

بهینه‌سازی سیستم‌های آب خنک‌کننده در صنایع تولید لاستیک و تایر باهدف مدیریت مصرف آب و انرژی

O Optimization of cooling water systems in Rubber and Tire Production Industries With the aim of managing water and energy consumption

چکیده

صنعت لاستیک و تایر از صنایع استراتژیک در کشور ما به شمار می‌آید، به دلیل مصارف بالای آب و انرژی در اشکال مختلف در این صنعت از یک طرف و مشکلات ناشی از کاهش منابع آبی و گران شدن انرژی و همچنین مسائل زیست‌محیطی از طرف دیگر استفاده از روش‌ها و فن‌آوری‌های جدید برای کم کردن سرانه مصرف آب و انرژی نسبت به تن تولید محصول و رساندن آن به سطح استانداردهای قابل قبول بین‌المللی از دغدغه‌های فعالان این صنعت است، از نیازمندی‌های اساسی در خطوط تایر و لاستیک تأمین آب خنک‌کننده صنعتی است که در احجام بالا در این صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق با توجه به تجربیات گذشته در طرح و اجرای کارخانه‌های تایر، سعی شده با استفاده از حرارت بخار بازیافتی برگشتی از خط تولید نسبت به تأمین آب خنک‌کننده و همچنین جلوگیری از ضایعات بخار برگشتی و در نهایت کاهش مصرف آب و انرژی در یک کارخانه نمونه تولید تایر (لاستیک بارز کردستان) اقدام گردد.

کلمات کلیدی: صنعت لاستیک و تایر، بهینه‌سازی مصرف، سیستم‌های آب خنک‌کننده، سرمایه‌ش تبخیری، سرمایه‌ش تبریدی

نوع مقاله: پژوهشی

بهرام اله یارخانی^{۱*}، محسن حاج هاشمی^۲

۱- کارشناس ارشد انرژی، مهندسین مشاور اندیشه ورزان صنعت جام، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد انرژی، شرکت تهویه کوهساران، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

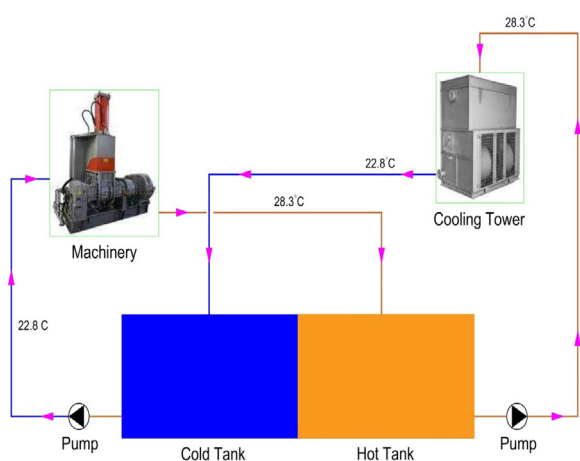
bahram.allahyari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

مقدمه:

آب توسط نازل‌های متعدد روی پکینگ‌های برج خنک‌کننده پاشیده شده و در ارتباط با هوای عبوری خنک می‌شود، توزیع مناسب آب در همه بخش‌های برج خنک‌کننده به همراه تبخیر مقدار کمی از آن (در حدود ۳ کیلو گرم در هر کیلو وات حرارت دفع شده) در حدود ۸۰ درصد بار خنک‌سازی را تامین و الباقی طی فرآیند انتقال حرارت محسوس به هوای محیط بدست می‌آید. حداقل دمای آب خروجی از برج‌های خنک‌کننده می‌تواند ۴ تا ۶ درجه بالاتر از دمای حباب‌تر هوای خارج باشد و اختلاف دمای بین آب ورودی و خروجی با توجه به عملکرد و تجهیزات برج خنک‌کننده از ۳ تا ۱۱ درجه خواهد بود. در کارخانه‌های بزرگ با حجم آب در گردش بالا بطور معمول از مخازن واسطه بزرگ بتنی آب‌سرد و آب‌گرم بظرفیت مناسب استفاده می‌شود به نحویکه آب خنک خروجی از برج‌های خنک‌کننده به مخزن آب‌سرد منتقل و سپس با استفاده پمپ‌های سیر کولاسیون به نقاط مصرف در خط تولید پمپاژ می‌شود و پس از انجام عملیات خنک کاری و تبادل حرارت برگشت داده شده و در مخزن آب‌گرم می‌ریزد ضمن اینکه پمپ‌های دیگری آب‌گرم را به برج‌های خنک‌کننده ارسال می‌کنند تا پس از خنک شدن برای ارسال مجدد در مخزن آب‌سرد ذخیره شوند. (شکل شماره یک)



(شکل شماره ۱: سیستم آب خنک‌کننده تبخیری با مدار باز)

- آب خنک‌کننده در صنایع لاستیک و تایر به منظور جذب حرارت از مواد تولیدی و ماشین‌آلات مختلف در فرآیند تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد، این سیستم مصرف‌کننده ۲ تا ۵ در صد انرژی الکتریکی کارخانه تایر است. بیشترین حرارت تولیدی طی ساخت و شکل دهی کامپاند در میکسرهای بنبوری تایر، غلطک زنی و اکسترودرها ایجاد می‌شود.

- چرخه تامین آب خنک‌کننده بطور معمول شامل شبکه‌ای گردشی است که در آن سیال خنک‌کننده از مخزن آب خنک به سمت خطوط تولید پمپاژ شده و پس از تبادل حرارت و خنک کردن مواد تولیدی و تجهیزات، جهت کاهش مجدد دما به سمت پمپ خانه آب برگشت داده می‌شود و به مخزن آب گرم می‌ریزد. در اکثر کارخانه‌های که در مناطق خشک و معتدل قرار دارند آب‌گرم برگشتی می‌تواند با استفاده از برج‌های خنک‌کننده‌تر، در تماس مستقیم با هوا و از طریق تبخیر بخشی از آب در گردش، خنک شود؛ ولی در مناطق با رطوبت نسبی بالا بدلیل راندمان پایین سیستم‌های تبخیری این کار می‌تواند با استفاده از سیستم‌های تبریدی هوا خنک و یا آب خنک انجام پذیرد

- در این تحقیق سعی شده است تا با تکیه بر تجربیات گذشته ضمن بررسی روش‌های مختلف تامین آب خنک‌کننده، مزایا و معایب هر روش بررسی شده و با هدف دستیابی به الگوهای مناسب در جهت کاهش مصرف آب و انرژی، راهکارهای علمی و عملی در یک پروژه نمونه تولید تایر (کارخانه لاستیک بارز کردستان) ارائه گردد.

۲- روش‌های مختلف تامین آب خنک‌کننده:

۲-۱- سرمایه‌ش تبخیری:

- در روش سرمایه‌ش تبخیری فرآیند تبخیر سطحی آب سبب ایجاد عمده خنک‌سازی در برج‌های خنک‌کننده است که طی آن

۱-۱-۲ مزایای سرمایه‌ش تبخیری:

- عمده‌ترین مزیت برای استفاده از سرمایه‌ش تبخیری ارزان بودن تجهیزات و سرمایه‌گذاری اولیه پایین است؛ ولی ساده بودن سیستم‌ها و بهره‌برداری آسان را هم می‌توان از مزایای آن برشمرد.

۱-۲-۲ معایب سرمایه‌ش تبخیری:*** محدودیت رطوبت نسبی:**

- در مناطق با رطوبت نسبی و دمای حباب‌تر بالا، بدلیل کارایی پایین استفاده از سرمایه‌ش تبخیری از نظر فنی و اقتصادی، توجیه‌پذیر نبوده و حتی در صنایع پر مصرف از نظر آب‌خنک‌کننده مانند صنایع لاستیک و تایر این محدودیت در مکان‌یابی کارخانه‌های در فاز مطالعات اولیه مورد توجه قرار می‌گیرد به نحوی که می‌تواند در کشور ما محل احداث کارخانه‌های مذکور را به مناطق معتدل و خشک، یا گرم و خشک محدود نماید.

*** مصرف آب بالا:**

- بر اساس تجارب بدست آمده و مطالعات انجام شده در کارخانه‌های لاستیک و تایر سیستم‌های خنک‌کننده تبخیری شامل برج‌های خنک‌کننده و ایر واشرها، مسئول حدود ۴۰ درصد آب مصرفی در پروسه تولید می‌باشند که با توجه به مصرف کل میانگین ۵ تا ۷ متر مکعب آب در هر تن تولید محصول، حجم آب سالیانه مصرفی در این بخش بسیار قابل توجه خواهد بود و به عنوان مثال برای کارخانه مورد مطالعه (لاستیک بارز کردستان) به ظرفیت تولید سالیانه ۴۴۰۰۰ تن، آب مصرفی سالیانه بالغ بر حدود ۲۲۰۰۰۰ متر مکعب خواهد بود.

*** نیاز به سیستم تصفیه آب گسترده:**

- در سیستم‌های مدار باز سرمایه‌ش تبخیری، سختی آب

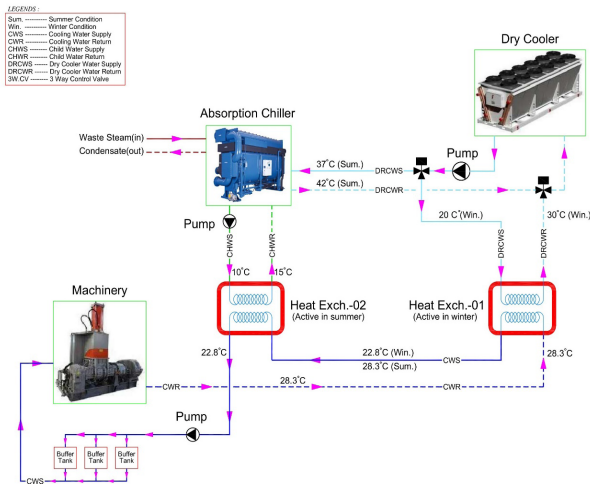
بدلیل تبخیر صورت گرفته بتدریج بالا رفته و ذرات معلق نیز در تماس با هوای آلوده به آب اضافه شده و در کف تشتک برج‌های خنک‌کننده تشکیل لجن می‌دهند، لذا برای جبران آب از دست رفته استفاده از دستگاه‌های سختی‌گیر و فیلترهای مختلف ضروری بوده و همچنین باید با زیرکشی مناسب آب سخت از تشتک برج‌های خنک‌کننده، با بالا رفتن سختی آب مقابله کرد. از طرف دیگر اضافه نمودن مواد شیمیایی و معلق‌کننده‌های ذرات نیز از الزامات بهره‌برداری در این سیستم هاست و بهره‌بردار ملزم به پایش پیوسته مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب در گردش بوده و در صورتیکه اقدامات لازم در این زمینه انجام نشود شاهد رسوب‌گذاری گسترده در شیرآلات و تجهیزات خنک‌کننده ماشین آلات خطوط تولید و در نتیجه خسارات قابل توجه خواهیم بود.

*** مشکلات بهره‌برداری در فصول سرد:**

- برج‌های خنک‌کننده صنعتی در فصول گرم و سرد سال مورد استفاده قرار می‌گیرند، این تجهیزات بطور معمول برای شرایط با بار کامل در تابستان طراحی می‌شوند و در صورت استفاده از آنها در فصول میانی و سرد که بار آنها کاهش می‌یابد با راندمان بسیار پایین کار می‌کنند، مشکلات یخ زدگی تشتک برج‌های خنک‌کننده نیز وجود دارد که بصورت مرسوم با تجهیز دستگاه‌ها به کویل‌های حرارتی و شیرآلات کنترلی و پایش مدام دمای آب حل می‌شوند، در هر صورت نگهداری و بهره‌برداری از برج‌های خنک‌کننده در فصول سرد مشکلاتی به همراه دارد.

۱-۲-۲- سرمایه‌ش تبریدی:

- با توجه به رطوبت نسبی و دمای حباب‌تر بالا در اقلیم‌های گرم و مرطوب که موجب کارایی پایین استفاده از سرمایه‌ش تبخیری می‌شود، انواع سرمایه‌ش تبریدی در این مناطق می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. البته استفاده از سیستم سرمایه‌ش تبریدی محدود به



(شکل شماره ۳: سیستم آب خنک کننده تبریدی با مدار بسته)

۲-۱- مزایای سرمایه‌ش تبریدی:

* کاهش قابل توجه آب مصرفی:

- با توجه به خنک کردن غیر مستقیم، مصرف آب در این روش محدود به تامین آب جبرانی بوده و به همین دلیل شدت کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که مدار خنک‌کننده در روی ماشین‌های تولیدی در اکثر اوقات بصورت بسته بوده و لذا پرت آب در آنها مشاهده نمی‌شود؛ ولی در برخی تجهیزات با مدار باز و یا نشتی‌های احتمالی ایجاد شده در شبکه لوله کشی آب خنک‌کننده، مقداری آب به هدر می‌رود که توسط آب جبرانی تصفیه شده جایگزین می‌گردد. به همین دلیل نیاز به تجهیزات گسترده تصفیه آب از بین می‌رود.

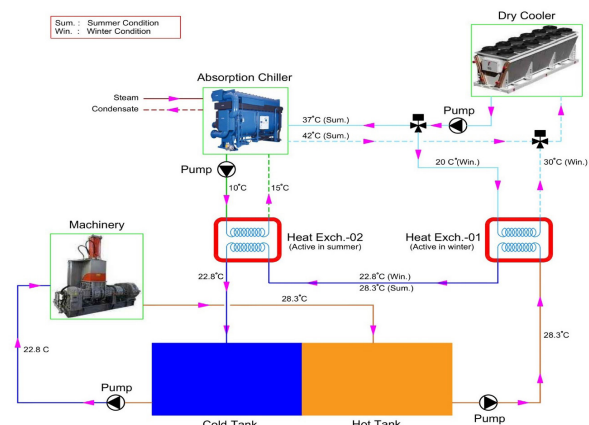
* کاهش رسوب‌گذاری در شبکه لوله کشی و ماشین آلات

- به دلیل کیفیت بالای آب در گردش از نظر میزان ذرات معلق و همچنین سختی کل، مشکلات ناشی از رسوب‌گذاری در شبکه لوله کشی و ماشین آلات تا حد زیادی کاهش یافته و نیاز به تجهیزات گسترده تصفیه و پایش کیفیت آب نیز از بین می‌رود.

* کاهش مقدار آب در گردش و کنترل دمای قابل قبول:

- با توجه به اینکه در سیستم‌های تبریدی علی‌الخصوص در فصول پیک بار امکان تامین دماهای پایین‌تر متناسب با شرایط ماشین آلات فراهم می‌گردد، حجم آب در گردش می‌تواند متناسب با آن کاهش یافته و در همین راستا سبب کاهش رسوب‌گذاری و تجهیزات

مناطق گرم و مرطوب نبوده و بدلائیل مختلف مانند کمبود آب در دیگر اقلیم‌ها نیز می‌تواند توجیه فنی و مالی داشته باشد این سیستم‌ها می‌تواند با استفاده از چیلرهای هواخنک تراکمی و یا چیلرهای جذبی با مصرف بخار طراحی شود به نحوی که با استفاده از مبدل‌ها و دمای پایین مبرد، مخزن آب خنک‌کننده (کولینگ بانک) به دمای مناسب رسانده شده و سپس آب خنک توسط پمپ‌های سیرکولاسیون بطرف مصرف‌کننده‌ها ارسال و در بازگشت نیز به مخزن گرم هدایت گردد تا با پمپاژ و تبادل حرارت در مبدل‌ها دمای آن کاهش یابد. در صنعت لاستیک با توجه به استفاده از بخار فشار بالا در پروسه پخت تاثیر امکان استفاده مجدد از بخار زنده و همچنین بخار فلش باز یافتی از کندانس پر فشار در چیلرهای جذبی وجود دارد، چیلرهای مذکور بدلیل مصرف پایین انرژی الکتریکی و عمر بالاتر نسبت به چیلرهای تراکمی در اولویت هستند البته از آنجا که چیلرهای جذبی خود نیاز به آب خنک‌کننده دارند؛ لذا در مناطق با رطوبت نسبی بالا استفاده از آنها توجیه فنی ندارد؛ ولی در این مناطق و همچنین مناطق معتدل و خشک مانند کارخانه مورد مطالعه می‌توان از چیلر جذبی با درای کولر به جای برج خنک‌کننده استفاده نمود، درای کولر یک خنک‌کننده هوایی بسته است که با نازل‌های پاشش آب برای استفاده در شرایط پیک دمایی مجهز گردیده است.



(شکل شماره ۴: سیستم آب خنک کننده تبریدی با مدار باز)

استفاده از درای کولر (خنک‌کننده هوایی با امکان پاشش آب در صورت لزوم) و چیلر جذبی تک اثره تغذیه شده با بخار بازیافتی از خط تولید است. مطابق مطالعات و تجربیات گذشته در اکثر کارخانه‌های تایر، اتلافات سیستم بخار بمیزان زیادی وجود داشته که در بخش‌های زیر دسته بندی می‌شوند - بخار زنده خروجی از ارفیس‌ها و تله‌های بخار پرس‌های

پخت در فرآیند پخت تایر

- بخار فلاش ناشی از کندانس بخار فشار بالا استفاده شده در فرآیند پخت تایر (۱۰ تا ۲۱ بار)

- بخار ناشی از کندانس بخار فشار پائین برگشتی استفاده شده در خطوط تولید (۴ تا ۱۰ بار)

- مصرف بخار در کارخانه‌های تولید تایرهای سبک بطور معمول در حدود ۴ تا ۵ تن بر هر تن محصول است که مقدار ۱۵ تا ۲۰ درصد در صورت عدم بازیابی به هدر می‌رود که البته تا حدی اجتناب ناپذیر است، در یک کارخانه نمونه با ظرفیت ۴۴۰۰۰ تن و کارکرد ۳۰۰ روزه در طی سال مصرف متوسط ساعتی بخار در حدود ۳۰ تن و بخار باز یافتی به مقدار ۵ تن در ساعت می‌رسد. این مقدار بخار می‌تواند نیاز یک واحد چیلر جذبی تک اثره بظرفیت مفید در حدود ۷۰۰ تن تبرید را تامین نماید که با توجه به ضرایب همزمانی بخش عمده‌ای از نیازهای آب خنک‌کننده کارخانه مورد بحث را برآورده می‌کند.

۳-۱- راهکار شماره یک (سرمايش ترکیبی با استفاده از درای کولر و چیلر جذبی و مدار باز):

- همانطوریکه در شکل شماره ۲ دیده می‌شود آب خنک‌کننده ارسالی به خط تولید پس از تبادل حرارت و گرم شدن در یک مدار باز به مخزن آبگرم برگشت داده می‌شود، سپس توسط یکواحد پمپاژ به مبدل‌های شماره یک و دو که به ترتیب توسط مدار ثانویه درای کولر و یا مدار آب سرد چیلر خنک می‌شوند پمپاژ شده و پس از خنک شدن به مخزن آب سرد

خط انتقال کاهش یابد. از طرف دیگر قابلیت و کیفیت کنترل دمای آب در گردش بخاطر وابستگی کم به شرایط محیطی بسیار افزایش یافته که این مسئله می‌تواند بالا بردن کیفیت محصول خروجی و عمر ماشین آلات را بدنبال داشته باشد.

۲-۲-۱- معایب سرمايش تبریدی:

* میزان بالای سرمایه‌گذاری اولیه:

- بدلیل استفاده از چیلر در این سیستم‌ها که می‌تواند از انواع ترکیبی یا جذبی باشد سرمایه‌گذاری اولیه نسبت به سرمايش تبخیری بسیار بالاتر است، علی‌الخصوص در شرایطی که از چیلرهای جذبی به همراه درای کولر استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که چیلرهای جذبی مناسب کار با درای کولر خاص بوده و بر اساس شرایط اقلیمی منطقه پروژه بصورت موردی طراحی و ساخته می‌شوند و به همین دلیل از قیمت بالاتری برخوردار هستند.

* مشکلات بهره برداری و نگهداری:

- تجهیزات مورد استفاده در این سیستم‌ها نسبت به سرمايش تبخیری دارای پیچیدگی بیشتری بوده؛ لذا عملیات بهره برداری و نگهداری مستلزم استفاده از پرسنل فنی با قابلیت‌های بالاتر و لوازم یدکی گران‌تر است.

* مصرف انرژی الکتریکی بالاتر:

- در صورت استفاده از چیلرهای تراکمی میزان انرژی الکتریکی مصرفی بسیار بالا بوده، ولی در صورت استفاده از چیلرهای جذبی می‌توان بجای آن از انرژی حرارتی بصورت بخار کم فشار استفاده نمود که با این روش مصارف انرژی الکتریکی بسیار کاهش می‌یابد.

۳- راهکارهای پیشنهادی:

- راهکارهای پیشنهادی در این تحقیق براساس تبدیل سیستم خنک‌کننده تبخیری به سیستم تبریدی ترکیبی با

نقش تامین کننده آب خنک برای چیلر جذبی را ایفا می نماید. در سیستم آب خنک کننده با مدار بسته مخازن واسطه زمینی حذف و تعدادی مخزن ذخیره بسته آب خنک کننده (بافر تانک) برای عملکرد بهتر و بالانس نمودن سیستم و مدیریت بهینه مصرف اضافه می گردد، لازم به ذکر است که با توجه به امکان یخزدگی سیال استفاده شده در مدار ثانویه درای کولر، در این روش هم ضروری است به آب در گردش این مدار، اتیلن گلیکول (به میزان ۳۰ درصد) اضافه شود.

- با توجه به مزایای بیشتر سیستم های مدار بسته شامل:
- کاهش مصرف انرژی پمپ های سیرکولاسیون با توجه به بازیابی فشار در مدارهای بسته (فقط افت مسیر جبران می شود)
- ارسال جریان سیال خنک کننده متناسب با نیاز خط تولید، با استفاده از بوستر پمپ های دور متغیر مجهز به ترانس میترهای فشار که کاهش قابل توجه انرژی پمپاژ را بدنبال دارد (اعمال هوشمند ضریب همزمانی مصرف)
- حذف سیستم های گسترده تصفیه آب و محدود نمودن آنها به تامین آب جبرانی
- حذف مخازن بتنی واسطه آب سرد و گرم
- کاهش آلودگی آب ناشی از ارتباط با هوا و افزایش ذرات غبار استفاده از راهکار دوم ارائه شده از نظر فنی و مالی توجیه بیشتری دارد.
- ۴- صرفه جویی بعمل آمده از راهکارهای پیشنهادی:

برگشت می شوند. در فصول سرد و میانی سرمایه اش لازم توسط درای کولر تامین شده و شیرهای سه راهه کنترلی مسیر جریان سیال را بر اساس شرایط دمای هوای خارج تغییر می دهند، در فصول گرم چیلر جذبی وارد مدار شده و بار برودتی مورد نیاز را تامین می کند و در این حالت درای کولر نقش تامین کننده آب خنک برای چیلر جذبی را ایفا می نماید. لازم به ذکر است که با توجه به امکان یخ زدگی سیال استفاده شده در مدار ثانویه درای کولر، به آب در گردش این مدار سیال ضد یخ، اتیلن گلیکول (به میزان ۳۰ درصد) اضافه می شود.

۳-۲- راهکار شماره دو (سرمایش ترکیبی با استفاده از درای کولر و چیلر جذبی و مدار بسته):

- همانطوریکه در شکل شماره ۳ دیده می شود آب خنک کننده ارسالی به خط تولید پس از تبادل حرارت و گرم شدن برای خنک شدن به مبدل های شماره یک و دو که به ترتیب توسط مدار ثانویه درای کولر و یا مدار آب سرد چیلر خنک می شوند برگشت شده و پس از خنک شدن به چرخه کولینگ باز می گردد. در فصول سرد و میانی سرمایه اش لازم توسط درای کولر تامین شده و شیرهای سه راهه کنترلی مسیر جریان سیال را بر اساس شرایط دمای هوای خارج تغییر می دهند، در فصول گرم نیز چیلر جذبی وارد مدار شده و بار برودتی مورد نیاز را تامین می کند و در این حالت درای کولر

(جدول شماره ۱: برآورد میزان آب بازیافتی از بخار به هدر رفته)

میزان بخار پرت برآورد شده (در هر ساعت)	تعداد روزهای کاری در سال	مقدار آب برگشتی از کندانس بازیافت شده
۵Ton/hr	۱۵۰day	$5 \text{ T/hr} \times 300 \text{ day} \times 50\% \times 24 \text{ hr} = 18000 \text{ T/year}$
		$18000 = \text{m}^3/\text{year}$

۴-۱-۱- صرفه جویی بعمل آمده با انجام راهکارهای پیشنهاد شده

در دو بخش آب و انرژی قابل توجه بوده و به تفکیک بروشهای زیر قابل محاسبه است:

- در بخش آب مصرفی صرفه جویی بعمل آمده شامل دو بخش است که بخش اول بازیافت بخار پرت برگشتی از خط تولید و کندانس فشار بالا است که با فرض استفاده از چیلر در

۴-۱- کاهش مصارف آب و انرژی

(جدول شماره ۲: حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده)

جریان آب خنک کننده در گردش	اختلاف دمای ایجاد شده در برج	حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده تبخیری
۲۲۰۰ GPM	۱۰ F	$۸,۳۳ \times ۶۰ \times ۲۲۰۰ \text{ GPM} \times ۱۰ \text{ F}$ $۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰ = \text{Btu/hr}$

۶ ماهه اول سال و به شرح جدول زیر قابل محاسبه است: از عملکرد برجهای خنک کننده مورد نظر است که با توجه در بخش دوم اتلافات مربوط به سرمایش تبخیری ناشی بمیزان کل آب خنک کننده در گردش کارخانه (۵۰۰ متر

(جدول شماره ۳: میزان آب بازیافتی در برجهای خنک کننده)

میزان آب بازیافتی (در سال)	تعداد روزهای کاری در سال	مصرف آب به ازای حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده	حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده تبخیری
$۱۰ = \text{m}/۳ \text{ hr}$ $۱۰ = \text{m}/۳ \text{ hr} \times ۲۴ \text{ hr} \times ۳۶۰ = ۱۰ = \text{m}/۳ \text{ year}$	۱۵۰ day	۴ GPM ۱۰۰۰۰۰۰ / BTU	۱۱۰۰۰۰۰۰ BTU

مکعب در ساعت معادل ۲۲۰۰ گالن در دقیقه با در نظر حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده به شرح جدول گرفتن ضریب همزمانی مصرف ۶۰ در صد) در ابتدا میزان شماره دو محاسبه می شود:

(جدول شماره ۴: میزان کل آب بازیافتی)

میزان کل آب بازیافتی در سال	آب بازیافتی در برجهای خنک کننده	آب بازیافتی از بخار به هدر رفته
$۱۸۰۰۰ \text{ m}/۳ \text{ year} + ۳۶۰۰۰ \text{ m}/۳ \text{ year} = ۵۴۰۰۰ \text{ m}/۳ \text{ year}$	۳۶۰۰۰ m/۳ year	۱۸۰۰۰ m/۳ year

می شود؛ لذا در مجموع مقدار کل آب صرفه جویی شده در سال برابر است با:

- توجه اینکه در حدود ۶۰ در صد از این مقدار، آب نرم تهیه شده توسط سختی گیرهای رزینی و ۴۰ درصد آن نیز، آب دمین استفاده شده در دیگهای بخار است که تهیه آن

- با مشخص شدن میزان حرارت دفع شده در برجهای خنک کننده میزان آب مصرفی ناشی از تبخیر و زیرکشی در برجهای خنک کننده بشرح جدول شماره ۳ محاسبه می گردد - البته در فصول گرم و پیک بار بدلیل استفاده درای کولر از آبپاش موضعی حدود ۲۰ در صد از صرفه جویی فوق کم

در واحدهای اسمز معکوس انجام می‌شود و در هر دو مورد هزینه‌های بسیاری برای تصفیه آب پرداخت می‌گردد که در برخی موارد از هزینه تهیه آب بسیار بیشتر است.

۴-۲-۲- انرژی حرارتی:

- در بخش انرژی با استفاده از مقدار حداقل ۵ تن بر ساعت

بخار پرت استحصال شده از بخار زنده و کندانس برگشتی از پرس‌های پخت تایر و تبدیل آن به کندانس با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد میزان کل انرژی استحصالی برابرست با:

- مطابق محاسبات زیر داده شده در جدول شماره ۵ صرفه جویی این مقدار انرژی با توجه به راندمان مجموعه دیگ و مشعل (۶۳٪) و ارزش حرارتی گاز شهری (۳۴۳۰۰ بی‌تی

Steam Flow Rate	<input type="text" value="5000"/>	<input type="text" value="kg/h"/>
Steam Pressure	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="bar gauge"/>
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Heat Rating	<input type="text" value="1.01762E07"/>	<input type="text" value="Btu/h"/>

(شکل شماره ۴: محاسبه انرژی قابل استحصال از بخار بازیافتی)

یو بر متر مکعب) می‌تواند از مصرف حدود ۱/۶۹۵/۰۰۰ متر مکعب گاز شهری در سال جلوگیری کرده و کاهش مصرف هوای تازه احتراق بمیزان ۱۶/۹۵۰/۰۰۰ مترمکعب و حذف حدود ۳۳۰۰ تن گاز دی اکسید کربن را بدنبال داشته باشد.

(جدول شماره ۵: میزان صرفه جویی در مصرف گاز شهری مصرفی ناشی از بازیافت انرژی بخار)

- توجه اینکه این مقدار انرژی بازیافتی از بخار فلش بصورت عمده در نیمه اول سال (فصول گرم) استفاده شده و در باقی ایام سال می‌تواند برای تامین آبگرم مصرفی کارخانه مورد بهره برداری قرار گیرد. لازم بذکر است که مصارف الکتریکی مربوط

انرژی حرارتی بازیافتی در ساعت	تعداد روزهای کاری در سال	انرژی حرارتی بازیافتی در سال	ارزش حرارتی گاز شهری	میزان مترمکعب گاز شهری صرف جویی شده در سال
۱۰,۱۷۶,۰۰۰ hr/Btu	۱۵۰ day	۳۶,۶۳۳,۶۰۰,۰۰۰ hr/Btu	۳۴,۳۰۰ m ^۳ /Btu	۱,۶۹۵,۰۰۰ m ^۳ /year = (۳۴,۳۰۰ x ۶۳٪) / (۳۶,۶۳۳,۶۰۰,۰۰۰)

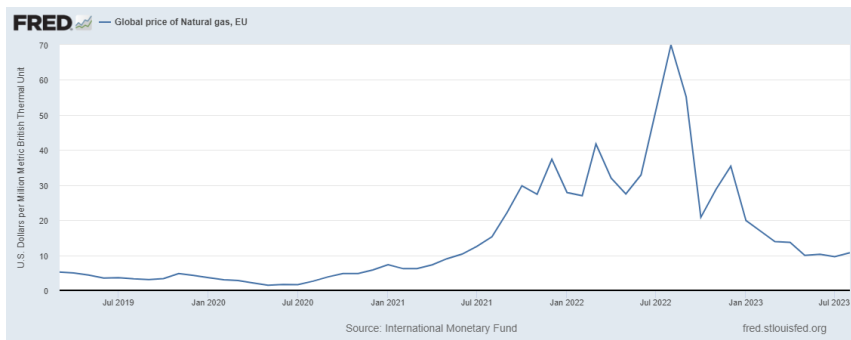
به فن‌های درای کولر بصورت تقریبی با مصارف الکتریکی برج‌های خنک‌کننده یکسان در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۳- انرژی الکتریکی:

- در بخش انرژی الکتریکی، از یکطرف با تبدیل شبکه آب خنک‌کننده از مدار باز به مدار بسته بدلیل بازیابی فشار و نیاز به

به لزوم جبران صرفاً " افت مسیر و افت تجهیزات، مصرف انرژی پمپ‌های سیرکولاسیون کاهش می‌یابد، از طرف دیگر با استفاده از بوستر پمپ‌های دور متغیر میزان آب در گردش بصورت هوشمند و با پایش مستمر فشار خروجی توسط ترانس‌میتورهای فشار تنظیم شده و بار الکتریکی الکتروپمپ‌ها متناسباً کاهش می‌یابد. کاهش مصرف با توجه به ضرایب همزمانی در حدود ۵۰

۳۹



(شکل شماره ۵: قیمت جهانی گاز طبیعی)

درصد برآورد می‌شود که بشرح زیر قابل محاسبه است.

(جدول شماره ۶: میزان صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی)

میزان صرفه جویی سالیانه در مصرف انرژی الکتریکی	تعداد روزهای کاری در سال	ضریب همزمانی عملکرد	مصرف پمپ‌های سیرکولاسیون
$KWH\ 900,000 = 24H \times 300day \times (\%25 \times 50)$	300 day	50%	KW 250

Data extracted on 26/09/2023 08:22:34 from [ESTAT]
 Dataset: Electricity prices by type of user [TEN00117]
 Last updated: 25/09/2023 23:00
 Time frequency: Annual
 Products: Electrical energy
 Currency: Euro
 Unit of measure: Kilowatt-hour
 Energy indicator: Non-household, medium size consumers

	TIME 2011	2012	2019	2020	2021	2022
EU (Labels)						
European Union - 27 countries (from 21)	0.0925	0.0943	0.0842	0.0817	0.0859	0.1604
Euro area - 20 countries (from 2023)	:	:	:	:	:	:
Euro area - 19 countries (2015-2022)	:	:	:	:	:	:
Belgium	0.0977	0.095	0.0807	0.0795	0.0810	0.1519
Bulgaria	0.0638	0.0684	0.0377	0.0905	0.0842	0.2372
Czechia	0.1097	0.1028	0.0646	0.0716	0.0739	0.1444
Denmark	0.0784	0.0645	0.0635	0.0540	0.0725	0.1595
Germany	0.09	0.0895	0.0855	0.0849	0.0908	0.1512
Estonia	0.0616	0.0647	0.0768	0.0675	0.0834	0.1502
Ireland	0.1121	0.1293	0.1294	0.1265	0.1378	0.2104
Greece	0.0917	0.1006	0.0810	0.0823	0.0890	0.2830
Spain	0.1082	0.1155	0.0925	0.0786	0.0931	0.1769
France	0.0722	0.0809	0.0812	0.0847	0.0850	0.1203
Croatia	0.09	0.0892	0.0887	0.0898	0.0881	0.1410
Italy	0.1145	0.1193	0.0952	0.0856	0.0939	0.2354
Cyprus	0.1605	0.2171	0.1291	0.1178	0.1091	0.1722
Latvia	0.0984	0.1103	0.0837	0.0813	0.0849	0.1467
Lithuania	0.1045	0.1105	0.0833	0.0871	0.0932	0.1758
Luxembourg	0.096	0.1007	0.0816	0.0824	0.0836	0.1230
Hungary	0.0978	0.0888	0.0861	0.0849	0.0818	0.1598
Malta	0.178	0.179	0.1330	0.1328	0.1330	0.1332
Netherlands	0.0537	0.0824	0.0679	0.0680	0.0721	0.1339
Austria	0.0917	0.0906	0.0805	0.0877	0.0864	0.1437
Poland	0.0963	0.0869	0.0795	0.0800	0.0731	0.0987
Portugal	0.0903	0.105	0.0869	0.0794	0.0755	0.1351
Romania	0.0803	0.0833	0.0821	0.0890	0.0824	0.2149
Slovenia	0.0889	0.0872	0.0791	0.0811	0.0757	0.1435
Slovakia	0.1233	0.1273	0.0921	0.0977	0.0929	0.1892
Finland	0.0686	0.0684	0.0639	0.0625	0.0669	0.0802
Sweden	0.0887	0.0804	0.0733	0.0686	0.0705	0.1115
Iceland	:	:	0.0558	0.0713	0.0449	0.0732
Liechtenstein	:	:	0.0824	0.0880	0.0863	0.1260

(شکل شماره ۶: قیمت جهانی برق برای مصارف غیر خانگی)

۲-۴- برآورد صرفه جویی مالی:

روش‌های خنک‌کننده تبخیری بشرح زیر قابل محاسبه است، توجه اینکه با در نظر گرفتن شرایط داخلی کشور ما از نظر سوبسیدهای انرژی و نوسانات قیمت‌ها، کلیه برآوردها براساس قیمت‌های جهانی آب و انرژی بر حسب واحد دلار صورت گرفته است.

- بصورت خلاصه بر اساس مطالب گفته شده صرفه جویی‌های بعمل آمده در بخش‌های مختلف در نتیجه استفاده از سیستم‌های تبریدی با بازیافت بخار به جای

که بخش عمده آن مربوط به هزینه‌های کاهش مصرف آب و گاز طبیعی است.

* لازم به ذکر است در اغلب کشورها صنایع و کارخانه‌های در ازای استفاده از سوخت‌های فسیلی، برای جبران خسارات زیست محیطی ناشی از دی اکسید کربن تولیدی، موظف به پرداخت مالیات کربن هستند که در اینجا کاهش میزان مالیات کربن در محاسبات صرفه جویی‌ها آورده نشده است.

۴-۳- برآورد هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌های پیشنهادی:

- هزینه‌های اصلی طرح پیشنهادی بشرح جدول زیر برآورد می‌گردد:

- همانطور که ملاحظه می‌شود صرفه جویی سالیانه بعمل آمده بر اساس نرخ‌های جهانی آب و انرژی معادل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای اجرای طرح بوده و لذا انجام این کار در مقیاس جهانی بسیار مقرون به صرفه بوده و در یکسال می‌توان سرمایه‌گذاری انجام شده را بازیابی نمود، از طرف

(جدول شماره ۷: برآورد هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه)

ردیف	شرح	برآورد قیمت خرید، حمل و نصب (دلار امریکا)
۱	چیلر جذبی تک اثره بظرفیت حدود ۴۵۰ تن تبرید به تعداد دو دستگاه با شرایط پروژه	۷۲۰/۰۰۰ دلار
۲	درای کولر مدولار متناسب با ظرفیت چیلرهای جذبی یک واحد	۴۵۰/۰۰۰ دلار
۳	مبدل‌های حرارتی، شیرآلات و تجهیزات کنترل بصورت کامل	۹۵/۰۰۰ دلار
	جمع کل هزینه‌ها:	۱/۲۶۵/۰۰۰ دلار

محیط زیست و بهره‌وری انرژی انجام شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری:

- امروزه کارخانه‌های تولیدی در ارتباط با تامین زیرساخت‌های لازم شامل آب و انواع انرژی با مشکلات عدیده‌ای روبرو هستند قیمت حامل‌های انرژی بشدت افزایش یافته و در فصول پر مصرف شبکه‌های مربوطه توانایی تامین

- کاهش مصرف آب به میزان ۴۶۸۰۰ متر مکعب در سال معادل حدود ۲۲ درصد مصرف کل کارخانه و کاهش هزینه‌های جاری سالیانه مربوط به خرید و تصفیه آب (سافت و دمین) بمیزان ۴۶۸/۰۰۰ دلار (بر اساس قیمت حداقل جهانی ۱۰ دلار در هر مترمکعب)

- بازیابی انرژی حرارتی مصرفی به میزان ۱۰/۱۷۶/۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت معادل مصرف ۱/۶۹۵/۰۰۰ متر مکعب گاز شهری در ۶ ماه از سال و کاهش هزینه‌های جاری به مقدار سالیانه ۵۶۰/۰۰۰ دلار (بر اساس حداقل قیمت متوسط جهانی ۱۰ دلار بر هر میلیون بی‌تی‌یو معادل، ۰/۳۳ دلار در هر متر مکعب)

- بازیابی انرژی الکتریکی مصرفی به میزان ۹۰۰/۰۰۰ کیلووات ساعت در سال و کاهش هزینه‌های جاری به مقدار سالیانه ۱۵۳/۰۰۰ دلار (بر اساس قیمت متوسط جهانی ۰/۱۷۰ دلار در هر کیلو وات ساعت)

- لذا در مجموع هزینه‌های صرفه جویی شده سالیانه با اجرای طرح‌های اصلاحی حداقل برابر ۱/۱۸۱/۰۰۰ دلار است

دیگر در کارخانه‌های جدید الاحداث هزینه‌های ساخت مخازن بتنی واسطه نیز حذف می‌شود ضمن اینکه با توجه به فواید زیست محیطی متعدد شامل کاهش مصرف آب، گاز طبیعی، هوای مورد نیاز جهت احتراق و همچنین حذف مقادیر قابل توجه گازهای گلخانه‌ای طرح‌های پیشنهادی می‌تواند با حمایت‌های مالی سازمان‌های ذیربط مانند سازمان‌های

خیلی از کارخانه‌های موجود که امروزه با کمبود زیرساخت‌ها و منابع آب و انرژی مواجه هستند با کاهش مصارف امکان رسیدن به ظرفیت‌های تولیدی بالاتر فراهم می‌گردد. در مورد کارخانه‌های جدید در دست ساخت نیز حجم سرمایه گذاری‌های مورد نیاز برای تامین زیر ساخت‌های لازم را کاهش داده و حتی می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مربوط به مکان‌یابی واحدهای تولیدی جدید اثر گذار باشد.

مصرف‌کنندگان را نداشته و به ناچار سرویس‌های ارائه شده به کارخانه‌های تولیدی را محدود و یا قطع می‌کنند، منابع آبی بسیار محدود شده و در آینده نزدیک تکافوی مصارف زیاد واحدهای بزرگ تولیدی را نمی‌کنند و این واحدها مجبور به تغییرات اساسی در زنجیره تامین و تولید خود می‌باشند، همانطوری که ملاحظه می‌شود استفاده از روش‌های پیشنهادی تاثیر زیادی در کاهش مصارف آب و انرژی داشته و می‌تواند هزینه‌های سرانه تولید را کاهش دهد، علاوه بر این در

IRM

Optimization of cooling water systems in Rubber and Tire Production Industries With the aim of managing water and energy consumption

Bahram Allahyarkhani*¹, Mohsen Haj Hashemi²

1. Master of Energy, Andishe Varzan Sanat Jam Consulting Engineers, Tehran, Iran

2. Master of Energy, Kohsaran Ventilation Company, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: bahram.allahyari@gmail.com

Abstract

- The Rubber and Tire industry is one of the strategic industries in our country, due to the high consumption of water and energy in various forms in this industry and the problems caused by the reduction of water resources and the high cost of energy as well as environmental issues one of the concerns of the activists of this industry is new methods and technologies to reduce per capita consumption of water and energy compared to tons of product production and bring it to the level of acceptable international standards. One of the basic requirements in Tire and Rubber production lines is the supply of industrial cooling water, which is used in high volumes in this industry. In this research, according to past experiences in the design and implementation of tire factories, it has been tried to use heat Recycled steam returned from the production line to supply cooling water and also prevent the waste of returned steam and finally reduce water and energy consumption in a typical tire production factory (Kurdistan Barez Tire & Rubber Co.)

Keywords: Rubber and Tire industry, Optimization of consumption, Cooling water systems, Evaporative cooling, Refrigeration cooling