مجله افق‌های نوین در شیمی
دوره۱، شماره۱ (مسلسل:۱)، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۱۲-۱

تامین بخار اشباع از بخار سوپر هیت

زینب معلمی[۱]،سید فخرالدین طاهرزاده موسویان[۲]

۱ دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

۲ باشگاه پژوهشگران جوان، واحد امیدیه، امیدیه، ایران

چکیده:

تهیه بخار اشباع از بخار سوپر هیت یا همان دی سوپر هیت نمودن بخار فرآیندی است که در آن بخار سوپر هیت به حالت اشباعش بر می گردد یا دمای بخار سوپر هیت کاهش پیدا می کند.در بیش تر کاربرد ها بخار سوپر هیت را با کاهش دما به شرایط اشباع می رسانند. معمولا جهت کاهش دمای بخار سوپر هیت در طراحی ، کاهش دما تا ۳ درجه سانتی گراد بالاتر ازبخار اشباع در نظر گرفته می شود زیرا کنترل دما منطبق با دمای اشباع امکان ناپذیر است. این دما اغلب قبل از مصرف صرف تلفات می گرددو بخار اشباع کاملا خشک به مصرف کننده خواهد رسید. سوپرهیت نمودن بخار در صورت وجود آب درون بخار ممکن نبوده وافزایش حرارت موجب تبخیر قطرات آب خواهد شد.به منظور گرمایش مجدد ، بخار اشباع باید از درون یک مبدل حرارتی عبور نماید.این مبدل می تواند قسمت ثانویه ای در داخل بویلر بوده ویا بصورت سوپرهیت جداگانه باشد.سیال گرم کن نیز می تواند گازهای داغ خروجی مشعل بوده ویا اینکه مشعل جداگانه ای تعبیه شود.

بخار سوپرهیت در کاربردهای خاصی استفاده می شود ، بعنوان مثال در توربین های بخار از بخار سوپرهیت جهت عبور از نازل ها وهدایت به سمت رتور استفاده شده که منجر به چرخش رتور می شود.از آنجائیکه انرژی لازم فقط از طریق بخار تامین می شود ، بنابراین بخار خروجی از رتور دارای انرژی کمتری خواهد بود .

کلمات کلیدی: بخار اشباع، بخار سوپرهیت، سوپرهیتر

۱.مقدمه:

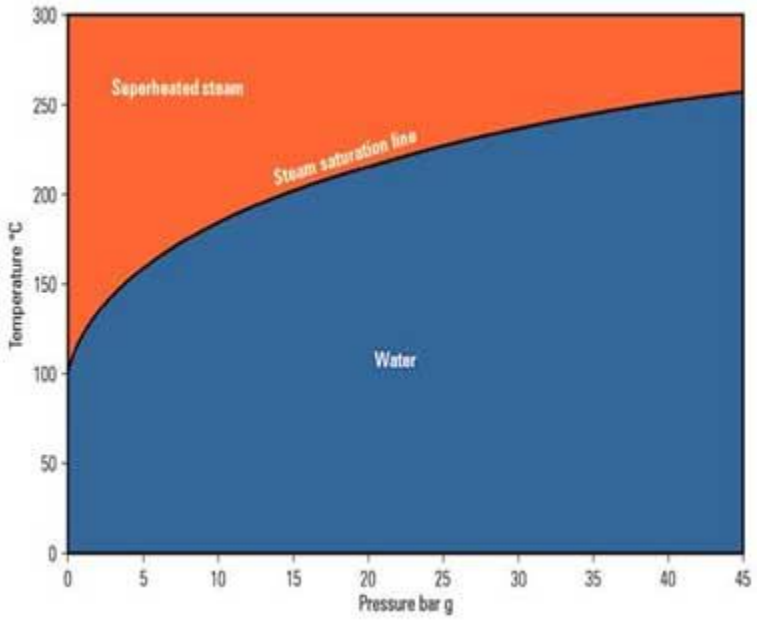
بخار سوپرهیت بخاری است که دمای آن بالاتر از دمای بخار اشباع در همان فشار است. برای مثال بخار در فشار ۳ bargدارای دمای اشباع**۱۴۳,۷۲۶ °C** .است. اگر گرمای بیشتر به این بخار وارد شود و فشار در ۳ bar g باقی بماند آن سوپر هیت می شود. این گرمای اضافی باعث می شود که:

* دمای بخار از دمای اشباع بالاتر رود.

* بخار دارای انرژی بیشتری نسبت به بخار اشباع گردد.

* دارای حجم ویژه بیشتری در مقایسه با بخار اشباع گردد.

روابط میان این سه خاصیت در کتاب های ترمودینامیک مربوط به بخار آب وجود دارد.



بخار سوپر هیت اصولا در واحد های نیروگاهی تولید برق و به عنوان عامل محرک توربین ها استفاده می شود. با مشاهده چرخه رانکین ثابت می شود که برای حرکت دادن توربین ها بخار سوپرهیت دارای راندمان حرارتی بالاتری نسبت به بخار اشباع می باشد.

بخار سوپر هیت دارای مزایای زیادی است:

* بخار مرطوب در توربین باعث تولید قطرات آب و سائیدگی پره های توربین می شود

* خطوط با سرعت های بالاتر می تواند مورد استفاده قرار گیرد(بیشتر از ۱۰۰ . (m/sاین بدین معنا است که خطوط توزیع کوچک تر می تواند مورد استفاده قرار گیرد (افت فشار خیلی زیاد نیست).

* برای واحد های ۲۴ ساعته بخار سوپر هیت به معنای عدم وجود کندانس در خط است لذا تله های بخار فقط در شروع راه اندازی مورد نیاز است.

استفاده از بخار سوپر هیت دارای معایب زیر است:

-اگرچه بخار سوپر هیت دارای انرژی گرمایی بالاتری است .اما این انرژی به ۳ صورت است : آنتالپی آب ، آنتالپی تبخیر (گرمای نهان) و آنتالپی سوپر هیت . توده اصلی در انتالپی تبخیر وجود دارد و این انرژی در بخار سوپر هیت سهم کمتری دارد.

-وقتی از بخار سوپر هیت به عنوان ماده انتقال حرارت استفاده می شود ضریب انتقال حرارت پایین و متغیر است و تعیین دقیق آن بسیار مشکل است . این امر کنترل دقیق را در تجهیزات انتقال حرارت مشکل می سازد و در این صورت به مبدل های حرارتی بسیاربزرگ و گران قیمت مورد نیاز خواهد بود.

-وقتی بخار سوپر هیت تا دمای اشباع سرد شود ضریب انتقال حرارت بصورت شگرف افزایش می یابد و دما در نقطه ای که بخار به مایع تبدیل می شود ثابت باقی می ماند . این امذ موجب کنترل دقیق تجهیزات انتقال حرارت می شود.

-وجود ضریب انتقال حرارت بالا در بخار اشباع باعث استفاده نمودن از مبدل های حرارتی کوچک و ارزان قیمت در مقایسه با بخار سوپر هیت می شود.

- برخی فرآیند ها (مانند ستون های تقطیر) وقتی بخار سوپر هیت را استفاده می کنند دارای راندمان کمتری هستند.
- دمای بالاتر بخار سوپر هیت ممکن است باعث افزایش مقدار مصرف آن شود و بنابراین تجهیزات گرانقیمت تری مورد نیاز است.
- دمای بالاتر بخار سوپر هیت ممکن است به تجهیزات حساس آسیب وارد کند.

این معایب باعث می شود که بخار سوپر هیت برای کاربرد های حرارتی نامطلوب باشد . لذا باید بخار سوپر هیت را به بخار اشباع تبدیل نمود.

۲.دی سوپرهیت یا اسپری آب:

این نوع دی سوپر هیتر یکی از پر کاربرد ترین روش های تولید بخار دی سوپر هیت است. با اسپری آب دی سوپرهیتر، بخار سوپر هیتر از ناحه یک لوله که در آن چند نازل برای اسپری آب نصب شده عبور می کند.
با تزریق آب خنک به سوپر هیت از کیفیت بخار سوپر هیت کاسته می شود.آب خنک به بخار سوپر هیت به چندین راه مختلف ممکن است تزریق شود.

۳.روش های موجود به منظور دی سوپر هیت نمودن:

دو روش به منظور دی سوپر هیت نمودن وجود دارد:

۱.دی سوپرهیتر تماس غیر مستقیم

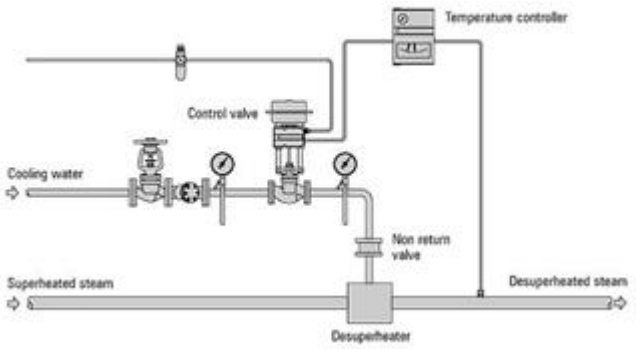
در این حالت بخار سوپر هیت به طور غیر مستقیم توسط سیال سرد می شودو یک مایع یا گاز (مانند هوای محیط یا آب سرد) به عنوان سیال سرد کننده بکار برده می شود. مثالی از این نوع دی سوپر هیتر ها مبدل های shell & tubeهستند. از یک سو بخار سوپر هیت و در سوی دیگر سیال سرد کننده وارد می شود. بخار سوپر هیت از مبدل حرارتی عبور می کند و با بدست آوردن سرما گرمای خود را از دست می دهد. دمای بخار دی سوپر هیت را می توان با فشار بخار سوپر هیت یا جران آب سرد عبوری کنترل کرد. کنترل جریان بخار سوپر هیت برایاین مقصود به معمول سود مند نیست و بیشتر سیستم ها با تنظیم جریان سیال سرد کننده کار می کند.

۲. دی سوپرهیت تماس مستقیم

در این حالت بخار سوپر هیت در اثر تماس مستقیم با آب سرد می شود. یک نمونه از ایستگاه دی سوپر هیت تماس مستقیم در شکل زیر نشان داده شده است.

وقتی که دی سوپر هیت کار می کند میزانی از آب به بخار سوپر هیت اضافه شده و با یکدیگر در داخل دی سوپر هیتر ترکیب می شوند ؛ آب سرد ورودی حرارت بخار سوپر هت را می گیرد و خود به بخار تبدیل می شود در نتیجه دمای بخار کاهش پیدا می کند. کنترل میزان آب معمولا با دمای جریان بعد از دی سوپر هیتر تنظیم می شود.

دمای در نظر گرفته شده برای بخار دی سوپر هیت ۳ درجه سانتی گراد بالاتر از دمای اشباع است بنابراین در تنظیمات فشار بخار سوپر هیت باید ثابت نگه داشته شود.



شکل ۱. **ایستگاه دی سوپر هیت تماس مستقیم**

۴.محاسبات در سوپرهیتر:

میزان آبی که برای سرمایش بخار تا رسیدن به دمای مطلوب اضافه می شودباید کافی باشد چرا که آب کم نمی تواند بخار را به اندازه کافی سرد نماید همچنین آب زیادی نمی تواند تولید بخاری مطلوب کند زیرا برای خشک کردن آن نیاز به سپریتور می باشد.

آنتالپی خروجی فرآیند= آنتالپی ورودی فرآیند

$$m_{cw} h_{cw}+m_s h_s=m_s h_d+m_{cw} h_d$$

$$m_s (h_s-h_d)=m_{cw} (h_d-h_{cw})$$

$$m_{cw}=(m_s (h_s-h_d))/((h_d-h_{cw}))$$

معادله ۱ $$m_{cw}=(m_s (h_s-h_d))/((h_d-h_{cw}))$$

به طوری که در این معادله:

m_{cw}=جرم جران آب خنک کننده(kg/h)

m_s=جرم جریان بخار سوپر هیت(kg/h)

h_s=آنتالپی بخار سوپر هیت(kj/kg)

h_d=آنتالپی بخار دی سوپر هیت(kj/kg)

h_cw=آنتالپی آب خنک کننده ورودی(kj/kg)

۵.عوامل تاثیر گذار در روند کاری سوپر هیتر ها:

تعدادی از پارامترهای خاص در کنار هم قرار می گیرند و موجب می شوند که یک سوپر هیتر به درستی عمل کرده و عمر قابل قبولی داشته باشد.

- سطح حرارتی مناسب
- انتخاب جنس مناسب
- کنترل دمای فلز و تنظیم سطح حرارتی برای محافظت از خوردگی آن
- کنترل رسوب گیری یا همان لحاظ کردن ضریب فائولینگ

۶.شرایط کاری سوپرهیتر ها و مواد مورد استفاده در آن ها:

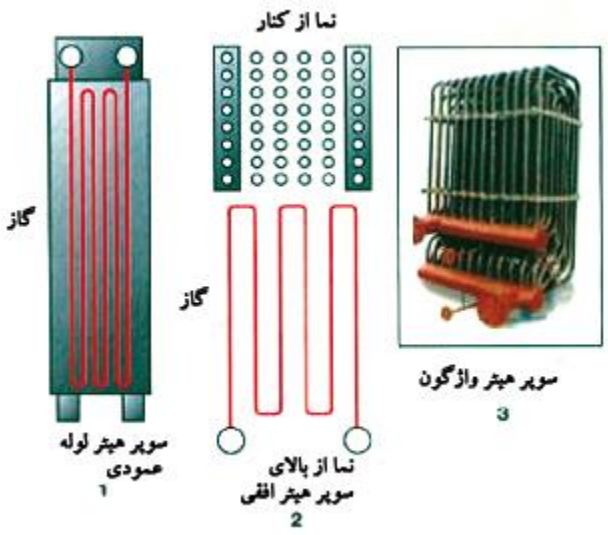
فشار کاری در واحد های صنعتی تولید همزمان و واحد های صنعتی ترکیبی رنج معمولی از ۱۰ تا ۱۰۰ بار و رنج دمایی از دمای اشباع در حدود ۱۰۰۰درجه فارنهایت را دارا می باشند.

لوله های آلیاژی بدون درز از قطر ۱,۲۵ تا ۲,۵ اینچ با جنس های آمده در جدول در ساختمان سوپر هیتر ها استفاده می شود. میزان تنش به دمای دیواره لوله ها بستگی دارد و ضخامت لوله ها بر اساس فرمول های آمده در استاندارد ASME SEC.۱ & ۸ محاسبه می شود.رنج سرعت در لوله های سوپر هیتر ها در حدود ۵۰ تا ۱۴۰ fps بسته به فشار کاری، افت فشار و کاهش بار می باشد.

به طور کلی افت فشار در کاربری های صنعتی در رنج ۱۰ تا ۷۰ psi بسته سایز ، فشار و کاهش با کاری می باشد. البته افت فشار بسته به تعداد مراحل سوپر یت شدن می توان مقادیری بیش از این مقدرا بوده و تا ۱۵۰-۲۰۰psi بالا رود.

روش های مختلفی برای محاسبه سوپر هیتر ها وجود دارد که به پارامتر های گاز و بخار و شرایط واحد مربوطه بستگی دارد.

لوپ لوله های مورد استفاده در ساخت سوپر هیتر انواع مختلف دارد که یکی از آن ها نوع وارون است که در پکیج بویلر ها به فراوانی استفاده می شود حال آنکه نوع قائم پره دار آن ها نیز در سیستم های HRSG معمول می باشد. طراح نوع افقی این لوله ها با کلهگی افقی در هر دو نوع HRSG و پکیج بویلر ها استفاده می شود. میله مفتولی ها به طور معمول در پکیج های تولید بخار که دما آن ها در رنج ۱۵۰۰ –۲۲۰۰ درجه فارنهایت هستند و یا در شرایطی که دمای میله برای مهم است مورد استفاده می شود. اگر چه که در سیکل های HRSG که رنج دمای پاین بوده (در حدود ۹۰۰–۱۴۰۰ درجه فانهایت) و سطح حرارتی بالاتری مورد نیاز است از این تیپ لوله ها استفاده می شود. موارد استفاده این لوله ها موجب خلاصه شدن کاربری های آن ها شده است.



۷.انواع دی سوپر هیتر:

ساده ترین نوع دی سوپر هیتر قسمتی از یک لوله است که می تواند گرما را به محیط انتشار دهد. هرچند که علاوه بر خطر صدمه انسانی به علت گرمای بالای بخار خروجی و هزینه بالای اتلاف انرژی در این نوع دی سوپر هیتر ها با توجه به تغییرات وضعیت محیطی و دمای بخار ، نمی توان نرخ جریان بخار را تنظیم نمود. چندین طرح برای دی سوپر هیتر موجود است و توصیه می شود که پارامتر های زیر را برای تعیین سایز و انتخاب شرایط مناسب یک کاربرد در نظر گرفته شوند:

نرخ turndown= turn down دامنه ای از جریان است که دی سوپر هیتر عمل می کند و در معادله ۲ نشان داده شده است.

معادله ۲ $$(\text{Maximum flow})/(\text{minimum flow})=\text{turndown}$$

این پارانتر مهم است چرا که هر تغییری در فشار ورودی، دما یا جریان ، باعث تغییر در جریان مایع خنک کننده خواهد شدبه طور کلی یک دی سوپر هیتر مشخص دارای دو مقدار turndown است:

نرخ turndown بخار: بیانگر دامنه جریان بخار که عامل موثر بر دی سوپر هیت است.

نرخ turndown آب خنک کننده: بیانگر دامنه جریان آب خنک کننده که می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

نرخ turndown بخار مستقیما با دمای بخار سوپر هیت، آب خنک کننده و در نتیجه بخار سوپرهیت ارتباط دارد.معادله ۱ تعادل جرم/گرما برای این کاربرد است.لازم به ذکر است که دی سوپر هیتر یک قسمت از ایستگاه دی سوپر هیت است که شامل یک سیستم کنترل برای عملکرد صحیح می باشد. سایر پارامتر ها عبارت اند از:

❋ فشار ها و دما های عملکرد

❋ جریان آب و بخار

❋ میزان سوپر هیت و میزان بخار دی سوپر هیت لازم برای فرآیند

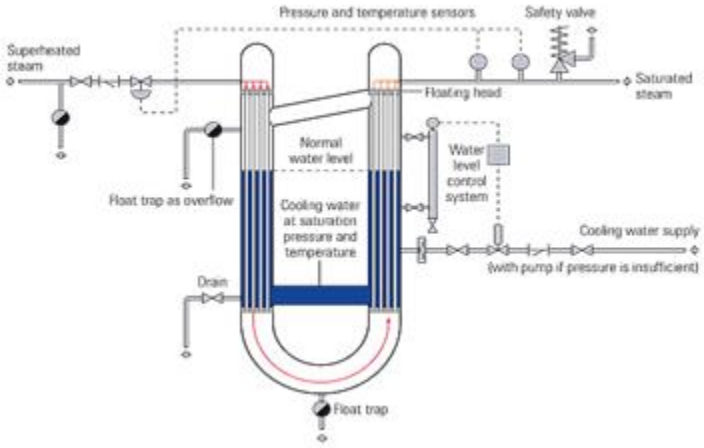
❋ فشار آب مورد نیاز

❋ دقت لازم در دمای نهایی

در مورد لاین دی سوپرهیتر ها، فاصله جابه جایی بخار قبل از این که بخار کاملا به دی سوپر هیت تبدیل شود خیلی مهم است و اشاره به طول مسیر جذب دارد.

۱.دی سوپرهیترهای دسته لوله ای (تماس غیرمستقیم)

این نوع دی سوپر هیتر شامل یک مبدل shell & tube با بخار سوپر هیت از یک طرف و سیال خنک کننده از سوی دیگر است.



شکل ۲. دی سوپرهیترهای دسته لوله ای

پوسته (shell) مبدل، شامل آب خنک کننده ای است که هر دو سوی ورودی خروجی و همچنین بالا و پایین آن را در نظر می گیرد.هد (head)شناوری اجازه میدهد فشار در دو قسمت پوسته مساوی گردد.سیال خنک کننده آب در دما و فشار اشباع است بخار سوپر هیت در داخل لوله ها جریان دارد و گرما را به آب منتقل می کند و مقداری تبخیر به خاطر این تبدیل انرژی صورت می گیرد.تمامی تبخیر های آب خنک کننده از میان هد شناوری می گذرد و در خروجی پوسته جمع می گردد.سپس تا انتهای باز پوسته عبور کرده و با بخار دی سوپر هیت ترکیب می شود.

مزایا:

Turndownفقط به کنترلرهای نصب شده بر روی آن محدود می شود. این طرح قابلیت تولید بخار دی سوپرهیت تا ۵ درجه سانتی گراد بالای دمای اشباع را دارد

بالاترین فشار و دمای عملکرد در حدود فشار۶ bar ودمای ۴۵۰C است. از سرعت عملکرد مناسبی برخوردار است.

معایب:

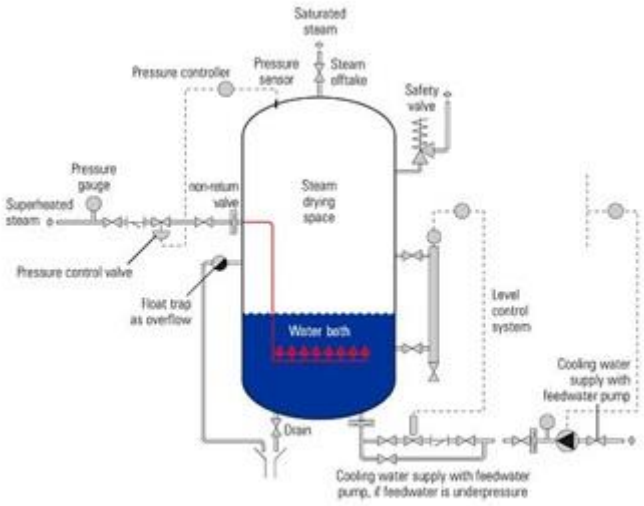
ابعاد بزرگ دستگاه، که به علت تعداد وسایلموجود در آن که دارای ابعاد بزرگ هستند .یک نگرانی مهم در این نوع دی سوپر هیتر تاثیر پذیری از فرآیند عملکرد مبدل می باشد چرا که وجود هوا در سیستم و تشکیل تشکیل فیلم هوا بر روی سطح مبدل می تواندر نهایت برای انتقال حرارت مبدل یک مانع محسوب شود.

کاربرد ها:

جایی که تغییر بار تولید بخار دی سوپر هیت زیاد باشد بکار می رود.

۲.دی سوپرهیتر نوع حمام آبی (دی سوپرهیتر تماس مستقیم)

این شکل ساده ای از دی سوپرهیتر تماس مستقیم است.بخار سوپر هیت به حمامی از آب تزریق می شود و گرما علت تبدیل بخار اشباع در نتیجه تبخیر از سطح آب حمام است.با نصب یک کنترلرفشار در مخزن ثابت می ماند از این رو فشار و دمای بخار اشباع در خروجی مخزن نیز ثابت می ماند.



شکل۳. **دی سوپرهیتر نوع حمام آبی**

بخار سوپر هیت انرژی بیشتری در واحد جرم نسبت به بخار اشباع دارد و آب بیشتری از داخل دی سوپر هیتر تبخیر خواهد شد که در نتیجه سطح آب کاهش پیدا می کند و بنابر این برای حفظ سطح آب اقداماتی باید صورت پذیرد که این معمولا نیازمند یک طرح مشابه پمپ آب تغذیه بویلر می باشد. همچنین آب باید در خلاف جهت فشار آب مخزن پمپ شود.یک شیر یکطرفه در خروجی بخار سوپر هیت نصب می گردد تا اجازه ورود آب را به سیستم ورودی بخار ندهد.

مزایا:

سادگی

بخار در دمای اشباع تولید می شود.

بخار با ظزیب خشکی ۹۸٪ تولید می شود.

Turndown به کنترلری که به روی آن نصب شده محدود می شود.

معایب:

ابعاد بزرگ دستگاه

نا نماسب برای دماهای بالا

کاربرد:

برای سیستم هایی که قابلیت تحمل بخار سوپر هیت را ندارد.

۸.نتیجه گیری:

بخار سوپرهیت در کاربردهای خاصی استفاده می شود، بعنوان مثال در توربین های بخار، از بخار سوپرهیت جهت عبور از نازل ها و هدایت به سمت روتور استفاده شده که منجر به چرخیدن روتور می شود. از آنجا که انرژی لازم فقط از بخار تامین می شود، بنابراین بخار خروجی از روتور دارای انرژی کمتری خواهد بود. در صورتی که بخار در دمای اشباع باشد، این کاهش انرژی منجر به کندانس شدن قسمتی از بخار می شود. با توجه به کاربردهای مختلفی که بخار سوپرهیت دارد می توان با تولید کردن مناسب بخارسوپرهیت استفاده های زیادی از این ماده در صنایع بهره برد.

منابع:

۱.هراتی، محمد، ۱۳۹۵. تأمین بخار اشباع از بخار سوپرهیت، ماهنامه نفت و انرژی، دوره: ۹، شماره :۹۰

۲..مهکوبی، حجت؛ جاجرمی، کاظم؛ پیشگاهی فرد، زهرا، ۱۳۹۳. تهدیدات زیست محیطی در کشورهای منطقه ای ژئوپلیتیکی خلیج فارس با تأکید بر بحران منابع آب، فصلنامه برنامه ریزی منطقه ای، سال چهارم، شماره ۱۳.

۳. N.K. Nawayseh, M.M. Farid, S. Al-Hallaj and A.R.Tamimi, Solar desalination based on humidification process. I. Evaluating the heat and mass transfer coefficients, Energy Conversion Mgmt., ٤٠, p١٤٢٣-١٤٣٩ ٢٠١١.

٤. L.G. Rodriguez, C.G. Camacho, Perspectives of Solar-Assisted seawater Distillation, Desalination, ١٣٠, ٢٠٠٩.

٥ T.Szacsvay, P.I.L.Noser, M.Posnansky, Technical and Economic Aspects of Small-Scale Solar pond Powered Seawater Desalination Systems, Desalination, ١٢٢, ٢٠٠٩.

٦. L.G. Rodriguez, A.I.P. Marrero, C.G. Camacho, Application of Direct Steam Generation into a Solar Parabolic Trough Collector to Multi Effect Distillation, Desalination, ١٢٥, ٢٠١٢.