

جداساز الکترواستاتیک اولین پله پروسه پاک سازی گاز خروجی می باشد. در این قسمت حدود ۹۹ درصد ذرات (خاکستر معلق) موجود در گاز خروجی از گاز خروجی جدا می شود. بعد از این مرحله ذرات جدا شده با sludge حاصل از مرحله پاک سازی با آب مخلوط شده تا محصول رسوبی پایداری (stable) به دست آید.

صرفه جو (Economizer)

در قسمت economizer گرمای گاز خروجی به شبکه مجزای گرمایی منتقل می شود که در عین حال دمای گاز خروجی را پایین می آورد. مرحله مذکور برای مقدمه سازی برای مراحل بعدی برای پاک سازی گاز خروجی مهم می باشد.

راکتور پاک سازی

مرحله اولیه پاک سازی گاز خروجی در یک راکتور انجام می شود.

برای این مرحله ابتدا در یک پیش سردکن با اسپری آب گاز را تا دمای ۶۰ درجه خنک می کنند. این راکتور دارای ماده filler می باشد. در بالای راکتور یک جداساز قطره می باشد که به صورت یک توری fine meshed بوده که قطرات آب را می گیرد. ذرات ریز غبار، اسید هیدروفلوریک جیوه و دیگر فلزات سنگین در آب حل نمی شوند که به شدت اسیدی می شوند.

راکتور چگالش

بیش از ۶۰ درصد رطوبت موجود در گاز خروجی در راکتور چگالش بر اثر سرد شدن به آب مایع کندانس می شود. در این حالت، سیستم پاک سازی تر گاز خروجی تنها با آب کار می کند و به صورتی است که آب در راکتور مورد نظر و نیز یک مبدل حرارتی گردش می نماید. از این طریق گرمای حاصله از طریق سیستم سرمایش موجود و پمپ های حرارتی به شبکه گرمایش منتقل می شود. به منظور ایجاد تماس بهتر و بیشتر گاز خروجی و آب و نیز انتقال حرارت بهتر، راکتور مورد نظر مجهز به packing scrubber می باشد. قبل از این که گاز از راکتور خارج شود، از یک سری جداکننده های قطره می گذرند به صورتی که دورترین آن ها قطره های بسیار کوچک را جدا می نمایند. آب باقی مانده اضافی در راکتور شستشو و نیز در پیش سردکن به کار می روند که در این قسمت با PH حدود ۰/۵-۰/۱ بسیار اسیدی می باشند. این آب سپس به سیستم پاک سازی آب پمپ می شود.

گرم کن مجدد

بعد از مرحله راکتور چگالش، گاز خروجی دارای دمای ۴۰ °C و رطوبت ۱۰-۷ درصد می باشد. به منظور این که رطوبت گاز خروجی در هنگام خروج آن به صورت قطرات آب چگالش نشود آن را به وسیله بخار آب تا ۹۰ درجه (یعنی دمایی بالاتر از دمای نقطه شبنم) در یک گرم کن مجدد گرما می دهند. یک فن با ایجاد افت فشار در کوره، گازهای خروجی را به سمت دودکش می فرستد.

فیلتر فابریک

قدم بعدی در جهت پاک سازی هرچه بیشتر گازهای خروجی یک فیلتر فابریک می باشد که در کاهش خروجی سولفور و دیوکسین ها به کار می رود. Slaked lime و خاکستر معلق حاصل از جداساز الکترواستاتیک به گازهای خروجی اضافه می گردند. کربن موجود در خاکستر معلق دیوکسین ها را جذب می نماید و slaked lime باعث کاهش سولفور می گردد. تیوب های بزرگ پوشیده با پارچه که مخلوط مذکور را به خود می گیرند را در فیلتر فابریک به کار می برند. آلودگی ها را نمی توان در آب اسیدی پروسه در سیستم تر پاک سازی گاز خروجی حل نمود. بعد از تنظیم مقدار PH، آلودگی ها جمع آوری شده و به صورت واحدهای بزرگ تری در می آیند که به عمق تانک رفته و جمع آوری می شوند. بقیه آلودگی های باقی مانده در فیلتر شنی جدا می شوند.

خنثا سازی و Sedimentation

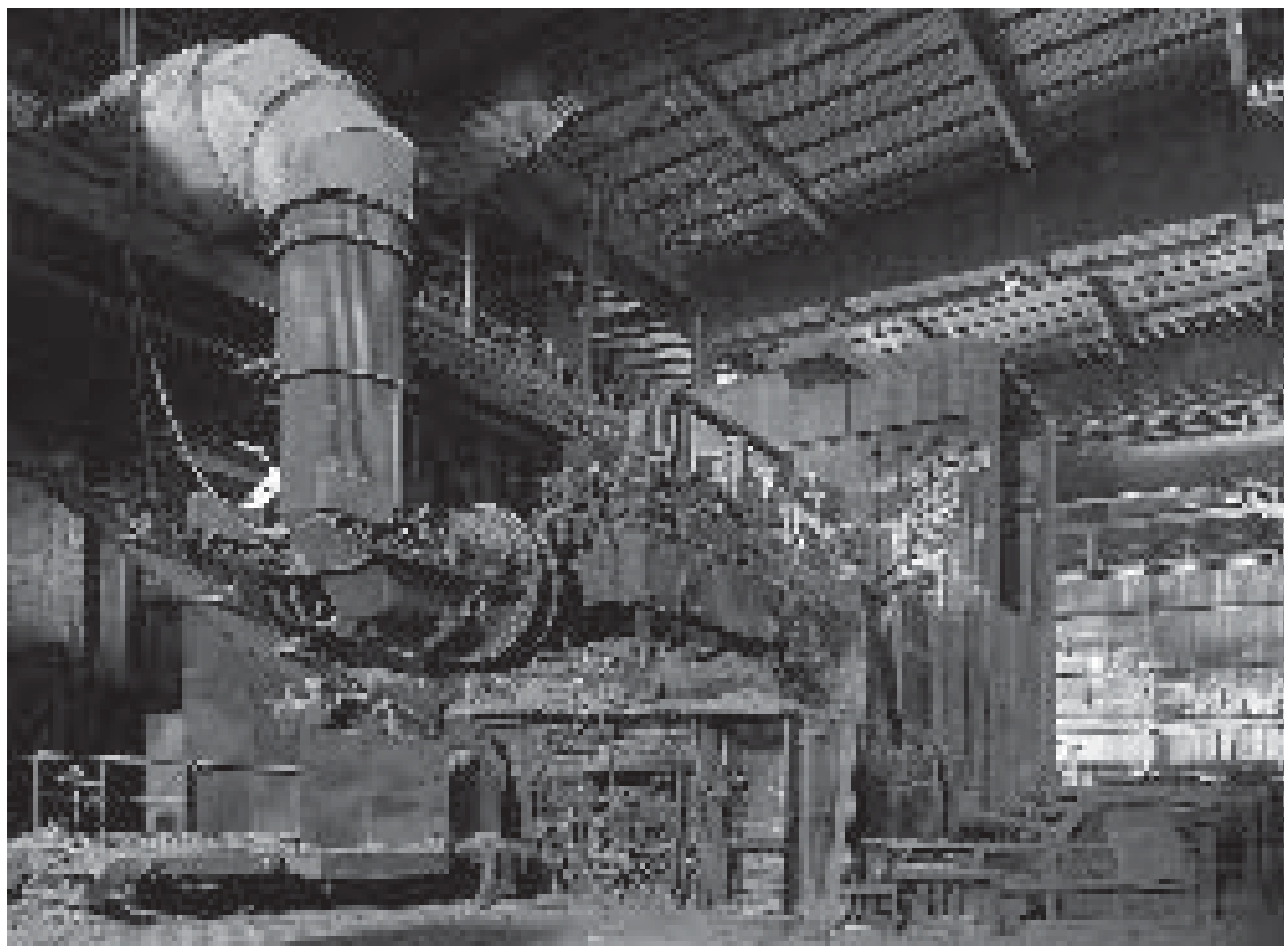
مقدار PH آب آلوده پروسه در دو مرحله تنظیم می گردد. در مرحله اول، سنگ آهک limestone برای افزایش PH از ۰/۵ تا ۱/۵ به کار می رود. هنگامی که limestone با آب اسیدی واکنش می دهد، CO₂ تولید می شود که جذب شده و خارج می گردد. در مرحله دوم، محلولی از slaked lime یا

جداسازی شده و تشکیل clusterهای بزرگ اضافه می‌گردد. مواد حاصله از این قسمت به کف تانک sedimentation نشست نموده و بعد به یک سیلوی sludge پمپ می‌گردند. بعد از این مرحله خاکستر پراکنده حاصله از جداساز الکترواستاتیک و نیز sludge با هم مخلوط می‌شوند تا محصول رسوبی پایداری تشکیل دهند و بعد به محل نگهداری زباله (fill land) فرستاده شوند. در این قسمت حجم محصول رسوبی حاصله از پروسه پاک‌سازی گاز خروجی ۲ درصد حجمی (۴ درصد وزنی) مقدار زباله سوزانده شده می‌باشد. قسمت عمده‌ای از این مقدار ballast و محصولات واکنشی حاصل از وجود limestone می‌باشند که برای پروسه خنثاسازی اضافه شده بود.

محلول 25% caustic soda به منظور افزایش PH به حدود ۵/۰ تا ۱۱ به کار برده می‌شود.

Ammonia stripper

آمونیاکی که در سوزاندن مورد استفاده قرار نگرفته است، در آب پروسه حل شده و سپس با عبور دادن بخار تحت خلا باز پس گرفته می‌شود. با این کار آمونیاک به صورت گاز از آب جدا می‌شود. در مرحله انتهایی، گرمای آمونیاک از آن گرفته می‌شود و بار دیگر به صورت مایع به درون بویلر پاشیده می‌شود. سپس با اضافه نمودن آب اسیدی حاصل از گاز خروجی خط ۱ یا اضافه نمودن محلول ۳۰ درصد اسید هیدرولیک



فیلتر شنی

آب مورد بحث موجود در پروسه در آخرین مرحله از پاک‌سازی خود وارد فیلتر شنی می‌شود که در این قسمت بعضی clusterهای ذرات موجود باقی‌مانده از مراحل قبل باید جداسازی گردند. بعد از این مرحله فیلتر Back wash می‌گردد (یعنی آب در جهت خلاف هوایی که به داخل دمیده می‌شود پمپ می‌گردد) که این عمل در مقاطع زمانی مشخصی انجام می‌گردد که از این طریق آلودگی‌های موجود در بستر شنی از طریق تانک

مقدار PH به ۵/۸ می‌رسد. در این مقدار PH، یک واحد Precipitating، یک سولفید ارگانیک را می‌توان اضافه نمود که می‌تواند آلودگی‌ها را bind کرده و ترکیبات سولفید که تقریباً غیر قابل حل شدن می‌باشند ایجاد نمود. در صورت قطع ammonia stripper می‌توان اضافه‌سازی واحد precipitating را در مرحله دوم خنثاسازی و در PH 8/5 انجام داد.

Flocculation

در یک واحد Flocculation نوعی پلیمر برای bind آلودگی‌های



بخار را مستقیماً در کندانسور توربین یا کندانسور dump برای تولید ۱۷۰ MW انرژی حرارتی به کار برد و در صورتی که گرمای تولیدی بیشتر از حد باشد که شبکه توان همدل آن را داشته باشد، از طریق برج خنک کن یا استفاده از سرمایش میانی می توان گرما را کاهش داد.

پمپ های گرمایش

یک پمپ گرمایشی شامل دو جریان ورودی سیال می باشد. یکی از این دو جریان ورودی، آب/بخار می باشد که از یک اواپراتور، یک جاذب، یک ژنراتور، یک کندانسور عبور می کند. جریان ورودی دیگر محلول نمک لیتیوم بروماید می باشد که بین یک جاذب و یک ژنراتور پمپ می شود. آب سردکن که به طور مثال گرما را از کندانسورهای راکتور می گیرد ، از اواپراتور عبور می کند. از آنجا که اواپراتور خلا کامل موجود می باشد ، آب موجود در آن با انرژی گرمایی که از آب سردکن می گیرد شروع به جوشیدن می نماید. در قسمت جاذب، بخار توسط محلول غلیظ شده نمکی که دارای نقطه جوش بالاتری می باشد جذب می گردد و گرما را به آب گرمایشی می فرستد. محلول diluted کنونی بعد از این قسمت به ژنراتور پمپ می گردد. محلول نمکی diluted حاصله توسط بخار فشار پایین گرما داده می شود که باعث می گردد آب درون محلول جوشیده و به بخار تبدیل گردد و این بخار به کندانسور فرستاده می شود. محلول لیتیوم بروماید حاصله که مجدداً غلیظ شده به جاذب باز گردانده می شود. بخار حاصله در کندانسور تبدیل به آب می گردد و گرمای حاصله به شبکه گرمایشی فرستاده می شود. مجموعاً این کار باعث می گردد دما در شبکه گرمایشی از ۵۰ به ۷۰ °C افزایش یابد. در انتها، آب به اواپراتور فرستاده می شود و پروسه مجدداً تکرار می گردد. برای افزایش کارایی پروسه، انرژی حاصله از محلول نمکی غلیظ و داغ از طریق یک مبدل حرارتی به محلول نمکی diluted و خنک انتقال می یابد.

buffer به مرحله دوم خنک سازی در زمینه پاک سازی برگردانده می شوند. در طی عملیات back washing فیلترهای بخش ها بسته می باشد که به این صورت پروسه پاک سازی آب به صورتی متوالی انجام می شود. بعد از بخش فیلتر شنی، آب خروجی به مانند آب آشامیدنی عاری از فلزات سنگین می باشد ولی در عوض دارای غلظت نمکی برابر ۰/۸ درصد می باشد. این آب از طریق لوله ای به طول ۵km به رودخانه ریخته می شود. کیفیت این آب به طور مداوم چک می گردد.

شبکه مجزای گرمایشی

شبکه آبی گرمایشی به بخش های مختلف واحد پمپ شده و گرمای مورد نیاز خود را از این واحدها دریافت می کند که گرمای دریافت شده ۲۵ درصد نیاز گرمایشی یعنی ۱۲۰۰۰۰ آپارتمان را تامین می کند. لازم به ذکر است که این شبکه یک شبکه بسته می باشد که با دمایی برابر ۸۵ تا ۱۲۰ °C به نیروگاه باز می گردد. در کل این نیروگاه در کنار تولید ۲۶MW انرژی الکتریکی ۱۴۶MW گرما تولید می کند. انرژی مذکور در ۵ پمپ گرمایشی موازی و از طریق سیستم های میانی از راکتورهای چگالشی و منابع دیگر گرما نظیر ammonia stripper و سردکن روغن توربین به آب پروسه منتقل می شود. در قسمت صرفه جو (Economizer) واحد آب سردکن انرژی گرمایی گاز خروجی را از طریق یک مبدل حرارتی می گیرد. در این قسمت می توان ۹MW انرژی به دست آورد. بخار خارج شده از توربین در کندانسور توربین و توسط آب پروسه گرمایش سرد شده و به دمای ۸۰ تا ۱۲۰ °C تنزل دما می یابد. توربین موجود در واحد یک توربین ۲۰ bar بوده و علاوه بر کندانسور توربین دارای کندانسور dump می باشد. مجموعاً ۷۴MW انرژی حرارتی در طی پروسه تولید الکتریسیته به شبکه مجزای گرمایشی داده می شود. در زمان عملکرد تنه های کندانسور می توان

« فرستنده: مریم فهار

www.irche.com

Iranian Chemical Engineers Website